

VENTIL

ISSN 1318 - 7279

Letnik 30 / 2024 / 3 / Junij

Uporaba 5 G
Tehnologije

Nekonvencionalni
procesi

Proizvodni in
intraglogistični procesi

Napoved rabe
toplotne energije

OPL

rexroth
A Bosch Company

OPL industrijska avtomatizacija d.o.o.

Dobrave 2, 1236 Trzin, Slovenija

tel.: +386 (0)1 560 22 40

e-mail: info@opl.si

NOVOST

7 osni kolaborativni roboti



ZAVORNE REŠITVE

Vrhunske zavorne rešitve za traktorje, off-road vozila in prikolice z dvolinijskim sistemom, zasnovane in proizvedene v Sloveniji

VSESTRANSKOST / VARNOST / ENOSTAVNOST UPORABE / ERGONOMIJA



Ventil za delavno zavoro



Ventil za parkirno zavoro



Ventil za polnjenje akumulatorja



Zavorni ventil za dvolinijski zavorni sistem – traktor



NOVO



Poclain Hydraulics d.o.o.
Industrijska ulica 2, 4226
Žiri, Slovenija
+386 (0)4 51 59 100

www.poclain-hydraulics.com



RAZVOJ SLOVENIJE OD VSTOPA V EU



Vsi tisti, ki redno berejo uvodnike, so upravičeno zgroženi in se sprašujejo kako to, da danes niti strojniki oziroma tehniki ne držijo več izrečene besede. V zadnjem uvodniku sem namreč zapisal, da se poslavljam od glavnega uredništva in da ne bom več pisal uvodnikov. Pa je prišlo do nepričakovanega dogodka, da sem moral besedo prelomiti. To mi je zelo žal, ker je zame dana beseda še vedno ravno toliko vredna kot zapisana in ne vem kolikokrat podpisana in overovljena.

Pred kratkim smo praznovali dvajseto obletnico vstopa Slovenije v Evropsko unijo. Narejene so bile številne analize, primerjave in študije, kaj ta evropska skupnost pomeni za slovenski narod in za našo državo. Velika večina analitikov se strinja, da je bila to dobra odločitev, ki pa je Slovenija ni znala prav izkoristiti. Analitiki so enotni, da Slovenija ni naredila pravega razvojnega premika v primerjavi z drugimi državami, ki so se ravno takrat pridružile omenjeni uniji.

Glavni cilj vstopa Slovenije v EU je predvsem razvoj in s tem zvišanje dodane vrednosti proizvodov in storitev, zvišanje standarda in izboljšanje socialne ravni državljanov. To pa se ni zgodilo.

Zakaj? Od desetih držav, ki so se takrat pridružile EU, je Slovenija napredovala najmanj. Ob vstopu je Slovenija dosegala 88 odstotkov povprečne razvitosti EU, merjene z bruto domačim proizvodom na prebivalca, v dveh desetletjih pa je ta razkorak zmanjšala le za tri odstotne točke. Češka in Slovenija zdaj dosegata 91 odstotkov povprečne razvitosti Evropske unije, pri čemer je bila Češka ob vstopu na 75 odstotkih povprečja EU.

Razlogov za to je več. Prav gotovo so krive vlade, ki so v teh dvajsetih letih imele vse razvojne niti v svojih rokah.

Verjetno res drži, da so glavni krivec leve vlade, ki so v letih po osamosvojitvi vladale v več kot 75 odstotkih časa. V drugih državah, ki so napredovale hitreje, je razmerje med levimi in desnimi vladami ravno obratno. Pri tem je verjetno tudi res, da je pri nas sociala na višjem nivoju kot drugje, da so leve vlade bolj dvigovale minimalne plače, uvajale očetovski dopust, višale odstotek plače v času bolniškega staleža, obdavčevale osebne

dohodke, kot bi to ravnale desno usmerjene vlade. To pomeni, kar je na zahodu znano že celo stoletje, da desne vlade ustvarjajo, leve pa zapravljajo. Leve vlade najpogosteje pridejo v krizo, kot je dejala Thatcherjeva, takrat, ko jim zmanjka denarja, ki ni njihov.

V različnih analizah napredka Slovenije v zadnjih dvajsetih letih najdemo tudi argument, da je Slovenija veliko večina pridobljenega evropskega denarja porabila za državne in javne naložbe. Nekateri navajajo številne projekte po Sloveniji, ki so zgrajeni z evropskim denarjem in ne prinašajo nikakršne dodane vrednosti. S temi sredstvi se primarno plačujejo službe v Ljubljani, učinkovitost porabe teh sredstev pa je majhna ali pa je sploh ni.

Slovenija je do sedaj največ evropskega denarja porabila za prenovno železniške proge Ljubljana-Jesenice. Med desetimi največjimi prejemniki ni gospodarskih ali podjetniških projektov. Iz vseh teh sredstev je v Ljubljani in okolici nastala polovica vseh novih delovnih mest v celotni državi. Potem se pa čudimo vsakodnevnim prometnim zamaškom okoli Ljubljane. To ni skladen razvoj celotne države in za to so krive vlade.

V trenutni situaciji pa je zadeva še mnogo bolj zapletena. Čeprav nismo v recesiji in razne napovedi Sloveniji pripisujejo gospodarsko rast, smo tisti, ki delamo v gospodarstvu, zaskrbljeni. V številnih strojniških panogah nimajo zadosti naročil za nove projekte, povpraševanje na trgu pada, konkurenčnost slovenskega gospodarstva se slabša. Prav to slednje je še najbolj skrb vzbujajoče.

Slovenija je pri zadnjih meritvah glede konkurenčnosti padla na svetovni lestvici. To so pred dnevi sporočili z Mednarodnega inštituta za razvoj menedžmenta (IMD) v švicarski Lozani, ki vsako leto pripravlja omenjeno lestvico. Skupno smo zdrsnili za štiri mesta in zasedamo 42. mesto med 64 državami, kar res ni zavidljivo.

Tudi ekonomska svoboda je bistvenega pomena za gospodarsko rast in blaginjo prebivalcev. Leta 2022 smo imeli kljub pandemiji po mednarodnih merilih najvišjo ekonomsko svobodo. Leta 2023 smo padli za pet mest. To poroča Visio Institut. Že vrsto let je povsem na vrhu ali pa tik pod vrhom ekonomske svobode Singapur, kjer imajo zaposleni povprečno plačo 3 000 evrov, na zadnjem mestu pa je že vrsto let Venezuela, kjer je povprečna plača le 3 evre. Ali ni ta podatek izjemno nazoren in tudi priporočilo vsem politikom in drugim, ki odločajo v imenu države?

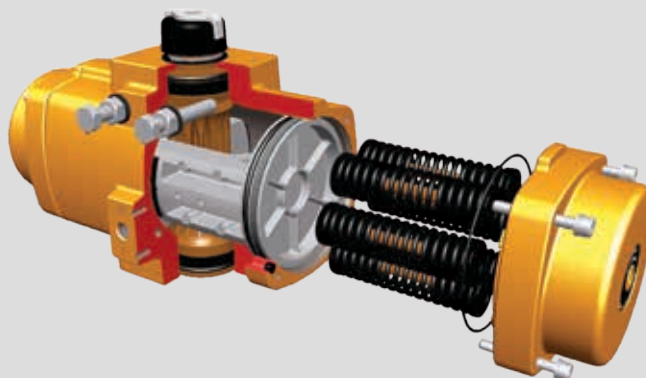
In o tem slovenski mediji ne poročajo, kot da se nas ne tiče.

Prav tako vzbuja skrb to, da znanje naših dijakov in celo učencev v primerjavi z drugimi državami nazaduje. Nazadujemo na lestvici varnosti državljanov in še bi lahko našteval.

Janez Tušek



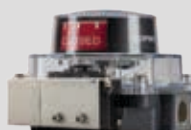
EL Matic™



BETTIS™



FISHER®



Dantorque

HYTORK®

Shafer®

ppt commerce

HIDRAVLIKA IN PROCESNA TEHNIKA
PRODAJA • PROJEKTIRANJE • SERVIS

PPT commerce, d.o.o.

Celovška cesta 334, 1210 Ljubljana – Šentvid

tel. 01/ 514 23 54, fax 01/ 514 23 55, gsm 041 639 008

e-mail: info@ppt-commerce.si

www.ppt-commerce.si

DOGODKI • POROČILA • VESTI	130
Dominika Rozoničnik	
Dan meroslovja 2024 v Lipici – podpis Metrske konvencije v Parizu leta 1875	132
PREDSTAVITEV	
Neža Markelj Bogataj	
Nova raziskovalna oprema za prebojne raziskave in še bolj poglobljeno sodelovanje z gospodarstvom – 5. del	134
NOVICE • ZANIMIVOSTI	136
BIONIKA	
Janez Škrlec	
Preoblikovanje industrijske avtomatizacije s tehnologijo, ki jo navdihuje narava	142
5G TEHNOLOGIJE	
Miha Pipan, Marko Šimic, Leon Vončina, Niko Herakovič	
Use of 5G Technology in Manufacturing Processes and Systems	144
NEKONVENCIONALNI PROCESI	
Marko Jerman, Andrej Lebar, Izidor Sabotin, Joško Valentinčič	
Karakteristike obdelave aluminija 6061 z abrazivnim vodnim curkom z ozirom na standard SN 214001	152
NADZOR PROIZVODNIH PROCESOV	
Jan Suhadolnik, Andrej Erzetič, Aleš Sedej Miha Gantar, Jure Maver, Filip Jure Vuzem, Hugo Zupan	
Celostna preobrazba proizvodnih in intralogističnih procesov - Avtomatizacija, implementacija digitalnih rešitev in digitalnega dvojčka	162
MEHANSKO PREZRAČEVANJE	
Gašper Brunskole, Ljupka Vrteva, Uroš Stritih	
Napoved rabe toplotne energije, potrebne za dogrevanje zraka v mehanskem prezračevalnem sistemu	168
AKTUALNO IZ INDUSTRIJE	
Izravnalne noge, optimizirane za čiščenje (ELESA+GANTER)	180
Nova vakuumaska prijemala za avtomatizacijo (ELESA+GANTER)	181
SMART FLEX EFFECTOR – inteligen ten kompenzacijski modul za robote (La & Co)	182
NOVOSTI NA TRGU	
Mini plinske vzmeti BANSBACH (INOTEH)	183
Aktuatorji serije UW100 za uporabo pod vodo (INOTEH)	184
Nov kompaktni brezžični sistem serije EXW1 (SMC Industrijska avtomatika)	185
PODJETJA PREDSTAVLJAJO	
Rekordna štiriletna garancija za kable igus (HENNLICH)	186
Zajem in uporaba ogljikovega dioksida (CO ₂) s sistemi OMEGA AIR (OMEGA AIR)	188

PODELITEV NAGRAD TEHNOLOŠKE MREŽE

TEHNOLOGIJA VODENJA PROCESOV ZA

NAJBOLJŠE DIPLOMSKO IN MAGISTRSKO DELO

ZA LETO 2024

Tehnološka mreža Tehnologija vodenja procesov (TVP) je tudi letos, že dvanajsto leto zapored, podelila nagradi za najboljše magistrsko delo in najboljše diplomsko delo na področju tehnologije vodenja.



Tehnološka mreža Tehnologija vodenja procesov je konzorcij, ki od leta 2003 povezuje javne raziskovalne institucije in podjetja na področju avtomatizacije, informatizacije in kibernetizacije sistemov v Sloveniji. Aktivnosti mreže so usmerjene v spodbujanje prenosa znanja in tehnologij v industrijsko prakso ter razvoj produktov in storitev za prodajo na trgu.

S podeljevanjem nagrad Tehnološka mreža TVP vzpodbuja kvalitetno delo in odličnost mladih, ki začenejo s svojim raziskovalnim in strokovnim delom. Nagrade razpisuje na širših področjih delovanja mreže, in sicer:

- ▶ avtomatizacija strojev in naprav,
- ▶ vodenje kompleksnih sistemov in tehnoloških procesov,
- ▶ inteligentni sistemi in procesi v pametnih tovarnah,
- ▶ diagnostika, prognostika in samovzdrževanje strojev in naprav,
- ▶ avtonomna vozila,
- ▶ podpora logističnim procesom v podjetjih,
- ▶ tehnologije vodenja za pametno upravljanje z energijo, večjo kakovost bivanja in manjše onesnaževanje okolja,
- ▶ sodobne IKT v sistemih vodenja, npr. internet stvari, umetna inteligenca, oblčne tehnologije, velepodatki,
- ▶ tehnologije in znanja za razvoj novih orodij in gradnikov za sisteme vodenja,
- ▶ druga področja, povezana s problematiko vodenja sistemov in procesov.

Podelitev nagrad in predstavitev nagrajenih del sta potekali 10. aprila 2024 v okviru dogodka Dnevi av-

tomatike na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani.

Nagrado za najboljše diplomsko delo je prejel Marko Kuzmanoski za delo z naslovom *Idejna zasnova, modeliranje in uporaba satelita Cubesat pri zaznavanju in spremljanju oceanskega onesnaževanja s plastiko*, ki ga je opravil na Univerzi v Ljubljani na Fakulteti za elektrotehniko pod mentorstvom izr. prof. dr. Gregorja Klančarja.

V diplomskem delu je predstavljena idejna zasnova projekta, ki vključuje konceptualni dizajn satelita CubeSat (majhen satelit z robom nekaj decimetrov), snovanje podsistemov satelita in njihovo podrobno načrtovanje. Poudarjen je pregled tehnike zaznavanja plastike in mikroplastike s hiperspektralno



Utrinek s podelitve nagrad

kamero preko preučevanja ustrezne spektrometrije in optičnega filtriranja. Izračunana je optična geometrija zajetega polja, ki nadalje definira orbito z definicijo Keplerjevih elementov. Izvedena je simulacija gibanja satelita (tirnice), poteka misije in komunikacija s postajo na Zemlji. Simulacijska orodja in izračuni pripeljejo do nadaljnje analize podatkov in njihovega prenosa ter določanja finalne mreže potrebnih komunikacijskih postaj na Zemlji. Delo predstavlja izhodišče za prihodnje raziskave pri ohranjanju narave našega planeta, kar je ključni izziv tehnološke prihodnosti.

Nagrado za najboljšo magistrsko delo je prejel Kristjan Cuznar za delo z naslovom *Priporočilni sistem za podporo pri odločanju operaterja industrijskega procesa*, ki ga je opravil na Univerzi v Ljubljani na Fakulteti za elektrotehniko pod mentorstvom doc.

dr. Vita Logarja in somentorstvom dr. Miha Glavana. V magistrskem delu avtor predstavi razvoj inovativnega priporočilnega sistema, ki je operaterjem lahko v podporo pri odločanju pri različnih industrijskih procesih. Sistem s pomočjo analize preteklih podatkov identificira najučinkovitejše prakse in znanja izkušenih operaterjev ter jih uporablja za prilagoditev procesnih parametrov. Rezultat je prototip orodja, ki omogoča izboljšanje učinkovitosti in produktivnosti procesa, prenos znanja na manj izkušene operaterje ter uporabo v realnem industrijskem okolju. Univerzalnost razvitih pristopov omogoča uporabo v drugih sorodnih proizvodnih procesih, kar potrjuje velik potencial praktične uporabe razvitih in implementiranih konceptov med delom.

Gorazd Karer,
UL, Fakulteta za elektrotehniko

POSVET

AVTOMATIZACIJA STREGE IN MONTAŽE 2024 - ASM '24

06. decembra 2024

na Gospodarski zbornici Slovenije v Ljubljani

aktualne novice o posvetu so na voljo na www.posvet-asm.si

JAKŠA
MAGNETNI VENTILI

od 1965

- vrhunska kakovost izdelkov in storitev
- zelo kratki dobavni roki
- strokovno svetovanje pri izbiri
- izdelava po posebnih zahtevah
- širok proizvodni program
- celoten program na internetu

www.jaksa.si



Jakša d.o.o., Šlandrova 8, 1231 Ljubljana
T (0)1 53 73 066, F (0)1 53 73 067, E info@jaksa.si

V OKVIRU DNEVA MEROSLOVJA 2024 V LIPICI OBELEŽILI PODPIS METRSKE KONVENCIJE V PARIZU LETA 1875

Dominika Rozoničnik

Urad RS za meroslovje je skupaj s sekcijo SiMER 21. 05. 2024 v Lipici organiziral Dan meroslovja, ki ga sicer praznujemo 20. maja, ko se spominjamo podpisa pomembne mednarodne pogodbe leta 1875 v Parizu – Meterske konvencije.



Vsi sodelujoči na Dnevu meroslovja 2024 (od leve Jani Jordan, dr. Alexandra Bogožalec Košir, dr. Samo Kopač, mag. Dominika Rozoničnik, Gregor Koselj in dr. Denis Sušin)

S podpisom te mednarodne pogodbe je bil postavljen pomemben mejnik naše zgodovine. Takrat je bil v Parizu ustanovljen mednarodni urad za uteži in mere (BIPM), hkrati pa so bili vzpostavljeni osnovni pogoji za poenotenje merskih enot in mednarodno primerljivost merjenj.

Krovna tema letošnjega Dneva meroslovja je bila *Merimo danes za trajnostni jutri*. Trajnostni razvoj pomeni izkoreninjenje revščine, zmanjšanje neenakosti in spodbujanje trajnostnega upravljanja naravnih

nih virov in ekosistemov ter trajnostne, vključujoče in pravične gospodarske rasti. Natančne meritve so osnova okoljskih raziskav in oblikovanja politik, saj nam omogočajo razumevanje in reševanje kompleksnih okoljskih izzivov, kot so podnebne spremembe, onesnaževanje in izčrpavanje virov. Ta tematika nas tako vse spodbuja k raziskovanju, kako meroslovje vsak dan prispeva k izboljšanju naših življenj.

