

INDUSTRIJSKI
FORUM **IRT** 2021



**VIR ZNANJA IN IZKUŠENJ
ZA STROKO**

Portorož, 21. in 22. junij 2021

INDUSTRIJSKI
FORUM
IRT
2021

VIR ZNANJA IN IZKUŠENJ
ZA STROKO

Zbornik foruma

Urednik
Darko Švetak

Portorož, 21. in 22. junij 2021

Naslov: **12. Industrijski forum IRT - VIR ZNANJA IN IZKUŠENJ ZA STROKO**

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

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

Glavni pokrovitelji: ABB d. o. o.
FANUC Adria, d. o. o.
Hoffmann Group d. o. o.

Pokrovitelji: BOHLER International GmbH
BTS Company, d. o. o.
METTLER TOLEDO, d. o. o.
SIJ Ravne Systems, d. o. o.
TOPOMATIKA, d. o. o.
YASKAWA SLOVENIJA, d. o. o.
METTLER TOLEDO, d. o. o.
SECOTOOLS, 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: 100 izvodov

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

338.45(497.4)(082)
001.895(082)
621(082)

INDUSTRIJSKI forum Inovacije, razvoj, tehnologije (12 ; 2021 ; Portorož)
Vir znanja in izkušenj za stroko : zbornik foruma : Portorož, 21. in
22. junij 2021 : [12. industrijski forum IRT] / urednik Darko Švetak ;
[organizator Profidtp]. - Škofljica : Profidtp, 2021

ISBN 978-961-94025-9-7
COBISS.SI-ID 67543299

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

Industrije in inovacij nič ne iztiri

Industrijski forum IRT vsakič prinese več deset strokovnih predavanj, ki pričajo o tem, kako zelo živahna in napredna je pravzaprav domača industrija. Saj tudi mora biti, če želi držati korak s tekmeci po svetu oziroma jih celo prekašati.

To pa zahteva ne le prebojne ideje in zamisli, temveč tudi in predvsem prilagodljivost. Kako zelo prilagodljiva je lahko industrija, je dokazala v času pandemije koronavirusa. Pretekla leta so strokovnjaki podjetja opozarjali na digitalni darvinizem, torej nujnost uvajanja digitalnih tehnologij, komunikacije, e-poslovanja, če želijo postati in ostati konkurenčna. Kdor se ni podvihal, je bil v težavah. Kdor je iskal izgovore namesto rešitev, prav tako. No, klasični darvinizem, kar virus covid-19 vsekakor je, se je prav tako in še enkrat več izkazal za neizprosnega. In poskrbel, da smo ločili zrna od plev.

Podjetja, ki so se znala hitro prilagoditi novi realnosti, so bila bolj uspešna. In bodo takšna (zelo verjetno) tudi v prihodnje. Sodoben čas ne skrbi le za to, da smo ljudje in stroji stalno povezani in na preži, skrbi tudi, da nihče ne spi na lovorikah. Trenutni uspehi so aktualni vedno krajši čas. Sicer so dobre reference, a že naslednja inovacija s strani konkurenta lahko karte in vloge podjetij na trgu povsem premeša. Samo pogledajte, kaj je podjetje Tesla naredilo avtomobilski industriji. Mogoče pa se bomo že čez desetletje vozili pretežno na vodik, niti ne na elektriko, kdo bi vedel.

Pred vami je prvi e-zbornik Industrijskega foruma IRT. Vsebuje zgovorne primere in projekte, ki so v preteklem letu nastali v svetu domače industrije in akademskega okolja. Kot sem v preteklosti že poudaril, ta zbornik v mojih očeh predstavlja neke vrste življenjepis oziroma CV domače industrije. Kako uspešno so nosilci znanj v industriji 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, šlo 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.

Tudi mi ne spimo na lovorikah. Obljubljam, da bo Industrijski forum IRT tudi v prihodnje 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 2021

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 2021

<http://bit.ly/zbornik2021>



VSEBINA

Strokovni prispevki foruma

TRAJNOSTNA TRANSFORMACIJA POSLOVANJA – slovenska praksa

Alenka HREN

SPIRIT Slovenija 1

Drugi dan - DVORANA 1

TRENDI V IZDELAVI KAROSERIJSKIH DELOV AVTOMOBILOV

Aleš ADAMLJE, Pavel OBLAK

HELLA SATURNUS SLOVENIJA d.o.o. 7

IZZIVI PRI INDUSTRIALIZACIJI KOMPONENT ZA PREDNJI DEL AVTOMOBILA

Pavel OBLAK, Aleš ADAMLJE

HELLA SATURNUS d.o.o. 11

NOVE TEHNOLOGIJE NA PODROČJU BRIZGANJA PLASTIKE

Matija OBOLNAR

HELLA SATURNUS SLOVENIJA d.o.o. 15

RECIKLIRANJE POLIKARBONATA

Blaž NARDIN

Fakulteta za tehnologijo polimerov 21

DOLOČEVANJE ZAOSTALIH NAPETOSTI PRI BRIZGANJU AMORFNIH POLIMEROV

Miroslav HUSKIĆ¹, Tamara ROZMAN¹, Blaž NARDIN¹, Kristjan KREBELJ², Dragan KUSIĆ³

¹ Fakulteta za tehnologijo polimerov

² "Tehnoplast", Anton Krebelj s.p.

³ TECOS, Razvojni center orodjarstva 25

TERMOPLASTIČNI KOMPOZITI Z VISOKO TOPLOTNO PREVODNOSTJO

Teja PEŠL, Silvester BOLKA, Rebeka LORBER, Tamara ROZMAN, Rajko BOBOVNIK, Blaž NARDIN

Fakulteta za tehnologijo polimerov 29

BIOKOMPOZIT IZ RECIKLIRANEGA POLIPROPILENA IN ODPADNEGA PAPIRJA

Silvester BOLKA, Teja PEŠL, Rebeka LORBER, Tamara ROZMAN,
Rajko BOBOVNIK, Miroslav HUSKIĆ
Fakulteta za tehnologijo polimerov

..... 33

ODPADNA BIOMASA KOT OJAČEVALO ZA TERMOPLASTIČNI ELASTOMER

Silvester BOLKA, Teja PEŠL, Rebeka LORBER, Tamara ROZMAN,
Rajko BOBOVNIK, Blaž NARDIN
Fakulteta za tehnologijo polimerov

..... 39

Drugi dan - DVORANA 2

CELOVITA REŠITEV »OMRON ANYFEEDER« ZA AVTOMATSKO DOZIRANJE, SEGMENTIRANJE IN SORTIRANJA IZDELKOV NA PROIZVODNI LINIJI

Matjaž KOVAČIČ, Andrej ROTOVNIK
MIEL, d.o.o.

..... 45

NOVI SODELUJOČI ROBOTI Z APLIKATIVNIMI REŠITVAMI

Danijel ČOSIĆ, Tomaž LASIČ, Robert LOGAR
ABB d.o.o.

..... 51

ROBOTSKA CELICA ZA LASERSKO VARJENJE NIZKO SERIJSKIH IZDELKOV Z 3D VODENIM LASERSKIM ŽARKOM NA OSNOVI 3D SCANA OBJEKTA

Dr. Hubert KOSLER, Damian ŠIRAJ, Peter ARKO, Erih ARKO
YASKAWA Slovenija d.o.o., YASKAWA Ristro d.o.o.

..... 57

KOLABORATIVNI IN INDUSTRIJSKI ROBOTI – ČESA SI ZARES ŽELIMO, KOLABORATIVNOSTI ALI HITROSTI ROBOTOV?

Jan KRAMŽAR, Tim VRBANČIČ
INEA RBT – oprema za avtomatizacijo, d.o.o.

..... 63

ROBOTSKA CELICA ZA VARJENJE S LASERJEM

Franc ŽABERL
FANUC Adria d.o.o.

..... 69

**NADZOR OBRABE ORODJA ZA ZUNANJE STRUŽENJE NA PODLAGI
TERMOGRAFIJE IN KONVOLUCIJSKE NEVRONSKE MREŽE**

David POTOČNIK, Nika BRILI, Mirko FICKO, Simon KLANČNIK

Fakulteta za strojništvo, Univerza v Mariboru 71

**RAZVOJ AVTOMATSKEGA STROJA ZA TKANJE
MALOSERIJSKIH IZDELKOV IZ ŽICE**

Rok JESENEK¹, Peter JELENKO², Gašper GANTAR³

¹ Žična Kovina, d. o. o., ² Peter Jelenko, s. p.

³ Visoka šola za proizvodno inženirstvo 77

**TEHNOLOGIJA REZANJA Z LEDNIM VODNIM CURKOM: IZZIVI IN
PRILOŽNOSTI ZA SLOVENSKO STROJEGRADNJO**

Joško VALENTINČIČ¹, Andrej LEBAR^{1,2}, Suzana VINETIČ¹, Pavel

DREŠAR¹, Izidor SABOTIN¹, Marko JERMAN¹

¹ Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo

² Univerza v Ljubljani, Zdravstvena fakulteta 81

Drugi dan - DVORANA 3

**INDEKS PRIPRAVLJENOSTI PROIZVODNIH PODJETIJ
NA INDUSTRIJO 4.0**

Iztok PALČIČ, Robert OJSTERŠEK, Borut BUCHMEISTER

Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo 87

**RAČUNALNA TOMOGRAFIJA (CT) ZA NEDESTRUKTIVNO
DIMENZIONALNO ISPITIVANJE PROIZVODA**

Josip KOS, Petra OKOVIĆ, Nenad DRVAR

Topomatika d.o.o. 93

**SIM SOLID - RAPID ITERATIONS WITHOUT MESHING FOR
STRUCTURAL ANALYSIS**

Elena Mazilu

Altair Engineering Inc. (SUA) 97

ADVANCED PLANNING AND SCHEDULING IN JAKSCHE TECHNOLOGY

Igor GRUDEN¹, Benjamin HAMZIĆ¹, Heidrun ANDRE²

¹ CADCAM Group

² JAKSCHE Technology d.o.o. 101

INTEGRITETA PODATKOV KOT KLJUČ ZA CELOSTNO ZAGOTAVLJANJE

KVALITETE V PROIZVODNEM PROCESU

Peter KORENČAN¹, Cevin CIULLO², Dušan BOŽIČ¹

¹ Inden d.o.o.

² 2iqs Software GmbH 107

PAMETNO MAZANJE

Gregor PODOBNIK

ABC Maziva d.o.o. 113

THINMANAGER - NAPREDNA REŠITEV ZA DISTRIBUCIJO VSEBIN V INDUSTRIJSKEM OKOLJU

Jože PERKO, Peter SKOPEC

ControlTech d.o.o. 117

OPTIČNO MERJENJE V SERIJSKI PROIZVODNJI

Damir KARIČ

odelo d.o.o. 121

UPORABA PROGRAMA GOM INSPECT PRI POOBDELAVI REZULTATOV RAČUNALNIŠKE TOMOGRAFIJE

Tomaž BRAJLIH, Špela EKSELENSKI VUZEM

Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo 125

Drugi dan - DVORANA 4

INCREASING COMPETITIVENESS IN HIGH PRESSURE DIE CASTING WITH ADDITIVE MANUFACTURING

Armin WIEDENEGGER¹, Günther PRUNNER², Bostjan NOTAR³

¹ voestalpine Additive Manufacturing Center GmbH,

² voestalpine High Performance Metals International GmbH

³ voestalpine d.o.o., Slovenia 129

OPTIMIZACIJA BRIZGANJA POM Z METODO FLASH DSC

Rebeka LORBER¹, Gašper BERGANT², Silvester BOLKA¹, Miroslav HUSKIĆ¹, Blaž NARDIN¹

¹ Fakulteta za tehnologijo polimerov

² Polycom Škofja Loka d.o.o. 135

**UNIOR SLEDI TRENDOM ELEKTRO-MOBILNOSTI IN
AVTOMATIZACIJE**

V AVTOMOBILSKI INDUSTRIJI

Bogdan KUKOVIČ

Unior Strojgradnja d.o.o.

..... 139

**GET RID OF ISSUES DURING MOLDING PROCESS BY USING
NEW DIMENSION OF MOLD TEMPERATURE MANAGEMENT**

Cem Baris ÖZGÜVEN, Jörn SENGELAUB

CONTURA-MTC GmbH

..... 145

**INOVATIVNI RAZVOJ IN IZDELAVA KOMPLEKSNEGA
PROGRESIVNEGA ORODJA ZA SERIJSKO PROIZVODNJO
POLIZDELKOV IZ VISOKO TRDNOSTNE**

PLOČEVINE Z INTEGRIRANIM VALJANJEM NAVOJEV

Marko KLINC, Marko LAH, Miha LEBIČ, Elvis NUHANOVIČ

Gorenje Orodjarna, d. o. o.

..... 149

**PRESKOK IZ MIG/MAG VARJENJA V VISOKO PRODUKTIVEN
3D TISK KOVIN**

Aljaž ŠČETINEC¹, Damjan KLOBČAR¹, Drago BRAČUN²

¹ UL, Fakulteta za strojništvo, Laboratorij za varjenje

² UL, Fakulteta za strojništvo, Laboratorij za proizvodno kibernetiko
in eksperimentiranje

..... 153

EMISIJE DELCEV PRAHU PRI VARJENJU NERJAVNEGA JEKLA

Nenad PETIČ¹, Aleš NAGODE¹, Milana ILIĆ MIĆUNOVIČ², Mirza
IMŠIROVIČ¹,

Damjan KLOBČAR³, Zorana TANASIĆ⁴, Igor BUDAK², Lovro CIGIČ¹,
Borut KOSEC^{1, 3}

¹ Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta

² Univerza v Novem Sadu, Fakulteta tehničnih znanosti

³ Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo

⁴ Univerza v Banja Luki, Fakulteta za strojništvo

..... 161

**RAZVOJ, IZDELAVA IN KLINIČNI PREIZKUS PO MERI NAREJENEGA
KOLČNEGA VSADKA ZA PACIENTA Z VELIKIM KOSTNIM DEFEKTOM**

Urška KOSTEVŠEK ŠEGULA¹, Igor DRSTVENŠEK¹, Tomaž BRAJLIH¹,
Matjaž VOGRIN², Andrej MOLIČNIK²

¹ Fakulteta za strojništvo Univerze v Mariboru

² Univerzitetni klinični center Maribor

..... 167

**INDUSTRIJSKA UPORABNOST VEČKOMPONENTNIH MEŠANIC IN
APLIKACIJE Z DODATKOM DUŠIKA PRI OBLOČNEM VARJENJU**

Edvard BJELAJAC

Messer Slovenija d.o.o.

..... 171

SODELUJOČI NA INDUSTRIJSKEM FORUMU IRT

..... 175

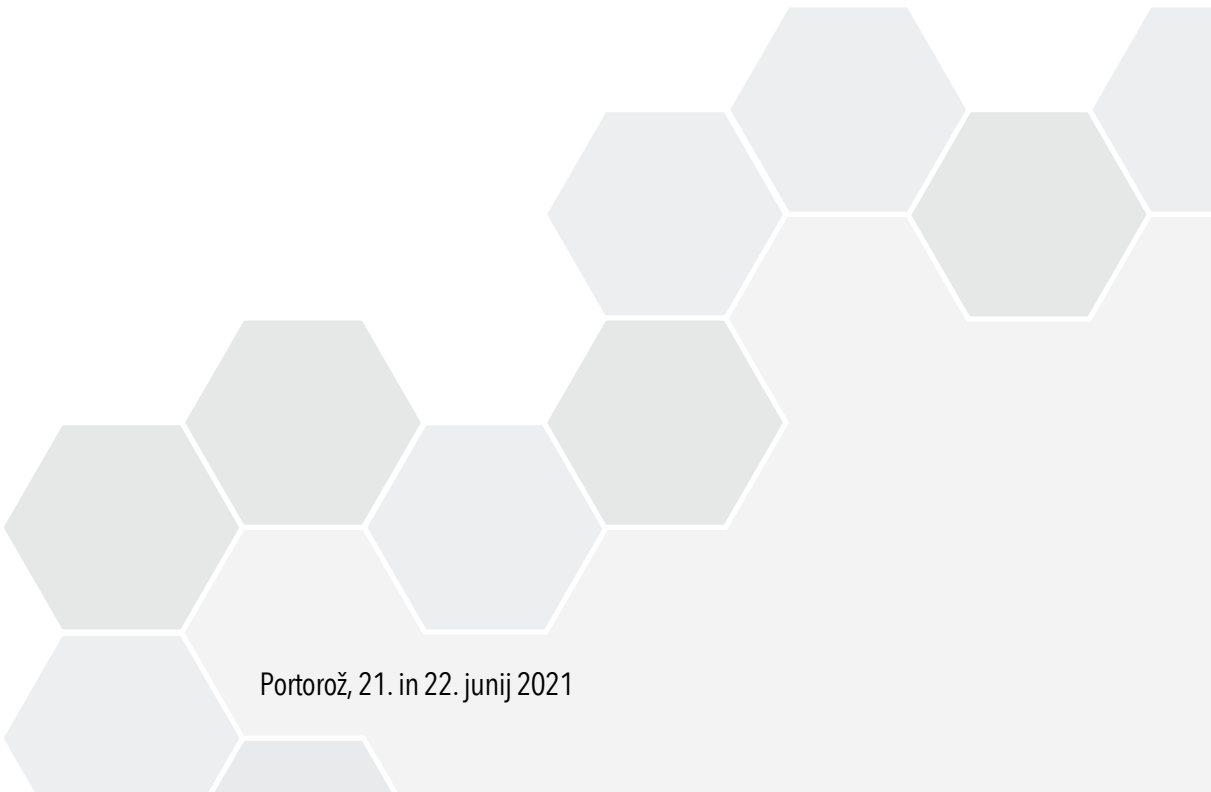
KOMERCIALNI OGLASI PODJETIJ

..... 181

INDUSTRIJSKI
FORUM
IRT
2021

STROKOVNI PRISPEVKI

Portorož, 21. in 22. junij 2021



TRAJNOSTNA TRANSFORMACIJA POSLOVANJA – slovenska praksa

Alenka HREN
SPIRIT Slovenija

Kako poslovati v času tveganj in negotovosti?

Globalne spremembe narekujejo nove oblike poslovne realnosti, ki so pogojene z zavezami trajnostnemu poslovanju in bivanju.

Po svetu se podjetja ne sprašujejo več o tem, ali je za uspešno pot naprej potrebna nova naravnava smeri poslovnih strategij in poslovnih modelov, pač pa, kako to storiti. Številna to transformacijo že uspešno izvajajo in vstopajo v prihodnost z nujnim upoštevanjem trajnostnih zavez. Veliko podjetij v Sloveniji že sodeluje ali si želi sodelovanja z največjimi, najboljšimi, najmočnejšimi partnerji, ki pa v večini svojim partnerjem narekujejo sprejem trajnostnih zavez in vrednot.

Trajnostno naravnano poslovanje je zato že vrsto let ključna tema, trend in pravzaprav edina pot naprej - zaradi naraščajočih tveganj in sprememb, ki so jim podjetja izpostavljena z globalnim segrevanjem planeta ter drugih radikalnih sprememb ekosistemov in družbenih matrik delovanja. Vse boljša ozaveščenost kupcev o tem, kaj kupujejo, tertransparentnost delovanja, ki jo zagotavljajo moderne komunikacijske tehnologije, pa jasno sporočata, da vztrajanje pri starem načinu delovanja, predstavlja možnost za dodatna tveganja, ki lahko podjetja močno ovirajo pri poslovanju in napredku.

Prav z integracijo trajnostnih vidikov (odnos do okolja, ljudi, ekonomskega razvoja) v vsa področja poslovanja in strateškega razvoja ima podjetje najboljšo možno pot do stabilnega poslovanja v prihodnosti.

Kaj so trenutni dejanski razlogi ali motivacija za trajnostno transformacijo poslovanja ?

Po dosedanjih izkušnjah s podjetji v Sloveniji lahko opredelimo dva ključna razloga za začetek trajnostne strateške transformacije poslovanja.

Prvi so pogoji oz. zahteve, ki jih narekujejo globalne verige vrednosti ali naročniki - tu so se podjetja primorana trajnostno naravnati.

Drugi, zaenkrat še v manjšini, pa je dejstvo, da podjetje - torej vodstva in lastniki - že sama prepoznajo osebne vrednote in vrednote podjetja ter želijo uravnorežiti ambicijo poslovne uspešnosti z ambicijo zniževanja negativnih in povečevanja pozitivnih vplivov na okolje, ljudi in ekonomsko skupnost, v kateri delujejo. Hkrati pa so že prepoznala tudi tveganja, ki jih prinašajo globalne spremembe.

V zadnjem letu pa je bila eden od močnih sprožilcev transformacije tudi kriza, povezana s pandemijo. Mnoga podjetja so razmere i potisnile v kot, da so se znašla na robu preživetja, bodisi se jim je poslovanje tako povečalo, da so težko obvladovali pospešeno rast. Tako so nenadne zunanje izredne razmere številna podjetja pahnila v stanje negotovosti, saj so se z uvedbo izrednih razmer porušili dosednji vzorci poslovanja in bivanja.

Prikrita tveganja so šibke točke

Podjetja so poleg strateških akutnih tveganj, ki jih povzročajo različne okoliščine (npr pandemija ali gospodarske krize, soočajo tudi z bolj skritimi »kroničnimi« tveganji in stroški« ki se navezujejo neposredno na tri vidike v poslovanju **okolje, zaposlene ter ekonomsko skupnost**, na katere

pa podjetja doslej niso bila dovolj pozorna in so jih največkrat reševala reaktivno.

Prav ta skrita tveganja so »šibke točke«, ki bodo v prihodnje predstavljala velike zavore v razvoju, in vzroke za propad ali pa bodo ob ustreznem saniranju sprožilci napredka in rasti.

Primeri skritih tveganj povezanih z odnosom do okolja so: rast cen surovin in materialov zaradi pomanjkanja naravnih virov, propadanje ekosistemov, klimatske spremembe, konfliktnost izvora rudnin. To posledično povzroča tudi nestabilnost dobaviteljskih verig in tveganja v obvladovanju nabavnih procesov podjetja.

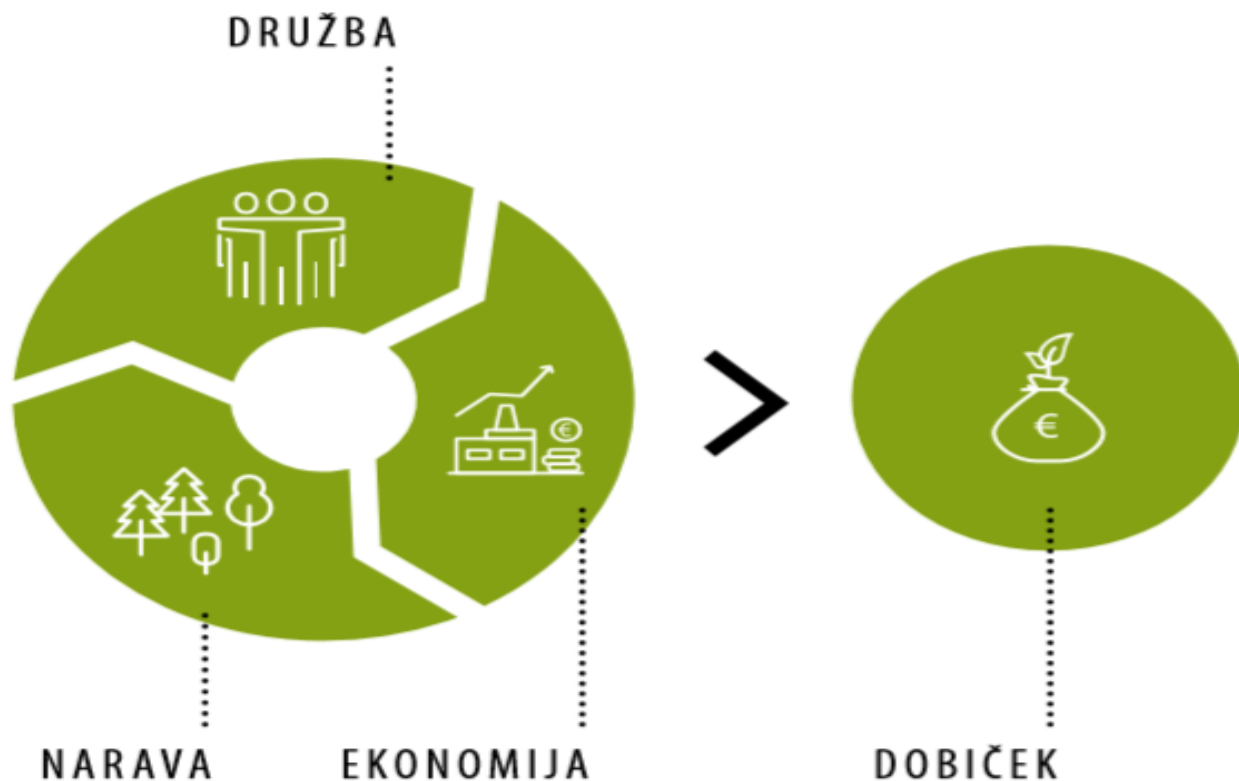
Skrite stroške in tveganja povzročajo tudi negativni vplivi, ki jih podjetja sama pri svojem poslovanju že povzročajo okolju (npr. ravnanje z odpadki), na podlagi katerih že plačujejo zelo visoke dajatve in celo kazni. Prav tako neoptimalni izkoristek materiala in surovin povzroča dodatne stroške.

Skrb za dobrobit zaposlenih mora postati ključna komponenta poslovanja. Kjer prakse ravnanja z

ljudmi pri delu niso transparentne in pravične, odhajajo ključni kadri, kar povzroča skrite stroške. Zadovoljstvo in vrednost zaposlenih v podjetju lahko predstavljata izjemno odskočno desko podjetja pri nadaljnjem razvoju in napredku. Zadovoljni zaposleni so lahko največji promotorji in najboljša blagovna znamka podjetja, lahko pa so dodatni skriti stroški dela, če se jim ne posveča dodatna skrbi.

Prav tako je ključnega pomena prispevek podjetij k ekonomskemu razvoju skupnosti, kamor štejemo: vključenost podjetja in odvisnost od stabilnosti v vseh dobaviteljskih in verigah vrednosti, ter vpliv, ki ga ima poslovanje podjetja na širšo ekonomsko skupnost (lokalno, nacionalno, globalno) pri ustvarjanju novih delovnih mest, vpliv na družbeni razvoj in dobrobit vseh, vpliv na zakonodajo

Na razsežnost posledic teh treh dimenziji skritih tveganj že močno vplivata tudi izjemna transparentnost delovanja družbe, ki je povezana s komunikacijsko tehnologijo, ter ozaveščenost in pričakovanja s strani kupcev. Prav kupci sami



pozicionirajo blagovne znamke produktov in storitev na osnovi poslovnih odločitev podjetij. Odločitve kupcev vedno bolj temeljijo na odgovorih na vprašanje: **So poslovne odločitve podjetja predvsem usmerjena v zviševanje dobička ali pa sprejemajo zgolj takšne poslovne odločitve, ki bodo zniževala negativne vplive in povečevala pozitivne vplive na okolje, ljudi in na ekonomski razvoj skupnosti?**

Trajnostna strateška transformacija poslovanja podjetij zato postaja nuja in naslavlja vse te vidike tveganj. Če se podjetje odloči za trajnostno prenovo poslovanja, mora trajnostne vidike delovanja vpeljati v vse procese poslovanja, določiti jasne strateške in operativne cilje, izvedbene aktivnosti ter kazalnike, s katerimi meri svojo trajnostno in poslovno uspešnost.

Trajnostna poslovna strategija ter kazalniki trajnostne in poslovne uspešnosti

Logična pot do trajne poslovne uspešnosti, ki temelji na trajnostnih vrednotah za podjetje pomeni, da poslovno strategijo in poslovne modele transformira v celoti v trajnostno smer. Trajnostna strategija ni ločena strategija, kot na primer strategija razvoja kadrov ali informatike, temveč je to celovita poslovna strategija, ki jo podjetje zastavi na novo. Skladno s tem so postavljeni tudi vsi kazalniki uspešnosti. Podjetje si postavi ločene kazalnike uspešnosti na posameznem trajnostnem področju, ki pa vedno vključuje okoljski, družbeni in ekonomski vidik, posledično pa seveda finančni vidik.

Primer okoljskega kazalnika uspešnosti na letni ravni lahko predstavlja odstotek skrajšanih ključnih poslovnih procesov, odstotek povečane porabe letne energije iz obnovljivih virov, odstotek znižanja skupne porabe vode, odstotek povečane uporabe materialov, ki so pridobljeni iz snovnih tokov ... Uspešnost na daljši rok pa lahko zmerimo z odstotkom zmanjšanja skupnega ogljičnega odtisa.

Pri družbenem vidiku trajnosti na primer spremljamo število komunikacijskih projektov, s katerimi podjetje komunicira svoje trajnostno delovanje, odstotek zaposlenih, ki aktivno sodelujejo v trajnostnih projektih, odstotek delovnih mest, za katere so bile izvedene ocene tveganja za poslabšanje poklicnega zdravja in varnosti. Dolgoročni učinek, ki se meri, pa je na primer število družbenih problemov, ki so se izboljšali na osnovi inovativnih trajnostnih projektov podjetja.

Na področju ekonomskega razvoja na kratek rok lahko izmerimo število dobaviteljev, ki so vpeljali trajnostne kodekse poslovanja, število partnerstev z lokalnimi podjetji, število lokalnih start up podjetij, ki jih je podjetje podprlo tako ali drugače. Dolgoročni vidik uspešnosti pa merimo na primer s številom ustvarjenih novih delovnih mest v lokalnem okolju, v izboljšani kupni moči lokalnega okolja...

Kazalnike finančne uspešnosti na kratek rok lahko merimo z odstotkom zmanjšanja stroškov porabe energije oz. vode oz. primarnih surovin na enoto oz. izdelek in z odstotkom rasti skupnih čistih prihodkov od prodaje trajnostnih produktov. Na dolgi rok pa na primer prihranke na račun nižje fluktuacije zaposlenih in odstotek rasti dodane vrednosti na zaposlenega.

To je samo nekaj primerov - vsako podjetje ima svoje specifike. Vsako podjetje nastavi svoje kazalnike glede na svoj produkt oz. storitev in glede na obliko podjetja.

Če ima podjetje z vstopom na pot trajnostnega poslovanja iskrene in jasne namene, lahko na dolgi rok ta, sicer zahtevna pot prinese izjemne poslovne rezultate. To se odraža na vseh ravneh procesa, tudi pri postavljanju kazalnikov, kjer gre za odgovoren proces. Če podjetje jasno in namensko postavi kazalnike, ki bodo podajali

realna dejstva, je to lahko pobuda za ukrepanje, izboljšanje, spreminjanje in sprejemanje odgovornosti, pa tudi vseh posledic.

Potrebno pa se je zavedati, da je Izboljšanje trajnostne in finančne uspešnost hkrati težko verjetna na kratek rok. Učinki, ki so posledica trajnostnega delovanja, se ne pokažejo takoj, zato je pomembno za podjetja, da to razumejo in ustrezno naravnajo svoja pričakovanja.

Izzivi na poti so povezani z vložki, procesi, vodenjem, verodostojnim in iskrenim komuniciranjem z vsemi vključenimi deležniki - zunanji in notranji, ter skrbno kontrolo in upravljanjem s povratnimi informacijami.

To je večinoma tek na dolge proge, ki pa ob pravilnem odmerjanju in doziranju kapacitet, pravih odločitvah in obvladovanju tveganj na poti ter vztrajnosti prinaša dosti boljše finančne rezultate. Zaupanje v proces, tudi če cilj v tem trenutku ni viden, je ključnega pomena. Vodstvo mora tukaj odigrati ključno vlogo.

Povzetek: Kdaj podjetje posluje trajnostno?

Ko uravnoteži ambicije po poslovni uspešnosti/profitu z ambicijo zniževanja negativnih in s povečanjem pozitivnih vplivov na okolje, zaposlene, družbo in ekonomsko skupnost (znotraj podjetja in izven) ter ko v ekonomskem razvoju upošteva skrb za lokalni/regionalni ekonomski razvoj in nova delovna mesta. Torej, ko pri strateško-razvojnem načrtovanju in poslovnih odločitvah vključuje in ocenjuje morebitne posledice na trajnostne vidike vseh področij poslovanja.

Trajnostna strateška poslovna transformacija v slovenski praksi

V Sloveniji se je že veliko podjetij zavestno odločilo za prevetritev svojega načina poslovanja in vpeljati trajnostne vidike v vsak segment

procesov. Podjetja se seveda tega lotevajo na različne načine. Večina se je tega lotilo zgolj na enem segmentu oz. na razvojni - produktni ravni in je bil pogoj podan s strani kupcev oz. s pozicioniranjem v globalnih verigah vrednosti.

Le manjši delež podjetij pa je k temu pristopilo celovito oz. strateško.

SPIRIT Slovenija, javna agencija, je aktivno pristopila k uvajanju celovitega in strateško naravnane trajnostnega poslovanja že v začetku leta 2016 z dveletnim pilotnim projektom »Vzpostavljanje trajnostnih poslovnih strategij in poslovnih modelov v praksi«. Pri projektu je sodelovalo devet slovenskih podjetij, izbranih preko javnega poziva, ki so prva stopila na pot strateške trajnostne transformacije.

Ta podjetja so: M Sora, trgovina in proizvodnja d.d., Lumar IG d.o.o., Iskraemeco, merjenje in upravljanje energije d.d., Hotel Sava Rogaška d.o.o., Engrotuš podjetje za trgovino d.o.o, Anton Blaj d.o.o., Sij d.d., Steklarna Rogaška d.o.o., Talum d.d.

Pilotni proces je pokazal nujnost, da se slovenska podjetja začnejo intenzivno ozaveščati, razumeti pomen in priložnosti trajnostne transformacije poslovanja. Na podlagi izjemnih rezultatov in učinkov, ki jih je dosegel pilotni projekt, je SPIRIT Slovenija predlagal širši program podpore za obdobje 2019 – 2022, ki bo skozi trajnostno strateško transformacijo poslovanja popeljal **vsaj 60** dodatnih malih in srednje velikih podjetij. Do danes je bilo preko javnega razpisa v procese trajnostne strateške transformacije vključenih že **51 podjetij**.

Spoznanja iz prakse:

- Zrelost, ozaveščenost in motivacija vodstva ter lastnikov za tovrstno transformacijo je ključnega pomena za uspešno strateško transformacijo. Motiv,

ki je botroval procesu, se v procesu pokaže kmalu. Vodstvo, ki je zrelo, je sposobno soočanja s spoznanji tekom procesa, odkrivanja šibkih točkami, ki jih je potrebno najprej sanirati, da lahko podjetje poišče in nastavi nove sprožilce trajnostnega in poslovnega napredka.

- Zavedanje nujnosti trajnostnega poslovanja je v podjetjih na različnih stopnjah, razumevanje trajnostnega poslovanja in neposredna povezanost z izboljšanjem finančne uspešnosti podjetja je pogosto pomanjkljivo.
- Podjetja se še vedno premalo soočajo s svojimi lastnimi šibkimi točkami. V izrednih razmerah pa se prav te šibke točke nazorno prikažejo in povzročajo dodatne probleme in tveganja. Zato je sprotno prepoznavanje the šibkosoti ter ustrzeno reševanje težav izjemno pomembno.
- Izjemnega pomena je tudi prilagoditev načina izvedbe procesa transformacije glede na lastnosti podjetja, kot so dejavnost, velikost, lastniška struktura ... Pri vseh pa je pomembno vključevanje čim širše skupine zaposlenih na vseh korakih procesov. Izgradnja zaupanja ter zaveznitvo vseh zaposlenih za uresničevanje strateških trajnostnih usmeritev sta bistveni in se lahko odvijeta samo skozi procesu.
- Precejšen delež podjetij - predvsem malih in srednjih - nima postavljenih dolgoročnejših poslovnih strategij, poslovni modeli pa so velikokrat izdelani zgolj v idejah vodstva ali pa so ostali zapisani kje v predalih. Posledično niso postavljeni realni kazalniki uspešnosti, pomanjkljivo je spremljanje in zato tudi ni pravočasnega ukrepanja. Če želi podjetje jasno in namensko postaviti kazalnike, ki bodo podajali realna dejstva, je to lahko

pobuda za ukrepanje, izboljšanje, spreminjanje in sprejemanje odgovornosti - tudi za vse posledice. Merjenje in spremljanje sta nalogi, ki se morata konsistentno izvajati.

- Za uspešno poslovanje v prihodnosti se vse bolj kaže izjemen pomen hitrega zaznavanja sprememb in tveganj ter s tem možnosti za pravočasno ukrepanje.

Zrelo, trajnostno voditeljstvo temelji na skrbi za dobrobit zaposlenih, graditvi in prepoznavanju njihove vrednosti, vključevanju in graditvi zaveznitva za doseganje poslovnih ciljev.

Zaključek:

Nova poslovna realnost že prinaša negotovosti v vseh pogledih delovanja družbe in okolja. V zadnjem letu smo se vsi, hote ali nehoti, znašli v procesu transformacije na vseh ravneh, osebni in poslovni.

Vprašanje je, ali bomo osebno kot poslovno transformacijo zavestno upravljali mi sami, ali pa bomo prepustili okoliščinam, da upravljajo nas, medtem pa bomo brez pravega nadzora drveli po napačni poti.

Pomembno je, da poiščemo, ozavestimo vse šibke točke poslovanja, jih začnemo obvladovati in transformirati v nove sprožilce trajnega napredka. Obnovimo stare in postavimo boljše, čvrstejše temelje poslovanja, na katerih bo lahko rasel **naš napredek v dobro vseh -narave, ljudi in skupnosti.**

TRENDI V IZDELAVI KAROSERIJSKIH DELOV AVTOMOBILOV

Aleš ADAMLJE, Pavel OBLAK
HELLA SATURNUS SLOVENIJA d.o.o.

IZVLEČEK

Karoserijski deli avtomobilov določajo videz vozila in vplivajo na njegovo prepoznavnost. Oblike avtomobilov postajajo drznejše in s tem zmanjšajo izbiro možnih tehnologij za izdelavo karoserijskih delov. Električna vozila in razvoj sistemov za avtonomno vožnjo prinašajo nove pristope v oblikovanju in izdelavi karoserijskih delov in izdelkov na področju svetlobne opreme avtomobila.

Z razvojem električnih avtomobilov pridobivajo pomembnost karoserijski deli iz materialov nizke gostote, ki jih je mogoče reciklirati in omogočajo znižanje mase avtomobila ob enakih ali boljših mehanskih lastnostih. Z namenom zniževanja stroškov in ohranjanja konkurenčnosti proizvajalcev avtomobilov na globalnem trgu so vse bolj prisotne zahteve po izdelavi večfunkcijskih delov. Ti na eni strani z združevanjem funkcij omogočajo zmanjšanje števila karoserijskih elementov, po drugi strani pa so vanje integrirani dodatni elementi s funkcijo osvetlitve ali sistemi za pomoč pri avtonomni vožnji. V članku so prikazani trendi razvoja večfunkcijskih dekorativnih karoserijskih delov za sprednji in zadnji del avtomobila, izdelanih iz polimernih materialov, ki v zadnjih letih nadomeščajo karoserijske elemente iz ostalih materialov. Enostavna predelava, možnost oblikovanja prosto površinskih oblik, integracija posebnih geometrij ter možnost integracije dodatnih elementov prinašajo dobaviteljem večfunkcijskih karoserijskih delov iz polimernih materialov prednosti in hkrati nove izzive na področju razvoja in industrializacije.

Na koncu članka je predstavljen primer osvetljene maske avtomobila, za kar smo v podjetju razvili svetilo, namenjeno osvetlitvi sprednjega dela avtomobila med vožnjo ali pri odpiranju in zapiranju vrat.

1 UVOD

V zadnjih letih je avtomobilska panoga zaradi zahtev po zmanjšanju izpustov in prihoda vozil z različnimi stopnjami avtonomnosti podvržena velikim spremembam. Ključni trendi (slika 1) so elektrifikacija, avtonomnost, "car share", povezljivost avtomobilov in zahteva po redni posodobitvi programske opreme vozil. Zahteve po znižanju emisij plinov silijo proizvajalce v razvoj električnih avtomobilov. Uporaba umetne inteligence, nevronske mreže in strojnega učenja postaja ključna pri uvajanju avtonomnih avtomobilov, prav tako pa je za avtonomnost pomembna povezljivost avtomobilov s prometno infrastrukturo, z zunanjim svetom in med samimi avtomobili. Da bi to dosegli, bodo v prihodnje na avtomobilih potrebne redne posodobitve programske opreme. S sodobnimi trendi in z izzivi se spreminjajo tudi navade potrošnikov. Najem vozila, "car share" in naročilo vozila na

dom na zahtevo, bodo izpodrinili klasičen nakup vozila. [1]

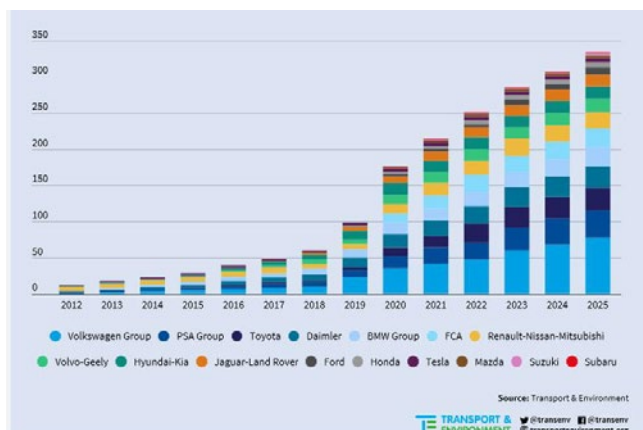
Elektrifikacija	Znižanje emisij škodljivih delcev, prahu in hrupa.
Avtonomnost	Uporaba umetne inteligence, strojnega učenja in nevronske mreže.
"Car share"	Naročilo vozila na dom "na zahtevo".
Povezljivost avtomobilov	Povezava med avtomobili in s prometno infrastrukturo. Povezava z zunanjim svetom.
Posodobitev programske opreme	Redna posodobitev programske opreme → najem in ne več nakup avtomobila

Slika 1: Ključni trendi v avtomobilski panogi. Prirejeno po [1]

Električna in (delno) avtonomna vozila so povzročila velike spremembe tudi na področju izdelave karoserijskih delov vozil. Ti postajajo večji, oblika sprednje maske avtomobila se je spremenila, saj ni več potrebe po hladilnih

odprtinah, hkrati so vanje integrirane svetlobne funkcije in funkcije, ki omogočajo delno avtonomno vožnjo.

Delež modelov električnih vozil v proizvodnem programu posameznih proizvajalcev je vsako leto večji. Na sliki 2 je prikazano število modelov električnih vozil po proizvajalcih, ki naj bi na ceste zapeljala do leta 2025.



Slika 2: Število modelov električnih vozil na evropskem trgu po posameznih letih [2]

V letu 2018 je bilo na evropskem trgu 60 modelov električnih avtomobilov, število se bo v letošnjem letu že povzpelo nad 200, po napovedih pa se bo v letu 2025 povečalo na približno 330 modelov. Z največjim številom različnih modelov električnih vozil izstopa skupina VW [2].

Proizvajalce avtomobilov k pospešenemu uvajanju električnih modelov silijo cilji EU po znižanju povprečnih izpustov CO₂ na 95g/km za avtomobile proizvedene v letošnjem letu [2]. K pospešenemu uvajanju električnih modelov vozil do leta 2025 proizvajalce silijo tudi cilji Uredbe EU 219/631, ki zahteva, da se povprečne emisije CO₂ med letoma 2025 in 2029 znižajo za 15 odstotkov [3].

Pomemben trend v avtomobilski panogi je tudi avtonomija avtomobilov, ki ima velik vpliv na izdelavo sprednjih in zadnjih karoserijskih delov avtomobila.

Z uvajanjem avtonomnih avtomobilov se kompleksnost in zahtevnost karoserijskih delov, še posebej sprednjega dela avtomobila, povečujeta. Uvedba avtonomnih vozil (slika 3) bo izboljšala varnost na cestah, onesnaževanje okolja bo manjše, povečala se bo dostopnost gibalno

oviranim osebam, prinesla bo nova delovna mesta in gospodarsko rast [3]. Avtonomijo vožnje v vozilih po standardu SAE J3016 razdelimo na pet stopenj (slika 4). Pri prvi stopnji avtonomnosti so vgrajeni sistemi za pomoč vozniku pri krmiljenju vozila, pospeševanju in upočasnjevanju, voznik pa je v celoti sam odgovoren za spremljanje okolice vozila ter v celoti kontrolira vozilo v nujnih primerih. Pri drugi stopnji avtonomije voznik spremlja okolico in prevzame kontrolo v nujnih primerih, pri tretji stopnji avtonomnosti, ki jo imenujemo tudi pogojna avtonomija, pa voznik prevzame kontrolo nad vozilom le v nujnih primerih. Pri četrti stopnji voznik prevzame delno kontrolo v nujnih primerih, v peti stopnji pa je vožnja povsem avtonomna [4].



Slika 3: Prednosti avtonomnih vozil [4]



Slika 4: Stopnje avtonomne vožnje [4]

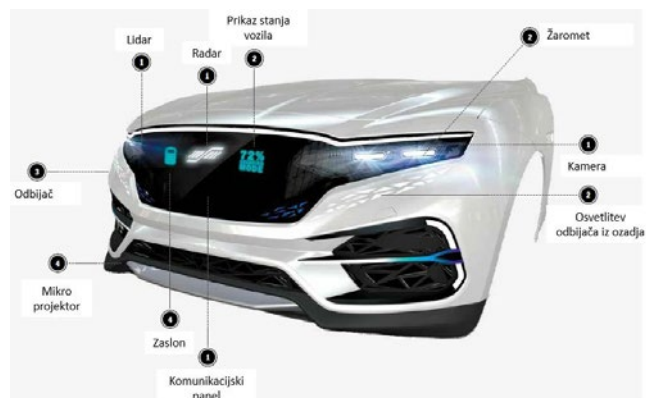
Dizajn avtomobilov se je s prihodom električnih vozil in z uvajanjem novih svetlobnih funkcij drastično spremenil. Na sliki 5 so prikazani primeri sprednjih mask avtomobilov z motorjem z notranjim izgorevanjem, električnih avtomobilov in avtomobilov v prihodnosti.



Slika 5: Razvoj sprednjega dela avtomobila. Prirejeno po [5]

2 TRENDI V RAZVOJU KAROSERIJSKIH DELOV AVTOMOBILA

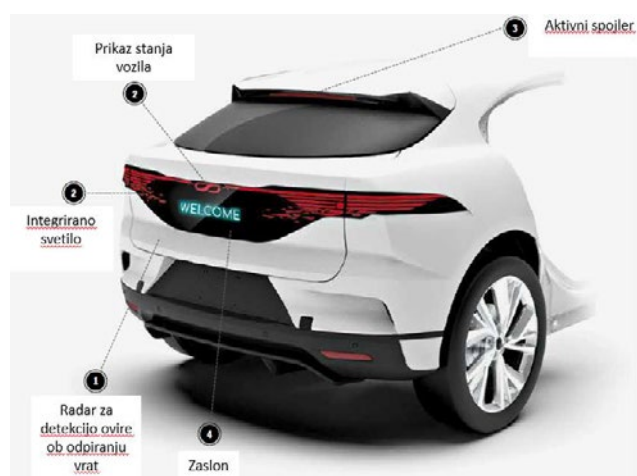
Z razvojem električnih in avtonomnih vozil so se spremenile tudi zahteve za karoserijske dele na sprednjem in zadnjem delu vozila. Sistemski dobavitelji so se začeli povezovati, da bi lahko zadostili zahtevam kupcev. Že v letu 2019 je podjetje Plastic Omnium, ki je specializirano za izdelavo delov za sprednji in zadnji del vozila, predstavilo prototip pametnega sprednjega in zadnjega dela vozila, ki ga je izdelalo v sodelovanju z dobavitelji senzorjev in svetlobne opreme. Na sliki 6 je predstavljen pametni sprednji del vozila z integrirano masko in z vgrajenim lidarskim senzorjem, radarskim senzorjem, s kamero ter z ostalimi senzorji, ki komunicirajo z okolico in s prometno infrastrukturo ter omogočajo delno ali povsem avtonomno vožnjo. V sprednji del avtomobila so integrirani tudi LED-žarometi ter mikro projekcijski modul in zaslon za prikaz različnih sporočil o vozilu in prometu, ki s tem dodata funkcijo interaktivnosti z ostalimi udeleženci v prometu. Te rešitve nam omogočajo individualnost, večjo varnost in boljšo aerodinamičnost. Poleg tega nov pristop v oblikovanju sprednjega dela avtomobila omogoča izdelavo atraktivnih oblik ob enaki ali boljši funkcionalnosti sklopa. [6]



Slika 6: Pametni sprednji del avtomobila. Prirejeno po [6]

Na zadnjem delu avtomobila (slika 7) so v sklop dodatno vgrajeni informacijski zaslon, radar za zaznavo ovir pri odpiranju prtljažnih vrat ter zadnje svetilke, dodatna zavorna svetilka in dodatna "Welcome light" svetilka.

Novi način oblikovanja sprednjih in zadnjih karoserijskih delov vozila poudarja individualnost, ki omogoča izdelavo več variant. Integracija posameznih sklopov v sprednji del avtomobila zmanjša število sestavnih delov in hkrati poveča kompleksnost ter poveča odgovornost dobavitelja sklopa. Zaradi kompleksnosti sklopa je potrebno sodelovanje dobaviteljev posameznih komponent sklopa že v zgodnji fazi razvoja izdelka, da se med razvojem upoštevajo priporočila in omejitve glede vgradnje posameznih komponent v sklop.



Slika 7: Pametni zadnji del avtomobila. Prirejeno po [6]

3 PRIMER IZDELKA

V razvoj in proizvodnjo izdelkov in sestavov je dejavno vključeno tudi naše podjetje. Kot specialisti za proizvodnjo in razvoj manjših svetil smo po naročilu naročnika uspešno razvili prvo svetilko za osvetlitev sprednje maske (Illuminated radiator grill) avtomobila, predstavljenega na sliki 8. Svetilka je LED-izvedbe z več LED-izvori in dvema svetlobnima vodnikoma, ki zagotavljajo željeno osvetlitev. Sveti ob odpiranju in zapiranju vrat ali med samo vožnjo. Razvoj in zagon proizvodnje svetilke sta predstavljala velik izziv zaradi oblike in velikosti izdelka, specifičnih zahtev kupca glede dizajna ter visokih zahtev glede homogenosti razporeditve svetlobe in položaja vgradnje v vozilo. Z optimizacijo koncepta izdelka v fazi razvoja, izbiro ustreznih materialov ter optimiranjem postopkov izdelave in montaže smo proizvodni proces dvignili na pričakovano raven ter izpolnili vse zahteve kupca.



Slika 8: Sprednja osvetljena maska avtomobila z vgrajeno svetilko [7]

4 SKLEP

Dobavitelji v avtomobilski panogi so v zadnjih letih postavljeni pred veliko izzivov. Manjšanje emisij in uvajanje avtonomnosti v vozilih sta v avtomobilsko panogo prinesli povsem nove zahteve – po trajnostnem razvoju, urbanizaciji in digitalizaciji, ki od dobaviteljev terjajo nova znanja in nenehno prilagajanje trgu. Poudarek v razvoju je na oblikovno dovršenih, okolju prijaznih, varčnih in varnih vozilih. Dobavitelji postajajo pomembni razvojni partnerji proizvajalcev avtomobilov. Spremljanje razvoja, sledenje zahtevam kupcev, osvajanje novih tehnologij in optimizacija proizvodnih procesov so stalnica in ključni za preživetje dobaviteljev na globalnem trgu. Za uspešno uvedbo novih izdelkov in rešitev na trgu so nujno potrebni partnersko sodelovanje, zgodnje vključevanje v razvoj novih izdelkov in sklopov in pravočasno deljenje potrebnih informacij. Sodelovanje vseh partnerjev in usmerjenost k skupnemu cilju, v vseh fazah razvoja izdelka, sta temelja za dober izdelek.

Viri:

- [1] Five trends transforming automotive industry (2021, 23. april). Pridobljeno na: <https://www.pwc.com/gx/en/industries/automotive/assets/pwcfive-trends-transforming-the-automotive-industry.pdf>
- [2] Electric surge: Carmakers car plans across Europe 2019–2025 (2021, 23. april). Pridobljeno na: <https://www.transportenvironment.org/publications/electric-surge-carmakers-electric-car-plans-across-europe-2019-2025>
- [3] Zmanjšanje emisij CO2 iz novih osebnih avtomobilov in novih lahkih gospodarskih vozil (2021, 23. april). Pridobljeno na: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/TXT/HTML/?uri=LEGISSUM:4396542>
- [4] Samovozeči avtomobili v Evropi: od znanstvene fantastike do realnosti (2021, 23. april). Pridobljeno na: <https://www.europarl.europa.eu/news/sl/headlines/economy/20190110STO23102/samovozecci-avtomobili-v-evropi-od-znanstvene-fantastike-do-realnosti>
- [5] NISSAN USA (2021, 23. april). Pridobljeno na: www.nissanusa.com
- [6] Plastic Omnium: Let's shape the future of mobility (2021, 23. april). Pridobljeno na: <https://www.plasticomnium.com/wp-content/uploads/2021/01/plastic-omnium-annual-report-2019-en.pdf>
- [7] Illuminated radiator grille from HELLA gives Sports Activity Coupé an unmistakable look (2021, 23. april). Pridobljeno na: <https://www.hella.com/hella-com/en/press/Technology-Products-27-01-2020-18611.html>

IZZIVI PRI INDUSTRIALIZACIJI KOMPONENT ZA PREDNJI DEL AVTOMOBILA

Pavel OBLAK, Aleš ADAMLJE
HELLA SATURNUS d.o.o.

IZVLEČEK

Sodobni trendi v avtomobilski industriji se močno odražajo tudi na sprednjih delih avtomobilov. Tu se povečuje prostor namenjen izražanju ter integraciji obstoječih in novih funkcionalnosti. Elementi se združujejo, postajajo večji, dodajajo se nove funkcije, hkrati pa raste tudi pomembnost dekorativnega aspekta. Omenjeno posledično vpliva tudi na tehnologije, uporabljene za izdelavo tovrstnih elementov. Kompleksnost produktov poleg uporabe dobro znanih tehnologij zahteva tudi vpeljavo novih. Prispevek oriše sodobne trende in ob tem tudi izzive, ki direktno vplivajo na uporabljene tehnologije.

1 UVOD

Trendi, ki jih postavlja sodobna avtomobilska industrija, se močno odražajo tudi na sprednjih delih avtomobilov. To je še posebej opazno pri električnih vozilih, kjer z opustitvijo hladilnih rež ta del vozila postane prostor z zelo visokimi zahtevami dekorativne narave. Poleg tega pa je na tem predelu stalnica tudi integracija obstoječih in novih funkcionalnosti.

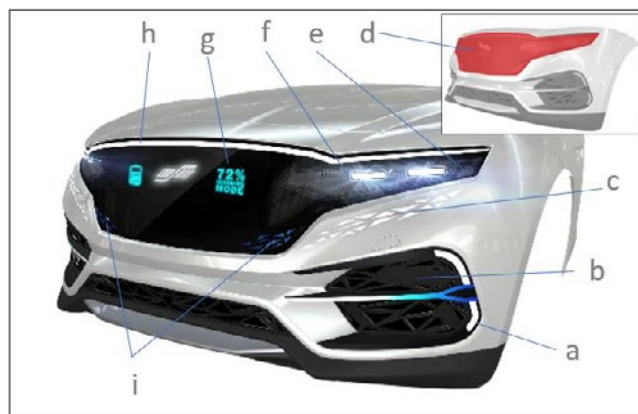
Brizgani izdelki postajajo veliki, njihova oblika pa zelo kompleksna. Vse pogosteje se pojavljajo tudi zahteve po združevanju elementov, ki so do sedaj imeli ločene funkcije.

Vse omenjeno pa posledično postavlja velik izziv pri industrializaciji tovrstnih komponent.

2 VIZIJA PREDNJEGA DELA SODOBNEGA AVTOMOBILA

Smer v katero stremijo sodobni trendi na področju sprednjih avtomobilskih delov dobro prikaže "SmartFACE" demonstrator, razvit v sodelovanju podjetij PlasticOmnium in HELLA [1] (Slika1). Gre za produkt, ki združuje vse elemente sprednjega dela vozila in tudi njihove funkcije. Najbolj očitni sta funkciji, ki sta ju do sedaj opravljal odbijač in svetlobna oprema, se pa za predstavljenim produktom skriva še več.

Dnevne svetilke so integrirane v odbijač (Slika1-a), prav tako ob njih najde mesto radar, sicer skrit v ozadju in tako neopazen (Slika1-b).



Slika 1: Plastic Omnium - HELLA "SmartFACE" demonstrator, povzeto po [1, 2]

Posebnost so tudi smerniki (Slika1-c), ti so integrirani za prekrivno oz. dekorativno plastjo odbijača in ob delovanju popolnoma nevidni. Ob delovanju tako svetloba prodre iz navidezno nefunkcionalne površine.

Posebej gre izpostaviti osrednji del, imenovan tudi "Pametni panel" (Slika1-d), ki se razprostira skoraj do bokov vozila. Ta ob straneh vključuje krajne kamere (Slika1-e) ter glavne žaromete, združene s kotnimi svetilkami (Slika1-f). V centralnem predelu so integrirani sistemi kot npr. radar, lidar in kamere. Poleg omenjenih sistemov pa je v centralnem delu nameščen tudi zaslon (display) (Slika1-g). Ta je ob delovanju neviden, ob delovanju pa je njegov namen sporočanje raznih obvestil okolici, kot npr. da pešcu na prehodu sporoči, da se vozilo ustavlja

oz. da se ne ustavlja, ali lastniku, da je baterija polna, lahko pa ga tudi pozdravi ob prihodu in ob odhodu od vozila.

Poleg omenjenega pa ima osrednji del na zgornjem robu umeščen svetlobni rob (Slika1-h), ki ima lahko poleg dekorativne funkcije tudi funkcijo parkirne luči. Dekorativni efekt dopolnjuje navidezna 3D struktura na spodnjem robu osrednjega dela (Slika1-i).

Tik pod osrednjim delom je integriran tudi sistem za čiščenje že prej opisanih elementov.

Poleg omenjenega je potrebno izpostaviti in poudariti tudi vse večje zahteve dekorativnega aspekta kot na primer barve, globinske efekte, sijoče ali mat površine, kovinski izgled v raznih odtenkih in tako dalje.

3 IZZIVI PRI IZDELAVI PREDNJEGA DELA SODOBNEGA AVTOMOBILA

3.1 Serijski produkt izdelan na limitah "klasičnih" tehnologij

Za boljšo ponazoritev izzivov pri izdelavi prednjega dela vozila, lahko najprej v primerjavo prej predstavljeni viziji vzamemo trenutno najbližji serijski produkt, ki je izdelan na limitah "klasičnih" tehnologij v tovrstni industriji. To je prednja plošča vozila Nissan Leaf (Slika 2).



Slika 2: Prednji del avtomobila Nissan Leaf [3]

Gre za element, ki je nameščen med žarometi in predstavlja t.i. masko avtomobila. S svojo konstrukcijo in površino kovinskega izgleda ustvarja 3D efekt dekorativne narave, v ozadju pa se skriva tudi radar namenjen detekciji spredaj vozečega vozila. Četudi je ta element daleč od

enostavnega in je izdelan na limitah "klasičnih" tehnologij, pa trendi stremijo k še kompleksnejšim izdelkom, kar predstavlja še dodatne izzive dobaviteljem v tej branži.

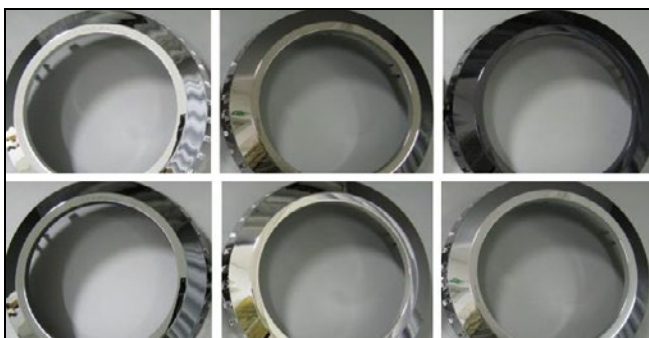
3.2 Izzivi, ki jih postavljajo sodobni trendi

Če v primerjavo vzamemo prej predstavljeni primera, verjetno lahko kot najbolj očiten izziv izpostavimo velikost izdelka. Trend narekuje izdelke dolžin, ki se približujejo širini avtomobila in imajo lahko širino tudi nekaj deset centimetrov. Debelina njihove stene meri nekaj milimetrov ali pa je celo spremenljiva. Če temu dodamo, da so produkti v osrednjem delu vozila največkrat izdelani iz polikarbonata, lahko rečemo da brizganje teh velikosti vsekakor predstavlja enega večjih izzivov.

Poleg velikosti pa izziv pri brizganju predstavlja tudi kompleksna geometrija izdelkov. Na trgu se pojavlja vse več zahtev po tridimenzionalnih efekti, torej detajlih, ki izdelku dodajo t.i. globino. Ti detajli so sicer dekorativne narave, a jim kupci pripisujejo zelo visoko vrednost. En od načinov doseganja tega efekta je dejanska "tridimenzionalna geometrija", kar v praksi lahko pomeni tudi spreminjanje debeline stene. Če to dodamo prej omenjeni velikosti izdelkov, to pomeni povečanje izziva pri brizganju.

Med željami kupcev vse pogosteje prihajajo v ospredje tudi barve, in sicer v obsegu, ki presega dosegljivo z več-komponentnim brizganjem, tampotiskom in podobnim. Izpostavimo lahko več primerov, na primer ujemanje z barvo vozila, razne napise ali večbarvne površine brez ostrih prehodov med posameznimi barvami. Lahko pa se barve uporabljajo tudi za ustvarjanje navidezne tridimenzionalne geometrije. Ker govorimo o vizualnem izgledu, je smiselno omeniti tudi zahteve in posledično izzive pri doseganju mat in sijočih izgledov, sploh če se ta efekta prepletata oz. si delita isto površino izdelka.

Poleg barv omenimo še površine kovinskega izgleda (Slika3). Pojavljajo se zahteve in posledično izzivi pri doseganju raznih odtenkov, kot na primer izgled aluminija, srebra, kroma, volframa itd.



Slika 3: Nekaj različnih primerov kovinskih izgledov

Ko govorimo o barvah, o kovinskih izgledih ter na splošno o vseh uporabljenih materialih, je izredno pomembno omeniti, da morajo vse plasti izdelka omogočati propustnost za "signale" radarja, lidarja in drugih senzorjev. Največji izziv tu predstavlja doseganje kovinskega izgleda v raznih odtenkih, saj kovina v osnovi predstavlja prepreko za tovrstne signale.

Če se dotaknemo radarskih sistemov, je potrebno izpostaviti trend, ki narekuje izvedbo gretja površin pred radarjem. Namen tega je zagotavljanje nemotenega delovanja tudi v zimskih razmerah. Integracija grelnega vezja sama po sebi predstavlja izziv, dodaten problem pa je to izvesti tako, da grelno vezje s svojo prisotnostjo ne moti delovanja radarskega sistema, pred katerim je nameščeno.

Posebnost, ki jo prinašajo trendi, je tudi osvetljevanje kot dekorativni efekt, predvsem lahko tukaj izpostavimo osvetljevanje "iz ozadja". Lahko gre za primere, pri katerih je določen predel stalno osvetljen, v določenih primerih pa je svetlobni vir skrit za npr. metalizirano ali barvno površino. V tem primeru je ob nedelovanju neviden, ob delovanju pa svetloba prodre skozi površino. Vsekakor je pri tem poseben izziv zagotovitev vizualno enake površine na predelu, kjer se v ozadju skriva svetilka in na predelu kjer je ni, seveda govorimo o času, ko svetilka ni v delovanju.

Nenazadnje moramo zunanje elemente, ki so izdelani iz polikarbonata, tudi zaščititi pred zunanjimi vplivi, torej biti morajo lakirani. Ta proces je sicer ustaljena praksa, a zahtevnost zavisi od kompleksnosti vsakega izdelka posebej. Ko pa preidemo na produkte velikosti kot že večkrat omenjeno, proces postane velik izziv, že kot prvo lahko omenimo na primer velikost

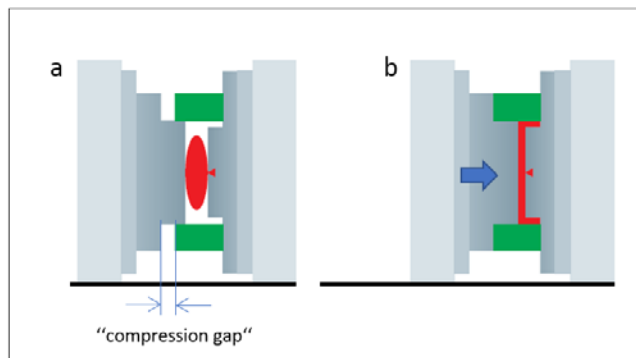
lakirnih linij, te v tovrstni industriji niso prilagojene izdelkom teh velikosti.

Izzivi, omenjeni v tem poglavju, so le peščica najbolj očitnih. Vsekakor sodobni trendi povzročajo še mnoge druge izzive, ki so lahko povezani z omenjenimi ali pa tudi ne, določene bolj očitne druge manj.

4 TEHNOLOGIJE UPORABLJENE PRI IZDELAVI PREDNJEGA DELA AVTOMOBILA

Zahtevnost prihajajočih elementov sprednjega dela avtomobila, poleg uporabe dobro znanih tehnologij, zahteva tudi vpeljavo novih. Prispevek v nadaljevanju predstavi nekaj najbolj očitnih, ki so že prisotne v tovrstni industriji.

Kot prvo je smiselno izpostaviti injekcijsko kompresijsko brizganje. Ta tehnologija omogoča brizg v delno "odprto" kaviteto, torej odprto za t.i. "compression gap" (Slika4-a). Vzpostavitev naknadnega tlaka v tem primeru nadomesti faza kompresije (Slika4-b), kjer se orodje zapira ter s tem ustvari tlak v kaviteti.



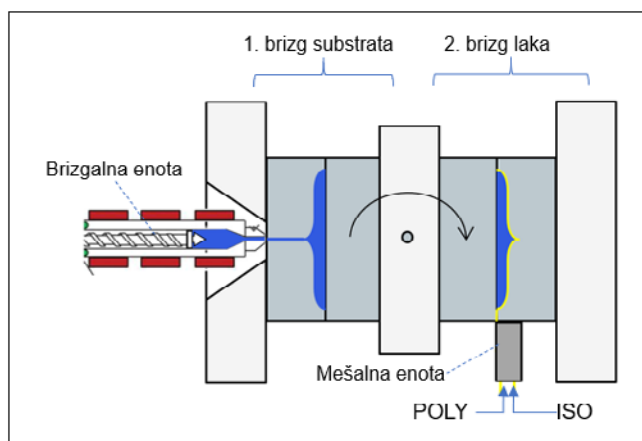
Slika 4: Shema principa kompresijskega injekcijskega brizganja, povzeto po [4]

Na ta način je ustvarjen tlak bolj homogen kot pri klasičnem injekcijskem brizganju. Brizg v delno "odprto" orodje in način vzpostavitve tlaka v kaviteti, z več vidikov, pozitivno vpliva na kvaliteto izdelka. Samo obvladovanje tehnologije ni enostavno, prav tako morata biti tehnologiji prirejena tudi konstrukcija izdelka in orodja. Izdelavo slednjega pa zaradi njegove zahtevnosti trenutno obvladuje le redkokateri orodjar. Poleg naštetega pa implementacija tehnologije zahteva še dodatno, ustrezno opremo brizgalnih strojev. Navkljub vsem izzivom pa ta tehnologija

omogoča izdelavo določenih geometrij, ki jih ni mogoče izdelati s klasičnim injekcijskim brizganjem.

Naslednja tehnologija je tehnologija brizganja s folijami. Ta tehnologija sicer ni nova, je pa nova na področju kompleksnejših izdelkov, kot je npr. prvi del avtomobila. Pri tej se najprej 2D folija potiska po željah kupca, lahko se aplicira tudi grelni ali drugo vezje, nato pa se predoblikovano ali ne, odvisno od oblike izdelka, vstavi v orodje ter se preko nje nabrizga plastično maso. Za zahtevne izdelke je proces potrebno združiti s prej opisanim kompresijskim brizganjem.

K zmanjšanju števila operacij v verigi izdelave pa lahko doprinese tehnologija lakiranja v orodju, z uporabo le-te se je moč izogniti koraku lakiranja na lakirnih linijah. Princip je najlažje ponazoriti s podobnostjo z dvo- ali večkomponentnim brizganjem, kjer eno od komponent predstavlja lakirno sredstvo (Slika5).



Slika 5: Shema principa lakiranja v orodju

Na nosilni del izdelka se, ponavadi v zadnji fazi, vbrizgata komponenti laka, le-ti se združita ob vbrizgu, zamreževanje pa poteka v orodju po izvedenem vbrizgu. Tehnologija podaja kar nekaj konstrukcijskih omejitev izdelka in orodja, omogoča pa dosego "končnega" kosa takoj po vbrizgu. Seveda je tudi ta tehnologija pogojena z ustrežno dodatno opremo.

Poleg opisanih tehnologij mora proizvajalec implementirati še mnogo drugih, kot naprimer vakumsko metalizacijo, barvanje, lasersko odstranjevanje in graviranje, tiskanje, topli tisk s folijo, tampotisk, varjenje, lepljenje itd.

Predstavljene tehnologije so le nekatere od potrebnih za sledenje zahtevam na področju sprednjih delov modernih avtomobilov in vsekakor ne predstavljajo celotnega nabora. Izbrano je bilo nekaj najbolj očitnih, ki se jih nekateri dobavitelji že poslužujejo. Kljub temu da so te že v uporabi, pa njihovo obvladovanje že samo po sebi predstavlja velik izziv.

5 SKLEP

Trendi, ki jih postavlja sodobna avtomobilska industrija, se močno odražajo tudi na sprednjih delih avtomobilov. Brizgani izdelki postajajo veliki, njihova oblika pa zelo kompleksna. Vse pogosteje se pojavljajo tudi zahteve po združevanju elementov, ki so do sedaj imeli ločene funkcije.

Vse to postavlja dobavitelje komponent v tovrstni branži pred velike izzive, ki so premagljivi le z inovativnimi pristopi in predvsem s posluževanjem novih tehnologij in tudi tehnologij, ki do sedaj niso bile značilne za tovrstno panogo.

Ob vsem tem pa je potrebno dodati še, da vse opisano posredno vpliva tudi na dobavitelje tehnologij, ki s svojim razvojem prav tako sledijo potrebam trga.

Viri:

- [1] Plastic Omnium -HELLA "SmartFACE" demonstrator, (<https://www.plasticomnium.com/wp-content/uploads/2021/01/plastic-omnium-news-clepa-innovation-awards-en.pdf>)
- [2] Compagnie Plastic Omnium SE: *Let's shape the future of mobility*, Annual report 2019, France, March 2020
- [3] Prednji del avtomobila Nissan Leaf, (<https://www.autobild.de/bilder/nissan-leaf-2019--11769399.html#bild1>)
- [4] Scharpf P.: Injection Compression Molding in a Stack Mold, *Kunststoffe international* 10(2015), str. 89–91.

NOVE TEHNOLOGIJE NA PODROČJU BRIZGANJA PLASTIKE

Matija OBOLNAR
HELLA SATURNUS SLOVENIJA d.o.o.

IZVLEČEK

Trendi, ki jih postavlja sodobna avtomobilska industrija, pogosto predstavljajo velik izziv za dobavitelje plastičnih komponent. Pojavljajo se zahteve po produktih vse večjih dimenzij ter kompleksnejših oblik in to preko meje izvedljivega s tehnologijami, ki so do sedaj veljale kot klasične v tovrstni panogi.

Kot omenjeno, brizgani izdelki postajajo veliki, pogosto spremenljivih debelin ali pa njihova oblika postaja zelo kompleksna. Pojavljajo se tudi visoke zahteve po raznih efektih dekorativne narave. Poleg izzivov pri brizganju, pa velikost in kompleksnost produktov predstavljata tudi izziv za nadaljnjo obdelavo. Nenazadnje je potrebno izpostaviti še ekonomičnost, saj kljub vsemu omenjenemu še vedno ostaja prisotna težnja po čim hitrejši in čim bolj ekonomični proizvodnji.

V prispevku so predstavljene nove tehnologije na področju brizganja plastike, ki so nujne za premagovanje zgoraj navedenih izzivov. Dve izmed teh sta injekcijsko kompresijsko brizganje in brizganje s folijami. Prva omogoča proizvodnjo produktov večjih dimenzij, z drugo pa lahko dosegamo kompleksnejše vizualne ali dodatne funkcionalne učinke. V obeh primerih je smiselna ali celo nujna implementacija kaskadnega brizganja z nadzorom odpiranja toplih šob. Ko govorimo o ekonomičnosti procesa pa se prispevek dotakne tudi dinamičnega gretja/hlajenja ter orodij sistema "family".

1 UVOD

S prihodom električnih avtomobilov in razvojem avtomobilov za avtonomno vožnjo, avtomobil poleg funkcije prevoza pridobiva še ogromno drugih funkcij. Avtomobil postaja oglasni medij, saj bo uporabljen za prikazovanje reklamnih sporočil. Zaradi tega bodo v zunanje komponente avtomobila vgrajeni LCD ekrani.



Slika 1: Koncept avtonomnega vozila Toyota [1]

Avtomobili za avtonomno vožnjo bodo opremljeni s kamerami in LCD ekrani, preko katerih bodo pešcem sporočili njihov namen.

Prav tako avtomobil postaja sredstvo za razvajanje. Notranjost avtomobila postaja razkošna, z najrazličnejšimi pripomočki potnikom. Avtomobil lahko primerjamo z mobilom. Osnovna funkcionalnost avtomobila, prevoz potnikov, postaja le del ponudbe avtomobila. Avtomobil postaja dnevna soba, pisarna, prostor za druženje, itd. Zaradi potreb trga prihaja do velikih premikov tudi na področju brizganja plastike. Novi produkti zahtevajo razvoj novih materialov in tehnologij. Opisal bom nekaj tehnologij, s katerimi se srečujemo v podjetju Hella Saturnus Slovenija d.o.o..



Slika 2: Koncept avtonomnega vozila Smart [2]

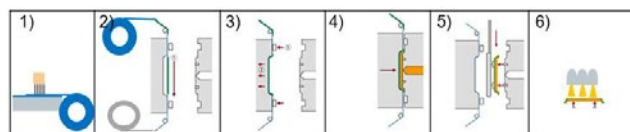
2 BRIZGANJE FOLIJ

Uporaba dekorativnih folij v avtomobilski industriji se je začela na izdelkih v notranjosti avtomobila. Sprva je bil glavni namen folij zgolj dekorativna poživitev avtomobila. Z razvojem folij in tehnologij za njihovo izdelavo so se folije začele uporabljati tudi na izdelkih, kateri imajo poleg dekorativnega namena tudi funkcionalni namen. V tem primeru govorimo o raznih tipkah ali ploščah, katere v celoti ali delno presevajajo svetlobo. S tem se je notranjost avtomobila zelo spremenila. Ko lučke za označitev vklopljene funkcije ne gorijo, imajo plošče videz črne barve, ko pa se prižgejo, se opazi le napis funkcije. V notranjosti avtomobila uporabo dekorativnih folij najdemo v števcih, dekorativnih ploščah, svetilkah za razsvetljavo notranjosti avtomobila in ostalih dekorativnih delih. Primer folije, ki ima funkcijski namen, je grelna folija. Ta je nosilni del električnega grelca.

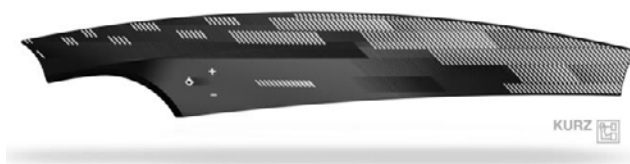
Pri uporabi folij so se razvile različne tehnologije, kot so IMD (In Mould Decoration), IML (In Mould Labelling), FIM (Film Insert Moulding) in kombinacija dveh. Vsaka tehnologija ima svoje prednosti in slabosti in se uporablja glede na zahteve izdelka.

2.1 Tehnologija IMD (In Mould Decoration)

Pri tej tehnologiji gre za prenos inka iz folije na brizgani izdelek. Folija je izdelana iz nosilnega dela in potiskanega dela. Folija je neskončne dolžine in je navita na kolut. Brizgalni stroj je opremljen z napravo za podajanje folije. Folija teče med brizgalno in izmetalno stranjo orodja. Ko se orodje zapre, je potrebno folijo fiksirati. To se naredi s pomočjo mehanskega pritiska po obodu in s pomočjo vakuuma po površini gravure. Folija se prilagodi obliki gravure in sledi brizganje nosilnega dela izdelka. Ko se orodje odpre, se folija premakne za eno delitev. Odvzetemu izdelku iz orodja sledi utrjevanje površine, z namenom povečanja odpornosti na praske. Tehnologija je primerna za 2D in 2,5D izdelke. Za bolj kompleksne izdelke, velikih globin in majhnih kotov ta tehnologija ni primerna. Glede ekonomičnosti, je uporaba IMD tehnologije smiselna le v primeru velikih količin.



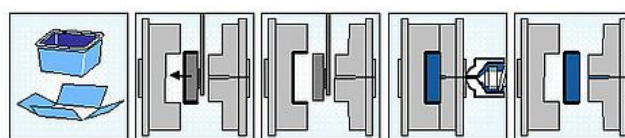
Slika 3: Prikaz procesa brizganja s folijo, s tehnologijo IMD [3]



Slika 4: Izdelek izdelan s tehnologijo IMD [4]

2.2 Tehnologija IML (In Mould Labelling)

Ta tehnologija se uporablja pretežno v embalažni industriji, pri izdelavi tankostenske embalaže. Osnovno folijo se potiska in natančno obreže. Vloži se jo v orodje. V orodju se jo fiksira s pomočjo statične elektrike ali pa vakuuma. Sledi brizganje tankoslojnega nosilnega izdelka in izvzame iz orodja. Ker se ta tehnologija uporablja v embalažni industriji, kjer so časi ciklov zelo kratki, je potrebna uporaba avtomatizacije, da se zagotovi maksimalna izraba časa.



Slika 5: Prikaz procesa brizganja s folijo, s tehnologijo IML [5]



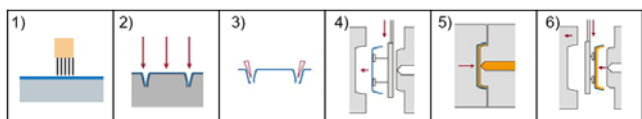
Slika 6: Vedro izdelano po postopku IML [6]

2.3 Tehnologija FIM (Film Insert Moulding)

Ta tehnologija je primerna za izdelavo izdelkov bolj zahtevnih oblik. Ker je folija pred-oblikovana, so izdelki lahko bolj globoki in imajo manjše snemalne kote. Še vedno pa ostajajo določene omejitve, katere je potrebno upoštevati

pri konstruiranju izdelkov, za uporabo folij. Folije so kemično in mehansko bolj odporne, hkrati pa omogočajo izgled teksture in »soft touch-a«.

Na osnovno folijo se natiska fleksibilen ink. Sledi pred-oblikovanje folije s tehnologijo »termo-oblikovanja« ali pa s tehnologijo »visokotlačnega oblikovanja«. Sledi utrjevanje površine in obrez. Tako pred-pripravljeno 3D folijo vstavimo v orodje, kjer jo ustrezno pozicioniramo in fiksiramo. To običajno naredimo s pomočjo vakuuma. Sledi brizganje nosilnega dela izdelka in odvzemanje iz orodja. Tako dobimo končen izdelek, ki ga po potrebi še površinsko utrdimo.

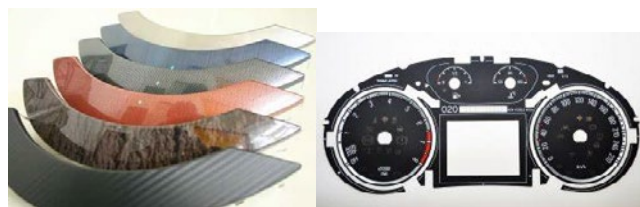


Slika 6: Prikaz procesa brizganja s folijo, s tehnologijo FIM [3]

FIM tehnologija omogoča, da jo uporabimo tudi na izdelkih za zunanost avtomobila. Da zagotovimo dolgo življenjsko dobo in funkcionalnost izdelka, je potrebno take izdelke zaščititi pred zunanjimi vplivi, kot so UV svetloba, odpornost na površinske praske ter na odpornost kemikalij. Zato se take izdelke zaščiti s prozornimi laki, ki to omogočajo. V Helli to tehnologijo uporabljamo tako za izdelavo izdelkov za notranjost, kakor tudi za zunanost avtomobila.

Poleg same folije, je potrebno poznati tudi posebnosti na področju izdelave orodja za brizganje ter procesa brizganja in s tem povezano strojno opremo. Brizganje izdelkov z uporabo tehnologije FIM je zelo specifično. Folija mora biti pravilne oblike in natančno obrezana. Končni obrez folije mora biti določen na osnovi optimizacije procesa brizganja skupaj s folijo. Folija se med procesom brizganja razteza in guba, kar prispeva h končni obliki in dimenziji folije. V primeru, da imamo zunanje robove izdelka vidne, je potrebna prilagoditev obreza zunanje oblike. Ker je dekorativna folija izdelana s postopkom nanosa inka, se med brizganjem lahko zgodi, da talina ink odplakne in tako nastane dekorativna napaka. Da se temu ognemo, je potrebna optimizacija procesa brizganja. V skrajnem primeru je potrebno najti tudi dodatno rešitev v orodju ali pa na sami foliji. Lahko bi se celo

zgodilo, da bi bilo potrebno korenito spremeniti konstrukcijo izdelka, kar pa ima neposreden vpliv na sam izgled. Ker je to resnično zadnja opcija, lahko da pa tudi ne, moramo vse napore usmeriti v optimizacijo procesa brizganja in orodja. Do tega znanja lahko pridemo le s preizkušanjem. V primeru zahtevnejših projektov, ali pa v primeru, da nimamo dovolj znanja in izkušenj, je nujno potrebno izdelati prototipno orodje (ki je na las podobno serijskemu) in začeti s testiranjem in optimizacijo. Vzporedno pa poteka razvoj končnega izdelka. Ker je nosilni del izdelka skrit za dekorativno folijo, obstaja možnost, da se uporabi reciklirani material ali pa tehnologija MuCell, ki omogoča manjšo porabo materiala in hkrati lažji izdelek.

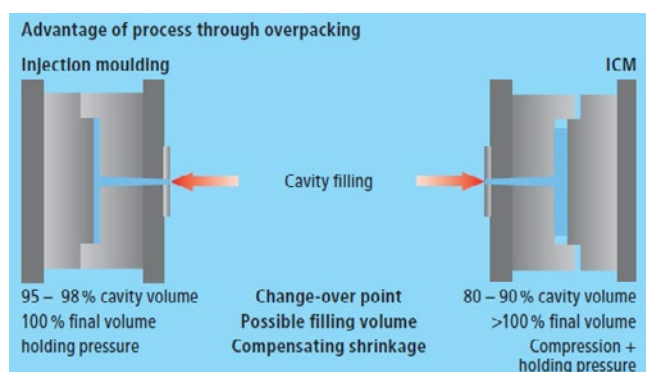


Slika 7: Izdelki izdelani s tehnologijo FIM [7, 8]

3 INJEKCIJSKO KOMPRESIJSKO BRIZGANJE

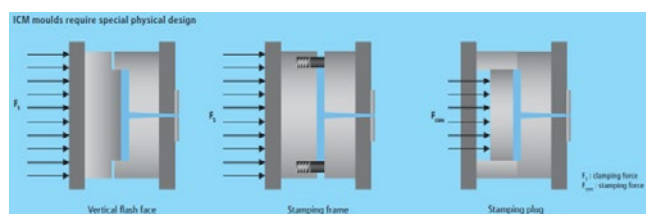
Kompresijsko brizganje je že dolgo poznana tehnologija, ki pa se vse bolj uporablja. Uporabna je v primeru brizganja debelostenskih izdelkov ali pa v primeru brizganja izdelkov spremenljivih debelin. Zaradi svojih prednosti se lahko uporablja tudi za brizganje navidezno enostavnih izdelkov. Prednosti kompresijskega brizganja so: manjši tlaki brizganja in posledično manjše notranje napetosti v izdelku, enakomerno porazdeljeni tlaki taline v orodju in uporaba višjih naknadnih tlakov. Naknadni tlak ustvarimo preko zapiralne sile stroja in je zato večji, kot preko brizgalne enote. Višji naknadni tlaki nam omogočajo izdelavo izdelkov večjih debelin, brez posedanja. To pride v poštev pri brizganju optičnih elementov, kateri morajo biti pravilnih dimenzij, da lahko zagotavljajo predvideno svetilnost. Prav tako je kompresijsko brizganje najbolj primerno v primeru spremenljivih debelin izdelka. Na ta način lahko izdelamo funkcionalne in dekorativno sprejemljive izdelke, brez posedanja. S tehnologijo kompresijskega

brizganja zagotovimo enakomernejše tlake taline v orodju. To pomeni enakomernejše krčenje izdelka in posledično manjše zvijanje. Izdelki izdelani s to tehnologijo so dimenzijsko bolj natančni, med seboj pa bolj ponovljivi. Zaradi bolj odprtega orodja v času brizganja, lahko brizgamo daljše izdelke, ne da bi za to potrebovali več dolivnih mest. Manjši tlaki v orodju pa nam dovoljujejo uporabo manjših brizgalnih strojev. S tem pa povečamo svojo konkurenčnost na trgu.



Slika 9: Prikaz procesa brizganja s tehnologijo kompresijskega brizganja [9]

Za uporabo tehnologije kompresijskega brizganja je potrebno za ta namen izdelati primerno orodje. Obstajajo različni koncepti orodij, ki so zasnovani glede na primernost in zahtevnost izdelkov.