Udeležence dogodka je v uvodu pozdravil državni sekretar na ministrstvu za gospodarstvo, turizem in šport mag. Dejan Židan, ki je med drugim povedal: »Natančne in zanesljive meritve nam omogočajo kakovostnejše spremljanje okoljskih parametrov, boljšo oceno vpliva človekovih dejavnosti in razvoj

Mag. Dominika Rozoničnik, Urad RS za meroslovje

strategij, ki spodbujajo ekološko ravnovesje. Na ministrstvu tako z veseljem podpiramo letošnjo temo svetovnega dneva meroslovja in se ji tudi pridružujemo, ker danes točni merilni instrumenti in podatki, ki jih dobimo z meritvami, resnično igrajo ključno vlogo pri ustvarjanju boljšega jutri za vse nas in generacije, ki prihajajo za nami.«

Kot je v uvodnih besedah povedal dr. Samo Kopča, direktor Urada RS za meroslovje, »se letošnji svetovni Dan meroslovja osredotoča na številne merilne priložnosti, ki prispevajo k vzpostavitvi trajnostnega svetovnega gospodarstva in okolja. Povezovanje in sodelovanje z vsemi deležniki pa je ključno, da lahko resnično z meritvami zagotovimo boljšo in trajnostno prihodnost. Zato Urad Republike Slovenije za meroslovje že tretje leto zapored organizira Dan meroslovja skupaj z GZS – sekcijo SiMER, ki povezuje proizvajalce, uporabnike ter zastopnike merilne opreme.«

V imenu sekcije SiMER je tako nekaj meroslovnih utrinkov iz prakse s področja trajnostnega razvoja z udeleženci dogodka delila tudi podpredsednica sekcije Aleksandra Lepenik.

Na Dnevu meroslovja so svoja bogata strokovna znanja s področja meritev predstavili strokovnjaki različnih področij:

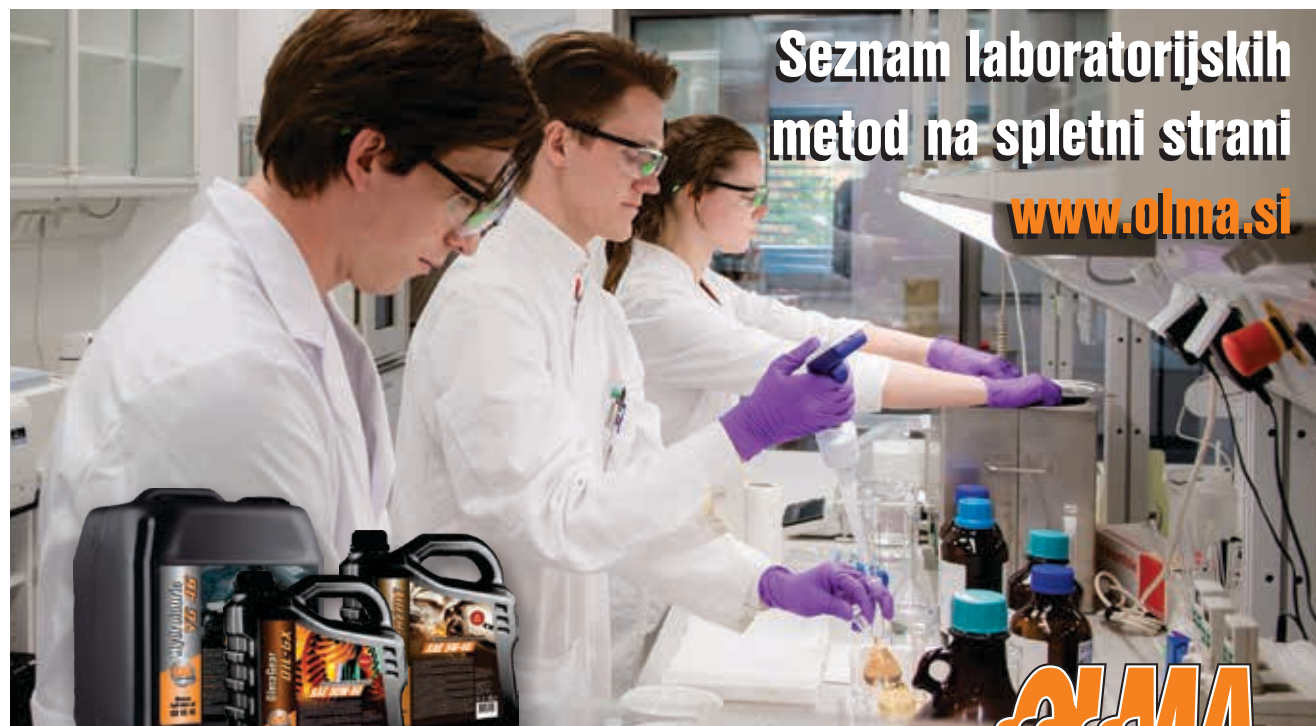
- ▶ Jani Jordan, ustanovitelj podjetja Aqualink, d. o. o.:

Trajnostno upravljanje vodovodnih omrežij s pametnimi AQ-senzorji;

- ▶ Gregor Koselj, strokovnjak v službi za meritve, Elektro Gorenjska, d. d.: Zajem in uporaba merilnih podatkov iz števec električne energije;
- ▶ dr. Alexandra Bogožalec Košir, znanstvena sodelavka na Oddelku za biotehnologijo in sistemsko biologijo Nacionalnega inštituta za biologijo: Xylella fastidiosa – kako nas iskanje bakterije lahko obvaruje pred pomanjkanjem oljčnega olja;
- ▶ dr. Denis Sušin, vodja kakovosti v podjetju Gazela, d. o. o.: Meroslovje – balast ali ključen vidik trajnosti.

Vsi predavatelji so ne glede na področje dela poudarili, da so meritve na področju trajnostnega razvoja izredno pomembne, saj omogočajo sprejemanje premišljenih odločitev, ki vodijo v boljši jutri in ustvarjanje kakovostnejšega življenja za naše naslednje generacije.

Sodeč po številčni udeležbi, številnih vprašanih in zanimivih razmišljanjih občinstva je dogodek še dodatno potrdil, kako pomembno vlogo ima meroslovje v našem življenju in kako veliki so izzivi meritev na področju trajnostnega razvoja v sodobni družbi. To so tudi zaveze Evropske komisije v agendi za trajnostni razvoj do leta 2030, kar je ključnega pomena za krepitev odpornosti in pripravo sveta na prihodnje pretese.



Seznam laboratorijskih metod na spletni strani
www.olma.si

OLMA
www.olma.si

Olma d.o.o., Poljska pot 2, 1000 Ljubljana,
tel.: (01) 58 73 600, faks: 54 63 200,
e-pošta: order@olma.si, http://www.olma.si

Quaker Houghton
MOTUL
tribo-chemie
setral
SLOVENOIL
STORM

NOVA RAZISKOVALNA OPREMA ZA PREBOJNE RAZISKAVE IN ŠE BOLJ POGLOBLJENO SODELOVANJE Z GOSPODARSTVOM – 5. DEL

Neža Markelj Bogataj

V tokratnem, 5. delu, je v nadaljevanju bolj podrobno predstavljena najmodernejša raziskovalna oprema, ki zajema: napravo za plazemsko elektrolitsko poliranje, optični sistem za spremljanje emisije reaktivnih tokov v IR- in UV-spektru ter nadgradnjo statičnega in dinamičnega preizkuševališča Step Engineering UD08. Oprema bo omogočala pomemben napredek UL, Fakultete za strojništvo, na področju bazičnih raziskav in hkrati, v sodelovanju z gospodarstvom, pomembno prispevala k inovativnim rešitvam v industrijskem okolju.

Naprava za plazemsko elektrolitsko poliranje

Plazemsko elektrolitsko poliranje (PeP) je nekonvencionalna oblika fine končne obdelave, s katero lahko občutno izboljšamo lastnosti površin. Za razliko od običajnega postopka elektrolitskega poliranja, pri katerem se kot elektrolit uporabljajo visoko koncentrirane mešanice kislin, pri PeP uporabimo razredčene vodne raztopine različnih soli, kot je npr. amonijev sulfat. Rezultati obdelave s PeP so odvisni od materiala in hrapavosti površine pred obdelavo ter pogojev obdelave. V primerjavi z do sedaj uporabljenimi konvencionalnimi metodami poliranja (ročno poliranje, elektrokemijska obdelava) je metoda PeP hitrejša in cenejša ter povzroča manjše mehanske obremenitve obdelovancev, kar je še posebej pomembno pri obdelavi površin 3D natisnjenih izdelkov. Bistvena prednost metode pa je tudi v tem, da se izognemo uporabi tradicionalnih elektrolitov, kot sta žveplena kislina in fosforna kislina, ki sta nevarni tako pri uporabi kot tudi kasneje pri transportu ali odstranjevanju.

Gre za najsodobnejšo metodo v Sloveniji, ki s kombinacijo tehnologij selektivnega laserskega taljenja (SLM) omogoča fino poliranje 3D natisnjenih kovinskih izdelkov za uporabo v mikrofluidiki. Prenos tehnološkega znanja iz TU Bergakademie Freiberg poteka v okviru projekta SEAMAC.

Neža Markelj Bogataj, mag., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo



Slika 1 : Naprava za plazemsko elektrolitsko poliranje (Foto: Arhiv FS)



Slika 2 : DIC-sistem za merjenje deformacijskih polj
(Foto: IFP, d. o. o.)

Nadgradnja statičnega in dinamičnega preizkuševališča Step Engineering UD08

Gre za nadgradnjo statičnega in dinamičnega preizkuševališča Step Engineering UD08 z analognim ekstenzometrom, okoljsko komoro in sistemom za prostorsko zaznavanje deformacijskih polj na osnovi digitalne korelacije slik (ang. Digital Image Correlation – DIC), ki omogoča prostorsko zajemanje deformacijskih polj z uporabo dveh oz. treh kamer in namensko osvetlitvijo. Medtem, ko omogoča okoljska komora avtomatizirano izvajanje eksperimentov pod spremenljivimi okoljskimi in obremenitvenimi pogoji ter analizo odziva materiala pri teh pogojih, se analogni ekstenzometer in DIC-sistem uporabljata za natančno merjenje deformacij vzorcev.

Sistem za analizo nehomogenih deformacijskih polj na osnovi digitalne korelacije slik je metoda, ki se uporablja tudi že v Sloveniji, vendar pa je omenjeni sistem spojen s preizkuševališčem in tako preko neposredne obdelave in komunikacije z osnovnim preizkuševališčem omogoča kvalitetnejše meritve preizkušancev.

Oprema predstavlja doprinos pri ugotavljanju mehanskih lastnosti materiala, podvrženega visokim dinamičnim obremenitvam, kot so na primer točkovne zaščite in ločilni stebrički za zaščito motoristov na področju povečanega števila prometnih nezgod in na nevarnih mestih v cestnem prometu. Nova oprema bo omogočala tudi raziskave na področju faznih transformacij materialov z oblikovnim spominom ter odziva kompozitnih materialov v odvisnosti od temperature in vlage okolice. V sodelovanju z Univerzitetnim kliničnim centrom Ljubljana ter UL, Medicinsko fakulteto, bo oprema v kombinaciji z numeričnimi in eksperimentalnimi analizami fiksacije medenice pripomogla k določitvi smernic optimalne fiksacije poškodovanih kosti medenice.



Slika 3 : Optični sistem za spremljanje emisije reaktivnih tokov v IR- in UV-spektru (Foto: Arhiv FS)

Optični sistem za spremljanje emisije reaktivnih tokov v IR- in UV-spektru

Sistem omogoča vpogled v kemijsko-fizikalne pojave procesov zgorevanja nizkoogljčnih in ogljično nevtralnih goriv. S tem predstavlja pomembno okrepitev na področju novodobnih sintetičnih in bioosnovanih kemičnih nosilcev energije ter odpira možnosti za nadaljnje prebojne raziskave naprednih konceptov zgorevanja, ki omogočajo izredno nizke koncentracije izpustov škodljivih onesnažil. Tovrstna raziskovalna oprema je v Sloveniji novost in s tem postavlja Univerzo v Ljubljani, Fakulteto za strojništvo, med vodilne institucije na področju optične analize temeljnih pojavov v reaktivnih tokovih. Funkcionalnost sistema temelji na zajemu lastne emisije radikalov v reaktivnih tokovih, tako v vidnem kot v nevidnem spektru. Topološko ga sestavljajo:

- ▶ srednjehitra kamera s prepustnostjo v širokem spektru valovnih dolžin (tudi UV),
- ▶ ojačevalnik za povečanje kvantne učinkovitosti,
- ▶ optični filtri za posamezne intervale valovnih dolžin, ki sovpadajo z lastno emisijo OH- in CH-radikalov,
- ▶ oprema za vodenje in zajem podatkov, ki na nivoju nanosekund časovno poravna sprožitve posameznih komponent,
- ▶ programska oprema za naknadno obdelavo z vgrajenimi funkcijami za dekonvolucijo osno simetričnih tokov.

Oprema se bo vključevala v raziskave na področju procesov krožnega gospodarstva, zgorevanja ogljično nevtralnih in nizkoogljčnih goriv, energetsko intenzivne industrije in pridobivanja sekundarnih surovin s pomočjo visokotemperaturnih procesov. Ker gre za področja, ki se soočajo z velikimi izzivi na področju defosilizacije, je pričakovati, da bo poleg zasledovanja znanstvene odličnosti opremo mogoče uporabiti tudi za dvig dodane vrednosti in zmanjševanje vpliva na okolje v številnih industrijah doma in v tujini.

Za vsa dodatna vprašanja v zvezi z opremo ter možnostih sodelovanja se lahko obrnete na rr@fs.uni-lj.si.

ŠTUDENTI FAKULTETE ZA STROJNIŠTVO ZASEDLI 1. IN 3. MESTO NA NATEČAJU ŠTUDENTSKA IDEJA S POSLOVNIM POTENCIALOM

Strokovna revija IRT3000 je v sodelovanju s Fakulteto za strojništvo UL in EIT Manufacturing Hub Slovenija ter s podporo Spirit Slovenija letos ponovno organizirala natečaj Študentska ideja s poslovnim potencialom.



Vid Nemec in Tim Guzelj - študenta Fakultete za strojništvo, ki sta zasedla 1. Mesto na natečaju »Študentska ideja s poslovnim potencialom«.

Na zaključku natečaja, ki je potekal v okviru foruma IRT v Portorožu, pa so sodelujoči študenti letošnji komisiji predstavili svoje ideje in inovacije. Ekipa dveh študentov Fakultete za strojništvo – Vida Nemca in Tima Guzelja, je prejela glavno nagrado v višini 1500 € z idejo, ki nosi naslov: Sistem za optimizacijo tlaka. Drugo mesto je zasedel Filip Ljevar s Fakultete za strojništvo Univerze v Mariboru z idejo: Inovativen 5-osni strojni primež. Tretje mesto pa je prav tako zasedel študent Fakultete za strojništvo UL Vid Gostiša z idejo: Co-unterFlow 3D oziroma 3D natisnjen lokalni rekuperator s protitočnim

izmenjevalcem, za katero je prejel nagrado v višini 500 €.

Tlak v pnevmatikah predstavlja pomemben faktor za visoko varnost in dobro kvaliteto vožnje. Naša edina točka kontakta prevoznega sredstva s površino je pnevmatika, katere oprijem je neposredno povezan s tlakom v njej. Zato sta Vid in Tim v Peskovniku, Odprtem laboratoriju Fakultete za strojništvo na Univerzi v Ljubljani, razvila pametni sistem za nadzor in optimizacijo tlaka v pnevmatikah, ki omogoča hitrejše, natančnejše nadzorovanje tlaka s pomočjo manjše naprave, ki jo lahko preprosto spravimo v prtljžnik. Za inovacijo bosta poleg finančne nagrade deležna tudi dodatne podpore pri vstopu na evropske platforme inovativnih idej.

Ker kakovost zraka v prostoru močno vpliva na zdravje, počutje in produktivnost ljudi, je Vid Gostiša razvil rešitev v obliki 3D natisnjenega lokalnega rekuperatorja s protitočnim toplotnim izmenjevalcem, ki omogoča izjemno učinkovit prenos toplote, obenem pa zagotavlja nizke proizvodne stroške. Tehnologija izdelave prav tako omogoča modularno prilagajanje geometrije toplotnega izmenjevalca, kar rezultira v učinkovitem, tihem in uporabniku prijaznem produktu.

Nagrajencem iskreno čestitamo in jim želimo veliko uspeha pri uresničevanju poslovnih idej!

www.fs.uni-lj.si

STROKOVNA ESKURZIJA SDFT-JA V ITALIJO

Slovensko društvo za fluidno tehniko (SDFT) je organiziralo tridnevno strokovno ekskurzijo v Italijo.



Slika 1 : Predstavitev podjetja Dana in prikaz njihovih hidravličnih komponent v kraju Reggio Emilia



Slika 2 : Ogled proizvodnje hidravličnih zobniških črpalk podjetja Marzocchi v kraju Zola Predosa

Avtobus je v četrtek, 13. Junija, v zgodnjih jutranjih urah potnike najprej pobral v Mariboru, nato v Lukovici in nazadnje še v Ljubljani. Pot smo nadaljevali mimo Sežane, kjer se nam je pridružila še vodička, in mimo Nove Gorice zapustili Slovenijo. Po vožnji mimo Padove, Ferrare, Bologne in Modene smo prispeli v mesto Reggio Emilia. Tam smo ob odličnem vodenju spoznali glavne turistične znamenitosti mesta. Sledil je ogled podjetja Dana Motion System Italija, kjer nas je sprejelo vodstvo podjetja, med glavnimi organizatorji predstavitev podjetja sta bila Federico Baldi in Alberto Campari. Podjetje se ukvarja z razvojem in izdelavo pogonskih komponent: hidrostatičnih črpalk in motorjev, aksialnih batnih motorjev s spremenljivo in konstantno iztisnino, orbitalnih motorjev, zobniških črpalk in motorjev, konvencionalnih in proporcionalnih ventilov, hidravličnih agregatov, multiplikatorjev in reduktorjev, menjalnikov itd. Po predstavitvi podjetja v sejni sobi (slika 1) so nas razdelili v dve skupini in nas vodili skozi proizvodnjo hidravličnih drsniških ventilov.

Sledili so obisk znane sirarne in nakup njihovega sira ter vožnja do hotela v kraju Tabiano Terme. Prvi dan smo zaključili s skupno večerjo in prijetnim druženjem v hotelu. Drugi dan smo po zajtrku odšli do podjetja Marzocchi v kraju Zola Predosa. Podjetje že od leta 1961 izdeluje različne izvedbe in velikosti hidravličnih zobniških črpalk z zunanjim ozobjem. Podjetje zaposluje 260 delavcev, je v lasti družinskega podjetja – že tretje rodbine. Lastnik – kot njegova predhodnika – aktivno dela v podjetju. Prijazno nas je sprejel g. Davor Petrovič, ki je zadolžen za izvoz. Po njegovi uvodni predstavitvi podjetja je sledila tehnična predstavitev črpalk An-

drea Rimondija, ki je tehnični direktor. Prijazno so nas pozdravili še vodja proizvodnje, vodja prodaje, sedanji in prejšnji lastnik ter direktor podjetja. Podjetje proizvaja črpalke na treh različnih lokacijah v Italiji. Mi smo si ogledali proizvodnjo na lokaciji Zola Predosa. Ogled je bil zelo zanimiv, saj si je gostitelj vzel zelo veliko časa in nam podrobno predstavil proizvodnjo njihovih zobniških črpalk – od surovine do izdelave ozobljenja, čiščenja in razigljevanja ter sestavljanja na robotizirani liniji in na koncu pakiranja. Po zaključku predstavitev so nas pogostili z odlično italijansko hrano in pijačo.

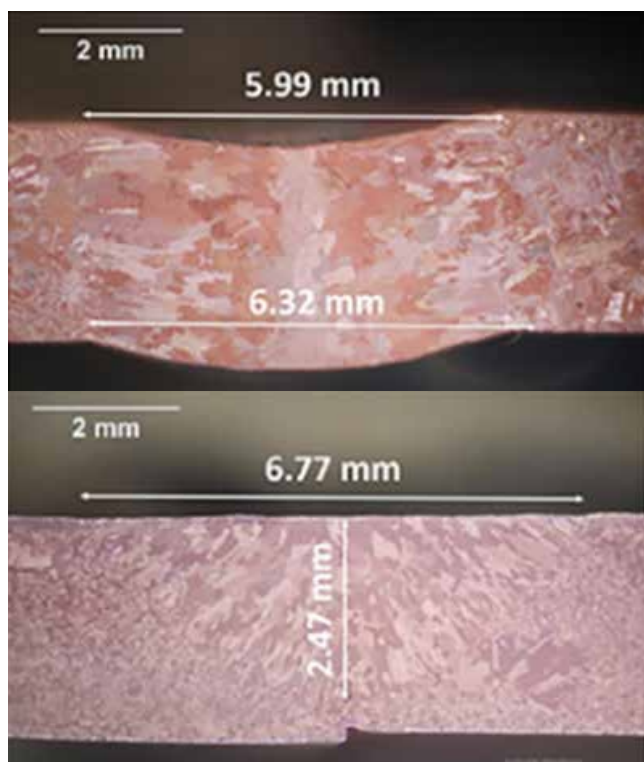
V zgodnjih popoldanskih urah smo pot nadaljevali do mesta Bologna, kjer sta sedež in proizvodnja motociklov Ducati. Tam smo si vsi ogledali muzej, nekateri od nas pa tudi proizvodnjo motociklov. V podjetju je skoraj 1900 zaposlenih, njihov promet pa presega eno milijardo evrov. V montaži motociklov je zaposlenih preko 40 % žensk. Sledili so vožnja do hotela v mestu Modena, večerja, prijetno druženje in počitek.

Tretji dan smo se po zajtrku odpeljali v mesto Maranello, kjer smo obiskali muzej prestižnih vozil Ferrari. Z velikim navdušenjem smo si ogledali zgodovino razvoja teh vozil. Sledila sta še ogled glavnih turističnih znamenitosti mesta Modena in odhod proti Sloveniji. Nad strokovno ekskurzijo smo bili zelo navdušeni, zato že zbiramo ideje za naslednjo v letu 2025. Vse letošnje udeležence in nove zainteresirane vabimo, da se nam pridružijo, saj jim ne bo žal.

Franc Majdič
UL, Fakulteta za strojništvo

VPLIV SESTAVE AKTIVNIH DELCEV NA IONIZACIJSKI POTENCIAL PRI VARJENJU A-TIG

Raziskovalci Laboratorija za varjenje (LAVAR) so v sodelovanju z raziskovalci Oddelka za strojništvo Univerze Sever Univerzitetnega središča Varaždin iz Hrvaške z eksperimentalnimi analizami dokazali, kako kemična sestava aktivnih delcev vpliva na ionizacijski potencial in globino prevaritve pri varjenju A-TIG (ang. Tungsten Inert Gas) elektrolitsko čistega bakra. Rezultate raziskave so objavili v reviji *Journal of Materials Research and Technology* (IF = 6,4).

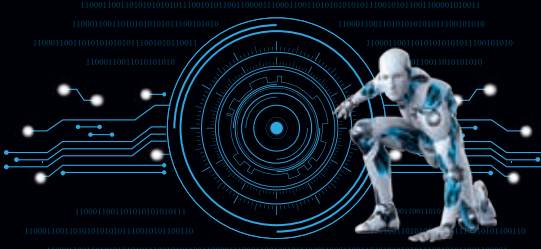


Makroobrasa zvara, izdelanega a) z varjenjem TIG z vnosom toplote 4,93 kJ/cm in b) z varjenjem A-TIG 3,17 kJ/cm

Varjenje A-TIG ali varjenje TIG z aktivnimi delci je energetsko učinkovit in trajnosten proces spajanja materialov in omogoča doseganje večje globine penetracije zvara pri enakem ali celo nižjem vnosu energije. Ob tem določeni kovinski oksidi, žveplo, fluoridi ali kloridi prevzemajo vlogo aktivatorjev, ki vplivajo na globino penetracije in kakovost zvarnega spoja. Aktivni delci v varilnem obloku povečajo koncentracijo energije s spremembo ionizacijskega potenciala in večjo energijo elektronov. Vsebnost aktivatorjev nad 50 ppm dodatno spremeni gradient površinske napetosti (dg/dT), kar obrne smer Marangonijevega toka taline. Spremenjen Marangonijev tok ugodno vpliva na povečanje penetracije, saj talina potuje od hladnega roba proti vročemu centru spoja.

Rezultati opravljenih analiz so potrdili največjo globino penetracije pri uporabi aktivnih delcev silicijevega dioksida (SiO_2), ki omogočajo popolno prevaritev brez poroznosti, in to celo pri 30 % nižjem vnosu energije kot pri klasičnem varjenju TIG. Tako izdelani zvarni spoji imajo ustrezno upogibno in natezno trdnost. Raziskovalci želijo v nadaljnjih raziskavah na tem področju doseči dodatne prihranke energije ob enaki globini penetracije zvara in ustrezni trdnosti zvarnih spojev. Odkritje se bo sedaj lahko uporabljalo na področjih elektromobilnosti, avtomobilske industrije in elektroindustrije.

www.fs.uni-lj.si



icm

IFAM - INTRONIKA-ROBOTICS

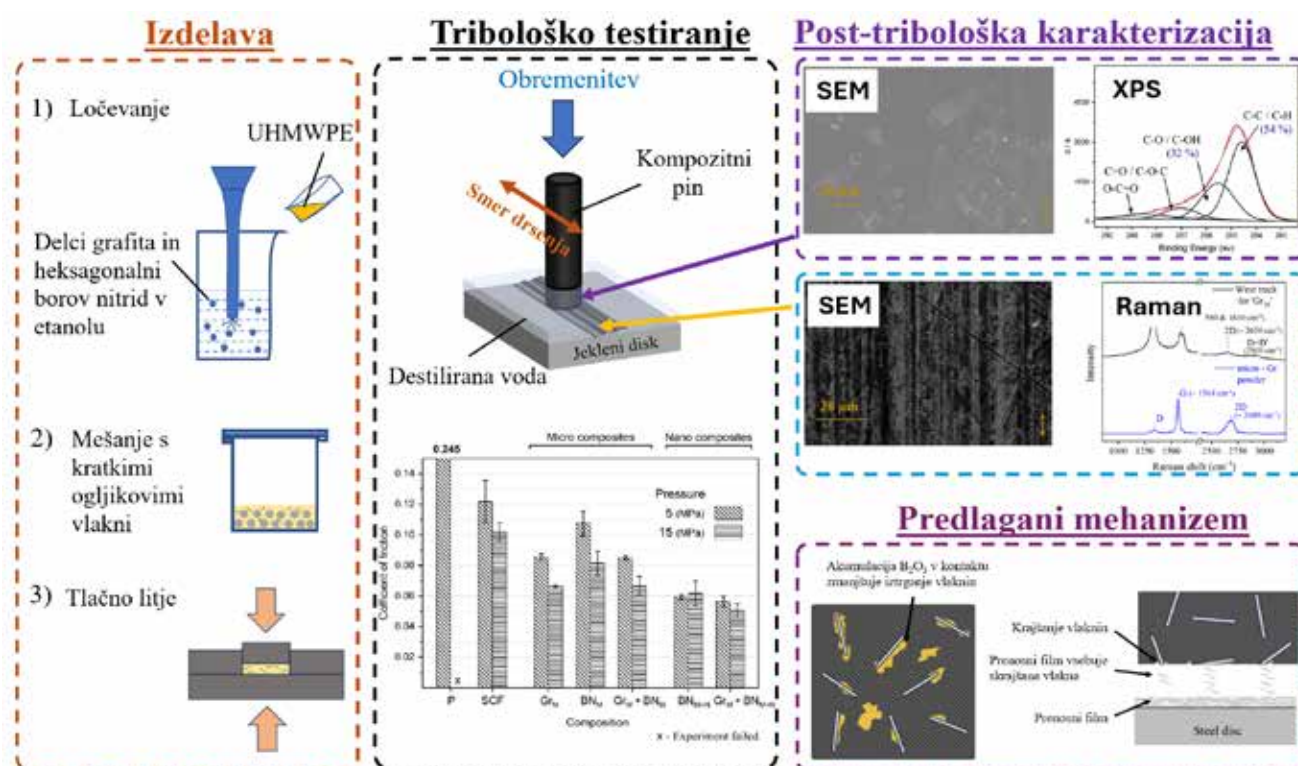
11.-13.2.2025

Ljubljana

www.icm.si

VPLIV VEČDIMENZIJSKIH POLNIL NA TRIBOLOŠKO OBNAŠANJE KOMPOZITOV UHMWPE V VODNO MAZANIH KONTAKTNIH

Raziskovalci *Laboratorija za tribologijo in površinsko nanotehnologijo (TINT)* so raziskali vpliv kombinacije polnila in velikosti na tribološko učinkovitost v kontaktu polimernega kompozita in jekla v pogojih vodnega mazanja. Raziskava je bila izvedena v sodelovanju z Oddelkom za površinsko inženirstvo na Institutu Jožefa Stefana (Ljubljana, Slovenija) in Oddelkom za strojne elemente na Tehnični univerzi Luleå (Luleå, Švedska). Rezultati študije so objavljeni v priznani reviji *Tribology International* (IF: 6,2).



Kratek prikaz proizvodne metode za pripravo kompozitov, ureditev za tribološko preizkušanje proizvedenih kompozitov v kontaktu z jeklom in posttribološke tehnike karakterizacije za analizo kompozitnih plinov in jeklenih diskov

Varjenje A-TIG ali varjenje TIG z aktivnimi delci je energetsko učinkovit in trajnosten proces spajanja materialov in omogoča doseganje večje globine penetracije zvara pri enakem ali celo nižjem vnosu energije. Ob tem določeni kovinski oksidi, žveplo, fluoridi ali kloridi prevzemajo vlogo aktivatorjev, ki vplivajo na globino penetracije in kakovost zvarnega spoja. Aktivni delci v varilnem obloku povečajo koncentracijo energije s spremembo ionizacijskega potenciala in večjo energijo elektronov. Vsebnost aktivatorjev nad 50 ppm dodatno spremeni gradient površinske napetosti (dg/dT), kar obrne smer Marangonijevega toka taline. Spremenjen Marangonijev tok ugodno vpliva na povečanje penetracije, saj talina potuje od hladnega roba proti vročemu centru spoja.

Rezultati opravljenih analiz so potrdili največjo globino penetracije pri uporabi aktivnih delcev silicijevega dioksida (SiO₂), ki omogočajo popolno prevaritev brez poroznosti, in to celo pri 30 % nižjem vnosu energije kot pri klasičnem varjenju TIG. Tako izdelani zvarni spoji imajo ustrezno upogibno in natezno trdnost. Raziskovalci želijo v nadaljnjih raziskavah na tem področju doseči dodatne prihranke energije ob enaki globini penetracije zvara in ustrezni trdnosti zvarnih spojev. Odkritje se bo sedaj lahko uporabljalo na področjih elektromobilnosti, avtomobilske industrije in elektroindustrije.

KAKO PORAZDELITEV INTENZITETE LASERSKEGA ŽARKA VPLIVA NA 3D-TISK Z USMERJENIM NANAŠANJEM KOVINSKEGA PRAHU

Raziskovalci Laboratorija za sinergetiko (LASIN) so izvedli raziskavo, v kateri so preučevali, kako vpliva porazdelitev intenzitete laserskega žarka na učinkovitost laserskega nanašanja kovinskega prahu. Pokazali so, da se v primeru aksialnega dovoda prahu, ko prah dodajajo v središče žarka, za najučinkovitejšo porazdelitev intenzitete izkaže kolobarjasta porazdelitev laserskega žarka. Ta porazdelitev zagotavlja večjo stabilnost procesa in boljše geometrijske (enakomernost in simetričnost nanosa na površini in v globini) in metalurške (minimalna poroznost in izboljšana metalurška vez) lastnosti nanosa. Rezultati študije so objavljeni v priznani reviji Journal of Materials Processing Technology (IF: 6,3).



(Levo) Anularni laserski žarek in različne porazdelitve intenzitete laserskega žarka (PILŽ). Vpliv PILŽ na oblike talilnega bazena in stabilnost procesa (sredina) ter na lastnosti nanosa in izkoristek prahu (desno).

Kovinski prah se zaradi svojih edinstvenih lastnosti in zmogljivosti uporablja v številnih industrijskih panogah in procesih, nepogrešljiv pa je tudi na področju dodatnih tehnologij (DT). Usmerjeno lasersko nanašanje (ULN) kovinskega prahu je eden od procesov DT, ki se poleg 3D-tiska komponent uporablja za popravilo dragih orodij, hkrati pa s procesom oplaščenja lahko v veliki meri izboljša lastnosti površin. Vse pogostejše se uporablja tudi za razvoj novih zlitin in funkcijskih gradientnih materialov (FGM), za katere je značilno krajevno spreminjanje kemijskih, fizikalnih in mehanskih lastnosti material.

Raziskovalci so v študiji preučevali tri porazdelitve intenzitete laserskega žarka (PILŽ): Gaussovo (G-PILŽ), enakomerno (TH-PILŽ) in kolobarjasto (R-PILŽ) porazdelitev. Pokazali so, da imajo relacije med PILŽ in Gaussovo porazdeljenimi delci curka prahu vpliv na lastnosti procesa nanašanja, ki je

še posebej izrazit pri nižjih intenzitetah laserskega žarka. Prav tako so ugotovili, da je izkoristek prahu (η) višji pri Gaussovi in enakomerni PILŽ, medtem ko kolobarjasta porazdelitev zagotavlja večjo stabilnost procesa ter boljše geometrijske in metalurške lastnosti nanosov.

Dokazane prednosti uporabe kolobarjaste porazdelitve ne le spodbujajo nadaljnje raziskave na področju dinamičnega oblikovanja PILŽ in razvoj funkcijskih gradientnih materialov (FGM), temveč tudi izkazujejo velik potencial za izboljšave drugih procesov DT, ki kot izvor energije uporabljajo laserski žarek.

Celoten članek je dostopen na:
<https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2024.118360>.

www.fs.uni-lj.si

KAKO POVEZATI KONTAKTNA OBMOČJA V STRUKTURAH Z UPORABO EKSPERIMENTALNEGA DINAMSKEGA PODSTRUKTURIRANJA

Raziskovalci Laboratorija za dinamiko strojev in konstrukcij (LADISK) in Katedre za aplikativno mehaniko Tehniške univerze v Münchnu v delu, objavljenem v reviji *Mechanical Systems and Signal Processing (IF 8.4)*, preučujejo načine za sklapljanje linijskih in ploskovnih kontaktov podstruktur v frekvenčnem prostoru.