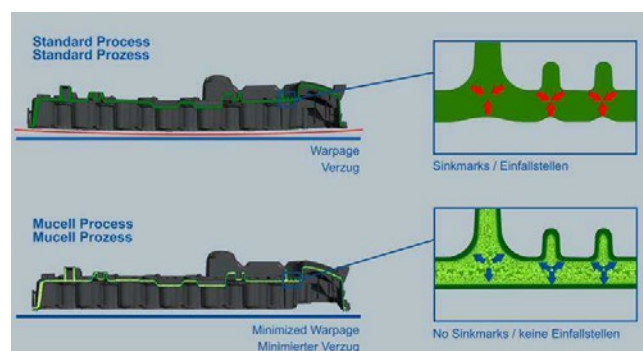
Slika 10: Različni koncepti orodja za kompresijsko brizganje [9]



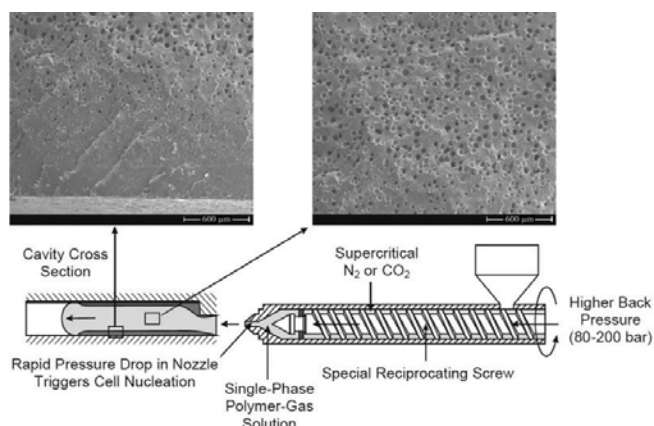
Slika 11: Primer uporabe tehnologije kompresijskega brizganja [10, 9]

4 BRIZGANJE Z UPORABO TEHNOLOGIJE PENJANJA MATERIALA (MuCell)

MuCell tehnologija je tehnologija penjenja materiala. Na pomenu je začela pridobivati predvsem v avtomobilski industriji. Znižanje osnovne mase vozila pomeni manj potrebne energije za njegovo premikanje. Poleg direktnega prihranka energije za vožnjo, so tu še indirektni prihranki energije za izdelavo izdelka, vključno s predhodnimi procesi, manj porabe osnovnih surovin in nenazadnje okoljski vidik. Le-ta vsako leto bolj pridobiva na pomenu. Glavni proizvajalci avtomobilov se zelo dobro zavedajo pomena vzdržnega gospodarstva in vplivov na okolje. MuCell tehnologija omogoča izdelavo plastičnih izdelkov nižjih mas v primerjavi s klasičnim brizganjem. MuCell tehnologija je po domače penjenje termoplastičnega materiala. V talini enakomerno nastale pore, kot posledica ekspaniranega plina, omogočajo manjšo porabo termoplastičnega materiala. Poleg znižanja mase izdelka imamo prihranek na času cikla, saj naknadni tlak ni več potreben. Brizganje s tehnologijo MuCell omogoča nižje tlake brizganja, kar se odraža na boljši dimenzijski stabilnosti izdelkov in manjši zapiralni sili orodja. Zaradi tega lahko enak izdelek brizgamo na manjšem brizgalnem stroju in tako povečamo svojo konkurenčnost. Obstaja še nekaj praktičnih prednosti, in sicer, da lahko damo dolivno mesto na tanjši del izdelka, lahko imamo variabilno debelino stene in rebra so lahko do 90% osnovne debeline stene.



Slika 12: Primerjava med standardnim procesom in MuCell procesom brizganja [11]



Slika 13: Presek izdelka odbrizganega z MuCell tehnologijo [12]

Pri tehnologiji MuCell se uporabljata plina CO_2 ali N_2 . Za brizganje se lahko uporabi standardni brizgalni stroj, katerega se dodatno opremi z enoto za pripravo in dovajanje plina v brizgalno enoto. Dušik se dovaja v brizgalno enoto pod visokim tlakom. Za pripravo taline se uporablja polž posebne oblike. Cilinder mora imeti zaporno šobo, ki se odpre le v času brizganja. Drugače pa je zaprta, da zagotavlja tesnjenje cilindra, ki je pod visokim tlakom. Z brizgalno enoto, pod visokim tlakom, brizgnemo mešanico taline in plina v orodje. Ko pride do padca tlaka, mešanica taline in plina ekspandira in zapolni gravuro.

Na površini orodja se ustvari gladka plast, v notranjosti debeline pa je penjeno jedro. Izdelki, odbrizgani z MuCell tehnologijo, so dekorativno slabši. Površina izdelka je lisasta in ni primerna za dekorativne izdelke. Lahko pa to tehnologijo uporabimo v primeru brizganja dekorativnih folij, kjer se lisasta površina skriva za folijo. Izgled površine lahko izboljšamo s pomočjo tehnologije dinamičnega gretja in hlajenja orodja.

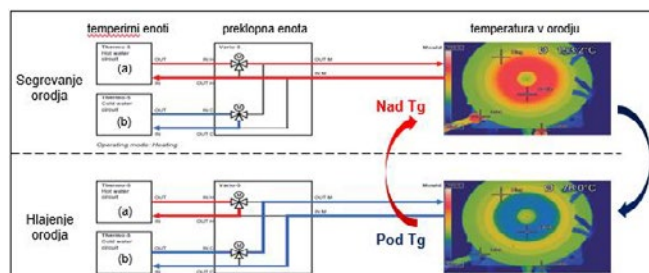
V osnovi lahko uporabimo orodje, ki je izdelano za klasičen način brizganja. Če pa želimo kar najbolje izkoristiti prednosti tehnologije MuCell, pa je potrebno posvetiti pozornost konstrukciji izdelka, izdelavi MoldFlow analiz in pravih konstrukcijskih rešitvah v orodju.

5 DINAMIČNO GRETJE IN HLAJENJE ORODIJ

Dinamično gretje in hlajenje orodja oziroma t.i. variotherm je sistem, ki omogoča spreminjanje temperature orodja med samim ciklom brizganja. Dinamično gretje in hlajenje orodij se pretežno

uporablja za izboljšanje kvalitete površine izdelka in za skrajševanje časa cikla. Pripomore pa tudi k boljši dimenzijski stabilnosti izdelka. S pomočjo dinamičnega gretja in hlajenja orodja, na površini izdelka lahko odpravimo hladne spoje, linije tečenja in učinek gramofonske plošče. Dekorativnim izdelkom lahko tudi povečamo briljantnost. Primerno je za izdelke z večjimi prehodi debelin, luknjami in visokimi rebri. Pri izdelkih večjih debelin, pa s pomočjo dinamičnega gretja in hlajenja orodja, bistveno skrajšamo čas hlajenja.

Obstaja več različnih sistemov dinamičnega temperiranja orodja, kot so: z uporabo vode, pare ali pa električnega segrevanja v kombinaciji s hladno vodo. Na tem mestu bomo pogledali sistem VODA-VODA. Pri tem sistemu se uporabljata dve temperirni enoti. Ena za vročo vodo in druga za hladno vodo. S pomočjo preklonke enote sistem v orodje dovaja vročo vodo (a) ali hladno vodo (b). Posledično sistem zagotavlja višjo ali nižjo temperaturo površine orodja. Da v fazi polnjenja gravure dosežemo učinek višje temperature orodja, tega segrejemo nad temperaturo steklastega prehoda, T_g .



Slika 14: Shematski prikaz principa dinamičnega gretja in hlajenja

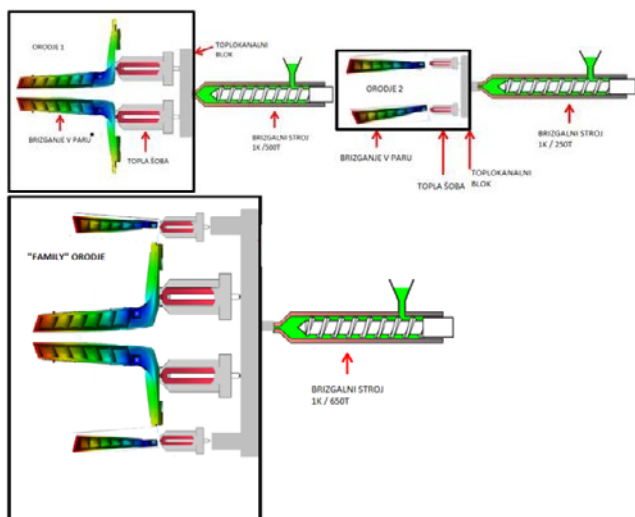
Sistem je učinkovit v kombinaciji s konformnim hlajenjem orodja. V tem primeru so hladilni kanali izdelani blizu površine orodja, kar ima za posledico učinkovito odzivanje temperaturnih sprememb na površini orodja.

6 »FAMILY« ORODJA

Nenehno zniževanje cen izdelkov nas sili v iskanje inovativnih rešitev glede zniževanja proizvodnih stroškov. Ena od možnosti je tudi združevanje več različnih izdelkov v eno orodje.

Pri tem moramo dobro preveriti ali je to mogoče, oziroma na kakšen način je možno izdelati izdelek zahtevane kvalitete. Upoštevati moramo plastičen material, razliko v velikosti posameznih izdelkov, zahteve izdelkov, odvzemanje izdelkov iz orodja in rokovanje z njimi. Preveriti moramo izvedljivost orodja za brizganje in ga izdelati glede na potrebe izdelkov.

Z združevanjem več izdelkov v eno orodje se znebimo enega orodja. To pomeni znižanje stroškov za orodja. Zaradi združevanja je »family« orodje večje, zaradi česar običajno potrebujemo večji brizgalni stroj. Kljub temu pa izračuni dokazujejo, da je proizvodna cena izdelka nižja.



Slika 15: Prikaz dveh posamičnih orodij in »family« orodja

7 SKLEP

V avtomobilski industriji se trendi zelo hitro spreminjajo. S prihodom električnih vozil so se pojavili novi izdelki, ki zahtevajo uporabo novih tehnologij. Nekatere od teh tehnologij so na trgu že poznane in preizkušene, druge pa se šele razvijajo. Če želimo biti konkurenčni, moramo poznati najširši krog tehnologij in imeti konkretne izkušnje. Zato je zelo pomembno, da spremljamo trende in skupaj z dobavitelji razvijamo nove tehnologije in strojno opremo. Le na ta način smo, kot podjetje, vedno v ospredju in smo zmožni pridobivati projekte ki so prvi te vrste. Ves čas pa je potrebno iskati potencialne za optimizacijo procesov in s tem povezanih stroškov. Da smo lahko konkurenčni, moramo

kupcu ponuditi znanje, izkušnje in kvaliteten izdelek po sprejemljivi ceni. V Helli se tega zavedamo, zato vlagamo veliko napora v razvoj novih tehnologij in opreme.

Viri:

- [1] Avtonomno vozilo Toyota LQ (<https://www.dezeen.com/tag/driverless-vehicles/>)
- [2] Avtonomno vozilo Smart (https://www.researchgate.net/figure/The-autonomous-car-is-communicating-with-pedestrians-at-a-crosswalk-indicating-that-it-is_fig1_325464281)
- [3] Proces brizganja s folijo, s tehnologijo IMD (<https://www.nissha.com/english/products/allproducts/process.html>)
- [4] Izdelek izdelan s tehnologijo IMD (<https://www.pressebox.com/pressrelease/leonhard-kurz-stiftung-co-kg/Concept-door-trim-in-speed-racer-design/boxid/924765>)
- [5] Proces brizganja s folijo, s tehnologijo IML (<https://sumitomo-shi-demag.co.uk/processes/iml.html>)
- [6] Vedro izdelano po postopku IML (https://www.google.com/search?q=jupol&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKewjoo8GCy8HwAhUFD-wKHUAEB9YQ_AUoAXoECAEQAw&biw=1200&bih=780#imgrc=XFbuHIjz6tABaM)
- [7] Izdelki izdelani s tehnologijo FIM (<https://en.nc-net.com/company/49341/product/detail/8684/>)
- [8] Pröll: Automotive Interior – Speedometers/Dials, Invasive Inks & Functional Lacquers, 2018, str. 7.
- [9] Demag: Injection Compression Moulding, brošura, str. 3-7
- [10] PMMA glazing streha avtomobila (https://res.cloudinary.com/sternwald-systems/raw/upload/v1/hugoprdr/ARTIKEL_ATTACH/00244308_9F68AC0AA2CB/74fa16765cadbl1a99c4e10e12efca93218b7dcfa/KUint_2014_11_Keeping-a-Clear-View.pdf)
- [11] Trexel: MuCell Foam Injection Moulding, brošura, str. 18
- [12] Trexel: MuCell Injection Moulding: Unique Process Solutions for Light Weighting Plastic Parts

RECIKLIRANJE POLIKARBONATA

Blaž NARDIN¹, Gašper GANTAR^{2,3}, Rebeka LORBER¹

¹Fakulteta za tehnologijo polimerov, ²Visoka šola za varstvo okolja

³Visoka šola za proizvodno inženirstvo

IZVLEČEK

V prispevku bomo predstavili recikliranje inženirskega termoplasta, ki se uporablja za izdelke s kratko življenjsko dobo in za katerega je zaželeno možnost večkratnega mehanskega recikliranja. Tržno dostopne kakovosti so ali v linearni ali razvejani obliki, zato smo testirali obe izvedbi in jih medsebojno primerjali. Cilj raziskave je bil karakterizirati toplotne, mehanske in optične lastnosti termoplasta polikarbonata (PC) v linearni in razvejani obliki v odvisnosti od števila predelav. Degradacija se lahko v dobršni meri prepreči tudi s pravimi dodatki, zato smo hkrati dodali tudi dve različni koncentraciji podaljševalcev verig. Predelave smo simulirali z večkratnim ekstrudiranjem. Testne epruvete smo pripravili s postopkom brizganja po vsakokratnem večkratnem ekstrudiranju. Opazili smo, da so posamezne lastnosti linearno odvisne od števila predelav (npr. barvni ton), posamezne lastnosti pa linearne odvisnosti ne kažejo (natezna trdnost pri razvejanem PC). Lastnosti so v dobršni meri odvisne od količine dodanega podaljševalca verig pri linearni obliki PC, pri razvejani obliki PC je ta odvisnost težje zaznavna. Določene lastnosti so za linearni in razvejani PC ravno recipročne glede na število predelav, tako da je pri recikliranem PC zelo pomembno, v kakšnem razmerju je linearni in razvejani PC. S pravilnim »up-cyclingom« je možno izdelati reciklat PC, ki bo imel ravno prave lastnosti za določen izdelek, če predhodno poznamo lastnosti recikliranega PC.

1 UVOD

Polikarbonat se kot eden najbolj uporabljenih termoplastov, svoje aplikacije najde v avtomobilski industriji, elektroniki, gospodinjskih pripomočkih in aparatih, embalaži in raznih konstrukcijah. Mnoge od naštetih so imajo kratko življenjsko dobo, zato je smiselno odpadni PC reciklirati in ga ponovno uporabiti [1]. Pri vsaki reciklaži se soočamo s problemom poslabšanja lastnosti materiala glede na svež granulato, zaradi tega veliko pozornosti namenjamo ohranjanju oziroma izboljšanju lastnosti sekundarnih materialov. Pri mehanski reciklaži polimerov največji izziv predstavlja degradacija materiala med samo predelavo, predvsem zaradi krajšanja polimernih verig. Podaljševalci verig (ang. chain extenders – CE) so dodatki, ki krajšanje preprečujejo oziroma omogočajo reakcije med skrajšanimi verigami in jih tako ponovno podaljšajo, s čimer lahko vplivamo na izboljšanje lastnosti sekundarnih materialov [2].

2 EKSPERIMENTALNI DEL

Celoten eksperimentalni del smo opravili v laboratorijih Fakultete za tehnologijo polimerov.

2.1 Uporabljeni materiali

Uporabili smo dva tipa PC proizvajalca Covestro, in sicer Makrolon ET3117, ki je po strukturi linearen, in Makrolon ET3137, ki je razvejan. Kot podaljševalec verige smo uporabili komercialno dostopen Joncryl ADR 4368 proizvajalca BASF.

2.2 Priprava vzorcev

Čist material smo desetkrat ekstrudirali na dvopolžnem ekstruderju (LabTech LTE 20-44 s 400 obr./min in temperaturah od 275 °C na šobi do 225 °C pri doziranju), po prvi, tretji, šesti, deveti in deseti predelavi smo pri naslednjem ciklu ekstruzije dodali podaljševalec verig. Nato smo na brizgalnem stroju (Krauss Maffei 50-180CX) iz pripravljenih granulato (slika 1)

nabrizgali epruvete za karakterizacijo mehanskih lastnosti linearnega in razvejanega PC (slika 2) po drugi, četrta, sedmi, deseti in enajsti predelavi, brez in s podaljševalcem verig. Brizgali smo s temperaturo grelcev 275 °C, protitlakom 150 bar, obrati plastificiranja 80 obr./min, hitrostjo brizganja 100 mm/s in temperaturo orodja 80 °C. Material smo pred vsako predelavo skladno z navodili proizvajalca posušili pod vsebnost vlage 0,02 %.



Slika 1: Granulat brez predelave (levo) in po 10. predelavi (desno)

2.3 Karakterizacija

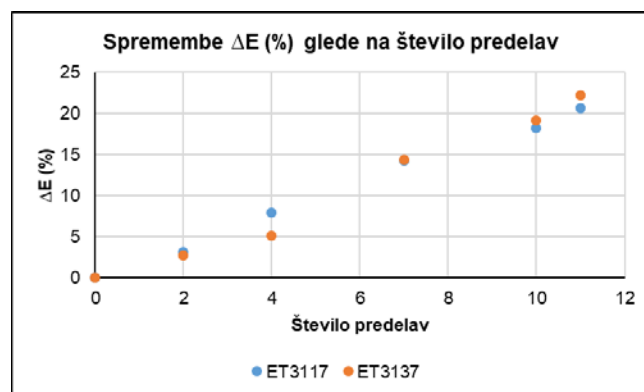
Pripravljenim vzorcem smo s pomočjo fotometra (Konica Minolta, ki deluje na principu LAB barvnega sistema) določili spremembo barve, izmerili indeks tečenja taline (MFI, skladno s standardom ISO 1133 na napravi Dongguan Liyi LYR-RR), izmerili mehanske lastnosti z nateznim preizkusom (skladno z ISO 527 na Shimadzu AG-X plus 10 kN) in Charpyevim preizkusom udarne žilavosti (skladno z ISO 178 na Charpy LY-XJJDS), opravili dinamično mehansko analizo (DMA na Perkin Elmer SMA 8000), določili toplotne lastnosti z dinamično diferenčno kalorimetrijo (DSC na Mettler Toledo DSC 2) in z infrardečo spektroskopijo s Fourierjevo transformacijo (FT-IR na Perkin Elmer Spectrum 65) zasledovali spremembe v kemijskih vezeh.



Slika 2: Nabrizgane epruvete za karakterizacijo linerarnega PC (zgoraj) in razvejanega PC (spodaj)

3 REZULTATI IN DISKUSIJA

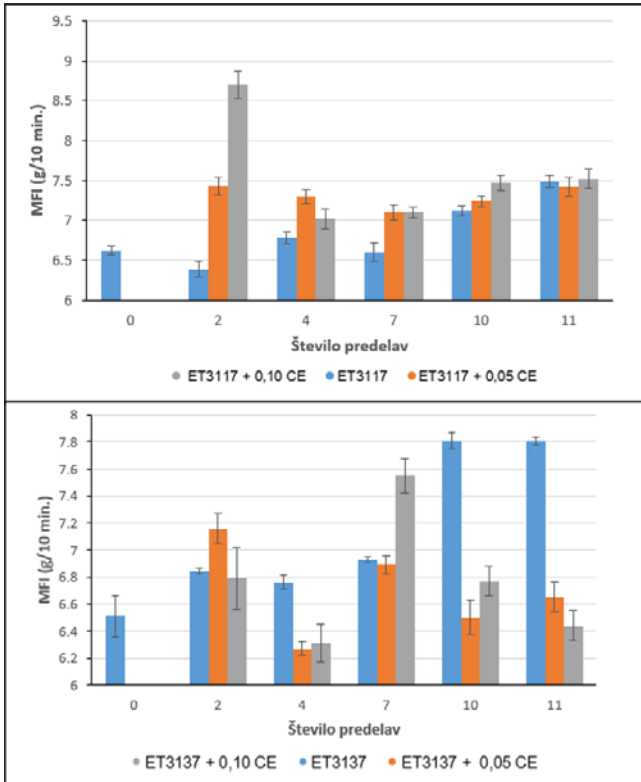
Na sliki 3 so predstavljeni rezultati meritev barvnega tona PC v odvisnosti od števila predelav. Ugotovili smo, da med prvima dvema cikloma predelave, spremembo barve s prostim očesom komaj zaznamo, po nadaljnjih ciklih predelave material vse bolj rumeni, do zadnjega cikla predelave, ko je praktično že rjavkaste barve. Glede na meritve, opazimo, da je po večjem številu predelav razvejan tip PC bolj spremenil barvo kot linearen.



Slika 3: Rezultati meritev barvnega tona v odvisnosti od tipa PC

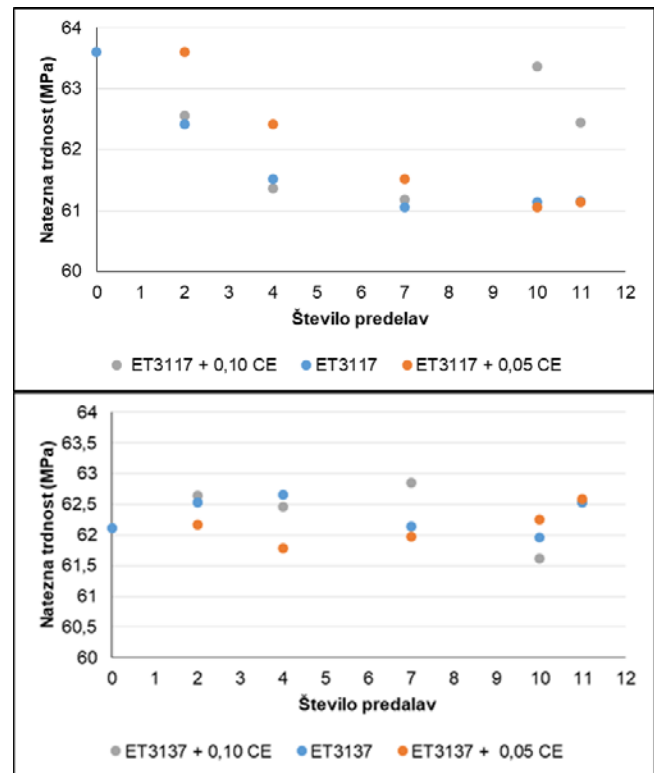
Slika 4 grafično predstavlja izmerjene rezultate indeksa tečenja taline po brizganju materiala. Pri linearnem tipu PC najbolj izstopa naraščanje MFI po drugem ciklu predelave pri vzorcu z 0,1 % podaljševalca verig. V splošnem MFI najprej pade, po nadaljnjih predelavah pa ponovno narašča ne glede na količino dodatka.

Pri razvejanem PC brez dodatka MFI s številom predelav narašča. Z dodanim podaljševalcem verig trenda v odvisnosti od števila predelav ne moremo razbrati, razberemo pa, da po deseti in enajsti predelavi izrazito zniža MFI v primerjavi z materialov brez dodatka.



Slika 4: Rezultati indeksa tečenja taline (MFI)

Na sliki 5 je predstavljen vpliv dodatkov na natezno trdnost PC v odvisnosti od števila predelav. Pri linearnem PC izstopa pozitiven vpliv 0,1 % dodatka podaljševalca verig po deseti in enajsti predelavi. Pri manjšem številu predelav se kot optimalnejša izkaže nižja koncentracija dodatka, najverjetneje zaradi manj znatne degradacije PC pri nižjem številu predelav. Pri razvejanem PC vpliv dodatka na natezno trdnost ni tako izrazit, prav tako ne nakazuje trenda, razlike med vzorci pa so zelo majhne.

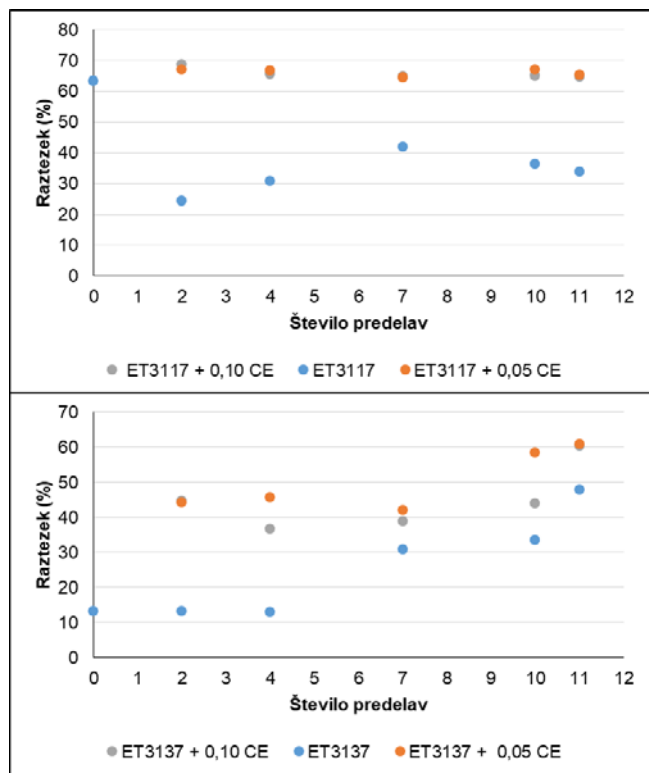


Slika 5: Vpliv ponovne predelave in podaljševalca verig na natezno trdnost

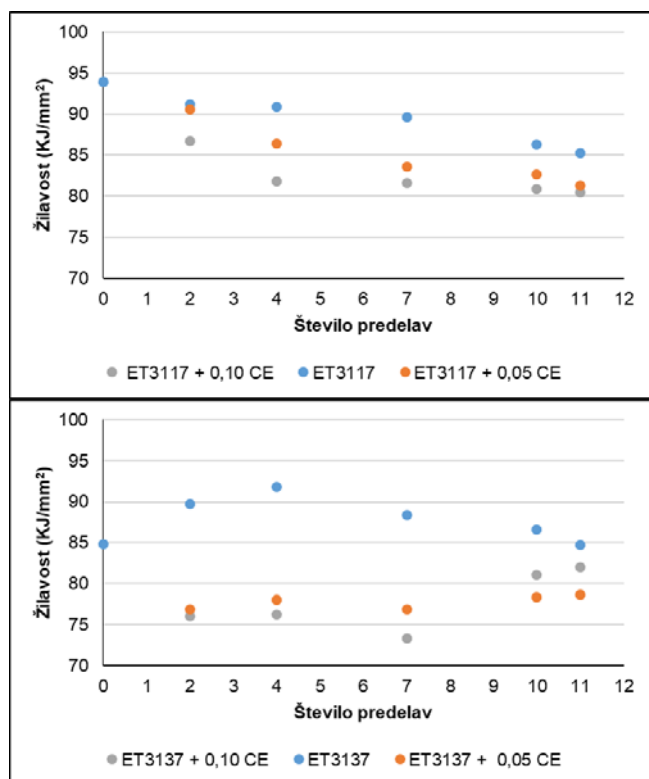
Na sliki 6 je predstavljena odvisnost raztezka pri pretrgu od števila predelav. Ugotovili smo, da obe koncentraciji dodatka, pri obeh tipih PC pozitivno vplivata na raztezek pri pretrgu. Pri linearnem PC z dodatkom raztezek pri pretrgu čistega materiala uspešno ohranimo čez vseh enajst predelav.

Slika 7 predstavlja odvisnost zarezne udarne žilavosti materialov v odvisnosti od števila predelav. Dodatek udarno žilavost linearnega PC nekoliko zniža. Podobno velja za razvejan PC.

Z dinamično mehansko analizo (DMA) smo ugotovili, da s številom ponovnih predelav bistveno ne vplivamo na dinamični modul elastičnosti in faktor izgub, prav tako dodatki na merjene količine ne vplivajo enolično. Rezultati diferenčne dinamične kalorimetrije (DSC) prav tako niso nakazali vpliva predelave in dodatka na temperaturo steklastega prehoda in pripadajoče toplotne kapacitete. Z infardecjo spektroskopijo s Fourierjevo transformacijo (FTIR) smo zasledovali degradacijo karbonatne skupine pri valovni dolžini 1769 cm^{-1} , vendar pri nobenem tipu PC nismo zaznali znatnih sprememb v absorbanci pri tej valovni dolžini.



Slika 6: Vpliv ponovne predelave in podaljševalca verig na raztezek pri pretrgu



Slika 7: Vpliv ponovne predelave in podaljševalca verig na zrezno udarno žilavost

4 SKLEP

Na podlagi analize rezultatov opravljenih meritev pri izvedenih ponovnih predelavah oziroma ciklih mehanske reciklaže PC ugotovimo, da materiala nismo znatno degradirali oziroma jima znatno poslabšali mehanske ali termične lastnosti. Vpliv podaljševalca verig ni enoličen, niti v odvisnosti od števila predelav, kakor tudi koncentracije dodatka. Dodatek je zadovoljivo opravil svojo funkcijo pri razteku pri pretrgu pri nateznem testu, kjer je raztezek z dodatkom tudi po enajsti predelavi ostal na vrednosti čistega materiala.

Kot že omenjeno, bi najverjetneje bolj enoznačne rezultate dobili v primeru, da bi PC ponovno predelovali pri višjih temperaturah in ga s tem bolj degradirali. Prav tako bi bilo smiselno delo nadaljevati z različnimi koncentracijami dodatka in pa testirati vpliv drugih dodatkov istega tipa.

PC po enajstih ciklih mehanske reciklaže ohrani mehanske in toplotne lastnosti primerljive s čistim materialom. S številom predelav najbolj izstopa sprememba barve materiala. Glede na to lahko zaključimo, da lahko PC večkrat, tudi do enajstkrat, mehansko recikliramo in ponovno uporabimo, predvsem v aplikacijah, kjer barva ni osrednjega pomena.

Viri:

- [1] Legrand Donald G., Bendler John T.. *Handbook of polycarbonate science and technology*. New York: Marcel Dekker, 1999.
- [2] Villalobos M., Awojulu A., Greeley T., Turco G., Deeter G.. Oligomeric chain extenders for economic reprocessing and recycling of condensation plastics. *Energy* (2006), vol. 31, no. 15, str. 3227-3234.

DOLOČEVANJE ZAOSTALIH NAPETOSTI PRI BRIZGANJU AMORFNIH POLIMEROV

Miroslav HUSKIĆ,¹ Tamara ROZMAN,¹ Blaž NARDIN,¹ Kristjan KREBELJ,² Dragan KUSIĆ³

¹ Fakulteta za tehnologijo polimerov, ² "Tehnoplast", Anton Krebelj s.p.

³ TECOS, Razvojni center orodjarstva

IZVLEČEK

Pri predelavi polimerov nastajajo v izdelku napetosti, ki so posledica različnih dejavnikov. Pri brizganju sta to predvsem temperatura orodja in hitrost brizganja. Te napetosti, ki jih imenujemo tudi zaostale napetosti, pogosto vodijo do nastanka napak, ki se pokažejo s časom. Polikarbonat smo brizgali pri različnih temperaturah orodja (50 °C, 60 °C in 70 °C) ter določili mehanske lastnosti. Nato smo vzorcem popuščali zaostale napetosti s segrevanjem (1 h in 3 h) na 100 °C. Del vzorcev smo segreli na 130 °C in ga počasi ohladili, s čimer smo pripravili vzorec z minimalnimi napetostmi. Popuščani vzorci imajo nekoliko nižji elastični modul, višjo natezno trdnost in manjšo žilavost. Z DMA analizo smo določili vrednost zaostalih napetosti, ki se sproščajo ob segrevanju.

1 UVOD

Polimere predelujemo oziroma oblikujemo, v končne izdelke, z uporabo različnih tehnik. Termoplaste največ predelujemo z brizganjem in ekstrudiranjem, duroplaste pa z laminiranjem. Ne glede na uporabljeno tehniko in vrsto polimera pa se srečujemo s težavo, da so lastnosti izdelka odvisne od predelovalnih pogojev.

Predelovalni pogoji vplivajo na stopnjo kristaliničnosti in velikost kristalov, usmerjenost molekul ali polnil in povzročajo nastanek manjših ali večjih napetosti v materialu. Izdelek, ki ga dobimo, je zato lahko dober, ukrivljen, ali pa navidezno dober, saj se napaka pojavi kasneje, največkrat v obliki loma oziroma pokanja. Pri prozornih amorfnih polimerih se npr. pojavijo razpoke, ki kvarijo videz izdelka in predstavljajo šibko mesto v primeru delovanja sile na izdelek. Zaostale napetosti vplivajo tudi na mehanske lastnosti, lahko jih poslabšajo ali izboljšajo. Odpornost na utrujanje polikarbonata (PC) se poveča preko desetkrat, če ga zelo hitro ohladimo s čimer vpeljemo napetosti v material.^[1,2] Temperiranje polietilena na 80 °C pa je podaljšalo življenjsko dobo cevi za 400 %. Ker je bilo povečanje kristaliničnosti zanemarljivo, je podaljšana življenjska doba lahko le posledica relaksacije zaostalih napetosti.^[3]

Pri duroplastih so zaostale napetosti posledica tako manjšanja volumna zaradi kemijske reakcije, kot hitrosti ohlajanja izdelka.

Brizganje je tehnika, s katero se verjetno naredi največ izdelkov iz polimernih materialov. S brizganjem izdelujemo izdelke, ki so mikronskih dimenzij do več kilogramskih. Ta tehnika omogoča hitro izdelavo izdelkov tudi zelo kompliciranih oblik. Pri tem pa v izdelkih nastajajo napetosti, ki so posledica tečenja materiala in različnih hitrosti ohlajanja materiala. Na zelo tanki površini izdelka imamo natezne napetosti, pod njo tlačne in v sredini spet natezne napetosti. Najpomembnejši parametri, s katerimi določamo vrednost in profil napetosti v izdelku, so hitrost brizganja, temperatura orodja ter naknadni tlak ter čas.^[4]

Zaostale napetosti v polimerih lahko določamo z odstranjevanjem plasti, vrtnjem luknjice, fotoelastično, z rentgenom (X-ray) ali kemijsko.^[5] Vsaka tehnika ima svoje prednosti in slabosti.

Pri našem delu smo se odločili, da poskusimo zaostale napetosti, ki nastanejo pri brizganju, določiti in kvantificirati s pomočjo dinamične mehanske analize (DMA). Kot rezultat DMA običajno dobimo vrednosti modula akumulacije (E' – tudi dinamični elastični modul), modula izgub (E''), in faktorja dušenja tan delta ($\tan\delta = E''/E'$). Znano je namreč, da zaostale napetosti lahko odstranimo s segrevanjem na neko

temperaturo, ki je nižja od temperature steklastega prehoda (T_g), razlika originalnim vzorcem in popuščanim pa se pokaže kot višja vrednost tanδ pri originalnem vzorcu. Temperatura, na katero moramo segreti material, in čas popuščanja sta običajno določena izkustveno.

2 EKSPERIMENTALNO DELO

2.1 Material

Polikarbonat Ekalon 20 EISV UV.

2.2 Pogoji brizganja

Vzorci za določevanje mehanskih lastnosti, v skladu s standardi ISO 527, 178 in 179 smo pripravili na brizgalnem stroju KRAUSS MAFFEI, CX 50-180, 50 t.

- Temp. cilindra: 280, 285, 285, 290 in 270 °C.
- Plastificiranje: 18 mm, dekompresija 7 mm.
- Obrati plastificiranja: 75 obr/min.
- Protitlak plastificiranja: 75 barov.
- Točka preklopa: 4 mm.
- Hitr. Brizg.: 60 mm/s, zadnja 2 mm 10 mm/s
- Naknadni tlak: 1200 barov 4,5 s.
- Temp. orodja: 80 °C, 70 °C, 60 °C, 50 °C.
- Čas hlajenja: 15 s.

2.3 Analizne metode

Mehanske lastnosti, udarno žilavost, zarezno udarno žilavost in natezne lastnosti smo določili po standardih ISO 179 in 527. Meritve smo izvedli teden dni po pripravi vzorcev in po temperiranju na 100 in 130 °C. Po segrevanju na 130 °C smo vzorce pustili v ugasnjeni pečici, da so se počasi ohladili. Kladiava za določevanje udarne žilavosti je bilo 5 J.

DMA: Vzorce smo segrevali s hitrostjo 2 °C/min, v temperaturnem območju 30-170 °C in obremenjevali s frekvenco 1 Hz te amplitudo 10 μm.

3 REZULTATI IN DISKUSIJA

3.1 Analiza mehanskih lastnosti

PC je žilav material, zato pri Charpy testu ne počí. Je pa občutljiv na udarce, če ima zarezo. Višje zaostale napetosti, ki izvirajo iz nižje

temperature orodja, ugodno vplivajo na zarezno udarno žilavost (ZUŽ), kar kaže Tabela 1. ZUŽ pri temperiranju 1 h na 100 °C se zniža za več kot 50 %.

Tabela 1: Zarezna udarna žilavost brizganih (ZUŽ), 1h (ZUŽ2) in 3 h (ZUŽ3) temperiranih vzorcev.

T orodja	ZUŽ (kJ/m ²)	ZUŽ-1h (kJ/m ²)	ZUŽ-3h (kJ/m ²)
70 °C	57,7	22,8	20,2
60 °C	62,1	21,2	20,1
50 °C	64,1	23,5	19,9

Vpliv zaostalih napetosti se kaže tudi v vrednostih nateznih lastnosti. Temperatura orodja praktično nima vpliva na modul in natezno trdnost, medtem ko vrednost raztezka pri pretrgu nekoliko niha, a je vidna tendenca nižanja z nižanjem temperature orodja (Tabela 2).

Po temperiranju eno uro na 100 °C se vrednost modula manjša za 15 %, natezna trdnost naraste za 10 %, raztezek pa se, tako kot ZUŽ, zniža za več kot 50 %. Če čas podaljšamo na 3 h, se modul še malenkost zniža, natezna trdnost malenkost poveča in raztezek pri pretrgu malenkost zniža (Tabela 3). Ugotovimo lahko, da podaljšanje časa temperiranja nima več skoraj nobenega vpliva, saj smo večino zaostalih napetosti že odpravili v prvi uri.

Tabela 2: Rezultati nateznega testa: Youngov modul (E_t), natezna trdnost (ϵ_{tb}) in raztezek pri pretrgu (σ_m).

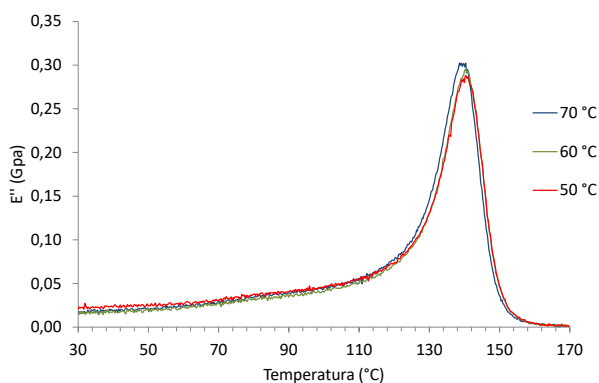
T orodja	E_t (GPa)	σ_m (MPa)	ϵ_{tb} (%)
70 °C	3,2 ± 0,2	60,3 ± 0,4	40,2 ± 8,5
60 °C	3,3 ± 0,1	60,4 ± 0,3	32,4 ± 13,5
50 °C	3,1 ± 0,2	60,2 ± 0,2	35,8 ± 0,8

Tabela 3: Rezultati nateznega testa: Youngov modul (E_t), natezna trdnost (ϵ_{tb}) in raztezek pri pretrgu (σ_m), za vzorce, ki so bili temperirani 1 h na 100 °C

T orodja – čas na 100 °C	E_t (GPa)	σ_m (MPa)	ϵ_{tb} (%)
70 °C - 1	2,7 ± 0,2	66,5 ± 0,4	15,5 ± 3,9
60 °C - 1	2,7 ± 0,2	66,2 ± 0,3	12,3 ± 1,0
50 °C - 1	2,7 ± 0,2	66,2 ± 0,2	11,9 ± 0,8
70 °C - 3	2,6 ± 0,3	67,6 ± 0,1	11,7 ± 0,7
60 °C - 3	2,6 ± 0,3	67,7 ± 0,1	11,8 ± 0,5
50 °C - 3	2,8 ± 0,1	67,7 ± 0,1	11,4 ± 1,2

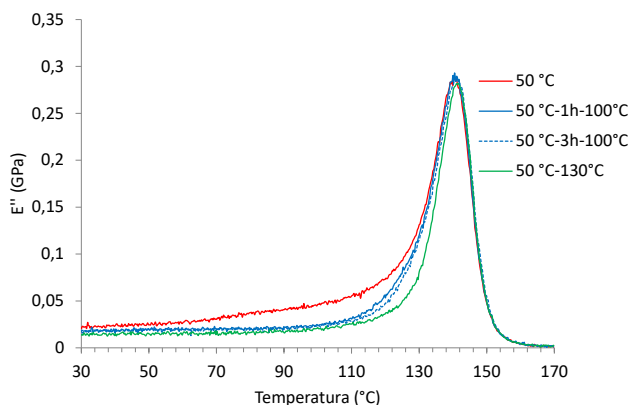
3.2 DMA analiza

Zaostale napetosti se v DMA analizi prikažejo kot višje vrednosti modula izgub v primerjavi s popuščanim vzorcem. Slika 1 prikazuje modul izgub PC za vzorce, ki so bili brizgani pri treh temperaturah orodja. Razlike so zelo majhne, vidi pa se, da je do ≈ 120 °C modul izgub višji pri nižji temperaturi orodja. Nad to temperaturo se gibljivost molekul poveča, modul pa se nekoliko manjša z nižanjem temperature.



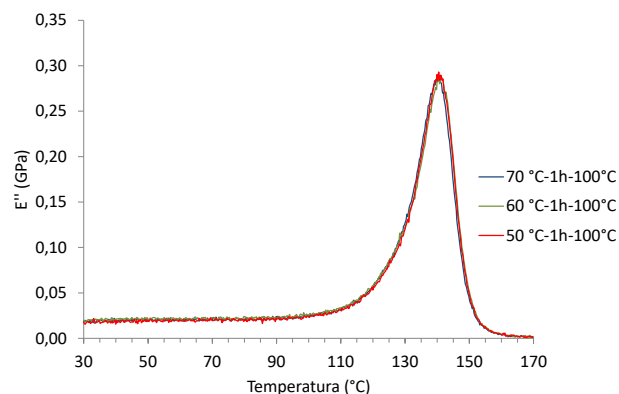
Slika 1: Modul izgub vzorcev, brizganih v kalup s temperaturo 50-70 °C.

Modul izgub vzorcev, ki so bili temperirani pri 100 °C, so pri temperaturah do ≈ 120 °C bistveno nižji od originalnega vzorca. Razlika v poteku krivulje med vzorcema, ki sta bila temperirana 1 h in 3 h na 100 °C, je minimalna, kar je v skladu z rezultati mehanske analize. Opazen pa je premik krivulje vzorca, ki je bil temperiran na 130 °C, proti višjim vrednostim temperature. T_g polikarbonata se je, s temperiranjem pri 130 °C in počasnim ohlajanjem, povišal za 1-2 °C.



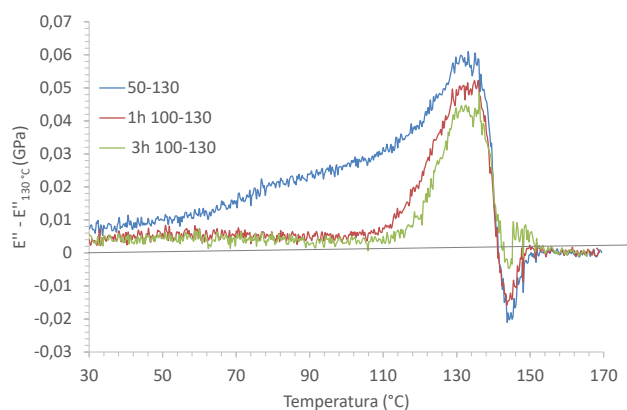
Slika 2: Modul izgub vzorcev, brizganih pri 50 °C, in temperirani pri 100 °C oziroma 130 °C.

Primerjava poteka modulov izgub za vse tri vzorce, ki so bili temperirani 1 h na 100 °C, pokaže, da so moduli izgub praktično enaki v celotnem temperaturnem območju, kar pomeni, da se je v vseh vzorcih sprostila večina napetosti (Slika 3).



Slika 3: Moduli izgub vzorcev, ki so bili temperirani 1 h na 100 °C.

Za vzorce, ki smo jih segreli na 130 °C in počasi hladili v peči, lahko predpostavimo, da nimajo, ali imajo zanemarljivo količino zaostalih napetosti. Ohlajanje je namreč tako počasno, da praktično ni razlike v temperaturi na površini vzorca in njegovi notranjosti. Če E'' krivuljo teh vzorcev odštejemo od originalnega in temperiranih vzorcev, dobimo razliko, ki predstavlja potek sproščanja zaostalih napetosti, ki so prisotne v vzorcih (Slika 4).



Slika 4: Razlika v modulu izgub med originalnim in temperiranimi vzorci ter vzorcem, ki smo ga počasi ohladili s 130 °C.

Pri originalnem vzorcem vidimo, da se razlika povečuje v celotnem območju do ≈ 130 °C. Pri ostalih dveh vzorcih so vrednosti bistveno nižje, opazimo pa najprej višanje vrednosti, ki doseže

majhen širok vrh pri 50-60 °C. Nato začne padati do ≈100 °C, kjer doseže minimalno vrednost. Majhen vrh predstavlja napetosti, ki so se ustvarile pri hitrem ohlajanju vzorcev iz 80 °C na sobno temperaturo. Sledi močno naraščanje vrednosti napetosti do ≈130 °C, kjer je plato, ki mu sledi hiter padec in vrednosti postanejo celo negativne. Te niso dejansko negativne vrednosti, pač pa so posledica rahlega zvišanja T_g pri vzorcu, ki smo ga počasi ohladili s 130 °C na sobno temperaturo. Ker je pri T_g modul izgub najvišji, pride v območju med T_g originalnega oziroma na 100 °C temperiranih vzorcev (ko vrednost E'' pada) in popolnoma popuščene (130 °C) vzorca (vrednost E'' še narašča) do negativne vrednosti v razliki.

3 SKLEP

Polikarbonat je amorfen, običajno prozoren polimer, pri katerem se pogosto pojavijo napake v obliki tankih razpok. Njihov nastanek je posledica zaostalih napetosti v materialu. Največkrat se pojavijo ob stiku z raztopinami detergenta, topil in podobno.

Vrednost zaostalih napetosti smo določili z DMA, in sicer iz modula izgub, ki je sestavljen iz izgub, ki so posledica ireverzibilnega gibanja molekul in zaostalih napetosti, ki se prav tako sproščajo ireverzibilno. Vrednost napetosti, ki so posledica pogojev brizganja, smo določili iz razlike v modulu izgub med temperiranim in zelo počasi ohlajenim materialom, pri katerem predvidevamo, da ni zaostalih napetosti, oziroma so zanemarljivo majhne. Enako pa smo določili vrednosti iz vzorcev katerim smo napetosti popuščali s segrevanjem na 100 °C za eno in 3 ure. Ugotovili smo, da se večina napetosti sprosti že v prvi uri temperiranja.

ZAHVALA

Delo sta sofinancirala Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport RS in Evropski sklad za regionalni razvoj v okviru operacije Povezovanje simulacij, strojev in orodij za optimizacijo procesa proizvodnje polimernih izdelkov - CoSiMa (šifra operacije OP20.03539).

Viri:

- [1] L. E. Hornberger, K. L. Devries, *Polym. Eng. Sci.* **1987**, *27*, 1473–1478.
- [2] A. Magnier, B. Scholtes, T. Niendorf, *Polym. Test.* **2018**, *71*, 329–334.
- [3] R. K. Krishnaswamy, M. J. Lamborn, *Adv. Polym. Technol.* **2005**, *24*, 226–232.
- [4] P. Brzęk, T. Sterzyński, **n.d.**, DOI 10.3390/polym12122871.
- [5] A. Turnbull, A. S. Maxwell, S. Pillai, *J. Mater. Sci.* **1999**, *34*, 451–459.

TERMOPLASTIČNI KOMPOZITI Z VISOKO TOPLOTNO PREVODNOSTJO

**Teja PEŠL, Silvester BOLKA, Rebeka LORBER, Tamara ROZMAN,
Rajko BOBOVNIK, Blaž NARDIN**
Fakulteta za tehnologijo polimerov

IZVLEČEK

V prispevku bomo predstavili krojenje toplotne prevodnosti polimernih materialov v kombinaciji z njihovimi mehanskimi lastnostmi. Polimerni kompozit je sestavljen iz polikarbonatne (PC) termoplastične matrice, ki ji je za zvišanje toplotne prevodnosti dodan borov nitrid (BN). S pomočjo različnih kompatibilizatorjev pri ternarnem kompozitu dosežemo različne kombinacije toplotne prevodnosti in mehanskih lastnosti.

Kompavndiranje smo izvedli na dvopolžnem ekstruderju. V PC matrico smo dodali 50 % BN in 5 % različnih kompatibilizatorjev. Za izvedbo karakterizacije smo preizkušance pripravili s postopkom brizganja. Upogibni E modul, upogibna trdnost, raztezek pri upogibni trdnosti, toplotna prevodnost in temperatura razpada so močno odvisni od uporabljenega kompatibilizatorja. Pri visoki upogibni togosti dobimo tudi najvišjo upogibno trdnost, hkrati je ta kompozit najbolj krhek, ima pa najvišjo toplotno prevodnost. Najbolj žilav kompozit dobimo pri srednjih vrednostih upogibne togosti in trdnosti, hkrati je toplotna prevodnost najnižja.

Delo je bilo opravljeno v okviru projekta PolyMetal – Interreg SLO-AT, prednostna os krepitev čezmejne konkurenčnosti, raziskav in inovacij, kjer razvijamo stroškovno učinkovit polimerni material kovinskega videza in otipa. Sodelujoči partnerji iz Slovenije smo FTPO, Gorenje d.o.o. in Intra lighting d.o.o..

1 UVOD

V zadnjem času opažamo, da se vse več kovinskih materialov zamenjuje s polimernimi. Dokler gre le za vidik trdnosti in žilavosti še nekako najdemo ustrezen polimerni material, ki ga lahko še dodatno izboljšamo z raznoraznimi polnili. Ko pa pridemo do drugih funkcionalnosti, na primer odvajanja toplote v primeru hladilnih teles pri svetilih, pa mora polimerni material zadostiti tudi drugim lastnostim. V prispevku bomo torej predstavili študijo vpliva dodatka borovega nitrída (BN) na toplotno prevodnost in seveda tudi na mehanske in termične lastnosti izdelanih kompozitov s PC matrico. V okviru projekta PolyMetal (Interreg SLO-AT), prednostna os krepitev čezmejne konkurenčnosti, raziskav in inovacij, razvijamo stroškovno učinkovit polimerni material kovinskega videza in otipa. Za enega od projektnih partnerjev bi ta material lahko predstavljal rešitev za izdelavo hladilnega telesa pri svetilih, saj bi mu s tem omogočili večjo svobodo pri oblikovanju, saj se polimerni materiali lažje predelujejo kot kovine

in smo tako manj omejeni pri oblikovnem dizajnu.

2 EKSPERIMENTALNI DEL

Pri eksperimentalnem delu študije smo na podlagi predhodnih raziskav uporabili optimalno količino dodatkov ter nastavitve parametrov pri kompavndiranju in brizganju.

2.1 Uporabljeni materiali

Uporabili smo komercialno dostopen polikarbonat (Sabic Lexan 243 R), ki nam ga je doniralo podjetje Intra lighting d.o.o. iz Slovenije. Uporabili smo tri različne komercialno dostopne kompatibilizatorje in sicer TPU-g-MA (TU S5265), PE-g-MA (Fusabond N416), SEBS-MAH (Graftabond 02520 CAF). Kot polnilo smo uporabili borov nitrid (Powder BN Platelets 012P).

2.2 Priprava vzorcev

Izdelali smo pet serij vzorcev in sicer smo pri vzorcu 0 uporabili samo PC, pri preostalih verzijah smo dodali 50 % BN, pri vzorcih 2, 3 in 4 pa še 5 % kompatibilizatorja. Pri vzorcu 2 smo dodatno uporabili kompatibilizator TPU-g-MA, pri vzorcu 3 PE-g-MA in pri vzorcu 4 SEBS-MAH. V tabeli 1 je prikazana sestava vzorcev.

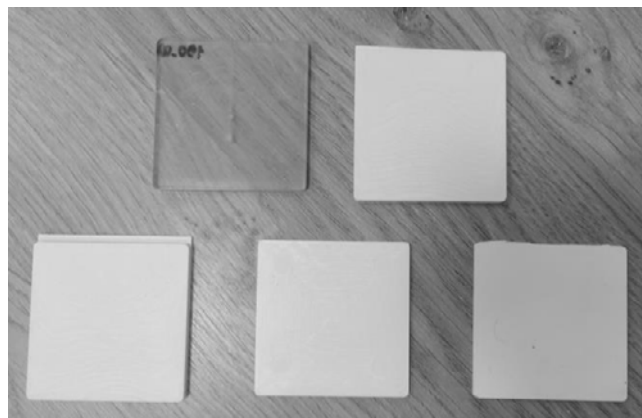
Tabela 1: Sestava vzorcev

Vzorec	PC (%)	BN (%)	TPU-g-MA (%)	PE-g-MA (%)	SEBS-MAH (%)
0	100	0	0	0	0
1	50	50	0	0	0
2	45	50	5	0	0
3	45	50	0	5	0
4	45	50	0	0	5

Pred kompavndiranjem smo PC posušili na vlažnost pod 0,02 %, pred brizganjem pa smo kompozit prav tako posušili na vlažnost pod 0,02 %.

Vse vzorce smo najprej kompavndirali na dvopolžnem ekstruderju Labtech LTE 20-44. Premer polžev je bil 20 mm, L/D razmerje 44:1, obrati polžev 400 min^{-1} , temperature cilindra od $250 \text{ }^\circ\text{C}$ na vstopni coni do $265 \text{ }^\circ\text{C}$ na šobi. Šoba je imela dve odprtini premera 4 mm. Filamenta smo vodili preko vodne kopeli ($15 \text{ }^\circ\text{C}$) v granulator Scheer, kjer smo filamenta narezali na dolžino okoli 5 mm.

Brizgali smo na brizgalnem stroju Krauss Maffei KM 50-180 CX. Premer polža je bil 30 mm. Temperaturni profil od $255 \text{ }^\circ\text{C}$ (vstopna cona) do $265 \text{ }^\circ\text{C}$ (na šobi). Temperatura orodja je bila $25 \text{ }^\circ\text{C}$, čas hlajenja 10 s. Slika 1 prikazuje brizgane ploščice zgoraj vzorca 0 in 1, spodaj pa vzorci 2, 3 in 4. Brizgali smo ploščice velikosti $60 \text{ mm} \times 60 \text{ mm} \times 4 \text{ mm}$, ki so primerne za merjenje toplotne prevodnosti, iz njih pa smo pripravili tudi vzorce za ostale laboratorijske teste.



Slika 1: Od leve proti desni zgoraj vzorca 0 in 1, spodaj vzorci 2, 3 in 4

2.3 Laboratorijski testi

Vse laboratorijske teste smo opravili v laboratorijih na Fakulteti za tehnologijo polimerov v Slovenj Gradcu.

Upogibne teste smo izvedli na trgalnem stroju Shimadzu AG-X plus 10 kN. Upogibne teste smo izvedli skladno s standardom ISO 178. Razmik med podporama je bil 48 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 1 Hz, amplitudo $0,02 \text{ mm}$ in do $200 \text{ }^\circ\text{C}$. Hitrost segrevanja je bila $2 \text{ }^\circ\text{C/min}$.

Termogravimetrične analize (TGA) smo izvedli na instrumentu Mettler Toledo TGA/DSC 3+. Vzorec smo segrevali od $40 \text{ }^\circ\text{C}$ do $550 \text{ }^\circ\text{C}$, s hitrostjo segrevanja $10 \text{ }^\circ\text{C/min}$, v dušikovi atmosferi (20 mL/min), nato pa izotermno držali pri $550 \text{ }^\circ\text{C}$ 10 min v kisikovi atmosferi (20 mL/min).

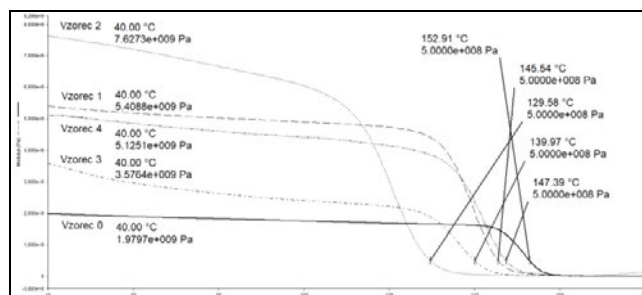
Toplotno prevodnost smo izmerili z napravo Hot Disk TPS 1500. Meritve smo izvajali s senzorjem 5465 s polmerom $3,189 \text{ mm}$. Meritve smo izvajali v skladu s standardom ISO 22007-2.

2.4 Rezultati

Dodatek 50 % BN matrici zniža upogibno trdnost (σ_{FM}) za 50 % in raztezek pri upogibni trdnosti (ϵ_{FM}) za 90 % ter zviša upogibni modul (E_f) za 280 % (Sliki 2 in 3). Ob dodatku kompatibilizatorjev se upogibne lastnosti še

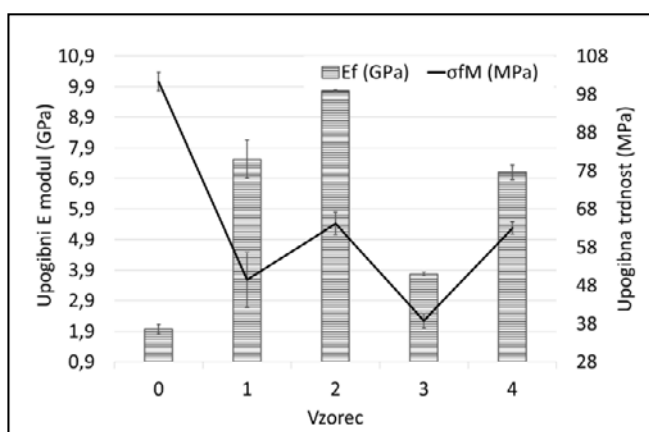
dodatno spreminjajo. Ob dodatku 5 % kompatibilizatorja TPU-g-MA se tako E_f kot σ_{fM} povišata za 30 % in dosežeta vrednosti 9,8 GPa oz. 64,2 MPa, ϵ_{fM} pa se zniža za 1 % v primerjavi z vzorcem 1, v primerjavi s čisto PC matrico pa se E_f poviša za 396 %, σ_{fM} in ϵ_{fM} pa se znižata za 37 % oz. 91 %. Ob dodatku 5 % kompatibilizatorja PE-g-MA se tako E_f kot σ_{fM} znižata za 50 % oz. 22 %, ϵ_{fM} pa se zviša za 83 % v primerjavi z vzorcem 1, v primerjavi s čisto PC matrico pa se E_f poviša za 91 %, σ_{fM} in ϵ_{fM} pa se znižata za 62 % oz. 82 %. Ob dodatku 5 % kompatibilizatorja SEBS-MAH se E_f zniža za 6 % oz. 22 %, tako σ_{fM} kot ϵ_{fM} pa se zvišata za 27 % oz. 77 % v primerjavi z vzorcem 1, v primerjavi s čisto PC matrico pa se E_f poviša za 260 %, σ_{fM} in ϵ_{fM} pa se znižata za 38 % oz. 83 %.

% v primerjavi s čistim PC. Dodatek kompatibilizatorja TPU-g-MA še dodatno zviša E' kompozitu, medtem ko dodatek kompatibilizatorja PE-g-MA in kompatibilizatorja SEBS-MAH v primerjavi z vzorcem 1 zniža E' . Kljub temu imata vzorca 3 in 4 višji E' kot čista PC matrica in sicer za 81 % oz. 159 %.

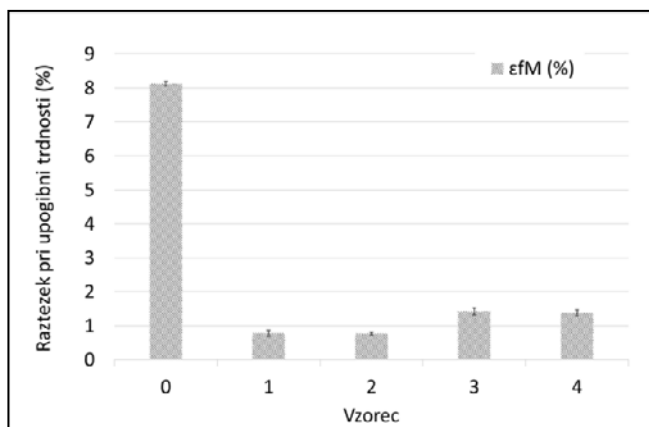


Slika 4: Dinamični E modul

TGA analiza (Tabela 2, Slika 5) prikazuje enostopenjski razpad vzorcev. Temperatura degradacije se pri vseh vzorcih zniža v primerjavi s čisto PC matrico in sicer pri vzorcu 1 za 34 °C, pri vzorcu 2 za 41 °C, pri vzorcu 3 za 48 °C in pri vzorcu 4 za 54 °C. Razpad predstavlja razpad PC matrice ter kompatibilizatorjev v primeru vzorcev 2, 3 in 4. Kompatibilizatorji in borov nitrid znižajo temperaturo degradacije PC zaradi slabih medfaznih interakcij med borovim nitridom in PC matrico, kar je skladno z upogibnimi rezultati, kjer se v primerjavi s čistim PC upogibna trdnost zniža pri vseh ostalih vzorcih.



Slika 2: Upogibni E modul in upogibna trdnost



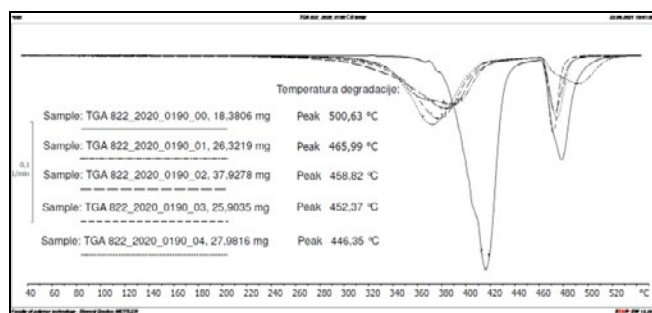
Slika 3: Raztezek pri upogibni trdnosti

Dodatek BN v PC matrici zviša dinamični E modul (E') (Slika 4) v celotnem temperaturnem intervalu. Pri temperaturi 40 °C je E' višji za 173

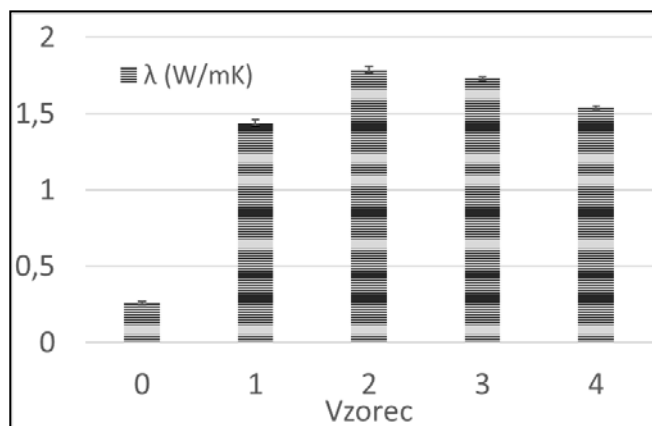
Tabela 2: Rezultati termogravimetrične analize

Vzorec	T_d (°C)	1. razpad (%)	Saje (%)	Anorganski ostanek (%)
0	500,63	75,02	24,47	0,51
1	465,99	39,85	11,96	48,19
2	458,82	42,33	9,04	48,63
3	452,37	42,09	9,29	48,62
4	446,35	42,36	10,28	47,36

Rezultati meritve toplotne prevodnosti so pokazali, da smo z dodatkom borovega nitrida uspeli povežati toplotno prevodnost čiste PC matrice iz 0,26 W/mK na 1,44 W/mK pri vzorcu 1. Z dodajanjem kompatibilizatorjev smo toplotno prevodnost še povežali in sicer z dodatkom kompatibilizatorja TPU-g-MA na 1,79 W/mK, z dodatkom PE-g-MA na 1,73 W/mK in z dodatkom SEBS-MAH na 1,54 W/mK.



Slika 5: Temperatura razpada posameznih vzorcev



Slika 6: Rezultati meritev toplotne prevodnosti

3 SKLEP

V sklopu študije smo uspeli PC matrici z dodatkom BN povežati upogibno togost za vsaj 90 % (pri dodatku 50 % BN in 5 % PE-g-MA), največ pa pri vzorcu z dodatkom 50 % BN in 5 % TPU-g-MA in sicer za 396 %, vendar pa smo hkrati tudi poslabšali upogibno trdnost vzorcem, kar je logično, saj smo dodali 50 % polnila. Najvišja upogibna trdnost med vzorci z dodanimi BN je prav tako pri vzorcu 2, ki ima dodan tudi kompatibilizator TPU-g-MA. Podobno smo opazili tudi pri DMA analizi, kjer se je dinamični

E modul povežal pri vseh vzorcih v primerjavi s čisto matrico, najvišji pa je tako kot pri upogibnem testu pri vzorcu 2, kjer smo dodali kompatibilizator TPU-g-MA, najnižji pa pri vzorcu 3, kjer smo dodali kompatibilizator PE-g-MA. S TGA analizo smo ugotovili, da se z dodatkom BN zniža temperatura degradacije za 35 °C, z dodatkom kompatibilizatorjev pa le-to še dodatno znižamo. Z meritvami toplotne prevodnosti smo ugotovili, da smo bili zelo uspešni pri povežanju toplotne prevodnosti, saj smo že samo z dodatkom 50 % BN zvišali toplotno prevodnost za 450 %, z dodatkom različnih kompatibilizatorjev pa se je toplotna prevodnost še dodatno povežala. Najvišja toplotna prevodnost je bila ob dodatku 5 % TPU-g-MA. Upogibni E modul, upogibna trdnost, raztezek pri upogibni trdnosti, toplotna prevodnost in temperatura steklastega prehoda so torej močno odvisni od uporabljenega kompatibilizatorja. Pri visoki upogibni togosti dobimo tudi najvišjo upogibno trdnost, hkrati je ta kompozit najbolj krhek, ima pa najvišjo toplotno prevodnost.

Prispevek »TERMOPLASTIČNI KOMPOZITI Z VISOKO TOPLOTNO PREVODNOSTJO« je nastal v okviru izvajanja projekta PolyMetal, ki je projekt čezmejnega sodelovanja, ki se izvaja v okviru Programa sodelovanja Interreg V-A Slovenija-Avstrija v programskem obdobju 2014–2020 in je sofinanciran s sredstvi Evropske unije iz Evropskega sklada za regionalni razvoj.

BIOKOMPOZIT IZ RECIKLIRANEGA POLIPROPILENA IN ODPADNEGA PAPIRJA

Silvester BOLKA, Teja PEŠL, Rebeka LORBER, Tamara ROZMAN,
Rajko BOBOVNIK, Miroslav HUSKIČ
Fakulteta za tehnologijo polimerov

IZVLEČEK

V prispevku vam bomo predstavili razvoj biokompozita iz matrice iz recikliranega polipropilena (rPP), ki ga je dobavilo podjetje TAB-IPM d.o.o., in ojačevala odpadnega papirja, ki ga je dobavilo podjetje Papirnica Vevče Proizvodnja d.o.o., ki sta kompatibilizirana s polipropilenom grafitiranim z malein anhidridom (PP-g-MA).

Kompavndiranje smo izvedli na dvopolžnem ekstruderju. V rPP matrico smo dodali 5 % in 10 % odpadnega papirja in 4 % PP-g-MA. Za izvedbo karakterizacije smo s postopkom brizganja pripravili preizkušance, skladne z oblikama ISO 527 tip 1BA in ISO 178 oz. ISO 179. Upogibni E modul se je z višanjem dodatka odpadnega papirja višal (za 15 % in 23 % pri 5 % in 10 % dodanega odpadnega papirja), prav tako tudi maksimalna upogibna trdnost (za 7 % in 10 % pri 5 % in 10 % dodanega odpadnega papirja). Rezultati nateznih in DMA testov kažejo enak trend. Višja togost in hkrati tudi višja trdnost kažeta na dobro kompatibilizacijo biokompozitov. Pri dodatku 10 % odpadnega papirja so se zvišale toplotna prevodnost, udarna žilavost in temperatura degradacije, medtem ko sta tališče in temperatura kristalizacije ostala enaka.

1 UVOD

Polipropilen se pogosto modificira z dodajanjem polnil z namenom zniževanja cene in zvišanja togosti in trdnosti. Zaradi nizke cene, nizke gostote in visoke togosti so pozornost raziskovalcev pritegnila naravna vlakna, kot so sisal, celuloza, juta, bambus in odpadni papir. Izboljšanje medfazne adhezije med hidrofilnimi naravnimi vlakni in hidrofobnim polipropilenom je ključno raziskovalno vprašanje, ker ima medfazna adhezija med naravnimi vlakni in PP matrico pomembno vlogo pri določanju lastnosti kompozitov [1]. Z uporabo naravnih vlaken kot ojačitev v kompozitih lahko uresničimo zamisel o spreminjanju odpadnih materialov v dragocene biokompozite in s tem omilimo pritisk na varstvo okolja [2].

V zadnjem času je recikliranje PP zelo pomembna tema, predvsem zaradi naraščanja količine PP v termoplastičnih komunalnih odpadkih. Velik del embalaže je namreč izdelan iz PP. Polipropilen grafitiran z malein anhidridom kot kompatibilizator v biokompozitih iz naravnih vlaken in polipropilensko matrico omogoča boljšo disperzijo naravnih vlaken v PP matrici in izboljša medfazno adhezijo odpadnega papirja in

recikliranega polipropilena. Odpadni papir deluje kot nukleacijsko jedro in zviša stopnjo kristaliničnosti, zviša togost in trdnost ter tudi žilavost biokompozitov na osnovi recikliranega polipropilena [1].

Cilj te študije je bil povišati togost in trdnost rPP z dodajanjem dodatkov in odpadnega papirja v rPP matrico. Odpadni papir je bil uporabljen brez predhodne obdelave. Pripravili smo štiri različne vzorce s kompavndiranjem in brizganjem. Izvedli smo študijo mehanskih, toplotnih in reoloških lastnosti in jih primerjali z nemodificirano rPP matrico.

2 EKSPERIMENTALNI DEL

Pri eksperimentalnem delu študije smo na podlagi predhodnih raziskav biokompozitov ojačenih z naravnimi vlakni uporabili optimalno količino dodatkov ter nastavitve parametrov pri kompavndiranju in brizganju.

2.1 Uporabljeni materiali

Komercialno dostopen reciklat polipropilena nam je doniralo podjetje TAB-IPM d.o.o. iz Slovenije. Odpadni papir nam je doniralo podjetje

Papirnica Vevče d.o.o. iz Slovenije. Kompatibilizator PP-g-MA (Fusabond P 353) smo kupili od DuPont iz Švice. Lubrikant (Crodamide EBS-MG-(GD)) nam je doniralo podjetje Croda Europe Limited iz Nizozemske. Antioksidant (AT 10) smo kupili pri AMIK ITALIA S.p.A iz Italije.

2.2 Priprava vzorcev

Izdelali smo 4 serije vzorcev in sicer je bil vzorec 0 kot referenca, kjer smo uporabili le rPP, vzorec 1 z dodatkom kompatibilizatorja, lubrikanta in antioksidanta, vzorec 2 z dodanimi 5 % odpadnega papirja in vzorec 3 z dodanimi 10 % odpadnega papirja. V tabeli 1 je prikazana sestava vzorcev.

Tabela 1: Sestava vzorcev za kompavndiranje

Vzorec	rPP (%)	PP-g-MA (%)	Lubrikant (%)	Antioksidant (%)	Odpadni papir (%)
0	100	0	0	0	0
1	94,62	4	1	0,38	0
2	89,62	4	1	0,38	5
3	84,62	4	1	0,38	10

Pred kompavndiranjem smo odpadni papir posušili tako, da je bila vlaga pod 5 %, po kompavndiranju smo biokompozit posušili na vlago pod 0,1 %. Sušenje smo izvedli v laboratorijskem sušilniku pri 80 °C.

Vse vzorce smo najprej kompavndirali na dvopolžnem ekstruderju Labtech LTE 20-44. Premer polžev je bil 20 mm, L/D razmerje 44:1, obrati polžev 400 min⁻¹, temperature cilindra od 165 °C na vstopni coni do 190 °C na šobi. Šoba je imela dve odprtini premera 4 mm. Filamenta smo vodili preko vodne kopeli (15 °C) v granulator Scheer, kjer smo filamenta narezali na dolžino okoli 7 mm.

Brizgali smo na brizgalnem stroju Krauss Maffei KM 50-180 CX. Premer polža je bil 30 mm. Temperaturni profil od 175 °C (vstopna cona) do 190 °C (na šobi). Temperatura orodja je

bila 45 °C, čas hlajenja 10 s. Slika 1 prikazuje rPP (levo zgoraj), odpadni papir (desno zgoraj), granulat biokompozita (rPP in 10 % odpadnega papirja z dodatki) (na sredini), brizgani vzorci (spodaj).



Slika 1: Reciklat polipropilena, odpadni papir, granulat biokompozita z 10 % odpadnega papirja in brizgani vzorci za testiranje

2.3 Laboratorijski testi

Vse laboratorijske teste smo opravili v laboratorijih na Fakulteti za tehnologijo polimerov v Slovenj Gradcu.

Upogibne in natezne teste smo izvedli na trgalnem stroju Shimadzu AG-X plus 10 kN. Upogibne teste smo izvedli skladno z ISO 178. Razmik spodnjih podpor je bil 64 mm, hitrost testiranja pa 2 mm/min. 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.

Dinamične mehanske analize (DMA) smo izvedli na Perkin Elmer DMA 8000. Vzorce smo testirali na upogib z dvojno prižemo s frekvenco 1 Hz, amplitudo 0,02 mm in do 170 °C. Hitrost segrevanja je bila 2 °C/min.

Termogravimetrične analize (TGA) smo izvedli na instrumentu Perkin Elmer TGA 4000.

Vzorci 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 5 min v kisikovi atmosferi (20 mL/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. Vzorci smo segrevali od 0 °C do 180 °C, pri 180 °C je sledil izotermni segment 5 min. Potem smo jih ohlajali od 180 °C do 0 °C, kjer je sledil izotermni segment pri 0 °C 5 min. Potem so se vsi koraki še enkrat ponovili. Vrednotili smo temperaturo kristalizacije (T_c), entalpijo kristalizacije (ΔH_c), tališče (T_m) in talilno entalpijo (ΔH_m) iz ohlajanja in drugega segrevanja. Izračunali smo stopnjo kristaliničnosti iz talilne entalpije drugega segrevanja (Enačba 1). Za talilno entalpijo 100 % kristaliničnega PP smo vzeli vrednost 207 J/g [3].

$$X_c = (\Delta H_m / \Delta H_m^0) \times (\text{m. \% rPP}) \quad (1)$$

kjer je X_c (%) stopnja kristaliničnosti, ΔH_m (J/g) talilna entalpija drugega segrevanja, ΔH_m^0 (J/g) talilna entalpija 100 % kristaliničnega PP in m. % rPP (%) masni odstotek rPP v biokompozitu oz. mešanici.

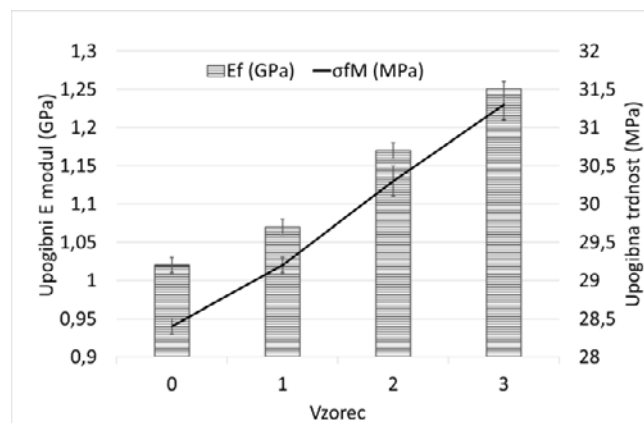
Preizkus udarne žilavosti smo izvedli po Charpy-ju na LY-XJJD5 s 5 J kladivom skladno z ISO 179. Vzorci so bili širine 10 mm in debeline 4 mm, razdalja med podporama je bila 60 mm. Pri vsakem vzorcu smo izmerili 10 paralelk in izračunali povprečje in standardni odmik.

Meritve indeksa tečenja taline smo izvedli na LIYI MFI LY-RR skladno z ISO 1133, pri temperaturi 200 °C z 2,16 kg utežjo. Pri vsakem vzorcu smo izmerili 3 paralelke in izračunali povprečje in standardni odmik.

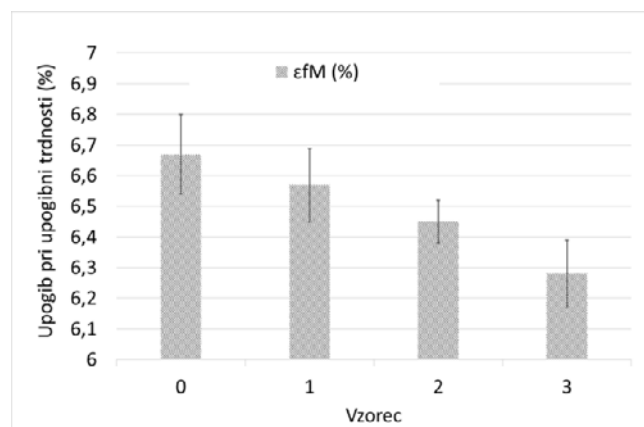
3 REZULTATI

Dodatki v rPP matrici (antioksidant, lubrikant in kompatibilizator) zvišajo upogibni E modul (E_f) in upogibno trdnost (σ_{fM}) in hkrati znižajo raztezek pri upogibni trdnosti (ϵ_{fM}) (Sliki 2, 3). Dodatek odpadnega papirja v rPP z ostalimi dodatki še dodatno zviša E_f in σ_{fM} biokompozitu in še dodatno zniža ϵ_{fM} biokompozita. Najvišjo upogibno togost in trdnost ima biokompozit z

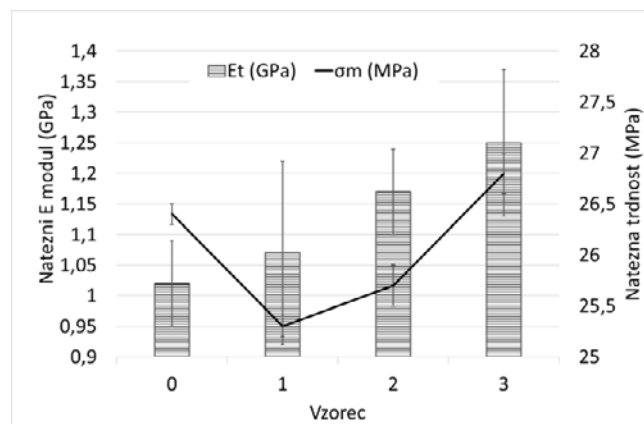
dodanimi 10 % odpadnega papirja. 10 % dodatek odpadnega papirja zviša upogibno togost za 23 % in upogibno trdnost za 10 %, kot posledica dobrih medfaznih interakcij med odpadnim papirjem in rPP zaradi kompatibilizatorja PP-g-MA.



Slika 2: Upogibni E modul in upogibna trdnost

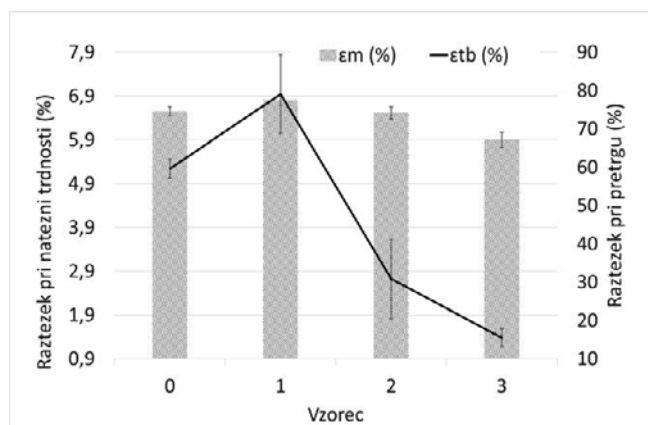


Slika 3: Raztezek pri upogibni trdnosti



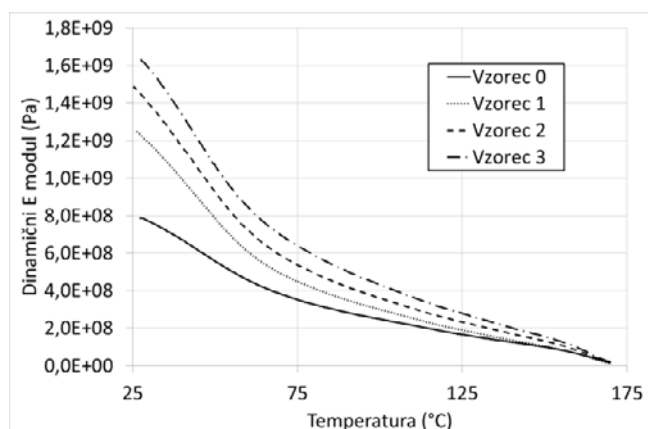
Slika 4: Natezni E modul in natezna trdnost

Dodatki v rPP matrici zvišajo natezni E modul (E_t), znižajo natezno trdnost (σ_m), raztezek pri natezni trdnosti (ϵ_m) in raztezek pri pretrgu (ϵ_{tb}) (Sliki 4, 5). Pri biokompozitu z dodanimi 10 % odpadnega papirja se natezna togost poveša za 26 % in natezna trdnost za 2 % kot posledica dobrih medfaznih interakcij med odpadnim papirjem in rPP zaradi kompatibilizatorja PP-g-MA. Zaključimo lahko, da je PP-g-MA dober kompatibilizator za rPP in odpadni papir. Zelo dobre medfazne interakcije so se potrdile tudi pri DMA meritvah.



Slika 5: Raztezek pri natezni trdnosti in raztezek pri pretrgu

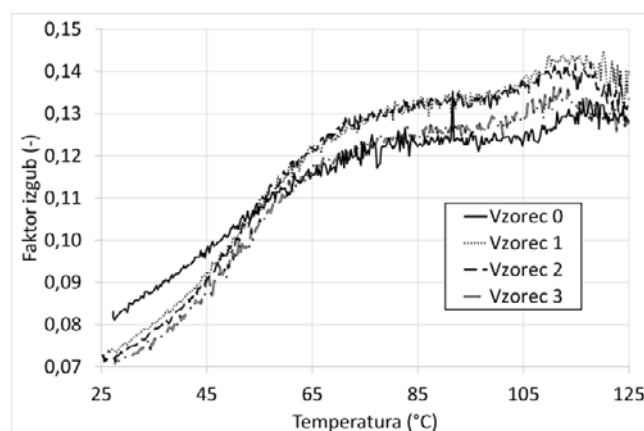
Dodatki v rPP matrici (antioksidant, lubrikant in kompatibilizator) zvišajo dinamični E modul (E') v celotnem temperaturnem intervalu. Najvišji vpliv na E' je od sobne temperature do 80 °C, ker je rPP matrica že deloma degradirana. Dodatek odpadnega papirja v rPP z ostalimi dodatki še dodatno zviša E' biokompozitu (Slika 6).



Slika 6: Dinamični E modul v odvisnosti od temperature

Najvišji E' dobimo pri biokompozitu z dodanimi 10 % odpadnega papirja. Tako kot pri upogibnih in nateznih testih, se je tudi pri DMA testu potrdila domneva, da dobro dispergirani delci kompatibilizatorja PP-g-MA zvišajo medfazne interakcije med odpadnim papirjem in rPP matrico.

Faktor izgub (Slika 7) vzorca 0 je najvišji do temperature 54 °C, potem je najvišji za vzorec 1 in 2. Vzorec 3 ima najnižji faktor izgub do temperature 65 °C, potem je do temperature 85 °C faktor izgub enak vzorcu 0, od temperature 85 °C do 125 °C doseže faktor izgub vrh pri temperaturi 111 °C. Pri temperaturi 85 °C pride do α relaksacije, kar je lepo vidno s pojavom rame pri krivulji faktorja izgub. Položaj rame se z višanjem deleža odpadnega papirja premika k višjim temperaturam. Lahko zaključimo, da odpadni papir v kombinaciji s kompatibilizatorjem PP-g-MA zavira relaksacijo rPP in sicer gre tu po vsej verjetnosti za reorientacijo napak v kristalni strukturi rPP.



Slika 7: Faktor izgub v odvisnosti od temperature

TGA analiza prikazuje enostopenjski razpad vzorcev 0 in 1. Temperatura degradacije se poveša pri vzorcu 1 zaradi dodatkov (antioksidant, lubrikant in kompatibilizator). Pri biokompozitih z dodanim odpadnim papirjem dobimo dvostopenjski razpad. Prvi razpad pri nižji temperaturi je razpad celuloznih vlaken v odpadnem papirju, drugi pri višji temperaturi je razpad rPP matrice z dodatki. Drugi razpad se premakne glede na vzorca brez odpadnega papirja k višjim temperaturam. Pri vzorcih 2 in 3 je bilo v odpadnem papirju 54 % in 47 % anorganskih

polnil (Tabela 2). Dodatki in odpadni papir zvišajo temperaturo degradacije rPP zaradi dobrih medfaznih interakcij med odpadnim papirjem in rPP matrico, kar je skladno z upogibnimi, nateznimi in DMA rezultati.