Postopek sklapljanja pri fleksibilnih povezovalnih območjih

Dinamsko podstrukturiranje predstavlja metode, ki na osnovi dinamskih odzivov posameznih komponent omogočajo napoved dinamskega odziva celotne naprave. S to metodo inženirji preučujejo vsak del izdelka posebej, da vidijo, kako se odziva na različne zunanje dinamske obremenitve, nato pa z združevanjem vseh pridobljenih informacij predvidijo dinamski odziv končnega sklopa. Metode dinamskega podstrukturiranja običajno implementirajo v izdelavo virtualnih prototipov, pri čemer ustvarijo virtualni sestav izdelka s sklapljanjem eksperimentalnih odzivnih modelov obstoječih podstruktur in numeričnih odzivnih modelov podstruktur v fazi razvoja, ki fizično še ne obstajajo. Tako lahko še pred izdelavo prototipa na virtualnih sestavi vrednotijo strukturne modifikacije, najpogosteje za zmanjšanje hrupa in vibracij. Omenjene metode postopoma postajajo nepogrešljivo orodje v avtomobilski industriji in industriji bele tehnike, kjer predvsem zaradi velikega števila komponent, ki jih zagotavljajo tretji dobavitelji, pospešijo razvojne postopke.

Pri implementaciji metod dinamskega podstrukturiranja na eksperimentalnih odzivnih modelih podstruktur se pojavljajo številni izzivi, predvsem pri

modeliranju kontakta med podstrukturami. Modeliranje preobsežnega števila povezav med obema podstrukturama namreč vodi v njihovo redundanco, njihovo striktno izpolnjevanje pa v napovedanem odzivu sklopa posledično povzroči nekonsistentnosti, kot so ojačenje vhodnih merilnih negotovosti in pojav lažnih resonančnih vrhov. Alternativa je zapis šibkih povezovalnih pogojev, pri čemer izmerjen dinamski model podstrukture projiciramo v poenostavljen dinamski prostor in tako dobimo reduciran dinamski model, ki še vedno predstavlja njen dominanten dinamski odziv. Povezovalne pogoje nato zapišemo za sklopitev reduciranih modelov podstruktur.

V objavljenem delu avtorji raziskujejo uporabo šibkih povezovalnih pogojev med podstrukturami z medsebojnim linijskim ali ploskovnim kontaktom, kjer splošnih priporočil za izbiro števila povezav med podstrukturami ni. V prispevku predstavijo nabor alternativnih pristopov za zapis povezovalnih pogojev in bralca vodijo do izbire primerne pisa šibkih povezovalnih pogojev za njegove lastne potrebe.

www.fs.uni-lj.si

REVILJA ZA FLUIDNO TEHNIKO, AVTOMATIZACIJO IN MEHATRONIKO
VENTIL



PREOBLIKOVANJE INDUSTRIJSKE AVTOMATIZACIJE S TEHNOLOGIJO, KI JO NAVDIHUJE NARAVA

Janez Škrlec

V dobi hitrega tehnološkega napredka področje industrijske avtomatizacije s pojavom bionike doživlja revolucionarno preobrazbo. Tehnologija, ki jo navdihuje narava, ponuja nov pogled na naš pristop k avtomatizaciji v panogah od proizvodnje do kmetijstva. S črpanjem navdih iz domiselnih oblik, ki jih najdemo v naravi, želi bionika posnemati učinkovitost in prilagodljivost naravnih sistemov.

Kako bionika spreminja industrijsko avtomatizacijo?

Bionika revolucionira področje industrijske avtomatizacije z združitvijo načel biologije in inženiringa. S proučevanjem kompleksnih in učinkovitih mehanizmov v naravi inženirji razvijajo inovativne rešitve, ki izboljšujejo procese avtomatizacije, kar nazorno izpostavlja tudi portal (PAT – Plant Automation Technology). Od posnemanja gibanja živali do posnemanja strukture rastlin bionika odpira nove možnosti v industrijski avtomatizaciji. Eden izjemnih primerov razvoja bionike v industrijski avtomatizaciji je razvoj robotskih rok. S proučevanjem in posnemanjem zapletene strukture mišic in tetiv so inženirji ustvarili robotske roke, ki so sposobne opravljati zahtevna opravila z natančnostjo in prilagodljivostjo. Bionika preoblikuje tudi transportno industrijo z razvojem dronov, ki so jih navdihnili vzorci letenja ptic. S proučevanjem aerodinamike in strukture kril ptic so inženirji ustvarili brezpilotna letala, ki lahko krmarijo po zapletenih okoljih, zbirajo podatke in opravljajo naloge, ki prej niso bile mogoče. Ti brezpilotni letalniki, ki jih navdihujejo ptice, se uporabljajo v različnih panogah, vključno s kmetijstvom, kjer se uporabljajo za spremljanje pridelkov, škropljenje in celo opravljanje. Bionika ni omejena samo na posnemanje posameznih organizmov, ampak črpa navdih iz kolektivne inteligence in učinkovitosti družbenih žuželk (rojeva inteligenca), ki se uporablja za optimizacijo kompleksnih industrijskih procesov, kot so logistika, upravljanje dobavne verige in usmerjanje. Narava se je skozi milijone let razvijala in ustvarila učinkovite in trajnostne sisteme. S proučevanjem teh sistemov lahko inženirji prepoznajo dragocene vpoglede in jih uporabijo v industrijski avtomatizaciji.

Janez Škrlec, inž., Uredništvo revije Ventil



Preoblikovanje industrijske avtomatizacije

Prednosti uporabe bionike v industrijski avtomatizaciji

Integracija bionike v industrijsko avtomatizacijo ponuja številne prednosti, ki lahko znatno izboljšajo učinkovitost, produktivnost in trajnost. Ena od ključnih prednosti je zmožnost posnemanja prilagodljivosti in odpornosti, ki ju najdemo v naravnih sistemih. Naravni sistemi so se razvili, da bi se prilagodili spreminjajočim se okoljem in optimizirali svoje delovanje. S posnemanjem teh prilagodljivih zmožnosti bionika omogoča sistemom industrijske avtomatizacije, da se učinkovito odzovejo na dinamične pogoje. Na primer: roboti, opremljeni z bioničnimi senzorji, lahko prilagodijo svoje gibanje in vedenje na podlagi podatkov v realnem času, s čimer izboljšajo svojo zmožljivost in varnost v nepredvidljivih okoljih. Bionika ponuja tudi potencial za zmanjšanje porabe energije in odpadkov v industrijskih procesih. S proučevanjem energetske učinkovitosti zasnov, ki jih najdemo v naravi, lahko inženirji razvijejo sisteme, ki optimi-

zirajo porabo energije in zmanjšajo količino odpadkov. Na primer: lopatice vetrnih turbin, ki jih navdihuje oblika ptičjih kril, lahko povečajo zajemanje energije in zmanjšajo onesnaževanje s hrupom. Poleg tega lahko bionika poveča varnost v industrijskih okoljih. S posnemanjem senzoričnih sposobnosti živali, kot je sposobnost zaznavanja toplote ali vibracij, lahko sistemi industrijske avtomatizacije prepoznajo potencialne nevarnosti in se ustrezno odzovejo. To lahko znatno zmanjša tveganje za nesreče in poškodbe v industrijskih okoljih. Transformativna moč bionike v industrijski avtomatizaciji je očitna tudi v številnih študijah, kjer je tehnologija, ki jo je navdihnili narava, spremenila industrijske procese. Takšen primer je področje robotike, kjer je bionika omogočila razvoj robotov, ki so sposobni natančno in prilagodljivo opravljati naloge. V predelovalni industriji so bili roboti, ki jih je navdihnili bionika, uporabljeni za izboljšanje procesov na tekočem traku. S preučevanjem gibanja živali, kot so žuželke in plazilci, so inženirji razvili robote, ki so sposobni kompleksnih in natančnih gibov. Ti roboti lahko upravljajo z občutljivimi komponentami, izvajajo zapletene naloge in se prilagajajo spremembam v proizvodni liniji, kar ima za posledico izboljšano učinkovitost in produktivnost. V kmetijstvu je bionika pripeljala do razvoja robotskih sistemov, ki lahko avtomatizirajo naloge, kot sta npr. žetev in spremljanje pridelka.

Izzivi, obeti in omejitve bionike v industrijski avtomatizaciji

Čeprav bionika veliko obeta za preoblikovanje industrijske avtomatizacije, ni brez izzivov in omejitev. Eden od glavnih izzivov je kompleksnost posnemanja zapletenih zasnov in mehanizmov, ki jih najdemo v naravi. Narava se je razvijala skozi milijone let in optimizirala svoje sisteme s poskusi in napakami. Podvajanje teh sistemov na nadzorovan in učinkovit način je pomemben inženirski izziv. Drug izziv je integracija bioničnih sistemov z obstoječimi industrijskimi procesi in infrastrukturo. Naknadno opremljanje obstoječih sistemov za vključitev bionične tehnologije je lahko zapleteno in drago. Kljub izzivom ima bionika ogromen potencial za prihodnost industrijske avtomatizacije. Ker tehnologija še naprej napreduje, inženirji in znanstveniki premikajo meje možnega. Pričakuje se, da bo integracija bionike igrala ključno vlogo pri reševanju perečih izzivov, s katerimi se soočajo industrije, kot so trajnost, učinkovitost in varnost. V prihodnjih letih lahko pričakujemo nadaljnji napredek v bioniki, saj bo več industrij sprejelo tehnologijo, ki jo navdihuje narava. Razvoj naprednih senzorjev, materialov in algoritmov bo omogočil ustvarjanje še bolj učinkovitih in prilagodljivih bioničnih sistemov. To pa bo vodilo do povečane produktivnosti, zmanjšane vpliva na okolje in izboljšane varnosti v industrijskih procesih. Proizvodnja je ena od primarnih industrij, ki ima koristi od bionike z razvojem robotov, ki so sposobni opravljati zapletene naloge natančno in prilagodljivo. Z združevanjem raznolikega strokovnega znanja in perspektiv je mogoče razviti inovativne rešitve, ki obravnavajo edinstvene potrebe vsake industrije. Poleg tega je pomembno nenehno ocenjevati in optimizirati bionske sisteme. Spremljanje delovanja, zbiranje podatkov in prilagajanje na podlagi povratnih informacij v realnem času bodo omogočili stalne izboljšave in zagotovili dolgoročni uspeh bioničnih implementacij. Zlitje narave in tehnologije utira pot učinkovitejši in okolju prijaznejši dobi industrijske avtomatizacije. Bionika bo spremenila način pristopa k industrijski avtomatizaciji in ustvarila prihodnost, v kateri se narava in tehnologija zblížata za optimizacijo procesov in izboljšanje našega sveta. Smernice bionike v industrijski avtomatizaciji bodo letos predstavljene tudi v okviru Stičišča znanosti in gospodarstva.

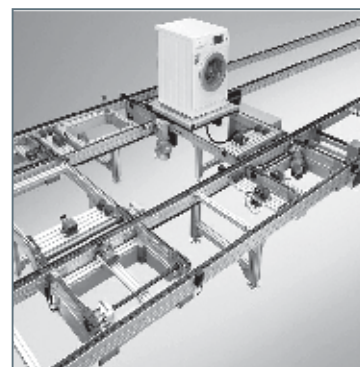
Rexroth

ORGATEX®

LEANPRODUCTS®



BOSCH



OPL

automation

OPL avtomatizacija, d.o.o.
Dobrave 2
SI-1236 Trzin, Slovenija

Tel. +386 (0) 1 560 22 40
Tel. +386 (0) 1 560 22 41
Mobil. +386 (0) 41 667 999
E-mail: info@opl.si
www.opl.si

USE OF 5G TECHNOLOGY IN MANUFACTURING PROCESSES AND SYSTEMS

Miha Pipan, Marko Šimic, Leon Vončina, Niko Herakovič

Abstract:

The advent of 5G technology opens up new opportunities for universal connectivity in manufacturing processes. This technology has the potential to play a crucial role in industrial environments by enabling faster, more reliable and more flexible connections between different subsystems of manufacturing systems. In the LASIM lab, we implemented 5G technology in the SMART FACTORY demo centre to demonstrate its potential. Our focus was to achieve better connectivity and efficiency in industrial environments to increase flexibility and agility of manufacturing systems, smart maintenance and logistics processes to achieve connectivity and efficiency in industrial environments. We conducted experimental analysis of 5G connectivity with different industrial subsystems and communication protocols to evaluate the universality and applicability of current 5G technology for implementation in manufacturing environments.

Keywords:

5G, connectivity, manufacturing systems, compatibility testing, communication protocols

1 Introduction

To understand the potential of 5G technology, we have conducted thorough tests in the LASIM Demo Center SMART FACTORY (DCSM) laboratory. These tests were conducted with specific industrial applications that represent a step towards a more connected and agile industrial environment. We tested different industrial assets such as industrial robots, collaborative robots, smart warehouses, smart manual assembly stations and other industrial and research subsystems and their communication protocols. During these tests, we examined the speed of data transfer, the stability of the connection and compatibility with industrial protocols, which gave us a comprehensive insight into the potential of 5G technology for industrial applications. By combining technological and practical aspects of 5G implementation, we are opening the door to the future of connected and efficient manufacturing.

2 Potential Applications of 5G Technology in Industry

Batch production processes are crucial for the efficient manufacture of various subsystems and end

products and have the potential to be further optimized by the ongoing development and introduction of 5G technology. Modern manufacturing systems and processes require continuous adaptation and optimization to achieve maximum productivity, and advances in 5G technology promise fast and reliable data transmission and thus an increase in operational efficiency [1].

Improving the flexibility and agility of systems remains central to achieving these goals. While 5G technology offers considerable potential because of its speed, stability and latency, its current use is still limited in some areas. Nevertheless, ongoing advances are paving the way for faster responses to changing market demands and improved adaptability of manufacturing processes [2].

Smart maintenance practices, including real-time monitoring of machine performance, will benefit from advances in 5G technology. While the full potential of 5G-enabled smart maintenance is yet to be realized across the board, advances in this area should help prevent unexpected breakdowns and reduce equipment downtime. As current 4G and even 5G networks are still geared towards mobile users who require higher download speeds and lower upload speeds, providers need to implement real-time slicing to enable fast response times and equal upload and download speeds [3].

Dr. Miha Pipan, univ. dipl. inž., **doc. dr. Marko Šimic**, univ. dipl. inž., **Leon Vončina**, student, **prof. dr. Niko Herakovič**, univ. dipl. inž., all University of Ljubljana, Faculty of Mechanical Engineering

For both external and internal logistics processes, the integration of technologies such as automated guided vehicles (AGVs) and autonomous mobile

robots (AMRs) can leverage the capabilities of existing connectivity infrastructure while preparing for future improvements through 5G technology. As 5G technology becomes more widespread and matures, improved efficiency in freight transportation can be expected. In this context, numerical tests were conducted on the use of 5G technology to control AGVS or AMRs in real time using private and campus 5G networks to see what latencies can be achieved in these 5G networks for the transmission of time-critical and sensitive data in the production environment. All researchers concluded that further studies on the cost-effectiveness of 5G deployment are lacking and need to be supplemented by a comparison of 5G with Wi-Fi to enable an evaluation [4].

Warehouse operations, especially those that rely on real-time product tracking, will benefit from advances in 5G technology. Although widespread adoption of 5G-enabled inventory control is still underway, ongoing developments indicate significant potential for improvement. The literature review describes various prospective applications of 5G technology in both internal and external logistics, which offer numerous opportunities to improve material and information flows for more efficient, intelligent and sustainable logistics and supply chain management systems. Nevertheless, the industrial applications of 5G technology in the logistics sector are still sparse [5].

Real-time guidance of workers and tracking of work processes, while promising, are currently limited in their application due to the evolving nature of 5G technology. Nevertheless, ongoing advances in connectivity solutions promise to improve the efficiency and accuracy of manufacturing processes [6].

The stability and speed of the connectivity provided by 5G technology is becoming increasingly important for business operations. While challenges in achieving ubiquitous coverage and reliability remain, ongoing efforts to expand and improve 5G infrastructure are expected to increase market competitiveness and agility. Currently, most research efforts are still in the early stages, so further investigation is required to achieve advanced goals. Possible future research directions include: (1) the operational mechanisms of a digital twin in manufacturing, (2) methods for managing and analysing Big Data, and (3) the integrated application of edge computing and cloud computing in manufacturing, supported by 5G technology [7].