Tabela 2: Rezultati TGA analiz

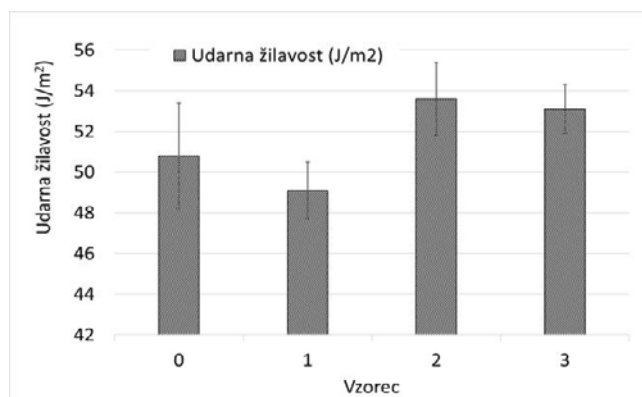
Vzorec	T_{d2} (°C)	T_{d2} (°C)	Ostaneček (%)
0	-	460	0,0
1	-	468	0,7
2	359	469	2,7
3	355	473	4,7

Dodatki v rPP matrici (antioksidant, lubrikant in kompatibilizator) ne vplivajo niti na tališče niti na temperaturo kristalizacije, znižata pa se talilna entalpija in entalpija kristalizacije (Tabela 3). Po vsej verjetnosti delujejo dodatki kot sterične ovire za razvoj kristaliničnih domen. Pri dodanih 5 % odpadnega papirja ostaneta tališče in temperatura kristalizacije nespremenjeni, zvišata se entalpiji in tako tudi stopnja kristaliničnosti na 30 %. Pri dodanih 10 % odpadnega papirja ostaneta tališče in temperatura kristalizacije nespremenjeni, znižata se entalpiji in tako se zniža stopnja kristaliničnosti na 27 %. Iz rezultatov lahko zaključimo, da dodanih 10 % odpadnega papirja že sterično ovira razvoj kristaliničnih domen v rPP, hkrati anorganska polnila v odpadnem papirju (po vsej verjetnosti zelo majhni delci, kar lahko sklepamo iz TGA analize) delujejo kot nukleacijska jedra za rPP in inducirajo heterogeno kristalizacijo rPP.

Tabela 3: DSC rezultati

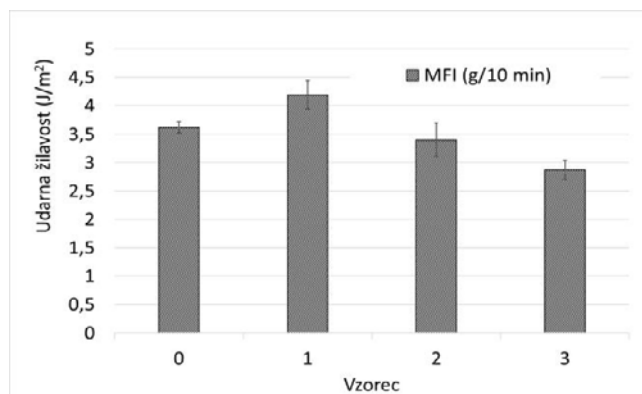
Vzorec	T_m (°C)	T_c (°C)	ΔH_m (J/g)	ΔH_c (J/g)	X_c (%)
0	166	124	67	72	32,3
1	166	122	54	61	27,5
2	166	123	55	67	29,6
3	167	122	47	58	26,8

Dodatki v rPP matrici (antioksidant, lubrikant in kompatibilizator) znižajo udarno žilavost (Slika 8). Dodatek odpadnega papirja udarno žilavost zviša in sicer na višji nivo, kot je pri rPP. Zvišanje udarne žilavosti pri dodatku odpadnega papirja nakazuje na dobre medfazne interakcije med odpadnim papirjem in rPP zaradi dodanega kompatibilizatorja PP-g-MA. Z višanjem dodanega odpadnega papirja nečistoče in polnila v odpadnem papirju vplivajo na slabšo žilavost biokompozita z odpadnim papirjem. Iz meritev vidimo, da je raztros meritev pri rPP najvišji in da tako dodatki kot odpadni papir raztros meritev močno zmanjšajo, kar pomeni, da kompatibilizator homogenizira tudi nečistoče v rPP matrici.



Slika 8: Udarna žilavost vzorcev

Indeks tečenja taline (Slika 9) se pri vzorcu 1, ko dodamo dodatke (antioksidant, lubrikant in kompatibilizator) v rPP zviša. Znižanje indeksa tečenja taline z dodajanjem odpadnega papirja nakazuje višanje viskoznosti taline z višanjem deleža dodanega odpadnega papirja.



Slika 9: Indeks tečenja taline

4 SKLEP

V okviru raziskave smo testirali biokompozit, pripravljen iz rPP, odpadnega papirja in z dodatkom kompatibilizatorja PP-g-MA. Togost in trdnost biokompozita z odpadnim papirjem in PP-g-MA sta višji v primerjavi z rPP. Višja togost in trdnost potrjujeta dobre interakcije med sestavinami biokompozita po zaslugi kompatibilizatorja PP-g-MA. Rezultati DMA analize potrjujejo izsledke nateznih in upogibnih testov. Toplotna stabilnost biokompozitov z odpadnim papirjem je višja v primerjavi z rPP. Tališče in temperatura kristalizacije se pri biokompozitih z odpadnim papirjem glede na rPP ne spremenita. Stopnja kristaliničnosti biokompozitov je nižja glede na rPP. Udarne žilavost se zniža po dodatku antioksidanta, lubrikanta in kompatibilizatorja, po dodatku odpadnega papirja se zviša nad nivo rPP matrice. Indeks tečenja taline se po dodatku antioksidanta, lubrikanta in kompatibilizatorja zviša, po dodatku odpadnega papirja se zniža pod nivo rPP matrice. Kljub nižjemu MFI je biokompozit še vedno primeren za brizganje kosov tudi z dolgimi potmi tečenja taline.

Odpadni papir skupaj s kompatibilizatorjem PP-g-MA v rPP matrici zviša togost, trdnost, udarno žilavost in zviša toplotno stabilnost zaradi dobre medfazne adhezije med odpadnim papirjem in rPP. Novi biokompoziti so primerni za aplikacije, kot so tehnični izdelki, ki zahtevajo višjo togost, trdnost in toplotno stabilnost kot jih ima polipropilen oz. reciklirani polipropilen.

V letu 2021 smo z nadgradnjo te študije izdelali biokompozit iz recikliranega polipropilena in z dodatkom odpadnega papirja ter dodatkom kompatibilizatorja PP-g-MA izdelali večjo količino biokompozita za izvedbo ničte serije brizganih kolotov za filament za 3D tisk za podjetje Azurefilm (Slika 10). S tem smo premostili pereči problem industrije ob pomankanju termoplastov na trgu, ker smo iz recikliranega visokotonažnega termoplasta izdelali inženirski biokompozit, primeren za zahtevne aplikacije – nadomestili smo namreč polikarbonat pri kolutih za filament za 3D tisk.



Slika 10: Koluta iz biokompozita rPP/odpadni papir/PP-g-MA za filament za 3D tisk

Viri:

- [1] Zhidan, L., Chao, C., Zixian, G., Shaozao, T., Xiuju, Z.: *A Compatibilized Composite of Recycled Polypropylene Filled with Cellulosic Fiber from Recycled Corrugated Paper Board: Mechanical Properties, Morphology, and Thermal Behavior*, Journal of Applied Polymer Science, Vol. 122 (2011) No.4, pp. 2789-2797.
- [2] Scholten, A., Meiners, D.: *Use of Recycled Waste Paper as Fiber Reinforcement for Polypropylene – Relationship of Fiber Extraction Process and Mechanical Properties of the Composites*, AIP Conference Proceedings 2055, Wagenknecht, U., Pötschke, P., Wiessner, S., Gehde, M. (Ed.), pp. 050006-1-050006-5, ISBN 978-0-7354-1783-0, Dresden, June 2017, AIP Publishing, (2019)
- [3] M. Wagner, M. Wagner, *Thermal Analysis in Practice*, 2017.

Prispevek »BIOKOMPOZIT IZ RECIKLIRANEGA POLIPROPILENA IN ODPADNEGA PAPIRJA« je nastal v okviru razvojno-raziskovalnega programa CEL. KROG: »Izkoriščanje potenciala biomase za razvoj naprednih materialov in bio-osnovanih produktov« (številka pogodbe: OP20.00365), sofinancirano s strani Republike Slovenije, Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport ter Evropske Unije, Evropski sklad za regionalni razvoj, 2016–2020. ter v okviru projekta START CIRCLES, ki ga vodi Gospodarska zbornica Slovenije, kjer je Fakulteta za tehnologijo polimerov partner.

ODPADNA BIOMASA KOT OJAČEVALO ZA TERMOPLASTIČNI ELASTOMER

**Silvester BOLKA, Teja PEŠL, Rebeka LORBER, Tamara ROZMAN,
Rajko BOBOVNIK, Blaž NARDIN**
Fakulteta za tehnologijo polimerov

IZVLEČEK

Cilj razvoja biokompozita z matrico iz termoplastičnega elastomera je bil trgu ponuditi fleksibilen kompozit s čim višjim deležem bioosnovanih komponent. To smo dosegli z uporabo polietilena visoke gostote grafitiranega z malein anhidridom (PE-HD-g-MA), ki je sintetiziran iz sladkornega trsa in odpadno biomaso kot ojačevalom.

V prispevku bomo predstavili biokompozit iz odpadne biomase in matrice iz termoplastičnega elastomera, ki je zasnovan za zunanjo uporabo in ga bomo uporabili za izdelavo prototipov ročajev za pohodne oz. smučarske palice. Testirali smo vpliv različne odpadne biomase v biokompozitu. Pri izdelavi prototipov smo testirali tudi vpliv dodatkov barvil na spremembo barvnega tona posameznih izvedb. Prototipe smo brizgali v podjetju Tehnomat d.o.o., ki je svetovno poznan proizvajalec ročajev za pohodne oz. smučarske palice. Karakterizacijo lastnosti smo izvedli v laboratorijih Fakultete za tehnologijo polimerov. Vrednotili smo mehanske in toplotne lastnosti ter dinamične mehanske lastnosti.

1 UVOD

Termoplastični materiali so mešanice na osnovi termoplasta v kombinaciji z elastomeri. Elastomeri močno zvišajo žilavost termoplastičnim elastomerom. Običajno so elastomeri modificirani z variiranimi deleži olj, da termoplastični elastomeri dosežejo zelene trdote. Individualni uporabljeni polimeri v termoplastičnem elastomeru, ki sestavljajo večfazno strukturo, obdržijo večino svojih lastnosti, zato tudi vsaka faza kaže svojo temperaturo steklastega prehoda (T_g) ali tališča (T_m). Ti temperaturi določata, kdaj se določenemu elastomeru spremenijo fizikalne lastnosti [1, 2]. Termoplastične elastomere najpogosteje uporabljamo v avtomobilski, gradbeni in obutveni industriji, s svojimi lastnostmi so uporabni tudi v športni industriji. Polnila se dodajajo v termoplastične elastomere, da izboljšajo predvsem togost termoplastičnim elastomerom, hkrati pa znižujejo ceno. Končne lastnosti termoplastičnega elastomera z dodatkom polnil so močno odvisne od oblike in velikosti delcev polnil [3]. Polnila vplivajo tudi na končno morfologijo termoplastičnega elastomera. Velik vpliv na morfologijo imajo tudi medfazne interakcije med polnilom in posameznimi polimeri v termoplastičnem elastomeru [3].

V prispevku bomo opisali uporabo termoplastičnega elastomera modificiranega z odpadno biomaso za ročaje za smučarske oz. pohodne palice. Glavni cilj raziskave je bil izdelati uporaben termoplastični elastomer z odpadno biomaso, kjer bi dosegli čim višji delež bioosnovanih komponent in s tem trgu ponudili ročaje za smučarske oz. pohodne palice, ki bi bili okoljsko manj obremenjujoči.

2 EKSPERIMENTALNI DEL

Pri eksperimentalnem delu študije smo na podlagi predhodnih raziskav biokompozitov na osnovi termoplastičnih elastomerov ojačenih z naravnimi vlakni uporabili optimalno količino dodatkov ter nastavitve parametrov pri kompavndiranju in brizganju.

2.1 Uporabljeni materiali

Komercialno dostopen termoplastičen elastomer in odpad usnja nam je doniralo podjetje Uteksol d.o.o., iz Slovenije. Odpadni papir nam je doniralo podjetje Papirnica Vevče d.o.o. iz Slovenije, konopljin pezdir nam je doniralo podjetje Zadruga Konopko. Kompatibilizator PE-g-MA (Exxelor PE 1040 K2) smo kupili od podjetja Kraton iz Nemčije.

2.2 Priprava vzorcev

Izdelali smo 3 serije vzorcev. Vzorec 1 je bil z dodatkom odpadnega usnja in kompatibilizatorja, vzorec 2 z dodatkom odpadnega papirja in kompatibilizatorja in vzorec 3 z dodatkom konopljinega pezdirja in kompatibilizatorja. V tabeli 1 je prikazana sestava vzorcev.

Tabela 1: Sestava vzorcev za kompavndiranje

Vzorec	TPE (%)	PE-g-MA (%)	Odpadno usnje (%)	Odpadni papir (%)	Konopljin pezdin (%)
1	76	4	20	-	-
2	76	4	-	20	-
3	76	4	-	-	20

Konopljin pezdin smo predhodno peletirali, tako da smo dobili pelete premera 4 mm in dolžine okoli 15 mm. S tem smo nasipno gostoto konopljinega pezdinja približali nasipni gostoti TPE. Pred kompavndiranjem smo odpadno usnje, konopljin pezdin in odpadni papir posušili tako, da je bila vlaga pod 5 %, po kompavndiranju smo biokompozit posušili na vlago pod 0,1 %. Sušenje smo izvedli v laboratorijskem sušilniku pri 80 °C.

Vzorci smo kompavndirali na dvopolžnem ekstruderju Labtech LTE 20-44. Premer polžev je bil 20 mm, L/D razmerje 44:1, obrati polžev 400 min⁻¹, temperatura cilindra od 135 °C na vstopni coni do 160 °C na šobi. Šoba je imela dve odprtini premera 4 mm. Filamenta smo vodili preko vodne kopeli (15 °C) v granulator, kjer smo filamenta narezali na dolžino okoli 10 mm.

Brizgali smo na brizgalnem stroju Krauss Maffei KM 50-180 CX. Premer polža je bil 30 mm. Temperaturni profil od 145 °C do 160 °C (na šobi). Temperatura orodja je bila 20 °C, čas hlajenja 5 s.

2.3 Laboratorijski testi

Vse laboratorijske teste smo opravili v laboratorijih na Fakulteti za tehnologijo polimerov v Slovenj Gradcu.

Natezne teste smo izvedli na trgalnem stroju Shimadzu AG-X plus 10 kN skladno z ISO 527. Razmak čeljusti je bil 50 mm, hitrost testiranja do raztežka 0,25 % je bila 1 mm/min, nad 0,25 % do pretrga pa 50 mm/min.

Dinamične mehanske analize (DMA) smo izvedli na Perkin Elmer DMA 8000. Vzorce smo testirali na upogib z dvojno prižemo s frekvenco 1 Hz, amplitudo 0,02 mm in do 150 °C. Hitrost segrevanja je bila 2 °C/min.

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).

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. Vzorce smo segrevali od -70 °C do 220 °C, pri 220 °C je sledil izotermni segment 5 min. Potem smo jih ohlajali od 220 °C do -70 °C, kjer je sledil izotermni segment pri -70 °C 30 min. Potem so se vsi koraki še enkrat ponovili. Vrednotili smo temperaturo kristalizacije (T_c), entalpijo kristalizacije (ΔH_c), tališče (T_m) in talilno entalpijo (ΔH_m) iz ohlajanja in drugega segrevanja.

Meritve indeksa tečenja taline smo izvedli na LIYI MFI LY-RR skladno z ISO 1133, pri temperaturi 200 °C z 2,16 kg utežjo. Pri vsakem vzorcu smo izmerili 3 paralelke in izračunali povprečje in standardni odmik.

3 REZULTATI

Dodatek konopljinega pezdinja doseže najvišji natezni E modul (E_t), najvišjo natezno trdnost (σ_m) in najvišji raztezek pri pretrgu (ϵ_{tb}) (Tabela 2). Najnižji raztezek pri pretrgu dobimo pri dodatku odpadnega usnja. Pri dodatku odpadnega papirja dobimo najnižji natezni E modul in najnižjo natezno trdnost.

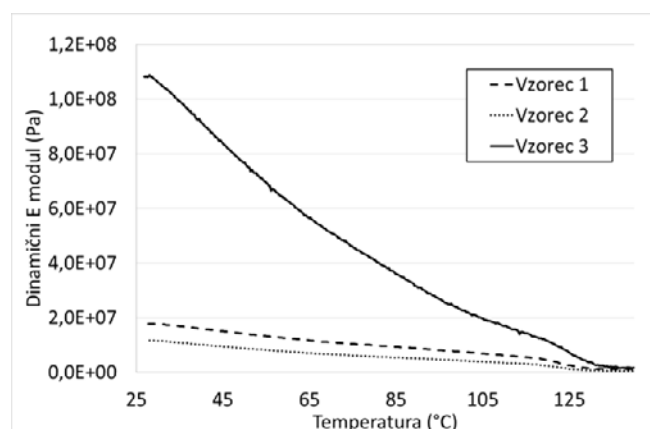
Na podlagi rezultatov nateznega testa lahko zaključimo, da ima najboljši ojačevalni učinek dodatek konopljinega pezdinja, sledi odpadno usnje, najslabši ojačevalni učinek ima odpadni papir v kombinaciji s termoplastično elastomerno

matrico. Uporabljen kompatibilizator v sistemu je ustrezen, kar lahko razberemo iz nateznih lastnosti pri vzorcu s konopljinim pezdirdjem, ker ima najvišjo togost, trdnost in raztezek pri pretргу. Vzrok je po vsej verjetnosti v najdaljših vlaknih pri konopljinem pezdirdju. Pri odpadnem usnju so bili delci odpadnega usnja najmanjši, pri odpadnem papirju je okoli ene tretjina polnil z aspektnim razmerjem 1, ki zato ne izboljšajo togosti in trdnosti termoplastičnega elastomera z dodanim odpadnim papirjem.

Tabela 2: Rezultati mehanskih analiz

Vzorec	Natezni E modul (MPa)	Natezna trdnost (MPa)	Raztezek pri pretргу (%)
1	$10,2 \pm 0,4$	$1,99 \pm 0,28$	64 ± 8
2	$6,5 \pm 0,7$	$1,18 \pm 0,15$	116 ± 14
3	$45,8 \pm 1,0$	$4,29 \pm 0,03$	147 ± 14

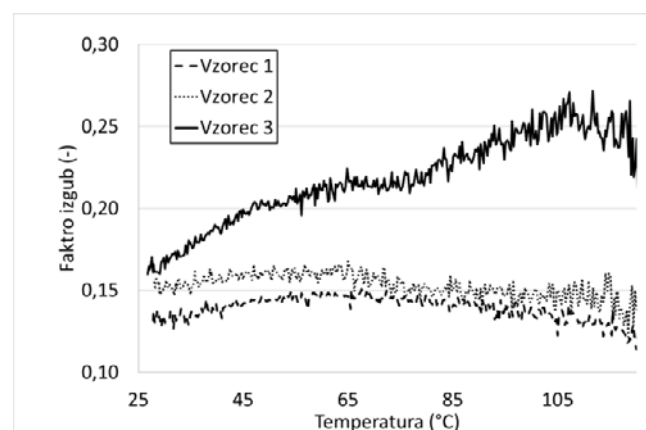
Rezultati nateznih testov so bili potrjeni tudi z DMA meritvami. Najvišji dinamični E modul (E') v celotnem temperaturnem intervalu ima vzorec 3 s konopljinim pezdirdjem, najnižjega vzorec 2 z odpadnim papirjem. Vzorec 3 ima tudi najvišjo temperaturo uporabe, vzorca 1 in 2 imata zelo podobne dinamične mehanske lastnosti po celotnem temperaturnem intervalu.



Slika 1: Dinamični E modul v odvisnosti od temperature

Lahko zaključimo, da so dobre interakcije med termoplastičnim elastomerom in konopljinim pezdirdjem rezultat dobrih interakcij med vsemi sestavinami predvsem po zaslugi kompatibilizatorja PE-g-MA.

Faktor izgub (Slika 2) je v celotnem temperaturnem intervalu najvišji za vzorec 3, ki ima hkrati tudi najvišji dinamični E modul. Predvidevamo lahko, da sestavina TPE in sicer olje, ne impregnira konopljinega pezdirdja, zato se dovedena energija pri dinamičnih obremenitvah pretvarja v notranjo energijo in s tem zviša faktor izgub. Pri dodatkih odpadnega usnja in odpadnega papirja pride do impregnacije polnila v odpadnem papirju (CaCO_3) in delcev usnja z oljem, kar zniža ojačitveno zmožnost tako odpadnega papirja kot odpadnega usnja, površino le teh pa kompatibilizator še vedno kvalitetno omoči in s tem se ohranijo dobre medfazne interakcije med polniloma in TPE matrico. To je tudi vzrok, da je dinamični E modul (zaradi šibkejšega ojačitvenega efekta pri odpadnem papirju in odpadnem usnju) znižan, faktor izgub pa ostane na zelo nizkem nivoju v celotnem temperaturnem intervalu. Pri vzorcu 3 opazimo tudi vrh pri faktorju izgub, ki je povezan z α relaksacijo TPE matrice, kar pomeni, da je reorientacija napak v kristalni strukturi TPE najbolj izrazita pri dodatku konopljinega pezdirdja.



Slika 2: Faktor izgub v odvisnosti od temperature

TGA analiza (Tabela 3) prikazuje dvostopenjski razpad vseh vzorcev. Prvi razpad je povezan z razpadom odpadne biomase in olja v termoplastičnem elastomeru, drugi razpad je povezan z razpadom ostalih polimerov. Prva

temperatura razpada je najvišja pri vzorcu 1, najnižja pri vzorcu 3. Pri prvem razpadu je odstotek razpada materiala praktično neodvisen od vrste odpadne biomase. Temperatura drugega razpada je najvišja pri odpadnem usnju in konopljinem pezdiju, najnižja pri odpadnem papirju. Odstotek drugega razpada je najvišji pri konopljinem pezdiju, najnižji pri odpadnem papirju. Vsebnost saj je najnižja pri odpadnem papirju, ker vsebuje največ anorganskih dodatkov. Najmanj anorganskih dodatkov vsebuje konopljin pezdij.

Tabela 3: Rezultati TGA analiz

Vzorec	T_{d1} (°C)	Razpad 1 (%)	T_{d2} (°C)	Razpad 2 (%)	Vsebnost saj (%)	Ostarek (%)
1	377	57,5	475	36,2	4,8	1,5
2	366	56,2	469	33,7	2,2	7,9
3	356	57,0	474	37,7	4,9	0,3

Pri DSC (Tabela 4) analizi opazimo, da je tališče najvišje pri vzorcu 3, kjer je najvišja tudi talilna entalpija. Glede na enak delež odpadne biomase pri vseh vzorcih lahko zaključimo, da deluje konopljin pezdij kot nukleacijska jedra za heterogeno kristalizacijo. Pri heterogeni kristalizaciji se zviša tudi temperatura kristalizacije, kar praktično pomeni, da lahko skrajšamo čas hlajenja in s tem tudi ciklus čas predelave s postopkom brizganja. Vzorca 1 in 2 se v toplotnih lastnostih med seboj ne razlikujeta, imata enaki temperaturi tališča in kristalizacije ter enaki entalpiji kristalizacije in talilni entalpiji.

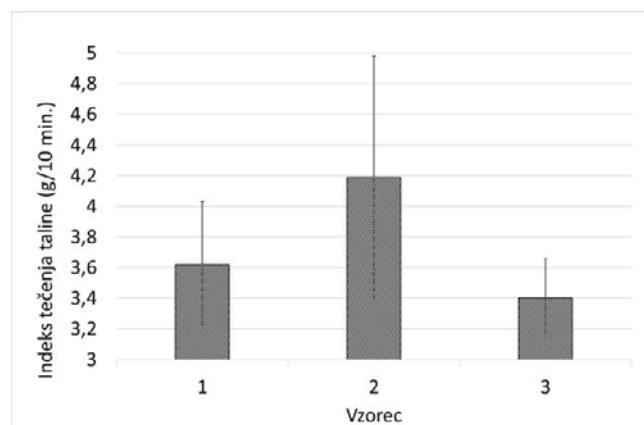
Zaključimo lahko, da odpadno usnje in odpadni papir ne spremenita toplotnih lastnosti termoplastičnih elastomerov, konopljin pezdij deluje kot nukleacijsko jedro za heterogeno kristalizacijo termoplastičnega elastomera, močno zviša talilno entalpijo in tališče, ter temperaturo kristalizacije in kristalizacijsko entalpijo. Kljub predhodno ugotovljeni največji velikosti delcev konopljinoga pezdija, le ta ne predstavlja steričnih ovir za kristalizacijo. Na podlagi tega dejstva lahko zaključimo, da kompatibilizator PE-g-MA omoči celotno površino vlaken konopljinoga pezdija in

tako omogoči rast kristalov v termoplastičnem elastomeru, kar vidimo s premikom tališča k višjim temperaturam.

Tabela 4: DSC rezultati

Vzorec	T_m (°C)	T_c (°C)	ΔH_m (J/g)	ΔH_c (J/g)
1	121,9	108,0	20,0	19,2
2	121,6	107,1	20,7	19,0
3	125,2	111,0	45,6	43,0

Indeks tečenja taline (Slika 3) je najvišji pri vzorcu 2, kjer je termoplastičnemu elastomeru dodan odpadni papir. Pri tej izvedbi je najvišji tudi raztros meritev. Najnižji indeks tečenja taline je pri vzorcu 3, kjer je dodan konopljin pezdij, za katerega smo že pri predhodnih analizah ugotovili, da deluje kot najboljše ojačevalo, kar pomeni, da so delci najdaljši, kar je tudi vzrok za najvišjo viskoznost taline. Najvišji indeks tečenja taline pri vzorcu 2 lahko razložimo z dodatkom polnila CaCO_3 , ki deluje hkrati kot dispergirno sredstvo in interni lubrikant.



Slika 3: Indeks tečenja taline

3.1 Brizganje ročajev za smučarske oz. pohodne palice

Pripravljene materiale vseh treh vzorcev v večjih količinah smo testirali v podjetju Tehnomat Kranj d.o.o., kjer smo v njihovi proizvodnji brizgali ročaje. Pri brizganju smo naredili scale-up parametrov brizganja, kjer smo optimirane parametre brizganja, ki smo jih

uporabili na FTPO, preračunali na brizgalni stroj in orodje, uporabljena pri testnem brizganju. Samo brizganje je potekalo brez problemov, uspešno smo nabrizgali vse tri vzorce, brez spreminjanja parametrov brizganja med vzorci. Vzorcem smo dodali tudi barvila v enakem odstotku, kot jih dodajajo sedaj v podjetju Tehnomat Kranj d.o.o.. Najmanj so barvila vplivala na barvo vzorca 1 (Slika 4), kjer je bela barva le osvetlila temno siv baveni ton v svetlo sivega. Večja sprememba je bila opazna pri vzorcu 3 (Slika 6), najbolj so se barvni toni spremenili pri vzorcu 2 (Slika 5), ki je najbolj primeren za izdelavo različnih barvnih izvedb. Dodajanje barvila ni vplivalo na kvaliteto brizganja, kar pomeni, da parametrov brizganja ni bilo potrebno spreminjati. Pri brizganju smo ohranili tudi zelo nizke temperature cilindra, da smo preprečili degradacijo odpadne biomase. Po brizganju je vzorec 1 ohranil vonj in izgled po usnju. Vzorca 2 in 3 posebnega vonja nista imela.

Izdelali smo okoli 50 kosov vsake izvedbe, ki jih je podjetje Tehnomat Kranj d.o.o. dalo izbranim posameznikom na testiranje. Najbolj pozitivno ocenjen po testiranju je bil vzorec 1. Podjetje Tehnomat Kranj d.o.o. je na sejmu ISPO svojim dosedanjim in potencialnim kupcem predstavilo ročaje za smučarske oz. pohodne palice izdelane iz vzorca 1. Tudi od njih so dobili najbolj pozitivni odziv za izvedbo z odpadnim usnjem. Dobili so tudi dodatne želje kupcev, da bi še zvišali delež bioosnovanih komponent. Tem željam smo na FTPO tudi takoj prisluhnili in smo pričeli iskati bioosnovane alternative sestavin za termoplastični elastomer. Iz predstavljenih vzorcev, kjer je bil delež bioosnovanih komponent 25,7 %, smo v prvem koraku zvišali delež na 39,2 %, pri najbolj optimirani izvedbi celo na 71,6 %. Trenutno predstavlja cena bioosnovanih komponent največjo oviro pri uporabi le teh, ker trenutne cene izdelkov običajno ne prenesejo povišanja cene surovin za več kot 100 %.



Slika 4: Slika ročajev za smučarske oz. pohodne palice iz termoplastičnega elastomera z dodanim odpadnim usnjem (levi brez barvila, desni z belim barvilom)



Slika 5: Slika ročajev za smučarske oz. pohodne palice iz termoplastičnega elastomera z dodanim odpadnim papirjem (levi brez barvila)



Slika 6: Slika ročajev za smučarske oz. pohodne palice iz termoplastičnega elastomera z dodanim konopljinim pezdirjem (levi brez barvila)

4 SKLEP

V okviru raziskave smo testirali uporabo odpadne biomase v kombinaciji s termoplastičnim elastomerom. Najvišjo togost, trdnost in raztezek pri pretrgu dobimo z dodanim konopljinim pezdirjem v termoplastični elastomer, najnižjo togost in trdnost dobimo pri dodatku odpadnega papirja. Dinamični E modul je najvišji pri dodatku konopljinega pezdirja v celotnem temperaturnem intervalu, najnižji pri dodatku odpadnega papirja. Največji delež anorganskih dodatkov ima odpadni papir. Konopljin pezdil deluje kot nukleacijsko jedro za heterogeno kristalizacijo termoplastičnega elastomera. Pri nizkih temperaturah predelave preprečimo degradacijo odpadne biomase tako pri kompavndiranju kot pri brizganju. Termoplastični elastomer z dodatkom odpadnega usnja ohrani vonj usnja tudi po brizganju. Razlike v indeksu tečenja taline so majhne in ne vplivajo na brizganje. Uspešno smo izvedli testno brizganje v podjetju Tehnomat Kranj d.o.o.. Podjetje je

vzorce vseh izvedb predstavilo tudi na sejmu ISPO. Razvoj bomo nadaljevali v smeri zviševanja biosnovanih komponent v termoplastičnem elastomeru z dodatkom odpadne biomase.

Prikazani primer je »primer dobre prakse« sodelovanja dveh slovenskih podjetij z raziskovalno inštitucijo. Prvo podjetje je Uteksol d.o.o. iz Slovenj Gradca, ki proizvaja termoplastične elastomere, drugo je Tehnomat Kranj d.o.o., ki proizvaja ročaje za smučarske oz. pohodne palice (sicer prodajajo tudi gotove palice), raziskovalna inštitucija je Fakulteta za tehnologijo polimerov iz Slovenj Gradca. Tako smo skupaj pokazali, da slovensko znanje v kombinaciji z ustrezno opremo in pravilnim pristopom vodi k odličnim rezultatom, kateri so vnovčljivi na trgu in glede na odziv s sejma ISPO tudi težko pričakovana novost na svetovnem nivoju. Tako smo pokazali, da lahko uspešno in v kratkem času odgovorimo na potrebe trga s področja polimerov.

Viri:

- [1] Drobny, J. G.. Handbook of Thermoplastic Elastomers, second edition: PDL Handbook Series. New York: Elsevier, 2014.
- [2] Shanks, R., Kong, I.. Thermoplastic Elastomers. Melbourne: Royal Melbourne Institute of Technology, 2012.
- [3] Veli, D., Karakaya, N., in Osman, G. E.. Effects of fillers on the properties of thermoplastic elastomers. Society of Plastics Engineers (2009), vol. 3, no. 2, str.1-4.

Prispevek »ODPADNA BIOMASA KOT OJAČEVALO ZA TERMOPLASTIČNI ELASTOMER« je nastal v okviru razvojno-raziskovalnega programa CEL. KROG: »Izkoriščanje potenciala biomase za razvoj naprednih materialov in bio-osnovanih produktov« (številka pogodbe: OP20.00365), sofinancirano s strani Republike Slovenije, Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport ter Evropske Unije, Evropski sklad za regionalni razvoj, 2016–2020.

CELOVITA REŠITEV »OMRON ANYFEEDER« ZA AVTOMATSKO DOZIRANJE, SEGMENTIRANJE IN SORTIRANJA IZDELKOV NA PROIZVODNI LINIJI

Matjaž KOVAČIČ, Andrej ROTOVNIK
MIEL, d.o.o.

Kratek pregled prispevka

Članek predstavlja univerzalno rešitev doziranja, segmentiranja in sortiranja izdelkov na proizvodni liniji. Rešitev povezuje vibracijski podajalnik, zmogljiv sistem strojnega vida, večosni oz. SCARA robot ter hitro komunikacijsko povezavo med posameznimi segmenti in eksternimi napravami. Gre za sistem, ki je nepogrešljiv v skoraj vsakem proizvodnem procesu, kjer se soočamo z izzivi optimalnega sortiranja, vstavljanja, prelaganja proizvodov ali njihovih sestavnih delov.

1 Uvod

V sodobnih industrijskih procesih stremimo k naprednejši tehnologiji, ki bi zmanjšala proizvodne stroške in pohitrila proizvodni proces. V obratih, kjer izdelujejo manjše izdelke ali pol izdelke nastajajo težave pri sortiranju velikih količin razsutega materiala. Ena izmed rešitev je bila z vibracijskimi podajalniki, ki so masivni, hrupni in velikih dimenzij, za menjavo materialov pa je bilo potrebno veliko časa.

Omron Anyfeeder rešitev predstavlja celotni paket učinkovitega in prilagodljivega sortiranja majhnih kosov. Gre za sistem, ki je nepogrešljiv v skoraj vsakem proizvodnem procesu, kjer se soočamo z izzivi optimalnega sortiranja, vstavljanja, prelaganja proizvodov ali njihovih sestavnih delov. Njegova fleksibilnost pri podajanju majhnih delov različnih velikosti, oblik in materialov omogoča hitro menjavo linije, s tem pa znatno nižja stroške proizvodnje.

V tem članku so predstavljeni posamezni segmenti Omron Anyfeeder rešitve, delovanje strojnega vida in opis algoritmov, kot tudi princip delovanja sortirne naprave in načini tresenja, ki zagotavljajo zanesljivo delovanje.

2 Sklopi Omron Anyfeeder rešitve

Podajalni stresalniki serije Anyfeeder SX/SXM so namenjeni za uporabo v kombinaciji z industrijskim robotom in sistemom strojnega vida za namen hitrega in zanesljivega sortiranja razsutih kosov (slika 1). V primerjavi s klasičnimi vibracijskimi podajalniki je Anyfeeder kompaktno zasnovan, z namenom enostavne integracije na proizvodno linijo in večjo fleksibilnostjo pri menjavi kosov.

Omron Anyfeeder se uporablja povsod, kjer je potreba po upravljanju večje količine majhnih kosov, saj s svojim edinstvenim načinom delovanja omogoča natančno, hitro in prilagodljivo razvrščanje na proizvodnih linijah, še posebej v obratih kjer se sistemi stalno spreminjajo. Primerni so za:

- Avtomobilsko industrijo,
- elektrotehniko,
- polprevodniško industrijo,
- finomehanske izdelke,
- pakirne aplikacije,
- kozmetiko,

- strojih za sestavljanje izdelkov,
- zobozdravstveno in medicinsko tehnologijo.



Slika 1: Omron Anyfeeder rešitev

2.1 Anyfeeder

Anyfeeder je vibracijski podajalnik in stresalnik, ki omogoča fleksibilno podajanje in sortiranje kosov poljubnih oblik, katere s pomočjo različnih kombinacij tresenja, hitro in učinkovito segmentira.

Na voljo je več modelov, ki se med sabo ločijo v velikosti zalogovnika in stresalne površine. Večji modeli SX240 in SX340 imajo dodatno vgrajene pnevmatske priključke, ki omogočajo funkcionalnost zadrževalnika (slika 2) za precizno podajanje kosov iz zalogovnika na sortirno površino.



Slika 2: Sestavni deli Anyfeeder naprave

Podajalnik komunicira preko enostavnih ukazov na povezavi RS232. Protokol krmilja je standardiziran in dobro opisan, kar omogoča

integracijo tudi v robotske sisteme drugih proizvajalcev.

Na učinkovitost razvrščanja kosov vpliva predvsem njihova velikost, oblika in masa, ki posledično zahtevajo namenske nastavitve parametrov tresenja. Na stresalniku lahko nastavljamo jakost in čas tresenja posameznih ukazov kot so (tabela 1) [4]:

- Smer tresenja naprej, nazaj, vertikalno,
- obračanje naprej in nazaj,
- podajanje kosov iz zalogovnika in
- čiščenje zalogovnika ter sortirne površine.

Na sortirno površino želimo dodajati ustrezno količino kosov, da jih lahko hitro razvrščamo z dovolj velikim medsebojnim razmakom, saj le to omogoča robotskemu prijemu zanesljivo prijemanje.

Omron Anyfeeder lahko krmilimo s PLK-jem preko komunikacije RS232. V programsko kodo je potrebno implementirati niz ukazov (tabela 1), s katerimi kreiramo zaporedje tresenja in obračanja, ki zagotovi optimalno razvrščanje kosov [4].

Prav tako lahko Anyfeeder integriramo v Omron razvojno okolje ACE, v katerem najdemo tudi ostale Omron industrijske robote in kamere. Programska oprema bazira na IPC aplikaciji v kateri lahko programiramo robote, z dodatkom ACE vision paketa pa lahko upravljamo z algoritmi strojnega vida. IPC ima na voljo PoE porte, na katere povežemo Omron GigE kamero in nato kreiramo algoritem prepoznavanja pravilne orientacije kosov. S tem lahko IPC aplikacija v kombinaciji z ACE razvojnim okoljem pokriva celotno področje programiranja vseh segmentov Omron Anyfeeder rešitve.

2.2 Strojni vid

Sistem strojnega vida se določi glede na fizične lastnosti kosa, ki ga želimo odkrivati s kamero. Potrebno je upoštevati njihovo velikost, barvo in obliko, kot tudi osvetlitev okolice. Ti dejavniki so bistvenega pomena pri izboru ločljivosti in tipa senzorja (barvni ali monokromatski) ter

izboru osvetlitve. V tej aplikaciji je standardna konfiguracija strojnega vida samostojna pametna kamera nameščena pravokotno nad sortirno površino (slika 1), integrirana osvetlitev ozadja pod sortirni površini (slika 2) in C-mount objektiv, ki se določi glede na oddaljenost med kamero in sortirno površino. V prvi fazi je potrebno nastaviti odprtost zaslone in fokus glede na jakost osvetlitve ozadja (integrirano pod stresalno površino Anyfeederja).



Slika 3: Omron kamere

Primer aplikacije predstavlja Omron pametna kamera serije FHV7, ki deluje kot samostojna naprava povezana na PLK preko izbrane komunikacije Ethernet/IP ali ProfiNET. Programsko okolje kjer se kreira ustrezen algoritem strojnega vida je t. i. Remote operation tool FZ-PanDA v katerem je na voljo širok nabor naprednih algoritmov, ki omogočajo: merjenje, iskanje oblik in robov, defektov, obdelavo slik, kalibracije, OCR, logične operacije, preračunavanje, kompenzacije, shranjevanje slik, povezava podatkov na fieldbus in še mnogo več [1].

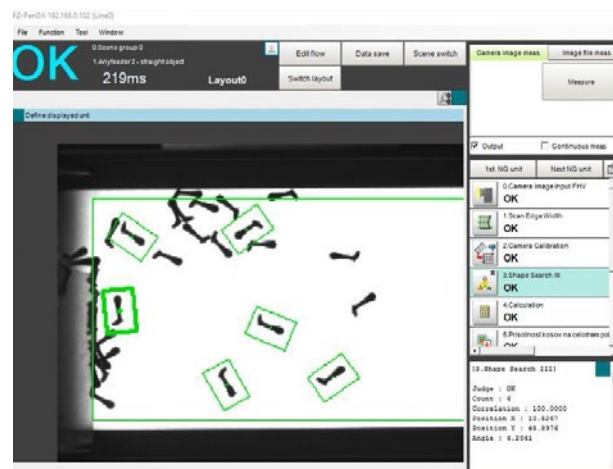
V prvem delu algoritma je na vidnem polju potrebno izmeriti širino sortirne površine. Ta je osvetljena od zadaj in ustvari izrazito razliko kontrastov, ki jasno prikaže zunanje robove.

Izmerjeno širino uvozimo v kalibracijski algoritem, določimo dejansko širino v milimetrih in generiramo kalibracijske parametre, ki

pretvorijo izmerjene vrednosti v realne. V algoritmu je še potrebno določiti skupno točko koordinatnega izhodišča kamere in robota ter orientacijo koordinatnega sistema (Desnosučni ali levosučni) [1].

V naslednji fazi uporabimo napredni algoritem t. i. Shape search III v katerem označimo objekt iz slike, ki ga želimo odkrivati. V nadaljevanju funkcija registrira model na podlagi pridobljenih podatkov kontur in primerja kateri model je najbolj podoben izvornemu. Korelacijski faktor nakazuje stopnjo podobnosti in ga nastavimo na vrednost, ki zagotovi, da algoritem ne odkriva kose, ki se prekrivajo. Za vsak ustrezen model, ki dosega zahteve jih algoritem odkrije (slika 4) in poda informacije [1] kot so:

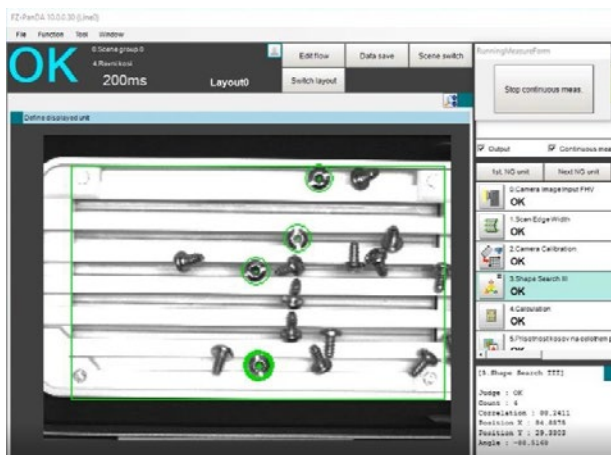
- Ocena uspešnosti kontrole (OK/NG),
- število odkritih kosov,
- korelacijski faktor in
- koordinate kosa (X, Y, ϕ).



Slika 4: Algoritem strojnega vida z Omron FHV7 pametno kamero

V nadaljevanju uporabimo algoritem t. i. Gravity Area, s katerim štejemo količino temnih pikslov na začetku in koncu sortirne površine [1]. Dobljene vrednosti predstavljajo dejansko količino kosov, ki se nahajajo na površini in le te pošljamo na PLK preko Fieldbus komunikacije. V programski kodi uporabimo podatke za način tresenja naprej in nazaj, s tem pa zagotovimo, da se kosi ne kopičijo samo na eni strani ampak se enakomerno razporedijo po celotni površini [2].

V praksi se pojavljajo aplikacije, kjer gladka sortirna površina ne ustreza za pravilno postavitvev oz. orientacijo kosov. Primer takšne aplikacije je sortiranje vijakov, kjer je zahteva orientacije vijaka z glavo navzgor. V teh primerih se uporabi prilagojena sortirna površina z utori, ki s pomočjo tresenja učinkovito vstavi vijake v utore (slika 5).



Slika 5: Sortiranje vijakov s prilagojeno površino

2.3 PLK – Omron NJ

Krmilnik vzpostavlja komunikacijo med vsemi napravami in celotno rešitev avtomatizira. Omron PLK serije NJ omogoča uporabo kartice za serijsko komunikacijo, ki podpira t. i. protocol macro. Le ta omogoča da implementiramo sintakse ukazov Anyfeederja v makro-je, s tem poenostavimo prenos ukazov na Anyfeeder [5].

Na začetku programskega cikla prožimo inšpekcijo na kameri, ki zažene algoritem strojnega vida. Slednji primerja naučen model z zajeto sliko in ko najde pravilno orientirane kose, pošlje povratne informacije na PLK. V kolikor so kosi prisotni na stresalni površini, pridobimo število temnih pikselov prisotnih na začetnem in končnem polju sortirne površine. Nato se v programski kodi vrednosti primerjajo s spodnjo in zgornjo nastavljeno limito, ki sekvenčno prožijo smer tresenja kosov naprej-nazaj. V primeru, da so vrednosti obeh polj pod spodnjo limito, se začne izvajati podajanje kosov iz zalogovnika vse do dosežene zgornje limite.

Pri pravilno orientiranih kosih, kamera pošlje njihove koordinate (X, Y, φ), PLK pa jih direktno posreduje robotu, ki opravi manipulacijo

pobiranja kosa. Ko želimo v Anyfeeder-ju uporabiti nov tip kosov, se v programu izvede ukaz za praznjenje zalogovnika in sortirne površine. Temu ukazu je potrebno ustrezno nastaviti čas tresenja, da zagotovimo popolno praznjenje kosov skozi zadnjo loputo. Prav tako je potrebo pri menjavi na nov tip kosov upoštevati program tresenja, le ta je prilagojen glede na njihove fizične lastnosti, zato je primerno uporabiti recepture, ki vsebujejo prilagojene parametre za vsak tip [4].

Ukaz	Opis	Sintaksa
Feed Forward	Tresenje naprej	> x=1<cr>
Feed Backward	Tresenje nazaj	> x=2<cr>
Feed + Flip Forward	Obračanje kosov naprej	> x=3<cr>
Feed + Flip Backward	Obračanje kosov nazaj	> x=4<cr>
Flip	Obračanje kosov na mestu	> x=5<cr>
Dispense	Podajanje kosov iz zalogovnika na sortirno površino	> x=6<cr>
Purge	Praznjenje kosov iz zalogovnika in sortirne površine	> x=7<cr>

Tabela 1: Ključni ukazi Anyfeederja

2.4 Robot

V Omron portfelju industrijskih robotov so v aplikaciji Anyfeeder rešitve primerni SCARA i4L, 6-osni Viper, in kolaborativni TM roboti. Za hitre manipulacije kot pri »pick and place« aplikacijah je primernejši SCARA i4L robot, ki dosega ciklične čase do 0,48s, ključna prednost tega robota pa je integriran robotski krmilnik

(serije NJ). V kolikor je potreba po manipulaciji robota z več gibi in koraki (primer aplikacije sestavljanja ali pakiranja) je primernejši 6-osni robot Viper (slika 6). Prednost Omron robotskega IPC sistema je skupna platforma ACE (Automation Control Environment), v kateri lahko upravljamo celotni portfelj Omron industrijskih robotov, Anyfeeder-jev in sistemov strojnega vida v enem okolju. S tem komunikacija med napravami deluje bolj učinkovito in prenos podatkov se poenostavi.



Slika 6: Omron industrijski roboti

3 Povzetek

Omron Anyfeeder rešitev je celovit sistem Omron naprav, ki skupaj tvorijo učinkovit in prilagodljiv podajalni sistem. Rešitev sestavljajo Anyfeeder - podajalni stresalnik, strojni vid, PLK in robot. Skupaj tvorijo nepogrešljiv sistem v skoraj vsakem proizvodnem procesu, kjer se soočamo z izzivi optimalnega sortiranja, vstavljanja, prelaganja proizvodov ali njihovih sestavnih delov.

V praksi se pojavijo aplikacije pri katerih so zahteve s postavitvijo in orientacije kosov takšne, da s klasično podlago sortirne površine ne moremo zagotoviti pravilno delovanje, zato je potrebno vstaviti namensko sortirno površino, ki ima narejene utore ali ležišča.

Anyfeeder, robot in kamera so samostojne univerzalne naprave, ki omogočajo več možnih komunikacijskih protokolov, s tem jih lahko enostavno povežemo z napravami drugih proizvajalcev.

Potrebno je upoštevati, da je Anyfeeder naprava, ki prenaša vibracije na montažno mesto, zato je potrebno zagotoviti čvrsto in stabilno konstrukcijo [3], da je delovanje kamere in robota nemoteno.

4 Literatura

- [1] https://assets.omron.eu/downloads/manual/en/v9/z341_fh_fhv_series_vision_system_-_processing_item_function_reference_manual_en.pdf FH/FHV Series Vision System Processing Item Function Reference Manual (dostopno 25.2.2021)
- [2] https://assets.omron.eu/downloads/manual/en/v9/z342_fh_fhv_series_vision_system_communications_manual_en.pdf FH/FHV Series Vision System User's manual for Communication Settings (dostopno 25.2.2021)
- [3] https://assets.omron.eu/downloads/manual/en/v6/18831-0_anyfeeder_integration_guide_en.pdf Anyfeeder Integration Guide (dostopno 25.2.2021)
- [4] <https://assets.omron.com/m/5e8428ff03caab0f/original/AnyFeeder-User-Guide.pdf> Anyfeeder User Guide (dostopno 25.2.2021)
- [5] https://assets.omron.eu/downloads/manual/en/v1/w344_cx-protocol_operation_manual_en.pdf SYSMAC CX-Protocol Ver. 2.0 Operation Manual (dostopno 2.3.2021)
- [6] https://assets.omron.eu/downloads/manual/en/v4/i633_ace_4.0_users_manual_en.pdf Automation Control Environment (ACE) Version 4 User's Manual (dostopno 2.3.2021)



INDUSTRIJSKI FORUM IRT 2021, JUNIJ 2021

Novi sodelujoči roboti z aplikativnimi rešitvami

Daniyel Čosić, Tomaž Lasič, Robert Logar, ABB d.o.o.

ABB Robotics



Ključne lastnosti sodelujočih robotov

Zakaj so tako popularni med uporabniki?

Varnost



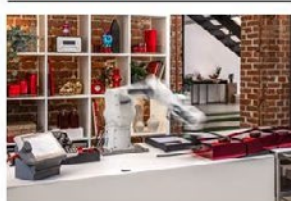
Omogoča aplikacije brez ograj.
Varno industrijsko oblikovanje.
Celovita nabor orodij za varnostne funkcije: nadzor hitrosti, nadzor sil, varni položaji in še več.

Enostavna uporaba



Hitra namestitvev in kalibracija.
Ročno neposredno premikanje robota.
Enostavno programiranje robota za nestrokovnjake.
Enostavno upravljanje za operaterje.

Produktivnost



Največja hitrost ob hkratnem ohranjanju varnosti.
Visoka natančnost pri montaži.
Enostavna integracija v obstoječe proizvodne linije.
Stroškovno učinkovita avtomatizacija manjših serij.

Fleksibilnost



Manjša konstrukcija robota
Manjše, vitkejše naprave v primerjavi z industrijskimi roboti.
Enostavni za premeščanje.
Uporabni v različnih aplikacijah.

ABB's portfolio sodelujočih robotov

Najbolj raznolika paleta izdelkov na trgu za vse potrebe sodelujočih aplikacij.

YuMi IRB 14000/14050



Vgrajena varnost, popolno sodelovanje

GoFa™ CRB 15000



Visoka nosilnost za sodelujoče delovanje

SWIFTI™ CRB 1100



Visoka zmogljivost za sinhrono delovanje

Wizard



Wizard
Easy programming
+ Skill Creator

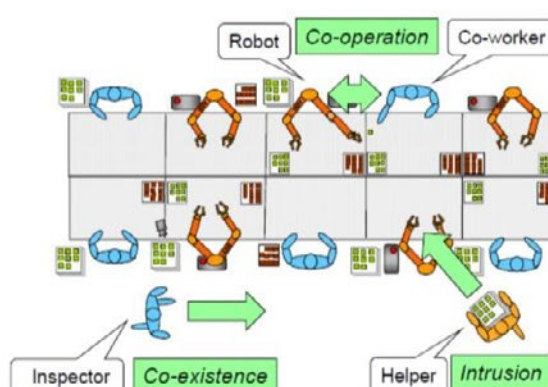
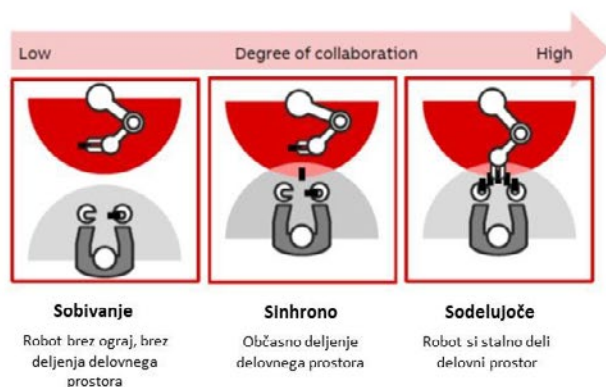
Ease-of-Use



Navodila,
AR, VR...

Različni nivoji sodelujočih operacij

En tip robota ne pokrije vseh področij



GoFa™ CRB 15000

Go far. Go faster. Go further than ever. Take your business to the next level with GoFa.

Key features:

- 5kg payload
- 12% Longer reach than comparable cobots, 950mm
- Integrated sensors in each joint ensure safety of people upon contact
- Highest TCP speed, 2.7m/s *
- Superior lead through teaching anywhere on the robot
- Enhanced interaction features on arm
- Simple yet powerful Wizard easy programming
- IP54 protection level
- Full safety certification

June 1, 2021

*This is the max speed, safe collaborative speed will be slower and depends on your application, always conduct a risk assessment for your cobot application.

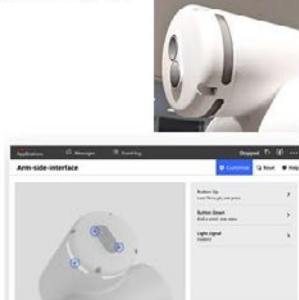
GoFa™ CRB 15000

Lastnosti za enostavno uporabo

Vmesnik na roki – ASI (arm side Interface)

2 nastavljeni tipki

Svetlobni prikaz



Ročno vodenje – Lead through

Tekoče ročno vodenje robota

- ⇒ Robota lahko primemo in vodimo kjerkoli
- ⇒ Z določitvijo varnostnih parametrov ni potrebno držati varnostne omogočitvene tipke.



Čarovnik – Wizard programming

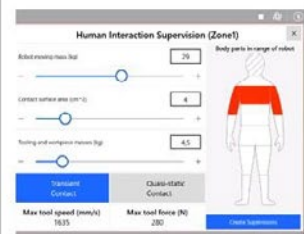
Intuitiven grafični vmesnik

Wizard programming je možno uporabiti tudi na drugih robotih YuMi IRB 1100



Konfigurator varnosti -Safety configurator

Easy configurator za SafeMove na FlexPendant-u



Ni potrebna kalibracija robota





SWIFTI™ CRB 1100

A lightning-fast cobot that combines industrial-level performance and innovative safety

Key features:

- 5x higher max speed than other cobots*
- Up to 10x higher repeatability than other cobots
- Clip-on lead through device for each teaching
- Safety laser scanner included
- Simple yet powerful Wizard easy programming
- Integrated compressed air supply
- Industrial robot performance
- IP40
- Full safety certification

*This is the max speed, safe collaborative speed will be slower and depends on your application, always conduct a risk assessment for your cobot application

SWIFTI™ CRB 1100

Funkcije za enostavno uporabo

Interaktivna signalna luč - Interaction Light

- Večbarvna luč vgrajena v robotsko roko
- Prikaz varnostnega skenerja
- Opozorila za operaterja



Neposredno vodenje - LeadThrough Device

- Odklopna naprava za vodenje
- Prilagodljiva montaža
- Enostaven priklop in odstranitev



Blokovno programiranje - Wizard Easy Programming

- Intuitiven grafični vmesnik
- Support za vse cobote na Omnicore in IRB 1100.
- Tečaji po korakih na voljo v spletu



Vgrajene varnostne fun. - Integrated Safety Features

- SICK Laser Scanner MICS3-ABA/40P/1P01 dobavljen z robotom
- Kit s kabli
- Easy SafeMove konfigurator na FlexPendant-u



SafeMove



SWIFTI™ CRB 1100

Neposredno ročno vodenje - Lead-Through Device – Kako deluje?



©ABB
June 1, 2021 | Slide 9 External

ABB

ABB YuMi® je bil razvit za delo ob človeku



- Človeku podoben doseg in hitrost rok
- Lahek in kompakten z vgrajenim krmilnikom v telesu.
- Ustreza prostorom, namenjenim za ročno sestavljanje
- SmartGripper z vgrajenimi servo prsti, kamero, vakuumom
- 7 osna roka omogoča reorientacijo v tesnem prostoru
- Dvojna ali enojna roka



©ABB
June 1, 2021 | Slide 10

ABB

SafeMove 2 – Izvedba sodelujočih aplikacij

Varnostni sistem za standardne industrijske robote

Uporaba močnejših in hitrejših robotov

Safe Zones Varnostne cone omogočajo optimizacijo velikosti robotske celice in poenostavljajo izdelavo varnostne zaščite in inštalacij. Varujejo uporabnika in opremo.

Safe Axis Ranges Varna območja osi nadomeščajo elektro-mehanska končna stikala, povečujejo nadzor in prilagodljivost ter poenostavljajo vzdrževanje.

Safe Robot Speed Omejevanje hitrosti robota nadzoruje določen nivo hitrosti, ki omogoča delo operaterja v bližini robota.

Safe Standstill Varnostna zaustavitev nadzira mirovanje osi brez potrebe po izklopu motorjev. Operaterju omogoča delo v neposredni bližini robota.

Cyclic brake check S cikličnim preverjanjem zavor nadzoruje, da se zavore preverjajo na zahtevano obdobje.



©ABB
June 1, 2021

| Slide 11

ABB

Obogatena resničnost

RobotStudio - Augmented Reality

Enostavna uporaba

RobotStudio® AR Viewer



Uporaba pametnega telefona ali tablice

Aplikacija je na voljo na:

- App Store,
- GooglePlay.



Boljša izkušnja s pomočjo posebnih očal.



©ABB
June 1, 2021

| Slide 12

ABB

ROBOTSKA CELICA ZA LASERSKO VARJENJE NIZKO SERIJSKIH IZDELKOV Z 3D VODENIM LASERSKIM ŽARKOM NA OSNOVI 3D SCANA OBJEKTA

Dr. Hubert KOSLER, Damian ŠIRAJ, Peter ARKO, Erih ARKO
YASKAWA Slovenija d.o.o.
YASKAWA Ristro d.o.o.

IZVLEČEK

Robotizacija varilnih procesov predstavlja velik izziv, še posebej, ko govorimo o robotizaciji majhnih serij kompleksnih izdelkov. YASKAWA je z zadnjo rešitvijo omogočila, da je robotizacija upravičena tudi na področju laserskega varjenja v splošni industriji za nizko serijske produkte.

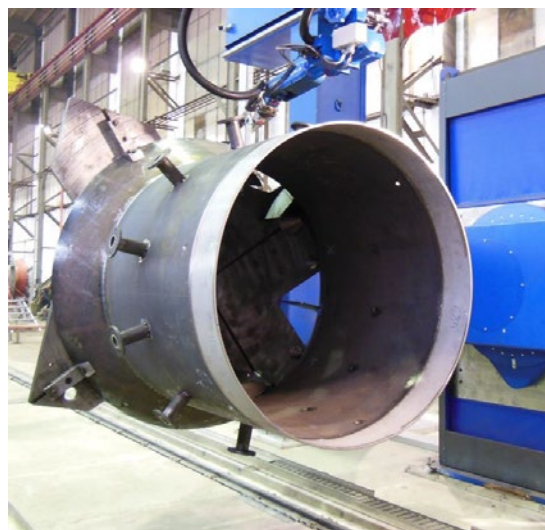
1 UVOD

V robotskih varilnih aplikacijah poznamo dva tipa avtomatizacij in sicer visoko serijsko produkcijo kjer imamo opravka z dobro pripravljenimi kosi ponovljivih dimenzij. S kompleksnimi vpenjalnimi orodji pa zagotavljamo, da so kosi ponovljivo vpeti na isti poziciji. Samo robotsko programiranje je po izkušnjah enostavnejše in je opravljeno v relativno kratkem času.

Tak tip aplikacij se predvsem pojavlja v avtomobilski industriji, kjer je življenjska doba proizvodnje izdelka med 5 in 10 let.

V splošni industriji pa imamo pri varilnih robotskih aplikacijah opravka z kompleksnejšimi izdelki, kjer so tudi dimenzije večje. V takih primerih je uporaba kompleksnejših vpenjalnih orodij nerentabilna in težko izvedljiva.

Dodatni izziv lahko predstavlja dolgotrajno robotsko programiranje, ker je v tem času onemogočena produkcija robotske celice.



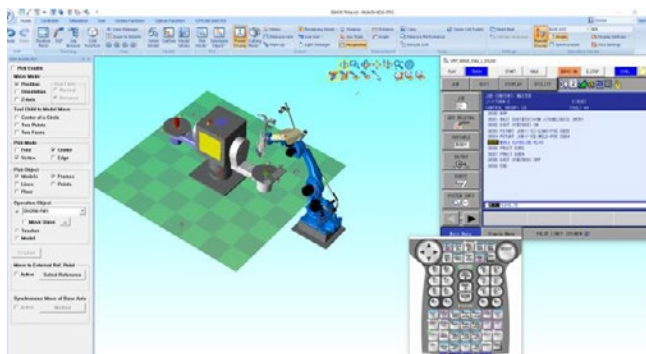
Slika 1: Robotizacija splošna industrija

(Slika 1) prikazuje tipičen primer iz takih aplikacij. Poleg same varilne robotske trajektorije, je tu potrebno vključiti še sekvence programa za lociranje pozicij s pomočjo meritev, ki se izvajajo z uporabo robotske sensorike (kontaktno iskanje, uporaba kamer itd...). V YASKAWI smo na podlagi izkušenj pripravili optimalno rešitev, kjer smo uporabili najnovejša orodja v robotiki in jih implementirali v aplikacijo laserske robotske celice z 3D vodenim laserskim žarkom in uporabe 3D skeniranja.

V aplikaciji smo uporabili 5 ključnih gradnikov, ki skupaj tvorijo robotsko celico z visoko učinkovitostjo:

- Offline okolje MOTOSim VRC
- Laserska oprema z fiksno optiko
- High accuracy robot YASKAWA MC2000II
- 3D Vision sistem MOTOSense 3.0
- Laser Spy in FSU varnostni robotski krmilnik

2. OFFLINE PROGRAMSKO OKOLJE MOTOSIM VRC



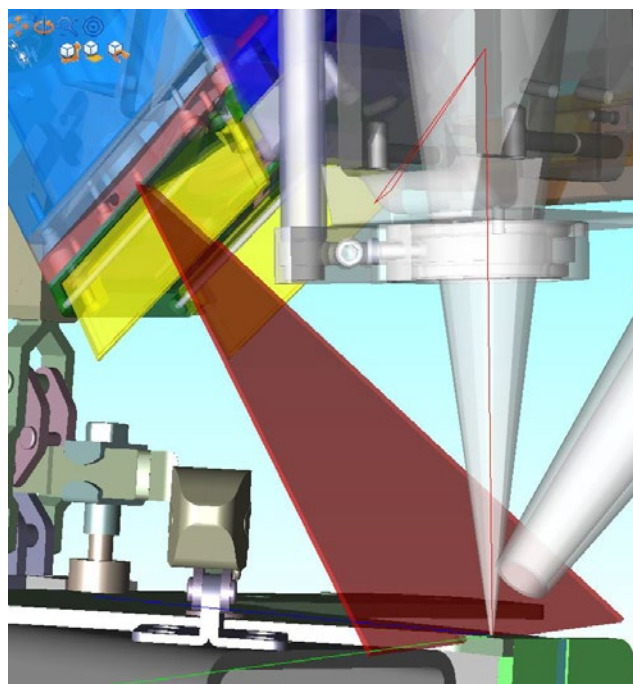
Slika 2: Postavitev robotskega sistema v virtualnem okolju

MotoSim je offline programsko okolje, ki lahko skrajša čas učenja za robota. Ker so robotski programi pred pripravljeni in jih je potrebno le naložiti na realen sistem z manjšimi modifikacijami, poveča produktivnost in zagotovi varnost operaterja z omogočanjem programiranja robota na osebni računalnik.

MotoSim uporablja isti kinematični model kot krmilnik robota in vse instrukcije INFORM programskega jezika, kar omogoča popolno kompatibilnost z realno celico (Slika 2).

V primerih, kjer imamo opravka z neponovljivostjo kosov, lahko v offline program že vključimo programa za lociranje pozicij s pomočjo meritev, ki jih izvajamo z uporabo robotske senzorike.

Sam postopek programiranja poteka na več načinov. Najbolj je uporabljen način OLP, kjer položaj TCP točke enostavno določimo s klikom na zvarnem mestu (Slika 3).



Slika 3: OLP funkcija za določanje začetne točke skeniranja in varjenja.

3. LASERSKA OPREMA TRUMPF



Slika 4: Fiksna laserska optika TRUMPF BEO D70

V avtomobilski industriji se vse več komponent vari z laserskimi tehnologijami. Zaradi prednosti se lasersko varjenje uporablja vse več tudi v splošni industriji. V našem primeru smo uporabili lasersko opremo vlakenskega laserja TRUMPF 4 kW in fiksne optike BEO D70 (Slika 4). Ta oprema omogoča bistveno večje hitrosti varjenja z majhnim vnosom energije na okoliško površino. S tem prihaja do manjših sprememb geometrije izdelka po končanem varilnem procesu. Prav tako pri laserskem varjenju bistveno zmanjšamo kasnejšo obdelavo zvarnih spojev (brušenje).

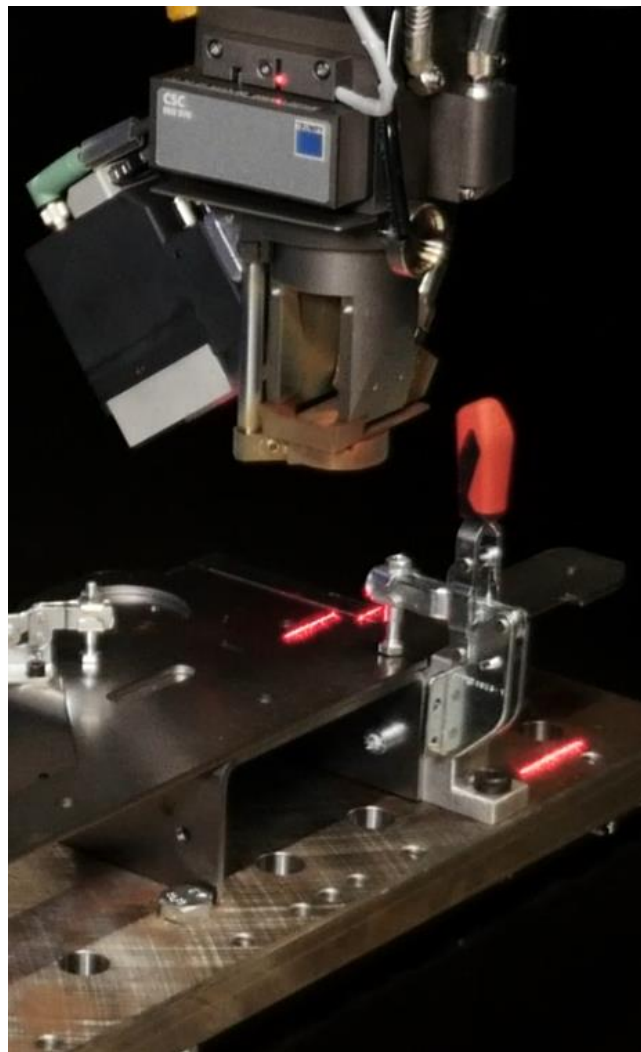
4. HIGH ACCURACY ROBOT YASKAWA MC2000II



Slika 5: YASKAWA Robot MC2000II

V aplikaciji smo uporabili robota MC2000II (Slika 5). Industrijski roboti Yaskawa MC2000II zagotavljajo izredno natančnost trajektorije in so primerni za uporabo v aplikacijah laserskega varjenja, ko mora natančnost in ponovljivost trajektorije zagotoviti robot. Robot je bil razvit za izvajanje natančnih gibov in je idealna izbira za lasersko rezanje majhnih lukenj in ostrih vogalov, lasersko varjenje ter plazemsko rezanje. Z nosilnostjo do 50kg omogoča tudi vodenje procesno skenirne optike v tako imenovanem režimu »Welding on the fly«, kjer je robotska roka popolnoma sinhronizirana z krmiljenjem laserskega žarka po izbrani trajektoriji. Doseg robota v kombinaciji z zunanjim pozicionerjem R2L500 prav tako omogoča veliko delovno področje in dostopnost do zvarnih spojev. Robota in pozicioner krmili visoko zmogljiv robotski krmilnik DX200, ki omogoča sinhrono krmiljenje do 72 osi.

5. 3D VISION SISTEM MOTOSENSE 3.0

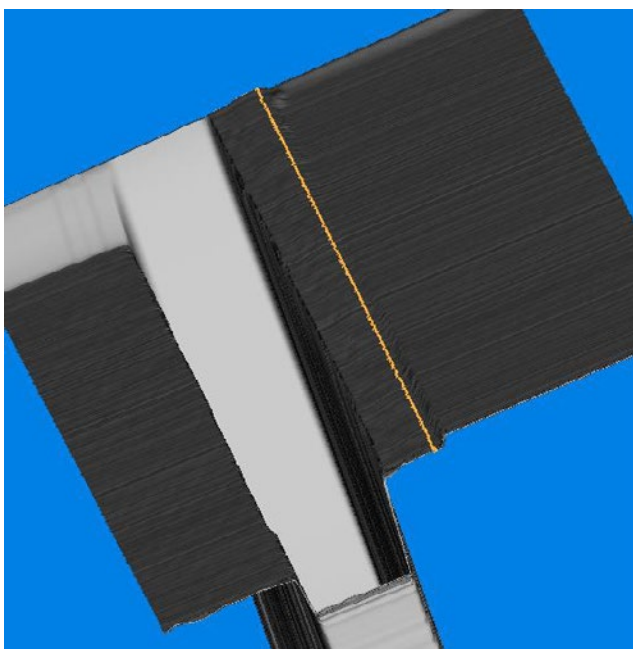


Slika 6: YASKAWA Vision sistem MOTOSense 3.0

MOTOSense 3.0 sistem (Slika 6) je rešitev za robotske aplikacije, kjer je potrebno iskanje pozicije ali sledenje zvarnega spoja v realnem času. S sistemom lahko obdelujemo podatke površin za različne materiale kot so: aluminij, nerjaveče jeklo, steklo, plastika, itd.. Sistem se uporablja v nadzorovanem delovnem območju, ki onemogoča dostop operaterja med avtomatskem delovanjem. MOTOSense 3.0 optični merilni sistem je sestavljen iz slikovnega modula in procesne enote. Kamera je pritrjena na mesto kjer zajema podatke in je povezana s samostoječo procesno enoto preko fleksibilnih podatkovnih kablov. Procesna enota pa komunicira z robotskim krmilnikom.

Kamera zajema prostorsko informacijo o objektu, jo posreduje procesni enoti v obdelavo in določitev položaja spoja in rezultat posreduje robotskemu krmilniku. S tem robota vodi po dejanskem poteku spoja. Popravke položajev lahko z MOTOSense 3.0 opravimo pred varjenjem/obdelavo (t.i. iskanje spoja, ang. seam finding ali skeniranjem spoja, ang. Seam scanning) ali med varjenjem/obdelavo (t.i. sledenje spoja, ang. seam tracking). Popravke lahko izvajamo v ključnih točkah (eng. key nodes), ki so tudi točke robotskega programa (ang. JOB-a).

V našem primeru smo uporabili režim skeniranja spoja, ki omogoča natančno generiranje varilne trajektorije po spoju, prav tako pa je režim v kombinaciji offline programiranja najbolj optimalen za programiranje in izvajanje delovnih operacij.



Slika 7: Generiran 3D oblak točk z razpoznavo spoja

V sami delovni operaciji, robot s pomočjo kamere naredi zajem skena po zvarnem mestu. Na podlagi meritev nato zgenerira 3D oblak točk (Slika 7). Na podlagi najdenih točk spoja, se nato zgenerira robotska trajektorija, ki jo nato centralni računalnik procesne enote preko FTP protokola pošlje robotskemu krmilniku.

Robotski krmilnik nato izvede proces varjenja (Slika 8) za izbrani zvarni spoj natančno po varilni poziciji.



Slika 8: Laserski varilni proces na zvarnem spoju

5 LASER SPY IN FSU VARNOSTNI ROBOTSKI KRMILNIK



Slika 9: Aktivna laserska zaščita

Laserska zaščita po standardu EN60825 je v robotskih laserskih aplikacijah ključnega pomena, saj moramo zagotoviti varnost operaterjev pred

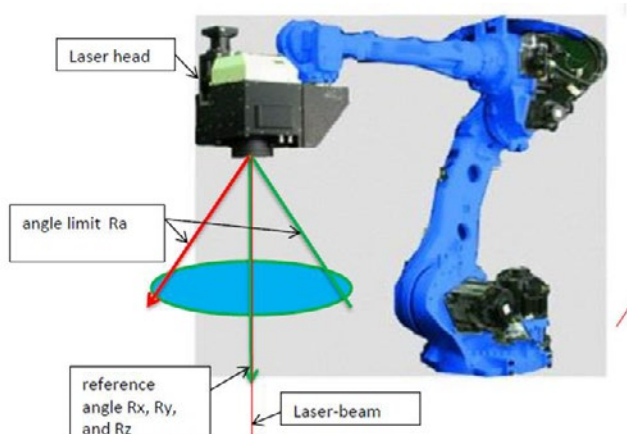
morebitnim prebojem laserskega žarka izven delovnega področja varilnega procesa. Izvedba zaščite je lahko t.i. pasivna zaščita ali aktivna zaščita (Slika 9), odvisno od moči in konfiguracije laserske opreme. Prav tako na izvedbo vpliva tudi oddaljenost zaščitnih pločevin robotske celice od samega mesta varjenja.

V našem primeru je bila uporabljena aktivna zaščita z Laser spy senzorji, ki detektirajo preboj laserske svetlobe med zaščitno steno robotske celice. V primeru preboja varnostni sistem v trenutku izklopi dovod laserskega izvora.

Kot varnostni element je uporabljena tudi funkcionalnost FSU (Functionality Safety Unit) robotskega krmilnika DX200, ki preprečuje, da bi robot z kotom optike direktno usmeril žarek v zaščitno steno (Slika 10).

7. ZAKLJUČEK

Z rešitvami, ki so rezultat tudi lastnega razvoja smo kupcu integrirali visoko tehnološki robotski sistem, ki lahko izvaja varjenje široke palete izdelkov iz različnih materialov. Omogočena je tudi popolna povezljivost z vsemi napravami iz oddaljene lokacije. Tako, da je možno v vsakem trenutku nuditi popolno podporo na aplikaciji preko oddaljenega dostopa.



Slika 10: FSU funkcija Tool angle monitor

KOLABORATIVNI IN INDUSTRIJSKI ROBOTI – ČESA SI ZARES ŽELIMO, KOLABORATIVNOSTI ALI HITROSTI ROBOTOV?

Jan KRAMŽAR, Tim VRBANČIČ
INEA RBT – oprema za avtomatizacijo, d.o.o.

IZVLEČEK

Kolaborativnost bržkone pomeni (tudi) varnost, hitrost pa v primeru robotov kratke cikle. Sodelujoči roboti brez dvoma prinašajo sebi edinstvene funkcionalnosti – poleg večje varnosti je mogoče robotsko roko ročno voditi, programiranje točk pa je bolj enostavno in intuitivno, kar omogoča večjo fleksibilnost procesa. Industrijski roboti so po drugi strani hitrejši, namenjeni hitremu »cikliranju«, številnim proizvodnim serijam, prinašajo pa tudi večjo preciznost. Industrijski robot s pomočjo dodatnih varnostnih komponent tudi lahko postane (omejeno) kolaborativen – ob posegu operaterja v delovno območje se robot upočasni ali ustavi, vseeno pa najvišje stopnje kolaborativnosti (kot je to mogoče s kolaborativnimi roboti) ni mogoče doseči. Večino časa obratovanja bo tak robot hiter, proces produktiven, v varnem načinu pa bo deloval le takrat, ko bo to zares potrebno. V primeru kolaborativnih robotskih aplikacij se porajajo še vprašanja glede ostalih dejavnikov procesa. Ali so lahko denimo ostri, vroči in drugi nevarni obdelovanci del kolaborativne robotske aplikacije? Stopnjo tveganja kolaborativnega procesa je zahtevno oceniti, pri vsemu skupaj pa je potrebno zadostiti varnostnemu standardu ISO, ki določa najvišjo dovoljeno hitrost robota, njegovo moč, silo in ergonomijo v aplikaciji. V prispevku bomo skušali razjasniti opisano problematiko, našli pa bomo tudi primere uporabe, kjer je uporaba kolaborativnega robota zares smiselna.

1 UVOD

V današnjem času, ko se je kolaborativna robotika razvila že do zelo visokega nivoja, je dilema ali uporabiti industrijskega ali kolaborativnega robota, v nekaterih primerih povsem na mestu. Sleherni inženir oziroma snovalec se v primeru aplikacij, kjer je v delovnem območju robota aktiven tudi delavec, vpraša kako čim bolj učinkovito rešiti »problem sodelovanja« obeh, torej robota in človeka. Končna izbira je lahko enostavna, lahko pa tudi zahtevna, če poskušamo z robotizacijo procesa doseči več ciljev hkrati. Dva cilja, ki se ne nujno izključujeta v primeru opisane problematike, sta doseganje visoke produktivnosti (beri hitrosti procesa) in hkratne kolaborativnosti (beri varnosti). Vsekakor obstajajo primeri aplikacij, kjer so dejavniki za odločitev v korist bodisi za industrijskega robota, bodisi za kolaborativnega robota, zelo jasni.

V osrednjem delu članka bomo govorili o karakteristikah standardne rešitve z industrijskimi roboti in o karakteristikah robotskih postaj s kolaborativnimi roboti ter o prednostih ene in

druge možnosti. Pri opisani problematiki se bomo sklicevali tudi na robote Mitsubishi Electric.

2.1 Karakteristike, prednosti in omejitve industrijskih robotov

Poleg najrazličnejših struktur robotskih rok (večinoma 6 osni vertikalni, 4 osni horizontalni, mikro roboti, delta roboti, ipd) so nekako glavne karakteristike industrijskih robotov na trgu sledeče:

- zasnova robotske roke je industrijska, kar naj bi prinašalo primerno življenjsko dobo v industrijskih okoljih ter visoko ponovljivost (pri Mitsubishi robotih je ponovljivost pri večini modelov 0,01 in 0,02 mm, pri nekaterih modelih pa tudi 0,005 ali le 0,03 mm),
- robotske roke so gnane s pomočjo AC/DC motorjev
- logiko ponovljivih robotskih gibov narekuje krmilnik (robotski in/ali PLC krmilnik)
- na robotske roke je mogoče namestiti razna prijemala in orodja glede na nalogo, ki jo robot izvaja,
- roboti so namenjeni širokemu spektru industrijskih aplikacij (od premeščanja,

vstavljanja, vijačenja, spajkanja, lepljenja, montaže raznih delov in podobnih operacij) za različne teže bremen (do maksimalno 2,3 tone, potrebno je upoštevati tudi težo prijema)

Industrijski roboti so z visokimi hitrostmi (do 11000 mm/s kompozitne hitrosti v primeru robotov Mitsubishi Electric) narejeni za doseganje visoke produktivnosti v industrijskih (t.i. surovih) pogojih, glavna karakteristika ponovljivega izvajanja gibov glede na sprogramirane pozicije pa vsekakor pomeni popolno neprilagodljivost na morebitne spremembe v bližini robota. Robotska roka, ki zgolj sledi naučenim pozicijam, ni zmožna zaznati posega človeka, zamika pozicije, nepričakovanega/neustrezenega obdelovanca ali raznih mehanskih okvar v delovnem območju robota. Poleg tega industrijski roboti pri visokih hitrostih pri trku s človekom, obdelovancem oziroma z mehansko konstrukcijo lahko povzročijo resne poškodbe človeka in visoko materialno škodo.

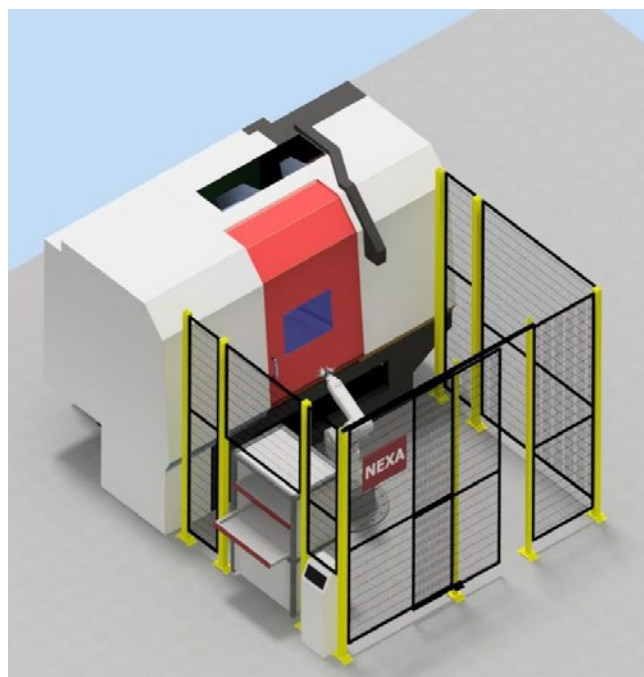
2.2 Dodatne komponente in rešitve, ki omogočajo delno kolaborativnost

Ob dopolnitvi industrijskega robota z varnostno logiko in dodatnimi komponentami se lahko doseže robotsko rešitev, ki robotu omogoča zaznavanje okolice in nove funkcije. Varnostne zavese in senzorji zaznavajo poseg v delovno območje robota, 2D in 3D kamere omogočajo strojni vid in zaznavo kosov (pozicijo, orientiranost, obliko in tudi morebitno neustreznost obdelovancev). Med prirobnico robotske roke in prijema je mogoče vgraditi senzor sile, ki robotu poleg »slepega« sledenja naučenih točk omogoča tudi zaznavanje sile, s katero pritiska na obdelovanec (npr. za aplikacije spajkanja, vstavljanja, brušenja, poliranja, ipd.). Naštete komponente (2D/3D kamera, senzor sile in varnostni senzorji) robotu na nek način omogočajo človeški čutili – vid in tip.

2.3 Zasnova aplikacije z industrijskim robotom

Klasična zasnova robotske aplikacije z industrijskim robotom vsebuje robotsko roko, ki posluhuje proces, samo celico, ki je ponavadi definirana z varnostno ograjo in zaklenjenimi vrati (oz. podobno zaprto konstrukcijo), kontrolni panel

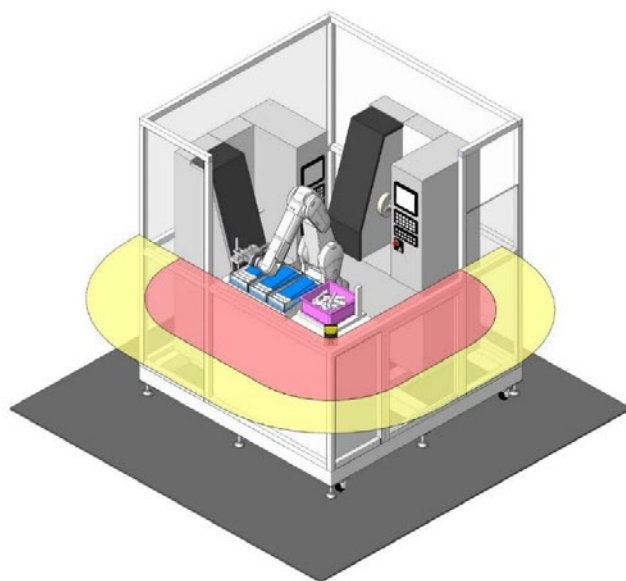
zunaj celice ter podobne omejitve (slika 1). Takšna zasnova omogoča nemoteno »cikliranje« robota in popolno izločitev motečih dejavnikov, kar prinaša visoko produktivnost in natančnost procesa. Za dostop do robota in same aplikacije je potrebno popolnoma zaustaviti proces oziroma vključiti ročni način vodenja.



Slika 1: Prikaz zasnove robotske aplikacije z industrijskim robotom

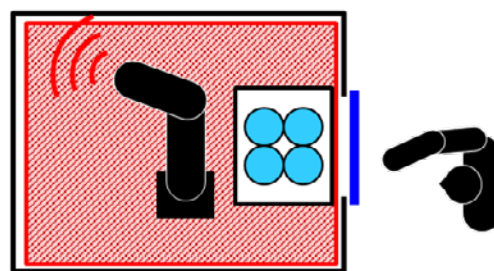
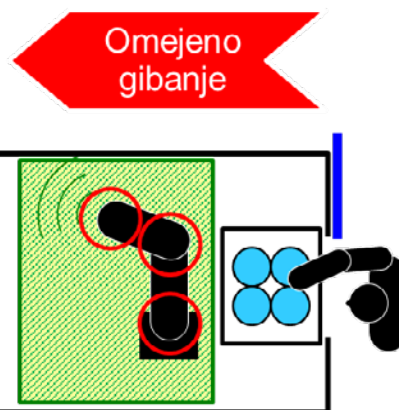
Večjo kolaborativnost oziroma fleksibilnost aplikacije z industrijskim robotom je mogoče doseči že z varnostnimi senzorji (SICK, Keyence in podobni), ki izločajo potrebo po varnostni ograji. V sklopu varnostnega paketa MELFA SafePlus, ki je namenjen industrijskim robotom Mitsubishi, je z uporabo dodatnih komponent mogoče doseči varnostne funkcije nivoja SIL3 (Safely-Limited Position, Safely-Limited Speed, Safe Operation Stop, Safe Stop 1 in Safe Stop 2) in SIL4 (Safe Torque Off).

Posebej zanimiva je funkcija SLS – Safely-Limited Speed oziroma »varnostno omejena hitrost«, ki s pomočjo senzorja za zaznavanje človeka v prostoru omogoča določitev varnostnih območij (npr. 2 območji). Ko bo človek vstopil v rumeno območje bo robot upočasnil svojo hitrost, pri vstopu v rdeče območje pa se bo robot popolnoma zaustavil (slika 2).



Slika 2: Zasnova robotske aplikacije z industrijskim robotom in določenima varnostnima območjema, ko v njiju vstopi človek (rumena označuje območje upočasnitve robota, rdeča pa območje popolne zaustavitve robota)

Druga, prav tako zanimiva funkcija je SLP – Safely-Limited Position, oziroma »varnostno omejevanje pozicije«. V območju dosega robotske roke je mogoče določiti do 8 con, v katere robotska roka ne sme poseči, ko je v določenem območju človek (slika 3).



Slika 3: Omejitev delovanja robota, ko je v določenih območjih procesa prisoten človek

S pomočjo navedenih funkcij je mogoče zagotoviti stalno visoko produktivnost in neprekinjenost procesa, razen ko so posegi človeka v območje robota nujni.