3 Experimental setup and Methods

With the aim of helping companies understand 5G technology and presenting practical examples of its use, we have upgraded the DCSM with 5G technology with the help of our partner Telekom Slovenije d.d. The DCSM has several manufacturing control nodes (Node 1 – 8, Robot 1, Robot 2 and cobot)

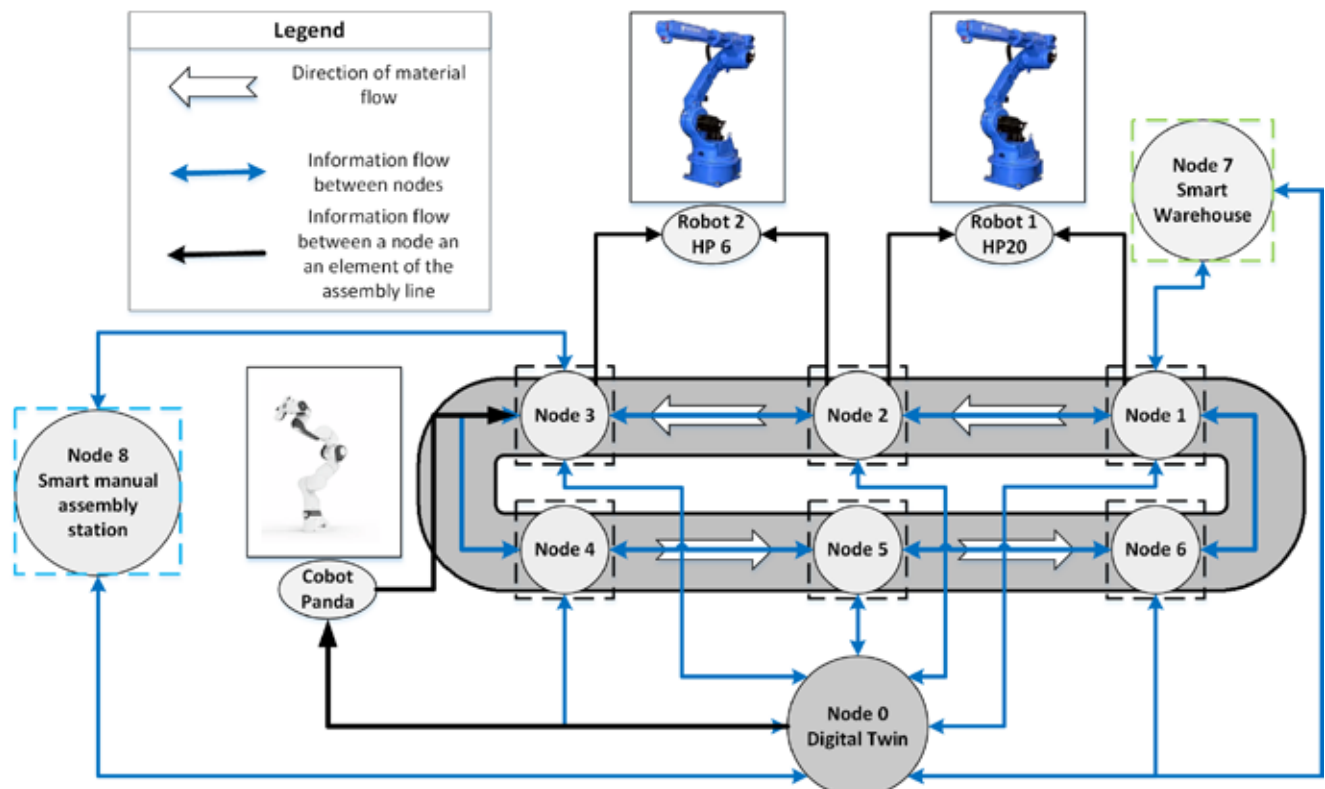


Figure 1 : Demo Center SMART FACTORY (DCSM) subsystems and its interconnections via LAN network

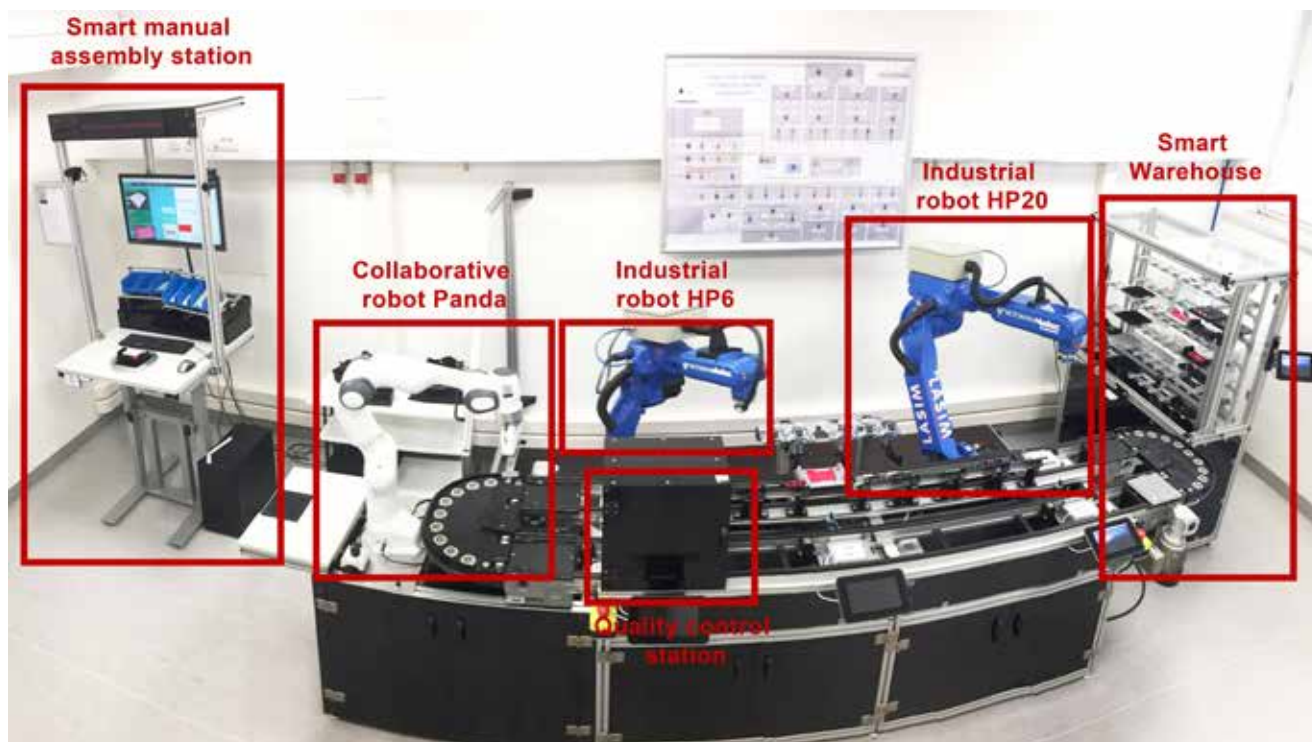


Figure 2 : Subsystems being tested over 5G network (excluding PC with Digital Twin)

that were connected to the manufacturing resources via a LAN network to enable communication between local and the global digital twin (Node O). Once the local 5G network has been installed, this enables the individual subsystems (Nodes) to communicate via LAN, Wi-Fi or 5G networks (*Figure 1*). Each manufacturing node represents an edge computing device that has its local digital agents for communication, data collection, decision making and control of manufacturing resources.

To test the compatibility of different DCSM manufacturing subsystems from industry and research perspective, we selected the subsystems that are based on different communication protocols and work over a LAN network. The selected subsystems are shown in *Figure 2*.

The 5G network has also provided us with a test site, which we are using to test the characteristics of the 5G network to see if it meets the necessary basic requirements such as upload and download speed, latency, jitter and the like [8]. The 5G network was installed by our partner Telekom Slovenije d.d. and operates in non-standalone mode (NSA), which means that it uses the 4G network for connecting the devices and the 5G network for data transmission. The following base station equipment is installed in the demo center (it is set up on channel N78, i.e. in the 3.5 GHz band):

- ▶ ERICSSON radio system RAN 6507,
- ▶ ERICSSON 5G-network cell,
- ▶ ERICSSON 4G-network cell.

During the implementation phase, we conducted experimental tests of the installed 5G network with different IT tools to decide whether the installed 5G network is sufficient for industrial and our use. In order to conduct experiments on the compatibility of industrial and research productions with the 5G network, we had to analyse which communication protocols and communication ports are used in each individual device. The selected devices with their communication protocols and connections are listed in *Table 1*:

The connectivity of each selected subsystem to the installed 5G network was based on its connectivity. On this basis, we used two different 5G modems (all SIM modems are set to provide the static IP of the 5G modules in the network):

- ▶ Teltonika Networks TRB500 gateway (connects directly to LAN port of industrial subsystems),
- ▶ QUECTEL RMU500-EK (connects via USB port).

In cases where the selected manufacturing subsystem only has a LAN connection, we have used a TRB500 modem. In our cases where the manufacturing subsystem has a USB connection, we used the RMU500-EK as no additional tasks such as port forwarding and communication debugging are required after connection. Therefore, the TRB 500 was used on both the HP6/HP20 industrial robots and the Collaborative robot Panda. Both 5G modems used support the 5G NSA mode, which is currently installed in the DCSM.

Table 1 : Subsystems used for 5G module upgrade experiment

Name	Manuf.	Connectivity port	Internet protocol	Communication protocols and ports
Industrial robot HP20 [9]	Motoman	LAN	UDP and TCP	http (80), AUI (3501), SNMP (161 and 162), ssh (22)
Industrial robot HP6 [9]	Motoman	LAN	UDP and TCP	http (80), AUI (3501), SNMP (161 and 162), ssh (22)
Collaborative robot Panda [10]	Franka Emica	LAN	TCP	Modbus (502), https (8080)
Smart Warehouse	Laboratory LASIM	LAN / USB	TCP	OPC UA (4840), MQTT (1883)
Smart manual assembly station	Laboratory LASIM	LAN / USB	TCP	OPC UA (4840), https (8080)
PC with Digital Twin	Laboratory LASIM	LAN / USB	TCP	OPC UA (4840), Modbus (502), https (8080), ssh (20)
Quality control station	Laboratory LASIM	LAN / USB	TCP	OPC UA (4840), https (8080)

4.1 Communication testing protocol

The first part of the test consisted of checking the data transmission speed with 5G modems and performing a comparative analysis with the current LAN and Wi-Fi network used in the DCSM. The test was performed using the iperf3 tool (network performance measurement and tuning tool), which tests the maximum download and upload speed of the network between server and client using the TCP or UDP protocols and their different settings. We used the TCP protocol with open 10 parallel streams, which gave the best performance in all different networks (LAN, Wi-Fi and 5G) [11].

The second part of the experiment was to test the connectivity in several steps to set up the devices and 5G modems correctly:

- **STEP 1:** Connecting the 5G modem to the device.
- **STEP 2:** Setting up the device to ensure that communication between the 5G modem and the device is established and that the IP of the device and the IP of the 5G modem are compatible. In the case of the TRB500 modem, this means that it must be set to pasture, bridged mode or even port forwarding to achieve connectivity. In the case of the RMU500-EK, the correct IP is automatically defined after installing all drivers (different for Linux and Windows).
- **STEP 3:** Checking the availability of the industrial device in the 5G network by running ping commands with the target IP of the device.
- **STEP 4:** Connecting to the device with any protocol and check the connectivity status.
- **STEP 5:** Operating the device in run mode. This means that we used robots to perform pick & place operations, a smart manual assembly station was used to guide the worker in his assembly tasks, and other devices were used to check all their functions controlled by internal algorithms and the global digital twin.

5 Results

The basic download and upload speed test was carried out using the iperf3 tool. Since the toll requires a server and a client to perform the measurements and we wanted to test the maximum possible download and upload rates, we used the public iperf3 server as the server and our PC with the two 5G modems as the client. We performed tests over LAN, Wi-Fi and 5G network, each lasting 10 minutes. The test time of 10 minutes was used to get a good average value of the speed, as this fluctuates. *Figure 3* shows the download speed results for the TRB500 gateway connected to the PC with Digital Twin.

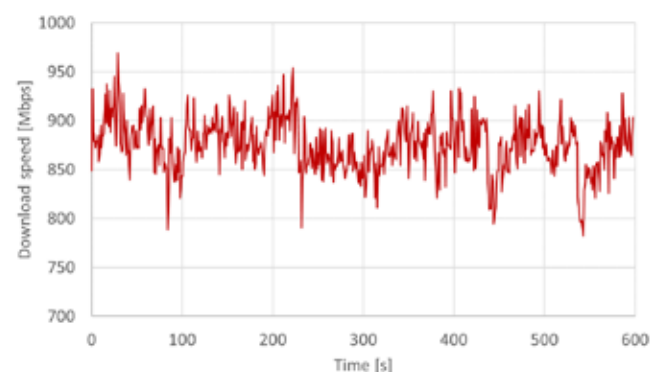


Figure 3 : Results of iperf3 tool download speed testing for TRB500 gateway connected to PC with Digital Twin

The analysis of data transfer speed with LAN, Wi-Fi and 5G network is shown in Figure 4. We must note here that the download speeds of 5G networks come close to and can exceed Gigabit Ethernet connections when using a cell phone, for example. When using the TRB500 5G gateway, the

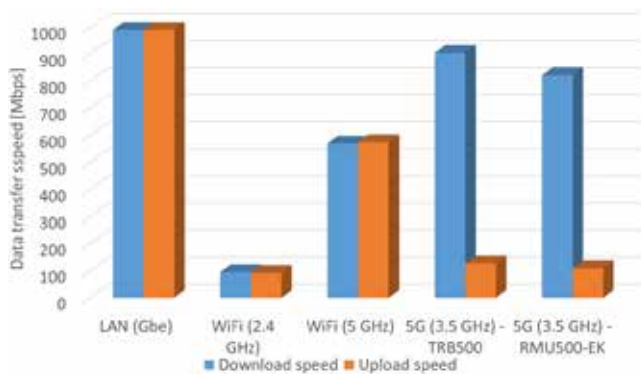


Figure 4 : Results of iperf3 download and upload speed test over LAN, Wi-Fi and 5G network

bottleneck is not the 5G network, but the Gigabit Ethernet connection between the 5G modem and our DCSM devices. On the other hand, the upload speeds are more in the range of Wi-Fi at 2.4 GHz. The reason that download speeds are much higher than upload speeds is that the 5G network is mainly designed to support mobile users, while the majority of users do not produce data that needs to be sent, but download large amounts of data (video streaming, games and social networks).

After the initial testing of data transfer speed, we conducted 5 STEP connection experiment on all chosen equipment. The results of 5 step connection process and results are presented in Table 2. We successfully achieved stable connectivity, enabling all subsystems to operate under control over the 5G network. Using the QUECTEL RMU500-EK to connect devices to 5G required no special setup.

The installation of drivers and setting up the connection was sufficient.

The collaborative robot was connected via the TRB500 5G gateway using the “bridged mode” settings, which sets the robot controller to the same IP address as the gateway and then forwards the data only to the required ports.

The most difficult part was connecting two Yaskawa industrial robots (HP6 and HP20 with NX100 controller) to 5G network. The reason for this is that the robots' controllers are 20 years old and are not directly compatible with the TRB500 gateway (they cannot be used in “bridged” or “pass-through” mode). The only way to establish a connection is to set the robots to their IP addresses (192.168.1.101) and their default gateway IP addresses (192.168.1.1) along with IPv4 netmask (255.255.255.0) directly in the module and with that bypass the modem interface IP (169.254.4.1). The presented procedure is important since many companies have similar old robots and controllers and would like to upgrade the systems with 5G. Furthermore, using the NAT setting of the TRB500 gateway and set up “port forwarding” for all ports used by the robot controller software and the NX100 robot controller. After this step, stable communication is achieved. We would also like to point out that when using the TRB500 5G gateway during the testing and device is visible in 5G network, the “ping” test of device availability is questionable as you might get a response from the TRB500 gateway and not from the robot controller or PLC itself (if not in “bridged” or “pass-through” mode), this is why in our case “port forwarding” was essential.

Table 2 : Results of testing steps for each tested manufacturing subsystem

Name	5G modem	Connecting (STEP 1)	Setting (STEP 2)	Ping test (STEP 3)	Com. test (STEP 4)	Work test (STEP 5)
Industrial robot HP20	TRB500	Successful	Successful *	Successful **	Limited	Successful
Industrial robot HP6	TRB500	Successful	Successful *	Successful **	Limited	Successful
Collaborative robot Panda	TRB500	Successful	Successful*	Successful**	Successful	Successful
Smart Warehouse	RMU500-EK	Successful	Successful	Successful	Successful	Successful
Smart manual assembly station	RMU500-EK	Successful	Successful	Successful	Successful	Successful
PC with Digital Twin	RMU500-EK	Successful	Successful	Successful	Successful	Successful
Quality control station	RMU500-EK	Successful	Successful	Successful	Successful	Successful

* Tried different modes to find correct one for industrial robots connected to TRB500 (NAT with port forwarding, Bridged, Pass-through).

** Ping testing of industrial robots and collaborative robot connected to TRB500 is questionable since the ping response can be from modem and not the robot itself.

6 Discussion

The integration of 5G technology in the LASIM Demo Center SMART FACTORY offers considerable potential for improving industrial applications. Our experiments with industrial robots, collaborative robots, smart warehouses and manual assembly stations have shown that 5G networks can achieve superior download speeds, often matching or exceeding Gigabit Ethernet. This performance supports high-bandwidth applications such as real-time data analytics and digital twin implementations. However, upload speeds were closer to those of Wi-Fi, indicating a current limitation in symmetrical data transmission, which is essential for some industrial applications.

Challenges were identified when integrating legacy industrial subsystem into 5G networks. The Yaskawa robots, for example, required specific network configurations, indicating the need for careful planning when retrofitting legacy systems. Various 5G modems also highlighted practical aspects of connectivity, with some requiring more complicated configurations than others. The 5G network operating in non-standalone (NSA) mode with a 4G backbone offered improvements in data transfer rates and latency, but indicated that further improvements are required to realize its full potential.

Overall, while 5G technology is promising in terms of improving operational efficiency, current limitations in upload speeds need to be overcome and compatibility with existing systems needs to be ensured for widespread adoption.

7 Conclusion

The experiments at the LASIM Demo Center SMART FACTORY illustrate the transformative potential of 5G technology in an industrial environment. 5G networks can provide superior download speeds, enabling high-bandwidth applications that are critical to modern manufacturing. However, limitations in upload speeds and the complexity of integrating legacy subsystem present challenges.

Despite these hurdles, the benefits of 5G (higher data transfer rates and lower latency) can significantly improve real-time monitoring, machine control and operational efficiency. These findings provide a roadmap for future deployments and underscore the need for advances in network infrastructure and device compatibility.

In summary, while the use of 5G in industrial environments is still in its infancy, our findings are promising. They point to areas where further research is needed, particularly in achieving symmetrical data transmission rates and seamless integration

into existing systems. With continued progress, 5G technology has the potential to revolutionize manufacturing and make processes more connected, efficient and responsive to market demands.