2.4 Lastnosti kolaborativnih robotov

Kolaborativne robote karakterizira varnost, prilagojena hitrost, visoka fleksibilnost in zmožnost sodelovanja s človekom. Oblika kolaborativnih robotskih rok je v primerjavi z industrijskimi rokami bolj okrogla, zglobovi so ustrezno oblikovani, kar izloča možnost ščipa človeških rok in prstov. Kolaborativni roboti so večinoma lahke zasnove in omogočajo funkcijo zaznavanja trkov (ki je omogočena programsko in/ali s pomočjo senzorjev ter naprednih pogonskih motorjev z enkoderji) ter nudijo intuitivne funkcije za sodelovanje s človekom. Kolaborativni robot proizvajalca Mitsubishi z imenom MELFA Assista RV-5AS denimo

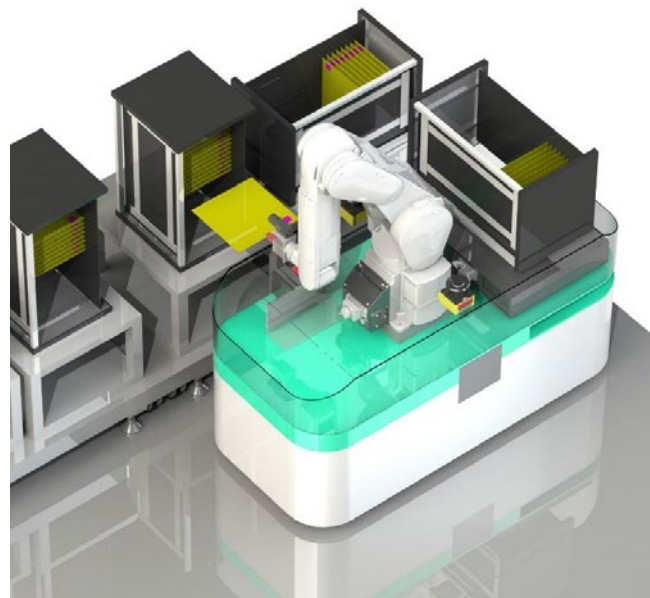
omogoča ročno vodenje robotske roke ter enostavno spreminjanje in učenje pozicij preko panela na robotski roki. Maksimalna kolaborativna hitrost MELFA Assista Cobota je 250 mm/s, omogoča pa tudi industrijski način delovanja z maksimalno hitrostjo 1000 mm/s z uporabo varnostnih komponent. Samo programiranje poteka v intuitivnem programskem orodju RT VisualBox, dostopnem tudi za »Touch-Screen« naprave. Robotska roka MELFA Assista je sicer pretežno sestavljena iz kovinskih delov, kar v primerjavi z nekaterimi konkurenčnimi kolaborativnimi roboti prinaša bolj industrijsko zasnovano roko, posledično pa tudi večjo trpežnost, višjo ponovljivost in daljšo življenjsko dobo. MELFA Assista ima v zglobeh vgrajene AC servo motorje z vgrajenimi enkoderji, ki omogočajo zaznavanje pozicije, hitrosti in navora.

Maksimalna hitrost robotov, ki omogoča varnostni način delovanja, kot nalaga standard ISO 10218-1, znaša 250 mm/s. Pri tej maksimalni hitrosti v primeru trka robotska roka naj ne bi poškodovala človeka/operatorja. Pri MELFA Assista Cobotu varnostno zaustavitev v primeru trka zagotavlja algoritem konstantnega preračunavanja razmerja med hitrostjo roke in navora v pogonih. Če so varnostna razmerja presežena (kar se recimo zgodi v primeru trka s človekom ali v primeru nekaterih drugih atipičnih obremenitev), robotska roka prekine svoje delovanje. Poleg delovanja robotske roke z varnostno hitrostjo, varnost robotskih aplikacij ureja še standard ISO 10218-2. Slednji zahteva, da so hitrost robota, minimalna vmesna razdalja, parametri moči, sile in ergonomija ter drugi parametri celotne aplikacije določeni z oceno tveganja. Kaj to pomeni – poleg kolaborativne robotske roke, ki je zgolj »izolirana« komponenta v aplikaciji, je za popolno kolaborativnost potrebno oceniti še ostale dejavnike tveganja. Del kolaborativne aplikacije so tudi robotska prijemala. Potrebno je zagotoviti takega, ki jasno indicira kolaborativni režim delovanja – bodisi gre za klasično prijemalo, vijačnik ali kaj drugega.

2.5 Zasnova kolaborativnih robotskih aplikacij

Poglejmo si še zasnovo kolaborativnih robotskih delovnih postaj (s kolaborativnimi roboti). Sama zasnova ne zahteva varnostnih ograj,

saj to ob vključenih kolaborativnih funkcijah ni potrebno. Zasnova omogoča direktni dostop do robota in aplikacije, hitro in enostavno spreminjanje aplikacije pa je mogoče zahvaljujoč intuitivnim funkcijam kolaborativnih robotov.



Slika 4: Prikaz zasnove robotske aplikacije s kolaborativnim robotom – kolaborativni robotski proces je zahvaljujoč kolaborativnim funkcionalnostim robota in pripadajočih komponent prosto dostopen

Učni panel za spreminjanje točk je v primeru MELFA Assista robota dostopen na robotski roki, spreminjanje robotske aplikacije je hitro in enostavno, napredna znanja programiranja niso potrebna. MELFA Assista je komplementarna tudi s kolaborativnimi orodji (prijemala in vijačniki). MELFA Assista sicer z integracijo dodatnih varnostnih komponent omogoča tudi industrijski način delovanja z maksimalno hitrostjo 1000 mm/sek.



Slika 5: MELFA Assista je kolaborativni robot proizvajalca Mitsubishi Electric ter zagotavlja intuitivno in enostavno prilagajanje aplikacije, industrijsko zasnovano robotske roke, dolgo življenjsko dobo, visoko ponovljivost (0,03 mm) in skladnost z varnostnimi standardi

2.6 Smiselni primeri vzpostavitve kolaborativnih robotskih aplikacij

Poraja se torej vprašanje kje in kdaj uporabiti kolaborativnega robota. Poleg prej omenjenih varnostnih standardov ISO 10218-1 in -2 obstaja še tehnična specifikacija ISO/TS 15066. Slednja nalaga, da je v aplikaciji omejitev hitrosti odvisna od inercije in minimalne velikosti območja na robotu, ki lahko zadane del človekovega telesa. Poleg tega predmeti z ostrimi, koničastimi in rezilnimi robovi ne smejo biti prisotni v območju kontakta. Glede na naštetu, brez dvoma odpadejo aplikacije, kjer so že sami obdelovanci nevarni, ostri, vroči in lahko poškodujejo operaterja. Take aplikacije so recimo procesi, kjer robot služi strojno obdelavo (brušenje, rezkanje, vzemanje iz CNC stroja in peči,..). Obdelovanci imajo v slednjem primeru lahko ostre robove, so vroči in lahko kako drugače poškodujejo operaterja, tudi poseg operaterja v bližino takega stroja vsekakor ni varen. Kolaborativni režim (po ISO standardu)

delovanja robota prav tako odpade pri aplikacijah, kjer je potrebno zagotoviti visoko produktivnost oziroma visoko hitrost (kar kolaborativna hitrost 250 mm/sek ne omogoča). Klasični primer je pakiranje večjih količin proizvodov, za kar je smiselna uporaba industrijskih robotov.

Eden izmed primerov, kjer pride v poštev kolaborativni robot, je pobiranje kosov iz škatle (»bin picking«). Če le te niso vedno na isti poziciji in povsem enake velikosti/oblike, je pri taki aplikaciji nujna tudi 3D kamera. Kolaborativna hitrost je ustrezno visoka, menjavanje med različnimi tipi obdelovancev in velikostmi škatel je zagotovljena s prilagodljivim učenjem točk, kar kolaborativni robot omogoča. Drugi primer je pakiranje manjših količin proizvodov (ki lahko obstajajo v večih različicah) v škatle. V primeru večih različic proizvodov z nizkimi količinami delavec enostavno nauči robota vstavljanje obdelovancev/predmetov na poljubno število točk (npr. 25 pozicij v eni škatli). Proces pakiranja se izvaja za manjšo serijo proizvodov (npr. 700), kasneje pa delavec robota nauči pakiranje za novih npr. 1100 kosov nekega drugega proizvoda z novimi dimenzijami v ustrezno škatlo. Tretji primer je lahko robotsko posluževanje stroja, enostavna učljivost točk pa omogoča hitro »selitev« iz stroja na stroj (tak stroj v primeru kolaborativne aplikacije ne sme izvajati človeku nevarnega procesa). Eden od primerov možne uporabe je kontrola kvalitete. Peti primer je montaža/sestavljanje proizvodov, ki npr. obstajajo v 10 različnih izvedbah in se med seboj malenkost razlikujejo, serije pa so manjše – npr. po 1000 kosov ene različice.

Skupni imenovalec oziroma izziv vseh naštetih primerov je mešani proizvodni proces. Na ta izziv kolaborativni roboti odgovarjajo z enostavnim, hitrim in intuitivnim posodabljanjem točk, za kar ni potreben programer. Slednje lahko opravi sam operater/delavec preko učnega panela na robotski roki. Kolaborativni robot je vsekakor smiseln pri manjših proizvodnih količinah, kjer je torej menjavanje med različnimi produkti ali njihovimi verzijami pogosto. V poštev pride kolaborativni robot tudi tam, kjer so avtomatizirani gibi (robotske) roke lahko komplementarni ročnim (bolj kompleksnim) operacijam, oziroma kjer človek in robot delujeta z "ramo ob rami".

3 SKLEP

Brez dvoma so izločitveni dejavniki pri izbiranju med kolaborativnim in industrijskim robotom sledeči: 1. potreba po visoki hitrosti, 2. potreba po varnosti, 3. potreba po posluževanju mešane proizvodnje večih različic izdelka z nizkimi količinami, kjer je potrebno aplikacijo pogosto posodabljati, 4. potreba po kombiniranemu sestavljanju obdelovancev oziroma posluževanju procesa (kombinacija robota in človeka) in 5. aplikaciji specifični dejavniki. Ko je pomembna hitrost, visoka produktivnost in ko je nujno zagotoviti ponovljivost produktov in procesa, takrat so brez dvoma prva izbira industrijski roboti. V primeru nujne potrebe po sodelovanju s človekom in mešane proizvodnje pa so prva izbira kolaborativni roboti.

Zaključimo lahko z mislijo, da je pri snovanju robotskih aplikacij potrebno vzeti v obzir več dejavnikov. Vsekakor je zmotno izbrati kolaborativnega robota zato, ker so moderni in v »trendu«. Ključno je pretehtati vse prednosti in slabosti enih in drugih robotov, lastnosti obdelovancev in celotnega procesa ter presoditi vse dejavnike tveganja. Ključno je zagotoviti najvišjo možno produktivnost procesa (v obliki hitrosti in kratkih ciklov robotov) ter popolno varnost aplikacij za ljudi.

Viri:

- [1] Mitsubishi Electric Polish Branch, interno gradivo, »Can Safety and performance be achieved in one application?«
- [2] Fanuc, The M-2000 series is the strongest family of industrial robots on the market ([http://https://www.fanuc.eu/es/en/robots/robot-filter-page/m-2000-series](https://www.fanuc.eu/es/en/robots/robot-filter-page/m-2000-series))

ROBOTSKO VARJENJE Z LASERJEM

Franc ŽABERL
FANUC Adria d.o.o.

IZVLEČEK

Podjetje FANUC iz Japonske je med vodilnimi proizvajalci s področja CNC sistemov, industrijskih robotov in industrijske avtomatizacije. Tržni delež v svetovnem merilu na področju CNC sistemov je 65%; danes v svetu obratuje več kot 680.000 FANUC robotov.

FANUC proizvaja tudi lastne laserske oscilatorje, tako CO2 kot Fiber, ki se uporabljajo za rezanje in v zadnjem času tudi za varjenje..

V prispevku predstavljamo robotsko celico za varjenje z laserjem, ki je plod razvoja in izdelave našega systemskega integratorja VIRS iz Lendave.

Ker so običajno sistemi za varjenje z laserjem nameščeni na industrijskih robotih je seveda edina opcija Fiber laser, kjer je laserski izvor nameščen dislocirano, laserski žarek pa vodimo na mesto uporabe s pomočjo optičnega vodnika.

Bistvena prednost varjenja z laserjem pred elektroobločnim varjenjem je v hitrosti, ki je vsaj 10 višja, v zmožnosti varjenja tankih pločevin (0.4mm), v izjemno majhnih deformacijah izdelka ter zmožnosti nadomestiti točkovno varjenje.

Ker je velikost točke fokusa laserja vsega 0.4mm pa je potrebno imeti v mislih, da je bistvena visoka natančnost priprave material za varjena in natančno. Obstaja možnost varjenja brez dodatnega ali z dodatnim materialom. Za zaščito zvara med varilnim procesom uporabljamo zaščitni plin (npr Argon).

FANUC je edini dobavitelj, ki proizvaja vse bistvene komponente laserskih sistemov. S tem zagotavljamo maksimalno kompatibilnost in bistveno povečamo nivo komunikacije in nadzora med posameznimi komponentami.

Laserski oscillator

FANUC proizvaja laserske oscilatorje moči 0.5 do 12 kW. Vgrajen CNC krmilnik skrbi za pravilno delovanje vseh komponent oscilatorja in za komunikacijo z robotom. Na en oscilator lahko preko distributorja laserskega žarka priključimo do največ 6 robotov, od katerih je eden v uporabi za varjenje, drugi za rezanje...

Laserska glava

Fokusira in usmerja laserski žarek. Prav tako omogoča "gibanje" laserskega žarka brez premikanja robota, kar izvajamo s pomočjo premičnih leč ali ogledal, katere poganjajo miniaturni servomotorji.





Na ta način lahko generiramo praktično kakršnekoli vzorce gibanja robota. Če zmanjšamo moč laserskega žarka pa lahko na izdelek "graviramo" grafične elemente (napisi, logotipi, oznake...)

Robot

Robot usmerja lasersko glavo in posreduje oscilatorju podatke o hitrosti gibanja robota. S pomočjo funkcije "Power Control" lahko na prehodih, kjer je potrebno zaradi spremembe smeri gibanja robota zmanjšati hitrost, zmanjšamo tudi moč in s tem dosežemo brezhibno kvaliteto zvara (ali pa reza, če uporabljamo sistem v ta namen).

Varnost

Ker predstavlja laserski žarek nevarnost, tako za vid kot za kožo, je izjemnega pomena varnost in zaščita uporabnika. Običajno se nahaja robot znotraj zaščitne celice, ki izdelana iz materiala, ki je določen čas odporen na lasersko svetlobo. V primeru, da bi kljub vsem varnostnim ukrepom prišlo do preboja notranje stene, obstajajo namenski detektorji, ki v takšnem primeru nemudoma zaustavijo delovanje.

VIRS ima v svoji prostorih v Lendavi na razpolago testno celico, kjer je možen po predhodnem dogovoru ogled delovanja in test varjenja.

Kontakti:

*VIRS d.o.o., Industrijska ul. 4b, 9220 Lendava
info@virs.si
FANUC Adria d.o.o., Ipavčeva 21, 3000 Celje
info@fanuc.si*

NADZOR OBRABE ORODJA ZA ZUNANJE STRUŽENJE NA PODLAGI TERMOGRAFIJE IN KONVOLUCIJSKE NEVRONSKE MREŽE

David POTOČNIK¹, Nika BRILI¹, Mirko FICKO¹, Simon KLANČNIK¹

¹Fakulteta za strojništvo, Univerza v Mariboru

IZVLEČEK

Proces struženja je v industriji zelo razširjen postopek odrezavanja. Vsakršna optimizacija tega procesa lahko pomembno vpliva na izboljšanje kakovosti izdelkov, racionalizacijo stroškov ali zmanjšanje neželenih dogodkov. S samodejnim nadzorom stružnih orodij lahko zmanjšamo stroške, povečamo učinkovitost in zmanjšamo število neželenih dogodkov, ki se pojavijo med obdelavo (izmet, lom orodja, ...). V primeru posamične ali maloserijske proizvodnje, nadzor obrabe opravlja operater stroja, vendar je tako določanje obrabe orodja prepuščeno subjektivni presoji in zahteva poseg v proces. Predstavljena rešitev ta problem odpravi s samodejnim nadzorom stanja rezalnega orodja. Za nadzor procesa je bila uporabljena IR kamera, ki zajame tudi termografsko stanje. Kamera je bila ustrezno zaščitena in nameščena tik ob stružnem nožu, kar omogoča spremljanje obdelave iz neposredne bližine. Med eksperimentom so bili nastavljeni konstantni rezalni parametri za struženje obdelovanca (nizko legirano jeklo z oznako 1.7225 oz. 42CrMo4) brez uporabe hladilnega sredstva. Z različno obrabljenimi stružnimi ploščicami je bila med procesom struženja ustvarjena podatkovna baza z več kot 6.000 slikami. Z uporabo konvolucijske nevronske mreže (CNN) je bil razvit model za napovedovanje obrabe in poškodb rezalnega orodja. Model na podlagi zajete termografske slike med procesom struženja samodejno določi stanje rezalnega orodja (brez, majhna, velika obraba). Dosežena točnost klasifikacije je bila 99,55 %, kar potrjuje ustreznost predlagane metode. Tovrsten sistem omogoča takojšnje ukrepanje v primeru obrabe ali zloma orodja, ne glede na znanje in usposobljenost operaterja.

1 UVOD

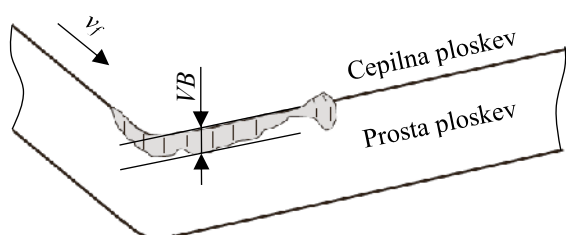
V času tehnološke dobe, ki jo poznamo pod pojmom Industrija 4.0 poteka intenziven razvoj na področju izboljšav CNC strojev, ki so vedno bolj zmogljivi, saj omogočajo obdelavo različnih operacij na enem stroju (npr. stružnice z gnanimi orodji in Y-osjo omogočajo operacije rezkanja obdelovanca). Kljub temu pa tudi najsodobnejši stroji, ki so namenjeni posamični in maloserijski proizvodnji, ne omogočajo tega, da bi delovali avtonomno, brez nadzora človeka.

Pri avtomatizaciji CNC-obdelovalnih strojev v smislu avtonomnega vršenja obdelave brez prisotnosti operaterja je zelo pomembno pravočasno zaznavanje obrabe rezalnega roba orodja. S tem se prepreči slab vpliv obrabe orodja na kvaliteto obdelane površine in poškodbe obdelovanca [1, 2] ali obdelovalnega stroja, do katerih lahko pride pri katastrofalni obrabi rezalnega orodja [3]. Stanje rezalnega orodja ne vpliva zgolj na lastnosti obdelovancev (geometrijske, površinske in strukturne), ampak tudi na količino izmeta in zastojev v proizvodnji

[4]. V splošnem velja, da se o tem odloča operater stroja na podlagi strokovnega, neformalnega znanja (občutek, osebna presoja in izkušnje) glede na več faktorjev, kot so na primer: oblika in barva odrezkov, kvaliteta površine, vibracije, zvočne emisije, temperature [3, 5]. Z željo po izboljšanju tovrstnega določanja stanja obrabe rezalnega orodja je v pričujočem članku predstavljen način avtomatizacije CNC-strojev na višjo raven avtonomnosti v sklopu Industrije 4.0. Predstavljen je sistem za samodejni nadzor obrabe orodja v procesu zunanega struženja, ki temelji na zajemu termografskih slik in modela z uporabo konvolucijske nevronske mreže (ang. *Convolutional Neural Network* – CNN). Zaradi medsebojne povezanosti oz. soodvisnosti med temperaturo in obrabo rezalnega orodja je ena izmed možnih metod nadzora obdelovalnega procesa metoda termografije.

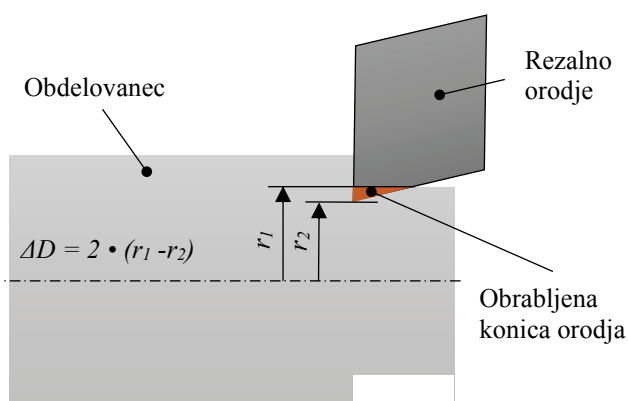
2 DOLOČANJE STANJA REZALNEGA ORODJA

Dokazano je, da se obraba proste ploskve povečuje s časom obdelave [6]. Obstajajo priporočila (standard ASTM), kako meriti dobo trajanja orodja na podlagi velikosti obrabe proste ploskve oz. širine obrabljenega roba (oznaka VB). V primeru enakomerne obrabe, je ta lahko do $VB = 0,3 \text{ mm}$, v primeru neenakomerne pa lahko lokalno največja obraba znaša $0,6 \text{ mm}$ [3, 7]. Pomen obrabe proste ploskve prikazuje Slika 1.



Slika 1: Prikaz obrabe proste ploskve (oznaka VB) na rezalnem orodju (v_f - smer podajalne hitrosti)

Pomanjkljivost takšnega kriterija obrabe, ki ne upošteva geometrije orodja, je v svojih delih izpostavilo več avtorjev [3]. V poglobljeni študiji o učinkih obrabe orodja je Niaki leta 2017 predstavil posredno metodo za določanje obrabe orodja. Zaradi obrabe orodja se spreminja skupna višina orodja, zato pride do odstopanj dimenzij obdelovanca (Slika 2).



Slika 2: Vpliv obrabe rezalnega orodja na odstopanje premera obdelovanca (r_1 – dejanski polmer obdelovanca, r_2 – polmer obdelovanca, kadar orodje ni obrabljeno)

V raziskavi je po vsakem rezu izmeril premer obdelovanca na treh mestih in ugotavljal odstopanje dejanske vrednosti od pričakovane

(ΔD). Dokazal je povezavo med ΔD in obrabo proste ploskve VB [8]. Metoda je potrjena s primerjavo predvidene obrabe proste ploskve VB in izmerjenega odstopanja premera obdelovanca ΔD pri sedmih različnih podajalnih hitrostih.

V svoji raziskavi smo kvaliteto rezalnega orodja določili po dveh metodah:

1. **Z meritvami:** po Niakijevi metodi [8]. Metoda je primerna iz več razlogov:
 - stružna ploščica lahko ostane ves čas v držalu,
 - meritve so hitre in samo za kratek čas prekinajo delovni proces,
 - edina potrebna dodatna oprema je umerjeni mikrometer (ugodna rešitev),
 - metoda je primerna za večje število meritev, saj ni časovno potratna.
2. **Izkustveno:** Kvaliteto stanja rezalnega orodja določi izkušen strokovnjak. Algoritem bo nadomeščal strokovnjaka pri odločitvah, zato želimo, da sprejema odločitve enako kot strokovnjak (ekspert), ki na podlagi izkušenj poveže vse vplivne faktorje obrabe.

3 RAZVOJ SISTEMA ZA NADZOR OBRABE ORODJA ZA ZUNANJE STRUŽENJE

Raziskava in razvoj sistema sta bila v grobem razdeljena na dva sklopa, in sicer:

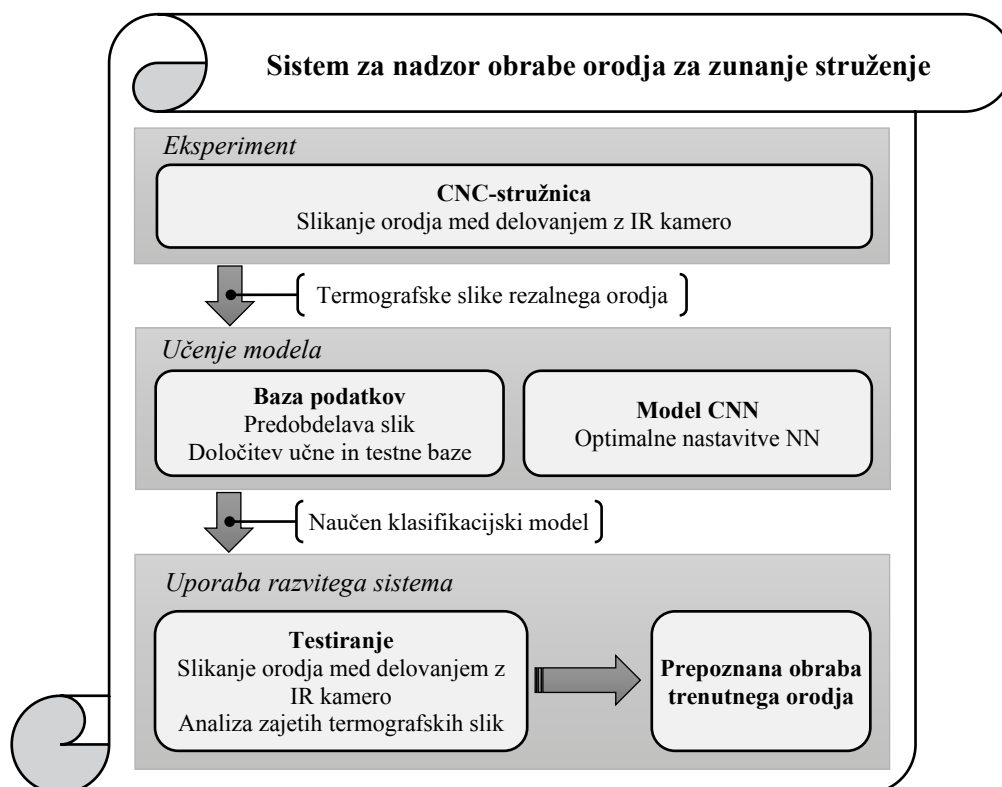
- eksperimentalni del na obdelovalnem stroju in
- obdelava pridobljenih podatkov, učenje ter testiranje modela CNN.

Celoten postopek vzpostavitve modela nadzora orodij od zajema podatkov (termografskih slik rezalnih orodij) do uporabe naučenega modela je prikazan na Sliki 3.

3.1 Eksperimentalni del

Eksperimentalni del raziskave je bil namenjen pridobitvi baze podatkov, v sklopu katerega sta bila zadana dva cilja:

- zajem termografskih slik med obdelovalnim procesom (struženjem) iz neposredne bližine rezalnega orodja,
- pridobitev zadostne količine slik za različna stanja obrabe rezalnega orodja.

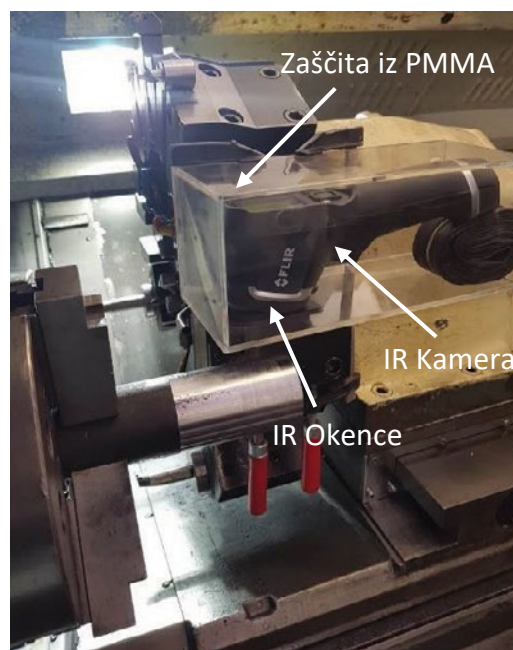


Slika 3: Shematski prikaz inteligentnega sistema za nadzor obrabe in poškodb rezalnih orodij z uporabo termografije

Strojna oprema

Za zajem termografskih slik je bila uporabljena infrardeča (IR) kamera FLIR E5, ki ima frekvenco zajema 9 slik na sekundo (9 Hz) in ločljivost 120×90 slikovnih točk. Zaradi časovnih izgub in zamikov ob prenosu slik na računalnik je bilo število slik prepolovljeno (zajem 4,5 slike/s oz. 1 slika vsake 0,222 s) [9]. Uporabljene so bile naslednje nastavitve IR kamere: mavrična shema, brez črt, emisivnost $\varepsilon = 0,60$.

Kamera mora zajemati slike med samim procesom obdelave, zato jo je bilo treba zaščititi pred vročimi ostružki. V ta namen je bila izdelana škatla iz polimetilmetakrilata (PMMA). Ker PMMA ne prepušča IR žarkov, smo pred objektivom na škatli naredili luknjo in vanjo pritrdili namensko IR okence, ki je obstojno in hkrati prepušča IR žarke (Slika 4). Škatla z IR kamero je bila nameščena na revolver tik ob stružni nož, na bližnjem orodnem mestu v revolverju. Oddaljenost IR kamere od mesta obdelave je bila manj kot 10 cm, poleg tega se je kamera premikala skupaj z rezalno ploščico. S tem smo zagotovili ponovljivost zajema slik.



Slika 4: Namestitev IR kamere tik ob stružnem nožu in zaščita za kamero

Ekspiriment je bil izveden na CNC-stružnici Okuma LC30. Parametre obdelave, ki so predstavljeni v Tabeli 1, smo določili v skladu s priporočili proizvajalca orodja glede na material obdelovanca (nizko legirano jeklo z oznako

1.7225). Začetni premer obdelovanca je bil $\varnothing 60$ mm, dolžina obdelave pa 100 mm.

Tabela 1: Rezalni parametri obdelave

Parametri obdelave	Vrednost
Hlajenje	Brez
Rezalna hitrost	100 m/min
Podajalna hitrost	200 mm/min
Globina reza	0,25 mm (0,5 mm na premer)

Za rezalno orodje smo uporabili držalo z oznako CKJNL2525M16 proizvajalca Canela in rezalno ploščico z oznako KNUX160410L11 (prevleka CVD z oznako QP1025, 2 rezalna roba) proizvajalca Sanstone.

3.2 Podatkovna baza slik

Za uspešno učenje modela CNN smo predvideli, da potrebujemo vsaj 1.000 slik za vsak razred obrabe rezalnih ploščic. Vse vrste obrabe smo združili v 3 klasifikacijske razrede [9], pri čemer vsak razred sestavlja podatkovna baza z več kot 2.000 slikami (Slika 5), zraven pa so zapisane tudi vrednosti odstopanja premera obdelovanca. Podrobnejši podatki o definiranju razredov obrabe orodja so predstavljeni v poglavju 4. Za nadaljnjo uporabo sistema je namreč pomembno, da omogoča zajem velikega števila slik v relativno kratkem času. Le z dovolj veliko bazo podatkov je mogoče učinkovito razširiti model tudi na druga orodja, materiale itd.

Vrsta obrabe rezalnega orodja ni bila predmet te raziskave, ampak primernost uporabe rezalnega orodja za nadaljnje struženje.



Slika 5: Razdelitev termografskih slik po razredih obrabe

3.3 Konvolucijska nevronska mreža (CNN)

V fazi razvoja modela smo uporabili obstoječi model Inception V3, ki temelji na konvolucijski nevronske mreži. Optimalno arhitekturo in vrednosti filtrov tega modela so več let razvijali znanstveniki Szegedy in drugi [10].

Spreminjanje parametrov CNN ni bil predmet naše raziskave, ampak smo uporabili že razvito mrežo in jo zgolj dodatno naučili prepoznave slik iz naše baze. Pri tem je bilo treba naučiti le nekaj zadnjih plasti nevronske mreže (t. i. prenosno učenje, ang. *Transfer Learning*), ki služijo za klasifikacijo slik v posamezne razrede obrabe.

Za namene učenja modela CNN je bilo treba ustvariti učno in testno množico slik. Za testno množico smo določili enako število slik v vseh klasifikacijskih razredih, da so tako rezultati med seboj lažje primerljivi. Delež slik v testni množici je približno 10 % vseh slik v posameznem razredu obrabe in znaša 220 slik.

3.4 Kriteriji za vrednotenje klasifikacije

Kriterije uspešnosti klasifikacije smo izračunali s pomočjo kontingenčne matrike (ang. *Confusion Matrix*), ki prikazuje razvrstitev slik v razrede glede na dejansko stanje in glede na klasifikacijo modela. Matrika ima v stolpcih zapisane pravilne vrednosti, v vrsticah pa vrednosti, ki jih je določil model (ali ravno obratno). Pravilne napovedi klasifikatorja ležijo na diagonali matrike, napačne pa izven te. Ovrednotenje rezultatov je prikazano v Tabeli 2 na primeru kontingenčne matrike za štirirazredni kvalifikacijski problem (indeks j označuje posamezni razred). Rezultati v kontingenčni matriki so označeni z naslednjimi oznakami [8]:

- TP – resnično pozitivni (ang. *True Positive*),
- FP – lažno pozitivni (ang. *False Positive*),
- TN – resnično negativni (ang. *True Negative*),
- FN – lažno negativni (ang. *False Negative*).

Tabela 2: Kontingenčna matrika

		Dejansko			
		Razred 1	Razred 2	...	Razred j
Razvrstitev	Razred 1	TP	FP	FP	FP
	Razred 2	FN	TN	TN	TN
	...	FN	TN	TN	TN
	Razred j	FN	TN	TN	TN

Izračunali smo naslednje kriterije uspešnosti klasifikacije [9]:

- *Priklic* ali *občutljivost* (ang. *Recall*), ki se določi za vsak razred posebej in se izračuna kot razmerje med pravilno klasificiranimi pozitivnimi primeri in vsemi resnično pozitivnimi primeri. Predstavlja pravilno razvrščene slike v posameznem dejanskem razredu obrabe (stolpec v kontingenčni matriki).

$$R = \frac{\text{št. pravih razvrstitev v } j \text{ razredu}}{\text{št. dejanskih primerov v } j \text{ razredu}} = \frac{TP}{TP + FN} \quad (1)$$

- *Natančnost* (ang. *Precision*), ki se določi za vsak razred posebej in se izračuna kot razmerje med pravilno klasificiranimi pozitivnimi primeri in vsemi klasificiranimi pozitivnimi primeri. Predstavlja pravilno razvrščene slike v posameznem klasificiranem razredu obrabe (vrstica v kontingenčni matriki).

$$P = \frac{\text{št. pravih razvrstitev v } j \text{ razred}}{\text{št. vseh razvrstitev v } j \text{ razred}} = \frac{TP}{TP + FP} \quad (2)$$

- *Točnost* ali *klasifikacijska točnost* (ang. *Accuracy*) se izračuna kot razmerje med

pravilno klasificiranimi primeri in številom vseh primerov (ne glede na razred obrabe).

$$A = \frac{\text{št. vseh pravih klasifikacij}}{\text{št. vseh klasifikacij}} = \frac{\sum_{i=1}^j TP_i}{\text{št. vseh klasifikacij}} \quad (3)$$

4 REZULTATI IN DISKUSIJA

Razrede obrabe orodja smo definirali glede na vrsto obdelave in uporabe v industriji. Primernost obrabljenega orodja je namreč odvisna od vrste obdelovalnega materiala in zahtev izdelka (tolerančno polje, hrapavost) [9]. Splošno pravilo razvrstitve razredov glede na primernost uporabe rezalne ploščice prikazuje Tabela 3.

Tabela 3: Primernost orodja glede na vrsto obdelave

Vrsta obrabe	Primernost uporabe ploščice	
	Grobo struženje	Fino struženje
Brez obrabe	DA	DA
Majhna	DA	NE
Velika	NE	NE

Učenje CNN modela smo izvajali v 5.000 ponovitvah. Rezultati klasifikacije so zapisani v Tabeli 4. Klasifikacijska točnost s 3 kategorijami obrabe rezalnega orodja znaša 99,55 %, kar je odličen rezultat in potrjuje možnost uporabe metode v realnem procesu. Zgolj 3 slike od 660 so bile klasificirane napačno. Model CNN se je napačno odločal pri klasifikaciji med prvima dvema razredoma obrabe (brez, majhna obraba).

Vse slike za orodje z veliko obrabo so bile pravilno prepoznane, kar je bistvena prednost za uporabo modela v industriji, kjer so za delovni proces najbolj kritični ravno nenadni zlomi orodja.

Tabela 4: Kontingenčna matrika za klasifikacijo orodij v 3 razrede obrabe

RAZVRSTITEV	DEJANSKO			Skupaj	Natančnost
	Brez obrabe	Majhna obraba	Velika obraba		
Brez obrabe	218	1	0	219	99,5 %
Majhna obraba	2	219	0	221	99,1 %
Velika obraba	0	0	220	220	100,0 %
Skupaj	220	220	220		
Priklic	99,1 %	99,5 %	100,0 %		

- Število pravih razvrstitev: 657
- Število vseh slik: 660
- Točnost klasifikacije: 99,55 %

5 SKLEP

Spremljanje obrabe rezalnega orodja med obdelovalnim procesom je pomembno tako za kvaliteto končnega izdelka kot za optimizacijo stroškov proizvodnje. Zaradi nevarnih razmer v okolici odrezavanja (vroči ostružki) je nadzor orodja med obdelavo otežen. V sklopu raziskave smo poiskali rešitev za zaščito opreme in uspešno razvili metodo, ki omogoča spremljanje procesa v realnem času in v neposredni bližini.

Cilj je bil narediti klasifikacijski model CNN za napovedovanje obrabe in poškodb rezalnega orodja. Model na podlagi zajete termografske slike med procesom struženja samodejno določi stanje rezalnega orodja (trije razredi obrabe: brez, majhna, velika obraba). Na podlagi rezultatov klasifikacije in s stališča uporabnosti v industriji se je izkazalo, da je delitev orodij v 3 razrede obrabe smiselna. Rezultati so se izkazali kot zelo dobri, saj je klasifikacijska točnost za naključno testno množico termografskih slik ploščic znašala 99,55 %.

Viri:

- [1] D. M. D'Addona, D. Matarazzo, A. M. M. S. Ullah, and R. Teti, "Tool Wear Control through Cognitive Paradigms," *Procedia CIRP*, vol. 33, pp. 221-226, 2015/01/01/ 2015.
- [2] D. M. D'Addona and R. Teti, "Image Data Processing via Neural Networks for Tool Wear Prediction," *Procedia CIRP*, vol. 12, pp. 252-257, 2013/01/01/ 2013.
- [3] A. Siddhpura and R. Paurobally, "A review of flank wear prediction methods for tool condition monitoring in a turning process," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 65, no. 1, pp. 371-393, 2013/03/01 2013.
- [4] A. Antic, J. Hodolic, and M. Sokovic, "Development of a neural-networks tool-wear monitoring system for a turning process," *Strojniski Vestnik*, vol. 52, pp. 763-776, 11/01 2006.
- [5] J. Kopač, "Cutting-Tool Wear during High-Speed Cutting," 2004, high speed cutting; cutting tools; tool wear; cutting tool materials; vol. 50, no. 4, p. 11, 2017-07-07 2004.
- [6] W. T. Kang, M. N. Derani, and M. Ratnam, "Effect of Vibration on Surface Roughness in Finish Turning: Simulation Study," *International Journal of Simulation Modelling*, vol. 19, pp. 595-606, 2020.
- [7] *Tool Life Testing with Single - Point Turning Tools*, ASME, 1985.
- [8] F. Akhavan Niaki and L. Mears, "A comprehensive study on the effects of tool wear on surface roughness, dimensional integrity and residual stress in turning IN718 hard-to-machine alloy," *Journal of Manufacturing Processes*, vol. 30, pp. 268-280, 2017/12/01/ 2017.
- [9] N. Brili, M. Ficko, and S. Klančnik, "Automatic Identification of Tool Wear Based on Thermography and a Convolutional Neural Network during the Turning Process," *Sensors-Basel*, vol. 21, no. 5, p. 1917, 2021.
- [10] C. Szegedy, V. Vanhoucke, S. Ioffe, J. Shlens, and Z. Wojna, "Rethinking the Inception Architecture for Computer Vision," 12/01 2015.

RAZVOJ AVTOMATSKEGA STROJA ZA TKANJE MALOSERIJSKIH IZDELKOV IZ ŽICE

Rok JESENEK¹, Peter JELENKO², Gašper GANTAR^{3,4}

¹Žična Kovina, d. o. o., ²Peter Jelenko, s. p.,

³Visoka šola za proizvodno inženirstvo,

⁴Visoka šola za varstvo okolja

IZVLEČEK

V prispevku je prikazan razvoj avtomatskega stroja za tkanje maloserijskih izdelkov iz rebkane žice. Z lastnim znanjem smo uspeli razviti stroj, ki predstavlja optimalno izbiro za uporabnike, ki izdelujejo maloserijske izdelke (izdelki velikosti od 50 m² naprej z isto zanko). Stroj omogoča predelavo žice s premerom 1–8 mm in razponom odprtine v tkanju izdelka do 80 mm z visoko produktivnostjo do 20 vstavljanj prečnih žic na minuto.

1 UVOD

Na svetu se vsako leto proizvede 18.000.000 ton izdelkov iz rebkane jeklene žice iz različnih materialov (jekla, nerjavnega jekla, aluminija, bakra ipd.). Povpraševanje po teh izdelkih raste 7% letno [1]. Gre za paleto različnih izdelkov, ki so prikazani na sliki 1, od enostavnih (npr. komarnikov) do zahtevnih (npr. filtrov, tkanin za varnostne zračne vreče v vozilih ali izdelkov za medicino), ki se proizvajajo maloserijsko (npr. industrijska sita) ali masovno (npr. embalažni materiali, ki pri transportu ščitijo nerjavne komponente).

Glavni uporabniki tovrstnih izdelkov so avtomobilska industrija, strojogradnja, gradbeništvo, rudarstvo, prehrabna industrija, papirna industrija, livarne, termoelektrarne, lesnopredelovalna industrija, medicina itd.

Vse omenjene izdelke se izdelava iz žice, ki je pred tkanjem ukrivljena v želeno obliko oz. narebkana na namenskih izdelovalnih strojih, imenovanih tudi statve za tkanje žice. Letno se na svetu proda za 30 mio evrov strojev za tkanje izdelkov iz žice. V grobem jih delimo na polavtomatske in avtomatske stroje. Polavtomatski stroji za svoje delovanje potrebujejo posluževalca, ki med obratovanjem stroja vanj neprestano vstavlja prečne žice, kot je prikazano na sliki 2.



Slika 1: Primeri izdelkov iz tkane žice



Slika 2: Ročno vstavljanje prečnih žic na polavtomatskem stroju za tkanje žice

Polavtomatski stroji se uporabljajo pri izdelavi maloserijskih izdelkov, z manj kot 500 m² z isto zanko. Na trgu so dostopni tudi avtomatski stroji za tkanje žice. Ti so opremljeni z mehanizmom, ki med vzdolžne žice v končnem izdelku vstavlja prečne žice, zato prisotnost posluževalca stroja ni nujna (stroj deluje samostojno). Cena takšnih strojev je visoka (od 250.000 do 500.000 evrov), zato je njihova uporaba rentabilna samo v masovni proizvodnji tkanih izdelkov iz žice (pri izdelavi več kot 500 m² izdelkov z isto zanko).

Na podlagi interne raziskave trga smo ugotovili, da se na trgu odpira poslovna priložnost v tržni niši prodaje avtomatskih strojev za tkanje maloserijskih zahtevnih izdelkov iz tkane žice (količina izdelka z isto zanko od 50 m² naprej).

V nadaljevanju je v prispevku prikazan potek razvoja avtomatskega stroja za tkanje maloserijskih izdelkov iz žice in rezultati, ki smo jih izmerili pri preizkušanju izdelanega prototipa.

2 POTEK RAZVOJA

Razvoj je potekal v skladu s smernicami VDI-R 2221 z namenom izdelave vitke konstrukcije z minimalnih številom sestavnih delov [2].

2.1 Tolmačenje naloge

Pripravili smo zahtevnike za različne skope stroja (mehanski del, sistem za premikanje žice, sistem za pletenje žice, varnostni sistemi in ostali sistemi), jih uskladili in rangirali. V tabeli 1 so prikazane samo ključne ciljne lastnosti novega stroja, ki so primerjane z lastnostmi konkurence na trgu.

Tabela 1: Ključne tehnične in ekonomske ciljne vrednosti stroja v primerjavi s konkurenco

Lastnost	Konkurenca	Ciljne vrednosti
Razpon debeline žic za tkanje	$\Delta \leq 5$ mm (1-3,2 mm; 2-6 mm ...**)	$\Delta = 7$ mm (1-8 mm)
Dosegljiv razpon odprtine v tkanju izdelka	$\Delta \leq 70$ mm (1-20mm; 1,5-70mm ...**)	$\Delta = 80$ (1-80 mm)
Produktivnost	15 vstavljanj prečne žice /	20 vstavljanj prečne žice /

	min*	min
Čas nastavljanja stroja pri menjavi izdelka	0,5 h	0,5 h
Širina pletenih izdelkov	od 1600 mm do 2700 mm**	2000 mm
Kontrola kakovosti izdelkov z računalniškim vidom	NE	DA
Cena	250.000-500.000€**	120.000€
Rentabilnost uporabe	od 500m ² naprej z isto zanko	od 50m ² naprej z isto zanko

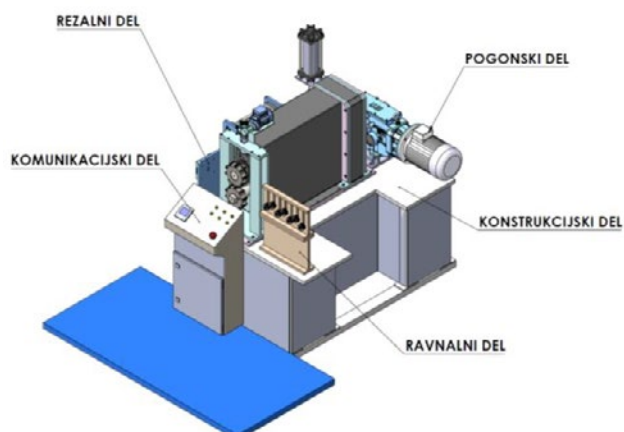
* Obstajajo tudi stroji za tkanje jeklene tkanine, ki imajo višje produktivnosti (več kot 30 vstavljanj prečne žice/min), ki pa so namenjeni samo za manjše debeline ravnih žic (nerebkanih)

**Različni tipi strojev (proizvajalci ne ponujajo samo ene izvedbe strojev, ampak paleta različno velikih strojev)

2.2. Koncipiranje

Postavili smo funkcijsko strukturo stroja in s pomočjo metod za kreativno iskanje idej izdelali koncepte posameznih delnih funkcij stroja.

Posebno pozornost smo posvetili inovativni konstrukcijski rešitvi na sistemu za uvajanje prečnih žic, ki mora zagotavljati zanesljivo delovanje tudi pri večji produktivnosti.



Slika 3: Koncept stroja

Za izbrani koncept smo grobo ocenili tudi lastno ceno stroja. Izračunali smo, da je strošek vgrajenih komponent in dela 115.000,00 EUR.

Čeprav se na področju strojegradnje industrijskemu oblikovanju posveča manj

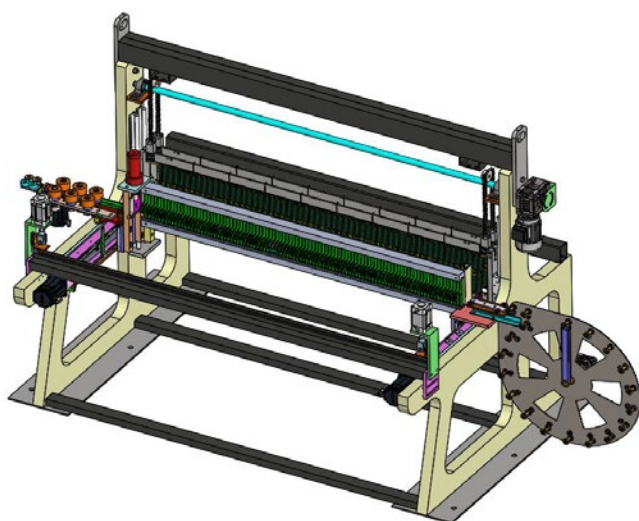
pozornosti, smo v fazi izdelave koncepta vključili tudi industrijsko oblikovalko z namenom izboljšanja vizualnega izgleda stroja. Predlog izgleda stroja je prikazan na sliki 4.



Slika 4: Predlog industrijskega dizajna

2.3. Snovanje in razdelava

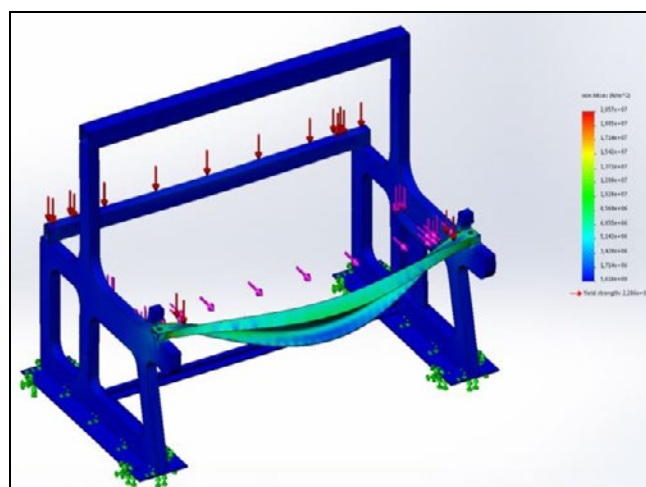
Na sliki je 5 predstavljena zasnova stroja, ki je bila izdelana s programom SolidWorks. Za razliko od stalih strojev je sistem za uvajanje prečnih žic zasnovan tako, da prečne žice ne potiska skozi vzdolžne žice, ampak jo povleče.



Slika 5: Zasnova avtomatskega stroja za tkanje maloserijskih zahtevnih izdelkov iz žice

Za vse ključne komponente stroja smo izvedli preračune za dimenzioniranje, s katerimi smo

preverili nosilnost ter izbrali optimalne standardne komponente (hidravlične cilindre, motorje, ležaje, jermene, gredi itd.). Napetosti in deformacije v ohišju stroja, ki so posledica sile zaradi pletenja mreže, sunkov sile pri potisku prečne žice med vzdolžne žice in sil zaradi same teže ohišja in vgrajenih komponent, so bile preverjene tudi s pomočjo numeričnih simulacij. Napoved napetosti in deformacij (v povečanem merilu) je prikazana na sliki 6.



Slika 6: Primerjalne Misesove napetosti v ohišju stroja med obratovanjem

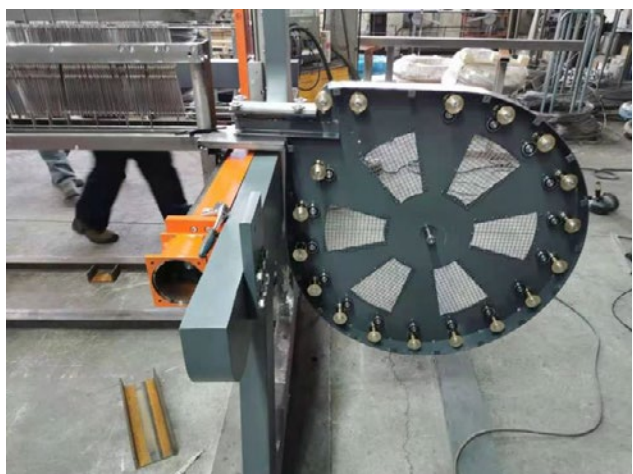
Načrtovane so bile tudi varnostne komponente in elektro sheme. Samostojno smo razvili tudi programsko opremo za krmiljenje stroja in pripadajoč uporabniški vmesnik.

V fazi snovanja smo želeli preveriti tudi okoljske vidike izbranih tehnoloških rešitev. S pomočjo LCA analize smo vrednotili projektne rešitev iz okoljskega vidika. Kot pričakovano, je LCA analiza pokazala, da ključni negativni vplivi na okolje v celotnem življenjskem ciklu stroja nastanejo v fazi uporabe (skoraj 85%) in sicer predvsem zaradi porabljene električne energije, ki jo stroj porablja za svoje delovanje. Druga najpomembnejša faza je pridobivanje surovin in komponent, ki so vgrajene v stroj za tkanje žice (skoraj 15%). Na podlagi rezultatov analize smo v fazi razvoja iskali predvsem energetske učinkovite rešitve ter seveda rešitve za zanesljivo delovanje brez zastojev in izmeta. Uporabljeni so bili materiali, ki jih je mogoče reciklirati.

Na podlagi 3D zasnove stroja je bila izdelana še delavniška dokumentacija.

3 IZDELAVA IN TESTIRANJE PROTOTIPA

Izdelali smo ohišje prototipnega stroja ter vse mehanske komponente (mehanizem tkalnega glavnika, čolniček za tkanje, mehanizem izvlačanja glavnika, sistem za prijemanje žice in postavitev v pravi položaj, sistem za odrez žice na pravo dolžino, sistem za nastavitev debeline mreže, varnostne zavese, hidravlični sistem za platenje). Pri tem uporabljeni izdelovalni postopki so bili: plazemsko rezanje, različna mehanska obdelava, varjenje, montaža. Prototip stroja je prikazana na sliki 7.



Slika 7: Prototip stroja za tkanje maloserijskih zahtevnih izdelkov iz žice

Najprej smo preverili pravilnost kinematike gibanja in hitrosti. Nato smo izvedli testiranje delovanja v operativnem okolju. Pri tem smo

seveda opazili številne pomanjkljivosti ter korigirali prototip in spreminjali fine nastavitve sistemov.

4 SKLEP

S testiranjem smo ugotovili, da smo dosegli zastavljene cilje. Na stroju je s predvideno hitrostjo do 20 vstavljanje prečnih žic na minuto mogoče tkati izdelke iz žice debeline 1-8 mm z razponom odprtine v tkanju izdelka do 80 (preizkušanci so prikazani na sliki 8).

Debelina žice = 1 mm

Razpon odprtine v tkanju izdelka = 4 mm



Debelina žice = 8 mm

Razpon odprtine v tkanju izdelka = 80 mm



Slika 8: Primeri preizkušancev

Zahvala

Razvoj avtomatskega stroja za tkanje maloserijskih izdelkov iz žice je sofinanciralo Ministrstvo za gospodarski razvoj in tehnologijo (številka operacije OP20.04173), za kar se najlepše zahvaljujemo.

Viri:

- [1] <https://www.wirenet.org/> (ogled 1.4.2021).
- [2] Pehan, S.: Metodika konstruiranja: učbenik, Fakulteta za strojništvo Univerze v Mariboru, 2005

TEHNOLOGIJA REZANJA Z LEDNIM VODNIM CURKOM: IZZIVI IN PRILOŽNOSTI ZA SLOVENSKO STROJEGRADNJO

Joško VALENTINČIČ¹, Andrej LEBAR^{1,2}, Suzana VINETIČ¹, Pavel DREŠAR¹, Izidor SABOTIN¹, Marko JERMAN¹

¹ Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo

² Univerza v Ljubljani, Zdravstvena fakulteta

IZVLEČEK

Obdelava z abrazivnim vodnim curkom (AVC) spada med nekonvencionalne obdelovalne postopke z usmerjenim dovajanjem energije. Prednost AVC pred sorodnimi postopki je v tem, da ne povzroča toplotno prizadete cone. V Sloveniji je tehnologija rezanja z AVC prisotna že od leta 1990, kar je komaj 10 let po prvi industrijski uporabi tega postopka za konturno rezanje. Mineralni abraziv, ki se dovaja v visokohitrostni vodni curek premera manj kot milimeter, doseže hitrosti do 700 m/s, kar omogoča rezanje praktično vseh materialov. Kljub očitnim prednostim, uporaba postopka v prehrambeni in letalski industriji ni sprejemljiva, saj na obdelani površini ostanejo sledovi delcev mineralnega abraziva. Z raziskavami materialnih lastnosti ledu, je bilo ugotovljeno, da imajo močno podhlajena ledena zrna podobno trdoto kot mehkejši mineralni abrazivi, zato smo raziskujemo in razvijamo tehnologijo, pri kateri namesto mineralnega abraziva uporabljamo ledena zrna. V podhlajen visokohitrostni vodni curek dovajamo močno ohlajena ledena zrna in tako režemo tudi trše materiale. Z dosedanjimi raziskavami smo potrdili preživetje ledenih zrn v ekstremnih pogojih, ki vladajo v rezalni glavi. Na osnovi dosedanjih rezultatov in publikacij smo vzbudili zanimanje industrije tako v EU, kot v Aziji, ki že izkazuje potrebo po tej tehnologiji, kar odpira nove možnosti slovenski strojegradnji.

1 UVOD

Tehnologija obdelave z vodnim curkom (VC) in abrazivnim vodnim curkom (AVC) je trenutno v uporabi v številnih industrijskih procesih za rezanje, graviranje ter struženje kovinskih in nekovinskih materialov debeline do nekaj sto milimetrov. V zadnjem času se postopek uveljavlja predvsem v živilski, letalski in navtični industriji, kjer se pogosto srečujemo z biološkimi in sodobnimi materiali, kot so razne zlitine in kompozitni materiali, ki jih je težko obdelovati s preostalimi obdelovalnimi postopki. Po drugi strani se tehnologija uporablja tudi za čiščenje in površinsko obdelavo materiala.

Uporaba VC se je začela v Evropi v poznih 50. letih na področju rudarstva. Zasluge za izum pripisujemo ruskemu znanstveniku G. P. Čermenskiju [1]. Raziskave so se v 70. letih predstavile v ZDA. Tehnologijo obdelave z VC je za industrijske aplikacije prvi uporabil O. Imanaka z Univerze v Tokiu v zgodnjih 60. letih prejšnjega stoletja [2]. Prvo industrijsko aplikacijo je tehnologija doživela leta 1972 v podjetju Manufacturing Company McCartney. Leta 1979 je

dr. Mohamed Hashish, zaposlen v podjetju Flow Research, začel raziskavo novih načinov za povečanje rezalne moči vode z namenom rezanja kovin in drugih materialov večje trdote. Dr. Hashish, poznan kot oče tehnologije obdelave z AVC, je vodnemu curku dodal mineralni abraziv [3]. Leta 1980 so se pojavili prvi stroji za obdelavo z AVC za rezanje jekla, stekla in betona. Tehnologija se je nato začela uveljavljati v številnih aplikacijah v industriji, saj AVC predstavlja orodje za rezanje, s katerim lahko obdelujemo skoraj vse vrste materialov (jeklo, titan, beton ipd.), predvsem pa se je tehnologija izkazala pri obdelavi aluminija in težko obdelovalnih zlitin.

Mineralni abraziv kot potrošni material predstavlja glavni strošek procesa in več kot 99 % odpadnih snovi, ki nastanejo med rezanjem ali odstranjevanjem materiala. Ostanke abraziva na obdelovancu je treba po obdelavi odstraniti, pri čemer posamezna zrna abraziva pogosto ostanejo zagozdena v obdelani površini, kar v posebnih primerih (npr. v živilski industriji, medicini, pri obdelavi turbinskih lopatic) ni zaželeno. Zaradi tega obstaja potreba po uporabi VC brez abraziva

ali s takšnimi abrazivnimi sredstvi, ki ne bi pustila odpadkov po obdelavi.

Na voljo imamo več tehnik, s katerimi se spoprijemamo z opisanim problemom. Uporabljamo lahko čisti VC brez dodanega abraziva, ki pa ne zmore rezati trših materialov, oz. dodajamo abrazivna sredstva, ki se po obdelavi stopijo (npr. sol, sladkor), a imajo slabše obdelovalne lastnosti. Ena izmed obetavnejših novih tehnologij je zamenjava mineralnih abrazivov z ledenimi zrn.

V tem prispevku predstavljamo prototipno napravo za rezanje z lednim abrazivnim vodnim curkom, kjer ledena zrna v visokohitrostnem vodnem curku sodelujejo pri odnašanju materiala in omogočajo med drugim tudi konturno rezanje kompozitnih materialov, jekla in barvnih kovin. Napravo smo razvili do stopnje tehnološkega razvoja 3 (TRL 3) v Laboratoriju za alternativne tehnologije na Fakulteti za strojništvo v Ljubljani.

2 TEORETIČNO OZADJE

Uporabo ledenih zrn, kot nadomestek za mineralni abraziv je raziskovalo več raziskovalnih skupin [4–8], ki so prišle do zaključka, da je zamenjava izvedljiva.

Razvoj tehnologije sega v leto 1982, ko je Galecki s sodelavci [9] uporabo lednega abrazivnega vodnega curka (LAVC) predlagal za čiščenje površin. Do danes je tehnologijo raziskovalo že več raziskovalnih skupin. V literaturi tako zasledimo več pristopov k razvoju LAVC, ki jih glede na način priprave ledenih zrn lahko razdelimo na dva osnovna principa; (1) na ustvarjanje ledenih zrn med procesom s transformacijo oz. delno zamrznitvijo VC v LAVC, in (2) na vnos v naprej pripravljenih podhlajenih ledenih zrn v rezalno glavo. Delitev metod glede na način ustvarjanja in vnosa ledenih zrn predstavlja slika 2.7.

Eden od načinov je zamrzovanje vodnih kapljic v prhi iz utekočinjenega dušika. Zaradi intenzivne izmenjave toplote ob vrenju utekočinjenega dušika ob stiku z vodno kapljico, le-ta skoraj v trenutku zamrzne in pade v zbiralnik ledenih zrn (Slika 4).

Tako nastala ledena zrna dovajamo v visokohitrostni vodni curek kot prikazuje Slika 5 (desna stran). S stališča trdote ledenih zrn je dobro,

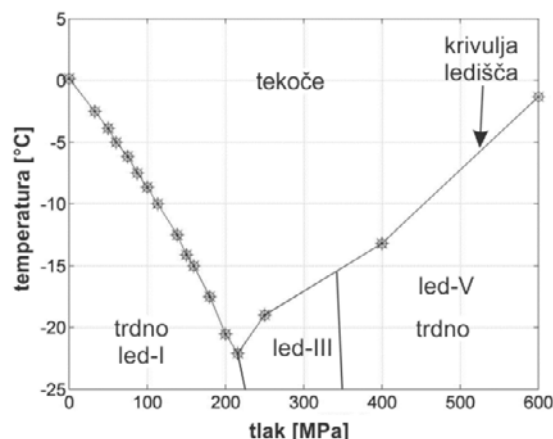
da je vodni curek čim hladnejši. Zato je dobro hladiti vodo na tlačni strani (leva stran na Slika 5).

Pri ustvarjanju ledenih zrn izven rezalne glave je pri njihovem transportu in skladiščenju treba poskrbeti, da ne pride do sintranja in lepljenja na površino. Moč oprijema delcev je odvisna od temperature ledu in se manjša z nižanjem temperature [12]. Pri temperaturi nižji od $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ postanejo adhezijske sile zanemarljivo majhne.

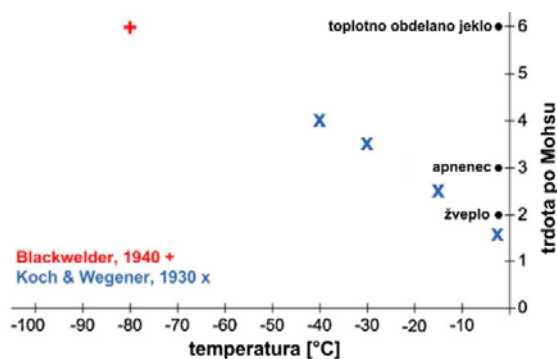


Slika 1: Različne metode ustvarjanja lednega abrazivnega vodnega curka.

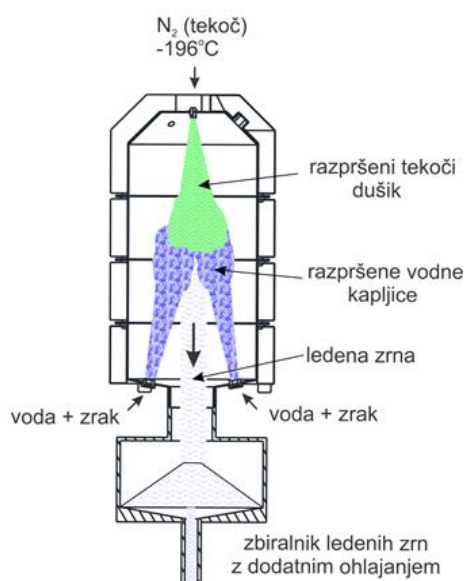
Žal se izkaže, da nobena od metod sprotnega (med procesom) ustvarjanja lednega abrazivnega vodnega curka v praksi ne deluje. S podhlajevanjem vode pod visokim tlakom res lahko ohladimo tekočo vodo tudi pod $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Slika 2), vendar ledena zrna, ki nastanejo pri prehodu skozi vodno šobo zaradi nenadnega padca tlaka niso dovolj hladna, da bi s takim curkom lahko učinkovito rezali. Trdota ledenih zrn je namreč zelo odvisna od njihove temperature (Slika 3) in doseže trdoto mehkejših materialov, ki se uporabljajo za rezanje z AVC, pri temperaturi okoli $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Slika 2: Fazni diagram vode v območju interesa, izdelan glede na podatke iz literature [10,11]



Slika 3: Trdota ledu v odvisnosti od temperature po Mohsovi lestvici trdote [12]



Slika 4: Shema delovanja enote za izdelavo ledenega abraziva

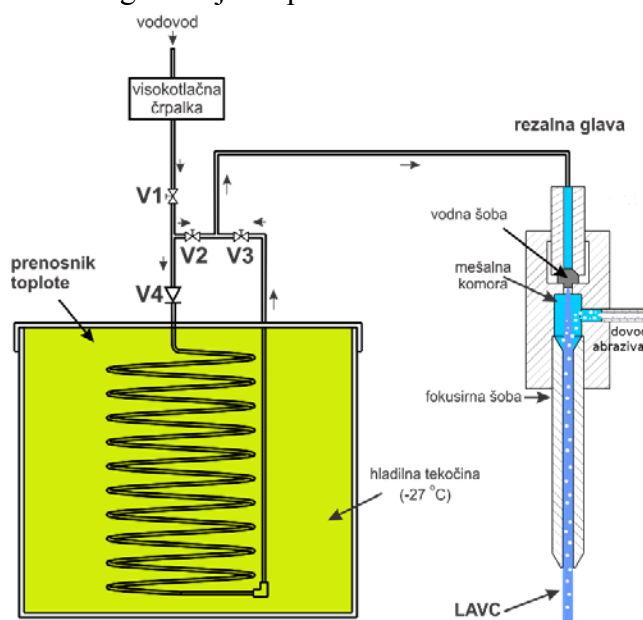
Kondenzirana vlaga iz zraka lahko povzroči, da se ledena zrna med sabo sprimejo ali pa se prilepijo na stene posode oziroma cevi. V obeh primerih je posledica mašenje cevi in neustrezna velikost ledenih zrn, ki jih želimo uporabiti kot abraziv. Pri rokovanju z ledenim abrazivom moramo torej paziti, da je le-ta vedno pri temperaturi nižji od $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ter ga hraniti in prenašati v dušikovi atmosferi, da preprečimo nastajanje kondenzata.

Gostota ledu je prav tako odvisna od temperature in z njenim nižanjem narašča [11]. Sprememba gostote neposredno vpliva na spreminjanje velikosti zrn pri njihovem segrevanju oz. ohlajanju, vendar je ta sprememba zanemarljivo majhna pri velikosti zrn okoli $500\text{ }\mu\text{m}$.

Toplotna prevodnost ledu s padanjem temperature narašča [11]. Pri nižji temperaturi se

ledena zrna torej nekoliko počasneje segrevajo, kar je za proces ugodno.

Lomna žilavost materialov se z nižanjem temperature običajno znižuje, zaradi česar pri obremenitvi materiala pri nizkih temperaturah običajno hitreje pride do porušitve. Ledu se s spreminjanjem temperature lomna žilavost ne spreminja bistveno [13,14]. V rezalni glavi VC udari ob abraziv in ga pospešuje do obdelovanca. Ob tem udarcu pogosto pride do drobljenja zrn abraziva, saj ima curek veliko hitrost. Relativno konstantna lomna žilavost ledu pomeni, da lahko ledena zrna ohladimo na temperaturo tekočega dušika brez bojazni, da bi zrna v rezalni glavi zaradi tega hitreje razpadala.



Slika 5: Hlajenje vode na tlačni strani in dovajanje ledenih zrn v visokohitrostni vodni curek.

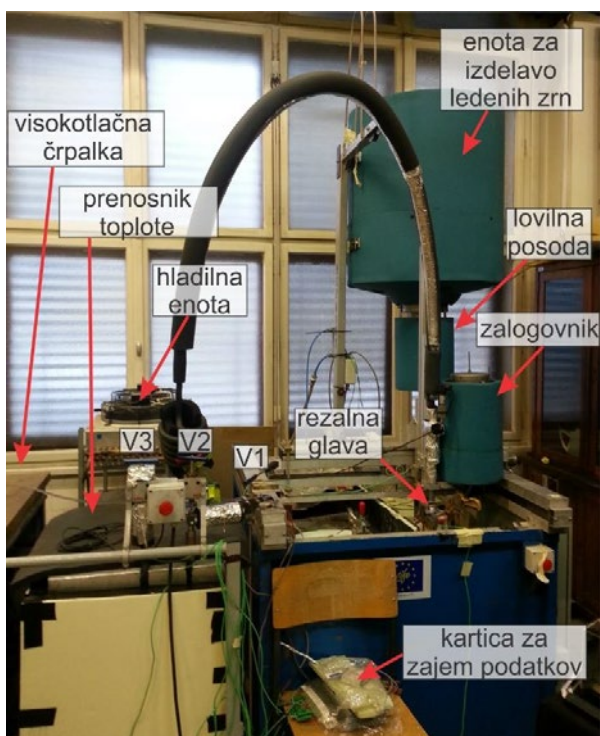
3 OPIS PROTOTIPNE NAPRAVE

Prototip stroja za rezanje z LAVC, ki je predstavljen na Slika 6, je sestavljen iz visokotlačne črpalke (P-2040, Omax, ZDA), ki lahko doseže tlake do 280 MPa , pri največjem pretoku vode $3,2\text{ l/min}$. Za hlajenje vode pod tlakom uporabljamo prenosnik toplote, sestavljen iz bazena za hladilno tekočino, ki je v našem primeru mešanica glikola in vode v razmerju 1:1, ter z volumnom 200 l .

V hladilni tekočini je potopljena spiralna visokotlačna cev skupne dolžine 20 m . Hladilno tekočino ohlajamo s hladilnim kompresorjem

hladilne moči 7,3 kW, s katerim stabilno ohranjamo temperaturo vode pred vodno šobo pri -20 °C, pri pretoku vode 1,15 l/min, ki ga dosežemo pri tlaku 200 MPa in vodno šobo premera 0,2 mm. Za doseganje omenjene temperature moramo hladilno tekočino ohladiti na temperaturo okoli -27 °C. Prenosnik toplote hladilnega sistema prikazuje Slika 7. Za merjenje temperature uporabljamo sistem termoparov, ki je predstavljen v poglavju meritev temperatur.

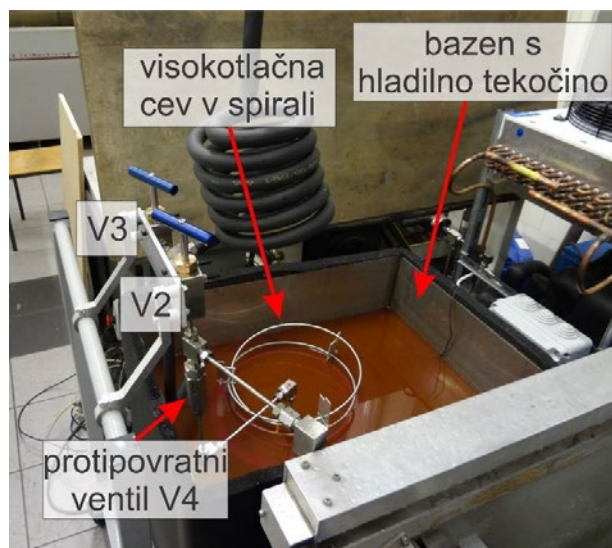
Uporabljamo rezalno glavo proizvajalca Allfi AG Wasserstrahl-Schneidtechnik (Švica) z dvema dovodoma za abraziv. Eno odprtino smo uporabili za dovod abraziva, drugo pa za namestitev senzorja tlaka v mešalni komori, preko spremembe katerega lahko zaznamo zamašitev dovodne cevi za abraziv.



Slika 6: Prototip stroja za obdelavo z LAVC, po metodi ustvarjanja ledenega abraziva izven rezalne glave

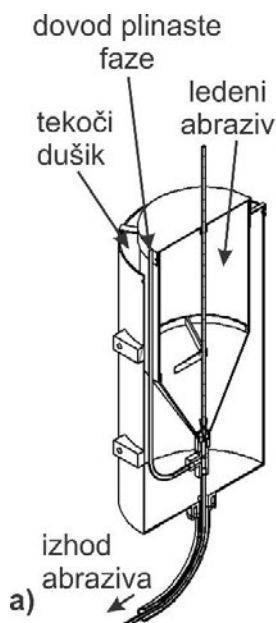
Ledeni abraziv je potrebno hraniti na hladnem, da ne pride do segrevanja in posledično sintranja in taljenja delcev. V ta namen smo izdelali gravitacijski zalogovnik z dvojno steno, ki je prikazan na Slika 8. V zunanjem prostoru hranimo tekoči dušik za hlajenje notranjega dela, kjer se nahajajo ledena zrna. Pri dovajanju abraziva je pomembno, da poleg abraziva dovajamo tudi

plinasto fazo transportnega plina, saj bi se drugače šoba v rezalni glavi lahko zamašila.



Slika 7: Prenosnik toplote hladilnega sistema prototipa stroja za obdelavo z LAVC

Ledena zrna proizvajamo kot smo opisali v prejšnjem poglavju.



Slika 8: Zalogovnik za ledeni abraziv z dvojno steno; a) shematski prikaz in b) izvedba zalogovnika, ki je izoliran s peno iz armafleksa

4 SKLEP – IZZIV IN PRILOŽNOST ZA SLOVENSKO STROJEGRADNJO

Nekaj podjetij po svetu, ki delujejo na področju prehranske industrije in obdelave težko

obdelovalnih materialov je izkazalo interes za to tehnologijo. Za dve od teh smo po pogodbi izvedli obširno testiranje tehnologije. Njihova ugotovitev je bila, da je potrebno še nekaj razvoja, da bi dokončno ugotovili, če je tehnologija za njih uporabna. Na podlagi rezultatov vidijo potencial, vendar glede na svojo strategijo ne sodelujejo kot razvojni partner.

ZAHVALA

Avtorji se zahvaljujejo Agenciji za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije (ARRS) za finančno podporo v okviru Raziskovalnega programa Inovativni izdelovalni sistemi in procesi (P2-0248).

Viri

- [1] Cooley WC. Advances in the technology of fluid jets: Past, present and targets for the 21st century. 5th Pacific Rim Int. Conf. Water Jet Technol., New Delhi, India: 1998, p. 3–5.
- [2] Momber AW, Kovacevic R. Principles of Abrasive Water Jet Machining. London: Springer London; 1998. <https://doi.org/10.1007/978-1-4471-1572-4>.
- [3] Zeng J, Kim TJ. Parameter Prediction and Cost Analysis in Abrasive Waterjet Cutting Operations. 7th Am. Water Jet Conf., Seattle: 1993, p. 175–89.
- [4] Bach F, Hassel T, Biskup C, Hinte N, Schenk A, Pude F. In-process generation of water ice particles for cutting and cleaning purposes. BHR Gr. - 20th Int. Conf. Water Jet., Graz, Austria: BHR Group Limited, Bedfordshire, UK; 2010, p. 275–83.
- [5] Jerman M, Orbanić H, Junkar M. Razvoj obdelave s kriogenim vodnim curkom. Ljubljana : [M. Jerman], 2010., 2010.
- [6] Karpuschewski B, Emmer T, Schmidt K, Petzel M. Cryogenic wet-ice blasting—Process conditions and possibilities. CIRP Ann - Manuf Technol 2013;62:319–22. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2013.03.102>.
- [7] Shanmugam DK. Development of Ice Particle Production System for Ice Jet Process 2005.
- [8] Li F, Geskin ES, Tismenetskiy L. Development of ice jet machining technology. 8th Am. Waterjet Conf., Houston, Texas: WaterJet Technology Association; 1995, p. 671–80.
- [9] Galecki G, Vickers G. Development of ice-blasting for surface cleaning. 6th Int. Symp. Jet Cut. Technol., Guildford, UK: BHRA Fluid Engineering; 1982, p. 59–79.
- [10] Wagner W, Pruss A. The IAPWS Formulation 1995 for the Thermodynamic Properties of Ordinary Water Substance for General and Scientific Use. J Phys Chem Ref Data 2002;31:149. <https://doi.org/10.1063/1.1461829>.
- [11] Lide DR. CRC Handbook of Chemistry and Physics. 85th ed. CRC Press; 2005.
- [12] Hobbs PV. Ice Physics. Clarendon Press; 1974.
- [13] Nixon WA, Schulson EM. A micromechanical view of the fracture toughness of ice. Le J Phys Colloq 1987;48:8. <https://doi.org/10.1051/jphyscol:1987144>.
- [14] Litwin KL, Zygielbaum BR, Polito PJ, Sklar LS, Collins GC. Influence of temperature, composition, and grain size on the tensile failure of water ice: Implications for erosion on Titan. J Geophys Res 2012;117:E08013. <https://doi.org/10.1029/2012JE004101>.

INDEKS PRIPRAVLJENOSTI PROIZVODNIH PODJETIJ NA INDUSTRIJO 4.0

Iztok PALČIČ, Robert OJSTERŠEK, Borut BUCHMEISTER
Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo

IZVLEČEK

Laboratorij za načrtovanje proizvodnih sistemov na Fakulteti za strojništvo Maribor že 18 let sodeluje pri največji raziskavi o proizvodni dejavnosti v Evropi z imenom European Manufacturing Survey (EMS). Koordinator celotnega projekta je sloviti Fraunhoferjev inštitut iz Nemčije. Partnerji prihajajo iz 17-ih evropskih držav, med njimi so Avstrija, Švica, Španija, Hrvaška, Srbija, Danska in druge države, s katerimi se radi primerjamo. Slovenija se je pridružila projektu leta 2003, ko smo izvedli prvo anketo, v letih 2006, 2009, 2012/13, 2015/16 in 2018/19 smo anketo ponovili. Anketa je zelo koristna za podjetja, saj nam omogoča ugotoviti, kakšna je naša konkurenčna pozicija v primerjavi z naštetimi državami. Namen ankete je predvsem posredovati rezultate širši javnosti in jo seznaniti s trendi na področju proizvodne dejavnosti v Sloveniji, predvsem pa v Evropi in po svetu. Ta članek obravnava uporabo naprednih proizvodnih tehnologij in informacijsko-komunikacijskih tehnologij (IKT) v slovenskih proizvodnih podjetjih v luči Industrije 4.0. Obenem predstavljamo indeks pripravljenosti na Industrijo 4.0 in ocenjujemo pripravljenost slovenskih proizvodnih podjetij na Industrijo 4.0. Stanje v Sloveniji primerjamo tudi z avstrijskimi proizvodnimi podjetji.

1 UVOD

Sodobni industrijski razvoj gospodarstva je trajal več sto let in nekaj let nazaj smo vstopili v obdobje Industrije 4.0, o kateri je bilo povedanega že ogromno, saj gre za izjemno aktualen koncept. Proizvodna podjetja so danes pred velikimi izzivi, kot so skrajšani tehnološki in inovacijski cikli ter potreba po ponudbi prilagojenih izdelkov, kjer je vse manj veliko serijske proizvodnje. To zahteva drastično preobrazbo proizvodnih podjetij predvsem na področju digitalizacije poslovnih in proizvodnih procesov ter poslovnih modelov in organizacijskih praks. V proizvodnih podjetjih fizični izdelki niso več edini vir prihodkov, ampak so tesno povezani s storitvami, govorimo o servitizaciji proizvodnih podjetij.

V okviru Industrije 4.0 se pojavljajo pojmi, kot so Internet stvari (IoT), Internet storitev (IoS), kibernetško-fizični sistemi (Cyber Physical Systems – CPS), informacijske in komunikacijske tehnologije (IKT), programska oprema za upravljanje virov podjetja (Enterprise Resource Planning – ERP), arhitektura podjetja (Enterprise Architecture – EA) in integracija podjetja (Enterprise Integration – EI). Industrija 4.0 zajema

številne tehnologije in z njimi povezane paradigme, vključno z radio-frekvenčno identifikacijo (RFID), ERP, IoT, proizvodnjo v računalniškem oblaku, prenosnimi napravami (npr. pametnimi urami, očali ali rokavicami), obogateno resničnostjo, avtonomnimi vozili (vključujoč drone), novimi načini denarnih transakcij (npr. blockchain), analitiko velikih podatkov in razvojem družbeno odgovornih izdelkov [1-4]. Identificirano je vsaj pet glavnih značilnosti Industrije 4.0: digitalizacija, optimizacija in fleksibilnost proizvodnje; avtomatizacija in zmožnost prilagajanja; interakcija človeka in stroja; storitve in poslovni modeli z visoko dodano vrednostjo ter samodejna izmenjava podatkov in komunikacija [1,5].

Še en pojem se pogosto pojavlja, in sicer pametna tovarna, ki uporablja internet stvari za uresničitev inteligentnih proizvodnih konceptov. V pametni tovarni uporabljamo za proizvodnjo izdelkov, pretvorbo virov in implementacijo procesov kibernetško-fizične proizvodne sisteme. Pametna tovarna zajema »pametne« izdelke, stroje, procese in postopke. Bistvo pametne tovarne je medsebojna komunikacija ljudi, strojev, izdelkov in drugih virov ter komunikacija s kupci

in dobavitelji. V skladu z vsem do sedaj povedanim vidimo, da so pomemben del koncepta Industrije 4.0 napredne proizvodne tehnologije (Advanced Manufacturing Technologies – AMT) in IKT.

Obstaja veliko predstavnikov AMT in IKT (ki so v središču digitalne tovarne) in dejstvo je, da je razpršenost teh tehnologij močno odvisna od industrije in velikosti podjetja. Res je tudi, da vse tehnologije niso primerne za vsa proizvodna okolja. V naši raziskavi smo analizirali več tehnologij s področja "digitalne tovarne", ki imajo potencial, da najdejo svojo pot praktično v vsa proizvodna okolja. Ker je koncept Industrije 4.0 relativno ohlapno opredeljen, imajo podjetja resne težave pri dojemanju celovite ideje Industrije 4.0. Ena izmed možnosti je vpeljava modelov zrelosti in pripravljenosti na Industrijo 4.0. V preteklosti so bili predlagani nekateri modeli za določitev stopnje zrelosti podjetja, ki merijo napredek podjetja pri doseganju nivoja Industrije 4.0. Kljub temu manjka model, ki bi določal stopnjo pripravljenosti podjetja, kar je zgodnejši korak v postopku »zorenja« podjetja [7]. Posledično smo v okviru naše EMS raziskave razvili lasten indeks pripravljenosti na Industrijo 4.0, katerega avtor je koordinator projekta Fraunhoferjev inštitut iz Nemčije [8].

2 RAZISKAVA O PROIZVODNI DEJAVNOSTI

Rezultate naše raziskave smo pridobili s pomočjo ankete o proizvodni dejavnosti. Originalni naziv ankete je European Manufacturing Survey (EMS) in je največja evropska raziskava proizvodne dejavnosti. Koordinator celotnega projekta je sloviti Fraunhoferjev inštitut iz Nemčije. Poglavitni cilj EMS projekta je pridobiti informacije o rabi proizvodnih tehnologij in IKT, novih tehniških in organizacijskih konceptih v proizvodnji in implementaciji najboljših poslovnih praks. V anketi sprašujemo podjetja tudi o proizvodnih strategijah, smotrni rabi energije, o storitvah, ki jih nudijo podjetja zraven izdelkov, uporabi projektne načina dela v podjetjih, selitvi proizvodnje, tipih proizvodnje in izdelkov, konkurenčnih kriterijih, kvalifikacijah in izobrazbi zaposlenih itd. Zbiramo tudi podatke o

produktivnosti, fleksibilnosti, kakovosti, donosih ipd. Na anketo odgovarjajo proizvajalci strojev in opreme, proizvajalci končnih izdelkov iz kovinsko-predelovalne industrije, proizvajalci plastičnih in gumenih izdelkov in podjetja, ki sodijo v elektro industrijo. Obsežni vprašalnik na osmih straneh pošiljamo v proizvodna podjetja, ki imajo vsaj 20 zaposlenih, v raziskavo smo vključili proizvodna podjetja iz NACE skupine C.

Prvič smo anketno raziskavo izvedli leta 2003/04 v devetih evropskih državah, vključujoč Avstrijo, Hrvaško, Francijo, Nemčijo, Veliko Britanijo, Italijo, Slovenijo, Švico in Turčijo. V letu 2006/07 smo izvedli novo raziskavo v še več evropskih državah, saj so se pridružile Grčija, Nizozemska in Španija. Naslednja izvedba je bila v letu 2009. Raziskava je postala globalna, saj sta se pridružili še Kitajska in Rusija, pa tudi Danska in Finska. Iz konzorcija sta izstopili Turčija in Velika Britanija, zbrali smo odgovore iz 12-ih držav. Četrta izvedba EMS se je pričela leta 2012 in se zaključila v 2013. Naša družina je ponovno zrasla, saj so se pridružile Češka, Švedska in Brazilija. Italija, Francija in Velika Britanija so spremenile partnerje v svoji državi. Peta izvedba je potekala v letih 2015 in 2016. Dodali smo novo članico, in sicer Srbijo. Šesta izvedba se je pričela v letu 2018 z novim partnerjem iz Češke in novimi državami, kot sta Litva in Slovaška.

Naša raziskava temelji torej na podatkih iz slovenskega vzorca iz leta 2018/19. V zadnji iteraciji je na anketo odgovorilo rekordnih 127 podjetij, kar je predstavljalo 15 % stopnjo odziva. Proizvodna podjetja v naši raziskavi sodijo v sledeče NACE C skupine:

- 13: Proizvodnja tekstilij;
- 14: Proizvodnja oblačil;
- 15: Proizvodnja usnja, usnjenih in sorodnih izdelkov;
- 22: Proizvodnja izdelkov iz gume in plastičnih mas;
- 23: Proizvodnja nekovinskih mineralnih izdelkov;
- 24: Proizvodnja kovin;
- 25: Proizvodnja kovinskih izdelkov, razen strojev in naprav;
- 26: Proizvodnja računalnikov, elektronskih in optičnih izdelkov;
- 27: Proizvodnja električnih naprav;
- 28: Proizvodnja drugih strojev in naprav;

- 29: Proizvodnja motornih vozil, prikolic in polprikolic;
- 30: Proizvodnja drugih vozil in plovil;
- 32: Druge raznovrstne predelovalne dejavnosti.

Za potrebe tokratne raziskave smo izločili odgovore podjetij s področja tekstila in obutve in tako ostane v bazi 118 odgovorov iz pretežno kovinsko-predelovalne industrije, elektro industrije ter industrije umetnih mas. V našem vzorcu je tako največ podjetij iz NACE skupin 22, 25, in 28, pri čemer je bilo približno 27 % podjetij iz NACE 25, okoli 20 % iz NACE 28 ter okoli 16 % iz skupine NACE 22. Če pogledamo podjetja po velikosti, je bilo 32 % malih, 43 % srednje velikih in 25 % velikih podjetij (kriterij je število zaposlenih).

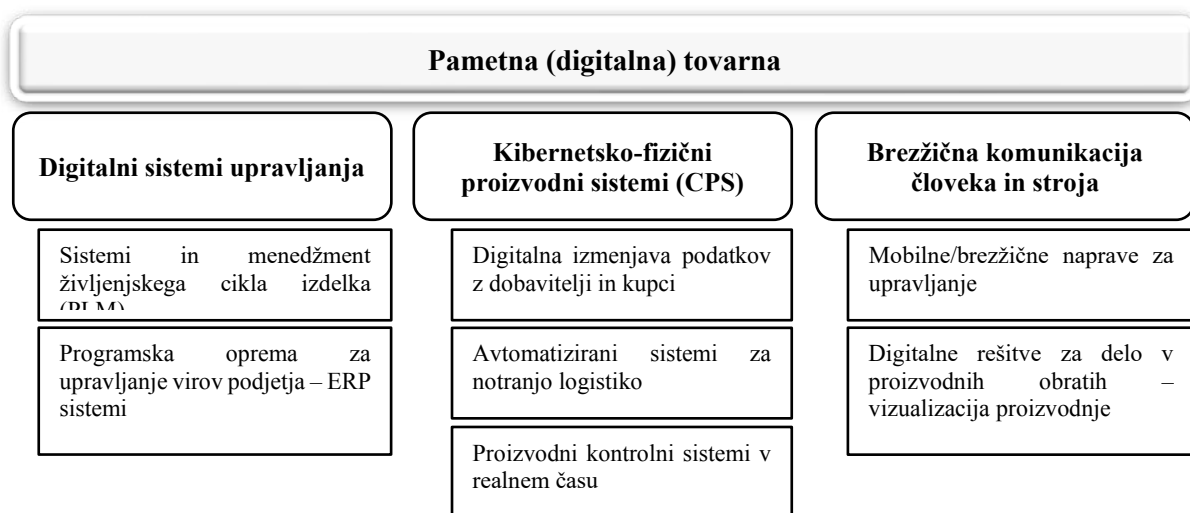
Rezultate raziskave posredujemo v posameznih državah lokalnim in nacionalnim vladnim institucijam ter jih predstavljamo na najrazličnejših dogodkih, konferencah, srečanjih ter v obliki strokovnih prispevkov.

3 INDEKS PRIPRAVLJENOSTI NA INDUSTRIJO 4.0

Kot smo že omenili, indeks pripravljenosti, ki smo ga razvili v okviru naše raziskave, temelji na AMT in IKT. Za določitev indeksa pripravljenosti ni dovolj, da preštejemo tehnologije, ki jih podjetje uporablja, ampak jih je treba sistemsko prilagoditi procesom in operacijam v podjetju, spadajo pa tudi na različna tehnološka področja. Posledično smo identificirali tri tehnološka področja s pripadajočimi tehnologijami (slika 1):

1. Digitalni sistemi upravljanja – ERP sistemi in sistemi ter menedžment življenjskega cikla izdelka (PLM, PDM);
2. Brezžična komunikacija človeka in stroja: mobilne/brezžične naprave za upravljanje opreme in digitalna vizualizacija;
3. Kibernetsko-fizični proizvodni sistemi (CPS): digitalna izmenjava podatkov z dobavitelji in kupci, avtomatizirani sistemi za notranjo logistiko ter proizvodni kontrolni sistemi v realnem času.

Medtem ko prvi dve tehnološki področji zajemata procese, povezane z informacijsko-komunikacijsko tehnologijo – IKT (osnovne tehnologije Industrije 4.0), vendar osamljeno ne tvorita bistva Industrije 4.0, tehnološko področje kibernetsko-fizičnih proizvodnih sistemov že izdatneje zajema celovito idejo Industrije 4.0.



Slika 1: Tehnologije pametne (digitalne) tovarne

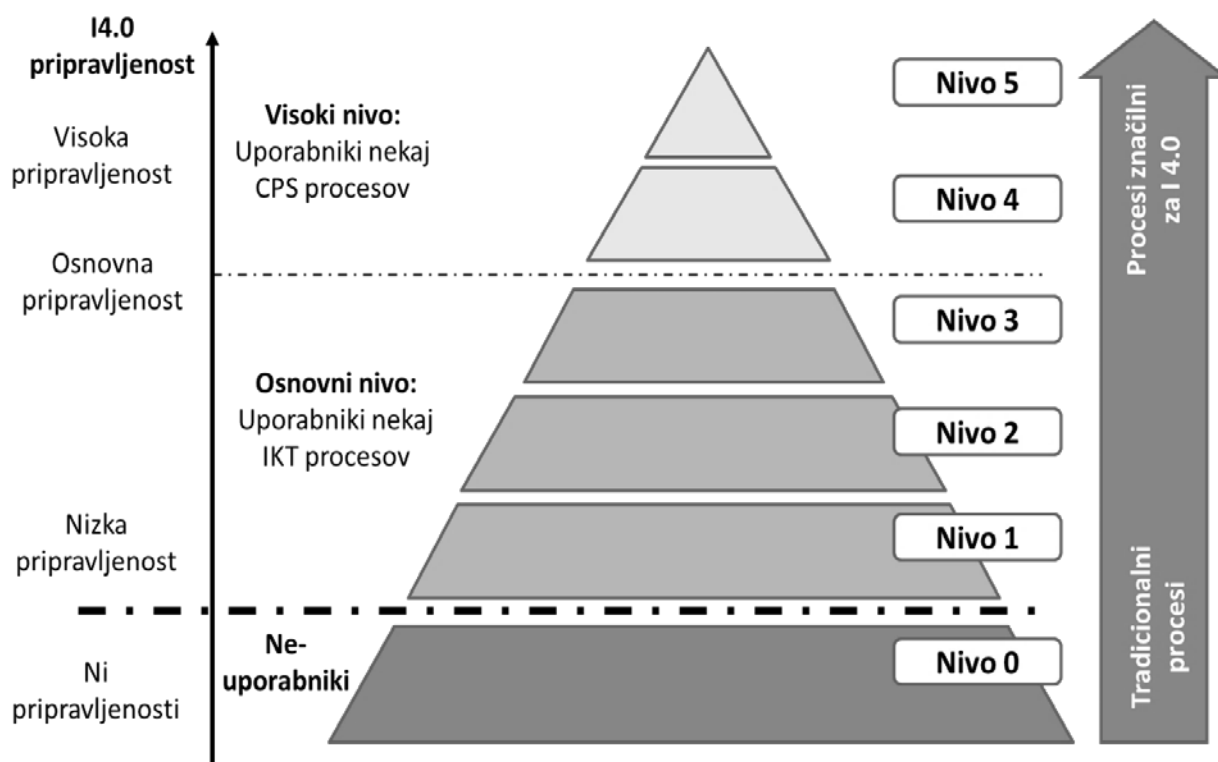
Slika 2 prikazuje koncept indeksa pripravljenosti, ki temelji na uporabi izbranih naprednih proizvodnih tehnologij. S predlagano klasifikacijo tehnoloških področij lahko glede na različne kombinacije rabe navedenih tehnologij

razvrstimo podjetja v različne skupine glede na njihovo pripravljenost na Industrijo 4.0:

1. Ne-uporabniki tehnologij, ki še niso sploh pripravljeni na Industrijo 4.0:

- a. Nivo 0: podjetja, ki še zmeraj težijo k uporabi starih, tradicionalnih tehnologij;
2. Osnovna pripravljenost na Industrijo 4.0:
 - a. Nivo 1 (začetniki): podjetja, ki uporabljajo tehnologije iz vsaj enega od treh tehnoloških področij;
 - b. Nivo 2 (napredni začetniki): podjetja, ki uporabljajo tehnologije iz vsaj dveh od treh tehnoloških področij;
 - c. Nivo 3 (napredni uporabniki): podjetja, ki uporabljajo tehnologije iz vseh treh tehnoloških področij;
3. Visoka pripravljenost na Industrijo 4.0:
 - a. Nivo 4: podjetja, ki uporabljajo tehnologije iz vseh treh tehnoloških področij, in vsaj dve tehnologiji iz področja kibernetiko-fizičnih proizvodnih sistemov;
 - b. Nivo 5: podjetja, ki uporabljajo tehnologije iz vseh treh tehnoloških področij, in vse tri tehnologije iz področja kibernetiko-fizičnih proizvodnih sistemov.

Z vsakim nivojem se stanje pripravljenosti na Industrijo 4.0 poveča oziroma zmanjšuje se oddaljenost do celovite mrežne oz. digitalne proizvodnje. Medtem ko na nivoju 0 ni pripravljenosti za industrijo 4.0, imajo podjetja na nivojih od 1 do 5 osnovno pripravljenost. Podjetja, ki že uporabljajo procese, povezane z IKT (nivo 1 in 2), imajo večjo oddaljenost od Industrije 4.0 kot podjetja na nivojih 3 do 5, ki že izvajajo prve elemente celovite mrežne oz. digitalne proizvodnje. Vendar tudi na nivojih 4 in 5 ni mogoče domnevati, da je bil prag za industrijo 4.0 dejansko v popolnosti dosežen. Lahko le domnevamo, da se je zmanjšala oddaljenost do celovite mrežne oz. digitalne proizvodnje. S pomočjo indeksa pripravljenosti Industrije 4.0 je mogoče preslikati spremembo od tradicionalne proizvodnje do proizvodnje blizu Industrije 4.0. Podjetja na višjem nivoju so prehod izdatnejše naredila kot podjetja na nižjih nivojih.



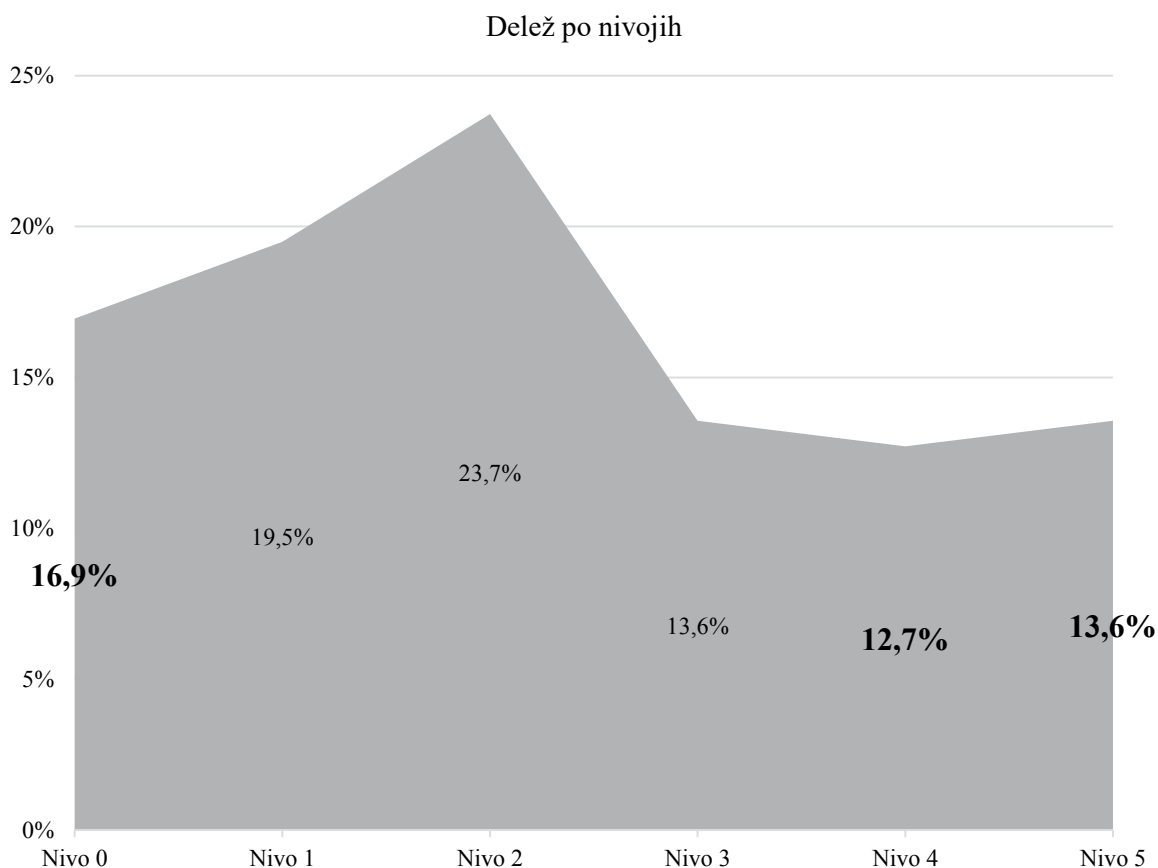
Slika 2: Koncept indeksa pripravljenosti na Industrijo 4.0

Slika 3 prikazuje porazdelitev vseh šestih opisanih nivojev pripravljenosti na Industrijo 4.0 za slovenska proizvodna podjetja. Dokaj visok delež, približno 17 % vseh podjetij, doslej še ni

implementiralo nobene obravnavane tehnologije v proizvodnji. Približno 57 % vseh podjetij že ima procese, povezane z IKT v svoji proizvodnji, in tvorijo skupino podjetij z osnovno pripravljenostjo

na Industrijo 4.0. Ta osnovna skupina uporabnikov vključuje skupino začetnikov, ki uporabljajo samo tehnologije z enega tehnološkega področja (skoraj 20 %; nivo 1), napredne začetnike, ki delujejo na dveh tehnoloških področjih (skoraj 24 %; nivo 2), pa tudi že napredne uporabnike, ki združujejo tehnologije z vseh treh tehnoloških področij (skoraj 14 %; nivo 3). V dveh najvišjih nivojih 4

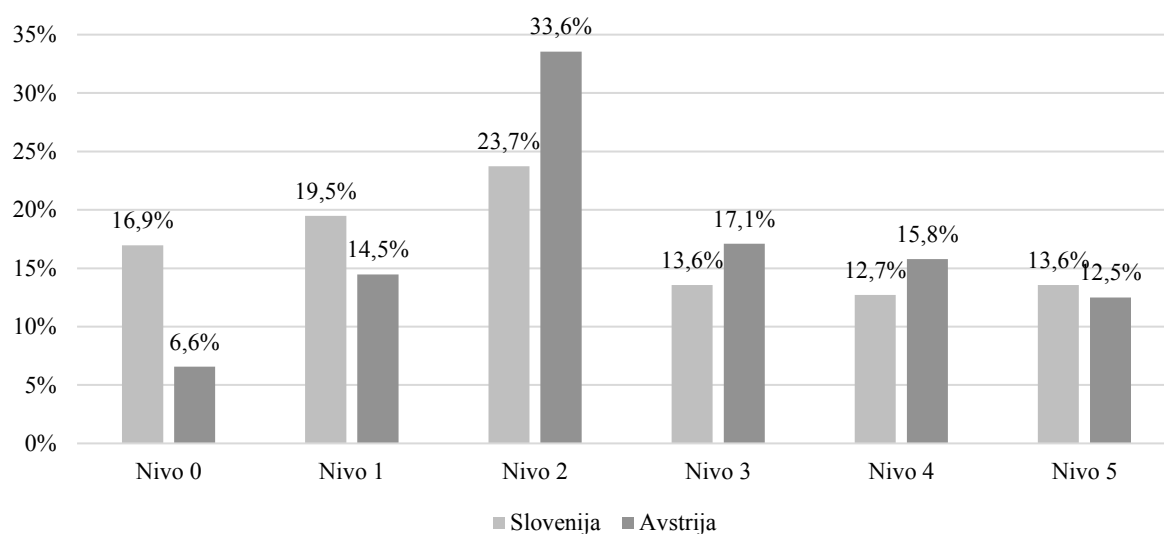
in 5, ki tvorita skupino podjetij z visoko pripravljenostjo na Industrijo 4.0, je 26,3 % vseh podjetij. Vsako četrto podjetje je posledično dejavno na vseh treh tehnoloških področjih in ne uporablja samo procesov, povezanih z osnovnimi IKT, ampak tudi več procesov, povezanih s kibernetско-fizičnimi proizvodnimi sistemi hkrati.



Slika 3: Indeks pripravljenosti na Industrijo 4.0 v slovenskih proizvodnih podjetjih

Slika 4 prav tako prikazuje porazdelitev vseh šestih opisanih nivojev pripravljenosti na Industrijo 4.0, ker pa se radi primerjamo z drugimi državami, še posebej s tistimi, ki so pomembne industrijske partnerice, smo k slovenskim proizvodnim podjetjem dodali še rezultate za avstrijska proizvodna podjetja. Če pogledamo avstrijska proizvodna podjetja, lahko pazimo, da je delež ne-uporabnikov tehnologij mnogo nižji (2,5-krat), zgolj slabih 7 %. Prav tako je nižji delež podjetij na nivoju 1. Petina avstrijskih podjetij ima

tako vpeljane tehnologije iz največ enega tehnološkega področja (nivo 0 in 1 skupaj), medtem, ko je ta delež v Sloveniji skoraj 2-krat višji (slabih 37 %). Tretjina avstrijskih proizvodnih podjetij ima vpeljane tehnologije iz največ dveh tehnoloških področij (nivo 2) in tudi na nivoju 3 je delež nekoliko višji kot pri slovenskih podjetjih. Po drugi strani pa je skupni delež podjetij na nivoju 4 in 5 zelo podoben slovenskemu ter znaša dobrih 28 %.



Slika 4: Indeks pripravljenosti na Industrijo 4.0 v slovenskih in avstrijskih proizvodnih podjetjih

4 ZA KONEC

Pogled na slovenski proizvodni sektor kaže, da je še vedno določen delež podjetij, ki se močno zanašajo na tradicionalne proizvodne procese (ne-uporabniki). Glavna skupina slovenskih proizvodnih podjetij je počasi pričela uporabljati procese, povezane z IKT, vendar je med začetniki in naprednimi uporabniki velika razlika. Prvi so nedvomno bližje ne-uporabnikom, napredni uporabniki pa se počasi pripravljajo na vstop v najvišjo skupino. V najvišji skupini podjetja ne delujejo samo na vsakem od treh tehnoloških področij, ampak uporabljajo tudi več postopkov, povezanih s kibernetiko-fizičnimi proizvodnimi sistemi. Obstaja precejšnja pripravljenost za digitalizacijo proizvodnje, pri čemer velja, da se podjetja, ki so na nivoju 4 in 5 (dobra četrtina podjetij), izdatno pripravljajo na proizvodnjo, povezano z Industrijo 4.0, ali jo že z veliko mero izvajajo. V primerjavo z Avstrijo lahko ugotovimo, da so avstrijska proizvodna podjetja v povprečju nekoliko bolj agilna pri vključevanju tehnologij pametne tovarne v svoje okolje. Kljub temu veseli dejstvo, da je delež podjetij v skupini z visoko pripravljenostjo na Industrijo 4.0 praktično enak. To pomeni, da tudi v Sloveniji najdemo vse več podjetij, ki že dihalo v ritmu Industrije 4.0.

V letu 2022 bomo izvedli novo raziskavo in zelo zanimivo bo videti napredek v obdobju od leta 2018/19, kjer lahko pričakujemo precejšen premik podjetij od nižjih nivojev pripravljenosti na

Industrijo 4.0 do višjih nivojev. Slovenska proizvodna podjetja so pogosto dobavitelj podjetjem v zahodnih evropskih državah, kar pomeni, da so primorana in očitno tudi sposobna slediti najnovejših tehnoloških trendom.

Viri:

- [1] Vijaykumar, S., Saravanakumar, S. G., Balamurugan, M. Unique sense: smart computing prototype for industry 4.0 revolution with IOT and big data implementation model, *Indian Journal of Science and Technology* 8(2015) 35, str. 1–4.
- [2] Hofmann, E., Rüscher, M. Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. *Computers in Industry* 89(2017), str. 23–34.
- [3] Georgakopoulos, D., Jayaraman, P.P., Fazio, M., Villari, M., Ranjan, R. Internet of things and edge cloud computing roadmap for manufacturing. *IEEE Cloud Computing* 3(2016)4, str. 66–73.
- [4] Lin, F., Chen, C., Zhang, N., Guan, X., Shen, X. Autonomous channel switching: towards efficient spectrum sharing for industrial wireless sensor networks. *IEEE Internet of Things Journal* 3(2016)2, str. 231–243.
- [5] Roblek, V., Meško, M., Krapež, A. A complex view of Industry 4.0. *SAGE Open* 6(2016)2, str. 1–11.
- [6] Palčič, I., Kušar, J., Koren, R. Organizacijske in tehniške inovacije v slovenskih proizvodnih podjetjih, *IRT 3000* 9(2014)3, str. 33–37.
- [7] Pacchini, A. P. T., Lucato, W. C., Facchini, F., Mummolo, G. The degree of readiness for the implementation of Industry 4.0, *Computers in Industry* (2019)113, str. 1–8.
- [8] Lerch, C., Jaeger, A., Meyer, N. I4.0-Readiness – Baden-Württemberg auf dem Weg zur Industrie 4.0?, *Fraunhofer ISI working paper*, (2016).

RAČUNALNA TOMOGRAFIJA (CT) ZA NEDESTRUKTIVNO DIMENZIONALNO ISPITIVANJE PROIZVODA

Josip KOS, Petra OKOVIĆ, Nenad DRVAR
Topomatika d.o.o.

SAŽETAK

Rad donosi pregled mogućnosti i benefita industrijske kompjuterizirane tomografije (CT) za 3D mjerenja u industriji. Povećanim zahtjevima proizvodnje, povećali su se i zahtjevi za mjerenjem unutarnjih struktura bez rezanja uzorka. Odgovor na ove suvremene zahtjeve mjerenja je metoda kompjuterske tomografije koja jedina daje cjelovitu 3D geometriju za GD&T analize ili usporedbe referentnih i stvarnih stanja bez rezanja uzorka. U radu će biti prikazani rezultati 3D mjerenja sa ZEISS Metrotom CT sustavom, a obrada sa GOM Volume Inspect programskim paketom za sveobuhvatnu analizu rezultata.

1 UVOD

Bilo da govorimo o industriji ili o znanosti, cilj primjene novih tehnologija je dobiti što više podataka, što veće preciznosti u što kraćem vremenu.

Kada govorimo o kontroli kvalitete i procesima proizvodnje, CT tehnologija omogućila nam je dobivanje upravo tih triju stavki na najvišoj razini, na način da nam omogućava uvid u unutrašnjost komada do najsitnije razine detalja uz zadržavanje svih fizikalnih svojstava proizvoda.

Iako su prednosti ove tehnologije vidljive odmah na prvu, u nastavku pročitajte detaljnije o benefitima ove tehnologije na konkretnom primjeru iz industrije.

2 MOGUĆNOSTI CT SUSTAVA

Kako bi se CT skeniranjem iskoristio maksimum koji ova tehnologija pruža, prvi korak mora biti usklađivanje željene primjene CT skeniranja i određene vrste CT sustava. Kada konkretno govorimo o ZEISS CT sustavima, oni se mogu podijeliti u tri skupine: CT uređaji za inspekciju, mjeriteljski CT uređaji i CT uređaji za analizu materijala.

Ukoliko je unutar proizvodnog procesa potrebno samo vizualno kontrolirati proizvod, npr. kontrolirati postojanje određenih defekata

unutar proizvoda (uključina, mjehurića zraka...) ili kontrolirati dijelove unutar sklopa i detektirati eventualne pogreške u procesu sklapanja, tada su CT uređaji za inspekciju pravi odabir. Oni omogućuju vizualni uvid u unutrašnjost komada, u vrlo kratkom vremenu, s dovoljnom preciznošću da se vizualno ustanovi je li skenirani komad funkcionalan ili ne.

Poseban naglasak kod ovih uređaja imaju proizvodi velikih dimenzija izrađeni od materijala velike gustoće koje drugim vrstama CT uređaja nije moguće skenirati.



Slika 1: Mjeriteljski CT uređaj ZEISS Metrotom 6 Scout [1]

Često vizualna inspekcija nije dovoljna već je potrebno dobiti i konkretne brojčane vrijednosti o dimenzijama proizvoda. Tada se koriste mjeriteljski CT uređaji koji omogućavaju kompletnu usporedbu CT skeniranog predmeta s referentnim modelom. Mjeriteljski CT uređaji ovisno o svojim karakteristikama služe za kompletnu 3D digitalizaciju predmeta različitih dimenzija i materijala s vrlo visokom preciznošću rezultata skeniranja.

Posebna vrsta uređaja su CT uređaji za analizu, kojima je glavna primjena analiza materijala na mikroskopskoj razini. Pomoću ovih uređaja dobivamo informacije o hrapavosti materijala, ponašanju materijala u vremenu i analizu zrna ili vlakana unutar materijala.

CT uređaji ovakvog tipa sigurni su za rad u laboratorijima jer je kućište sustava izrađeno tako da radijaciju ne propušta izvan radnog prostora samog uređaja.



Slika 2: Rad sa industrijskim CT uređajima u mjeriteljskim laboratorijima je siguran [4]

U nastavku teksta pojam CT skeniranje koristit će se za postupak skeniranja mjeriteljskim CT uređajima.

3 ZAŠTO CT SKENIRANJE?

Poznato je da su se zahtjevi za geometrijskim karakteristikama proizvoda i sklopova unazad dvadesetak godina drastično povećali. Razvijaju se novi materijali, dizajn je postao kompleksniji, što je utjecalo i na povećanje zahtjeva u kontroli

kvalitete, posebice za dimenzionalnim analizama komponenata.

Posljedično, zbog kompleksnosti proizvoda glavni zahtjev u kontroli kvalitete je brzo mjerenje kompletne površine proizvedene komponente.

Prvi odgovor na to dale su taktilne mjerne mašine (CMM) sa kojima se mjeri u pojedinačnim točkama, a brza mjerenja kompletnih površina proizvoda omogućili su optički 3D mjerni sustavi (3D skeneri). Primjer takvog mjernog sustava ATOS Q, njemačkog proizvođača GOM GmbH.



Slika 3: ATOS Q 3D skener za kontrolu kvalitete u razvoju i uhodavanju proizvodnje

Kada su u pitanju zahtjevi mjerenja unutarnjih površina, odgovor je računalna tomografija koja daje cjelovitu 3D geometriju komponente za dimenzionalnu i GD&T analizu, kontrolu uključina u materijalu komponente (zrak ili neki drugi materijal) ili samo za usporedbe referentnih i stvarnih stanja.

Primjer takvog mjernog sustava je ZEISS Metrotom 6 Scout sa GOM Volume Inspect programskim paketom.

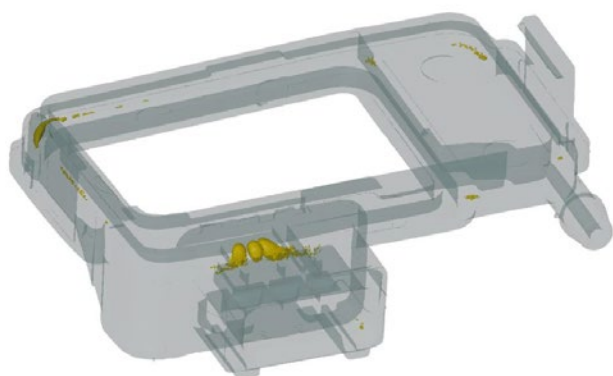
3 BENEFITI I PREDNOSTI CT SKENIRANJA

CT skeniranjem objekta omogućena je analiza do najsitnijeg detalja i u unutrašnjosti bez potrebe za njegovim rezanjem. Na ovaj način skenirani

objekt ostaje funkcionalan i nakon cjelokupnog procesa analize i nije ga potrebno baciti.

Na rezultatima dobivenim CT skeniranjem unutar GOM Volume Inspect softvera moguće je provesti:

- usporedbu stvarnog objekta s CAD modelom,
- analizu sklopa više komponenti
- dimenzionalnu i GD&T analizu
- analizu na presjecima proizvoda
- analizu presjeka sklopa
- analizu debljine stijenki
- NDT analizu defekata (poroznost / uključine) unutar objekta,
- izradu mjernog izvještaja.



Slika 4: Vizualizacija rezultata CT skeniranja – unutarnja i vanjska geometrija proizvoda

4 ANALIZA DEFEKATA I DIMENZIJA POLIMERNOG PREDMETA

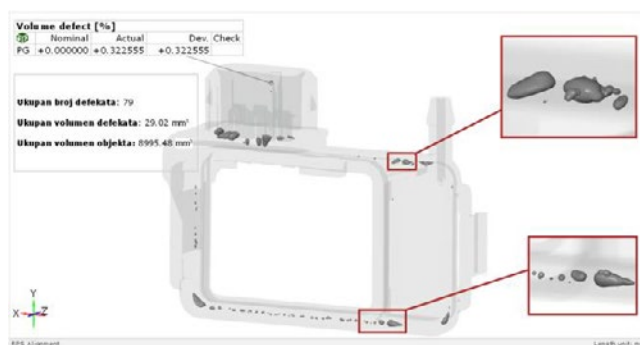
Postupak prerade polimera injekcijskim brizganjem omogućava dobivanje složenih objekata od različitih vrsta polimera.

S obzirom na to da na karakteristike izrađenog objekta utječe veliki broj faktora, od velike je važnosti provoditi kompletna mjerenja prvih uzoraka kako bi se parametri procesa brže i jednostavnije optimirali.

4.1 Analiza unutarnjih defekata

Uvidom u unutrašnjost skeniranog objekta mogu se uočiti uključine (lunkeri) zraka ili nekog drugog materijala. Njihovom analizom dobivaju

se informacije o raspodjeli, volumenu, dimenzijama i udjelu uključina u materijalu.



Slika 5: Analiza defekata skenirane komponente

Ovisno o traženim zahtjevima za skenirani objekt, dobivene dimenzije uključina mogu se pokazati u mapi boja određenoj prema traženim tolerancijama.



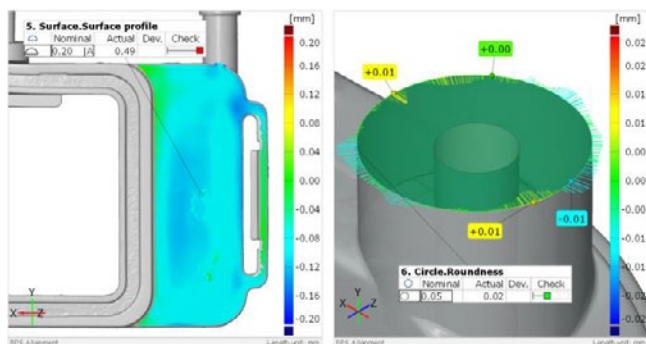
Slika 6: Analiza volumena uključina (lunkera)

Osim analize volumena uključina, moguće je mjeriti i dimenzije u glavnim smjerovima koordinatnog sustava.

4.2 GD&T analiza

Pošto CT skeniranje uz vanjski prikaz objekta omogućuje i prikaz njegove unutrašnjosti ono nam omogućava provođenje cjelovite GD&T analize na cjelokupnoj površini objekta.

U programskom paketu GOM Volume Inspect moguće je evaluirati Tolerancije oblika u skladu s međunarodnim standardima ISO 1101 i ASME Y14.5M kao što je oblik površine (eng. Surface Profile) ili kružnost (eng. Roundness) koji su prikazani na sljedećoj slici.

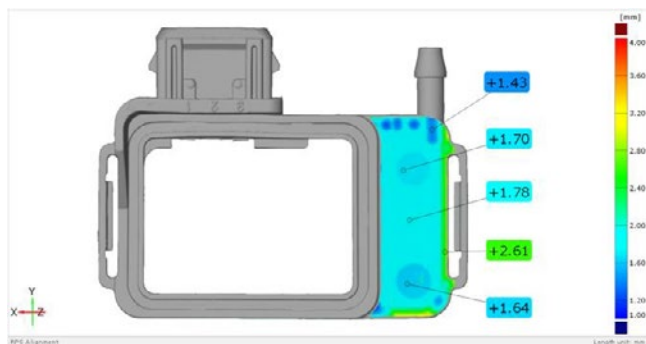


Slika 7: Analiza oblika plohe i kružnosti na presjeku

4.3 Analiza debljine stijenke

Jedan od čestih izazova kod brizganja plastike je postići zadanu debljinu stijenke komponente.

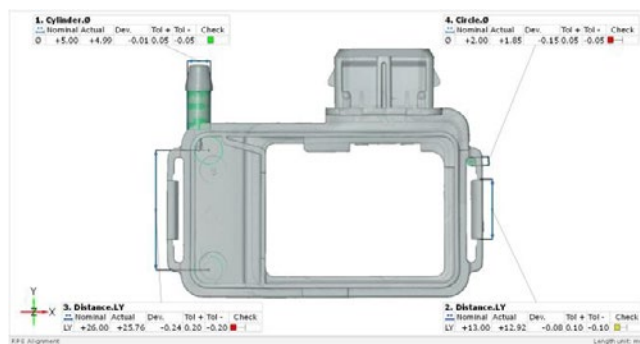
Kompletnim skeniranjem komponente i analizom cjelovite površine objekta, možemo dobiti podatke baš kao što je debljina stijenke i na svim traženim područjima.



Slika 8: Analiza debljine stijenke CT skenirane komponente

4.4 Dimenzionalna analiza

Uz dokazanu 2D i 3D dimenzionalnu analizu vanjskih dimenzija objekta, CT skeniranje omogućava i dimenzionalnu analizu unutarnjih (oku nevidljivih) dimenzija.



Slika 9: Analiza dimenzija predmeta

5 ZAKLJUČAK

Zbog jednostavnosti upotrebe i preglednosti rezultata mjerenja, zaključujemo da je mjerenje CT uređajima moguće sigurno i jednostavno uvesti u mjeriteljske laboratorije, a rezultate koristiti za više faza proizvodnog procesa čime se osigurava puno kraće vrijeme do potpuno ispravnog proizvoda.

Velika prednost pred ostalim mjernim tehnologijama je u tome što je mjerenje moguće bez destrukcije konačnih proizvoda, čime se zadržava njihova potpuna funkcionalnost, kao i bez potrebe za sprejanjem transparentnih i jako sjajnih površina.

LITERATURA

- [1] www.ZEISS.com, 15.4.2021.
- [2] www.GOM.com, 20.4.2021.
- [3] www.TOPOMATIKA.hr, 6.4.2021.
- [4] Josip Kos, Petra Oković: *Storitev CT-skeniranja in geometrijske analize plastičnih komponent*, IRT3000, broj 1/2021

SIM SOLID - RAPID ITERATIONS WITHOUT MESHING FOR STRUCTURAL ANALYSIS

Elena MAZILU
Altair Engineering Inc. (SUA)

EXTRACT

Altair SimSolid is a structural analysis software developed specifically for rapidly evolving design processes. It eliminates geometry simplification and meshing, the two most time-consuming and expertise-extensive tasks done in traditional FEA, enabling the analysis of fully featured CAD assemblies in minutes without meshing.

1 PRODUCT HIGHLIGHTS

- Eliminate geometry simplification and meshing. With SimSolid, model preparation is done in minutes.

- Analyze complex parts and large assemblies. SimSolid is tolerant of imprecise geometry, and its assembly connections are industry best at handling ragged contact surfaces.

- Advanced automation workflows are built into SimSolid to help setup large models in a few minutes.

- Get results in seconds to minutes, SimSolid is fast, really fast. Hence, multiple design scenarios can be quickly analyzed and compared.

SimSolid can analyze complex parts and large assemblies not practical with traditional FEA and do it efficiently on a desktop class computer. Both fast and accurate, SimSolid controls solution accuracy using a unique multi-pass adaptive analysis.

The computational engine is based on breakthrough extensions to the theory of external approximations. External approximations are a generalization of Finite Element Method (FEM) in terms that:

- Absolutely arbitrary geometrical shapes can be used as “finite elements”
- Basis functions which approximate field of interest in the part volume can be of arbitrary class and are independent of the volume shape

SimSolid does not use the point-wise degrees of freedom (DOF) inherent in traditional FEA.

SimSolid’s DOF are functionals with geometrical support in the form of volumes, areas, line clouds, and point clouds. This provides the ability to handle geometrical imperfections, as well as assembly contact imperfections like gaps, penetrations and ragged contact areas.

SimSolid controls solution accuracy using multi-pass adaptive analysis. Adaptivity can be defined on a global or part local basis and adaptivity is always active. The methodology is fast and efficient. It provides superior performance metrics for computational time and memory footprint that allow very large and/or complex assemblies to be solved quickly on desktop class PC’s.

2 BENEFITS

Eliminate Geometry Simplification and Meshing

SimSolid’s unique technology completely eliminates geometry simplification and meshing, the two most time consuming, expertise extensive and error prone tasks done in traditional FEA. With SimSolid, model preparation is done in minutes.

Analyze Complex Parts and Large Assemblies

SimSolid has been designed to analyze complex parts and large assemblies not practical with traditional FEA. SimSolid is tolerant of imprecise geometry. Its assembly connections are industry

best at handling ragged contact surfaces with both gaps and overlapping geometry.

Advanced Automation Workflows

SimSolid has intelligent workflows that let you create complex connections—spot welds, seam welds, bolted joints, adhesives and more—in minutes. These workflows reduce or entirely eliminate the model setup time when working with multiple design variants. When importing a new design variant, SimSolid automatically maps materials, connections, loads and boundary conditions. The software also allows the mapping of loads from an external file.

Rapid Design Feedback

SimSolid is fast, real fast. Solution times are typically measured in seconds to minutes on a standard PC. With SimSolid, multiple design scenarios can be quickly analyzed and compared. And, accuracy can be specified on an individual part level allowing a rapid drill down to any level of detail that is required.

3 CAPABILITIES

Analysis Solutions

The following simulation types are supported: linear statics, modal, nonlinear statics (contact, material & geometrical), thermal, coupled thermal-stress, linear dynamics (time, frequency and random response).

Supported Connections and Boundary Conditions

- Assembly Connections: Smart auto connections, bonded, sliding, separating with friction, bolted, spot & laser welds, fillet/seam welds, bushings, adhesives and virtual connectors
- Loads & BC's: Immovable constraint, sliding constraint, hinge constraint, enforced displacement, force, pressure, gravity, thermal, inertia relief, bolt/nut preload, dynamic loads, hydrostatic loads, bearing loads, and remote loads

Material Properties

- Isotropic
- Incompressible

- Elastoplastic with NL stress vs strain curves
- Rigid
- User extensible

CAD Connectivity

- Direct data integration to Cloud-based CAD systems
- Standard STL output from any CAD system
- Direct file support for mainstream CAD systems: CATIA, NX, Creo, SOLIDWORKS and Inventor
- Direct file support for common neutral formats: STEP, ACIS and Parasolid, etc.

Post-Processing and Reporting Result types

- Contour plots with displacements, stresses, strains and energy densities
- Deformed shape animation
- Max/min labels
- Point probes and datum point sets
- XY plots
- Reaction/contact forces
- Nonlinear contact response including contact pressure and openings
- Bolt/nut forces
- Spot weld forces
- Frequencies and mode shapes
- Modal participation factors, effective and cumulative mass
- Partial dynamic response
- Safety factors

Reporting

- Image thumbnails and captions associated with model graphics state, part visibility, and results display
- Synchronized model and results browsing
- Results are exported as full resolution image files

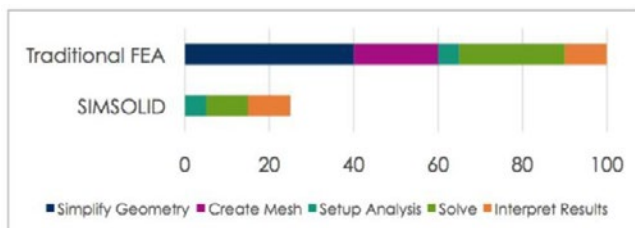
General Usability

- Able to process mixed (SI and IPS) units
- Measurements (distance, ray probe, local coordinates)
- Global and local coordinate systems
- Default views (front, back, left, right, top, bottom)
- Custom saved views

“SimSolid is extremely impressive. It allows our team to go beyond the limitations of CAD embedded simulation. We now accurately evaluate our structures in minutes, gain confidence early and save loads of time!”

- Richard Reeson, Senior Engineer
Don-Bur

SimSolid eliminates the two most time-consuming and expertise extensive tasks of geometry simplification and meshing. These two steps typically take between 30% and 70% of the total modeling and analysis time, so this represents significant process improvement. More important, these tasks represent the bulk of the training requirement for traditional FEA. Not only is less time required but also less training means that a larger pool of users can take advantage of the benefits that design simulation provides.



The second benefit is expanding the possibilities of what is practical to solve. Instead of reducing the assembly to one part or a small context of a few parts, a more complete assembly can be solved, simplifying the model setup and load and constraint specification. Many models that are not practical to use with traditional FEA can be solved using SimSolid.

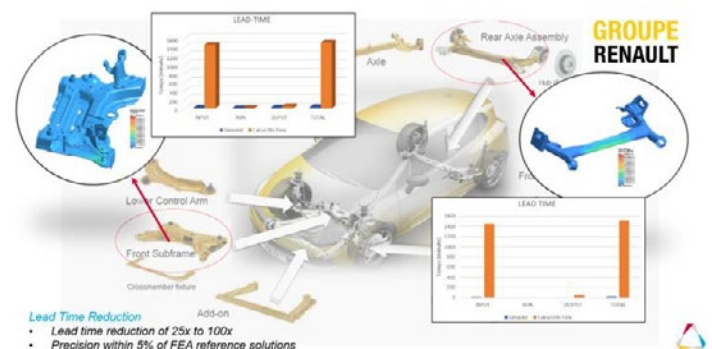
Here are some examples of our customers using SimSolid, also NAFEMS have tested SimSolid and made a report with their results.

The Renault Chassis department has been working with Altair’s solutions since 2010, using Altair HyperWorks units to access Altair OptiStruct™, Altair HyperMesh™, Altair SimLab™, and Altair Inspire™. When Anthony Reullier, digital simulation specialist and CAE leader in the Renault chassis team and welding referent for Renault, heard about the new solution

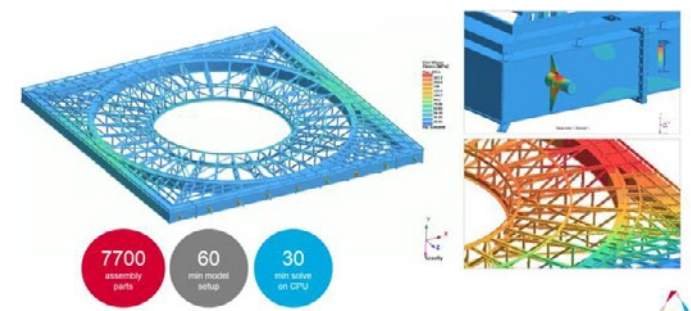
Altair SimSolid™ at the ATC 2018 in Paris, he was interested from the start.

Supported by Jules Tamdjo from Ecole Polytech Lille, the CTC evaluated SimSolid’s accuracy and ability to be integrated in Renault Chassis design process to reduce time to market and give more flexibility to designers to evaluate their solutions faster. Their goal was to provide their designers with a software tool which enables them to design quickly in total autonomy based on their calculations results.

“To us, Altair SimSolid means efficiency. While the software quickly provides accurate simulation and optimization in one step it does not require any expert knowledge. No expertise in analysis is necessary and especially no meshing is required,” said Anthony Reullier. “Also, SimSolid helps our designers to develop with confidence as we can rely on the results.”



Another great example of large structure analysis is the stage wagon of “Qintai culture & art center” – Wuhan, China.



This structure has over 7700 parts, model import and setup were made in 60 minutes and the solving part was done on 30 min, on a normal computer.

Elena MAZILU
Altair Engineering Inc. (SUA)

A set of benchmarks were performed by NAFEMS and the results were very much appreciated. A summary of results is presented in the picture below:

Benchmark	Description	Quantity	Target Solution	SimSolid	
				Results	Discrepancy
1	Pressure component	Von Mises stress	534MPa	532MPa	<1%
2	Coil spring	Spring rate	20.8N/mm	20.76N/mm	<1%
3	Skew plate	Maximum principal stress	0.82MPa	0.82MPa	<1%
4	Plate with hole	Maximum principal stress	314MPa	325.7MPa	3.7%
		Minimum principal stress	-114MPa	-117.9MPa	4.2%
5	U-shaped notch	Maximum principal stress	48.2MPa	47.6MPa	1.2%
6	Cantilevered plate	Mode 1	0.42Hz	0.42Hz	<1%
		Mode 2	1.02Hz	1.02Hz	<1%
		Mode 3	2.58Hz	2.56Hz	<1%
		Mode 4	3.29Hz	3.27Hz	<1%
		Mode 5	3.75Hz	3.72Hz	<1%
7	Cantilever under pure bending	S _{xx}	221MPa	221.7MPa	<1%
		U _z	0.0247m	0.0247m	<1%
8	Cantilever realistic support	S _{VM}	356.5MPa	366.5MPa	2.8%

“For the benchmarks considered in this study the maximum discrepancy between the target and SimSolid solution is 4.2%. While the benchmarks are intentionally simple, the correlation is surprisingly good considering that the time-consuming process of meshing has been removed. The software is easy to use and all the benchmarks took a matter of minutes to set up and analyze.

The sort of testing that has been performed here should just be one small part of the software evaluation process. I’ve only considered a limited number of problems, and the tests were deliberately simple in nature. I would encourage readers to evaluate the software using their own representative benchmarks.” said Ian Symington, Technical Officer at NAFEMS.

The details of these benchmarks can be downloaded from here:

https://www.nafems.org/publications/resource_center/bm_jan_20_1/

ADVANCED PLANNING AND SCHEDULING IN JAKSCHE TECHNOLOGY

Igor GRUDEN¹, Benjamin HAMZIĆ¹, Heidrun ANDRE²

¹CADCAM Group

²JAKSCHE Technology d.o.o.

ABSTRACT

Every production environment needs a plan for its operation, which must be made multi-level, both at the sales and at the level of management, planning and scheduling. There are quite a few software solutions on the market for advanced planning and scheduling or APS. This article describes a DELMIA Ortens solution from Dassault Systèmes, and the implementation experience of this solution in Jaksche-



1 INTRODUCTION

Manufacturing has never been simple. A large number of jobs and processes need to go in line in order to get even the simplest product on the shelf in time with the quality required. When it comes to complex industries like aerospace, automotive, industrial equipment etc. the job is even harder. Constantly growing market demands higher quality standards and lower price, which impose high pressure to production efficiency and agility.

Both of these requirements are related to a “simple” task of production planning and scheduling. Planning and scheduling give overview of the production capability: capacity and load, as a basis for optimization and improvement, while accurate time of delivery is the foundation of agility.

Advanced planning and scheduling (APS) help to accelerate supply chain agility and decision-making processes of an organization. Fast moving

competitor strategies with respect to price wars, changing consumer preferences, stable inventory, and distribution capabilities are expected to drive companies to adopt new technologies such as APS to effectively manage business processes.

2 ADVANCED PLANNING AND SCHEDULING

2.1 Current situation

Even though it wouldn't be expected, currently Planning & Scheduling processes are poorly digitized across manufacturing businesses. Planning is done mostly manually which causes a lot of drawbacks like static planning, bad connectivity between IT systems, high time consumption, no collaboration and file-based data.

On the other hand, return on investment in APS domain are tremendous because it helps to solve ever increasing complexity of supply chain and

production process (i.e., cycle times and inventory, productivity, time, customer service level, responsiveness, etc.).



Picture 1: Production plan is easily accessible

2.2 Available solutions on the market

Digital backbone of any company today is Enterprise Resource Planning Software (ERP). ERP is often used for planning, but it is rarely “up to the task”. ERPs are applications built with aim to model the company from book keeping point of view: by finances, goods and customer relations. Even the most sophisticated ERPs nowadays still struggle with production planning. Number of factories loose years in struggling to enable/build up ERP to adequately represent production process. But it rarely works. Most of the ERPs were not built to support entirely standard production processes and its data model cannot represent it faithfully.

However, the APS market is still highly fragmented. There is no clear leader that spans across all industries. Different solutions cover different planning capabilities. Some of them cover only manufacturing planning (capacity levelling, scheduling and simulation) while other cover end-to-end supply chain planning (from demand to manufacturing including logistic flow and transportation).

2.3 Key challenges in planning

APS needs to meet numerous key challenges as best as possible, such as:

- Improve customer service, planning adherence, reduce backlogs, give realistic commitments on due dates,
- Reduce waiting time, idle time, set-up time, overstocks,
- Maximize assets utilization and cash flow without additional investment,
- Getting the most of your resources (machines, labor, tools, space, inventories),
- Synchronize production flows and improve supplier reliability,
- Assign the right priority when a resource is shared between multiple programs,
- Dynamically rescheduling production when breakdown or other issues occur.

All these challenges can become very complex very quickly, especially if we use classic planning and scheduling tools. [1]

3 DELMIA ORTEMS

The power of APS model lies in its ability to faithfully represent targeted real-life behavior. The goal of APS is to precisely model each and every production process with all its constraints and their interrelation and interdependency with other processes. This makes the data model of typical APS highly complex and hard to create. The only way to make it possible is to start with deep knowledge of production process in general and typical issues that arise on shop floor daily. Starting from that it takes years iterative cycles and loads of experience and fine tuning in order to build flexible yet faithful representation of real-world factory and its properties. In this article we will focus on DELMIA Ortems. Ortems team has over 30 years of experience and footprint in over 60 countries. It supports some of the biggest companies like Novares, Airbus Helicopters, Nexans, Velan and Speed Group.

Thanks to the large number of users around the world, Ortems engineers have been able to develop planning capabilities that meet the needs of planners in various industries.

In Ortems one can model nearly all the constraints, with no need for hard coding. It is a plant centric solution and covers all the requirements - from long term to short term. It operates in a multi-user network framework, and

currently can be implemented on-premise infrastructure only.



Picture 2: DELMIA Ortems planning optimization engines

3.1 Planning features

DELMIA Ortems addresses key challenges described in previous chapter with its powerful planning and scheduling features, such as:

- Constraint modeling – to consider a lot of different physical constraints like: machines, human resources, stocks, suppliers, materials, lead times, tools, maintenance, manufacturing processes, etc.
- Load and capacity planning – to visualize load and capacity of production in bucket detail of user's choice and perform a load-levelling in the medium to long-term in finite capacity, allowing to take actions in case of overload.
- Identification of bottleneck issues – to color visualize overloads, missing materials, performance issues, shortage of labor, work order delays, etc.
- Performance indicators and what if scenarios – with the possibility of saving and comparing different simulations in order to select the best scenario. Changes in planning are immediately visible on performance indicator figures.
- Automatic optimization engines – with fully configurable leveling parameters, such as: bucket and period, alternative resources, limits of primary and/or secondary resources and advance/delay control. Parameters can be used on the whole planning process, separate project or individual work order.

4 IMPLEMENTATION IN JAKSCHE TECHNOLOGY

Implementation of Ortems in JAKSCHE was done by CADCAM Group and it was the pioneering project in the Adriatic region.

JAKSCHE is mid-sized company, with 50 years of experience in the production of fiber-reinforced plastic components for customers in Europe in a wide variety of sectors. The Austrian Jaksche Kunststofftechnik offers digital product development and feasibility studies. The production plant Jaksche Technology d.o.o. is based in Aleksandrovac, Bosnia and Hercegovina. They utilize CNC and Robot cutter machines, but the main resource is manual labor. They employ over 140 employees with different skills: design, engineering, lamination, cutting, polishing, assembly and quality control. Their main tools are molds for different products. Molds have to be produced in different size & shape and afterwards they can be used only a limited number of times.

Therefore, the main goal in production optimization was to improve the usage of molds, which was challenging to achieve, but the result was very effective and useful.

4.1 Drivers

As a production company, JAKSCHE needed to implement a good planning solution to get the

most of their production capacity. Before that, the production leader planned the production manually using Excel and data from ERP and MES systems. Excel is not primarily a planning software so it is difficult to integrate it with ERP and MES system. Overall, manual planning of production in JAKSCHE was difficult and APS solution had to address their pains:

- Planning took a lot of time, up to two to three hours on a daily basis.
- Visibility was poor, especially on the warehouse in terms of not knowing if there is enough material in stock. With increasing the production capacity these problems only increased.
- There were situations where production was inefficient due to slow material supply.
- Human resources manager spent a lot of time adapting to the unexpected disruptions, such as sick leaves.

4.2 Expectations

JAKSCHE decided to implement DELMIA Ortems APS solution to improve their production performance. They set to achieve goals which can be measured:

- Improve delivery of customer orders on time - Customer Service Rate KPI.
- Better manage the human resources. Quickly adapt the plan to expected (holidays, maintenance) or unexpected disruptions (sick leaves, breakdowns).
- Better management of molds, since molds are company's main constraint. There are limited number of molds and their availability should be carefully managed. Molds also need to be regularly maintained.
- Manage the human skills resources using defined skill matrix that links each person with the type of work he/she can perform.
- Enable transparency and good collaboration between production, sales and procurement departments.

4.3 Implementation

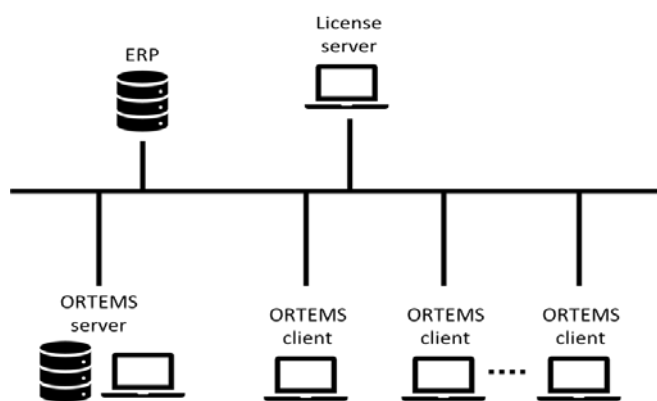
Usually, the implementation of this kind of project takes about 3-6 months and a workload of 120 man-days. The Covid-19 pandemic situation

forced the team members to work mostly remotely. Unfortunately, this kind of work is not as effective as working on site, especially in testing phase, so actual implementation was extended for several months.

At the start of implementation, a scope of work (SoW) document is created where all the main elements of the project were defined and agreed between JAKSCHE and CADCAM, such as: the general goal to be achieved, planned activities, project phases and milestones, the team involved, infrastructure as-is and to-be, and expected measurable results. In this phase it was very important to have a good communication and synchronization between teams. Users sometimes think some important information is actually irrelevant, so they do not provide it. They can also use different names for the same element. It is very important to establish a good mutual understanding at the very beginning of the implementation project.

Ortems has three major functional modules - Manufacturing Planner, Production Scheduler and Synchronized Resource Planner. In JAKSCHE the Production Scheduler module was implemented, because it adequately fulfilled their needs.

Ortems IT infrastructure consists of the database server, software server, license server and multiple client computers.



Picture 3: Ortems IT structure

In database all the users and production data are stored. The clients are Windows based workstations, which are all connected to database. Users can log in and use the planning application to the extent of their privileges.

Major part of implementation is connecting to the master data. Master data location is where

users primarily manage data and is usually stored on one location - most often this is ERP database. All other clients connect to it to get most recent and exact data. It is very important that master data is unambiguous, otherwise we can get duplicate and conflicting information. Ortems needs to access data such as sales and forecast orders, work orders, raw materials, routings, production resources, shift patterns, skill matrix, etc.

However, not all the data is always available or exist in non-digital way. This was also the case in Jaksche Technology, where the skill matrix and technical description of operations and routings did not exist in ERP. The solution was to create and implement this data additional to ERP. It was done in Excel as a data-source and connected to Ortems by visual interface configuration (VIC) tool. In future this data could be transferred and further managed in ERP system.



Picture 4: Final phase of operation

In JAKSCHE, Ortems is connected to the Bookkeeping ERP system. The main challenge was getting the detailed description of data stored in Bookkeeping database. Usually, the users do not have the knowledge of what is "under the hood" of the ERP. Additionally, there are a lot of data in ERP database, so it is very difficult and time consuming to just "search" for data. The ERP experts or even developers need to be involved. This is especially important if ERP system is custom made solution. In our case, technical team from—Bookkeeping ERP system was very cooperative and together we were able to quickly identify the location and format of data we needed for planning.

Another challenge we experienced was related to the lamination & infusion process. It was necessary to model workers as primary resources, with their minimum and maximum capacities

regarding the surface of the products on which they work. This was easily achieved with ability to model resource in batch mode, where operations for one worker are grouped together, surface sizes add up until sum comply with workload limits.

4.4 User training and support

As a final stage of implementation, the training was done for all the planning personnel and others according to their needs. In JAKSCHE there is one planning user and more viewing access only users. Each of them needs a separate license. Of course, it is possible to add additional licenses for users if necessary.

If multiple users are involved with planning, they have to collaborate simultaneously on a single plan, which is also a functionality very well supported in Ortems. The training usually takes about 10 days depending on scope of training and number of participants. All the technical and training documentation was provided by CAD/CAM Group.

After the training, the users had to evaluate the implemented model on real data and give the feedback to the implementation team. Several workshops were organized where the team had the possibility to discuss changes or new requests and do the fine tuning of the system.



Picture 5: Training manual for production planner

5 CONCLUSION

As said in the beginning, usability of any model is directly related to its ability to represent the reality faithfully. Using DELMIA Ortems to model the production process of a factory gives to a manager realistic overview of production process, enabling him to model different scenarios in a seamless manner.

Moreover, maturity of an application can be seen in the level of customization required in getting it ready to solve complex tasks. With Ortems, there are very few constraints in even most complex planning scenarios that cannot be modeled precisely without the need for expensive customization.

6 SOURCES:

- [1] Maimon O., Khmelnitsky E. & Kogan K.: *Optimal Flow Control in Manufacturing Systems Production Planning and Scheduling*, Springer Science+Business Media Dordrecht, 1998.
- [2] www.jaksche.eu/en
- [3] www.cadcam-group.eu/ba
- [4] www.3ds.com/products-services/delmia/products/delmia-ortems

INTEGRITETA PODATKOV KOT KLJUČ ZA CELOSTNO ZAGOTAVLJANJE KAKOVOSTI V PROIZVODNEM PROCESU

Peter KORENČAN¹, Cevin CIULLO², Dušan BOŽIČ¹

¹Inden d.o.o.

²iqs Software GmbH

IZVLEČEK

V današnjem serijskem proizvodnem procesu je ključnega pomena za zagotavljanje kakovosti, integriteta podatkov skozi različne oddelke, procese in analize. Slovenska podjetja večinoma proizvajajo sestavne dele za večja proizvajalce iz Srednje Evrope. Zaradi želje po doseganju boljnih cen na trgu in vedno večje konkurence, iz tujine, pri cenejših proizvodih, se povečuje tudi potreba po zagotavljanju visoke kakovosti samega proizvodnega procesa. Slednje je mogoče zagotavljati samo, s pomočjo dobrega načrtovanja, merjenja, analize in ukrepanja. Veliko je bilo že napisanega in povedanega o metodah, kot je Analiza možnih okvar in njihovih posledic (FMEA), Napredno načrtovanje kakovosti izdelka (APQP) in Načrtih kontrole (IP). Mnoga podjetja so tudi na lastno pobudo ali na zahtevo kupca uvedla ta in druga orodja v svoje procese kakovosti. Težava, ki ostaja, je zagotavljanje skladnosti in agilnosti vseh teh metod, saj se mora sprememba v eni pogosto odražati tudi v drugih. Na nekaj primerih dobre prakse, smo zato preučili možnosti in prednosti, ki jih prinaša sistem Računalniško vodene kakovosti (CAQ) v proizvodni proces.

1. UVOD

Podatki kažejo, da nemški in švicarski trg ostajata največja izvozna partnerja Slovenije, navkljub korona krizi, ki je v lanskem letu prizadela svetovno gospodarstvo.

Tabela 1: Celoten izvoz slovenskega gospodarstva

Država	Izvoz skupaj feb.2020 - do feb. 2021
DE Nemčija	5.891.166.072,00 €
CH Švica	4.074.166.849,00 €
IT Italija	3.027.473.151,00 €
HR Hrvaška	2.594.280.972,00 €
AT Avstrija	2.091.191.036,00 €
FR Francija	1.674.074.371,00 €
PL Poljska	989.252.198,00 €
XS Srbija	977.407.979,00 €
RU Ruska federacija	873.180.988,00 €
HU Madžarska	862.297.719,00 €

Značilnost kupcev proizvodnih storitev iz Nemčije in Švice je dvigajoča se raven zahtev po

kakovosti. Pri tem gre najbolj izpostaviti avtomobilsko industrijo, kjer sta standarda IATF 16949 in VDA v2, osnovala principe, ki vse bolj prodirajo tudi v druge panoge. Zahteve največjih kupcev, tako vplivajo na uvajanje procesov za zagotavljanje kakovosti tudi v domači proizvodni dejavnosti.

Proces ISIR (Initial Samples Inspection Report; Poročilo o prvih kosih) je v mnogih podjetjih že povsem ustaljena praksa. V zadnjem času pa opazamo povečano zanimanje za uvajanje metode FMEA (Falioure Mode Effects Analysis). Slednja predstavlja osnovno za preventivno upravljanje s tveganji, kar lahko zmanjša posledice napak ali celo onemogoči da bi do napak sploh prišlo.

Neposredno na FMEA je vezan CP (Control Plan, kontrolni plan), ki mora zajemati vse točke, iz prve metode, s čimer se preverja delovanje ukrepov.

Najbolj obsežen pristop vodenja kakovosti pa je APQP (Advanced Product Quality Planning), ki lahko vključuje tudi FMEA in CP. Ta pristop je sicer trenutno najmanj razširjen, vendar avtorji vidimo potencial tudi pri uvajanju tega.

Uvedba več pristopov, k zagotavljanju kakovosti v proizvodnem procesu. Nam sicer omogoča izboljševanje proizvodnega proces na več nivojih, hkrati pa predstavlja tudi tveganje, da namesto živega sistema za upravljanje kakovosti, dobimo »birokratski labirint, z okostnjaki v omarah«. Tu nastopi pomen integritete podatkov med vsemi danimi pristopi, kar je tema našega preučevanja. V prvem koraku bomo preučili same pristope, vhodne in izhodne podatke in povezave z ostalimi pristopi.

2. APQP

Pristop predstavlja obliko projektnega vodenja izdelka. Pri tem se popišejo in časovno ovrednotijo vse pomembne naloge vezane na kakovost, ki jih potrebno opraviti pred zagonom proizvodnje določenega izdelka. Običajno se prikazuje v obliki gantograma, vendar se uporabljajo tudi drugi prikazi (*Slika 1*).

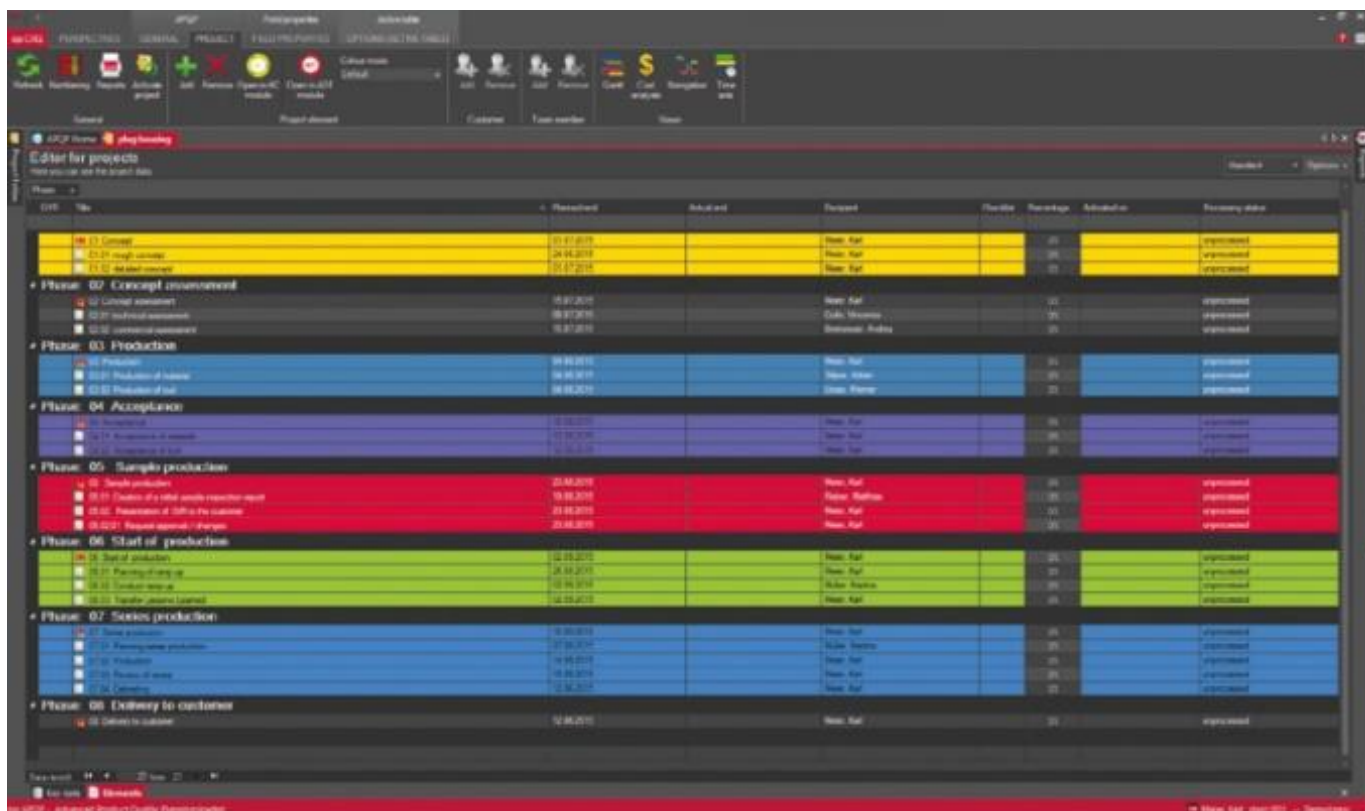
V splošnem so faze načrtovanja naslednje:

- Analiza izvedljivosti
- Postavitev koncepta
- Odobritev
- Prototipna faza
- Pilotna faza
- Proizvodnja faza, **Napaka! Vira sklicevanja ni bilo mogoče najti.**

Naloge, ki jih je potrebno opraviti v teh fazah so:

1. Načrtovanje in definiranje
2. Načrtovanje in razvoj izdelka
3. Načrtovanje in razvoj procesa
4. Ocena izdelkov in procesov
5. Povratne informacije, ocene in korektivni ukrepi

Sestavni del načrtovanja izdelka je -(design) DFMEA, ki se ga pripravi v fazi odobritve izdelka. Tekom načrtovanja in razvoja procesov, pa se pripravi (process) PFMEA, ki osrednji del prototipne faze.



Slika 1: Fazni prikaz priprave izdelka

3. FMEA

Metoda se običajno predstavlja v dveh različnih verzijah:

- Produktna (DFMEA)
- Procesna (PFMEA)

Kot opisano v poglavju 0, najprej nastopi Produktna verzija. Postopek izvajanja je sledeč: najprej se pregledajo kritične lastnosti izdelka, ki najpomembneje vplivajo na njegovo uporabnost ali ocenjeno vrednost. V naslednjem koraku se izpostavi težave, ki lahko nastopijo pri doseganju teh kritičnih lastnosti. Tretji korak, predstavlja oceno posledic odstopanja kvalitete pri posamezni produktni lastnosti, ki služi za oceno resnosti tovrstnega odstopanja- Naslednji koraki so ugotavljanje vzrokov za odstopanje, popis trenutnih kontrol in nazadnje predlogi prihodnjih akcij (*Slika 2 primer FMEA poročila*).

Razlika med produktno in procesno FMEA verzijo je, da pri procesni pripravimo pregled proizvodnih procesov, ki so potrebni za izdelavo določenega izdelka, namesto lastnosti samega izdelka [2].

Cilj FMEA analize je ohranjati »živ« dokument, kjer se stalno preverja uveljavljene ukrepe in njihov vpliv na raven kakovosti v proizvodnem procesu danega izdelka.

Neločljivi del procesa FMEA je plan kontrol, saj je vedno potrebno imeti pregled nad trenutnim planom, na koncu pa je potrebno vnesti posodobitve.

4. Kontrolni plan (CP)

Kontrolni plan opiše vse potrebne kontrole v posameznih fazah. Tako nastane dokument, namenjen kontrolorju in je podlaga za pregled ali izdelek izpolnjuje zahtevan lastnosti in/ali proces dosega dane zahteve.

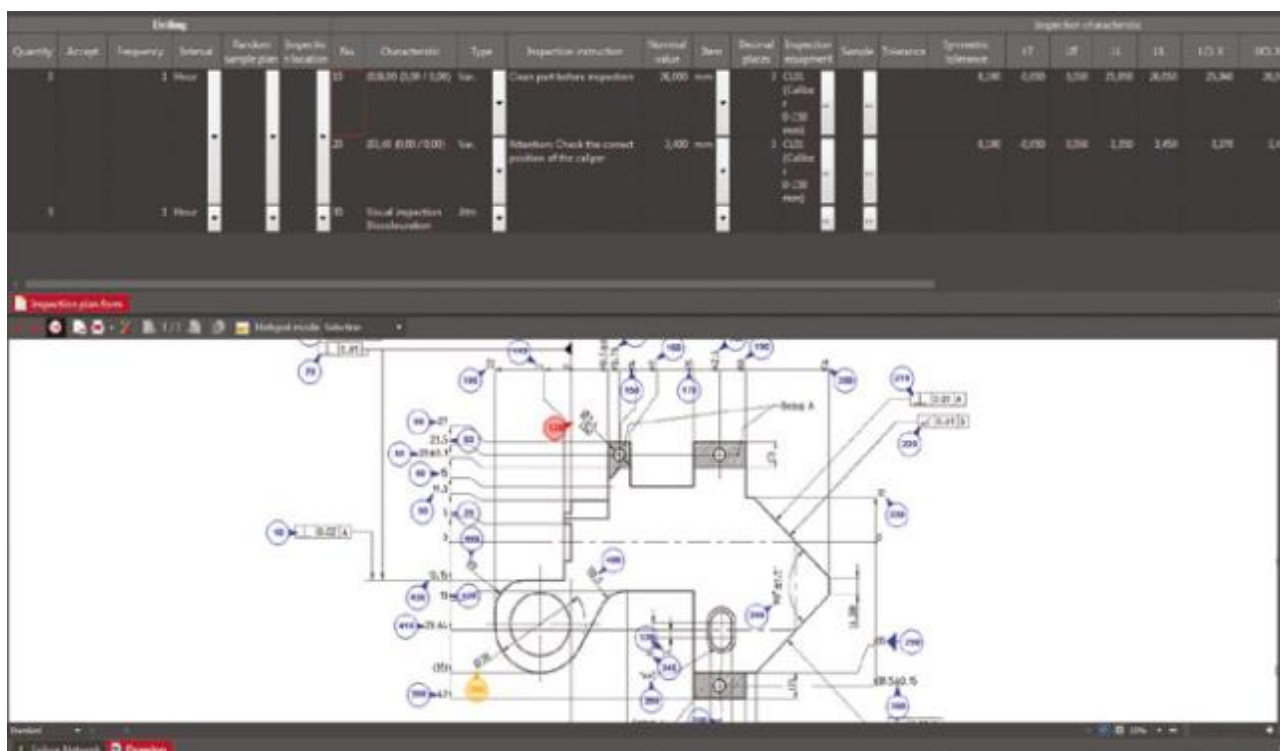
Obvezni elementi plana so:

- Podatki o izdelku (št. risbe, status spremembe, št. plana, naziv izdelka, avtorji plana in datum priprave)
- Podatki o izvedbi kontrole (št. procesa, stroj, delavno mesto, merilna oprema, karakteristika proizvoda ali procesa, velikost vzorca, frekvenca merjenja, zapis o izvedbi in reakcijski plan) [3].

Slika 3, prikazuje digitalni pregled kontrolnega plana, z povezavami med risbo in poročilom.

Fertigung		Classification	Product-, Process specification, tolerance				Methods			Random sample			Control method	Reaction plan actions
No.	Characteristic		Nominal value	Unit	LL	UL	Inspection equipment	Quantity	Frequency	Interval				
70	Position	SC	0,00	mm	0,00	0,30	...	5	1	Stunc	SPC Prozess	Position außer Toleranz Reaktion nach Absprache Ursache von 'Position außer Toleranz'		
100	13,22 (0,05 / -0,05)		13,22	mm	13,17	13,27	MS03 (Messsschie				SPC Prozess	Sofortige Reaktion Ursache von '13,22 (0,05 / -0,05) außer		
110	72,75 (0,15 / -0,15)		72,75	mm	72,60	72,90					SPC Prozess	72,75 (0,15 / -0,15) außer Toleranz Reaktion nach Absprache Ursache von '72,75 (0,15 / -0,15) außer		
120	13,22 (0,05 / -0,05)		13,22	mm	13,17	13,27	MS03 (Messsschie				SPC Prozess	13,22 (0,05 / -0,05) außer Toleranz Reaktion nach Absprache Ursache von '13,22 (0,05 / -0,05) außer		
130	146,00 (0,15 / -0,15)		146,00	mm	145,85	146,15					SPC Prozess	146,00 (0,15 / -0,15) außer Toleranz Reaktion nach Absprache Ursache von '146,00 (0,15 / -0,15) außer		
200	Bohrungen gratfrei						LD01 (Lehrdorn)				P-Karte	Spritzrat vorhanden Sofortige Reaktion Druck zu hoch		

Slika 2: Primer FMEA tabele



Slika 3: Kontrolni plan z oznakami na risbi

5. Integriteta podatkov

Kot je mogoče razbrati iz opisov metod obstaja vertikalna povezava med kontrolnim planom, FMEA analizo in APQP dokumentom. Dokumenti so v praksi pogosto skladi, v prvi iteraciji procesa načrtovanja kakovosti, težava pa nastane takoj, ko se naredi nova verzija dokumenta. Spremembe v enem od dokumentov se tako ne odražajo več v nivoji, ki so hierarhično nadrejeni.

Izkušnje avtorjev kažejo, da večina slovenskih podjetji za upravljanje kakovostnih procesov uporablja Excelove delavne zvezke, kar onemogoča avtomatsko validacijo in poenotenje podatkov. Integriteto podatkov je mogoče dolgoročno dosegati samo na dva načina: z veliko dela in skrbi odgovornega kvalitativnega inženirja, ali preko digitalizacije procesov.

6. Priložnosti digitalizacije procesov

Na podlagi izkušenj naših strank, smo avtorji ugotovili, da digitalizacija procesov kakovosti prinaša nove možnosti, predvsem postane sistem dosleden. Cilj zanke za nadzor kakovosti je učiti se iz nje in se izogibati ponavljajočim se napakam. Da bi to dosegli, se vse znanje in izkušnje, pridobljene v življenjskih ciklih izdelka shranjujejo v centralni bazi podatkov v sistemu CAQ, kar omogoča uporabnikom stalno dosegljivost podatkov.

Osrednja komponenta tovrstnega CAQ sistema, je FMEA, saj združuje načrtovanje in realnost, napovedovanje in dejanski pojav. Uporabnost dokumentov pa lahko dosežemo samo če povežemo dokumente tudi z CAD risbami in podatki iz ERP. Dodatna prednost, je tudi avtomatski uvoz podatkov o meritvah iz naprav v sistem, kar še poveča količino uporabnih podatkov in posledično poveča hitrost učenja na podlagi povratne zanke.

Digitalizacija koristi tudi razmerju med kupcem in dobaviteljem, saj omogoča komunikacijo in izmenjavo podatkov za jasno revizijsko sledjo med obema strankama v postopku.

FMEA je mogoče tesno povezati z kontrolnim planom, ter planom razvoja produkta.



Slika 4: PDCA cikel kot temelj povratne zanke [4]

Struktura programskih rešitev CAQ sistemov je bazno usmerjena kar zagotavlja, da so vsi zapisi podatkov vedno skladni in se te informacije v risbah, načrtih, rezultatih meritev vedno ujemajo. Tako se vzdržuje tudi revizijska sled sprememb.

Druga prednost mreženja procesov kakovosti je to, da omogoča primerjavo dejanske pogostosti napak z oceno v FMEA brez večjega truda. Tako je mogoče načrt kontrole vedno učinkovito prilagoditi, da se odpravi vsi nepotrebni inšpekcijski pregledi, kar prihrani čas in denar.

Velika zaznana prednost CAQ sistemov je tudi tehnologija dedovanja. Uporabnik lahko na podlagi enega procesa APQP ali FMEA izpelje mnoge druge za podobne kose. Osnovni FMEA predstavlja do 90 odstotkov vseh delov v mnogih podjetjih. Iz tega je mogoče enostavno izpeljati analize za vse podobne izdelke ali procese. Prav tako lahko uporabnik nato izvede spremembo v »starševski« analizi, le ta pa se odraza v vseh izpeljankah prve.

Na podlagi ocen, ki smo jih pripravili z našimi kupci, smo ocenili, da se čas obdelave in vzdrževanja podatkov zniža za okvirno 40 %. Drugi vpliv digitalizacije kakovostnih procesov, ki predstavlja zmanjšanja števila napak v proizvodnji, je nekoliko težje oceniti kot funkcijo uvedbe CAQ sistema, zato ta analiza ostaja za naslednjo raziskavo.

7. Zaključek

Skozi pregled literature in primerov iz prakse smo avtorji ugotovili, da je višanje zahtevnosti proizvodov in zahtevane kakovosti, prineslo tudi nove metode vodenja kakovosti. Le te pa prinašajo zelene rezultate zgolj, ko so dosledno vzdrževane in vključene v celoten proizvodni proces, kot to zahteva PDCA cikel na

Slika 4. Dolgoročno doseganje tega cilja je v današnjem času mogoče in stroškovno najbolj učinkovito preko CAQ sistema vodenja kakovosti. Implementacija tovrstnega sistema podjetju omogoča znatni časovni prihranek pri pripravi dokumentov in obdelavi podatkov, ter zmanjšanje števila napak. Oba rezultata tako vodita do večjega zadovoljstva v oddelku kakovosti in boljše dobičkonosnosti proizvodnje.

Viri

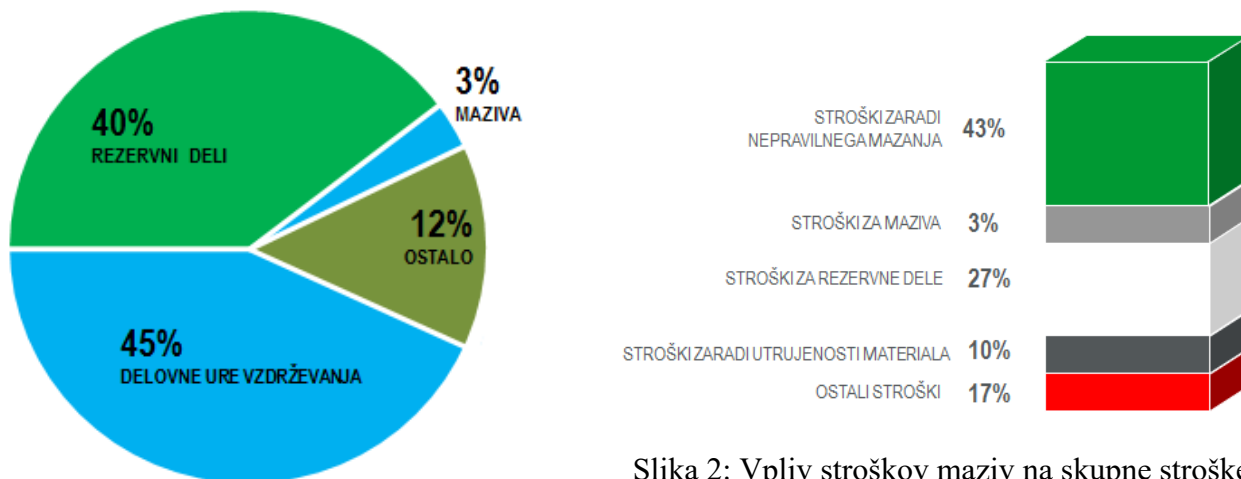
- [1] *Apqp (Advanced product quality planning) – napredno načrtovanje kakovosti izdelka – proces kakovosti v podjetju.* (n.d.). Retrieved April 29, 2021, from <http://kakovosten.si/2017/11/23/apqp-advanced-product-quality-planning-napredno-nacrtovanje-kakovosti-izdelka/>
- [2] *Failure mode and effect analysis—Fmea—And criticality analysis—Fmeca.* (n.d.). Retrieved April 30, 2021, from <https://www.weibull.com/basics/fmea.htm>
- [3] *Fratar, Z. (2009). Proces razvoja in uvajanja novega izdelka glede na zahteve avtomobilske industrije* [Https://dk.um.si/Dokument.php?id=8022, Univerza v Mariboru Fakulteta za strojništvo]. <https://dk.um.si/Dokument.php?id=8022>
- [4] *How to do PDCA step by step: Everything you need to know.* (2019, May 27). Siteware - Software Para Gestão: Performance, Estratégia e Resultados. <https://www.siteware.co/en/methodologies/how-to-do-pdca-step-by-step/>

PAMETNO MAZANJE

Gregor PODOBNIK
ABC Maziva d.o.o., Ljubljana

IZVLEČEK

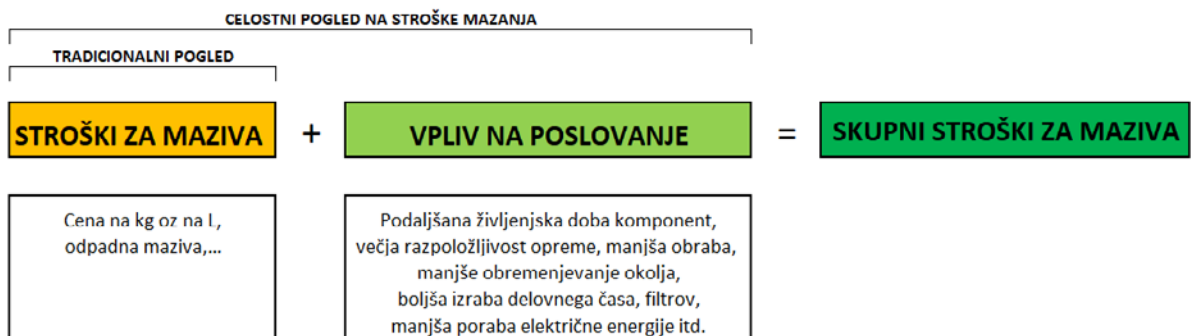
Maziva predstavljajo relativno majhen del stroškov v celotnem spektru stroškov vzdrževanja. Odvisno od vrste industrije ta strošek predstavlja v povprečju od 3% do 8% stroškov vzdrževanja.



Slika 1: Prerez stroškov vzdrževanja

Strošek za maziva je torej relativno majhen. To dejstvo predstavlja veliko nevarnost, da se temu področju v podjetju ne posveča zadosti pozornosti. Potrebno je namreč gledati na celotne stroške vzdrževanja in vzroke, zakaj ti stroški nastajajo.

Več raziskav je namreč pokazalo, da imajo maziva vpliv na več kot 40% stroškov vzdrževanja, ki v podjetju nastanejo! Zavedanje tega dejstva je ključno pri vzpostavitvi dobrega sistema vzdrževanja, kjer mora sistem celovitega obvladovanja mazanja zasedati eno izmed osrednjih vlog. Klasično gledanje na stroške za maziva (€/kg, €/L,..) in zmanjševanje stroškov samo v tem pogledu ima namreč zelo velik vpliv na ostale stroške vzdrževanja, ki pa jih je veliko težje zaznati.



Slika 3: Sodoben pogled na stroške mazanja

VPELJAVA PAMETNEGA MAZANJA

Glede na pomembnost maziv in vplivanja na stroške vzdrževanja podjetja je ključnega pomena sistem upravljanja z mazivi in mazanjem. V podjetju ABC Maziva smo z tem namenom pristopili k izdelavi aplikacije za mazanje. Namen aplikacije je:

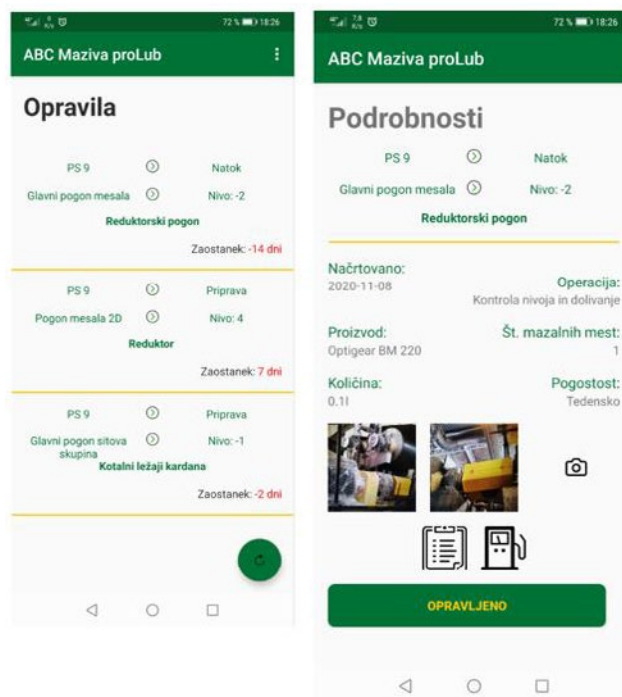
- Popis vseh mazalnih mest v podjetju,
- Določitev potrebnih aktivnosti in sledenje izvedenih del za vsako mazalno mesto,
- Optimizacija števila maziv,
- Optimizacija števila operacij,
- Obvladovanje mazanja s stališča varstva pri delu in varovanja okolja, ipd.

Vpeljava aplikacije za mazanje omogoča doseganje predvsem sledečih ciljev:

- Manjši stroški vzdrževanja,
- Večja razpoložljivost opreme,
- Daljša življenjska doba opreme,
- Manjše obremenjevanje okolja,
- Boljša izraba in organizacija delovnega procesa.

PAMETNO MAZANJE 4.0

Vnašanje točk mazanja poteka preko namenske aplikacije; potreben je vnos vseh relevantnih podatkov, skupaj s slikami. Podatki se shranjujejo v oblaku, iz kjer se potem kreirajo zahtevki za opravila na aplikaciji. Odgovorna oseba mora potrjevati opravljena dela ter dodati morebitna odstopanja (povečana poraba olja/masti glede na planirano). Ključni del je pravilen vnos podatkov in enostavnost aplikacije, kar smo dosegli z slikovnim prikazom ter minimalnih zahtevanim vnosom podatkov za odgovorno osebo.