Literature

- [1] Lagorioa A. et al., 5G in Logistics 4.0: potential applications and challenges, *Procedia Computer Science* 217, 2023.
- [2] Chettri L., Bera R.: A Comprehensive Survey on Internet of Things (IoT) Toward 5G Wireless Systems, *IEEE Internet of Things Journal* January 2020, pg.: 16 – 32.
- [3] Tsourdinis T., Chatzistefanidis I., Makris N. et. al.: Service-aware real-time slicing for virtualized beyond 5G networks, *Computer Networks* no. 247, 2024.
- [4] Boshoffa M., Schusterb D., Christa L.: Evaluation of 5G Edge and Cloud Computing for Data Processing in Visual Referencing of Mobile Robot Manipulators, *Procedia CIRP* 120 (2023) 774–779.
- [5] Lagorioa A., Ciminia C., Pintoa R., Cavalieria S.: 5G in Logistics 4.0: potential applications and challenges, *Procedia Computer Science* 217 (2023) 650–659.
- [6] Huang M., Liu A., Xiong N.N., Vasilakos A. V.: Towards intelligent and trustworthy task assignments for 5G-enabled industrial communication systems, *Digital Communications and Networks*, 2023.
- [7] Chenga, J., Chena W., Taoa, F., Linb C.: Industrial IoT in 5G environment towards smart manufacturing, *Journal of Industrial Information Integration*, Volume 10, June 2018, Pages 10–19.
- [8] Gustavo P. Cainelli, Lisa Underberg, Performance testing of a 5G campus network in real-world propagation conditions from the application's point of view, *IFAC-PapersOnLine*, , Volume 56, Issue 2, 2023.
- [9] NX100 Maintenance Manual, ([https://info.ammc.com/hubfs/Partner/Documents/Yaskawa_Motoman Robots/NX100_Maintenance_Manual_2520150133-1CD.pdf](https://info.ammc.com/hubfs/Partner/Documents/Yaskawa_Motoman%20Robots/NX100_Maintenance_Manual_2520150133-1CD.pdf)).
- [10] Franka Emika robot's instruction handbook, (<https://www.generationrobots.com/media/franka-emika-robot-handbook.pdf>).
- [11] Lacknera, T., Hermann, J., Dietricha F., Kuhna C. et. al.: Measurement and comparison of data rate and time delay of end-devices in licensed sub-6 GHz 5G standalone non-public networks, *Procedia CIRP* 107 (2022) 1132–1137.

Uporaba tehnologije 5G v proizvodnih procesih in sistemih

Razširjeni povzetek:

Članek predstavlja celovito raziskavo o potencialu tehnologije 5G v kontekstu industrijskih aplikacij, ki je bila izvedena v laboratoriju LASIM Demo Center SMART FACTORY (DCSM). Raziskava je bila osredotočena na testiranje in preizkušanje različnih vidikov uporabe tehnologije 5G v industrijskih okoljih, pri čemer so bile izvedene temeljite analize hitrosti izmenjave podatkov, stabilnosti povezave ter združljivosti s komunikacijskimi protokoli. Namen študije je bil razumeti, kako lahko tehnologija 5G prispeva k izboljšanju učinkovitosti, povezanosti in agilnosti v proizvodnji ter industrijskih procesih.

V eksperimentalnem delu raziskave so bili preizkušeni različni industrijski sistemi, kot so industrijski roboti, sodelujoči roboti, pametna skladišča, pametne ročne montažne postaje in druga industrijska oprema. Preizkusi so potekali v laboratorijskem okolju DCSM, kjer so bile analizirane ključne lastnosti 5G-omrežja v industrijskih pogojih, kot so hitrost prenosa podatkov, stabilnost povezave ter združljivost s specifičnimi industrijskimi protokoli.

V sklopu raziskave je bila izvedena tudi namestitev 5G-omrežja v laboratoriju DCSM, kar je omogočilo komunikacijo med različnimi industrijskimi komponentami prek LAN, Wi-Fi ali 5G- omrežij. Tako je bila ustvarjena infrastruktura za testiranje in analizo združljivosti različnih industrijskih naprav z 5G-omrežjem ter njihovo povezljivost v realnem industrijskem okolju.

Pomemben del raziskave je bil preizkus učinkovitosti in stabilnosti povezave med 5G-omrežjem ter različnimi industrijskimi napravami. Preizkusi so vključevali primerjavo hitrosti in stabilnosti povezave med 5G-omrežjem ter obstoječimi LAN- in Wi-Fi-omrežji, kar je omogočilo celovit vpogled v prednosti in izzive uporabe tehnologije 5G v industriji.

Na podlagi rezultatov raziskave je bilo ugotovljeno, da tehnologija 5G ponuja velik potencial za izboljšanje operativne učinkovitosti, povezanosti in agilnosti v industrijskih okoljih. Kljub temu pa so bili izpostavljeni tudi nekateri izzivi, kot so potreba po nadaljnjih raziskavah in razvoju ter zagotavljanje združljivosti s specifičnimi industrijskimi protokoli.

Končni zaključki raziskave so, da je tehnologija 5G ključna za prihodnost industrije in da lahko pravilna implementacija in uporaba te tehnologije prispevata k večji produktivnosti, učinkovitosti ter konkurenčnosti industrijskih procesov.

Ključne besede:

5G, poveznost, proizvodni sistemi, testiranje združljivosti, komunikacijski protokoli

Zahvala za sofinanciranje

Delo je bilo finančno podprto v okviru Javne agencije za raziskovalno in inovacijsko dejavnost RS – ARIS, Raziskovalni program P2-0248 – Inovativni proizvodni sistemi in procesi, raziskovalni projekt J2-4470 – Raziskave zanesljivosti in učinkovitosti robnega računalništva v pametni tovarni z uporabo 5G-tehnologije. Delo je financirala Evropska unija, projekt 101087348 – Krepitev zmogljivosti za odličnost slovenskih in hrvaških inovacijskih ekosistemov za podporo digitalnemu in zelenemu prehodu pomorskih regij ter projekt 101058693 – Trajnostni prehod v agilno in zeleno podjetje.

Acknowledgments

The work was financially supported in the framework of the Slovenian Research and Innovation Agency - ARIS, Research Programme P2-0248 – Innovative manufacturing systems and processes, research project J2-4470 – Research on the reliability and efficiency of edge computing in a smart factory using 5G technologies. The work was funded by the European Union, project 101087348 – Strengthening the capacity for excellence of Slovenian and Croatian innovation ecosystems to support the digital and green transitions of maritime regions and project 101058693 - Sustainable Transition to the Agile and Green Enterprise.



 Celjski sejem

Mednarodni industrijski sejem

8.-11. APRIL 2025



KARAKTERISTIKE OBDELAVE ALUMINIJA 6061 Z ABRAZIVNIM VODNIM CURKOM Z OZIROM NA STANDARD SN 214001

Marko Jerman, Andrej Lebar, Izidor Sabotin, Joško Valentinčič

Izvleček:

V raziskavi smo preučevali obdelavo aluminija 6061 z abrazivnim vodnim curkom in jo primerjali s standardom SN 214001. Eksperimenti so bili izvedeni pri različnih vodnih tlakih in debelinah obdelovanca, pri čemer smo merili hrapavost površine (Ra), koničnost reza, napake pri vhodu in izhodu iz konture ter napake vogala. Rezultati kažejo, da trenutni algoritmi za krmiljenje stroja ne dosegajo v celoti zahtevane kakovosti po standardu SN 214001, zlasti pri večjih debelinah obdelovanca. Raziskava izpostavlja potrebo po nadaljnjih izboljšavah algoritmov in prilagoditvah procesnih parametrov za doseganje boljše skladnosti s standardom ter preveliko konservativnost pri določanju rezalne hitrosti pri doseganju nižjih kakovostnih razredov, kar zmanjšuje ekonomičnost procesa.

Ključne besede:

abrazivni vodni curek, aluminij 6061, koničnost, hrapavost, napaka vogala, napaka vhoda-izhoda, hitrost rezanja

1 Uvod

Uporaba VC se je začela v Evropi v poznih 50. letih na področju rudarstva. Zasluge za izum pripisujemo ruskemu znanstveniku G. P. Čermenskiju [1]. Raziskave so se v 70. letih prestavile v ZDA. Tehnologijo obdelave z VC je za industrijske aplikacije prvi uporabil O. Imanaka z Univerze v Tokiu v zgodnjih 60. letih prejšnjega stoletja [2]. Prvo industrijsko aplikacijo je tehnologija doživela leta 1972 v podjetju Manufacturing Company McCartney. Tehnologija spada med nekonvencionalne postopke obdelave, pri kateri s pretvorbo visoke tlačne energije vode (do 600 MPa) ustvarjamo viskositrostni VC s hitrostmi nad 600 m/s. Zaradi čistosti postopka je VC uporabljen v številnih industrijskih panogah, njegova uporaba pa je zaradi relativno nizke stopnje odzema materiala omejena na rezanje mehkejših in

poroznih materialov, npr. v tekstilni in papirni industriji, uveljavljena pa je tudi na področjih obdelave tesnil in v industriji tiskanih vezij.

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.) brez vnosa toplotnih poškodb. Še posebej se je tehnologija izkazala pri obdelavi aluminija in težko obdelovalnih zlitin, kot so titanove zlitine z aplikacijami v različnih industrijah, vključno z letalsko, avtomobilsko in industrijo tiskanih vezij, kjer materiali, od kovin do kompozitov in keramike, zahtevajo natančno in učinkovito obdelavo [4].

Zagotavljanje kakovosti obdelave z AVC je ključni vidik, ki pomembno vpliva na proizvodne rezultate, zato se z raziskovanjem tega področja ukvarja veliko raziskovalnih skupin. Področje raziskav na področju kvalitete za različne materiale in procesne parametre procesa AVC je izčrpno predstavljeno v preglednih delih Natarajan et al. [4] in Sarava-

dr. Marko Jerman, univ. dipl. inž., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo;

doc. dr. Andrej Lebar, univ. dipl. inž., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Zdravstvena fakulteta;

dr. Izidor Sabotin, univ. dipl. inž., **izr. prof. dr. Joško Valentinčič,** univ. dipl. inž., oba Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo

nan et al. [5], najnovejša dognanja pa je predstavil Wang et al. [6].

Huang et al. [7] preučuje nedavne razvojne trende v tehnologiji AVC, kot so rezanje z uporabo nagibne glave, z nagibnim curkom naprej, večprehodno rezanje in nadzorovano oscilacijo šobe v smeri rezanja. Ugotovitve kažejo, da omenjeni pristopi pozitivno vplivajo na učinkovitost obdelave zmogljivosti rezanja in izboljšajo tako debelino odrezanega materiala kot doseženo hrapavost površine. Selvam et al. [8] raziskuje zmogljivost obdelave z AVC na hibridnih kompozitih, poudarja pomemben vpliv hitrosti premikanja, vodnega tlaka in mase pretoka abraziva na hrapavost površine in koničnost reza. Zelenak et al. [9] predstavlja rezultate numeričnega modeliranja razvoja AVC v rezalni glavi. Rezultati raziskave prikazujejo, kako kombinacije procesnih parametrov, kot so masni pretok abraziva in tlaki vode, vplivajo na izstopno hitrost AVC in posledično na njegovo obdelovalno sposobnost.

Nivoji kakovosti so definirani v švicarskem standardu SN 214001 [10], ki zagotavlja strukturiran pristop k razvrščanju kakovosti rezalnih površin, ki nastanejo pri obdelavi z AVC. Standard določa pet nivojev kakovosti (Q1-Q5), določenih za pet območij debeline obdelovanca. Kakovostni razredi so določeni na podlagi hrapavosti površine Ra, koničnosti reza in dimenzijskih točnosti, kot so napaka vstopa in izstopa iz konture ter napaka vogala.

Različni materiali obdelovancev zahtevajo različne prilagoditve procesnih parametrov in kinematike gibanja.

Klichova et al. [11] v raziskavi predstavlja, kako procesni parametri vplivajo na kakovost obdelave z AVC, in preučuje vpliv obdelovalnosti materiala na kakovost površin pri rezanju aluminijevih zlitin. Ugotavlja, da poleg obdelovalnega števila tudi trdota materiala pomembno vpliva na kakovost površine. V nadaljnji raziskavi [12] nato primerja kakovost rezanja aluminijeve zlitine EN AW 6060 in Inconela Alloy 600 s standardom SN 214001.

Leta 1992 sta Jiyue Zeng in Thomas J. Kim [13] predstavila enačbo Zeng-Kim ali krajše Zengovo

enačbo, ki se uporablja za napovedovanje in programiranje kinematike AVC-strojev. Enačba za napoved globine reza izhaja iz povezave med makro stopnjo odstranjevanja materiala na rezalnem robu in akumulirano mikro stopnjo odstranjevanja materiala s posameznimi abrazivnimi delci. Makro stopnja odstranjevanja materiala je izračunana na podlagi prejšnjih študij o disipaciji energije v procesu rezanja z AVC. Za oceno mikro stopnje odstranjevanja materiala je uporabljen elasto-plastični model, izpeljan za krhke materiale. Na podlagi enačbe za globino reza je definiran nov empirični materialni parameter, obdelovalno število, ki predstavlja odpornost proti eroziji.

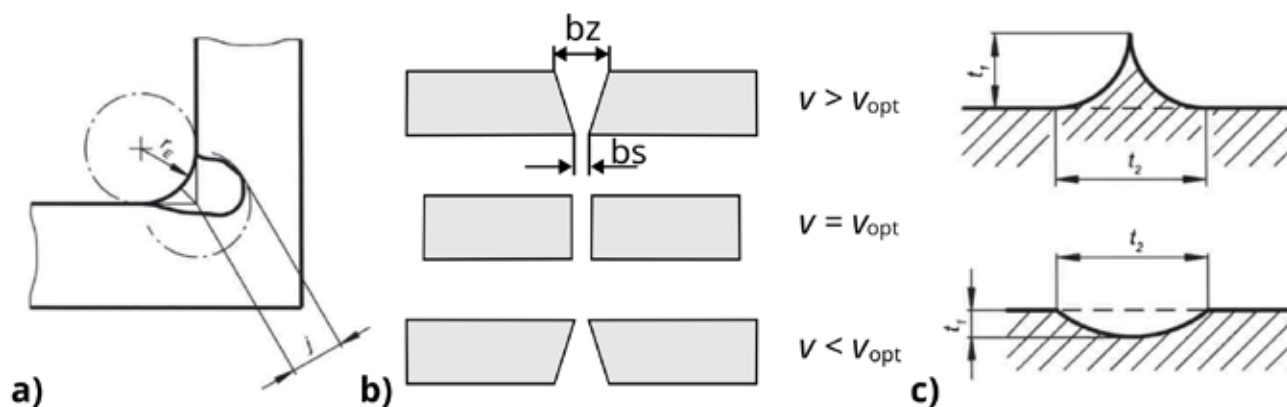
V današnjih najsodobnejših strojih za abrazivno rezanje z vodnim curkom se uporabljajo veliko bolj sofisticirani modeli rezanja za nadzor hitrosti rezanja ter kompenzacijo koničnosti [14]. Ti modeli upoštevajo parametre, kot so obdelovalno število in debelina materiala, zahteve glede kakovosti, ukrivljenost poti orodja, vodni tlak, premer šobe, premer fokusirne šobe, material in granulacija ter pretok abraziva. Nekateri proizvajalci, kot sta OMAX Corporation in Flow International Corporation, ponujajo svoje različice obdelovalnosti in lastnosti abrazivnega rezanja za širok nabor materialov. Med njima je faktor 24 razlike, pri čemer je obdelovalnost, ki jo uporablja OMAX, približno 24-krat večja od tiste, ki jo uporablja Flow [14]. Napredki v računalniških algoritmi, uporabljenih za določanje kinematike obdelovalnih centrov, pomembno prispevajo k povečanju učinkovitosti in kakovosti obdelave z AVC [15]. Izboljšave teh algoritmov povečujejo nadzor in predvidljivost obdelovalnega postopka, ki tako novim kot starejšim obdelovalnim strojem za rezanje z AVC omogočajo večjo obdelovalno učinkovitost tako v smislu hitrosti odnašanja materiala kot z izboljšanjem kakovosti obdelave. Zaradi kompleksnosti procesa rezanja z AVC so potrebne dodatne raziskave delovanja teh algoritmov na različnih materialih in obdelovalnih centrih, kar obravnava ta raziskava.

2 Kakovost obdelave in hitrost rezanja

Kakovost obdelave z AVC, kot je opredeljena v standardu SN 214001 [10], določa pet različnih kva-

Tabela 1 : Mejne vrednosti za kvalitete pri rezanju z AVC, določene po standardu SN 214001 [10]

Kvaliteta Q	Hrapavost Ra [μm]	Koničnost T [mm]	Napaka vogala j [mm]	Napaka vhoda in izhoda NVI [mm]	Debelina h [mm]
Q5	3,2	0,05	0,25	0,1	15
Q4	6,3	0,1	0,7	0,25	30
Q3	12,5	0,2	1,5	0,5	40
Q2	25	0,3	3	1	50
Q1	50	0,3	3	1	300



Slika 1: Napake pri rezanju z AVC glede na standard SN 214001

litetnih stopenj (Q1 do Q5). Te stopnje temeljijo na naslednjih merilih: hrapavost površine R_a , koničnost reza (T), napaka vogala (j) in napaka vhoda in izhoda iz konture rezanja (NVI). Mejne vrednosti so omejene glede na debelino materiala h , ki obenem predstavlja najvišjo kvaliteto, ki jo lahko dosežemo pri tej debelini materiala. Predstavljene so v Tabeli 1.

Hrapavost površine (R_a) je ključni parameter za ocenjevanje kvalitete nastale površine. Meritev poteka na spodnji strani obdelovanca, kjer je hrapavost višja, 1 mm od spodnjega roba oziroma na spodnjih 10 % nastale površine. Hrapavost je v veliki meri povezana z granulacijo abraziva, nanjo pa vplivajo tudi procesni parametri, kot so hitrost vodnega curka, količina abraziva in hitrost rezanja. Z večanjem debeline materiala oziroma hitrosti rezanja pri enaki debelini materiala rezalna učinkovitost curka pada in prihaja do oscilacij curka ob stiku z materialom obdelovanca, ki se na rezalnem robu odražajo v obliki vse večjih valovitosti.