Slika 4: primer pogleda v aplikaciji za mazanje

Maselna sredstva ID	Maselno sredstvo	Vrsta mazanja	Opravlje ID	Nadhltevano	Opravljenost	Delavec	Opazovanja	Pogajatelj	Količina	Enota	Opomba	Izjava	Ustaviti	Akcije
1206	Glavni pogon motorja	Reduktorski pogon	1207	08.10.2020		Gregor Podobnik	Kontrola olja in dolžanje	Tedenski	0.200	l		23.11.2020 18:29	Gregor Podobnik	
1207	Pogon motorja 2D	Reduktor	1208	28.10.2020		Gregor Podobnik	Kontrola olja in dolžanje	Tedenski	0.200	l		23.11.2020 12:01	Gregor Podobnik	
1204	Glavni pogon oljna skupina	Kotlaci ledaj karbonski	1205	28.10.2020		Gregor Podobnik	Način namaz	Dnevno	0.200	kg	Pač - odložišče polnimo	20.11.2020 17:28	Gregor Podobnik	
1206	Natočina opajka	Kotlaci ledaj	1204	21.11.2020	21.11.2020 12:33	Gregor Podobnik	Kontrola olja	Dnevno	0.200	l	Talje drageje	20.11.2020 17:31	Gregor Podobnik	
1206	Glavni pogon	Reduktorski pogon	1205	21.10.2020	21.11.2020 18:34	Gregor Podobnik	Kontrola olja in dolžanje	Dnevno	0.200	l	Obvezno dolžanje dnevno!	21.11.2020 08:29	Gregor Podobnik	

Slika 5: Pogled v bazo podatkov shranjeno v oblaku

Na osnovi izvedenih del se podatki v realnem času prenašajo v oblak, kjer lahko izvajamo vse potrebne analize; zaostanek z potrebnimi deli, poraba maziv po delovni opremi, izredna poraba maziv, izvod podatkov itd.

Razmere na izjemno konkurenčnih trgih prežetih z izzivi pandemije nas silijo k racionalizaciji in iskanju novih prostopov, tudi na področju mazanja. Odgovori na vprašanja, ki se ob tem odpirajo nas silijo k iskanju inovativnih rešitev .

Vsak € investiran v planiranje tipično prihrani od 3€ do 5€ pri izvedbi, dolžina planiranega posega pa ja praviloma vsaj pol krajša od neplaniranega!

V podjetju ABC Maziva se aktivno ukvarjamo z vpeljevanjem najnovejših storitev na področju mazanja in ravnanja z mazivi v vse veje industrije. Pokličite nas, da vam predstavimo naše rešitve!

PAMETNO MAZANJE

Gregor PODOBNIK
ABC Maziva d.o.o., Ljubljana

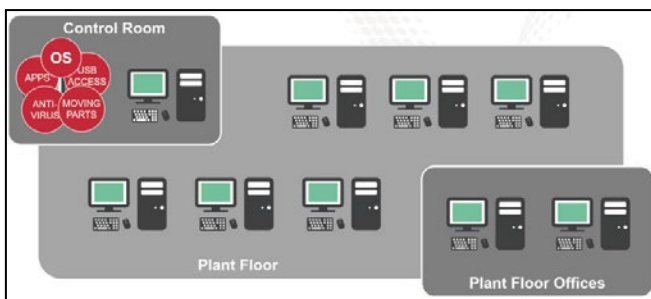
ThinManager Napredna rešitev za distribucijo vsebin v industrijskem okolju

Jože PERKO, Peter SKOPEC
ControlTech d.o.o..

IZVLEČEK

ThinManager je napredna programska rešitev, ki omogoča varno, centralizirano upravljanje aplikacij in distribucijo prave vsebine pravim odjemalcem, kot so osebni računalniki, vitki odjemalci "ThinClient" ali mobilne naprave. Glede na različne kriterije npr. uporabnik, naprava, lokacija, ki jih zaznamo z različnimi identifikatorji (čitalec pametnih kartic, čitalec prstnih odtisov, čitalec QR kode, USB lokator, GPS,...) zagotovimo pravo vsebino pravi osebi na pravem mestu.

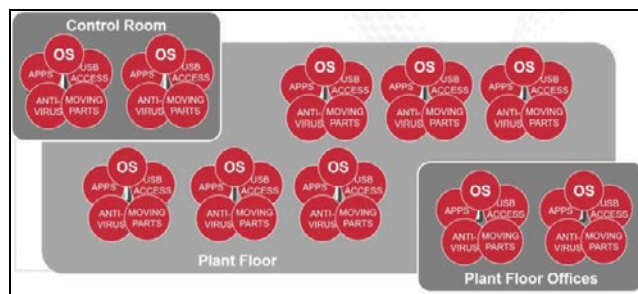
Proizvajalci strojev se že desetletja zanašajo na osebne računalnike, na katerih poganjajo programe in različne aplikacije, ki jih potrebujejo za upravljanje in nadzor proizvodnje. Zanesljivo delovanje računalnikov je ključno za nemoten potek proizvodnje, zato vzdrževalci namenjajo veliko časa in sredstev za vzdrževanje. Vsak računalnik zahteva vzdrževanje in posodobitve uporabniških aplikacij, operacijskega sistema, protivirusne programske opreme, celo trdih diskov, ventilatorjev in napajalnikov, ki sčasoma odpevoje.



Slika 1: Tradicionalna arhitektura s klasičnimi PC-ji

Zamenjava osebnega računalnika vedno zahteva veliko časa. Celó v primeru, ko se vzdrževalci poslužujejo posnetkov diska (Image), s čimer bistveno skrajšajo postopek zamenjave, lahko proces traja ure in ure, kar povzroči drage zastoje proizvodnje.

Računalniki so zelo ranljivi za zlonamerne napade. Dostopnost USB portov, lokalni trdi diski in možnost lokalnega upravljanja uporabnikov ustvarjajo veliko možnosti vsem, ki želijo povzročiti škodo.



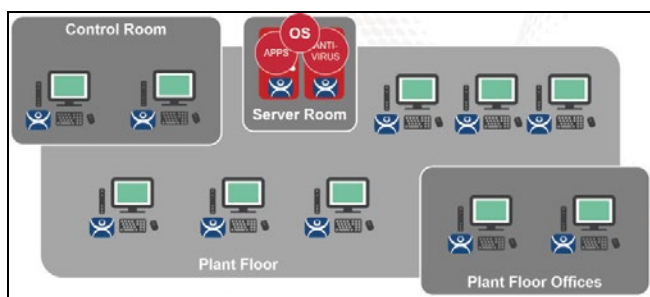
Slika 2: Tradicionalna arhitektura - obseg vzdrževanja

ThinManager je namenjen zagotavljanju varnega okolja za upravljanje končnih naprav in distribucijo vsebin ter za zmanjšanje tveganj, ko preidemo v povezano industrijsko okolje. Ne glede na to ali je pobuda opisana kot »Povezano podjetje«, »Digitalna proizvodnja« ali »Industrija 4.0« je treba razmisliti o zaščiti industrijskega nadzornega omrežja, ko se omrežja na ravni podjetja uvajajo v ta okolja.

ThinManager te izzive premaguje tako, da omogoča zamenjavo osebnih računalnikov z varnejšimi in enostavnejše upravljivimi vitkimi odjemalci oz. ThinClient-i, ki nimajo trdih diskov

ali gibljivih delov in imajo v osnovi blokiran dostop do USB portov.

S centralizacijo vseh aplikacij in procesov ter umestitev v zaščiteno področje strežnikov lahko proizvajalci zmanjšajo količino naprav, ki jih je potrebno upravljati, z nadomestitvijo terminalov oz. PC-jev z vitkimi odjemalci (ThinClient) pa se stroški vzdrževanja in čas izpada proizvodnje močno zmanjšata. V primeru odpovedi ThinManager odjemalca, ga lahko zamenjate v približno dveh minutah, popolnoma brez izgube podatkov.



Slika 1: Centralizirana arhitektura ThinManager

V skrajnem primeru lahko celo vaš osebni računalnik integrirate v sistem ThinManager v le nekaj minutah in ga centralizirano upravljate kot ThinManager odjemalca. Celotno rešitev

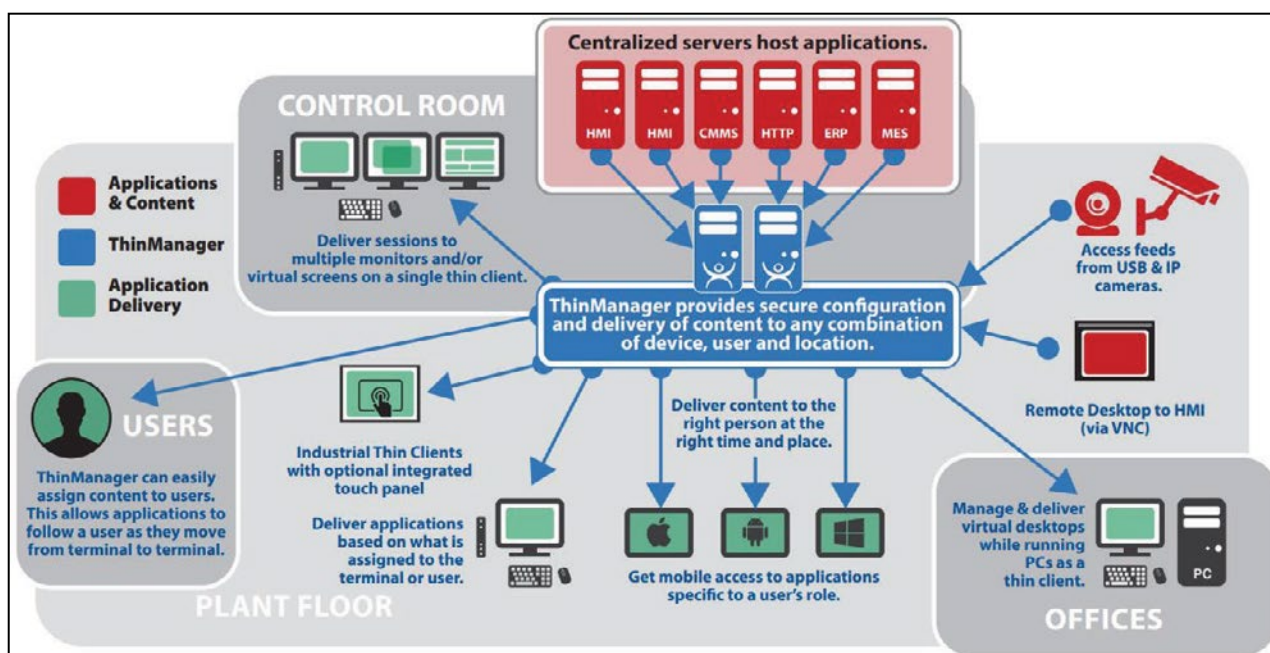
nadgradite z zamenjavo osebnih računalnikov z industrijskimi vitkimi odjemalci in tako podaljšate življenjsko dobo strojne opreme.

Arhitektura ThinManager prav tako močno zmanjša število operacijskih sistemov, ki jih je potrebno vzdrževati. V virtualni ali fizični obliki.

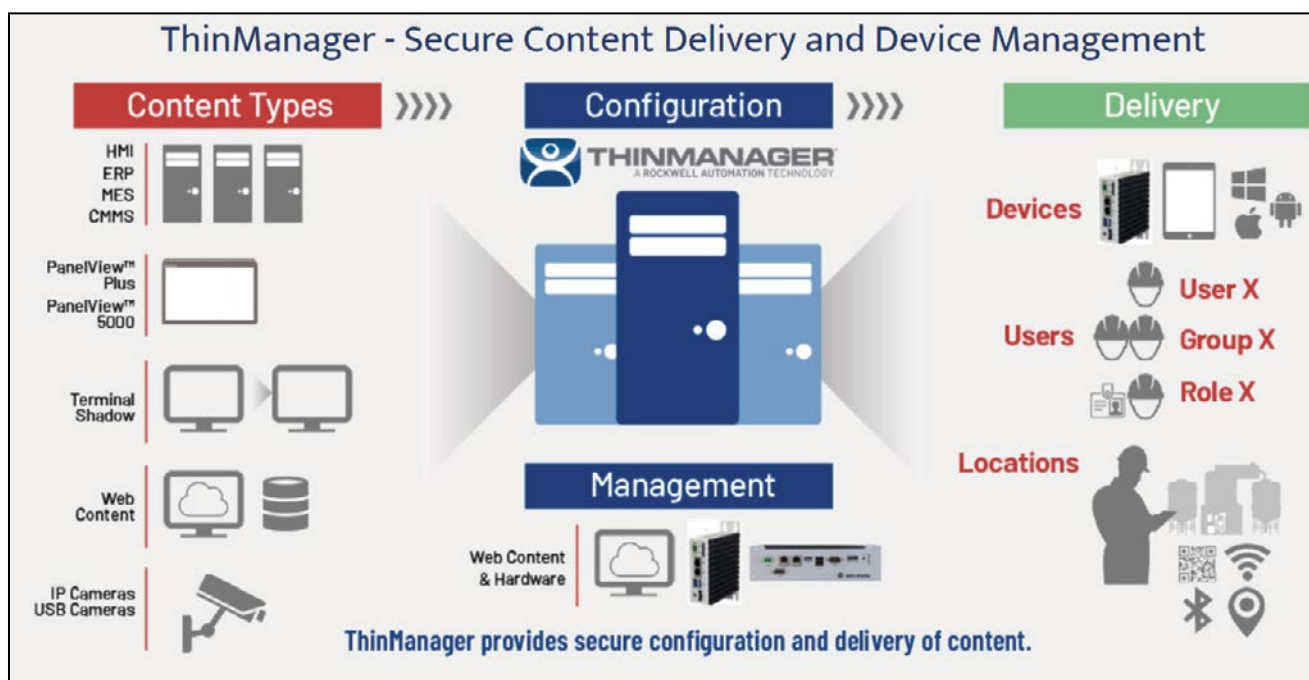
"Tehnologija ThinManager znižuje skupne stroške lastništva (TCO) informacijskega sistema do 50%."

Številne zmogljive in enostavne možnosti upravljanja, ki jih ponuja ThinManager, omogočajo veliko prilagodljivost. Aplikacije, nameščene na strežnikih, je mogoče posredovati na številne terminale ali različnim uporabnikom brez kakršne koli dodatne konfiguracije. V nekaj korakih hitro dodate nove uporabnike, terminale, vsebine video kamer in tako nadgradite vizualizacijo in nadzor v vaši tovarni. ThinManager centralizira distribucijo aplikacij odjemalcem in preko varne in šifrirane komunikacije odjemalcem dostavlja vsebino na osnovi oddaljenega namizja RDP.

ThinManager ponuja varno platformo tudi za distribucijo vsebin mobilnim napravam, zasnovano posebej za industrijske aplikacije in distribuira mobilno vsebino samo na določena



Slika 2: Celotna arhitektura ThinManager



Slika 3: Distribucija vsebin glede na določene kriterije

mesta, ki jih sami definirate z različnimi tehnologijami za določanje lokacije kot so GPS, WiFi, Bluetooth ali QR kode. ThinManager vam omogoča, da nastavite vnaprej določena varna območja, kamor je mogoče distribuirati mobilne vsebine. Še pomembneje pa je, da bo ThinManager preprečil dostop do mobilnih vsebin izven definiranega področja, ne glede na nivo dostopa, ki ga ima določeni uporabnik.

primarnega strežnika samodejni preklon odjemalcev na redundantni server.

ThinManager ponuja rešitev za izvedbo sodobnega, povezanega podjetja, saj zagotavlja pravo vsebino pravi osebi na pravem mestu. Povečajte svojo produktivnost, varnost vizualizacije in mobilnost z najzmogljivejšo industrijsko platformo za vitke odjemalce.



Tovrstna centralizirana rešitev dviguje zanesljivost sistema s podporo redundantnih strežniških sistemov - t.i. Instant Failover, kar pomeni, da je zagotovljeno izvajanje aplikacij na redundantnem strežniku in v primeru odpovedi

Viri:

[1]

<https://thinmanager.com/profile/>

[2]

<https://www.rockwellautomation.com/en-za/products/software/factorytalk/operationsuite/thinmanager.html>

OPTIČNO MERJENJE V SERIJSKI PROIZVODNJI

Damir KARIČ
odelo d.o.o.

IZVLEČEK

V predstavitvi je prikazana uporaba optičnega merjenja v podjetju Odelo d.o.o.. Začetna investicija v Atos Triple Scan II je bila namenjena kompleksni kontroli mehkih komponent, saj metoda merjenja z dotikom ni bila primerna. Optična meritev nam je dala željen rezultat višine tesnila ter dodatno informacijo geometrijske ustreznosti celotnega izdelka. Zaradi dobre prakse je sledila kontrola vseh brizganih izdelkov kjer se je informacija ukrivljenosti celotnega kosa zelo dobro obrestovala.

Zaradi mobilnosti Triple Scan-a je tudi kontrola orodij postala enostavna. Rezultat dobre prakse in potreba po hitrih informacijah ob nastavljanju brizgalnih strojev ter sproščanju meritev je pokazala smiselnost investicije v Atos Scanbox 5120 s katerim smo skrajšali čas nastavljanja brizgalnih strojev, poenostavili merjenje ter izboljšali poročila meritev.

1. OPTIČNO MERJENJE V SERIJSKI PROIZVODNJI

V podjetju Odelo izdelujemo luči za avtomobilsko industrijo. Proizvodnja je razširjena na več lokacij po svetu, in sicer v Nemčijo, Turčijo, Slovenijo, Bolgarijo, Kitajsko, Mehiko, Luči so namenjene za višji in srednji cenovni razred avtomobilov: BMW, Daimler VW, Audi, Renault, Fiat, Izdelujemo zadnje, sprednje, dnevne ter dodatne avtomobilске luči.

V zadnjih letih so se oblika, funkcionalnost ter način izdelave luči zelo spremenili. Izdelava postaja vse bolj zahtevna zaradi modernih oblik ter načina funkcionalnosti. Sporočanje okolici postaja vse bolj prilagojeno, polno informacij in nimajo samo funkcije gori / ne gori.

V Odelo sledimo sodobnemu trendu, kjer se zaradi tega soočamo z zahtevnimi tehničnimi prijemi, s katerimi zagotavljamo najboljšo kvaliteto našim kupcem.

Ob zagotavljanju kakovosti ne moremo mimo meritev izdelkov, ki vse bolj zateguje svoje tolerance zaradi prej omenjenega sodobnega trenda. Kot vsi oddelki v podjetju se tudi oddelek

merilnega laboratorija sooča s sodobnimi tehnologijami ter inovativnimi rešitvami.

V letu 2014 je bilo potrebno zagotavljati kakovost tesnila na ohišju prtljažne luči. Meritev tesnila je postala izziv, saj takratna metoda merjenja z dotikom ni bila ustrezna. Potrebna je bila investicija v skener za brezkontaktno merjenje, ki nam je doprinesel nov pogled ter veliko pomoč v kvaliteti.



Slika 1: Ohišje s tesnilom



Slika 2: Atos triple scan II

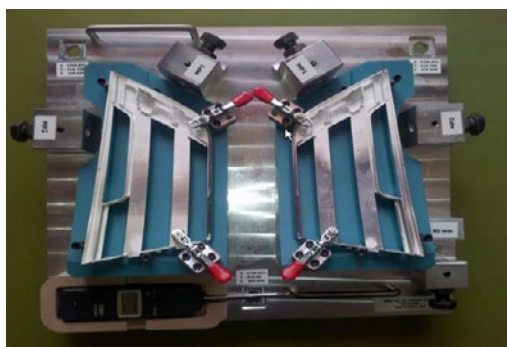
Z optičnim merjenjem mehke komponente smo dobili potrebne informacije ter hkrati ogromno dodatnih informacij geometrije celotnega izdelka.

1.1. PRIMERJAVA TOČKOVNE IN OPTIČNE MERITVE

Točkovna meritev z merilno uro



Slika 3: Točkovno merjenje z merilno uro



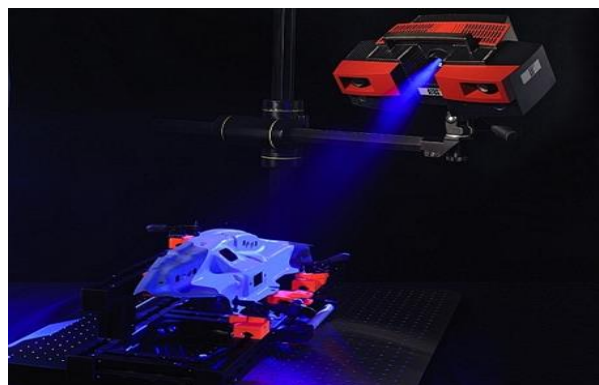
Slika 4: Merilna priprava

Rezultat meritev je prikazan v točkah, ki smo jih predhodno določili za kontrolo.

Merilne točke	Izmerjena vrednost
MP1	0,3mm
MP2	0,1mm

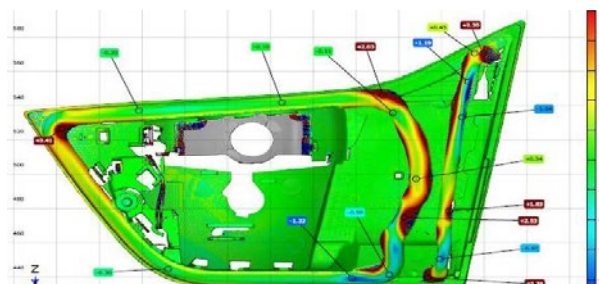
Tabela 1: Rezultat točkovnega merjenja

Optična meritev



Slika 5: Optično merjenje

Rezultat meritve je prikazan grafično na merjenem kosu. Barvna lestvica ponazarja odstopanja, ki so različno obarvana. Odstopanja lahko spremljamo na celotni površini izdelka, torej tudi na mestih, kjer napake nismo predvideli.



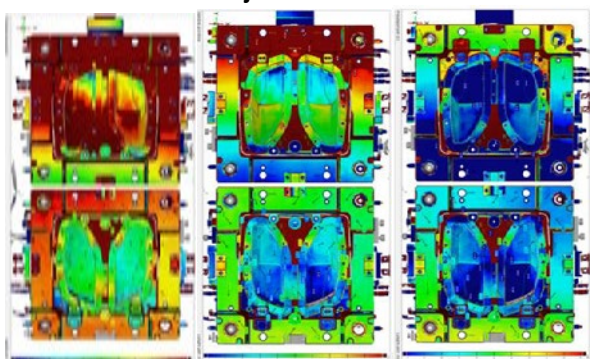
Slika 6: Rezultat optičnega merjenja

Uporaba optičnega merjenja je postala nadvse zanimiva in koristna. Začeli smo z merjenjem vseh izdelkov in razširili uporabo skenerja tudi na orodja za brizganje. Merjenje orodij je zaradi mobilnosti skenerja postalo enostavno. Možno ga je zapeljati do orodjarne, kjer so težka orodja postala lahko izmerljiva. Z zajemom slike orodja, ki je jasno grafično nudila veliko informacij, smo

začeli s kontrolo življenjske dobe in s tem dobili dober nadzor stanja in potrebe po servisu orodja.



Slika 3: Meritev orodja



Slika 4: Analiza orodja

Po dobrih izkušnjah z ročnim skenerjem smo se v letu 2019 odločili za avtomatizirano merjenje s ScanBox-om

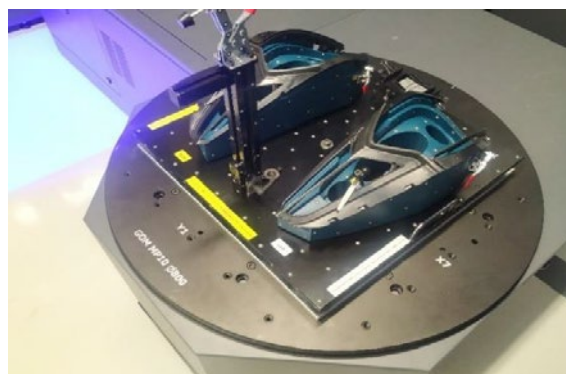


Slika 5: Scan Box 5120

Z nakupom ScanBox-a je bil doprinos v podjetje velik, saj smo lahko hitreje sproščali serije ter nadzorovali stabilnost procesa. Na poročilih smo pridobili statistiko meritev in celotno zahtevno merjenje zelo poenostavili. Tehnologiji brizganja so sami ob zagonu brizgalnih strojev lahko brez večjega potrebnega znanja vstavili kos

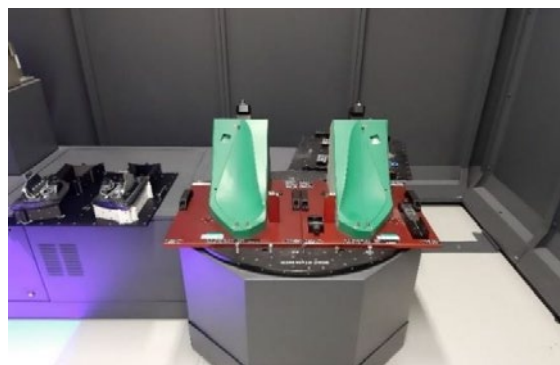
v ScanBox, ta pa je v parih minutah podal vse potrebne informacije na merskem poročilu

Seveda pa so smernice zahtevale tudi razvoj in izdelavo zahtevnih merilnih priprav, v katere je bilo potrebno vstaviti izdelke pred samim merjenjem.



Slika 6: Merilna priprava ScanBox

Z nekaj prilagoditvami smo lahko uporabili tudi obstoječe merilne priprave, ki so prej služile za točkovno merjenje in tako prihranili na izdelavi novih.



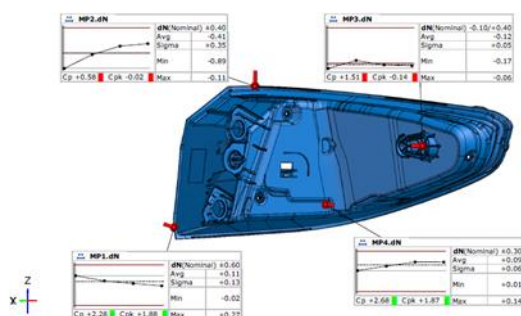
Slika 7: Merilni JIG

1.2. MERJENJE Z UPORABO SCANBOX-A

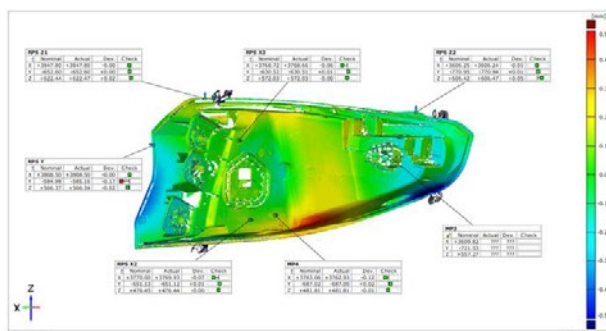
Poročilo vsebuje:

- Meritve predpisanih točk kot na JIG-u, dodatna informacija celotne ukrivljenosti kosa
- statistika zadnjih 30 meritev
- Cp, Cpk vrednosti

Damir KARIČ
odelo d.o.o.



Slika 8: ScanBox poročilo



Slika 9: ScanBox poročilo

1.3. PRIMER: Optimiziranje stekel z uporabo SCAN-BOX-a

Problem: dimenzijsko odstopanje kosov.

Za reševanje problematike smo uporabili poročila iz scanbox-a.

- Prvotno so rezultati meritev bili zelo slabi.
- Izdelali smo ustrezno lokalno poravnavo in kot rezultat dobili jasno poročilo o ukrivljenosti kosa.

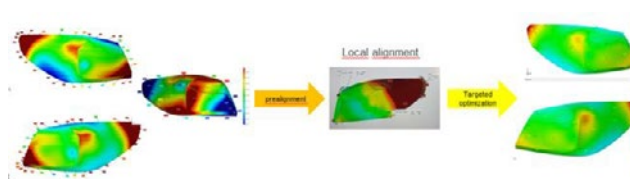
• Po analizi prvih kosov smo odločili spremeniti parametre :

- temperatura,
- tlaki,
- zapiralna sila.

• Hkrati smo merili tudi točkovno za primerjavo z merilno uro. Odstopanje točk je bilo minimalno.

Meritve z merilno uro niso prikazale takšnega odstopanja, kot je bilo to razvidno s Scanbox analizo (točkovna merjenja v tem primeru niso bila uporabna).

• Po končani analizi in korekciji parametrov smo zmanjšali notranje napetosti kosov in dobili boljše rezultate.



Slika 10: Optimiranje stekel

ZAKLJUČEK

Trend merjenja v podjetju

Število menjav orodij na izmeno se vse bolj večja zaradi smernice „Just in time“, kjer zmanjšujemo zaloge in večamo proizvodno frekvenco. Investicija gre posledično v priprave za avtomatizirano merjenje s ScanBox-om, kjer je vodilo enostavnost priprav. Sledi optimiranje časa merjenja ter izdelava programa z različnimi poravnavami za lažjo in hitrejšo analizo morebitnih težav.

Trend nakazuje izdelavo avtomatiziranega ScanBox programa s predvidevanjem težav na podlagi Mold Flow analize.

Investicije na vidiku:

- Povečanje skladišča za merilne priprave (robotizirano skladišče)
- Nakup manjšega ScanBoxa za merjenje direktno ob najbolj frekvenčnih projektnih linijah.

Sodobno zagotavljanje kakovosti izdelka z uporabo optičnih tehnologij nudi zanimivo delovno razvojno okolje.

UPORABA PROGRAMA GOM INSPECT PRI POOBDELAVI REZULTATOV RAČUNALNIŠKE TOMOGRAFIJE

Tomaž BRAJLIH, Špela EKSELENSKI VUZEM
Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo

IZVLEČEK

Prispevek predstavlja možnosti uporabe programskega paketa GOM Inspect pri poobdelavi medicinskih 3D CAD modelov. Trirazsežne rekonstrukcije medicinskih raziskav so postale sestavni del konstruiranja in izdelave pacientu prilagojenih medicinskih pripomočkov. V svetu in pri nas je že dokaj uveljavljen postopek načrtovanja in izdelave pacientu prilagojenih lobanjskih vsadkov v primerih večjih defektov po kraniektomijskih posegih. Načrtovanje takšnega vsadka poteka na podlagi trirazsežnega CAD modela kostnega tkiva pacienta, ki ga dobimo iz rezultata preiskave z računalniško tomografijo v DICOM obliki. Trirazsežna rekonstrukcija DICOM podatkov poteka v namenski programski opremi, ki iz prostorsko urejenih sivinskih slik prerezov ustvari trirazsežni poligonski CAD model dejanskega stanja pacienta. Ločen model kostnega tkiva dobimo s postopkom segmentacije DICOM slik, kjer ločimo slikovne točke ustreznega odtenka sivine od preostalega področja preiskave. Zaradi debeline sloja posameznih prerezov in velikosti slikovne točke na posameznih slikah, se na rekonstruiranem modelu pojavi stopničast efekt v vseh treh koordinatnih smereh preiskave. Naslednji korak je poobdelava modela, s katero ta model zgladimo in zmanjšamo njegovo število poligonov, da postane uporaben za postopek modeliranja vsadka v CAD programski opremi. Članek predstavlja uporabo funkcionalnosti programa GOM Inspect pri tem delu.

1 UVOD

Gom Inspect je program, ki je v osnovi namenjen po-obdelavi rezultatov trirazsežnega optičnega skeniranja [1]. Prvi korak obdelave podatkov, zajetih z optičnim skeniranjem, je poligonizacija oblaka točk v mrežni trirazsežni računalniški model. Za nadaljnje po-obdelave in analize rezultatov ima programski paket GOM Inspect širok nabor orodij, ki jih v grobem lahko razdelimo na orodja za popraviljanje mreže, urejanje mreže, generiranje geometrijskih primitivov na posameznih področjih mrežnega modela in orodja za primerjavo ter analize odstopanja med dvema ali več trirazsežnimi modeli. Namen tega prispevka je predstaviti, kako lahko del te funkcionalnosti uporabimo pri po-obdelavi trirazsežnih rekonstrukcij medicinskih preiskav.

2 TRIRAZSEŽNE REKONSTRUKCIJE MEDICINSKIH PREISKAV

V sodobni medicini na določenih področjih standardne medicinske pripomočke vse bolj zamenjujejo pacientu prilagojeni izdelki, ki so

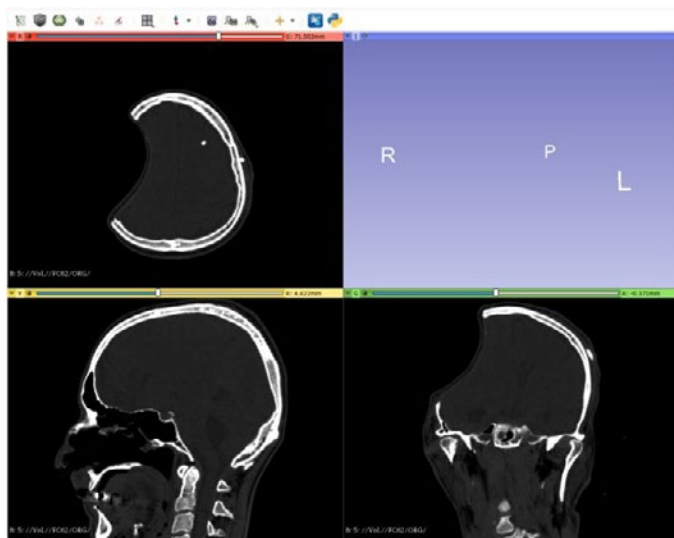
oblikovani tako, da so namenjeni za uporabo samo za točno določenega pacienta. Eden izmed pogostih primerov pacientu prilagojenih medicinskih vsadkov so po meri za točno določenega pacienta oblikovani in izdelani lobanjski vsadki, katerih namen je rekonstrukcija večjih defektov kosti po kraniektomijskih posegih. Takšen način rekonstrukcije defektov lobanjske kosti je v svetu in v Sloveniji že dokaj uveljavljen način zdravljenja [2].

Sam princip izdelave takšnih prilagojenih vsadkov temelji na tem, da dobimo točne podatke o obliki kostnega defekta s pomočjo trirazsežne medicinske preiskave (običajno računalniške tomografije -CT). S segmentacijo in trirazsežno rekonstrukcijo rezultatov računalniške tomografije dobimo trirazsežni računalniški model dejanskega stanja pacienta na osnovi katerega lahko nato v virtualnem računalniškem okolju oblikujemo prilagojeno obliko vsadka.

2.1 Segmentacija CT preiskave

Prvi korak pri trirazsežni rekonstrukciji CT preiskave je segmentacija slik posameznih

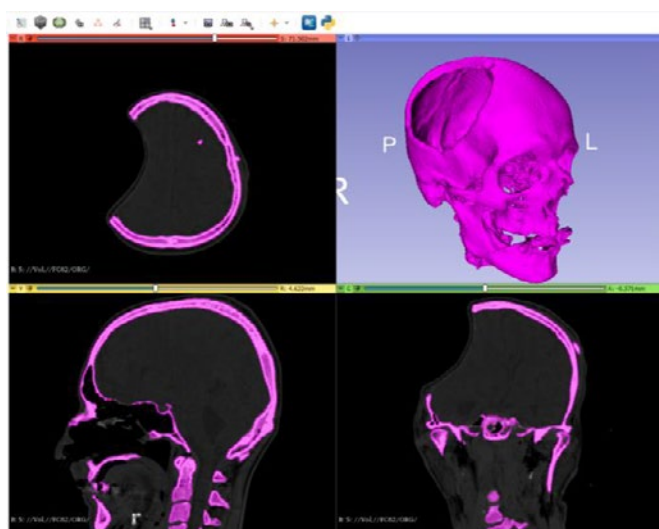
prerezov. V tem koraku določimo meje sivine tistih slikovnih točk (pixlov), ki predstavljajo tip tkiva, ki ga želimo ločiti od preostalega dela slik. V primeru lobanjskih vsadkov želimo ločiti (segmentirati) kostno tkivo (*Slika 1*),.



Slika 1: Rezultat CT preiskave

2.2 Trirazsežna rekonstrukcija

Po pravilnem izboru obsega segmentacije programski paket lahko loči vse slikovne točke, ki predstavljajo izbran tip tkiva (v našem primeru kosti) od preostalega rezultata CT preiskave na vseh slikah posameznih slojev.



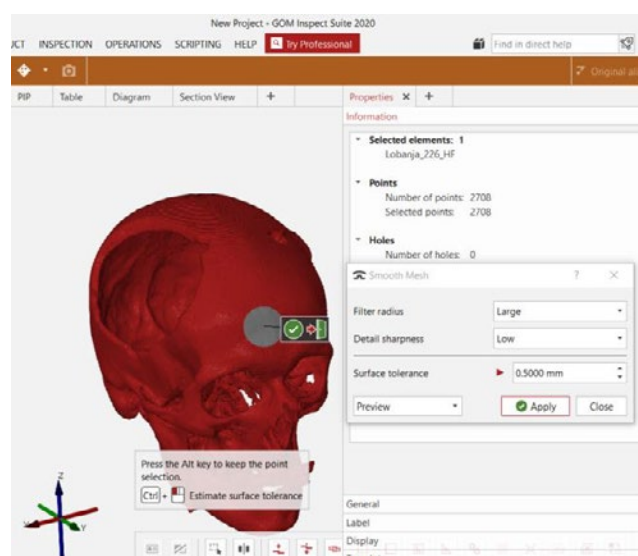
Slika 2: 3D rekostrukcija

S tem korakov dobimo oblak točk oziroma prostorskih elementov, ki jih lahko pretvorimo (poligoniziramo) v trirazsežni mrežni CAD model. Na takšnem modelu rekonstrukcije se vedno pojavi stopničast efekt v vseh treh koordinatnih smereh, katerega velikost je (običajno) v X in Y smeri odvisna od velikosti slikovnih točk na slikah prereзов, v Z smeri pa od debelina sloja CT preiskave (*Slika 2*). Takšen model seveda ni primeren za modeliranje oblike vsadka, saj zaradi stopničastega efekta ne predstavlja dejanske oblike defekta. Zaradi tega je potrebno takšen model še nadalje obdelati z namenom zmanjševanja (glajenja) stopničastega efekta, zmanjšanja velikosti mreže (števila trikotnikov) in urejanja mreže.

3 UPORABA GOM INSPECTA PRI OBDELAVI CT REKONSTRUKCIJ

3.1 Glajenje stopničastega efekta

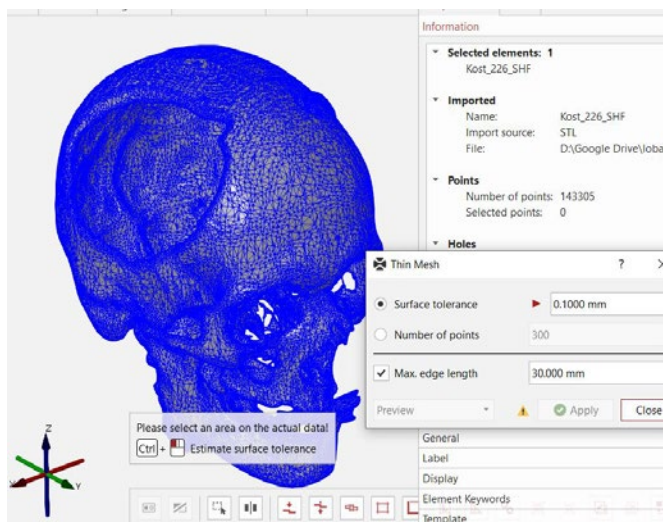
Za glajenje modela uporabimo operacijo »smooth mesh«. Z nastavitvijo parametrov kontroliramo obseg glajenja, ostrino detajlov in maksimalno dovoljeno odstopanje. Optimalne nastavitve so odvisne od debeline sloja preiskave. Velja, da če želimo relativno gladek model mora bit dovoljeno odstopanje vsaj enako debelini sloja preiskave (*Slika 3*).



Slika 3: Glajenje mreže

3.2 Zmanjševanje števila trikotnikov

Običajno neposredno izvoženi modeli 3D rekonstrukcij medicinskih preiskav vsebujejo zelo veliko število trikotnikov. Zaradi tega je velikost takšnih datotek precejšnja (100+ MB), kar otežuje njihovo uporabo pri nadaljnjem oblikovanju (modeliranju) pacientu prilagojenih pripomočkov. Zaradi tega in ker je veliko število trikotnikov tudi posledica začetnega stopničastega efekta lahko v naslednjem koraku po-obdelave modela zmanjšamo število trikotnikov z uporabo operacije »Thin mesh«. Tudi pri tej operaciji je najpomembnejši parameter največje dovoljeno odstopanje. Koliko izberemo je odvisno od tega, kolikšna so še sprejemljiva odstopanja modela glede na namen medicinskega pripomočka in pa kako velike datoteke še lahko (normalno) uporabljamo pri nadaljnjem modeliranju. V našem primeru smo z največjim dovoljenim odstopanjem 0.1mm število trikotnikov zmanjšali na 10% (iz 1.4 milijona na 143000). S tem se je na 10% zmanjšala tudi velikost datoteke (Slika 4).

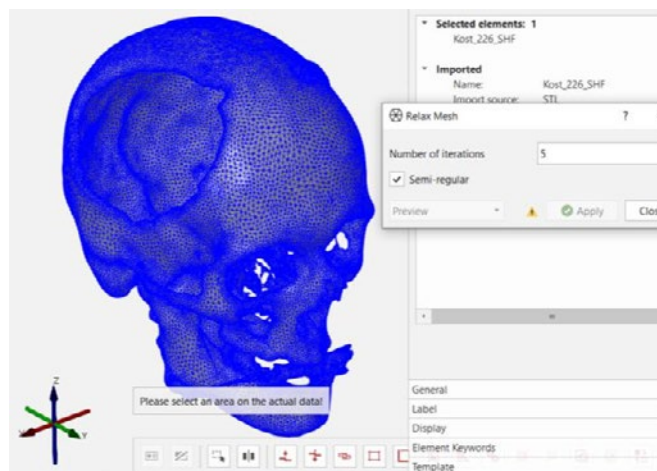


Slika 4: Zmanjševanje mreže

3.3 Urejanje mreže

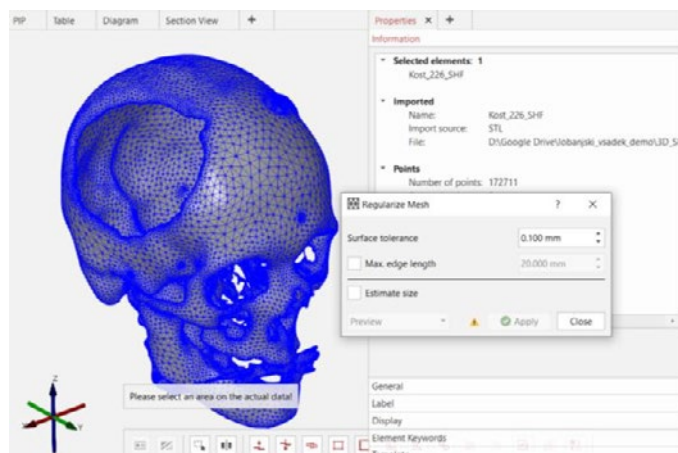
Iz prejšnje slike vidimo, da je mreža našega modela po uporabi operacij glajenja in zmanjševanja precej neurejena. To je neugodno predvsem takrat, kadar bomo model v nadaljevanju uporabili za oblikovanje pacientu prilagojenega vsadka tako, da bomo nalezno površino vsadka oblikovali z odštevanjem

dejanske oblike defekta. Zato je dobro, če mrežo modela dejanskega stanja predhodno uredimo. Za to imamo v GOM inspectu na voljo dve operaciji (»Relax« in »Regulize« Mesh).



Slika 5: Sproščanje mreže

Namen prve (Slika 5) je sproščanje mreže (z nastavljanjem parametra števila iteracij) z drugo (Slika 6) pa razporedimo gostoto trikotnikov na mreži v odvisnosti od ukrivljenosti površine (s parametroma največjega dovoljenega odstopanja in največje dovoljene stranice trikotnika).

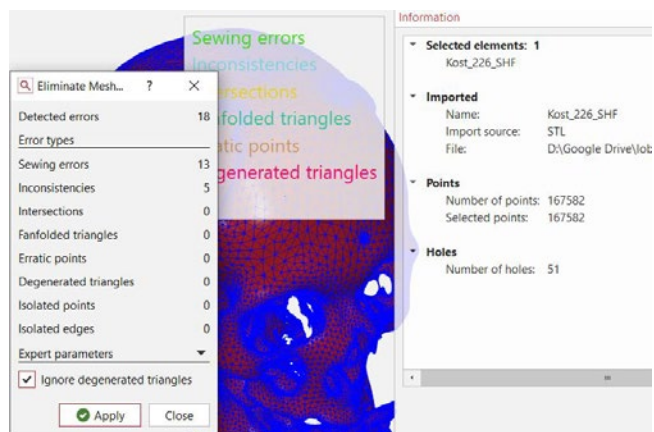


Slika 6: Razporeditev gostote mreže

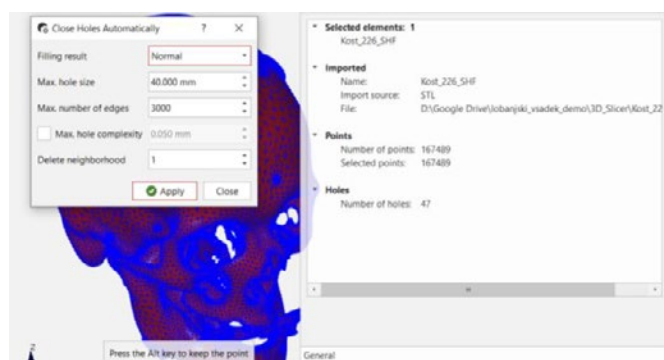
3.4 Popravljanje mreže

Že v začetnem uvoženem modelu in po vsaki operaciji lahko nastanejo nepravilnosti v mreži modela. Te nepravilnosti odpravljamo z orodjem za odpravljanje napak v mreži (»eliminate mesh errors«) (Slika 7) in orodjem za avtomatsko

zapiranje lukenj v mreži (Slika 8). Obe orodji uporabljamo izmenično, saj pri odpravljanju napak v mreži običajno nastanejo luknje, ki jih v naslednjem koraku z avtomatskim zapiranjem zapremo.



Slika 7: Odpravljanje nepravilnosti mreže



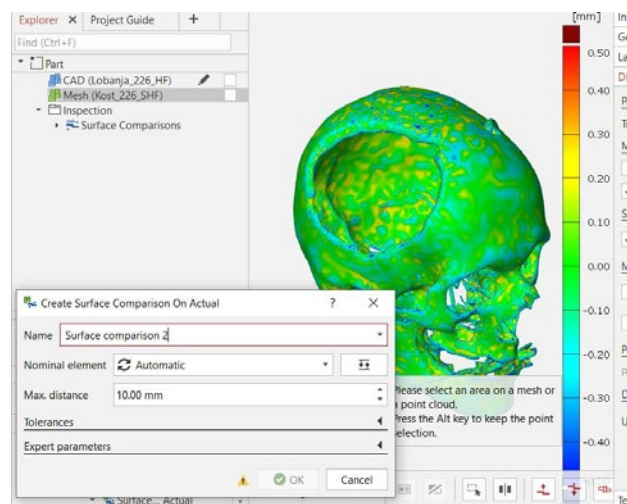
Slika 8: Odpravljanje nepravilnosti mreže

Obe orodji je priporočljivo uporabiti že pri začetnem uvoženem modelu in ponavljati po vsaki prej opisani operaciji, tako da naslednjo operacijo po-obdelave vedno naredimo na mreži brez napak in lukenj.

3.5 Odstopanje med začetnim in obdelanim modelom.

Seveda z vsako operacijo nastajajo vedno večja odstopanja med začetnim (stopničastim) modelom in obdelanim modelom. Ta odstopanja lahko ves čas med postopkom obdelave v GOM Inspectu kontroliramo z orodjem »Surface comparison« pri čemer vedno primerjamo trenutno (ali pa končno) obliko modela z začetno obliko rekonstrukcije. Dokler so odstopanja

znotraj pričakovanih mej, ki so posledica glajenja stopničastega efekta je obdelava dovolj natančna. Če odstopanja presežejo pričakovane vrednosti moramo celoten postopek obdelave prilagodit z zmanjšanjem parametrov dovoljenih odstopanj (Slika 9).



Slika 9: Barvna karta odstopanja

3 SKLEP

Pravilna po-obdelava trirazsežnih rekonstrukcij je eden ključnih korakov pri oblikovanju in izdelavi pacientu prilagojenih medicinskih pripomočkov. Za doseganje pravilnega naleganja vsadka na dejansko obliko defekta je nujno odstraniti stopničast efekt, ki je posledica rezultata preiskave z računalniško tomografijo. Posebej bi radi poudarili, da je celotna funkcionalnost programskega paketa GOM Inspect, predstavljena v tem prispevku, na voljo v »zastojniški« različici programske opreme. Zato upamo, da bo ta prispevek pripomogel k temu, da se bo uporaba tega programskega paketa razširila iz sedanjega CAQ področja tudi na področje medicine.

Viri:

- [1] Domača stran podjetja GOM (<https://www.gom.com>).
- [2] Drstvenšek, I, Kostevšek Šegula, U, Brajliah, T, Ihan Hren, N, Merc, M, Tomažič, T, Stević, S, Vogrin, M, Moličnik, . Use of additively manufactured patient-specific instruments in clinical praxis = Uporaba pacientu prilagojenih instrumentov, izdelanih z dodajalno izdelavo, v klinični praksi. *Materiali in tehnologije*, str. 155-163.

INCREASING COMPETITIVENESS IN HIGH PRESSURE DIE CASTING WITH ADDITIVE MANUFACTURING

Armin WIEDENEGGER¹, Günther PRUNNER², Bostjan NOTAR³,

¹ voestalpine Additive Manufacturing Center GmbH,

² voestalpine High Performance Metals International GmbH,

³ voestalpine d.o.o., Slovenia

ABSTRACT

In a cost-intensive process, such as high pressure aluminum die casting, reducing the cycle time and scrap rate has a significant influence on profitability. By using advanced conformal cooling design and state-of-the-art BÖHLER hot work tool steels, the cycle time for molding tools can be reduced and tool life can be increased. This means that not only the component quality in functional areas increases, but also the overall process quality. These innovative solutions can only be realized if the restrictions of additive manufacturing (AM) are understood. Only then can the potential of AM be exploited to develop novel tool concepts from a holistic understanding of component and process requirements. Thermal management then becomes the focus of the entire process chain. In addition to an increasing component quality, the optimization of thermal management leads to significant cost savings and thus to an increase in the competitiveness of this production process. Likewise, AM tools also contribute to the reduction of energy consumption and hence CO₂ emissions which will play an ever increasing role in future (automotive) production processes.

Keywords: Additive manufacturing, Hot work tool steel, High pressure die casting, Powder bed fusion, Conformal cooling.

1. Introduction

Typically, the first thoughts when discussing additive manufacturing (AM) are not about economically efficient high-volume production or even the possible reduction of carbon dioxide emissions. AM is usually associated with rapid prototyping, complex components, or bespoke medical components. Due to the tremendous speed of developments in this segment, the production of small batch sizes (up to a few thousands) is getting more and more competitive. Traditional processes, like plastic injection molding (PIM) or high-pressure die casting (HPDC), are highly efficient for high volume production but require costly tooling as a starting point. Thus, plastic or even metal AM can be more economical depending on the total amount of produced parts.

One may be tempted to conclude that tool makers for PIM and HPDC molds are directly competing with laser AM technologies of steel parts – this is

a premature conclusion. In recent years many toolmakers have in fact been employing laser AM technologies to build inserts with complex conformal cooling channels for PIM and HPDC applications to complement their traditional toolmaking. This novel approach allows a huge degree of freedom when designing cooling channels and paves the way for an unprecedented cooling performance. Together with the latest developments in tool steel powder grades, a new generation of tools for PIM and HPDC processes will be widely introduced in the next years. The conformal cooling approach enables lower cycle times and lower scrap rates. Although tools produced with laser AM are more expensive than conventionally manufactured tools, the economic benefits of the enhanced cooling performance can very often easily outweigh these costs for high volume production. Interestingly, the advantages of laser AM tools can also have a significant impact on the CO₂ emission during production, especially for energy-intensive production processes like HPDC. Scrap rates of increasingly

complex cast aluminum parts can be significantly reduced when a conformal cooling concept is applied. Every cast part that fails the quality control adds to the CO₂ footprint of the production. Consequently, lower scrap rates in HPDC processes through the employment of AM tools can contribute to the demanded reduction of the total CO₂ footprint in car production [1, 2].

2. Performance of Printed Hot Work Tool Steel for High Pressure Die Casting

High pressure die casting (HPDC) is a harsh process for the employed tools. The tools have to withstand temperatures cycling up to 700°C, pressures of up to 100 MPa, and mold filling speeds of up to 100 m/s. The right material choice for the tools in HPDC is therefore of utmost importance for a long tool lifetime and part quality. Properties, like thermo-chemical corrosion, heat-checking resistance, and notch-crack resistance, ultimately determine the tool performance. The most suitable materials, exhibiting these desired properties, are known as hot work steels. Commonly known hot work steel grades, such as 1.2343 or 1.2344, are the foundation of many HPDC tools and are widely considered as a gold standard. When it comes to laser AM, however, these traditional hot work steel grades have not been the first choice. The printability of these steel grades suffers from a high C-content (~0.5 %), and thus maraging steel grades such as 1.2709 have been the preferred material for many years [3, 4]. Due to the lack of print quality when using hot work steel grades, little work has been done to compare printed parts under realistic HPDC conditions [5].

The Österreichisches Gießerei Institut (ÖGI) has carried out a detailed study [6] with support from the voestalpine High Performance Metals Division, comparing the material grades: maraging 1.2709 (bulk and AM), 1.2343 (bulk) as a reference, and W360 (bulk and AM). Grades 1.2709 and 1.2343 are well-known materials. W360 is a high-performance martensitic hot work steel produced by voestalpine BÖHLER Edelstahl GmbH & Co KG [7]. The material is characterized by its high hot hardness, hot toughness, and high temper resistance. These

properties also make it an ideal candidate for laser AM parts and a powder grade (W360 AMPO) has been recently added to the BÖHLER portfolio [8]. The printing of the specimens was done using optimized, in-house printing parameters and a laser powder bed fusion (L-PBF) technology by the voestalpine Additive Manufacturing GmbH. In total, 1.2709 samples were printed with an EOS M 290 system at room temperature, whereas the W360 samples were printed with a Renishaw AM500Q in a preheated chamber. Two different sample geometries were printed and conventionally manufactured: (1) simple test bars and cylindrical samples with a machined notch. The bars were used for testing the thermo-chemical resistance, as shown in Figure 1. Assuming a one-second contact time of the liquid aluminum melt with the tool surface, a diving time of 32 hours equals about 120,000 shots. The material loss over the diving time was evaluated and the results are displayed in Figure 2. The red line marks the 1.2343 reference material at a 100%. The maraging grade 1.2709 test bars (bulk and AM) were dissolved between diving times of 4-8 hours, whereas the bulk W360 grade lasted about the same time as the reference 1.2343 grade. Remarkably, the AM W360 test bar even outperformed its bulk counterpart.

The second tests are designed to evaluate the thermo-mechanical performance of the samples. The sample geometry and a schematic of the experimental setup are shown in Figure 3. To simulate a typical HPDC process environment, the samples are dived into an aluminum melt, followed by a transfer to water (simulating the spray process). After every 5,000 thermal cycles (tests were performed up to 50,000 cycles), samples were cut to analyze the transverse and longitudinal cross-sections. The analyses of the cross section were performed using optical and scanning electron microscopes. The cracks were divided into two categories: (1) Surface cracks are a measure for the notch-crack resistance of the material. (2) Volume cracks are a measure for the general lifetime of the tool.

Figure 4 and

Figure 5 show the quantitative analyses of these induced cracks. Like the thermo-chemical resistance, the maraging grade 1.2709 under-

performed compared to the reference material 1.2343, whereas the premium grade W360 shows the best performance.

In summary, the tests prove that, with the current state-of-the-art laser AM technology and hot work steel powders, the highest quality HPDC tools can be realized and manufactured.

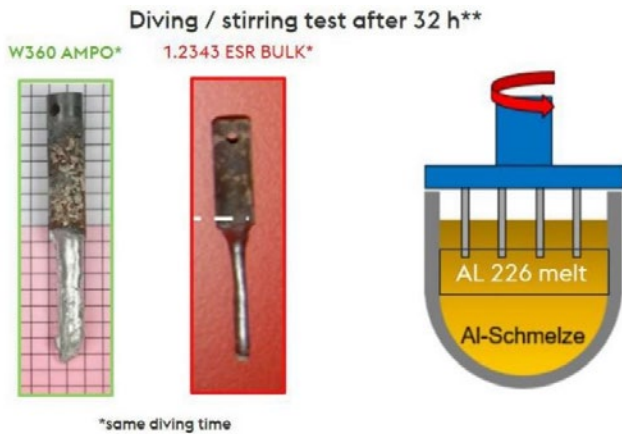


Figure 1: Test bars are put into an aluminum 226 melt for a total time of 32 hours to evaluate the thermo-chemical resistance.

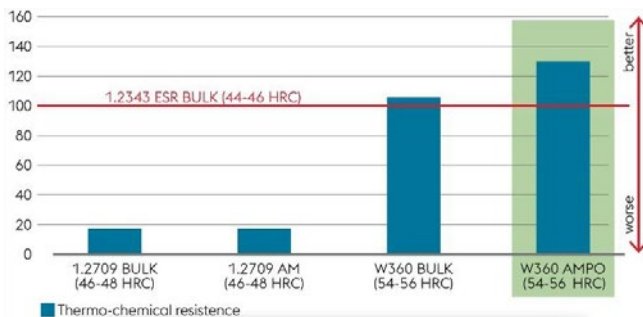


Figure 2: Comparison of the thermo-chemical resistance after 32 hours of diving time in the aluminum melt.

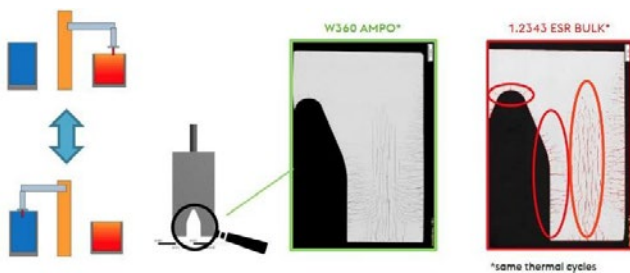


Figure 3: For testing, the thermo-mechanical resistance machined samples were alternately immersed between liquid aluminum and a cooling medium. Transverse and longitudinal cross-

sections were analyzed for surface and bulk cracks.

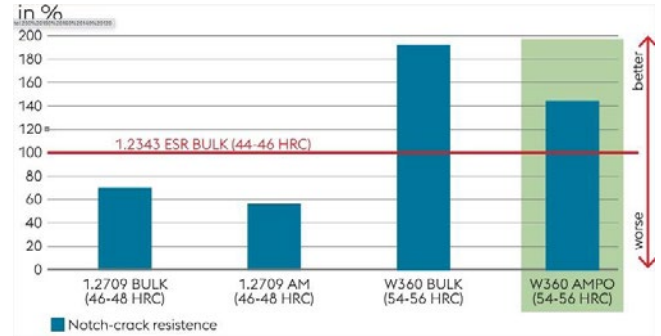


Figure 4: Comparison of the notch-crack resistance. The notch crack resistance is also a measure for cracks starting from the conformal cooling channel and hence a tool failure due to macroscopic cracks.

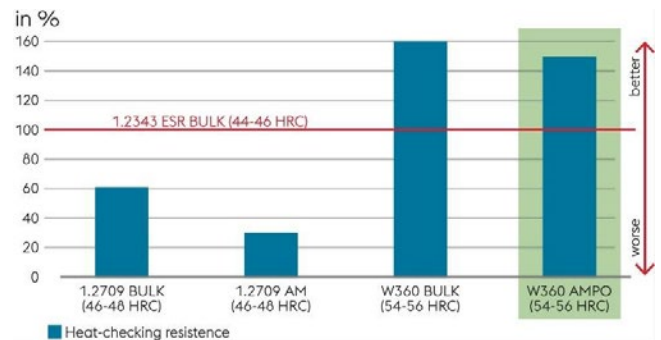


Figure 5: Comparison of the heat-checking resistance. The heat-checking resistance is a general measure on for the overall tool lifetime and required maintenance intervals

3. Design Optimization of Conformal Cooling Channels

The second ingredient, besides the material quality, is the design of the conformal cooling channels. At voestalpine, we have identified three common problems tool designers face when looking to adopt additive manufacturing for the first time: (1) Designers tend to apply conventional or traditional design rules to conformal cooling designs. (2) Designers may not have a clear understanding of the applicable design rules they should follow when designing for AM. (3) Designers may not be aware of the mechanical loads and the potential negative impacts they may have on the tool. Many HPDC failure modes such as soldering, heat checking, and erosion can be prevented by selecting an

appropriate material as proven in Section 2. Crack initiation often starts in areas with the highest mechanical stress loads (see Figure 6), and only the right design guarantees a superior overall tool performance.

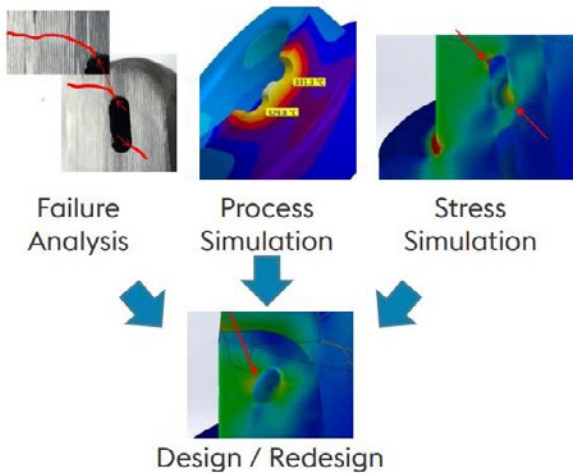


Figure 6: Development of an optimized design based on failure analysis, process, and stress simulation.

4. Case Studies: Economical and Environmental Impact

The case study was developed jointly by Druckguss Heidenau, DMG Mori, and voestalpine to analyze and realize the ecological and economic benefits of an additive manufactured insert [9].

Starting situation:

In this case study, Druckguss Heidenau had to produce 600,000 aluminum die-cast parts per year. The weight of the aluminum part is approx. 1.6kg. The scrap rate of the conventional insert was 3.8% in the foundry and an additional 3.3% in the mechanical rework finishing. The total scrap rate was 7.1% [9].

Aim of additive manufacturing:

Additive manufacturing was to be used to improve heat dissipation, which would reduce the scrap rate to make the annual part production of 600,000 as effective as possible.

Result:

Additive manufacturing significantly improved heat dissipation. The figure below (see Figure 7) shows the temperature distribution of the conventional and additive manufactured insert before spraying. Clear differences can be seen [9].

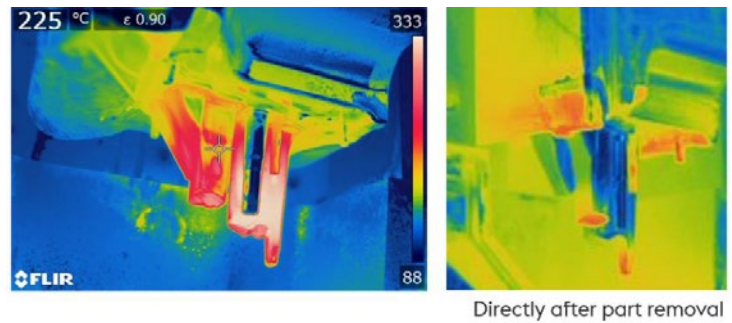


Figure 7: Comparison of the temperatures of the tool insert before spraying (Left picture: conventional; central & right picture: additive) [9].

With the help of the improved heat dissipation of the additively manufactured insert, the scrap rate in the foundry was reduced from 3.8% (conventional insert) to 2.7%. In addition, the scrap rate during mechanical rework was reduced to around 1%, which corresponds to a saving of 2.26%. Thus, the total scrap rate was reduced by 3.36% with the help of additive manufacturing. The scrap costs (for the raw castings) that can be saved are around 194k€ (see Figure 8) [9].

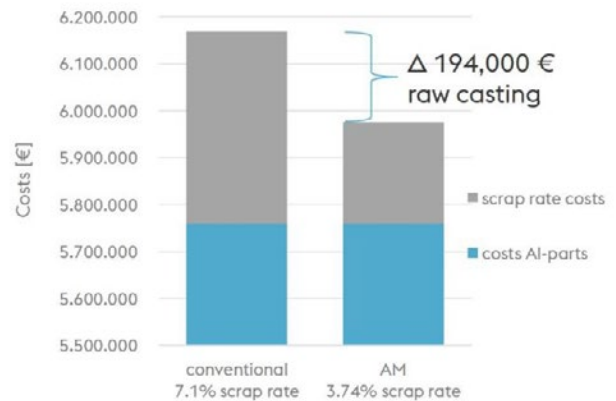


Figure 8: Aluminum part costs and scrap rate costs

One additive manufactured insert costs approximately EUR 2,000 more than one conventional one. The customer needs 10 inserts per year, which means that they need to spend EUR 20,000 on the AM solution. Taking these factors into account, the total savings are around EUR 174,000 (see Table 1).

Table 1: calculation (approximation)

	Conventional [7.1% scrap rate]	AM [3.74% scrap rate]	Difference
Costs for scraped parts	409,000 €	215,000 €	194,000 €
Additional costs for AM	/	20,000 € (2,000 per insert)	-20,000 €
Total savings with AM	/	/	174,000 €

The annual energy saving in the foundry is about 160,000KWh (see Figure 9). With an average electricity mix, this corresponds to approx. 80t of saved CO₂. With the help of an additively manufactured insert, an energy of around 160,000KWh could be saved by reducing the scrap rate. This results in 80t less CO₂ emissions [9].

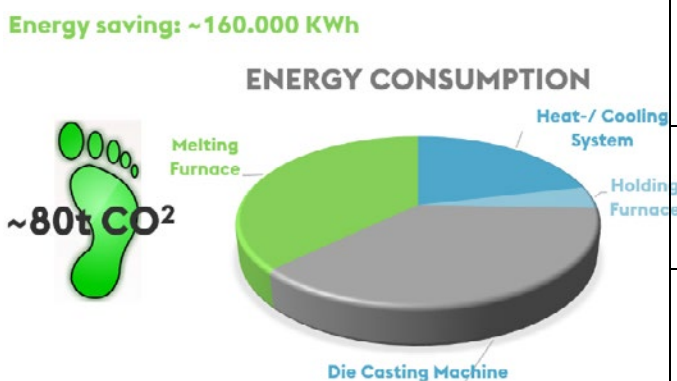


Figure 9: Energy consumption of high pressure die casting process [9]

Further potential: reduction of cycle time

Another potential area of improvement is the reduction of cycle time. By decreasing the cycle time, the required number of parts are produced faster. To do this, it is necessary to carry out an

analysis of the factors that determine the cycle time. The following indicative example shows the savings potential when the distributor determines the cycle time. Improved heat dissipation, which can be achieved with the help of additive manufacturing, can reduce the cycle time. Here, a cycle time reduction of 5 seconds is considered. This means that the required number of castings can be produced more quickly with a constant scrap rate. The faster production can save about EUR 384k because less time is needed for the production of the aluminum die castings (see Figure 10) [10, 11, 12].

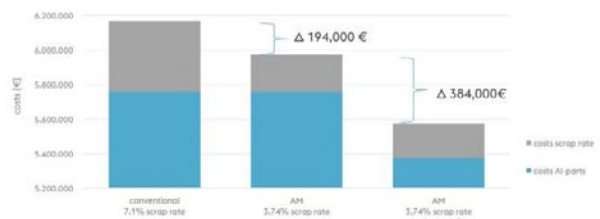


Figure 10: Costs for Al-parts and scrap rate costs

If we are taking the investment in account for the additive manufactured inserts and additive manufactured distributors, we spend about EUR 55k more on the die, but the total savings will be EUR 523,000 (see Table 2).

Table 2: total savings with AM calculation

	Conventional 7.1% scrap rate	AM 3.74% scrap rate Cycle time -5 sec.	Difference
Costs for Al-parts	5,760,000 €	5,376,000 €	384,000 €
Costs for scraped parts	409,000 €	215,000 €	194,000 €
Additional costs for AM	/	20,000 € inserts 35,000 € distributor	-20,000 € -35,000 €
Total savings with AM	/	/	523,000 €

5. Conclusion

By using additive manufacturing inserts in an energy-intensive process such as high pressure aluminum die casting, the scrap rate has a significant influence on the CO₂ savings potential and profitability. This can be further improved by using state-of-the-art hot work tool steels, which leads to a cycle time reduction and an increased tool life.

While the initial costs for additive manufacturing are higher compared to conventional tool fabrication, the resulting increase in aluminum part quality and the optimization of thermal management lead to significant cost savings and thus to an increase in the competitiveness of this manufacturing process. The use of additively manufactured die inserts in the die casting process brings significant technical advantages and both economically and ecologically.

References:

1. Lee, K.-H.: *Integrating carbon footprint into supply chain management: The case of Hyundai Motor Company (HMC) in the automobile industry*, *Journal of Cleaner Production*, July 2011, 19(11), pp 1216-1223
2. <https://www.volkswagenag.com/en/news/stories/2019/02/clean-mobility-starts-with-suppliers.html#> (24.3.2021)
3. Over, C.: *Generative Fertigung von Bauteilen aus Werkzeugstahl X38CrMoV5-1 und Titan TiAl6V4 mit 'Selective Laser Melting'*, *Dissertation, RWTH Aachen*, 2003
4. Klocke, F.; Arntz, K.; Teli, M.; Winands, K.; Wegener, M.; Oliari, S.: *State-of-the-art Laser Additive Manufacturing for Hot-work Tool Steels*, *Procedia CIRP*, 63 (2017), pp 58–63
5. Andersson, H.: *Thermal fatigue and soldering experiments of additively manufactured hot work tool steel*, *Master-thesis, Faculty of Health, Science and Technology, Karlstads University*, 2018
6. Berbić, M.; Hofer-Hauser, P.; Gschwandtner, R.; Ognianov, M.; Leuders, S.; Glatz, S.; Lochbichler, C.; Mangelberger, M.: *Thermomechanical and thermochemical endurance of hot work tool steels and PVD-coatings for high pressure die casting*, 60th IFC Portorož, 2020
7. voestalpine BÖHLER Edelstahl GmbH & Co KG: *Product description BÖHLER W360 ISOBLOC*, <https://www.boehler.at/app/uploads/sites/92/2020/02/productdb/api/w360de.pdf>, 2021 (24.3.2021)
8. voestalpine BÖHLER Edelstahl GmbH & Co KG: *Product description BÖHLER W360 AMPO* <https://www.boehler-edelstahl.com/de/products/w360-ampo/>, 2021 (24.3.2021)
9. Sieger, A.; Nitsch, M.: *"ADDITIVE MANUFACTURING OF TOOLS – OPPORTUNITIES AND RISKS"*, Euroguss 2020, Nürnberg, 2020
10. Favi, C.; Germani, M.; Mandolini, M.: *Analytical Cost Estimation Model in High Pressure Die Casting*, *Procedia Manufacturing*, 11 (2017), pp 526-535
11. Boos, W.; Pitsch, M.; Salmen, M.; Wiese, J.; Kelzenberg, C.; Lange, J. d.: *"Successful Calculation in Tool Making"*, WZL & WBA Aachen, 2016
12. <https://www.custompartnet.com/estimate/die-casting-std/> (Retrieval: 24.03.2021)

OPTIMIZACIJA BRIZGANJA POM Z METODO FLASH DSC

Rebeka LORBER¹, Gašper BERGANT², Silvester BOLKA¹,
Miroslav HUSKIĆ¹, Blaž NARDIN¹

¹ Fakulteta za tehnologijo polimerov

² Polycom Škofja Loka d.o.o.

IZVLEČEK

Pri brizganju delnokristaliničnih termoplastov so temperatura orodja, hitrost in čas ohlajanja med najpomembnejšimi parametri, ki določajo velikost in število kristaliničnih področij, ki znatno vplivajo na končne lastnosti brizganih kosov, predvsem kar se tiče mehanskih lastnosti in geometrijske stabilnosti.

Metoda Flash DSC omogoča segrevanje in ohlajanje vzorcev polimernih materialov z visokimi hitrostmi segrevanja (2.400.000 °C/min) in ohlajanja (240.000 °C/min). Pri tem lahko določimo temperature steklastega prehoda, tališča, kristalizacije in hladne kristalizacije ter pripadajoče entalpije. Meritve lahko izvajamo v temperaturnem območju med -35 °C in 300 °C z vzorci mase med 10 ng in 1000 ng.

V prispevku smo predstavili optimizacijo brizganja polioksimetilena (POM), z uporabo metode Flash DSC in primerjavo rezultatov s praktičnim primerom brizganih zobnikov, v smislu časa ohlajanja in temperature orodja, katerih vpliv na stopnjo kristaliničnosti materiala POM Delrin 100 NC010 smo zasledovali. Določili smo relativne stopnje kristaliničnosti materiala, ki jih dosežemo pri brizganju z različnimi temperaturami orodja in časi hlajenja, kar služi kot osnovna orientacija za optimalno izbiro čim krajšega časa cikla in najprimernejše temperature orodja.

1 UVOD

Končne lastnosti brizganih delnokristaliničnih termoplastičnih izdelkov so močno odvisne od samih parametrov predelave, predvsem priprave taline, ki zajema plastificiranje in temperaturne pogoje, na eni strani ter temperature orodja in časa hlajenja, ki omogočata in določata kristalizacijo materiala na drugi strani. S stopnjo kristaliničnosti so tesno povezane mehanske in toplotne lastnosti izdelka, zato se lahko z optimiranjem procesa brizganja izognemo marsikateri odpovedi izdelka kakor tudi nepotrebnemu podaljševanju časa cikla brizganja na račun časa hlajenja ali pa prihranimo pri porabi energije s temperiranjem orodja na nižjo temperaturo, v kolikor je to skladno z rezultati simulacije brizganja z metodo Flash DSC.

2 FLASH DSC

Z diferenčno dinamično kalorimetrijo (DSC) lahko zasledujemo toplotne prehode polimernih materialov in pripadajoče entalpije ter kristalizacijo polimernih materialov. Pri metodi

Flash DSC gre v osnovi za enak princip, vendar omogoča zelo visoke hitrosti segrevanja (do 2.400.000 °C/min) in ohlajanja (do 240.000 °C/min) materiala oziroma vzorca, s katerimi lahko simuliramo temperaturne pogoje, ki jim je material izpostavljen tekom cikla pri procesu brizganja.

Poleg optimizacije brizganja lahko s Flash DSC popisujemo kinetiko kristalizacije termoplastičnih materialov, proučujemo njihovo morfologijo, določimo minimalno hitrost ohlajanja materiala pri predelavi, da izdelek pri uporabi ne hladno kristalizira, kar v več primerih vodi do odpovedi, določamo hitrost ohlajanja s katero je bil izdelek predelan oziroma dokažemo, da je bil material predelan z neustreznimi pogoji, kar se velikokrat izkaže kot vzrok odpovedi izdelka, podobno kot hladna kristalizacija. Ugotavljamo lahko tudi vplive stopnje kristaliničnosti materiala na temperaturo steklastega prehoda delnokristaliničnih termoplastov in zasledujemo degradacijo amorfnih termoplastov glede na relaksacijsko entalpijo pri steklastem prehodu, ki se v primeru

degradiranega materiala pojavi pri višjih hitrostih segrevanja [1].

2.1 Optimizacija brizganja

S postavitvijo metode za Flash DSC, ki posnema temperaturne pogoje tekom cikla brizganja, kot je prikazana na sliki 1 in visokimi hitrostmi segrevanja, ki omogočajo karakterizacijo dejanske kristaliničnosti materiala, brez rekristalizacije in reorganizacije tekom segmenta, in visokimi hitrostmi ohlajanja, primerljivimi s hitrostjo ohlajanja materiala v orodju pri brizgu taline v orodje lahko glede na zastavljene pogoje z zanesljivostjo okarakteriziramo kristaliničnost primerljivo s kristaliničnostjo na površini brizganega izdelka [2].

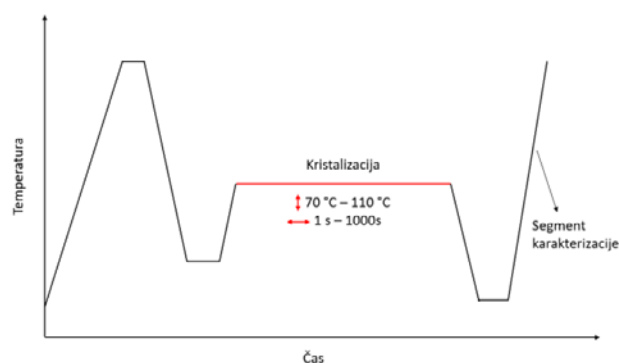
3 PRIPRAVA VZORCEV IN TESTIRANJA

3.1 Priprava vzorcev

Za optimizacijo brizganja POM z metodo Flash DSC (Mettler Toledo Flash DSC 1) smo uporabili granulato čistega materiala POM Delrin 100 NC010, iz katerega smo odrezali in pod mikroskopom pripravili vzorec primerne velikosti, ki znaša med 10 ng in 1000 ng. Za primerjavo so na Polycom Škofja Loka d.o.o. nabrizgali (KraussMaffei 50-180CX) zobnike iz istega materiala (slika 2), skladno s parametri, ki jih priporoča proizvajalec, pri treh različnih temperaturah orodja, in sicer 70 °C, 80 °C in 90 °C, vse s časom hlajenja 20 s. Vzorce nabrizganih izdelkov smo pripravili enako kot vzorce iz granulata, kot vzorčno mesto na zobniku smo si izbrali vrh zoba.

3.2 Metoda

Z množico testov po principu metode na sliki 1, ki se med seboj razlikujejo v segmentu, s katerim simuliramo kristalizacijo v orodju, kot rezultat vrednotenja segmenta za karakterizacijo dobimo popisane relativne stopnje kristaliničnosti v izbranem temperaturnem in časovnem območju temperiranja orodja in časa hlajenja.



Slika 1: Flash DSC metoda

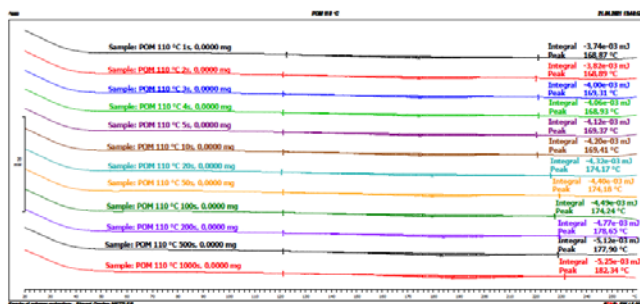


Slika 2: Vzorci – brizgani zobniki in granulata

Glede na relativno stopnjo kristaliničnosti, stremimo k čim višji, ki jo omogoča narava procesa, da je le ta kar se da učinkovit, saj z večjo stopnjo kristaliničnosti znižamo notranje napetosti v izdelku, mu povečamo trdnost in togost, toplotno obstojnost ter povečamo geometrijsko stabilnost.

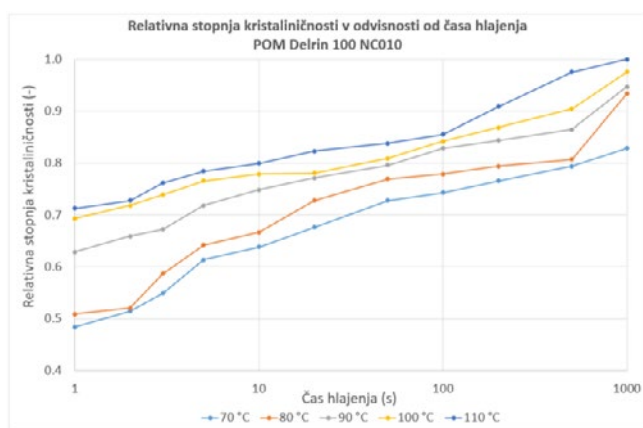
4 REZULTATI IN DISKUSIJA

S Flash DSC smo izvedli zaporedje testov, ki so simulirali pogoje, ki jim je material podvržen pri brizganju. Na sliki 3 so predstavljeni Flash DSC termogrami simulacije za temperaturo orodja 110 °C pri vseh izbranih časih hlajenja. Talilna entalpija vzorca, ki je kristaliziral 1000 s pri 110 °C je bila najvišja od izmerjenih in je služila kot referenca za izračun relativnih stopenj kristaliničnosti vseh ostalih vzorcev.



Slika 3: Flash DSC termogrami simulacije za temperaturo 110 °C pri različnih časih hlajenja

Dobljene relativne stopnje kristaliničnosti smo združili v graf na sliki 4, ki povzema rezultate vseh testov zajetih v optimizacijo v odvisnosti od časa hlajenja.

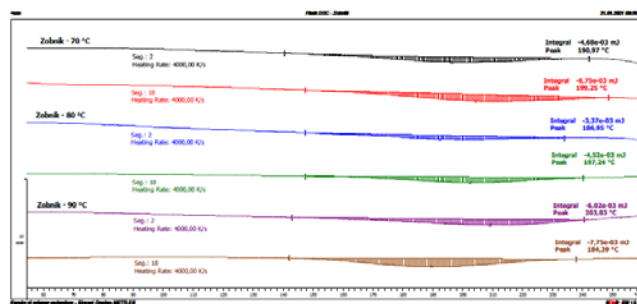


Slika 4: Rezultati simulacije brizganja POM

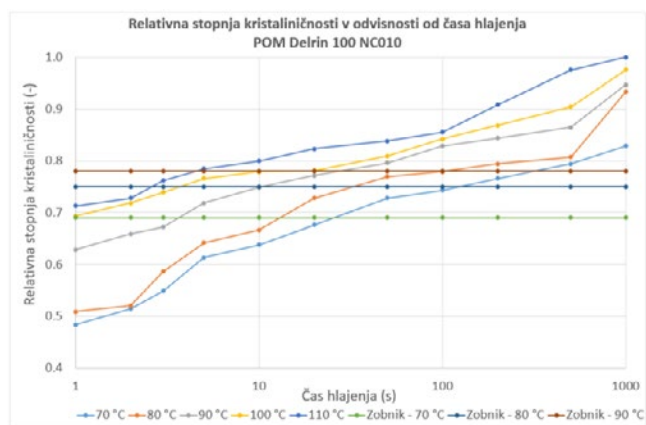
POM je eden od termoplastov, ki kristalizirajo najhitreje, kar sovпада z rezultati simulacije, saj že pri minimalnih simuliranih časih hlajenja pri vseh temperaturah, dosežemo visoke relativne stopnje kristaliničnosti, pri 70 °C 48 %, pri 110 °C pa kar 71 %. V časih ohlajanja do 5 s, ugotovimo, da pri temperaturah orodja 70 °C in 80 °C material kristalizira še relativno počasi, znaten preskok, ko se hitrost poveča v tej fazi opazimo, ko dvignemo temperaturo orodja na 90 °C, z dvigom temperature na 100 °C se hitrost kristalizacije v tej fazi še dodatno dvigne, medtem ko se pri dvigu temperature na 110 °C v začetni fazi hitrost kristalizacije le še minimalno poveča, razlika pa se v naslednji fazi pri času hlajenja od 10 s do 50 s, ki se največkrat uporablja v realnem okolju, večja. Rezultati so

skladni s teorijo hitrosti kristalizacije, ki jo določata nukleacija in rast kristalov. Pri nižjih temperaturah k hitrosti doprinese več nukleacija, pri višjih pa rast kristalov, med njima je pa področje, kjer je kristalizacija nekoliko počasnejša, glede na rezultate simulacije je to pri POM pri temperaturi 100 °C.

Na sliki 5 so predstavljeni Flash DSC termogrami brizganih vzorcev zobnikov s pripadajočimi referenčnimi krivuljami za izračun relativne stopnje kristaliničnosti. Na sliki 6 so izmerjene relativne stopnje kristaliničnosti zobnikov dodane v graf za primerjavo z rezultati simulacije. Sladno z rezultati simulacije ugotavljamo, da bi bila optimalna temperatura orodja za brizganje zobnikov 110 °C s časom hlajenja med 20 s in 50 s. Če direktno primerjamo parametre, s katerimi so bili zobniki nabrizgani in primerljive parametre v simulaciji, ugotovimo, da material v realni aplikaciji pri vseh treh temperaturah doseže višjo relativno stopnjo kristaliničnosti, kar pomeni, da bi za doseganje stopnje kristaliničnosti primerljive s simulacijo lahko čas hlajenja ustrezno skrajšali, tako bi posledično dvignili učinkovitost procesa. Pri temperaturi orodja nastavljeni na 90 °C dosežemo relativno stopnjo kristaliničnosti primerljivo s simulirano temperaturo orodja 100 °C, kjer smo ugotovili, da POM kristalizira počasneje. Zato je glede optimiranja procesa brizganja pri času hlajenja bolj smotno, da izbiramo med temperaturo orodja 90 °C, kjer glede na 100 °C prihranimo pri energiji za temperiranje medtem ko je relativna stopnja kristaliničnosti nižja le 1 %, in 110 °C, kjer dosežemo 4 % višjo relativno stopnjo kristaliničnosti.



Slika 5: Flash DSC termogrami brizganih izdelkov



Slika 6: Rezultati simulacije in praktičnega primera

5 SKLEP

Flash DSC se je izkazala kot uporabna metoda za optimizacijo brizganja termoplastov, v našem primeru POM. Sam POM je kljub visokim hitrostim segrevanja in ohlajanja, ki jih omogoča metoda Flash DSC predstavljal izziv za študijo, saj zelo hitro kristalizira, temu primerno je bilo potrebno prilagoditi hitrosti segrevanja in ohlajanja vzorca materialu specifično, da smo dobili ustrezne izhodne podatke. S tem so skladni tudi rezultati optimizacije brizganja, saj je že najmanjša izmerjena relativna stopnja kristaliničnosti, ki smo jo določili pri simulaciji temperature orodja 70 °C in času hlajenja 1 s kar 48 % maksimalne. V območju časov hlajenja do 5 s pri 70 °C in 80 °C material kristalizira znatno počasneje, kot pri višjih temperaturah. V območju časa hlajenja povprečnega ciklusa (od 10 s do 50 s) pri brizganju material pri 100 °C, glede na višjo in nižjo temperaturo hlajenja, kristalizira relativno počasi, zato je v odvisnosti od izdelka, bolje izbrati nižjo temperaturo in prihraniti pri energiji ali višjo temperaturo in dvigniti stopnjo kristaliničnosti ter posledično izboljšati mehanske lastnosti izdelka.