Koničnost reza (T) opisuje spremembo debeline reza od vhoda do izhoda, kar vpliva na natančnost dimenzionalnih meritev obdelanih delov. Koničnost se povečuje z večjo debelino materiala in hitrostjo rezanja, ker se vodni curek širi med prehodom skozi material. Če režemo s hitrostjo, ki je višja od optimalne, odvezamo več materiala na zgornjem delu obdelovanca. Pri hitrosti, nižji od obdelovanca, pa se koničnost oziroma divergenca curka, ki je posledica njegovega razpadanja, preslika v obdelovanec in dobimo širši rez na spodnji strani obdelovanca. Primeri koničnosti so prikazani na sliki 1a. Določena je kot polovica razlike med širino zgornje in spodnje strani obdelovanca, kot je prikazano na sliki 1a oziroma $T = (b_z - b_s)/2$, kjer je b_z širina zgornjega roba in b_s širina spodnjega roba.

Napaka vogala (j), ki je prikazana na sliki 1b, se nanaša na odstopanje pravokotnosti notranjih vogalov obdelanega kosa. Najmanjša napaka vogala je tako najmanjši notranji radij r_E , ki ga lahko dose-

žemo in je v najboljšem premeru enak ali pa večji od polmera vodnega curka. Na spodnjem robu obdelovanca pa pride do napake zaradi odklanjanja curka med rezanjem. Odklanjanje je večje pri višjih hitrostih obdelave in povzroča spodjedanje materiala.

Napaka vhoda in izhoda (NVI) opisuje napako na rezalnem robu, ki nastane na mestu, kjer curek vstopa in izstopa iz konture, saj na tem mestu pogosto pride do spremembe strani gibanja cuka, kot prikazuje slika 1c. Na mestu spremembe smeri, podobno kot pri napaki vogala, lahko pride do spodjedanja materiala na spodnjem robu. Do napake pride tudi ob nepopolnem odvzemu materiala pri vhodu in izhodu, ki na površini pusti konico neodvzetega materiala. Napako določimo po formuli $NVI = t_1/t_2$, kjer je t_1 višina napake, t_2 pa njena širina.

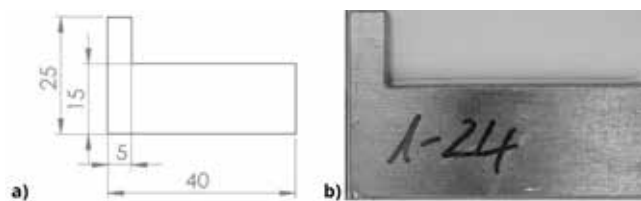
Za določanje hitrosti rezanja stroja v za obdelavo z AVC se uporablja oblika semiempirične Zengove enačbe:

$$v = \left(\frac{N_m \cdot p^{1,25} \cdot \dot{V}^{0,687} \cdot \dot{m}_a^{0,343}}{C_z \cdot h \cdot Q \cdot d_f^{0,618}} \right)^{1,15} \quad (1)$$

kjer je N_m empirično določeno obdelovalno število, p tlak vode pred vodno šobo v MPa, $\dot{V}$ volumski pretok vode, podan v l/min, $\dot{m}_a$ masni pretok abraziva, podan v g/s, C_z brezdimenzijska konstanta 8800, d_f premer fokusirne šobe v mm, v hitrost rezanja v mm/s in h debelina materiala, podana v mm.

3 Metodologija

Za eksperimentalno delo je bil uporabljen dvoosni obdelovalni center za rezanje z AVC, OMAX 2652A (ZDA), opremljen z visokotlačno črpalko z ojačevalnikom BHDT Ecotron 403 (Avstrija). Eksperimenti so bili izvedeni pri štirih tlakih vode: 240



Slika 2 : Obdelovanec iz aluminija 6061: a) model z dimenzijami in b) izrezan preizkušalec debeline 4 mm

MPa, 250 MPa, 270 MPa in 300 MPa. Uporabili smo rezalno glavo, sestavljeno iz vodne šobe premera 0,3 mm in iz fokusirne šobe premera 1,02 mm, obe proizvajalca Allfi (Avstrija). Za rezanje smo uporabili mineralni abraziv granat granulacije #80 z masnim pretokom 7,5 g/s.

Obdelovalni center za določanje kinematike rezanja uporablja programsko opremo Omax Make, ki poleg algoritma za določanje hitrosti in pospeškov rezanja vsebuje tudi podatke o obdelovalnem številu materiala obdelovanca. Eksperimentalno smo analizirali skladnost doseganja kvalitete rezanja obdelovancev iz aluminija 6061, ki se pogosto uporablja za konstrukcijo letalskih struktur, avtomobilskih delov ter številnih drugih aplikacij in ima obdelovalno število 219,3. Obdelovanec, prikazan na *sliki 2*, je zasnovan tako, da omogoča merjenje vseh kriterijev kakovosti pri vseh 5 razredih kvalitete in je bil izdelan v treh debelinah: 4 mm, 8 mm in 10 mm.

Debeline so bile izbrane tako, da pri vseh lahko dosežemo vseh pet kvalitetnih razredov, določenih po standardu SN 214001. Hitrosti rezanja, določene z algoritmom programske opreme Omax Make, so prikazane v *tabeli 2*. Pri debelinah 4 mm in 8 mm smo izvedli poskuse pri vseh štirih tlakih,

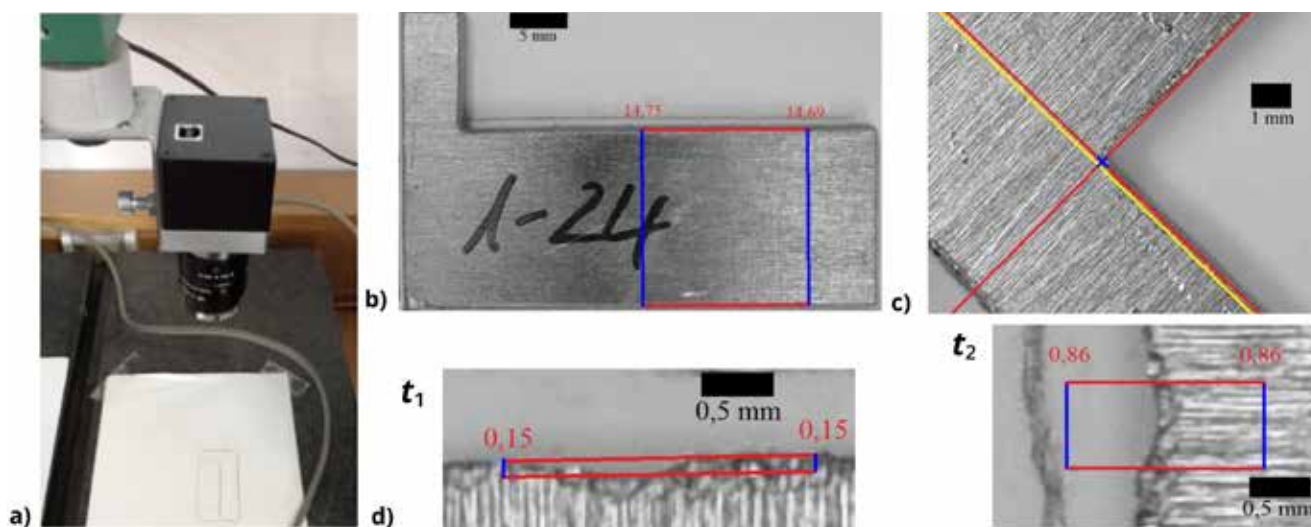
Tabela 2 : Hitrosti rezanja v mm/min, ki jih za aluminij 6061 pri izbranih procesnih parametrih določa algoritem programa Omax Make

h [mm]	p [MPa]	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5
4	240	941	807	506	364	281
	250	996	855	536	3853	298
	270	1110	952	597	429	332
	300	1287	1104	693	498	385
8	240	486	417	261	188	145
	250	536	459	288	207	160
	270	640	549	345	248	192
10	300	802	688	431	310	240
	250	997	855	536	385	298

medtem ko smo karakteristike rezanja pri debelini 10 mm zaradi omejenega obsega raziskave testirali le pri tlaku vode 250 MPa.

3.1 Potek meritev

Hrapavost površine smo pomerili z merilnikom hrapavosti Hammel Tester T1000 LV15. Meritev smo ponovili trikrat na vsakem vzorcu. Ostale parametre kvalitete smo izmerili s pomočjo digitalne analize fotografij v programskem okolju Matlab. Za zajem slike smo uporabili kamero z ločljivostjo senzorja 5 milijonov slikovnih točk in lečo FUJINON 1:1,6/35mm HF35HA-1B. Vpeli smo jo v stojačo tako, da je bila postavljena pravokotno nad merilni prostor, kot prikazuje *slika 3a*. Kalibracijo smo izvedli na podlagi kljunastega merila, ki smo ga ob zajemu fotografije postavili poleg merjenja.

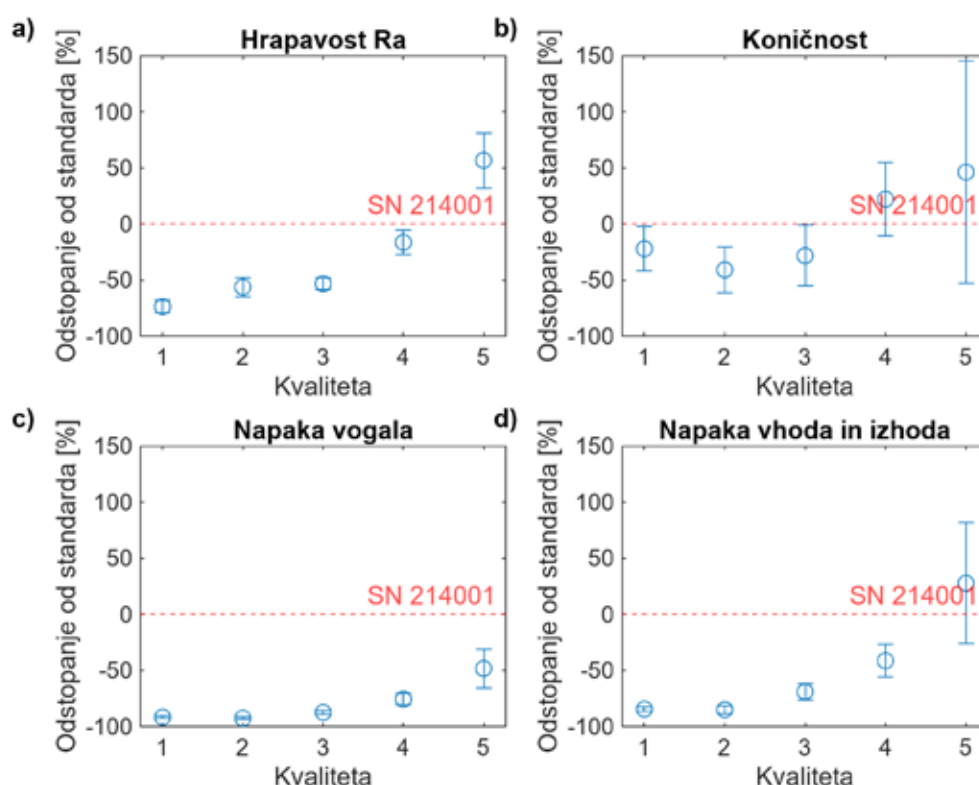


Slika 3 : a) Zajem fotografij vzorcev za analizo kriterijev kvalitete, b) določitev koničnosti, zajem širine obdelovanca, kjer modra črta prikazuje izmerjeno širino, c) meritev napake vogala in d) meritev višine (t_1) in širine (t_2) napake vhoda in izhoda.

Koničnost smo določili tako, da smo na nasprotnih robovih narisali črti ter izračunali povprečno razdaljo med njima, kot prikazuje *slika 3b*, in enako ponovili na drugi strani preizkušanca. Iz meritev smo nato preračunali koničnost. **Napako vogala** smo izmerili na spodnji strani obdelovanca tako, da smo najprej določili stranici vzorca, na *sliki 3c* prikazani z rdečima črtama. Presečišče črt je v pravem vogalu vzorca, kot ga označuje modri križec. Rumeno črto smo postavili v točko, kjer je napaka vogala največja. Merili smo razdaljo med modrim križcem in rumeno črto. **Napako vhoda in izhoda** s konture smo merili na spodnji strani vzorca in izmerili širino in dolžino napake, kot prikazuje *slika 3d*.

4 Rezultati in diskusija

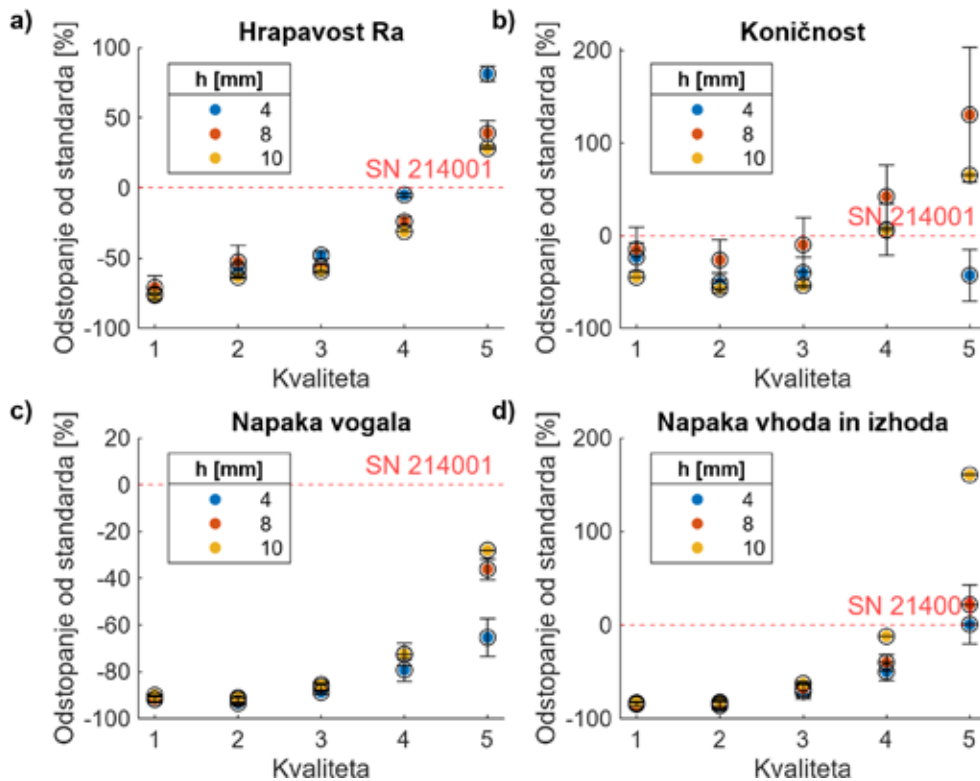
Rezultati meritev, prikazani na *sliki 4*, predstavljajo sposobnost algoritma za doseganje karakteristik kvalitete, določene po standardu SN 214001, pri rezanju aluminija 6061 izražene v procentih, medtem ko je na *sliki 5* odstopanje od standarda dodatno razdeljeno glede na debelino odrezanega materiala. Dodatno so odstopanja povprečnih vrednosti kriterijev kvalitete za posamezni razred kvalitete predstavljena v *tabeli 3*. *Slike 6-10* prikazujejo rezultate meritev kriterijev kvalitete za vsak razred kvalitete posebej in jih primerjajo z zahtevami standarda SN 214001. Iz rezultatov je razvidno,



Slika 4 : Skupno odstopanje kriterijev kvalitete od standarda SN 214001 za peto kvaliteto (rdeča črtkana črta) pri rezanju aluminija 6061: a) hrapavost Ra, b) koničnost, c) napaka vogala in d) napaka vhoda in izhoda iz konture

Tabela 3 : Odstopanje povprečnih vrednosti kriterijev kvalitete od standarda SN 214001

Kakovost Q	Ra [%]		Koničnost [%]		Napaka vogala [%]		Napaka vhoda izhoda [%]	
	srednja vrednost	Std	srednja vrednost	Std	srednja vrednost	Std	srednja vrednost	Std
1	-73,6	5,7	-22,1	19,9	-91,5	1,1	-84,4	2,1
2	-56,1	8,5	-40,7	20,3	-92,5	1,2	-84,9	3,6
3	-53,1	5,5	-28,2	27,2	-87,4	1,8	-68,9	7,3
4	-16,3	11,1	22,2	32,8	-75,5	5,4	-41,3	14,5
5	56,7	24,5	46,2	99,0	-48,2	17,4	27,9	54,0



Slika 5 : Skupno odstopanje kriterijev kvalitete od standarda za kvaliteto Q5 glede na debelino: a) hrapavost Ra, b) koničnost, c) napaka vogala in d) napaka vhoda in izhoda iz konture

da algoritmi za krmiljenje stroja procesa obdelave ne uspejo prilagoditi v taki meri, da bi rezultati obdelave v celoti zadostili kakovostnim razredom, definiranim po standardu.

Pri doseganju pogoja *hrapavosti površine Ra* tako pri kvalitetnem razredu Q5 pri nobeni od testiranih debelin nismo dosegli definiranih vrednosti, medtem ko so bile vrednosti za Q4 v celoti dosežene. Pri kvalitetnem razredu Q3 po drugi strani rezultati močno presegajo kriterij hrapavosti in so bliže kriteriju za Q4 kot za Q3. Podobno lahko opazimo za kriterija, določena za Q2 in Q1. Iz rezultatov je razvidno, da algoritmi za krmiljenje stroja procesa obdelave ne uspejo prilagoditi v taki meri, da bi rezultati obdelave v celoti zadostili kakovostnim razredom, definiranim po standardu. Pri doseganju pogoja hrapavosti površine Ra tako pri kvalitetnem razredu Q5 pri nobeni od testiranih debelin nismo dosegli zahtevanih vrednosti po standardu, medtem ko so bile vrednosti za Q4 v celoti dosežene (slika 4a, tabela 3). Pri kvalitetnem razredu Q3 po drugi strani rezultati močno presegajo kriterij hrapavosti in so bliže kriteriju za Q4 kot za Q3. Podobno lahko opazimo za kriterija, določena za Q2 in Q1.