S testiranjem brizganih zobnikov, smo ugotovili, da je optimalna temperatura brizganja POM pri času ohlajanja uporabljenem na praktičnem primeru 110 °C, nam pa v realnem okolju material kristalizira hitreje kot na Flash DSC, kar pomeni, da bi za doseganje primerljive stopnje kristaliničnosti s simulacijo v realnem

okolju skrajšali čas cikla, kar vodi do večje učinkovitosti procesa.

Viri:

- [1] Schick, C, Mathot, V.: *Fast Scanning Calorimetry*, Springer, Switzerland, 2016.
- [2] Bolka S., Bertoneclj L., Kocbek R., Rozman T., Lorber R., Pešl T., Bobovnik R., Wilhelm T.: Optimizacija brizganja PA 66 GF35 s Flash DSC, *Industrijski forum IRT – VIR ZNANJA IN IZKUŠENJ ZA STROKO* 11(2019), str. 117–122.

Prispevek »OPTIMIZACIJA BRIZGANJA POM Z METODO FLASH DSC« je nastal v okviru razvojno-raziskovalnega projekta Mapgears: »Napredni materiali, metodologije in tehnologije za razvoj lahkih komponent za prenos moči v pogonski tehniki«, sofinanciranega s strani Republike Slovenije, Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport ter Evropske Unije, Evropski sklad za regionalni razvoj.

UNIOR SLEDI TRENDOM ELEKTRO-MOBILNOSTI IN AVTOMATIZACIJE V AVTOMOBILSKI INDUSTRIJI

Bogdan KUKOVIČ
UNIOR Strojgradnja

1. SVETOVNI TRENDI IN POLITIČNI TER OKOLJEVARSTVENI PRITISKI VSE BOLJ PODPIRAJO ELEKTROMOBILNOST.

Za sledenje tem trendom je avtomobilska industrija močno zakorakala v korenite spremembe, ki bodo krojile razvoj v naslednjih desetletjih. Unior Strojgradnja se kot dolgoletni proizvajalec specialnih strojev, predvsem za proizvajalce OEM in Tier 1 v avtomobilski industriji, hitro in uspešno prilagaja novim izzivom in potrebam hitro razvijajočega se trga.

Elektromobilnost prinaša disrupcijo na trgu strojgradnje za avtomobilsko industrijo. Leta 2019 je bilo opazno znatno znižan obseg naložb v nove proizvodnje linije za motorna vozila. Razlogi za takšno ravnanje avtomobilске industrije je mogoče razložiti kot težavnost strukturnega prehoda iz motorja z notranjim zgorevanjem na električno energijo. Proizvodne linije se morajo prilagoditi novim zahtevam električne mobilnosti, ne da bi pri tem zanemarili motor z notranjim zgorevanjem.

Za mnoge končne kupce se zdi vstopna cena električnega vozila še vedno previsoka. Poleg tega je infrastruktura za polnjenje baterij šibka in nepriljubljena. Razmere so leta 2019 poslabšale svetovne politične napetosti, zlasti trgovinska vojna med ZDA in Kitajsko.

Prav tako elektromobilnost prinaša manjšo kompleksnost izdelave. Avtomobil z motorjem z notranjim zgorevanjem ima na tisoče delov pogonskega sklopa, medtem ko jih ima električni avtomobil le nekaj sto. Drugi deli so manj

zapleteni. Na primer, menjalnik je bistveno poenostavljen. Običajno obstaja samo en menjalnik. Tako ni več potrebe po zapletenih zobnikih. Električna vozila imajo v primerjavi z motorjem z notranjim zgorevanjem približno 60 % manjši obseg odstranjevanja kovin.

Slika 1: Obdelava kosa



Za sledenjem tem trendom je v strojegradnjah ključna hitra adaptacija in razvoj optimalnih rešitev. V Unior Strojegradnja tako k svoji dosednji ponudbi strojev za globoko vrтанje in posebnih namenskih obdelovalnih strojev dodajmo še

1.1. STROJE ZA OBDELAVO BATERIJSKIH OHIŠIJ

Stroj je zasnovan za strojno obdelavo okvirjev baterij za električna vozila in je primeren za obdelavo velikih obdelovancev z dimenzijami > 2000 x 1500 mm ter ima dve vertikalni obdelovalni vreteni s petimi neodvisnimi osmi. Stroj je opremljen z vodoravno vpenjalno mizo, nameščeno na vzdolžni drsnik - os Y z linearnim pogonom. Na fiksnem portalu je nameščena prečna os X z dvema vertikalnima rezkalnima osema Z1 in Z2. Na vsaki od obeh osi Z, je nameščeno posebno rezkalno vreteno z dvema držaloma za orodje, ki sta nameščena na navpično vrtljivo os C in vodoravno os A. Rezkalni vreteni za čelno rezkanje sta na posebnem vretenu nameščeni pod kotom 180 stopinj, pri uporabi pa se namestita z zasukom osi A ter C za postopek rezkanja.

1.2. 2/3/4-VRETENSKE OBDELOVALNE CENTRE SERIJE TANDEM ECO

Vertikalni obdelovalni centri TANDEM ECO so po hitrosti, dinamiki, kompaktni konstrukciji, stabilnosti in zanesljivosti med najboljšimi obdelovalnimi stroji v svojem razredu. Serija ECO, ki ima dovolj moči za visoko zmogljivost rezkanja, je na voljo v izvedbi z dvema, tremi,

štirimi vreteni ali več profili, odlikujejo pa jo naslednje značilnosti: Zanesljivo visoka produktivnost, najvišja natančnost in kakovost obdelave, minimalne prostorske zahteve, hitra priprava, preprosto upravljanje, visoka stabilnost, visoka dinamika in enostavno vzdrževanje. Zaradi modularne strukture in številnih možnosti konfiguracije je mogoče vsak osnovni stroj serije ECO kombinirati in tako zagotoviti popolnoma prilagojeno rešitev.

Vaše prednosti s serijo Tandem ECO: Visoka natančnost in zmogljivost rezanja ter visoka razpoložljivost stroja in nižji stroški na kos.

1.3. UNIVERZALNE OBDELOVALNE CENTRE

Serija Tandem so obdelovalni centri, primerni za visoko produktivnost in velikoserijsko proizvodnjo. Z neodvisnim vretenom na oseh X, Y, Z in B lahko obdelata tudi najbolj natančne obdelovance. Modularna zasnova zagotavlja visoko stabilnost, stalno natančnost in visoko produktivnost. Zalogovnik za menjavo orodja z 72 ali 112 orodji. Obdelovalni centri serije Tandem omogočajo obdelavo visoko natančnih obdelovancev, zrcalnih obdelovancev, s prilagodljivimi NC X, Y, Z in B osmi omogočajo enostavno prilagoditev na nove drugačne kose.

Slika 2: Ponudba za področje elektromobilnosti



2. DIVERZIFIKACIJA PONUDBE

Hkrati s ponudbo strojev pa v Uniorju širimo ponudbo na področju avtomatizacije in montažnih strojev, katero smo predhodno ponujali le kot del Turn-Key rešitev.

Sodobna tehnologija spreminja svet in ustvarja priložnosti, ki jih še pred desetletjem ni bilo na voljo. V proizvodnji na primer internet stvari in povezane naprave povečujejo preglednost razvojnega procesa. Tehnologija omogoča tudi vodjem in nadzornikom obratov, da natančno pregledajo delovanje, kar vodi večje obvladovanje procesov

Ker učinkovitost in produktivnost postaneta osrednji cilj številnih tovarn in obratov, v središče pozornosti stopita avtomatizacija in napredna robotika. Večina avtomatiziranih strojev in orodij lahko deluje na optimalni ravni ter izboljša delovne pogoje za tiste, ki v takšnih obratih preživijo največ časa. Roboti lahko prevzamejo rutinska opravila in s tem sprostijo človeške delavce za bolj zanimive naloge. Uporabljajo se lahko tudi namesto ljudi pri nevarnih ali tveganih nalogah.

Z svojo delno ali popolno avtomatizacijo zagotavljamo optimalne rešitve manipulacije obdelovancev, s katero zagotavljamo večji izkoristek proizvodnih procesov, večjo zanesljivost delovanja in zmanjšanje cene proizvedenega obdelovanca. Zato v svojem segmentu rešitev na področju avtomatizacije nudimo:

2.1. ROBOTSKO POBIRANJE (BIN PICKING)

Robot s senzorji in kamerami pobere znane predmete z naključnimi položaji iz zabojnika z uporabo sesalnega prijemala, vzporednega prijemala ali druge vrste robotskega končnega efektorja.

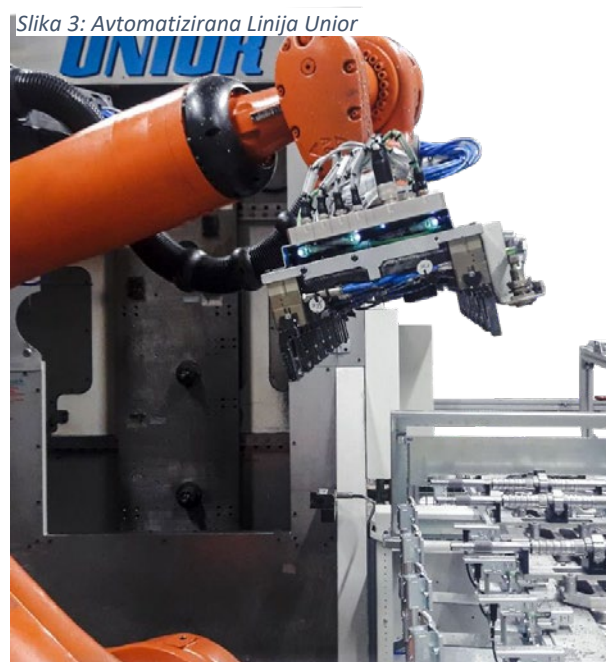
2.2. MERILNE POSTAJE

Del naših rešitev na ključ in avtomatizacije procesov so tudi merilne postaje, katerih namen je kos pred obdelavo pravilno pomeriti za odstopanja

ter informacije posredovati v strojev PLC, da se prilagodi obdelava.

2.3. VPENJALNE PRIPRAVE

Namen vpenjalne naprave je postaviti in držati enega ali več obdelovancev v določenem položaju na območju obdelave pred delovanjem sil. Naše vpenjalne priprave so hidravlično zasnovane, vključujejo sisteme za nadzor vpenjanja in prisotnosti obdelovanca. Prav tako tudi nudimo vpenjanje z ničelno točko in pnevmatske vpenjalne priprave katere imajo nad hidravličnimi prednost v tem, da ni potrebnih posod za hidravlična olja odpade tudi drago tesnjenje. Odpadejo tudi posode za zajemanje olja.



2.4. VARILNE CELICE

Predhodno izdelana robotska varilna celica je zasnovana za varjenje določenih delov v določenem velikostnem območju. Predhodno izdelane celice imajo prednosti zaradi enostavne in hitre namestitve ter veliko nižjih začetnih stroškov, vendar imajo svoje omejitve glede vrste in velikosti delov, ki jih je mogoče variti.

2.5. MONTAŽNE LINIJE

Avtomatizirani montažni sistemi imajo različne vrste opreme za ravnanje z materialom, vključno z roboti, merilniki in senzorji, paletiranje,

odstranjevanje materiala, viziranje, označevanje, stiskanje, vtiskovanje, doziranje, barvanje ter pralne/sušilne celice. Te robotske montažne linije vključujejo vse postopke, ki so potrebni za zagotavljanje sestavljenega in pregledanega izdelka v hitrejšem in učinkovitejšem časovnem okviru.

2.6. NALAGALNI IN ODLAGALNI SISTEMI

Avtomatizirano robotsko nalaganje in odlaganje je izvedljiva rešitev za številna mala in srednje velika podjetja, saj so trenutni sistemi enostavni za upravljanje tudi za podjetja z minimalno proizvodnjo.

Avtomatizirani sistemi za strojno nalaganje in odlaganje imajo velike prednosti, kot so:

- zagotavljajo večjo zmogljivost, nalagajo in razlagajo dele z neprekinjeno hitrostjo in minimalnim vzdrževanjem.
- Optimalen potek procesa in boljša izraba časa operaterja.
- Obdelujejo lahko širok razpon velikosti delov, kar povzroča minimalne poškodbe izdelkov.
- Hitrejše in enostavnejše konfiguriranje brez predhodnega programerskega znanja, ki se prilagaja spremembam in zahtevam.
- Robotski sistemi so prilagodljivi in premestljivi za različne spremembe procesov v prihodnosti.

2.7. ROBOTSKO POSNEMANJE SRHA

Ena od neposrednih prednosti robotskega odstranjevanja napak je, da je postopek veliko varnejši. Nesreče na delovnem mestu so drage. Roboti to tveganje zmanjšujejo. Še pomembneje pa je, da se z njim dosledno ustvarja kakovostnejši

del. Roboti so odlični pri opravljanju enakih nalog znova in znova, ne da bi pri tem odstopali od vnaprej določenega poteka. To omogoča izjemno natančnost, kakovost in doslednost pri odstranjevanju napak.

2.8. OPTIMIRANJE TAKTNEGA ČASA

Taktni čas v predelovalni industriji pomeni povprečni čas, v katerem merska enota zapusti proizvodni proces. Z zmanjšanjem taktnega časa, v ta namen se izvedejo začetne analize robotov, krmilnikov in proizvodnih sistemov ter opredelijo in izvedejo ukrepi za optimizacijo in načrti popravkov.

2.9. DMC LASERSKO ZAPISOVANJE

Zagotavljanje popolne in nedvoumne sledljivosti sestavnih delov, pomembnih za varnost, ob hkratnem ohranjanju učinkovitosti proizvodne linije je eden glavnih izzivov v avtomobilski proizvodnji. Graviranje na talini z označevalnimi laserji CO2 ponuja preprosto rešitev za označevanje plastičnih sestavnih delov: trajne strojno berljive laserske oznake za sledenje, kot so črkovno-številčne kode, je mogoče uporabiti v najkrajšem času označevanja in v najvišji kakovosti.

Slika 4: Unior Strojgradnja



Svetovni trendi in politični ter okoljevarstveni pritiski vse bolj podpirajo elektro mobilnost. Za sledenje tem trendom je avtomobilska industrija močno zakorakala v korenite spremembe, katere bodo krojile razvoj v naslednjih desetletjih. Unior Strojegradnja se kot dolgoletni proizvajalec specialnih strojev, predvsem za proizvajalce OEM in Tier 1 v avtomobilski industriji, hitro in uspešno prilagaja novim izzivom in potrebam hitro razvijajočega se trga.

Elektro mobilnost prinaša disrupcijo na trgu stroj/egradnje za avtomobilsko industrijo, ker so električna vozila zgrajena iz manj premikajočih se komponent v primerjavi z vozili z motorjem z notranjim izgorevanjem, pojavljajo pa se nove komponente, za katere je potrebno razviti nove tehnološke rešitve in proizvodne procese.

Za sledenjem tem trendom je v strojegradnjah ključna hitra adaptacija in razvoj optimalnih rešitev. V Unior Strojegradnja tako k svoji dosedanji ponudbi strojev za globoko vrtnanje in posebnih namenskih obdelovalnih strojev dodajmo še **stroje za obdelavo baterijskih ohišij, dvo-vretenske obdelovalne centre za kose večjih dimenzij in univerzalne obdelovalne centre.**

Hkrati s ponudbo strojev pa v Uniorju širimo ponudbo na področju avtomatizacije in montažnih strojev, katero smo predhodno ponujali le kot del Turn-Key rešitev za naše stroje. Z našo delno ali popolno avtomatizacijo zagotavljamo optimalne rešitve manipulacije obdelovancev, s katero zagotavljamo večji izkoristek proizvodnih procesov, večjo zanesljivost delovanja in zmanjšanje cene proizvedenega obdelovanca.

Nudimo naslednje rešitve na področju avtomatizacije:

- Robotsko pobiranje (bin-picking) majhnih in srednjih ne-sortiranih obdelovancev,

- Pobiranje kosov iz vibracijskih enot ali transportnih trakov
- Posluževanje NC obdelovalnih strojev in drugih proizvodnih procesov
- Izvedba transportov obdelovancev z različnimi transportnimi sistemi
- Integracija različnih proizvodnih procesov v transportni sistem (pranje, izpihi, lasersko zapisovanje kosov, kontrola in merjenje obdelovancev s kamero ali stično,...
- Montažne linije s sistemi nadzora in merjenja sil,...
- robotsko posnemanje srha, itd.

UNIOR SLEDI TRENDOM ELEKTRO-MOBILNOSTI IN AVTOMATIZACIJE V AVTOMOBILSKI INDUSTRIJI

Svetovni trendi in politični ter okoljevarstveni pritiski vse bolj podpirajo elektro mobilnost. Za sledenje tem trendom je avtomobilska industrija močno zakorakala v korenite spremembe, katere bodo krojile razvoj v naslednjih desetletjih. Unior Strojegradnja se kot dolgoletni proizvajalec specialnih strojev, predvsem za proizvajalce OEM in Tier 1 v avtomobilski industriji, hitro in uspešno prilagaja novim izzivom in potrebam hitro razvijajočega se trga.

GET RID OF ISSUES DURING MOLDING PROCESS BY USING NEW DIMENSION OF MOLD TEMPERATURE MANAGEMENT

Cem Baris ÖZGÜVEN, Jörn SENGELAUB
CONTURA-MTC GmbH

EXTRACT

Injection moulding sector has a lot of restriction about productivity, quality, secondary process necessity etc. for plastic parts. The main point of the all are mould temperature management. Perfect mould temperature management gives permission to produce perfect condition parts. To having perfect mould temperature management way is using conformal cooling technology which means contour following cooling/heating channels equipped mould. Conformal cooling technology give a lot of benefits as well as reducing cycle time, better dimensional stability, better mechanical property and longer life time of final product. On the other hand, Conformal cooling technology gives to chance to use Rapid Heat & Cool technology on injection moulds. Nowadays painted parts are becoming more popular in the market which are automotive, white goods and electronical sectors. With the application of Rapid Heat & Cool process, paint elimination, better dimensional stability has been made very successfully until now.

1 INTRODUCTION

Basically, every mould is a heat exchanger. Efficiency or capability of heat exchangers mostly depend on engineering design on injection mould. Quality and cost efficiency in the plastic injection process depend significantly on the heat transfer quality between the mould surface and the molten material. Therefore, an optimum temperature profile on the mould surface is needed to achieve low cycle time and high part quality.

Cooling time is inefficient / lost time in the plastic injection process, so a small improvement in cooling time will directly increase efficiency. Conventionally designed cooling channels prevent using this potential, resulting in long cycle times and low part quality. But CONTURA® MTC technology overcomes all these limitations of conventional cooling. With CONTURA® MTC technology, the cycle time decreases by an average of 30%, and the following properties are also improved thanks to the optimum temperature profile provided on the mould surface.

2 THE IMPORTANCE OF MOULD TEMPERATURE MANAGEMENT

Mould temperature management is quite important for injection moulds. Because driven factor is mould surface temperature for the:

- Cooling time
- Surface quality
- Dimensional stability
- Mechanical property
- Production sustainability
- Life time of production
- Maintenance performance

All of these factors show, mould temperature should be taken care by the producer carefully. First decision might be what will be necessary for best temperature management.

2.1 Conformal Cooling

Conformal Cooling means contour following cooling/heating channels using for injection moulds. That doesn't means that the cooling channel distance should be everywhere the same

but the distance should be calculated according to part thickness and plastic material.

As CONTURA®-MTC which is a solution company offers you the best possible service related to temperature control optimisation of the injection mould. Even highly complex components can be realised with CONTURA® MTC as a leading company in the development of contoured temperature control concepts.

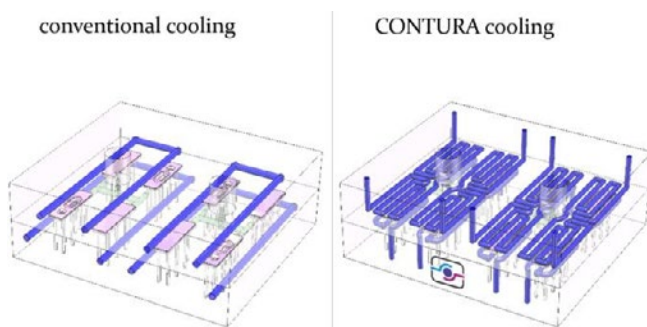


Fig. 1: Comparison of Conventional Cooling and Conformal Cooling

With CONTURA®-MTC Conformal Cooling Inserts are crucial for a lot of advantages.

These are:

- Cycle Time Reduction
- Better Dimensional Stability
- Better Mechanical Properties
- Reduction of mould correction loops
- Improvement of the process stability



Fig. 2: Conformal Cooling Channels Design

As well as CONTURA®-MTC provide Conformal Cooling Solution for Rapid Heat &

Cool (Variotherm) Process including mould inserts and Variotherm device.

2.2 Rapid Heat & Cool

Rapid Heat & Cool means before injection phase heating up of the cavity or visual side of the mould after volumetric filling of the cavity, switch to cooling water through water channels until end of the cooling phase that needs for ejection of the plastic part.

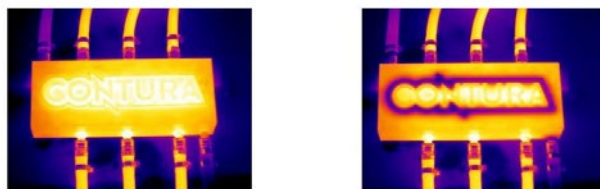


Fig. 3: Thermal Photo of Heating and Cooling Phase of the mould insert

The reason of using warmer cavity during injection phase is for:

- Less flow lines and silver streaks will appear
- More homogeneity in glass fiber distribution will be achieved
- Less weld or knit-lines will appear;
- Lower the risk for warpage caused by uneven shrinkage
- Better mechanical properties of the product
- Less sink marks will appear far from the gate



Fig. 4: Comparison of Rapid Heat & Cool and Conventional Molding

To have a better Rapid Heat & Cool Process, Injection moulds need to have conformal cooling.

The formula shows the reaction of the mould by switching the temperature of the coolant. According to this equation the most critical factor is the vertical distance between mould surface and cooling channels which means cooling channel design will be more critical that compares with conventional injection moulding process.

$$\tau_m = \frac{\rho_m c_m l_m^2}{K_m} \left(1 + \frac{2WK_m}{h\pi D l_m} \right)$$

ρ_m is the mold density c_m is the mold specific heat
 l_m is the vertical distance from conformal channels to mold wall
 K_m is the mold thermal conductivity

3 CONCLUSIONS

Most of injection moulding process using inefficient cooling system. Obviously, it shows us part producer under estimate the hidden potential of cooling system. 20 years experienced tells us, averagely %30 saving from the cycle time which means %50 of cooling time in total.

Furthermore, there is huge improvement on part quality with using Rapid Heat & Cool into the process. With this technology part producer can get rid of secondary process like painting.

In conclusion, using conformal cooling will dramatically increase productivity and decrease scrap rate and inefficient production time which helps to be able to have higher benefits and a big positive impact for environment. Saving the environment is already biggest discussion on the plastic industry and it will be the driven factor for plastic sector in future.

- [1] Özgüven. C.B.: *Comparison of conventional plastic injection molding process and plastic injection molding process with rapid heat and cool technology*, Turkey, 2020.
- [2] Richard Läßle, Tübingen, Konturnah und variotherm: Die beiden Schlüssel für hochwertige Kunststoffbauteile in a magazine, *VDWF im Dialog* ISSN 1860-4935, 26-29
- [3] Main web-page of Contura-MTC GmbH <https://www.contura-mtc.de>, (Visit date: 20 April 2021)
- [4] „Rapid thermal cycling with low thermal inertia tools“; Robert X. Xu, Department of Biomedical engineering, Ohio State University, Columbus Ohio 43210; Emanuel Sachs, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge Massachusetts 02139

References:

INOVATIVNI RAZVOJ IN IZDELAVA KOMPLEKSNEGA PROGRESIVNEGA ORODJA ZA SERIJSKO PROIZVODNJO POLIZDELKOV IZ VISOKO TRDNOSTNE PLOČEVINE Z INTEGRIRANIM VALJANJEM NAVOJEV

Marko KLINC, Marko LAH, Miha LEBIČ, Elvis NUHANOVIČ,
Gorenje Orodjarna, d. o. o.

IZVLEČEK

Inovativni pristopi pri razvoju orodja so omogočili izdelavo orodja, ki je v primerjavi s predhodnimi višje produktivno in omogoča avtomatsko izdelavo polizdelkov. Porabljena pločevina na enoto polizdelka je manjša za 38%, manjša je tudi porabljena energija. Jedro izziva je bila izdelava t.i. vratov z valjanjem navojev v orodju, ob dejstvu, da je uporabljena visoko trdnostna pločevina. Polizdelka sta opredeljena kot varnostna elementa v avtomobilu, kar še poveča zahtevnost projekta

Innovative approaches in the development of the tool have made it possible to produce tool that is more productive in comparison with the previous ones and enables the automatic production of stamped parts. The consumed material per unit of stamped parts is by 38% lower. The core of the challenge was the manufacturing of "necks" by rolling of threads in the tool, because the high strength sheet metal was used. Stamped parts are defined as safety parts in the car, which further increases the complexity of the project.

1 UVOD

Gorenje Orodjarna ima dolgo tradicijo izdelave orodij za preoblikovanje pločevine. Začetki orodjarstva v Gorenju segajo v daljno leto 1953. Z ustanovitvijo podjetja Gorenja Orodjarna d.o.o. kot samostojne pravne osebe v letu 1993 smo se intenzivneje podali na zahteven trg avtomobilske industrije, kjer smo od takrat utrdili položaj zanesljivega proizvajalca najzahtevnejših orodji za strukturne dele avtomobilov.

Od devetdesetih let prejšnjega stoletja je avtomobilska industrija uporabljala predvsem jeklo kot surovino za avtomobilsko ohišje. Drastično zniževanje skupne mase vozila je prisililo jeklarsko industrijo, da je razvila nove konkurenčne materiale. Rezultat tega so bila visoko trdnostna (HSLA) jekla z večjo trdnostjo in končno v zadnjih letih različna napredna visoko trdnostna (AHS) jekla z visoko in ultra visoko trdnostjo.^[1]

Z namenom zmanjševanja mase in povečanja varnosti avtomobilov se je skozi leta povečeval delež uporabe visoko trdnostnih pločevin v avtomobilih, hkrati se je število delov zmanjšalo, vendar pa so postali še bolj kompleksni.

Gorenje Orodjarna je skupaj z ostalo slovensko in svetovno orodjarsko industrijo sledila in še sledi tem trendom.

Vedno večja globalna konkurenca, zaostrovanje plačilnih pogojev in drugi momenti so nas spodbujali k širšemu razmišljanju. Tako je dozorela odločitev vstopa podjetja na trg serijske proizvodnje komponent.

Kot vsak drugi segment je tudi ta segment industrijske proizvodnje podvržen globalni konkurenci in je zasičen. Potencialni kupec je imel precejšnje težave s proizvodnjo in pravočasno dobavo izdelkov, kar smo obrnili v korist podjetja ter kupcu zagotovili izdelavo zanesljivega orodja in kasnejšo serijsko izdelavo izdelkov z nižjimi proizvodnimi stroški.

S tem smo bili postavljeni pred izziv, da razvijemo orodje za serijsko proizvodnjo dveh zahtevnih izdelkov iz visoko trdnostne pločevine. Na prvi pogled je šlo samo še za en nov projekt v množici drugih, izkazalo pa se je, da je bil to eden izmed bolj kompleksih projektov podjetja.

Smernice razvoja v avtomobilski industriji se nagibajo k večji varnosti in udobju voznika ter potnikov, novim materialom s povišano trdnostjo pri izdelkih iz pločevine, novim tehnologijam in kompleksnejšim oblikam. Ključnega pomena je doseči zahtevano kakovost, stabilnost in

ponovljivost procesa in druge naročnikove zahteve.

2 RAZVOJ IN IZDELAVA ORODJA

Sprejeli smo izziv za izdelavo orodij za več polizdelkov za znanega evropskega proizvajalca avtomobilov.

Za izdelavo dveh nesimetričnih izdelkov, levega in desnega izdelka, je kupec do takrat uporabljal dva orodja in dodatne delovne postaje, kjer so se v ročnem režimu izdelovali navoji, kar je podaljševalo čas proizvodnje izdelkov in predstavljalo veliko kakovostno težavo oz. ozko grlo kupca.

Še večja težava je bilo doseganje kakovosti izvlečenega vratu in nosilnost navoja. Poleg tega je izdelek opredeljen kot varnoten element v avtomobilu. Zato so kakršnakoli odstopanja od zahtevane kakovosti delov, popolnoma nedopustna.

2.1 Izdelava vratov

Dolgoletne izkušnje v razvoju orodij za izdelke iz pločevine, tudi visoko-trdnostne, so bile osnova pri snovanju postopka preoblikovanja, v našem strokovnem žargonu uporabljamo kar izraz metoda.

Prišli smo do zaključka, da lahko z združenjem dveh nesimetričnih izdelkov, levega in desnega izdelka, ter z ustrezno postavitvijo letih v orodju veliko prihranimo pri porabi materiala.

Vsak izmed izdelkov ima izvlečen vrat, v katerega je potrebno izdelati navoj. Izvlečen vrat mora biti dovolj visok, debelina materiala na vratu mora biti dovolj velika, da prenese ustrezno nosilnost. Prav tako mora vijak, kateri se kasneje privije v ta vrat, prenesti zahtevan moment pred porušitvijo.

V predhodnih orodjih kupca tega niso zagotavljali, zahtevana višina, debelina vratu in nosilnost vijaka je bila pod spodnjo tolerančno mejo.

Gorenje Orodjarna je izdelala veliko izdelkov, pri katerih smo morali za izdelavo vratu najprej nakrčiti material v področje vleka vratu. V tem postopku se skozi več operacij, lahko tudi več kot 25, iz okolice vratu zagotovi dovolj materiala, da

se potem pri izvleku dobi dovolj globok in ustrezno debel vrat. Za takšno izdelavo je potrebna zelo precizna in ustrezna razporeditev vlekov.

Pri razvoju orodja so razvojniki izhajali predvsem iz preteklih izkušenj in znanj. Zagotovo lahko napišemo, da smo s pogumnimi rešitvami in inovativnostjo konstrukterjev uspešno implementirali omenjen projekt, saj še nikoli nismo izdelovali tako zahtevnega vratu v tako zahtevni visoko-trdnostni pločevini. Omejeni smo bili tudi s številom možnih operacij/postaj za izdelavo ter z velikostjo samega orodja, katerega je pogojevala velikost stiskalnice, katero imamo v podjetju. Dodatna omenitev je bila še sila, katero stiskalnica lahko zagotavlja.

Z obzirom na vse te okoliščine, se je začela razvijati metodologija izdelave. Preučenih je bilo veliko in način, izdelane so bile številne MKE numerične simulacije. Vložen trud je prinesel sadove in vsaj v virtualnem okolju smo prišli do ustreznih rešitev, vendar zelo »na meji«.

V praksi se je že večkrat izkazalo, da je zelo težko ustrezno popisati vse parametre iz prakse in jih ovrednotiti v programu za simulacije preoblikovanja pločevine. Zato smo se odločili, da našo najboljšo rešitev preizkusimo tudi v prototipnem načinu.

Praktičen preizkus, je v večini potrdil rešitve, kljub temu pa pokazal na še nekatere manjše pomanjkljivosti, katere smo popravili in dokončno potrdili metodologijo izdelave v orodju.

Prototipni način izdelave vratu v zgodnjih fazah razvoja je bil zelo pomemben tudi za našega kupca. Dobil je namreč potrditev, da smo na dobri poti, s tem pa se je tudi dokončno potrdilo naročilo za orodje in kasnejšo serijsko izdelavo izdelkov. Preizkus v praksi je bil zelo pomemben še zaradi enega razloga, katerega se bomo dotaknili v nadaljevanju.

Preoblikovanje visoko trdnostne pločevine, predvsem izvlek vratov terja ustrezno zaščito pred obrabo. Dodaten izziv lahko nastane pri segrevanju orodja zaradi preoblikovanja pločevine. V našem primeru smo izbrali PVD prevleko (Ti,Al)N, katera je primerna za zaščito orodij za hladno preoblikovanje, ki delajo pri velikih obremenitvah. Na površini prevleke se pri povišani temperaturi tvori pasivacijska oksidna plast, ki ima majhno toplotno prevodnost in preprečuje prenos toplote v orodje.^[2]

2.2 Izdelava navojev

V izvlečen vrat na izdelku je potrebno izdelati navoj, kateri je ključen pri uporabi polizdelka. Tako, da izzivov še ni bilo konec, pravzaprav smo si jih z razvojem višjega vratu ustrezne oblike naredili nove.

Kot je že bilo omenjeno, se je v predhodnem načinu izdelave obeh izdelkov navoj vrezoval ročno. Nepopolna oblika z velikim uvodnim radijem in precej stožčasto oblikovanim ter seveda nižjim vratom, je omogočila izdelavo navoja, kateri pa ni zagotavljal ustrezne nosilnosti.

Naša, če karikiramo popolna oblika, pa izdelavo navojev z vrezovanjem ni omogočala, saj rezilni svedri niso zmogli vrezovanja navojev v tako trdo pločevino, ob takšnih parametrih oblike vratu.

Vrezovanje navojev v orodju prav tako prinaša dodaten izziv odstranjevanja odrezkov, kateri nastajajo pri vrezovanju. Vsak tujek v orodju je zelo nezaželen, saj lahko poškoduje orodje in povzroči slabo kakovost izdelka ali celo izmet. Začeli smo iskati rešitve za nastalo situacijo. Potencialnim dobaviteljem avtomatskih enot za izdelavo navojev smo predstavili izziv. Prvi odzivi so našo zaskrbljenost samo še poglobili. Odgovor dobaviteljev je bil praktično enak: »Vrezovanje navojev v predstavljenem primeru je nemogoče.«



Slika 2: Neformalni marketinški logotip projekta

V opciji je bilo tudi valjanje navojev, pravzaprav je to preferenca pri izdelavi navojev v orodjih. Tudi tukaj so se pojavile iste težave z izvedljivostjo ter smo prejeli vrsto odgovorov dobaviteljev, da gre za nemogoče rešitve. Kljub temu eden izmed dobaviteljev ni takoj sprejel poraza. Premer vratu pri vrezovanju in valjanju navojev ni identičen. Z iskanjem rešitve na strani dobavitelja in vmesnem usklajevanju, smo po nekaj iteracijah prišli do skupnega odgovora, da bi valjenje navojev vendarle verjetno bilo možno tudi v avtomatskem režimu v samem orodju. Vendar je

vse skupaj zelo na meji in ni možno z gotovostjo to potrditi za polno funkcionalnost.

Naredili so se določeni preizkusi s prototipi, vendar to ni bilo dovolj veliko jamstvo, da bo v avtomatskem režimu vse potekalo brez težav.

V vmesnem času je bilo orodje že praktično skonstruirano in končni rok za zagon orodja nas je neizprosno priganjal. Mejno področje rešitev, katere smo uporabili pri izdelavi orodja, predvsem za izdelavo navoja nas je držalo v negotovosti. Kljub temu smo naredili odločen korak naprej in sprostili izdelavo orodja.

Pripravili smo spisek potencialnih težav in tveganj ter nabor rešitev in ukrepov za njih. Na to smo tudi opozarjali kupca ter ga s tem pripravili na morebitno odstopanje od visokih zahtev.

Sistematičen pristop iskanja rešitev v predstavljenemu izzivu, nam je dal zaupanje, da bo preizkus orodja uspešno izpeljan, kar se je na veliko olajšanje vseh vpletenih tudi zgodilo.

Po prvem preizkusu so bile potrebne še določene manjše korekcije, katere so pripeljale do optimalne izdelave izdelkov. Pomembno dejstvo je, da je zastavljen inovativen koncept deloval.

V tem projektu so bile združene dolgoletne izkušnje naših strokovnjakov na različnih nivojih, katere so pripeljale do celovite rešitve, katera je zadovoljila kupca in nam omogočila vstop v serijsko proizvodnjo komponent.

3 IZ ORODJARSTVA V SERIJSKO PROIZVODNJO

Z razvojem in izdelavo kompleksnega orodja je podjetje dobilo status razvojnega dobavitelja za razvoj in izdelavo inovativnega orodja za preoblikovanje pločevine pri novem kupcu, ter tako ustvarilo dobre in realne pogoje za povečanje sodelovanja tudi v prihodnje. Rešitve v progresivnih orodjih, katere smo uporabili pri tem projektu, ponujamo vsem našim kupcem. Z znanjem, ki smo ga pridobili in z uvajanjem inovativnih tehnoloških rešitev, smo pridobili konkurenčno prednost pred drugimi dobavitelji, saj se podjetje Gorenje Orodjarna zaveda, da se je v zadnjih letih spremenil poslovni model pridobivanja novih projektov oz. kupcev. Kupci iz avtomobilske industrije iščejo podjetja, ki dolgoročno lahko zagotovijo proizvodne

kapacitete in se hitro odzivajo na njihove zahteve ter lahko ponudijo učinkovite rešitve.

Uspešna realizacija pilotnega projekta serijske proizvodnje podjetju zagotovila nadaljnjo rast na segmentu serijske proizvodnje in je odlična referenca tudi na področju orodjarstva. Podjetje Gorenje Orodjarna ima s končnim kupcem podpisano dolgoročno pogodbo za dobavo polizdelkov (do leta 2025), kar prispeva k stabilizaciji likvidnostnega toka.

Glavne prednosti oz. koristi inovacije za podjetje Gorenje Orodjarna so pridobitev konkurenčne prednosti pred drugimi podjetji. Inovacija je pomembna referenca, ki omogoča podjetju pridobivanje novih poslov z obstoječimi in novimi kupci, saj smo potrdili in obdržali status razvojnega dobavitelja orodij. Nenehno sledenje razvoju novih tehnologij in iskanje inovativnih rešitev je moto in ključ do uspeha podjetja. Z razvojem tovrstnega orodja smo dobili priložnost za razvoj kompetentne ekipe v podjetju, kar posledično dviguje motivacijo zaposlenih in spodbuja inovativnost zaposlenih.

Inovativno progresivno orodje je podjetje Gorenje Orodjarna razstavljalo na Mednarodnem industrijskem sejmu 2019 v Celju, za katerega smo prejeli ZLATO PRIZNANJE za izdelavo izredno zahtevnih kosov iz pločevine.

Prav tako smo na razpisu za inovacije pri GZS SAŠA regije leta 2019, dobili bronasto priznanje.



Slika 2: Razstavljeno orodje na Mednarodnem industrijskem sejmu v Celju leta 2019

3 TRAJNOSTNI UČINKI

Vpliv projekta na trajnostne učinke za podjetje Gorenje Orodjarna kot razvijalca, izdelovalca in uporabnika progresivnega orodja za serijsko proizvodnjo polizdelkov in končnega kupca kot lastnika progresivnega orodja in kupca polizdelkov, so izredno pomembni.

Inovativno progresivno orodje razbremeni zaposlene enoličnih operacij. Manipulacija polizdelkov pri izdelavi je avtomatizirana. Celoten sistem je narejen tako, da je poseganje v stiskalnico omejeno. S tem se močno zmanjša potencialno tveganje poškodb zaposlenih.

Z združitvijo in boljšo postavitvijo v orodju smo bistveno zmanjšali porabo materiala. Progresivno orodje je narejeno za avtomatsko delo, s katerim smo uspeli zmanjšati količino tehnološkega odpada in s tem pocenili proizvodnjo obeh polizdelkov. Prihranili smo kar 38% količine materiala na oba polizdelka, v primerjavi s preteklim načinom izdelave polizdelkov.

Zmanjšanje porabe energije zaradi manjšega potrebnega časa obratovanja stiskalnice. Res je, da je poraba energije na časovno enoto z novim orodjem nekoliko večja. Se pa bistveno zmanjša porabljen energija na proizvod, torej izdelek. Dodatni energetski prihranki so tudi zaradi manjše porabe energije, potrebne za transport izdelavnega materiala.

3 SKLEP

Dolgoletne izkušnje v orodjarstvu, aktivno spremljanje in sodelovanje pri razvoju na področju preoblikovanja visoko trdnostnih pločevin za avtomobilsko industrijo, poslovne povezave posameznikov in velika mera poguma, so botrovale k temu, da smo na trg serijske proizvodnje komponent uspešno vstopili prav na področju visoko trdnostnih pločevin. Takšna referenca v zahtevnem poslovnem svetu pomeni veliko. Zato verjamemo, da bo podjetje raslo še naprej in igralo pomembno vlogo pri implementaciji zahtevnih industrijskih projektov.

Viri:

- [1] T. Pepelnjak, M. Klinc, G. Gantar, K. Kuzman: Mastering the stamping of the steels with increased strength in Slovene toolmaking industry, ICIT, 2007
- [2] P. Panjan, M. Čekada: Zaščita orodij s trdimi prevlekami, Inštitut Jožef Stefan, 2005

PRESKOK IZ MIG/MAG VARJENJA V VISOKO PRODUKTIVEN 3D TISK KOVIN

Aljaž ŠČETINEC¹, Damjan KLOBČAR¹, Drago BRAČUN²

¹Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Laboratorij za varjenje

¹Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Laboratorij za proizvodno kibernetiko in eksperimentiranje

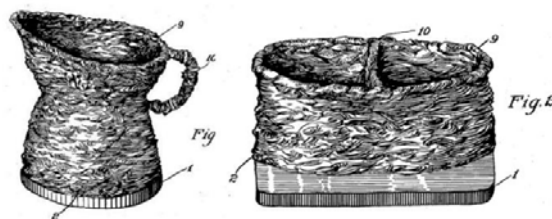
IZVLEČEK

Predstavljena je tehnologija 3D tiska kovin, osnovana na konvencionalnem varilskem postopku MIG/MAG (ang. Wire Arc Additive Manufacturing, WAAM). Glavni izzivi procesa so v doseganju geometrijske točnosti končnih izdelkov, stabilnosti in robustnosti procesa. Predstavljen je sistem za WAAM, ki je bil zasnovan v Laboratoriju za varjenje, skupaj z glavnimi nadgradnjami, ki so bile razvite za rešitev predstavljenih izzivov. Rezultati tekočih raziskav kažejo, da je za povečanje robustnosti in večjo geometrijsko točnost končnih izdelkov potrebno on-line krmiljenje procesa. Zagotavljanje ponovljive geometrije posameznih varkov se zagotovi z regulacijo medvarkovne temperature. Razvit sistem regulacije izniči kopičenje toplote v varjencu in s tem posedanje posameznih slojev in degradacijo geometrije končnega izdelka. Predstavljen je sistem za merjenje višine posameznega sloja prek električnih karakteristik obloka in prostega konca žice. Sistem omogoča ohranjanje konstantne razdalje med gorilnikom in varjencem tekom izdelave. Na koncu je predstavljen še sistem za adaptivno generacijo poti navarjanja. Razviti algoritem samodejno prepozna odstopanje višine izdelka od vhodnega CAD modela. Pot navarjanja prilagodi tako, da so dimenzije končnega izdelka v dobrem ujemanju z vhodnim CAD modelom.

1 UVOD

V strojništvu se v zadnjem času pogosto govori o aditivnih tehnologijah kovin. Te tehnologije omogočajo izdelavo izdelkov z nalaganjem materiala sloj za slojem, za razliko od konvencionalnih izdelovalnih tehnologij, ki temeljijo na odnašanju materiala [1]. Obločno navarjanje z žico (ang. WAAM - Wire and Arc additive Manufacturing) je aditivna tehnologija, ki temelji na že obstoječih obločnih varilskih postopkih. Z WAAM sicer ni mogoče doseči tako visokih dimenzijskih toleranc kot pri istemih, ki uporabljajo material v prašni obliki (npr. SLM), omogoča pa doseganje mnogo večjih produktivnosti. [2]. Prvi patent na postopku WAAM je Bakerjev iz leta 1926 (slika 1), vendar do devetdesetih let WAAM ni bil prepoznan kot izdelovalna tehnologija, primerna za industrijsko rabo [3]. Danes WAAM omogoča izdelavo izdelkov iz titanovih, aluminijevih in nikljevih zlitin ter jekla [4], pogosto se uporablja v letalski industriji [5]. V primerjavi s konvencionalnimi tehnologijami, ki temeljijo na odnašanju materiala, ta tehnologija zmanjša izdelovalne čase

za 40-60 % in čase končnih obdelav za 15-20 %, odvisno od velikosti komponente [6].



Slika 1: Izdelki predstavljeni v prvem prijavljenem patentu za oblikovno obločno navarjanje [3].

Omogoča izdelavo srednjih do velikih kovinskih izdelkov, teoretično celo neomejenih velikosti [7], kar dokazuje dekorativni most iz nerjavnega jekla podjetja MX3D, v celoti izdelan z WAAM, prikazan na sliki 2a in del raketnega motorja podjetja Relativity Space na sliki 2b. V splošnem je postopek prepoznan kot aditivna tehnologija, ki omogoča izdelavo skoraj-končne oblike izdelka. To pomeni, da je po navarjanju, odvisno od končne aplikacije, potrebna še naknadna fina obdelava z odrezavanjem. V primerjavi z ostalimi

kovinskimi aditivnimi tehnologijami je WAAM drastično cenejša tehnologija. To je zaradi zaradi nizke cene dodatnega materiala, in ker je osnovna oprema za WAAM že zrela varilska tehnologija tehnologija [6,8,9].



Slika 2: Izdelki velikih gabaritov, narejeni z WAAM: a) most MX3D na sejmu Dutch Design Week 2018 in b) del raketnega motorja Relativity Space [7,10]

Sistemi za navarjanje so sestavljeni iz vira varilnega toka in manipulatorja. Manipulator je običajno industrijski robot ali več osni CNC stroj (slika 3), obstajajo pa tudi komercialno dostopni namenski WAAM sistemi [11]. Največkrat se uporablja MIG/MAG varilni postopek. Produktivnost se giblje med 1-9,5 kg/h, ki so jo z uporabo dveh žic dosegli Filomeno in sodelavci [12]. To naredi postopek primeren za hitro izdelavo izdelkov velikih gabaritov [2].

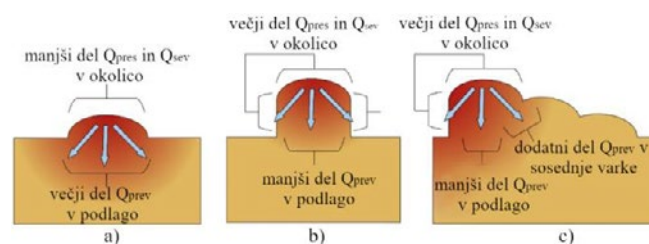


Slika 3: a) WAAM sistem na 6-osnem ABB robotu in CMT viru varilnega toka ter b) stroj za varjenje s trenjem in mešanjem, predelan v WAAM sistem [6]

Hitrost prenosa toplote iz izdelka v okolico in podlago med navarjanjem ima ključen vpliv na geometrijo in mikrostrukturo navarov. Pri hitrem odvodu toplote, se talina hitro strdi in nastanejo ozki in visoki varki drobnozrnate mikrostrukture. Nizek odvod toplote povzroči razlivanje varkov (nizki in široki) grobnozrnate mikrostrukture [13].

Slika 4 prikazuje tri tipične pogoje, ki vplivajo na prenos toplote iz izdelka v okolico. Pri navarjanju prvega varka pride do primarno prevoda toplote iz varka v podlago. Pri navarjanju višjih slojev tanke stene se delež odvoda toplote v podlago zmanjša, poveča pa se prenos toplote v okolico preko sevanja in konvekcije. Tak odvod toplote je počasnejši. Pri navarjanju debelostenskih izdelkov pa se poleg sevanja in konvekcije v okolico pojavi še večji delež odvoda toplote s prevodom v sosednje varke.

Eden od izzivov pri postopku WAAM je njegova občutljivost na spremembe procesnih parametrov. Odklon od nominalnih vrednosti parametrov povzroči neželen odklon od višine in širine navarjenih plasti [6,14]. Eden od načinov zagotavljanja ustrezne geometrije zadnjega sloja pred nanosom novega je izdelava sloja s predvideno nadmero in odrezavanjem po vsakem sloju. Vendar dodajanje vmesne operacije poveča kompleksnost postrojenja, čas in stroške izdelave [15].



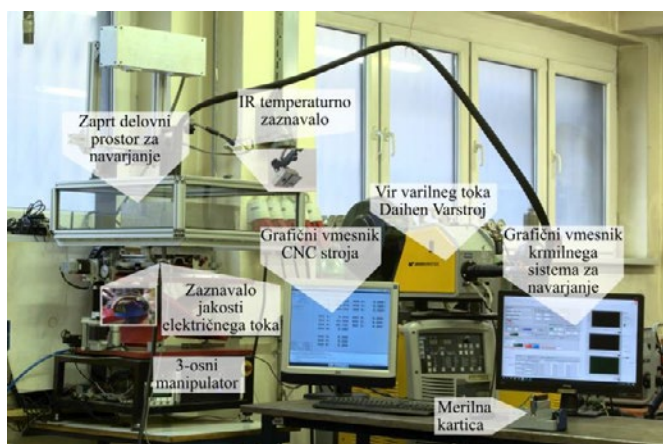
Slika 4: Diagram prevoda (Q_{prev}), prestopa (Q_{pres}) sevanja (Q_{sev}) pri: a) navarjanju prvega sloja, b) višje tanke stane in c) debelostenskega izdelka [4].

2 SISTEM ZA NAVARJANJE

V Laboratoriju za varjenje Fakultete za strojništvo smo razvili napredni WAAM sistem za navarjanje, prikazan na sliki 5. Za sistem so bile razvite nadgradnje, ki omogočajo večjo stabilnost procesa: a) sistem za brez dotično regulacijo medvarkovne temperature, b) sistem za merjenje višine posameznega sloja in c) sistem za adaptivno generacijo poti navarjanja. Brezdotična regulacija temperature omogoča krajše čase izdelave in večjo geometrijsko ponovljivost varkov. Sistem za merjenje višine posameznega sloja omogoča ohranjanje razdalje med gorilnikom in varjencem. Sistem za adaptivno

generacijo poti navarjanja pa zagotavlja geometrijsko točnost končnih izdelkov. Delovanje posameznega sistema je opisano v nadaljevanju.

Proces generacije poti navarjanja je sestavljen iz dveh korakov: a) razrez 3D modela izdelka na plasti navarjanja in b) generacija poti navarjanja za vsako plast posebej. Zaporedno se po predvideni trajektoriji navarjajo plasti. Med dvema slojema pa je potrebno zagotoviti ustrezen čas pavze, ki zagotovi, da navarjeni del izdelka doseže ustrezno medvarkovno temperaturo, da ne pride do prekomernega razlivanja navarov.



Slika 5: Sistem za navarjanje, razvit v Laboratoriju za varjenje Fakultete za strojništvo.

2.1 Vir varilnega toka in manipulator

Sistem za navarjanje je sestavljen iz vira varilnega toka in CNC pozicionirnega sistema, ki omogoča pomike gorilnika v treh različnih oseh. Na pomično mizo CNC stroja je bila nameščena zaščitna posoda, ki ščiti stroj in okolico pred UV sevanjem in izbrizgi taline med procesom varjenja. Obdelovalna površina je fluidno hlajena in električno izolirana od ostalih delov stroja.

Za navarjanje je bil uporabljen MIG/MAG varilni stroj z inverterskim sinergetskim virom varilnega toka WELBEE P500L proizvajalca Daihen Varstroj. Uporabljeni varilni programi so bili DC Pulse in DC Low Spatter. DC Low Spatter deluje v kratkostičnem režimu prehoda materiala skozi oblok z dinamično karakteristiko, ki omogoča varjenje z nizkim vnosom energije pri nizkih jakostih varilnega toka. DC Pulse

deluje v pulznem režimu prehoda materiala skozi oblok.

2.2 Brezdotična regulacija medvarkovne temperature

Na pozicionirnem sistemu je z magnetnim gibljivim nosilcem, nameščen brezdotični IR merilnik temperature (slika 6). Ta meri povprečno temperaturo površine v določenem vidnem območju. Zaznavalo je zaprto v robustnem ohišju z avtomatsko loputo, ki se zapre med varjenjem, da zaščiti pirometer pred izbrizgi, iskrenjem in dimom. Po izvedenem navarjanju sloja, se loputa odpre in zaznavalo skenira teme navara toliko časa, dokler ni temperatura po celotni opazovani površini nižja od nastavljenega. Takrat se loputa zapre in krmilnik zaznavala pošlje CNC krmilniku ukaz za navarjanje naslednjega sloja.

Za merjenje medvarkovne temperature je uporabljen IR termometer iz družine MLX90614, umerjen za merjenje temperature površine od -70 do 380 °C. Zaznavalo ima lečo, ki mu daje zorni kot 5°, kar omogoča merjenje relativno majhnih površin z večjih razdalj.

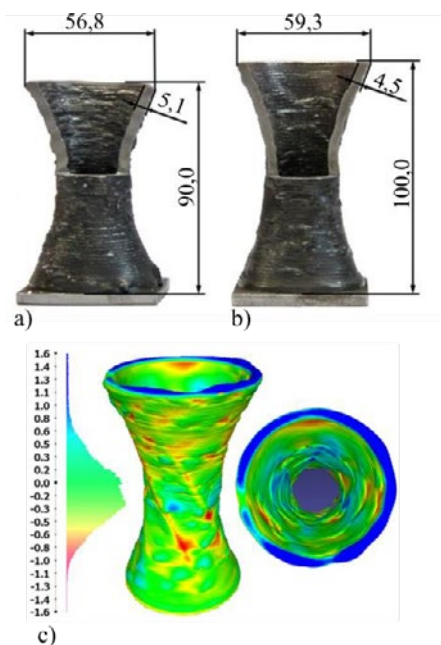


Slika 6: Brezdotično IR temperaturno zaznavalo na gibljivem nosilcu.

Gorilnik za navarjanje je opremljen s specialno plinsko šobo. Ta med navarjanjem ustvarja zaščitno atmosfero, med fazo hlajenja pa skozi njo pod pritiskom piha zrak in s prisilno konvekcijo odvaža toploto iz navarjenega izdelka. S tem se časi pavze med dvema slojema skrajšajo.

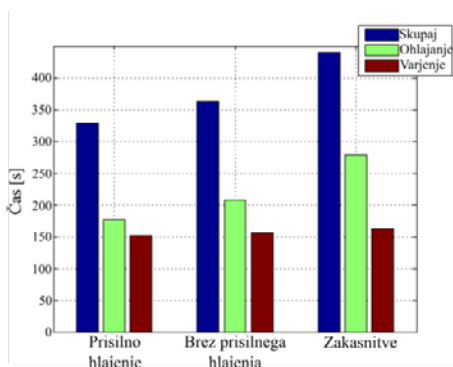
Slika 7 kaže primerjavo končne geometrije dveh izdelkov. Prvi izdelek je izdelan brez regulacije medvarkovne temperature, s prekratnim časom pavze med dvema slojema. Posledica je neželeno posedanje izdelka in napačna končna geometrija. V drugem primeru je uporabljen krmilnik medvarkovne temperature in

prisilno hlajenje s stisnjenim zrakom. Slika 7c prikazuje dobro ujemanje geometrije izdelka s CAD modelom z navarjenjem z regulacijo medvarkovne temperature.



Slika 7: a) Demonstracijski izdelek izdelan: a) s prekratnim časom pavze, b) z regulacijo medvarkovne temperature in c) primerjava vhodnega CAD modela s 3D skenirano geometrijo izdelano z regulacijo medvarkovne temperature. [13]

Slika 8 prikazuje razlike v časih izdelave ravne stene, zgrajene iz šestih slojev pri: a) prisilnem hlajenju s stisnjenim zrakom, b) brez prisilnega hlajenja s stisnjenim zrakom in c) s konstantnim časom zakasnitve v fazi hlajenja.



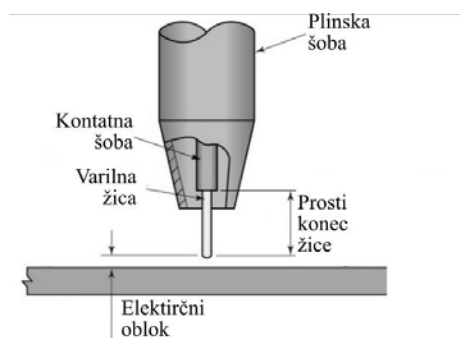
Slika 8: Primerjava časa izdelave, časa ohlajanja in časa navarjanja pri uporabi sistema za hlajenje s stisnjenim zrakom in merjenjem temperature,

brez hlajenja s stisnjenim zrakom in merjenjem temperature in s prisilnim hlajenjem s konstantnim časom pavze 30 s (zakasnitve) [13].

2.3 Regulacija oddaljenosti gorilnika od varjenca

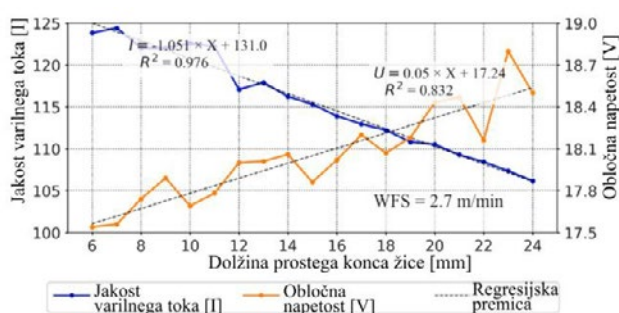
Ohranjanje oddaljenosti gorilnika od varjenca je pomembno za zagotavljanje stabilnosti procesa. Prekomerna oddaljenost vpliva na slabšo kakovost zaščitne atmosfere, v skrajnem primeru pa se zaradi nezmožnosti vžiga obloka proces ustavi. Premajhna razdalja med gorilnikom in varjencem povzroča preveliko količino sprijetih obrizgov na kontaktni in plinski šobi. V skrajnem primeru pa se proces zaradi kolizije med gorilnikom in varjencem lahko tudi ustavi.

Pri TIG varjenju je že krmilnik dolžine obloka že zrela tehnologija. Razvit je bil soroden sistem, ki omogoča nadzor oddaljenosti MIG/MAG gorilnika od varjenca. Prosti konec žice je dolžina varilne žice, izmerjena od kontaktne šobe do obloka (Slika 9). Električni tok teče po vodniku (masi) do kontaktne šobe, kjer se prenese na varilno žico. Notranja regulacija vira varilnega toka skuša držati dolžino obloka konstantno. Pri konstantni dolžini obloka je električna upornost med varjenjem sestavljena iz konstantne električne upornosti obloka in spremenljive električne upornosti prostega konca žice. Dolžina prostega konca žice se po vsakem navarjenem sloju spremeni, ker višina navara zaradi narave procesa ni konstantna. Spremembe električne upornosti zaradi variacij v dolžini prostega konca varilne žice vodijo do sprememb v jakosti električnega toka in obločni napetosti.



Slika 9: Prikaz prostega konca žice v MIG/MAG gorilniku.

Relacija med obločno napetostjo oz. jakostjo električnega toka in dolžino prostega konca žice se je določila eksperimentalno. Na ploščo so se navarjali ravni varki, kjer se je za vsak sosednji varek dolžina prostega konca žice povečala za 1 mm. Prvotna dolžina je bila 8 mm, končna pa 26 mm. Slika 10 kaže odvisnost med dolžino prostega konca žice in jakostjo varilnega toka oz. obločno napetostjo. Na podlagi empiričnih rezultatov, je bil razvit krmilnik, ki med navarjanjem ohranja konstantno razdaljo med gorilnikom in izdelkom, ki se navarja.



Slika 10: Povprečna jakost električnega toka in povprečna napetost kot funkcija dolžine prostega konca žice pri hitrosti dodajanja žice 2,7 m/min. Aproksimacija z linearno funkcijo je boljša pri funkciji jakosti varilnega toka [16].

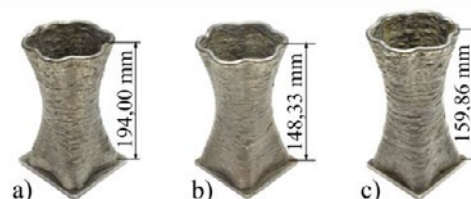
Krmilnik na podlagi meritev električnih karakteristik med navarjanjem izračuna višino predhodno navarjenega sloja. To omogoča ustrezen pomik gorilnika po z-osi v naslednji sloj. To je pomembno, ker se brez nadzora napake višine sloja akumulirajo. Razdalja med gorilnikom in varjencem se tudi pri navarjanju kompleksnih geometrij in visokih izdelkov ohranja konstantna, kot kaže slika 12.

2.4 Adaptivna generacija poti navarjanja

Za doseganje ujemanja končne geometrije izdelka z vhodnim 3D modelom je bil razvit algoritem adaptivne generacije poti navarjanja. Algoritem po nanosu vsakega sloja primerja trenutno višino izdelka s predvideno glede na vhodni 3D model. Trenutna višina izdelka je izračunana kot vsota vseh predhodnih višin posameznih slojev. V kolikor se višini ne ujemata, se pot orodja ponovno generira s

prirejeno vrednostjo višine sloja. Nova višina posameznega sloja se izračuna kot povprečna višina vseh predhodno navarjenih slojev.

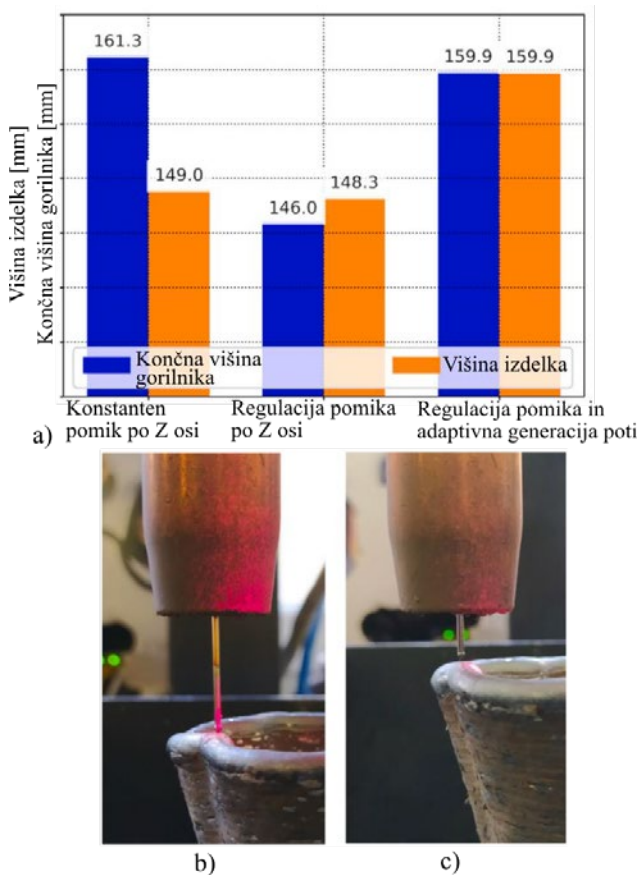
Na sliki 11 so prikazani demonstracijski izdelki, kjer je bil CAD model visok 160 mm. Izdelki so bili navarjeni: brez (Slika 11a) in z regulacijo pomika gorilnika (Slika 11b) in adaptivno generacijo poti navarjanja (Slika 11c). Jasno se vidi razlika v končni višini izdelkov. Primerjava 3D skeniranih izdelkov s CAD modelom pa je prikazana na sliki 13.



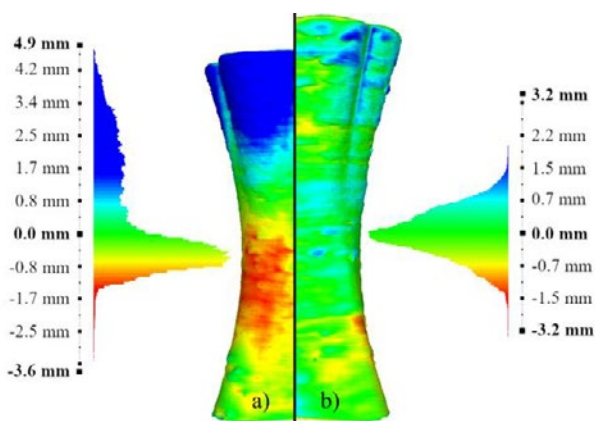
Slika 11: Demonstracijski kosi izdelani: a) brez regulacije pomika gorilnika po Z osi, b) krmiljenje oddaljenosti gorilnika od varjenca in c) krmiljenje oddaljenosti gorilnika od varjenca v kombinaciji z adaptivno generacijo poti orodja. [16]

Demonstracija vpliva regulacije oddaljenosti gorilnika od varjenca v kombinaciji z adaptivno generacijo poti navarjanja je prikazana na sliki 12. V primeru konstantnega pomika gorilnika po z-osi pride zaradi posedanja izdelka do prevelike oddaljenosti gorilnika od varjenca (slika 12b). Regulacija pomika gorilnika po z-osi omogoča ohranjanje razdalje med gorilnikom in varjencem (slika 12c), še vedno pa je končni izdelek napačne geometrije. Regulacija pomika gorilnika po z-osi v kombinaciji z adaptivno generacijo poti navarjanja zagotavlja dobro ujemanje končnega izdelka s CAD modelom.

Slika 13 prikazuje primerjavo med 3D skeniranim izdelkom in odstopanja teh od vhodnega 3D modela. Pri izdelku, narejenem brez adaptivne generacije poti se akumulira napaka višine posameznega sloja, kar privede do »povešene« geometrije končnega izdelka. Pri drugem izdelku, se je pri prekomernem odstopanju višine v primerjavi s 3D modelom popravila višina sloja in znova generirala pot navarjanja. Končni rezultat je geometrija izdelka, ki se dobro ujema z vstopnim 3D modelom.



Slika 12: a) Primerjava končne razdalje šobe od varjenca in končne višine izdelka. b) Razlika v končni razdalji šobe od varjenca pri navarjanju brez adaptivne generacije poti in c) razlika pri navarjanju z adaptivno generacijo poti [16].



Slika 13: Odstopanje geometrije 3D skeniranega izdelka od vhodnega CAD modela: a) brez uporabe adaptivne generacije poti in b) z uporabo adaptivne generacije poti navarjanja [16]

3 SKLEP

Zagotavljanje stabilnosti procesa WAAM zahteva interdisciplinaren pristop, kjer so ključna znanja iz varilstva, materialov in mehatronike. Rezultati dosedanjega razvoja WAAM sistema kažejo, da je z adaptivnim krmiljenjem možno drastično izboljšati stabilnost procesa in natančnost izdelave. Razvit sistem preko grafičnega vmesnika uporabnika vodi od vhodnega CAD modela do razreza modela na plasti in generacijo g-kode ter nastavitve procesnih parametrov. Na poslaga eksperimentov lahko ugotovimo, da:

1. Pravilen čas pavze med sloji oz. medvarkovna temperatura sta pomembna za zagotavljanje stabilnosti geometrije navarov. Brez regulacije lahko pride do kopičenja toplote v varjencu in posedanja slojev, ali pa do predolgh časov pavze, ki lahko močno podaljšajo proces izdelave. Regulacija medvarkovne temperature izključi potrebo po nastavljanju ustreznega časa pavze med sloji.
2. Hlajenje varjenca med sloji s stisnjenim zrakom močno skrajša celotni čas izdelave.
3. Merjenje razdalje med gorilnikom in varjencem je možno prek spremljanja električnih parametrov obloka. Krmiljenje razdalje med gorilnikom in varjencem omogoča stabilno navarjanje s konstantno idealno dolžino prostega konca žice.
4. Adaptivna generacija poti omogoča točne končne geometrije izdelka. Izniči napake geometrije, ki je posledica akumulacije odstopkov višine posameznega sloja od predvidene.

Viri:

- [1] Dinovitzer M, Chen X, Laliberte J, Huang X, Frei H. Effect of wire and arc additive manufacturing (WAAM) process parameters on bead geometry and microstructure. *Addit Manuf* 2019;26:138–46. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2018.12.013>.
- [2] Rodrigues TA, Duarte V, Miranda RM, Santos TG, Oliveira JP. Current status and perspectives on wire and arc additive manufacturing (WAAM). *Materials (Basel)* 2019;12. <https://doi.org/10.3390/ma12071121>.

- [3] R. Baker. Method of making decorative articles. US Pat 1925:1–3.
- [4] Cunningham CR, Flynn JM, Shokrani A, Dhokia V, Newman ST. Invited review article: Strategies and processes for high quality wire arc additive manufacturing. *Addit Manuf* 2018;22:672–86. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2018.06.020>.
- [5] Wu B, Pan Z, Ding D, Cuiuri D, Li H, Xu J, et al. A review of the wire arc additive manufacturing of metals: properties, defects and quality improvement. *J Manuf Process* 2018;35:127–39. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2018.08.001>.
- [6] Williams SW, Martina F, Addison AC, Ding J, Pardal G, Colegrove P. Wire + Arc additive manufacturing. *Mater Sci Technol (United Kingdom)* 2016;32:641–7. <https://doi.org/10.1179/1743284715Y.0000000073>.
- [7] Joosten SK. Printing a stainless steel bridge: An exploration of structural properties of stainless steel additive manufactures for civil engineering purposes. *Struct Eng* 2015;Master of:213.
- [8] Buchanan C, Gardner L. Metal 3D printing in construction: A review of methods, research, applications, opportunities and challenges. *Eng Struct* 2019;180:332–48. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.11.045>.
- [9] Thompson MK, Moroni G, Vaneker T, Fadel G, Campbell RI, Gibson I, et al. Design for Additive Manufacturing: Trends, opportunities, considerations, and constraints. *CIRP Ann - Manuf Technol* 2016;65:737–60. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2016.05.004>.
- [10] Relativity Space: Terran 1 n.d. <https://www.relativityspace.com/terran> (accessed July 23, 2020).
- [11] Singh SR, Khanna P. Wire arc additive manufacturing (WAAM): A new process to shape engineering materials. *Mater Today Proc* 2020. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.08.030>.
- [12] Martina F, Ding J, Williams S, Caballero A, Pardal G, Quintino L. Tandem metal inert gas process for high productivity wire arc additive manufacturing in stainless steel. *Addit Manuf* 2019;25:545–50. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2018.11.022>.
- [13] Kozamernik N, Bračun D, Klobčar D. WAAM system with interpass temperature control and forced cooling for near-net-shape printing of small metal components. *Int J Adv Manuf Technol* 2020. <https://doi.org/10.1007/s00170-020-05958-8>.
- [14] Xiong J, Yin Z, Zhang W. Closed-loop control of variable layer width for thin-walled parts in wire and arc additive manufacturing. *J Mater Process Technol* 2016;233:100–6. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2016.02.021>.
- [15] Kwak YM, Doumanidis CC. Geometry regulation of material deposition in near-net shape manufacturing by thermally scanned welding. *J Manuf Process* 2002;4:28–41. [https://doi.org/10.1016/S1526-6125\(02\)70131-X](https://doi.org/10.1016/S1526-6125(02)70131-X).
- [16] Ščetinec A, Klobčar D, Bračun D. In-process path replanning and online layer height control through deposition arc current for gas metal arc based additive manufacturing. *J Manuf Process* 2021;64:1169–79. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2021.02.038>.

PRESKOK IZ MIG/MAG VARJENJA V VISOKO PRODUKTIVEN 3D TISK KOVIN

Aljaž ŠČETINEC¹, Damjan KLOBČAR¹, Drago BRAČUN²

¹Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Laboratorij za varjenje

¹Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Laboratorij za proizvodno kibernetiko in eksperimentiranje

EMISIJE DELCEV PRAHU PRI VARJENJU NERJAVNEGA JEKLA

Nenad PETIČ¹, Aleš NAGODE¹, Milana ILIĆ MIĆUNOVIĆ², Mirza IMŠIROVIĆ¹,
Damjan KLOBČAR³, Zorana TANASIĆ⁴, Igor BUDAK², Lovro CIGIĆ¹, Borut KOSEC^{1,3}

¹ Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta

² Univerza v Novem Sadu, Fakulteta tehničnih znanosti

³ Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo

⁴ Univerza v Banja Luki, Fakulteta za strojništvo

IZVLEČEK

Pri varjenju se sproščajo dimni plini, ki škodljivo vplivajo na zdravje delavcev. Dimni plini so različne mešanice plinov in drobnih delcev, ki pri vdihavanju ali zaužitju predstavljajo tveganje za zdravje delavcev. Stopnja tveganja je odvisna od sestave in koncentracije delcev prahu ter trajanja izpostavljenosti. Sestava je odvisna od osnovnega materiala, varilnega postopka in dodatnega materiala.

V okviru dela so bile izvedene meritve emisij delcev prahu pri ročnem obločnem varjenju nerjavnega jekla z oziroma brez uporabe odsesovalne naprave.

Vzorčenje je bilo izvedeno z uporabo osebnega merilnika za vzorčenje EGO PLUS TT. Sestava in geometrija delcev prahu zbranih na filtrih sta bili analizirani v skladu s standardom ISO 13322 z uporabo vrstičnega elektronskega mikroskopa na poljsko emisijo Thermo Scientific Quattro S.

1 UVOD

Postopek ročnega obločnega varjenja je inženirski postopek spajanja materialov v nerazstavljivo zvezo, ki se uporablja za spajanje (varjenje) praktično vseh kovinskih materialov. Za vzpostavitev in vzdrževanje obloka se uporablja oplaščena elektroda, ki je sestavljena iz masivne žice in mineralne obloge (oplaščenja). Elektroda služi tudi kot dodajni material. Poznamo več vrst elektrodnih oplaščenj kot so: bazično, rutilno, celulozno, kislno, itd., ki lahko obenem služijo tudi za samo legiranje zvara.

Pri postopkih ročno obločnega varjenja je varilec izpostavljen prašnim delcem, ki se tvorijo oziroma odvajajo pri nataljevanju elektrode, topljenju osnovnega materiala ter sproščanju plinov iz plašča elektrode. Prašni delci različnih velikosti se zaradi visoke intenzitete dovajanja toplote, ki je prisotna pri postopkih varjenja, s plini in iskrami pomešajo z okoliškim zrakom. Tak zrak vsebuje visoko vsebnost prašnih delcev, ki se razlikujejo po velikosti in obliki ter predstavljajo določeno stopnjo tveganja pri pojavu respiratornih obolenj [8].

V okviru dela so prikazane lastnosti prašnih delcev pri ročno obločnem varjenju nerjavnega jekla z rutilno elektrodo.

V naši raziskavi je bila uporabljena časovno integrirana metoda, pri kateri se lastnosti določajo na osnovi mase delcev prahu zbranih na filtru. V okviru dela sta bila izvedena dva eksperimentalna preizkusa. Prvi je bil izveden pri varjenju nerjavnega jekla z rutilno elektrodo brez ventilacije (odsosavanja dimnih plinov in delcev prahu), pri drugem smo varili z ventilacijo (odsosavanjem).

Po izvedenih preizkusih smo izmerili maso filtrov ter z uporabo vrstične elektronske mikroskopije določili geometrijo in sestavo delcev prahu.

2 DELCI NASTALI PRI VARJENJU

V osnovi delce prahu razvrstimo kot primarne delce, ki so posledica emisij naravnih ali umetnih virov ter sekundarne delce, ki nastanejo zaradi kemijskih in fizikalnih reakcijah, ko so enkrat že v atmosferi. Za lažjo določitev izvora delcev in vpliva prašnih delcev in jih razdelimo v naprej določene velikostne razrede. [20]

Za procese varjenja lahko nastale delce razdelimo v dve skupini. In sicer gre za delce, ki so večji kot 20 μm . Ti nastanejo zaradi brizganja kovin. Drug tip delcev predstavljajo delci z velikostjo približno 1 μm , ki so posledica kondenzacije kovinskih hlapov. S podrobnejšo analizo je bilo ugotovljeno, da so prisotni tudi ultra fini delci (manjši od 0,1 μm), ki predstavljajo le približno 7% delež celotne mase vseh nastalih delcev. Škodljive vplive delcev prahu na človeka lahko razdelimo v 3 kategorije:

- kemična nevarnost (povzročijo nastali delci in plini),
- mehanska nevarnost (električna energija, toplota, hrup, vibracije),
- nevarnost zaradi sevanja (elektromagnetno sevanje pri območju vidnega, ultravijoličnega in infrardečega valovanja).

Od vseh zgoraj naštetih ima največji vpliv kemična nevarnost, saj nastali dimni in škodljivi plini najbolj negativno vplivajo na zdravje človeka. Epidemiološke raziskave varilcev, ki so vsakodnevno varili polni delovni čas so pokazale, da je pri njih prihajalo do vročinskih obolenj ob vdihavanju kovinskih hlapov, draženja dihalnih poti, spremembe v pljučni funkciji, okužbe pljuč ter povečanja verjetnosti za nastanek pljučnega raka. [6]

2.1 Standard ISO 13322

Standard ISO 13322 z naslovom analiza velikosti delcev - slikovne analizne metode (ang. Particle size analysis - Image analysis methods) [7] je sestavljen iz dveh delov in sicer iz statične slikovne analize in dinamične slikovne analize. Za namene našega dela je v poštev prišel prvi del standarda, ki opisuje statično analizo.

Namen prvega dela ISO standarda 13322 je podati priporočilo, kdaj se lahko zajete slike uporabijo za analizo velikosti delcev. Cilj tega dela standarda je podati standardiziran opis uporabljene tehnike, pri čemer dobljene meritve ustrezajo priporočilom standarda in so sledljive. V tem delu niso opisane naprave, ki se uporabljajo za zajem slik, ampak je standard omejen na slikovne dele, ki so relevantni za pravilnost rezultatov pri analizi velikosti delcev.

Prvi del standarda vsebuje metode za preverjanje umerjanja in priporočila pri uporabi certificiranega standarda kot reference. Skozi celotni del analize so upoštevane napake, ki prispevajo k končni negotovosti meritev.

Ta del standarda ISO 13322 je uporaben za analizo slik z namenom določitve porazdelitve velikosti mirujočih delcev. Delci so razporejeni in fiksirani v ravnini, ki jo opazujemo z napravo za zajem slik. Vidno polje se spreminja s premikanje podpore na kateri so delci ali premikanjem kamere, zato je potrebno zagotoviti da ne pride do popačitve zajetih slik. Standard se osredotoča na digitalne slike, ki nastanejo s pomočjo sistema za zaznavanje svetlobe ali elektronov ter upošteva samo slike, ki so analizirane z metodami, ki temeljijo na štetju slikovnih pik.

3 VZORČENJE DELCEV PRAHU

Za vzorčenje delcev prahu se v inženirski praksi pogosto uporablja časovno integrirana metoda, pri kateri določamo koncentracijo aerosolov. Pri tej metodi se meri masa prašnih delcev nabranih na filtru analizatorja. Filtri se kasneje uporabijo za mikroskopsko analizo.

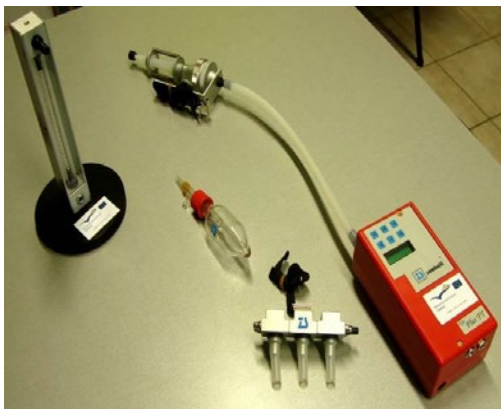


Slika 1. Osebni vzorčevalnik nameščen v območju dihanja operaterja.

Vzorčenje je lahko prostorno ali osebno. Pri prostorskem vzorčenju se vzorčuje zrak v delovnem okolju oziroma vzorčevalnik se fiksno

da v delovni prostor. Pri osebnem vzorčenju pa se vzorčevalnik nahaja na operaterju (delavcu) v bližini njegovega dihalnega območja (približno 20 - 30 cm od nosa in ust) (Slika 1) oziroma se vrednoti izpostavljenost delavcev delcem prahu in drugim kemičnim snovem.

Vzorčenje smo izvedli z uporabo osebnega merilnika Zambelli EGO PLUS TT (Slika 2). Pred pričetkom vsake meritve je potrebno kalibrirati merilnik oziroma določiti količino (pretok) zraka, ki bo tekla skozi filter. Prav tako je potrebno določiti tudi čas vzorčenja. Delovanje merilnika EGO PLUS TT je zelo podobno delovanju sesalnika. Merilnika vleče zrak skozi cev na kateri se nahaja ohišje s filtrom na katerem se delci prahu ustavijo in naberejo.



Slika 2. Merilnik Zambelli EGO PLUS TT.

4 EKSPERIMENTALNO DELO

Vzorčenje smo izvedli v Laboratoriju za varjenje na Fakulteti za strojništvo Univerze v Ljubljani. Analizo dimenzij (geometrije) in sestave delcev prahu pa na vrstičnem elektronskem mikroskopu na poljsko emisijo (FEG SEM) Thermofischer Quattro S (Slika 3) na Naravoslovnotehniški fakulteti Univerze v Ljubljani.

Z osebnim merilnikom EGO PLUS TT smo vzorčili/filtrirali delce prahu pri ročno obločnem varjenju nerjavnega jekla z rutilno elektrodo. Vzorce smo odvzeli pri varjenju z odsesavanjem zraka in brez odsesavanjem zraka. Nato so bili vzorci/filtri analizirani s pomočjo vrstičnega elektronskega mikroskopa (SEM), pri čemer smo posneli obliko in sestavo prašnih delcev.

Za odvzem vzorcev smo uporabili merilnik EGO PLUS TT, na katerega je bil nameščen konusni

nastavek z filtrom iz mešanice celuloznih estrov s premerom 25 mm. Hitrost pretoka zraka je bila 3,0 l/min, kar je v skladu s priporočilom proizvajalca. Čas vzorčenja je znašal 1 min. Temperatura zraka v prostoru pa je bila 25°C.



Slika 3. Analiza na vrstičnem elektronskem mikroskopu.

Osebni vzorčevalnik je bil nameščen na zgornjem delu prsnega koša, v bližini ključne kosti v dihalnem območju delavca/tehnika. Osebni vzorčevalnik se v praksi namešča na razdalji približno 30 cm od ust (Slika 1).

Varili smo nerjavno jeklo AISI 316 (Tabela 1) po postopku ročno obločnega varjenja z rutilno elektrodo INOX R 18/8/6 Fe (Tabela 2).

Tabela 1: Sestava nerjavnega jekla AISI 316

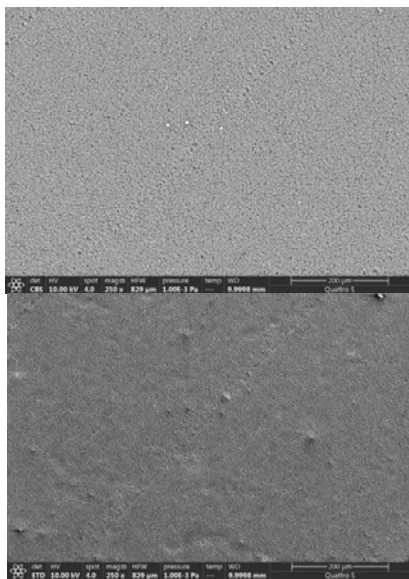
	C	Mn	Si	Cr	Ni	P	Mo	N
%	0,07	2,0	1,0	17,5	8-13	0,04	2,25	0,11

Tabela 2: Sestava elektrode INOX R 18/8/6 Fe

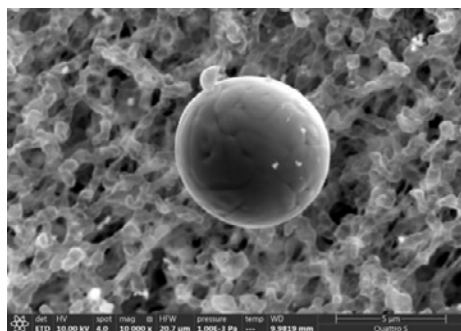
	C	Si	Mo	Cr	Ni
%	0,12	< 1,2	7	19	9

Pri varjenju z uporabo odsesovalne naprave se na filter ujamejo večji delci, ki so težji od delcev dima. To so predvsem delci iz oplasčenja elektrode (dodajnega materiala) ter varjenega materiala.

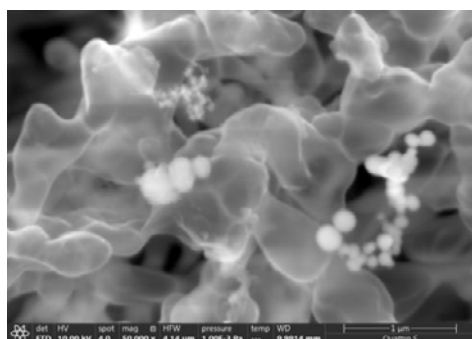
Na Sliki 4 so prikazani delci prahu na filtru po elektroobločnem varjenju nerjavnega jekla z uporabo odsesovalne naprave.



Slika 4. Delci prahu na filtru pri manjši povečavi: CBS- slikano s povratno sipanimi elektroni (zgoraj), b) ETD- slikano s sekundarnimi elektroni (spodaj).



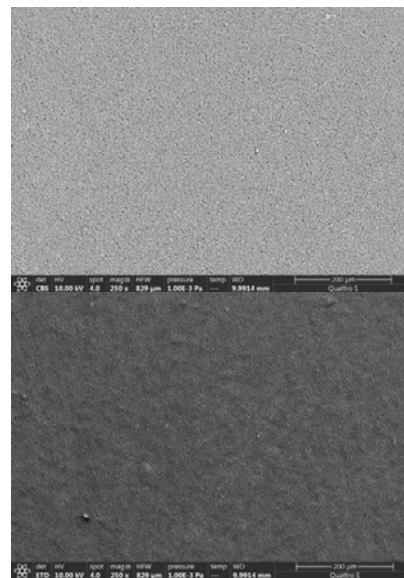
Slika 5. Delci prahu na filtru pri večji povečavi: ETD- slikano s sekundarnimi elektroni.



Slika 6. Skupki nano delcev prahu pri večji povečavi: ETD- slikano s sekundarnimi elektroni.

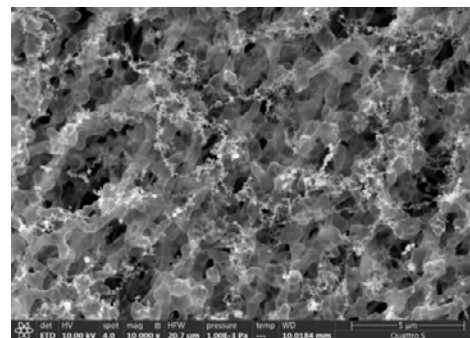
Na sliki 6 se jasno vidijo skupki/aglomerati nano delcev prahu.

Pri varjenju brez odsesovalne naprave se na filter ujamejo delci dima, ki so lažji od delcev oplaščene elektrode (dodajnega materiala) in varjenega materiala. Zato rezultati nakazujejo, da je pri varjenju brez odsesovalne naprave več emisij delcev prahu.



Slika 7. Delci prahu na filtru pri manjši povečavi: CBS- slikano s povratno sipanimi elektroni (zgoraj), b) ETD- slikano s sekundarnimi elektroni (spodaj).

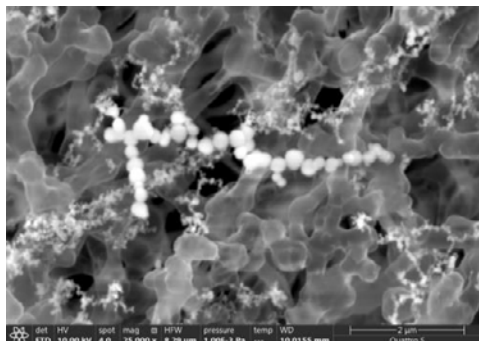
Slika 7 (zgoraj) prikazuje svetle delce prahu. Imamo par prašnih delcev različnih velikosti, najmanjši se pri tej povečavi še ne vidijo, na sliki 7 (spodaj) pa so že dobro vidni.



Slika 8. Delci prahu na filtru pri večji povečavi: ETD- slikano s sekundarnimi elektroni.

Na sliki 8 se vidi veliko manjših delcev povezanih v skupke, ki so še jasneje prikazani na sliki 9. Na sliki 9 je vidno, da je na filtru občutno več ujetih delcev kot pri varjenju z odsesovalno

napravo. Na sliki 9 se jasno vidijo skupki približno 40 nano delcev, ki so sferične oblike.



Slika 9. Skupki nano delcev prahu pri večji povečavi: ETD- slikano s sekundarnimi elektroni.

5 SKLEPI

V Laboratoriju za varjenje na Fakulteti za strojništvo Univerze v Ljubljane so bile izvedene meritve emisij delcev prahu nastalih pri varjenju nerjavnega jekla z oziroma brez uporabe odsesovalne naprave.

Meritve so izvedene z uporabo osebnega merilnika EGO PLUS TT. Sestava in geometrija delcev prahu sta analizirana na vrstičnem elektronskem mikroskopu (SEM).

Na podlagi mase delcev prahu ujetih na filter pri varjenju z odsesovalno napravo in brez odsesovalne naprave vidimo da je pri varjenju z odsesovalno napravo več ujetih delcev prahu. To je zato, ker se pri varjenju brez odsesovalne naprave na filter ujamejo delci dima, ki so lažji od delcev prahu oplaščene elektrode (dodajnega materiala) ter varjenega materiala.

Iz SEM mikrografije lahko vidimo, da so delci prahu sferične oblike. Iz analize slik vidimo, da so delci ujeti na filter pri varjenju z odsesovalno napravo večji od delcev ujetih na filter pri varjenju brez odsesovalne naprave. Pri varjenju z odsesovalno napravo imamo nano delce ter delce velikosti do 5 µm, pri varjenju brez odsesovalne naprave pa samo nano delce, ki so povezani v skupke.

Viri:

- [1] ISO 7708 (1995): Air quality- Particle size fraction definitions for health-related sampling, International Organization of Standardization
- [2] J.H.Vincent: Aerosol Sampling: Science Standards, Instrumentation and Applications, Wiley & Sons, Chichester 2007.
- [3] M. Kutz: Environmentally Conscious Mechanical Design, John Wiley & Sons, New Jersey, 2007.
- [4] M. Ilić Mićunović, Model za evaluacijo rezultata merjenja karakteristika praškastih materija zasnovan na elektronski mikroskopiji, Doktorska disertacija, UNS, Novi Sad, 2018.
- [5] ISO 13322-1 (2014): Particle size analysis -- Image analysis methods -- Part 1: Static image analysis methods, International Standardization Organization.
- [6] H G. Merkus: Particle Size Measurements (Fundamentals, Practice, Quality), Particle Technology Series Book 17, Kindle Edition, 2009.
- [7] G. Seliger: Sustainability in Manufacturing recovery of resources in product and material cycles, Springer Verlag, Berlin / Heidelberg, 2007.

EMISIJE DELCEV PRAHU PRI VARJENJU NERJAVNEGA JEKLA

Nenad PETIĆ¹, Aleš NAGODE¹, Milana ILIĆ MIČUNOVIĆ², Mirza IMŠIROVIĆ¹, Damjan KLOBČAR³, Zorana TANASIĆ⁴, Igor BUDAK², Lovro CIGIĆ¹, Borut KOSEC^{1,3}

¹ U Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, ² Univerza v Novem Sadu, Fakulteta tehničnih znanosti

³ Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, ⁴ Univerza v Banja Luki, Fakulteta za strojništvo

RAZVOJ, IZDELAVA IN KLINIČNI PREIZKUS PO MERI NAREJENEGA KOLČNEGA VSADKA ZA PACIENTA Z VELIKIM KOSTNIM DEFEKTOM

Urška KOSTEVŠEK ŠEGULA¹, Igor DRSTVENŠEK¹, Tomaž BRAJLIH¹,
Matjaž VOGRIN², Andrej MOLIČNIK²

¹ Fakulteta za strojništvo Univerze v Mariboru

² Univerzitetni klinični center Maribor

IZVLEČEK

Veliki kostni defekti pri popolni zamenjavi kolka so vse pogostejši. Pri velikih defektih in problemu pomanjkanja kosti ter zapolnitve individualnih oblik acetabularnih defektov se običajno uporablja konvencionalne ali modularne endoproteze. Te pa ne zadostujejo za vzpostavitev stabilnosti in popolne gibljivosti kolka.

V raziskavi smo razvili in klinično preizkusili metodo po meri narejenih medicinskih pripomočkov. Metoda zavzema 3D načrtovanje operativnega posega, izdelavo po meri narejenih medicinskih pripomočkov, klinično preizkušanje in po-operativna analiza položaja vstavljenega vsadka.

Z razvito in klinično preizkušeno metodo smo določili natančnost uporabljenih, po meri narejenih medicinskih pripomočkov in bistveno poenostavili operativno tehniko. 3D načrtovanje in operativni postopek sta bila preglednejša, zanesljivejša in varnejša. Z metodo pa se ni le izboljšal operativni postopek, ampak se je z vstavitvijo po meri narejenega vsadka izboljšala stabilnost kolka, zagotovila se je simetrija in povrnila prirojena anatomija.

1 UVOD

Popolna zamenjava kolka je poseg v katerem poškodovan kolk zamenjajo z umetno endoprotezo. Če želijo zagotoviti pravilno in dolgoročno delovanje endoproteze, je treba oba dela endoproteze pravilno orientirati v medeničnem prostoru. Slednjemu je namenjeno pred-operativno načrtovanje.

Pred-operativno načrtovanje v ustaljeni kirurški praksi še vedno izvajajo na dvo-razsežnih rentgenskih slikah. 2D načrtovanje je načrtovanje na projekciji kosti, ki le stežka da oprijemljiv občutek trirazsežnosti defekta. To pomanjkanje informacij o dejanski obliki defekta je posebej problematično pri ponovnih vstavitvah kolčne endoproteze (revizijske operacije), saj se nam v teh primerih lahko pojavijo večji kostni defekti v medeničnem področju. Takšni defekti so običajno nepravilnih nesimetričnih oblik, ki so posledica delovanja razmajane komponente prvotno vstavljenе endoproteze. Takšni tipi oblik defekta onemogočajo uporabo kolčnih protez, ki so namenjene primarnim vstavljanjem. Za ponovno vzpostavitev biomehanike kolčnega sklepa pri takšnih defektih morajo kirurgi defekt zapolniti s

sestavljanjem standardnih komponent, ki se po podatkih iz obstoječih registrov ne obnese najbolje. Posledica je bolečina, majhen gibalen kot, kratka življenjska doba vstavljenе endoproteze, po odstranitvi endoproteze še večji defekti in še težji operativni pogoji reviziji.

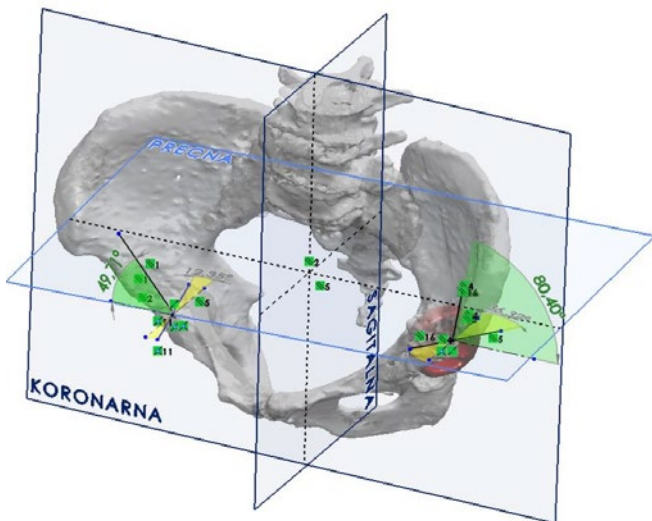
Delež revizij, glede na letne vstavitve in zamenjave endoprotez kolka v Ortopedski bolnišnici Valdoltra je bil leta 2002, 12,45 %, leta 2006, 13,66 %, leta 2010 14,00 %, 2014 14,62 %, leta 2016 15,07 % [1]. Zaradi slednjega smo razvili in klinično preizkusili metodo po meri narejenih medicinskih pripomočkov. Ta zavzema pred-operativno 3D načrtovanje, izdelavo po meri narejenih vodil in vsadka, klinično preizkušanje ter po-operativno analizo.

2 METODA

Sistem za zagotavljanje načrtovanega položaja kolčnih endoprotez s pacientu prilagojenimi medicinskimi pripomočki se prične z izdelavo pred-operativne CT-študije. CT študija mora biti izdelana po ustreznem protokolu, ki zagotavlja dovolj veliko količino podatkov za zanesljivo

rekonstrukcijo zajetih podatkov, v trirazsežen računalniški model.

Ustrezno CT-študijo segmentiramo in rekonstruiramo v računalniški prostor, kar pomeni da izvozimo tri-razsežne modele posameznih kosti in endoprotez v programski paket Solidworks. Sledi postavitve enotnega koordinatnega sistema posameznega pacienta (slika 1), ki služi za nadaljnje modeliranje medicinskih pripomočkov. Iz uvoženih kostnih struktur pridobimo pred-operativne parametre kolka in pripravimo predlog položaja in oblike endoproteze kolčne skodelice (slika 1).



Slika 1: Prikaz pred-operativnih parametrov položaja acetabuluma v programskem paketu Solidworks (zelen kot nagib (INC); rumen kot zasuk (AV)).

V naši raziskavi smo se osredotočili na acetabularni del endoproteze. Njen položaj v medeničnem prostoru oz. personaliziranem koordinatnem sistemu, smo določili s tremi parametri. S centrom rotacije (CR) femoralne glavice po acetabularnem delu endoproteze, kotom inklinacije (kot nagiba) in kotom anteverze (kot zasuka) acetabularnega dela endoproteze (slika 1). Univerzalno acetabularno komponento endoproteze, ki je imela pravilno obliko polkrogle prekrito s celično strukturo, smo v sklopu metode po meri narejenih medicinskih pripomočkov zamenjali s vsadkom nepravilne oblike. Po meri narejenemu vsadku smo zunanjo, naležno površino zmodelirali v celično strukturo, ter jo oblikovali tako, da je nalegala na defekt

posameznega pacienta. Torej smo vsadek zmodelirali tako, da je zapolnil defekt, imel center rotacije čim bolj simetričen glede na zdrav kolk, imel velikost kotov inklinacije in anteverze izbran tako, da sta bila najboljši približek naravne anatomije posameznika, hkrati pa sta zagotavljala najmanjšo možnost izpaha kolka, ter nudila ustrezen gibalni kot sklepa (slika 2).



Slika 2: Po meri zmodeliran vsadek.

Po potrditvi parametrov in oblike medicinskih pripomočkov s strani odgovornega kirurga, smo izdelali razvojno dokumentacijo po mednarodnem standardu ISO 13485 s čimer smo vzpostavimo sistem vodenja kakovosti po SIST EN ISO 13485:2012/AC:2012 in obvladovanja tveganja po SIST EN ISO 14971:2012. Ko smo imeli potrjeno končno obliko medicinskih pripomočkov in njihove načrtovane parametre smo le-te posredovali podizvajalcu, ki je izdelal program in pripravil stroj za izdelavo medicinskih pripomočkov. Sledila je izdelava medicinskih pripomočkov, njihova vizualna kontrola in po-obdelava. Ko so bili medicinski pripomočki izdelani, so izvedli še zunanjo kontrolo in izdelavo dokumentacije, s katero so potrdili, da je bil proces izdelave medicinskega pripomočka v skladu s standardi in da njegove mehanske lastnosti ustrezajo namenu.

Sistem smo klinično preizkušali v sodelovanju z Oddelkom za ortopedijo Univerzitetnega kliničnega centra Maribor. Klinično preizkušanje je odobrila Komisija za medicinsko etiko republike Slovenije.

Operacije so potekale po ustaljenem postopku, dodatno so pacientom po opravljenem posegu opravili kontrolno CT študijo kolfov, medenice in dela stegnenic po posebnem protokolu, ki zagotavlja najmanjšo obsevalno dozo [2] in kakovosten zajem tri-razsežnih podatkov za nadaljnjo obdelavo. Po-operativna CT študija je služila za določitev odstopanja po-operativnih parametrov od načrtovanih. Skozi klinično

preizkušanje izdelanega sistema za zagotavljanje načrtovanega položaja kolčnih endoprotez s pacientu prilagojenimi medicinskimi pripomočki, smo vse operativne posege spremljali, dokumentirali in na podlagi dobljenih rezultatov optimizirali sistem.

3 RAZISKOVALNI REZULTATI

Prvi analiziran parameter za določanje pozicije medicinskega pripomočka v kosti je bila razdalja med načrtovanim centrom rotacije in dejanskim po-operativnim centrom rotacije acetabuluma glede na postavljen, primarni koordinatni sistem medenice. Center rotacije smo v koordinatnem sistemu določali z oddaljenostjo točke centra rotacije od treh anatomskih ravnin. X smo definirali z razdaljo med sagitalno ravnino in točko centra rotacije (X CR-S), Y z razdaljo med koronarno ravnino in točko centra rotacije (Y CR-K) in Z z razdaljo med prečno ravnino in točko centra rotacije (Z CR-P). Tako smo dobili koordinate načrtovane in po-operativne točke centra rotacije. Za analizo vstavitve po meri narejenih medicinskih pripomočkov smo od po-operativnih odšteli načrtovane koordinate in dobili razlike, te so v mm prikazane v tabeli 1.

Tabela 1: Odstopanja položaja centrov rotacije

Pacienti	Razlika X CR-S [mm]	Razlika Y CR-P [mm]	Razlika Z CR-K [mm]	Prostorsko odstopanje [mm]
P 1	1,13	-0,31	-3,02	3,24
P 2	3,69	3,78	-2,72	5,94
P 3	7,58	-4,31	-5,81	10,48
P 4	-0,39	-0,58	-1,97	2,09
P 5	0,52	-2,37	-3,33	4,12
P 6	1,51	2,97	-4,36	5,49
P 7	-0,77	-0,8	-3,58	3,75
P 8	4,8	-2,25	-1,11	5,42
P 9	-1,09	-0,24	-2,01	2,30
P 10	-4,36	-8,55	3,23	10,13

V nadaljevanju smo analizirali še pozicijo vsadka z dvema prostorskima kotoma (nagib in zasuk), ki opisujeta orientacijo medicinskega pripomočka v kosti. Nagib (INC) medicinskega pripomočka v acetabulumu je tabelarično predstavljena v tabeli 2.

Tabela 2: Odstopanja kotov inklinacije

Pacienti	Načrtovana INC [°]	Po-opera. INC [°]	Odstopanje [°]
P 1	45	46,1	1,1
P 2	45	56,32	11,32
P 3	45	57,4	12,4
P 4	45	49,95	4,95
P 5	45	49,63	4,63
P 6	42	48,49	6,49
P 7	42,5	42,03	-0,47
P 8	45	57,87	12,87
P 9	45	46,35	1,35
P 10	45	30,95	14,05

Drugi kot, s katerim smo določali orientacijo medicinskega pripomočka v kosti pacienta je bil zasuk (AV). Rezultati odstopanja zasukov (AV) pacientov so tabelarično predstavljeni v tabeli 3.

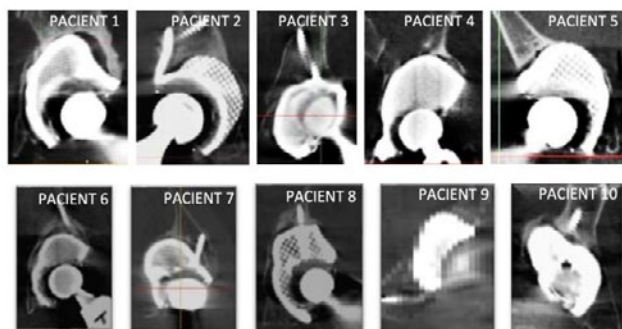
Tabela 3: Odstopanja kotov anteverze

Pacienti	Načrtovana AV [°]	Po-opera. AV [°]	Odstopanje [°]
P 1	15	14,73	-0,27
P 2	15	9,18	-5,82
P 3	20	30,38	10,38
P 4	10	13,32	3,32
P 5	20	21,02	1,02
P 6	15	39,25	24,25
P 7	20	37,77	17,77
P 8	15	15,07	0,07
P 9	16	13,52	-2,48
P 10	27	50,63	23,63

Naj poudarimo, da smo pri vseh revizijskih operacijah uspešno vstavili po meri narejene acetabularne vsadke. Vse po-operativne CT študije so pokazale, da so vsadki primerno nasedali na kost pacienta in s tem zagotovili stabilnost, trdnost in dobro funkcionalnost kolka (slika 3).

Vendar je kljub dobri stabilnosti in trdnosti kolka prišlo do razhajanja med načrtovanimi in po-operativnimi parametri. Delno je vzrok razhajanja med načrtovanimi in po-operativnimi rezultati v človeškem faktorju (ortopeda, kirurga v koraku uporabe medicinskih pripomočkov), delno v razvijanju sistema in delno v nenatančnosti sistema, ki temelji na tri-razsežni medicinski preiskavi. Vse pred-operativne in po-operativne

podatke smo pridobili iz CT študij, ki so bile izdelane na 1 mm debeline sloja. Zaradi slednjega predvidevamo, da je natančnost predstavljenega postopka po-operativne analize nekje v mejah ± 2 mm in posledično glede na gabarite vsadka $\pm 5^\circ$.



Slika 3: Po-operativne CT preiskave

Če za vse tri parametre (center rotacije, nagib (INC) in zasuk (AV)) izračunamo še povprečno odstopanje in standardno deviacijo pri vseh desetih revizijskih pacientih, dobimo tabelo 4.

Tabela 4: Povprečno odstopanje in standardna deviacija desetih revizijskih operacij

Parametri	Povprečno odstopanje	Standardna deviacija
Center rotacije (CR)	5,30 mm	2,94 mm
Nagib (INC)	6,96 °	5,29 °
Zasuk (AV)	8,90 °	9,60 °

4 SKLEP

Z uporabo sistema smo dokazali da lahko s podatki iz pred-operativne CT študije pridobimo dovolj podatkov za izdelavo individualnega, acetabularnega vsadka, ki ga, z uporabo, po meri narejenih vodil in študijskih modelov, operater vstavi v kost s povprečnim odstopanjem največ za 6 mm in 10° od preoperativno določenega položaja. Tako smo v sklopu analize po-operativnih računalniških tomografij določili območja dosegljivih natančnosti zagotavljanja, načrtovanega položaja kolčnih endoprotez, z uporabo pacientu prilagojenih medicinskih pripomočkov. Pri tem moramo poudariti, da smo

skozi postopek pridobivanja rezultatov, medicinske pripomočke spreminjali in optimizirali.

Pri razvoju sistema, smo definirali obliko, po meri narejenih vodil in acetabularnega vsadka. Zunanjo nalezno površino vsadka smo oblikovali na podlagi rekonstrukcije defekta acetabuluma iz pred-operativne CT študije, tako da oblika vsadka popolnoma zapolni defekt in obenem v celoti nalega nanj, ter tako s svojo obliko zagotovi dobro stabilnost, trdnost in funkcionalnost kolka. Dodatno smo povečali stabilnost vsadka, s celično strukturo na zunanji strani vsadka, ki je primarno namenjena boljšemu vraščanju okoliške kosti in s tem boljši dolgoročni stabilnosti vsadka. Vsadku smo na notranji strani zmodelirali celično strukturo in tako zmanjšali težo vsadka in izboljšali pritrjevanje ležajne skodelice s kostnim cementom. Celični strukturi na zunanji in notranji strani ločuje polna stena vsadka, ki onemogoči, da bi prišel cement v stik s tkivom pacienta, hkrati pa nudi nosilnost celemu vsadku. Vsakemu vsadku smo izdelali luknje za vijake, ter tako naredili operacijo natančnejšo in predvidlivejšo. Natančnosti operativnega postopka pa nismo povečali le s po meri narejenimi vodili in vsadkom, ampak smo sistem zasnovan tako, da smo načrtovanje operacije izvajali izven operativnega okolja, v miru in počasi. Načrtovali smo v tri-razsežnih programskih paketih in na 3D natisnjenih, študijskih modelih. S tem smo omogočili ortopedu pred-operativni vpogled v problematiko posameznika in pred-operativno določitev vseh potrebnih parametrov za vzpostavitev čim bolj naravne in simetrične biomehanike kolka.

Viri:

- [1] Levašič V., Penko L., Savarin D., Milošev I.: Poročilo registra artroplastike valdoltra 2016 – kolki. (https://www.obvaldoltra.si/sites/www.obvaldoltra.si/files/upload/files/porocilo_rav_kolki_2016.pdf)
- [2] Kostevšek Šegula U.: Razvoj sistema za zagotavljanje načrtovanega položaja kolčnih endoprotez s pacientu prilagojenimi medicinskimi pripomočki. *doktorska disertacija*, Univerza v Mariboru, 2020.
- [3] Huppertz A., Lembcke A., Sariali H., Durmus T., Schwenke C., Hamm B., Sparmann M., Baur A.D.: Low Dose Computed Tomography for 3D Planning of Total Hip Arthroplasty: Evaluation of Radiation Exposure and Image Quality, *Journal of Computer Assisted Tomography* 39(2015)5, str.649-656.

INDUSTRIJSKA UPORABNOST VEČKOMPONENTNIH MEŠANIC IN APLIKACIJE Z DODATKOM DUŠIKA PRI OBLOČNEM VARJENJU

Edvard BJELAJAC
Messer Slovenija d.o.o.

IZVLEČEK

MIG/MAG postopki z polno ali polnjeno žico ter TIG, predstavljajo najpogosteje uporabljene postopke obločnega varjenja v industrijske namene. Na izbiro vpliva tehnološka primernost postopka za določen namen, produktivnost in tudi vpliv varilnega procesa na delavno okolje varilca. Z zaščitnimi plini je mogoče izboljšati varilno tehnične lastnosti, produktivnost in zmanjšati količino nastalih dimnih plinov. Nekatere od zaščitnih mešanic vsebujejo tudi delež dušika.

1 UVOD

Med postopki spajanja kovinskih materialov ima varjenje pomembno mesto. Med postopke, pri katerih energija obloka najbolj pripomore k nastanku zvarnega spoja, prištevamo dve skupini procesov. V prvo skupino spadajo postopki z netaljivo elektrodo, med katere prištevamo TIG varjenje in varjenje s plazmo. V drugo skupino spadajo procesi, z taljivo elektrodo, med katere prištevamo varjenje z oplaščeno elektrodo, varjenje pod praškom ter MIG in MAG postopek varjenja. MIG v zaščiti inertnega plina, MAG v delni ali popolni zaščiti aktivnega plina.

Poleg elektroobločnih postopkov med varjenje in sorodne postopke prištevamo še mehansko spajanje, varjenje z mehansko energijo, elektroporovno varjenje, z kemično energijo, spajkanje, metalizacijo površin, lepljenje, hibridno spajkanje in varjenje z visoko gostoto energije, kamor spada tudi varjenje z laserskim žarkom v zaščiti inertnega plina.

Vsi elektroobločni postopki se v industriji množično uporabljajo. Varjenje z oplaščeno elektrodo je samozaščitno, nizko produktivno in zahteva izkušeno varilsko osebje. Njegova uporaba je vezana na terensko delo, uporablja se pri spajanju cevovodov na terenu, v ladjedelnstvu, za navarjanje abrazivnih plasti na gradbenih in poljedelskih strojih in posebne aplikacije, med katere prištevamo npr. podvodno

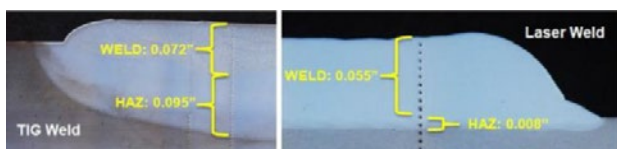
varjenje. Varjenje z oplaščeno elektrodo se uporablja povsod tam, kjer zaradi vremenskih vplivov ni mogoče zagotoviti ustrezne plinske zaščite obloka. Prednost postopka je enostavna in lahko prenosljiva varilna oprema. Z oplaščeno elektrodo je mogoče variti različne kovinske materiale zgolj z zamenjavo dodatnega materiala in spremembo polaritete na varilnem aparatu.

Postopki varjenja MIG/MAG, TIG in tudi lasersko varjenje predstavljajo najpogosteje uporabljene postopke elektroobločnega varjenja v industriji. MIG/MAG postopek kot dodatni material uporablja polno ali polnjeno varilno žico in je v primerjavi z varjenjem z oplaščeno elektrodo nekajkrat produktivnejši. Žica je premera 0,6 do 1,6 mm, navita na kolutih od 5 do 15 kg ali v sodovih. Uporablja se za dela v zaprtih prostorih, za ročno ali avtomatizirano proizvodnjo. TIG varjenje se uporablja predvsem za varjenje nerjavnih materialov manjših debelin, aluminija, titana in varjenje vseh vrst cevovodov, najpogosteje iz konstrukcijskih jekel in nerjavnih jekel ter aluminija, kjer se zahteva visoka kvaliteta zvarnega spoja. Lasersko varjenje je nepogrešljivo pri reparaturnem navarjanju orodij za tlačno litje aluminija, plastike, popravilu manjših napak na zvarjenjih, npr. popravilu poroznosti na poliranih površinah debelih pločevin varjenih po MAG postopku, (Slika 1).



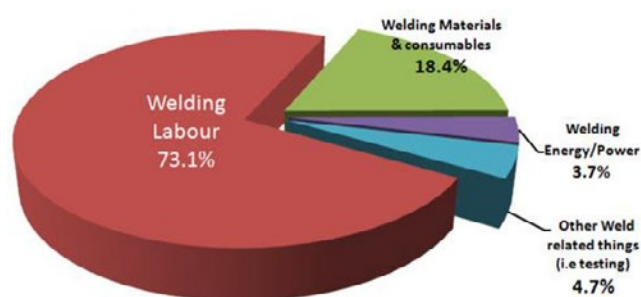
Slika 1: MAG varjenje. Poroznost odkrita po mehanski obdelavi zvarnega spoja.

Uporablja se za spajanje majhnih preciznih delov, v medicini, draguljarstvu, v avtomobilski industriji, npr. pri izdelavi injektorjev za diesel motorje itd. Zaradi visoke gostote energije se kovinski material na mestu varjenja v trenutku upari, celotna vnesena energija v material je majhna, kar posledično pomeni izredno majhen toplotni vpliv na osnovni material. Po varjenju dobimo var ali navar z izredno majhnim toplotno vplivanim področjem, (Slika 2).



Slika 2: Primerjava TVP pri TIG in laserskem varjenju

Tako MIG/MAG, TIG in lasersko varjenje za zaščito obloka uporabljajo zaščitne pline ali plinske mešanice, ki jih glede na kemično sestavo in univerzalnost uporabe razdelimo na osnovne zaščitne pline in mešanice z širokim spektrom uporabnosti in specialne, namenske, v večini primerov gre tu za več komponentne mešanice, s katerimi se izboljšajo varilnotehnične lastnosti, tudi poveča hitrost varjenja in zmanjša delo in po varjenju, Slika 3 Stroški dela so največji del stroškov pri procesu varjenja, zato je zmanjševanje tega dela najpomembnejše pri optimizaciji varilnega procesa, (Slika 3).



Slika 3: Porazdelitev stroškov pri MAG varjenju

Hkrati se z uporabo načrtovanih zaščitnih mešanic vpliva na količino in sestavo dimnih plinov, ki nastajajo pri procesu varjenja. Količina dimnih plinov je manjša, ravno tako količina železovih oksidov (1).

Dušik se kot dodatek zaščitnemu plinu uporablja pri TIG in MIG varjenju. Z njim se varijo dupleks in superduplex nerjavna jekla, aluminij in aluminijeve zlitine. Uporablja se tudi pri TIG varjenju avstenitnih jekel z nizkim ali brez niklja serije Fe-Cr-Mn-Mo-N. Dodatek dušika avstenitnim jeklom izboljša trdnostne lastnosti in korozijsko odpornost avstenitnih jekel (2),(3). Zaradi visokih trdnostnih lastnosti, žilavosti in dobrih korozijskih odpornosti se jekla z visokim dušikom serije Fe-Cr-Mn-Mo-N v zadnjih letih intenzivno raziskujejo (4),(5). Zaradi trdnostnih lastnosti se raziskuje možnost njihove uporabe v vojaške namene (6). Med varjenjem Fe-Cr-Mn-Mo-N jekel se zmanjšuje koncentracija dušika, kar povečuje možnost nastanka napak v zvarnem spoju in delež ferita v mikrostrukturi (7). Uporaba zaščitnega plina z dodatkom dušika za varjenje Fe-Cr-Mn-Mo-N je pogosta rešitev (8). Poleg omenjenih pozitivnih učinkov na mehanske in korozijske lastnosti, dušik v primerjavi z argonom učinkovito preprečuje nastanek poroznosti (9). Nastanek poroznosti pri uporabi dušika kot zaščitnega plina pa je odvisen od vnosa toplote in deleža dušika, (10) ker imajo jekla z različno kemično sestavo različno topnost dušika.

Dušik je uporaben kot zaščitni plin tudi za lasersko varjenje dupleks nerjavnih jekel, kjer pri uporabi zaščitnega plina Ar prihaja do izgub dušika in posledično zmanjševanja deleža avstenita v mikrostrukturi. Ugotovili so, da se pri laserskem varjenju v zaščiti argona v varu močno zmanjša delež avstenita, tudi povečevanje hitrosti varjenja zmanjšuje delež avstenita. Nasprotno pa

lasersko varjenje duplex jekel v zaščiti dušika zvišuje delež avstenita, vpliv dušika na trdoto vara je minimalen, izboljša se žilavost vara (11).

Z namensko načrtovanimi mešanicami se proizvajalci tehničnih plinov ukvarjajo že desetletja. Priporočene sestave za nekatere aplikacije, predvsem pri TIG varjenju se z leti niso občutno spreminjale. Pri MIG / MAG varjenju pa se priporočene sestave plinskih mešanic močno spreminjajo.

2. PRIMERI UPORABE NAMENSKO NAČRTOVANIH MEŠANIC

Z namensko načrtovanimi večkomponentnimi mešanicami je v primerjavi z klasičnim zaščitnim plinom CO₂, Ar ali osnovno plinsko mešanico Argon+18% CO₂, ob ohranjanju tehnične ustreznosti v zvarnih spojev mogoče izboljšati varilnotehnične lastnosti zvarnega spoja, vplivati na globino uvara, višino in obliko temena vara v nekaterih primerih pa tudi na povečanje hitrosti varjenja, tako pri TIG kot pri MIG/MAG postopku varjenja.

1.1. Varjenje avstenitne nerjavne pločevine 304 po MAG postopku

Pri MAG postopku varjenja avstenitnih nerjavnih jekel je škropljenje pogost pojav. Kaplice imajo pogosto dovolj energije, da se prilepijo na osnovni material.

Čiščenje poteka mehansko in predstavlja dodatno delo. Na očiščeni površini ostajajo sledi brušenja.



Slika 4: MAG varjenje, nerjavna pločevina 304, uporaba namenske mešanice



Slika 5: MAG varjenje, nerjavna pločevina 304, kotni zvar, povečan

Na (Slika 4) je kotni zvarni spoj izdelan na pločevini kvalitete 304, dodajni material 308 LSi, polna žica, 1,2 mm, zaščitni plin je bila večkomponentna mešanica iz skupine Inoxline, zadnja generacija. Povečavna kotnega zvara, (Slika 5).

1.2. Varjenje lužene pločevine DD12 po MAG postopku

Na (Slika 6) je kotni zvarni spoj, ročno varjenje, izdelan na pločevini kvalitete DD 12, dodajni material G3Si1, 1,2 mm, zaščitni plin je bila večkomponentna mešanica iz skupine Ferroline, zadnja generacija.



Slika 6: MAG varjenje, lužena pločevina DD12, uporaba namenske mešanice

Zvarni spoj je izdelan ročno. Izdelek se po varjenju barva.

Na temenu vara je minimalna količina oksidov, ni obrizgov, teme vara je rahlo konveksne oblike. Količina obrizgov in konveksnost vara je manjša, kot v primeru uporabe klasične zaščitne mešanice Ar + 18% CO₂.

3.0 ZAKLJUČKI

Načrtovane plinske mešanice za zaščito obloka pri obločnih postopkih varjenja MIG/MAG, TIG in za laserski proces varjenja z visoko gostoto energije omogočajo:

- zmanjševanje potrebno delo po varjenju
- lahko povečajo hitrost varjenja,
- zmanjšajo količino žlindre v področju vara,
- zmanjšujejo količino obrizgov,
- zmanjšujejo velikost kapljic v obrizgih,
- uplivajo na delež mikrostrukturnih komponent v zvarnem spoju,
- zmanjšujejo stroške varilnega procesa,
- izboljšujejo delavno okolje varilca, zaradi manj dimnih plinov.

Dopustnost njihove uporabe zavisi od kvalitete osnovnega materiala in varilnega procesa. V primerjavi z standardnimi zaščitnimi plini in mešanicami, kot sta Ar+CO₂ in Ar, so namenske več komponentne mešanice manj univerzalne, za njihovo prvailno in smiselno uporabo je priporočljivo sodelovanje z strokovnjakom za varjenje pri dobavitelju zaščitnih plinov.

Viri:

1. Stroko ZA. Vir znanja in izkušenj za stroko. 2019, 91-96.
2. Liu Z, Fan C lei, Ming Z, Chen C, Liu A, Yang C li, et al. Gas metal arc welding of high nitrogen stainless steel with Ar-N₂-O₂ ternary shielding gas. Def Technol [Internet]. 2020;(xxxx). Available from: <https://doi.org/10.1016/j.dt.2020.05.021>
3. Ganesan V, Mathew MD, Rao KBS. Influence of nitrogen on tensile properties of 316LN SS. Mater Sci Technol. 2009;25(5):614-8.
4. Stein G, Hucklenbroich I. Manufacturing and applications of high nitrogen steels. Mater Manuf Process. 2004;19(1):7-17.
5. Berns H. Manufacture and application of high nitrogen steels. ISIJ Int. 1996;36(7):909-14.
6. Bhav Singh B, Sukumar G, Prakasa Rao P, Siva Kumar K, Madhu V, Arockia Kumar R. Superior ballistic performance of high-nitrogen steels against deformable and non-deformable projectiles. Mater Sci Eng A [Internet]. 2019;751(October 2018):115-27. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2019.02.044>
7. Mohammed R, Madhusudhan Reddy G, Srinivasa Rao K. Welding of nickel free high nitrogen stainless steel: Microstructure and mechanical properties. Def Technol [Internet]. 2017;13(2):59-71. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.dt.2016.06.003>
8. Harzenmoser M. Welding of high nitrogen steels. Mater Manuf Process. 2004;19(1):75-86.
9. Elmer JW, Vaja J, Carlton HD, Pong R. The effect of Ar and N₂ shielding gas on laser weld porosity in steel, stainless steels, and nickel. Weld J. 2015;94(10):313s-325s.
10. Zhao L, Tian Z, Peng Y. Porosity and nitrogen content of weld metal in laser welding of high nitrogen austenitic stainless steel. ISIJ Int. 2007;47(12):1772-5.
11. Kesitalo M, Mäntyjärvi K, Sundqvist J, Powell J, Kaplan AFH. Laser welding of duplex stainless steel with nitrogen as shielding gas. J Mater Process Technol [Internet]. 2015;216:381-4. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2014.10.004>

INDUSTRIJSKI
FORUM
IRT
2021

Sodelujoči na
Industrijskem forumu IRT



GLAVNI POKROVITELJ



RAZVOJNI PARTNER



DMS

Društvo za marketing Slovenije

VSEBINSKI PARTNER



mediade

NACIONALNI PARTNER FORUMA



Zelena. Ustvarjalna. Pametna.



REPUBLIKA SLOVENIJA
MINISTRSTVO ZA GOSPODARSKI
RAZVOJ IN TEHNOLOGIJO

POKROVITELJI



Your Altair Partner in Adriatic & Balkan Region



METTLER TOLEDO

sij | ravne systems

STÄUBLI



voestalpine
ONE STEP AHEAD.

YASKAWA

RAZSTAVLJAVCI



ORGANIZATOR DOGODKA

PROFIDTP

PROFIDTP, d.o.o.
Gradišče nad Pijavo Gorico 204
1291 Škofljica
www.profidtp.si

ORGANIZACIJSKI ODBOR

ŠVETAK Darko – vodja organizacijskega odbora, Profi dtp, d.o.o.
ROT Matjaž, Revija IRT3000
ŠENKINC Denis, PRO IKT, Denis Šenkinc, s.p.

PARTNERSKE ZBORNICE, ZDRUŽENJA IN GROZDI



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



PARTNERJI ZNANJA IN TEHNOLOŠKI PARKI

Univerza v Ljubljani
Fakulteta za strojništvo



FS
Fakulteta za
strojništvo



Univerza v Mariboru
Fakulteta za strojništvo

IJS



VISOKA ŠOLA
ZA PROIZVODNO
INŽENIRSTVO

●●● FTPO

Fakulteta za
tehnologijo polimerov



PARTNERJI IZ INDUSTRIJE

ACRONI



LITOSTROJ
POWER

AKRAPOVIČ

Horia

SIBO Clusers
Plastics
Tools

B/S/H/

Horia
HF-Rotomatika



ENGINEERING
TOMORROW

Danfoss

IM
IskraMehanizmi

**TRI
MO**

DOMEL

KOLEKTOR
55 let / years

Turma
Nadajujemo tradicijo. Ustvarjamo prihodnost.

gorenjegroup
Gorenje Orodjarna, d.o.o.

KOVINOPLASTIKA LOŽ
ALVEUS | ARX | KOVINOtools

UNIOR

INDUSTRIJSKI
FORUM
IRT
2021

Komercialni oglasi
podjetij



GoFa™ CRB 15000

Nov ABB-jev sodelujoč robot

Delaj hitreje (GO Faster) in ustvari več kot kadar koli prej. GoFa™ je vodilni robot v svojem razredu na področju hitrosti, varnosti in enostavnosti uporabe. Sodobna zasnova, oblika in vgrajena oprema mu omogočajo varno interakcijo in delo z ljudmi brez ograj in dodatnih varnostnih sistemov. GoFa™ si lahko konstantno deli delovni prostor z ljudmi, kar mu omogoča maksimalno fleksibilnost in učinkovitost. Robot in človek lahko sedaj varno sodelujeta pri vseh opravilih brez negativnega vpliva na produktivnost ali varnost.

www.new.abb.com/products/robotics/collaborative-robots/crb-15000





ZA SAMO 50€ DOBITE:

- celoletno naročnino na revijo IRT3000 (10 številk)
- strokovne vsebine na več kot 140 straneh

- vsakih 14 dni e-novice IRT3000 na osebni elektronski naslov
- možnost ugodnejšega nakupa strokovne literature
- vsak novi naročnik prejme majico in ovratni trak



Revija v
hrvaškem
jeziku

ZA SAMO 20€ DOBITE:

- celoletno naročnino na revijo IRT3000 ADRIA (4 številke)
- strokovne vsebine na več kot 200 straneh

DIGITALNA NAROČNINA



Na voljo tudi naročnina na digitalno različico revije za uporabo
**V BRSKALNIKU in
NA MOBILNIH NAPRAVAH**

BUTIK IRT3000

Naša ekskluzivna spletna trgovina kakovostnih izdelkov s prepoznavnim dizajnom vaše priljubljene revije za inovacije, razvoj in tehnologije.



- letna naročnina na slovensko ali adria izdajo revije
- strokovne knjige iz naše ponudbe
- pisarniške potrebščine in mali tehnološki pripomočki
- oblačila in dežniki
- skodelice in druga drobna darila

NAROČITE SE!

☎ 051 322 442

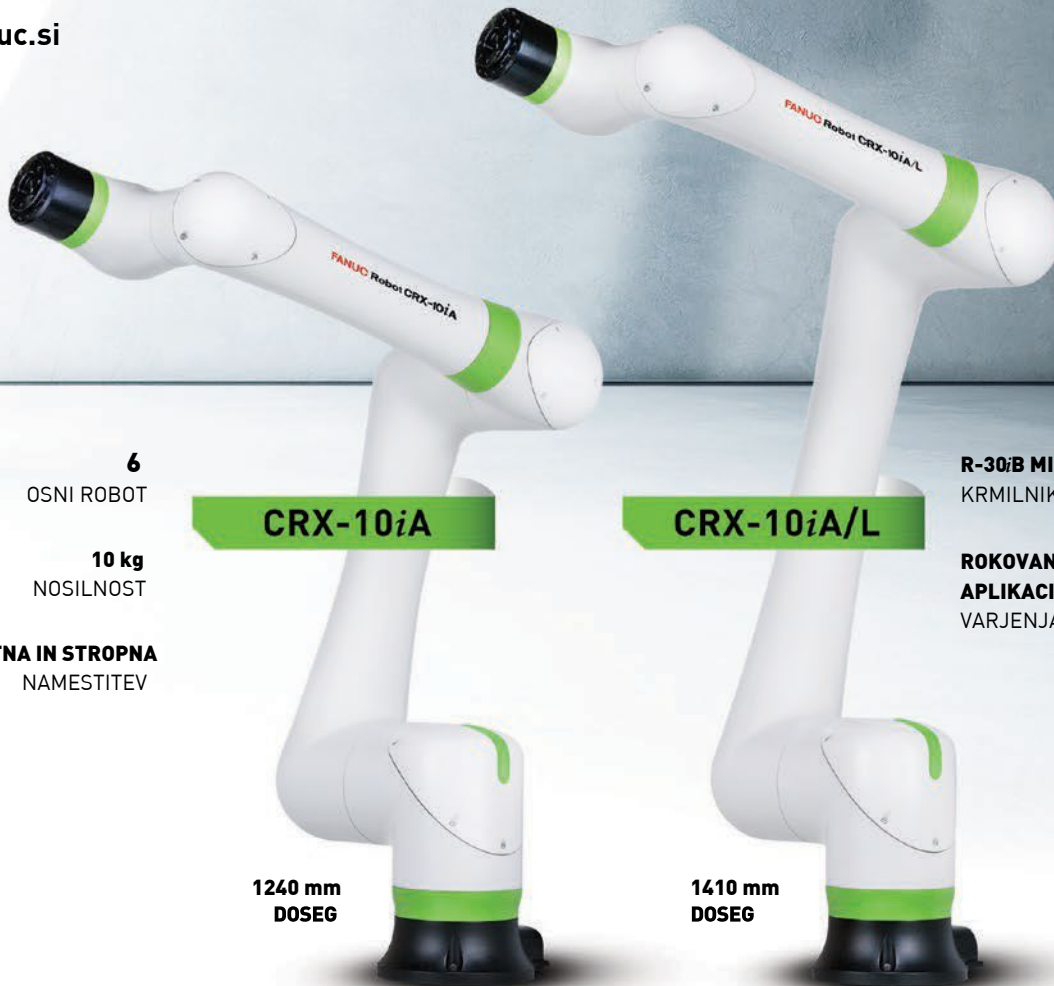
✉ info@irt3000.si

🌐 www.irt3000.si/narocilo-revije

FANUC

NOVO OBDOBJE KOLABORATIVNE TEHNOLOGIJE

www.fanuc.si



6
OSNI ROBOT

10 kg
NOSILNOST

TALNA, KOTNA IN STROPNA
NAMESTITEV

CRX-10iA

1240 mm
DOSEG

CRX-10iA/L

1410 mm
DOSEG

R-30iB MINI PLUS
KRMILNIK

ROKOVANJE, MONTAŽA IN
APLIKACIJA OBLOČNEGA
VARJENJA

FANUC SERIJA CRX

Dva lahka, kompaktna modela.



IZJEMNA ZANESLJIVOST

- Sodoben dizajn, ki je popolnoma varen za delo z ljudmi
- Desetletne izkušnje družbe FANUC na področju oblikovanja in izdelave robotov dokazane zanesljivosti
- Enaki standardi kakovosti, ki jih kupci pričakujejo od izdelkov FANUC



HITRA NAMESTITEV

- Lahka in kompaktna zasnova omogoča enostavno vključitev v katero koli delovno okolje ali obstoječi sistem
- Enostaven za montažo brez uporabe dvižne opreme
- CRX uporablja najnovejši kompaktni krmilnik R-30iB Mini Plus FANUC za še večje prihranke prostora



ENOSTAVNO PROGRAMIRANJE

- CRX sodelujoči robot omogoča enostavno programiranje z uporabo najnaprednejše tehnologije in novega uporabniškega vmesnika
- Enostavna povezava s prijema neodvisnih proizvajalcev
- Inteligentna avtomatizacija FANUC z: iRVision, iRPickTool in še več



Sledite nam na LinkedIn-u:
FANUC Adria

ŽELITE TESTIRATI SODELUJOČEGA ROBOTA CRX V VAŠI PROIZVODNJI? Pišite na sales@fanuc.si.

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

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.

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.

SECO

PROFIDTP



NAJBOLJ KUL V NAŠEM RAZVOJU? ORODJA PRIHODNOSTI.

Za orodja živimo in dihamo. Zato dobro vemo, kaj vam bo prineslo uspeh tako danes kot v prihodnosti. Izbirate lahko iz našega vrhunskega nabora več kot 100.000 kakovostnih orodij GARANT, HOLEX in drugih vodilnih znamk.

www.hoffmann-group.com

 **Hoffmann Group**

Anna,
produktni vodja za področje ročnih orodij

53. MOS TEHNIKA

OPREMA IN ORODJA ZA PODJETJA IN DOMAČE
MOJSTRE & DO OKOLJA PRIJAZNA TEHNOLOGIJA



*Rešitve in
priložnosti za
trajnostno in zeleno
gospodarstvo*



CELJSKI SEJEM, 15.-19. september 2021



MEDNARODNI INDUSTRIJSKI SEJEM 2022

CELJSKI SEJEM, 5.-8. april 2022

FORMA TOOL – orodjarstvo in strojogradnja

AVTOMATIZACIJA IN ROBOTIKA

VARJENJE IN REZANJE

MATERIALI IN KOMPONENTE

NAPREDNE TEHNOLOGIJE



www.ce-sejem.si

I FEEL
SLOVENIA



*Krepimo slovensko
gospodarstvo*

**ZELENA.
USTVARJALNA.
PAMETNA.**

**SLOVENIJA. DEŽELA NESKONČNEGA
POTENCIALA ZA VAŠ POSEL. IZKORISTITE GA.**

Z 2% BDP, namenjenega raziskavam in razvoju, si Slovenija prizadeva razviti prebojne digitalne rešitve, ki spreminjajo način poslovanja podjetij in ljudi. Od pametnih merilnih sistemov, sistemov kolesnih elektromotorjev, vodilnih evropskih mobilnih LED-znakov do digitalnih orodij za upravljanje transakcij naslednje generacije ... Potencial Slovenije je ogromen. Odkrijte ga z nami!

Obiščite našo spletno stran www.sloveniabusiness.eu



REPUBLIKA SLOVENIJA
MINISTRSTVO ZA GOSPODARSKI RAZVOJ IN
TEHNOLOGIJO



DMS

Društvo za marketing Slovenije

IZOBRAŽUJEMO POVEZUJEMO NAVDIHUJEMO

NA NAŠIH IZOBRAŽEVANJIH LAHKO NADGRAJUJETE SVOJE ZNANJE S PODROČIJ:

marketinške strategije, strategije rasti, B2B marketinga, produktnega managementa, internacionalizacije, direktnega marketinga, upravljanja celovite izkušnje strank ...

ZNANJE DOBI VREDNOST TAKRAT, KO GA DELIMO!

Članica DMS sem zaradi kvalitetnih dogodkov, tako vsebinsko kot tudi organizacijsko. Društvo odlikuje osebni pristop, prijetna karizma in dobra atmosfera na dogodkih. Dodano vrednost predstavljajo dogodki, na katerih spoznavamo teme, ki niso zgolj marketing v ožjem smislu.

- T. A. (Adria Mobil)

DOBRI REZULTATI, NA PRAVI NAČIN

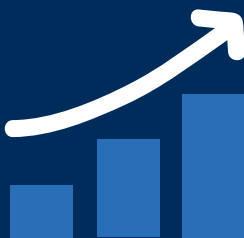


Združenje Manager je že **32 let največje združenje managerjev v Sloveniji.**

Poslanstvo: Z odgovornim voditeljstvom in strokovnim managementom do skupnega napredka.

Podjetja, ki jih vodijo članice in člani Združenja Manager, so uspešnejša. Predstavljajo **32 % prihodkov gospodarstva in dosežajo za:**

- **26 % višjo dodano** vrednost
- **23 % višjo plačo** na zaposlenega
- **48 % višji dobiček** na zaposlenega
- **42 % višji prihodek** na zaposlenega



Naše aktivnosti

- Dogodki
- Priznanja
- Povezovanje in mreženje
- Razvijanje stroke managementa
- Projekti
(akcijski načrt za višjo rast produktivnosti, trajnostno voditeljstvo)
- Mentorski program
- MQ revija
- MQ portal



**ZDRUŽENJE
MANAGER**

www.zdruzenje-manager.si



USTVARJAMO
POVEZAVE,
RAZVIJAMO
ZVEZDE.

Mednarodna tekma zahteva
prodoren marketing.

**NAŠI PARTNERJI SO
NA TRGIH ZVEZDE.**

"Ko pomislim na Mediade, pomislim na prijatelje, na katere se lahko vedno zanesemo. Ekipa Mediade bo z nasmehom in strastjo naredila vse, da nam projekt uspe tudi takrat, ko se nanje obrnemo prepozno, ali ko na začetku še sami ne vemo, kaj točno želimo doseči."

Dr. Matjaž Lukač, predsednik uprave Fotone

Več o nas na www.mediade.si.

MARKETING. KOMUNIKACIJE. RAZVOJ.



NOVA B2B SPLETNA TRGOVINA ZA ORODJA

B2B.BTS-COMPANY.COM

- **100.000** izdelkov na enem mestu
- **Vodilni** svetovni proizvajalci orodja
- **Hitra dobava** direktno od proizvajalca
- **Interaktivni katalog** Format ...



STATUS NAROČILA - ODPRTE DOBAVE - SPLETNA IZDELAVA PONUDBE - PRETEKLI NAKUPI



Vaše ideje spreminjamo v resničnost

Vse vidike vašega poslovanja združimo z digitalnimi rešitvami za okrepitev sodelovanja, izboljšanje poslovanja in pospeševanje inovacij.

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

METTLER TOLEDO

Intelligentne rešitve za vse laboratorijske aplikacije

METTLER TOLEDO precizni instrumenti so bistvo laboratorijev povsod po svetu. Naš širok izbor izdelkov vam omogoča fleksibilnost in preciznost pri vsaki aplikaciji.

- Tehtanje
- Titracije
- Meritve pH
- Karakterizacija materialov
- Fizične lastnosti
- Pipetiranje
- UV/VIS spektroskopija
- Avtomatizirana kemija
- Programska oprema
- Servisne storitve in kalibracija



► www.mt.com/lab

SILABS

LABORATORIJI IN IZOBRAŽEVANJA

sij | ravne systems

KALIBRACIJSKI LABORATORIJ

akreditiran po standardu SIST EN ISO/IEC 17025:2017 s št. akreditacijske listine LK – 004 izvaja akreditirane kalibracije:

- dimenzionalnih veličin: dolžina, premer, odstopek oblike, navojne veličine, hrapavost, kot in nagib,
- mehanskih veličin: sila, trdota (Brinell, Vickers, Rockwell, Shore), tlak, moment sile, masa (poljubne mase in tehtnice),
- tekočinskih ter indikacijskih termometrov,
- ultrazvočnih aparatov (edini v Sloveniji) po SIST EN 12668-1:2011,
- ultrazvočnih merilnikov debeline,
- merilnikov osvetljenosti (luxmetri),
- merilnikov obsevanosti UV-A svetlobe,
- merilnikov magnetnega polja.



LABORATORIJ ZA NEPORUŠNE PREISKAVE

akreditiran po standardu SIST EN ISO/IEC 17025:2017 s št. akreditacijske listine LP – 107 izvaja:

- akreditirane preiskave s tekočimi penetranti,
- akreditirane preiskave z magnetnimi delci,
- akreditirane radiografske preiskave (Ir192, Co60, RTG 420 kV),
- akreditirane ultrazvočne preiskave,
- akreditirane preiskave zaostalih napetosti in zaostalega avstenita,
- neakreditirane radioskopske preiskave (RTG 450 kV).



IZOBRAŽEVANJA

Izvajamo izobraževanja z različnimi temami s področja meroslovja in NPP preiskav:

- za nadzor nad merili,
- za izračun in podajanje merilne negotovosti,
- za merjenje v industriji,
- za geometrijsko dimenzioniranje in toleriranje (GD&T),
- za notranje presoje po SIST EN ISO 17025,
- za merjenje hrapavosti industrijskih izdelkov,
- za merjenje trdote,
- za merjenje momenta,
- za sistem vodenja kakovosti,
- za neporušne preiskave po ISO 9712 (UT, MT, PT in VT).

PRESKUSNI LABORORIJI

akreditiran po standardu SIST EN ISO/IEC 17025:2017 s št. akreditacijske listine LP – 107 izvaja akreditirane preskuse:

- ročnih elektromagnetov – jarmov,
- virov svetlobe UV-A (ročne UV lučke).



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

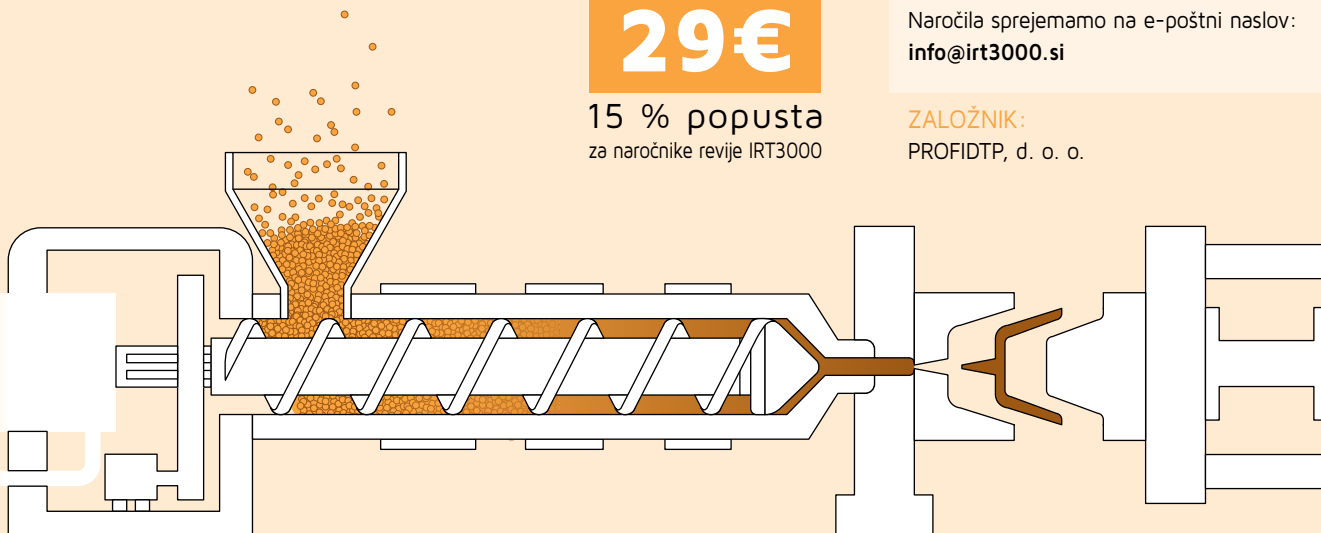
29€

15 % popusta
za naročnike revije IRT3000

NAROČILO KNJIGE

Naročila sprejemamo na e-poštni naslov:
info@irt3000.si

ZALOŽNIK:
PROFIDTP, d. o. o.





FLUID CONNECTORS

Spojite vse hkrati in povečajte
vašo produktivnost

Ne glede na vašo izbiro spojk (premer, zmogljivost, mehanske lastnosti, število spojk) vam Stäubli multispojke nudijo rešitve in konfiguracije, ki bodo ustrezale vsem zahtevam vaših aplikacij v industriji predelave plastičnih mas in pri tlačnem litju aluminija. Hlajenje/temperiranje – izvlek/uvlek jedr – izmetači – sekvenčno vbrizgavanje ...

**Multispojke za regulacijo temperature in za hidravlične krogotoke:
Zanesljivost. Učinkovitost. Varnost. Stäubli.**

www.staubli.com

Stäubli Systems s.r.o. - Tel.: +386 8 205 01 05- mail: connectors.si@staubli.com



**Nova enostavnost neporušnih
preiskav izdelkov in njihovih
komponent.**

TOPOMATIKA predstavlja

ZEISS METROTOM 1

- kompakten merilni CT aparat, primeren za vsak merilni laboratorij
- omogoča enostaven vstop v svet kompleksne tehnologije CT
- omogoča enostaven potek merilnega procesa - od namestitve preizkušanca do analize v programski opremi GOM Volume Inspect
- vzdrževanje aparata je minimalno, prav taki pa so tudi stroški vzdrževanja

Borut Buchmeister

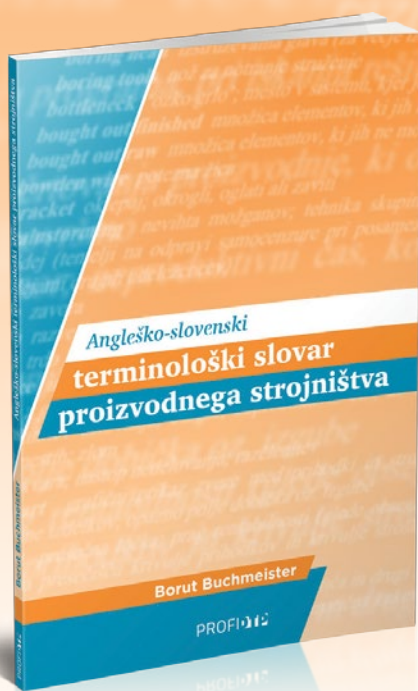
Angleško-slovenski

terminološki slovar proizvodnega strojništva

Nastanek terminološkega slovarja ni povezan z nekim načrtnim delom, ampak je rezultat tridesetletnega ukvarjanja in raziskovanja v okviru laboratorijev za načrtovanje proizvodnih sistemov in za simulacije diskretnih sistemov, nenehnega srečevanja s tujo literaturo, tvorbo prvih lastnih zabeležk o angleških pojmi, ki so sedaj v obsegu več kot 2400 pojmov ponujene širšemu krogu.

Pogosto je ob prevodu besede podana dodatna razlaga, včasih tudi kakšna krajša definicija. V slovar nisem vključil splošno poznanih besed oz. takšnih, ki jih prirejeno uporabljamo kot tujke.

Slovar je namenjen predvsem študentom pri opravljanju študijskih obveznosti in pisanju zaključnih nalog, bralcem in prevajalcem angleške strokovne literature ter raziskovalcem pa v pomoč pri vsakodnevnem delu.



CENA KNJIGE

9,90€

+ 4,90 € poštnina

15 % popusta

za naročnike
revije IRT3000

Naročila sprejemamo
na e-poštni naslov:
info@irt3000.si

Možen nakup na spletni
strani **irt3000.si** v področju
Strokovna literatura

Spletni
nakup:



PROFIDTP

PROFIDTP d.o.o. • Gradišče VI 4, 1291 Škofljica • +386 41 669 775 • info@profidtp.com

WWW.PROFIDTP.COM

SIMULATE LARGE STRUCTURES IN MINUTES

FAST, EASY, ACCURATE & AFFORDABLE!

Altair SimSolid™ is the game-changing simulation technology for designers, engineers, and analysts. It eliminates geometry preparation and meshing: the two most time-consuming and error-prone tasks.

- ▶ Up to 75%* discount for StartUps
- ▶ Up to 50%* discount for first purchase

Get your free trial here: altair.com/simsolid

*The offer is valid only for IRT Fair participants



#ONLYFORWARD

© Altair Engineering, Inc. All Rights Reserved / altair.com / Nasdaq: ALTR



MotoMINI

majhen samo po velikosti



reddot award 2019
winner

YASKAWA Slovenija • www.yaskawa.si

YASKAWA



DATACom, d.o.o.

1.8 m DX8 Printhead EKO SOLVENTNI PRINTER

DVE GLAVI
EPSON DX8

CMYK /
CMYK+Lm+Lc

VARIABILNI
NANOS PIKE

3 STOPENJSKI
GRELEC



1 leto garancije na NE potrošni material. Na voljo tudi v drugih dimenzijah. Več informacij na www.data-com.eu/tiskalniki ali po telefonu 041 757 560.

IZDELAVA SPLETNIH STRANI



WWW.DATA-COM.EU



DATACom, d.o.o.



IT IS OUR
IMAGINATION

that inspires us to turn the
seemingly impossible into reality.

Böhler Slovenija

Predstavništvo voestalpine High Performance Metals International GmbH

Jarška cesta 10b, 1000 Ljubljana

www.boehler-international.com

voestalpine

ONE STEP AHEAD.

IAN

INTRONIKA

Robotics

ICT4Industry

powered by

icm

www.icm.si

15.-17. 2. 2022

GR, Ljubljana, Slovenija



Janez Tušek

Varjenje in sorodne tehnike spajanja materialov v neločljivo zvezo

Iz vsebine

- Zgodovinski pregled varjenja in sorodnih tehnik spajanja materialov
- Osnovni izrazi v tehnikah spajanja materialov
- Razdelitev tehnik varjenj in sorodnih tehnik spajanja materialov
- Fizikalno-metalurške osnove varjenja in sorodnih tehnik spajanja materialov
- Elektrooblačno varjenje
- Varjenje z visoko gostoto energije
- Varjenje s kemično energijo
- Elektrouporovno varjenje
- Varjenje z mehansko energijo
- Spajkanje
- Metalizacija, navarjanje in toplotno nabrizgavanje
- Lepljenje
- Mehansko spajanje materialov v neločljivo zvezo
- Hibridno varjenje in drugi hibridni postopki spajanja materialov v neločljivo zvezo

O knjigi

Knjiga obsega 15 ločenih poglavij, ki so smiselno povezana. Prvo poglavje je uvod v vsebino knjige, drugo pa kratak zgodovinski pregled razvoja tehnik, postopkov in tehnologij spajanja materialov v neločljivo zvezo. Osnovni in posebni izrazi, ki jih pogosto uporabljamo v vsakdanjem pogovoru in v pisnih gradivih s tega področja, so podani in razloženi v tretjem poglavju. Nekaj mednarodno priznanih različnih razdelitev varjenj in drugih tehnik spajanja v trajno zvezo je prikazanih v četrtem poglavju, v petem pa nekaj fizikalno-metalurških osnov spajanja materialov pri sobni in zvišani temperaturi. Šesto poglavje je najobsežnejše in obravnava oblačna varjenja s taljivo in netaljivo elektrodo v zaščiti plinov in plinskih mešanic, v zaščiti praškov in še nekaterih drugih medijev. Poleg klasičnih talilnih varjenj poznamo še varjenja z visoko gostoto energije, med katera spadajo varjenje z elektronskim snopom, varjenje z laserjem in varjenje s plazmo ter so zajeta v sedmem poglavju. Osmo obsega varjenja s kemično energijo, med katera uvrščamo plamensko varjenje, termično (aluminotermično) varjenje in eksplozijsko varjenje. Drugo najobsežnejše poglavje je deveto, ki obravnava elektrouporovno varjenje in postopke za ta način spajanja materialov v trajno zvezo. Deseto poglavje opisuje varjenje z mehansko energijo in enajsto spajkanje, ki ga imenujemo tudi lotanje, ter dvanajsto metalizacijo z navarjanjem in toplotnim nabrizgavanjem. Lepljenje je podano v trinajstem poglavju in v štirinajstem mehansko spajanje materialov. Hibridno varjenje in postopki za ta način varjenja in spajanja materialov v neločljivo zvezo so zajeti v petnajstem poglavju.



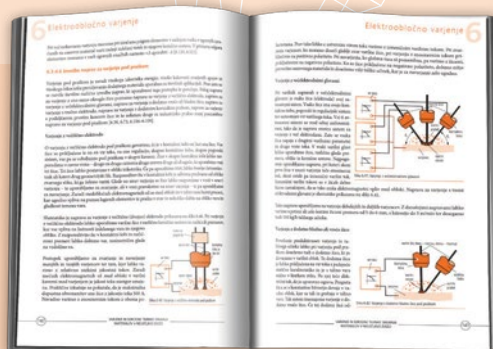
CENA KNJIGE

40 €

Komu je knjiga namenjena

Študentom dodiplomskega in podiplomskega študija na fakultetah za strojništvo ter na vseh drugih fakultetah in višjih šolah, ki imajo v svojem izobraževalnem programu tudi področje spajanja materialov v neločljivo zvezo. Nadalje je lahko knjiga v veliko pomoč vsem udeležencem različnih tečajev, seminarjev in specializacij iz varilstva. Knjiga bo koristila tudi zaposlenim v industriji, ki delujejo na varilskem in širšem področju spajanja materialov ter se spoprijemajo z različnimi tehničnimi in tehnološkimi težavami. Veliko koristnih nasvetov, podatkov in informacij pa bodo našli še vsi, za katere je varilstvo le dopolnilna aktivnost, konjiček ali priložnostna dejavnost.

Univerza v Ljubljani
Fakulteta za strojništvo



NAROČILO KNJIGE

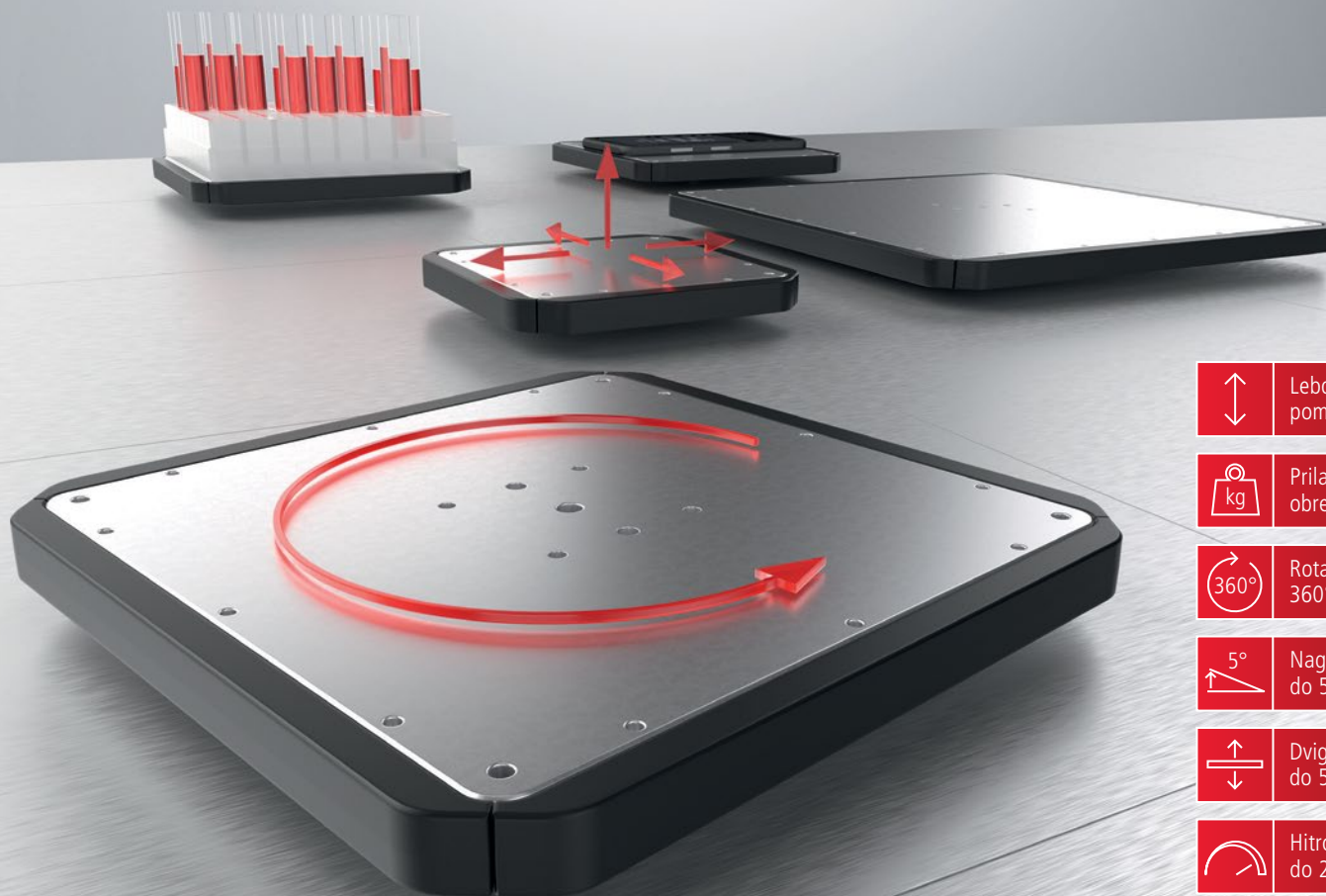
Naročila sprejemamo na e-poštni naslov:
knjiznica@fs.uni-lj.si

ZALOŽBA:

Fakulteta za strojništvo, Univerza v Ljubljani

XPlanar®: Lebdeč, brezkontakten, inteligenten!

Prosto 2-dimenzionalno pomikanje izdelkov z do 6 prostostnih stopenj



	Lebdeče pomične enote
	Prilagodljiva obremenitev
	Rotacija 360°
	Nagib do 5°
	Dvig do 5 mm
	Hitrosti do 2 m/s

www.beckhoff.com/xplanar

Sistem XPlanar omogoča več svobode pri stregi izdelkov: pomične enote lebdiyo nad sestavljenimi ploščami, po katerih se prosto določa pot gibanja.

- Individualni 2-dimenzionalni transport s hitrostjo do 2 m/s
- Obdelava izdelkov z do 6 prostostnimi stopnjami gibanja
- Transport in obdelava v enem sistemu
- Higijenska izvedba, enostavna za čiščenje in brez obrabljanja
- Prosto razporejanje plošč za optimalno zasnovano stroja
- Istočasni nadzor nad več enotami omogoča vzporedno in streglo posamičnih izdelkov
- Popolnoma integriran s konceptom Beckhoff PC krmiljenja (TwinCAT, PLC IEC 61131, Motion, Measurement, Machine Learning, Vision, Communication, HMI)



Beckhoff Avtomatizacija d.o.o.
Zbiljska cesta 4, 1215 Medvode
info@beckhoff.si
01 361 30 80

New Automation Technology

BECKHOFF

THOMSON LINEAR predstavlja kompaktne elektro-mehanske linearne pogone z vgrajeno podporo za CAN bus in kompatibilnostjo s PLC-jem

Thomson Linear, vodilni proizvajalec mehanskih rešitev za nadzor gibanja, predstavlja nove kompaktne aktuatorje serije Electrak® MD, ki ohranjajo vso inteligenco svojega večjega predhodnika Electrak® HD. Mobilne aplikacije, upravljanje z materiali, tovarniška avtomatizacija in druge najzahtevnejše aplikacije lahko izkoristijo kompaktni pogon z močjo do dveh kilonewtonov (kN), napredno integrirano elektronika in J1939 CAN Bus podporo.

»Tradicionalno uporabljajo uporabniki nadzora gibanja, ki iščejo sistem za večje obremenitve hidravlične aktuatorje« je povedal Håkan Persson, direktor proizvodne linije za industrijske aktuatorje pri podjetju Thomson. »Vendar so ti pogoni dragi za vzdrževanje in potrebujejo veliko prostora. Z našimi novimi kompaktnimi aktuatorji serije Electrak® MD lahko razvijalci zdaj dosežejo visoko natančnost in večjo prilagodljivost hkrati pa znižajo stroške. »

Vgrajena elektronika

Novi Electrak® MD ima vgrajeno inteligenco, ki izboljša splošno zmogljivost in potrebuje manj prostora, saj je zunanja oprema, kot so encoderji in stikala vgrajena v sam aktuator. Kot pri aktuatorjih Electrak® HD, njegovem »velikemu bratu«, ta funkcionalnost omogoča enostavnejši način nadzora in komunikacije. S tem se zmanjšajo tudi operativni stroški in poenostavlja se vgradnja ter instalacija.

Poleg zgoraj navedenih prednosti aktuatorji Electrak® MD omogočajo tudi povratne informacije o položaju, komunikacijo z J1939 CAN, nizko tokovno preklapljanje (združljivost s PLC-jem) in indikacijo konca hoda.



Aktuatorji Electrak® MD

Visoka gostota moči

Številni razvijalci se pogosto soočajo z izzivom, kako izpolniti prostorske omejitve in istočasno ohraniti zahteve po visokih silah. Vzemimo kot primer kombajne kjer je bilo v preteklosti dovolj prostora za hidravlične rešitve z možnostjo velike sile. Danes pa želijo oblikovalci zmanjšati celotni odtis opreme in dodati še večjo funkcionalnost, kar ima za posledico večje povpraševanje po kompaktnih komponentah, kot je močan in inteligen aktuator Electrak® MD.

Industrijska

olja in maziva



Olma d.o.o., Poljska pot 2, 1000 Ljubljana,
tel.:(01) 58 73 600, faks: 54 63 200,
e-pošta: komerciala@olma.si, <http://www.olma.si>



Javno povabilo avtorjem strokovnih publikacij

Vi napišete, mi izdamo vašo knjigo

Čas je, da potegnete iz predala ali iz stare datoteke tisti material za knjigo, ki še vedno čaka, da jo izdate. Ne dovolite, da se vaše strokovno znanje izgubi. Naj izide v priročniku, monografiji ali drugi strokovni publikaciji.

Pri tem vas bo podprla izkušena založniška ekipa revije IRT3000. Namesto vas bomo poskrbeli za lektoriranje, oblikovanje in postavitve knjige, tisk in prodajo. Z izbranimi avtorji bomo podpisali pogodbo o sodelovanju. Preverite na www.irt3000.si/javnopovabilo ali pokličite na 051 322 442.



PROFIDTP

PROFIDTP d.o.o. • Gradišče VI 4, 1291 Škofljica • +386 41 669 775 • info@profidtp.com

WWW.PROFIDTP.COM



OMEGA AIR d.o.o. Ljubljana
 Cesta Dolomitskega odreda 10
 SI-1000 Ljubljana, Slovenija
www.omega-air.si
 T +386 (0)1 200 68 00
 info@omega-air.si



TLAČNA OBMOČJA

16 bar
 50 bar
 100 bar
 250 bar
 420 bar

TIPI FILTROV

Predfiltri
 Mikrofiltri
 Filtri z aktivnim ogljem
 Procesni filtri
 Sterilni filtri

TOČKE ROSIŠČA

+3°C
 -25°C
 -40°C
 -70°C

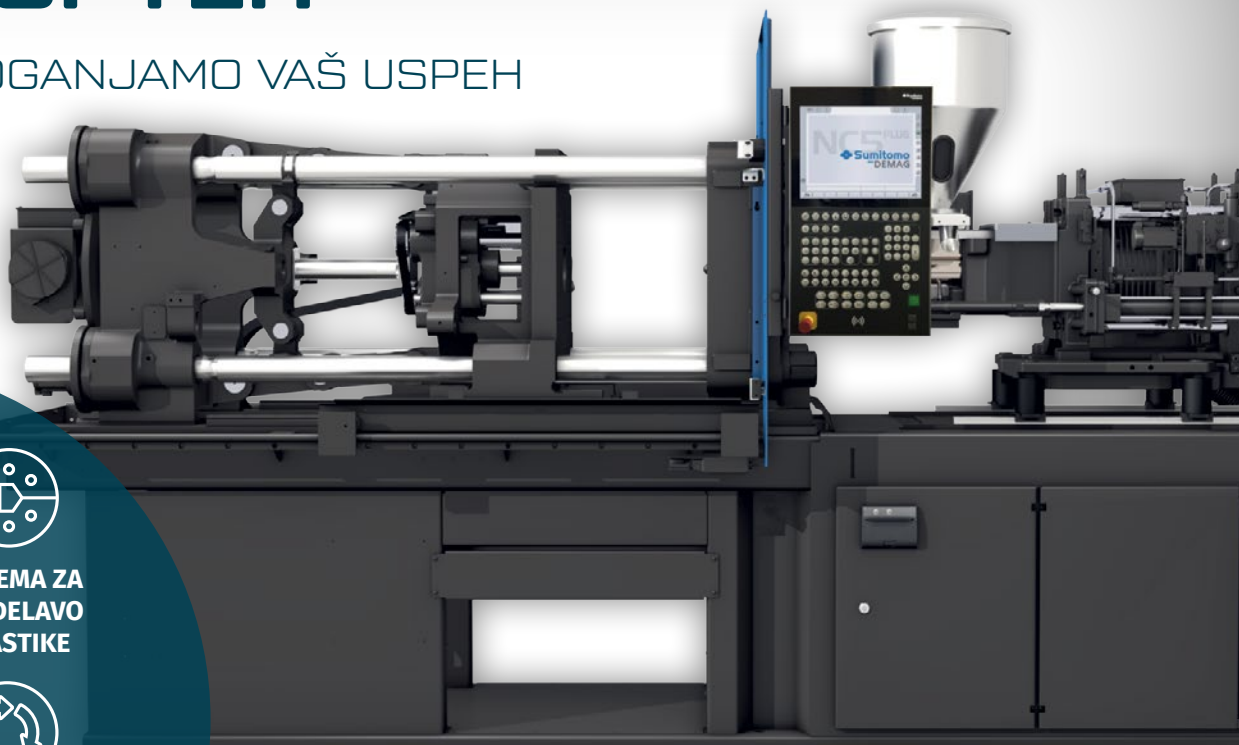
MEDIJI

Stisnjen zrak
 N₂, O₂
 Naravni plin
 CO₂, H₂, He



TOPTEH

POGANJAMO VAŠ USPEH



STROJI ZA
 BRIZGANJE
 PLASTIKE



OPREMA ZA
 PREDELAVO
 PLASTIKE



INDUSTRIJSKI
 HLADILNI
 SISTEMI



RECIKLAŽNA
 TEHNOLOGIJA

V DANAŠNJEM SVETU SPREMAMB VAM PONUJAMO STABILNOST

Top Teh d.o.o., Reber 10, 1291 Škofljica, Slovenia
 PE Grosuplje, Cesta Toneta Kralja 26, 1290 Grosuplje, Slovenia | T 00 386 (0)1 78 71 661 | E info@topteh.si



MB-NAKLO



ORODJA:

- PKD, CBN in HM orodja
- HM in HSS frezala
- vpenjalna tehnika
- optimizacija in obnova orodij
- orodne rešitve za E-mobilnost
- celostne rešitve za strojno obdelavo

AVTOMATIZACIJA:

- pnevmatska, električna in kolaborativna prijemala
- obračalne in linearne enote
- robotski dodatki
- vakuumska prijemala in generatorji
- vijačniki, dozirniki in merilna tehnika
- stiskalnice, krmilniki in kontrolni sistemi



STROJI:

- obdelovalni centri
- ploskovni in profilni brusilni stroji
- stružnice
- stroji za okroglinško brušenje
- ergonomske roke
- žica za erozijo

... Vir rešitev!

MB-NAKLO d.o.o., Toma Zupana 16, SI-4202 Naklo

T +386 (0)4 277 17 00 M +386 (0)31 308 565 E info@mb-naklo.si W www.mb-naklo.si





Zastopstvo in prodaja novih strojev

Servis strojev

Prodaja in obnova rabljenih strojev

Pomoč pri tehnologiji

Rezervni deli za stroje

Pomoč pri nabavi novega ali rabljenega stroja

Šolanje iz področja nc programiranja

VIST d.o.o.
Ul. Jožeta Jame 14
SI-1210 Ljubljana

GSM: +386 41 386 700

TEL: +386 1 583 82 20

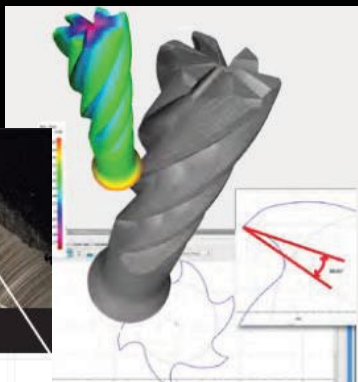
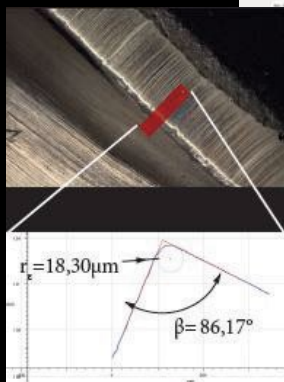
info@vist-cnc.com



**MERITVE GEOMETRIJE REZALNIH ORODIJ,
MERITVE OBRABE REZALNIH ORODIJ ...**

MERITVE HRPAVOSTI (linijska, površinska)

MERITVE POLJUBNE 3D GEOMETRIJE



ALICONA
InfiniteFocusSL



Povečava objektivna	5x	10x	20x
Delovno območje (X, Y, Z) [mm]	50 x 50 x 155		
Delovno območje objektivna [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



Kjer se odpirajo nove
perspektive – odpravite
se v delovni svet
prihodnosti s
ZOLLER-jem



www.zoller-a.at

Zoller Austria GmbH
Einstell- und Messgeräte
A-4910 Ried/I.
E-mail: office@zoller-a.at

ZOLLER
expect great measures

powered by **iCm**

5.-7.10.2021

GR, Ljubljana, Slovenija

CLEANME

Strokovni sejem za industrijsko & komercialno čiščenje



www.icm.si

SLOVENSKI KVIZUM

» Antikoagulantni protein iz kačjega strupa, ki močno zavira strjevanje krvi in ima potencial za zdravljenje venske trombembolije, so odkrili:

- Naravovarstvenik in lovec na krokodile Steve Irwin
- Člani ekipe Survivor
- Raziskovalci Inštituta Jožef Stefan
- Snemalci National Geographica

Kviz: poznate slovenske izume?

Ste vedeli, da smo Slovenci narod inženirjev in inovatorjev? Čisto zares. Izkopanine na naših tleh dokazujejo, da smo inovirali že pred 5.000 leti, danes pa številna domača podjetja na novo pišejo tehnično zgodovino. Poznate njihove dosežke?

Reši in povej naprej!

www.talentismo.si



VAKUUMSKE REŠITVE OD ENEGA DOBAVITELJA

Podjetje Pfeiffer Vacuum je znano po vsem svetu po svojih inovativnih in namenskih vakuumskih rešitvah, tehnološki popolnosti, kompetentnem svetovanju in zanesljivem servisu. Podjetje je edini dobavitelj vakuumске tehnologije, ki zagotavlja celovito ponudbo izdelkov:

- Črpalke za ustvarjanje vakuumа vse do izredno visokega vakuumа (UHV)
- Oprema za meritve in analizo vakuumа
- Detektorji puščanja in sistemi za kontrolo tesnosti embalaže
- Sistemska tehnologija in rešitve za obvladovanje kontaminacije
- Komore in komponente

Iščete popolno rešitev na področju detekcije puščanja? Kontaktirajte nas:

SCAN d.o.o. Preddvor · T +386 4 2750200 · F +386 4 2750240 · info@scan.si

Pfeiffer Vacuum Austria GmbH · T +43 1 8941704 · F +43 1 8941707 · office@pfeiffer-vacuum.at

www.pfeiffer-vacuum.com

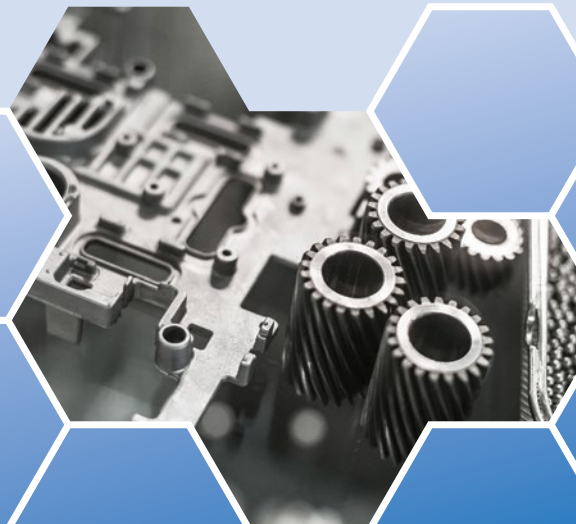
INDUSTRIJSKI FORUM **IRT** 2022

NEPOGREŠLJIV VIR INFORMACIJ ZA STROKO

Predstavitev strokovnih prispevkov
Strokovna razstava | Aktualna okrogla miza
Podelitev priznanja TARAS

FORUM ZNANJA IN IZKUŠENJ

Dogodek je namenjen predstavitvi dosežkov in novosti iz industrije, inovacij in inovativnih rešitev iz industrije in za industrijo, primerov prenosa znanja in izkušenj iz industrije v industrijo, uporabe novih zamisli, zasnov, metod tehnologij in orodij v industrijskem okolju, resničnega stanja v industriji ter njenih zahtev in potreb, uspešnih aplikativnih projektov raziskovalnih organizacij, inštitutov in univerz, izvedenih v industrijskem okolju, ter primerov prenosa uporabnega znanja iz znanstveno-raziskovalnega okolja v industrijo.



Priznanje TARAS za najuspešnejše sodelovanje znanstvenoraziskovalnega okolja in gospodarstva na področju inoviranja, razvoja in tehnologij.

Portorož, 6. in 7. junij 2022

www.forum-irt.si



INDUSTRIJSKI
FORUM
IRT
2021
forum-irt.si