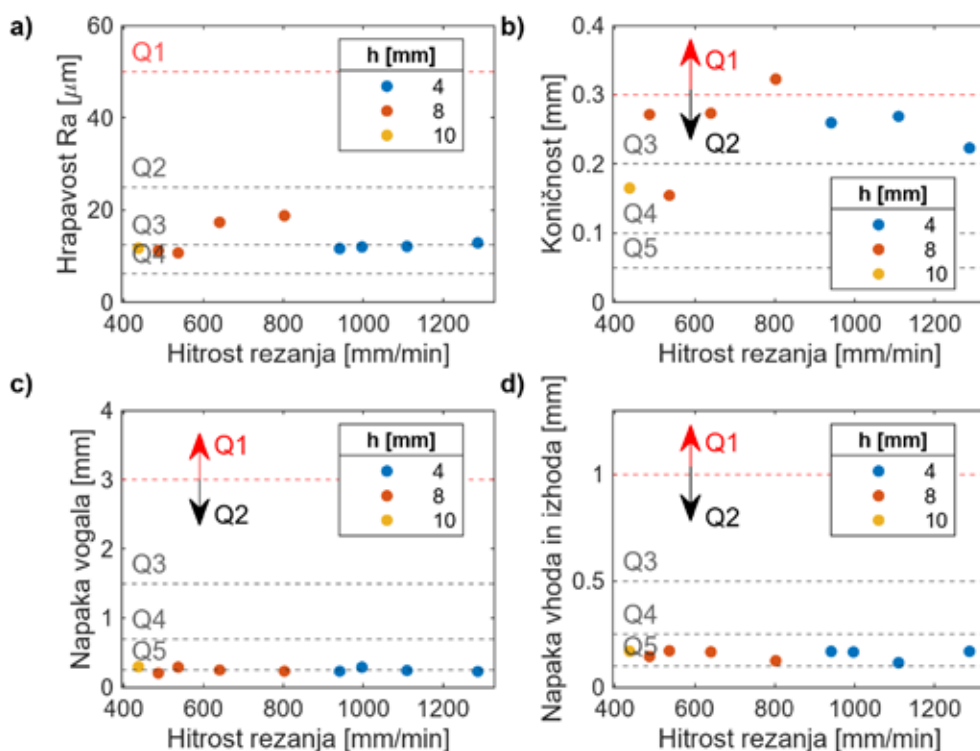
Iz dosedanjih raziskav je znano, da na hrapavost poleg procesnih parametrov, kot so tlak vode, pretok vode in masni pretok abraziva, poglavitno vpliva zrnatost abraziva. Pri izbiri bolj grobih procesnih parametrov, ki so z ekonomskega vidika bolj ugodni, je tako smiselno prilagoditi tudi granulacijo

abraziva. Z večanjem granulacije pa tako lahko tudi dodatno povišamo hitrost odnašanja materiala pri enakih procesnih parametrih.

Rezultati meritve koničnosti kažejo na to, da algoritem za uporabljen obdelovalni stroj za kvalitetni razred Q5 dobro prilagaja kinematiko stroja le pri najmanjši debelini, 4 mm (slika 4c in slika 5c). Pri večjih debelinah je bila po standardu dovoljena koničnost presežena. Bolj zanimivo je pri kvalitetnem razredu Q3, kjer algoritem na stroju dosega in presega kriterij koničnosti pri debelinah 4 mm in 10 mm, medtem ko vrednost nekoliko presega pri vmesni debelini 8 mm. Pri razredih Q2 in Q1 algoritem z nastavljen kinematiko stroja dosega boljše rezultate od zahtevanih.

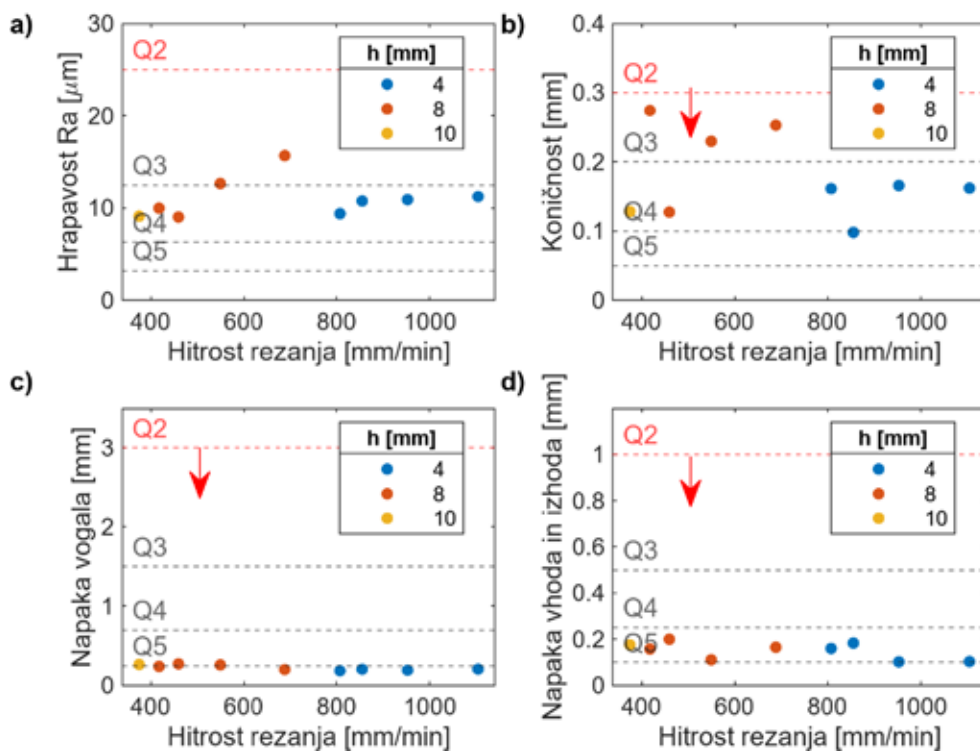
Izmerjene vrednosti *napake vogala* pri vseh kvalitetnih razredih presegajo mejo, določeno po standardu. Medtem ko je to odstopanje relativno majhno (slika 4b in slika 5b), pa pri ostalih kvalitetnih razredih močno presegamo mejne vrednosti. Napaka vogala je posledica spodjedanja vogala na spodnjem robu obdelovanca zaradi odklona curka. Pri višjih hitrostih rezanja je odklon curka večji, zaradi česar prihaja v tem primeru do večjega spodjedanja. Rezultati tako nakazujejo, da algoritem ali preveč konzervativno določa velikost pospeška ali pa kaže na mehansko omejitev stroja. Pri izdelavi bolj zapletenih kontur lahko ravno z ustreznim krmiljenjem tega parametra dosežemo visoko stopnjo skrajšanja časa obdelave.

Kvaliteta Q1



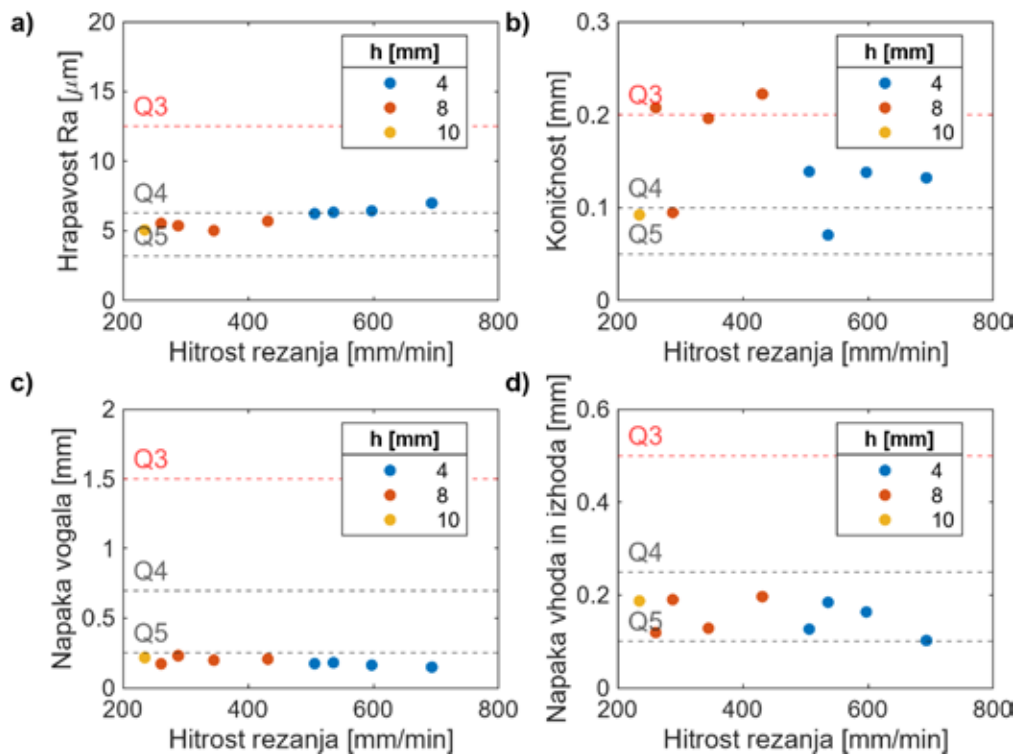
Slika 6 : Doseganje kriterijev kvalitete, določene po standardu SN 214001 za prvo kvaliteto (rdeča črtkana črta) pri različnih hitrostih rezanja aluminija 6061: a) hrapavost Ra, b) koničnost, c) napaka vogala in d) napaka vhoda in izhoda iz konture

Kvaliteta Q2



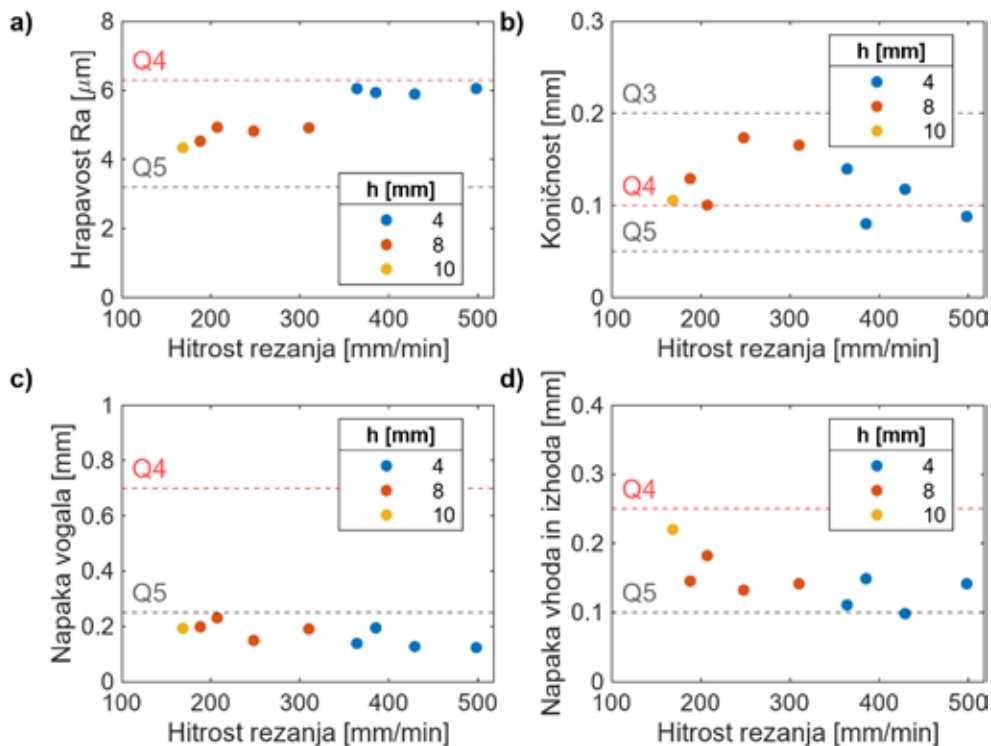
Slika 7 : Doseganje kriterijev kvalitete, določene po standardu SN 214001 za drugo kvaliteto (rdeča črtkana črta) pri različnih hitrostih rezanja aluminija 6061: a) hrapavost Ra, b) koničnost, c) napaka vogala in d) napaka vhoda in izhoda iz konture

Kvaliteta Q3



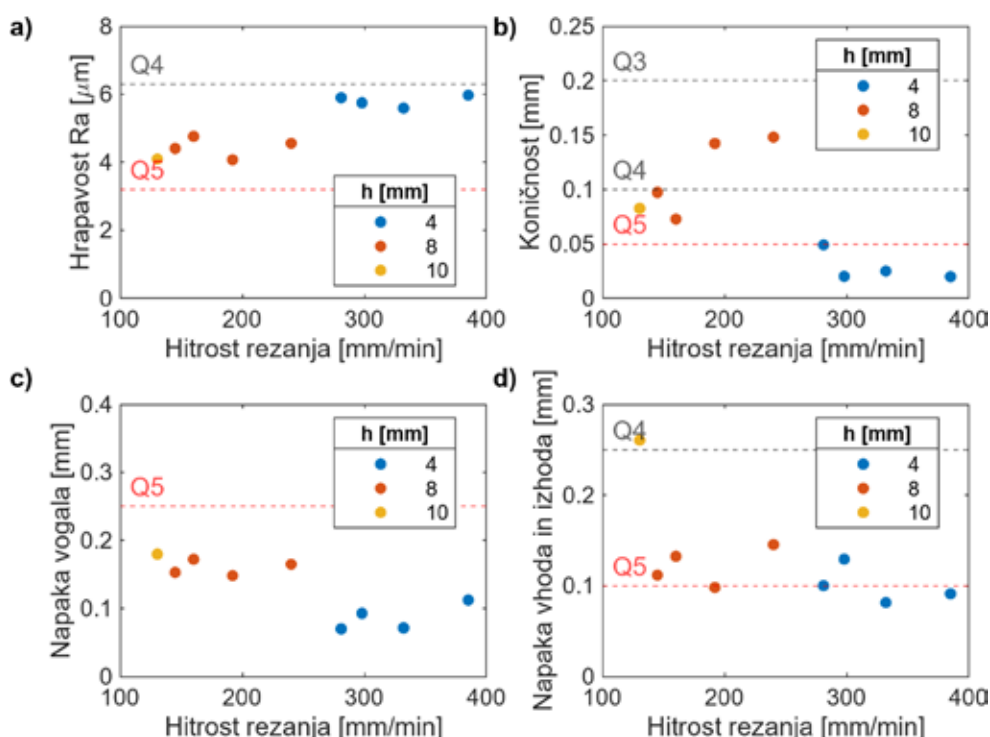
Slika 8 : Doseganje kriterijev kvalitete, določene po standardu SN 214001 za tretjo kvaliteto (rdeča črtkana črta) pri različnih hitrostih rezanja aluminija 6061: a) hrapavost Ra, b) koničnost, c) napaka vogala in d) napaka vhoda in izhoda iz konture

Kvaliteta Q4



Slika 9 : Doseganje kriterijev kvalitete, določene po standardu SN 214001 za četrto kvaliteto (rdeča črtkana črta) pri različnih hitrostih rezanja aluminija 6061: a) hrapavost Ra, b) koničnost, c) napaka vogala in d) napaka vhoda in izhoda iz konture

Kvaliteta Q5



Slika 10 : Doseganje kriterijev kvalitete, določene po standardu SN 214001 za peto kvaliteto (rdeča črtkana črta) pri različnih hitrostih rezanja aluminija 6061: a) hrapavost Ra, b) koničnost, c) napaka vogala in d) napaka vhoda in izhoda iz konture

Pri meritvah *napake vhoda in izhoda* iz konture rezultati kažejo, da algoritem s prilagajanjem kinematike procesa ustrezno dosega kriterij Q5 po standardu le za debelino 4 mm (slika 4d in slika 5d), nekoliko presega pri debelini 8 mm in močno za kar 160 % presega pri debelini materiala 10 mm. Pri vseh ostalih kvalitetnih razredih algoritem zagotovi kriterijem po standardu oziroma jih pri kvalitetnih razredih Q3, Q2 in Q1 močno presega (slika 6), kar ponovno kaže na preveliko konzervativnost algoritma v teh primerih in nakazuje na možnosti za optimizacijo procesa.

5 Zaključek

Na podlagi izvedenih eksperimentov smo ugotovili, da trenutni algoritmi za krmiljenje stroja ne dosegajo v celoti zahtevane kakovosti po standardu SN 214001. Pri najmanjši debelini 4 mm smo dosegli zahtevane vrednosti za kakovost Q4, vendar so bile pri večjih debelinah presežene. Pri kakovostnih razredih Q3, Q2 in Q1 so rezultati hrapavosti površine presegali zahtevane vrednosti, kar nakazuje na potrebo po prilagoditvi granulacije abraziva in izboljšanju procesnih parametrov. Rezultati napake vogala in napake vhoda ter izhoda kažejo na preveliko konzervativnost algoritma, kar nakazuje na možnosti za optimizacijo procesa.

Raziskava izpostavlja potrebo po nadaljnjih izboljšavah algoritmov in prilagoditvah procesnih parametrov, da bi dosegli boljšo skladnost s standardom SN 214001 in zagotovili višjo kakovost obdelave z abrazivnim vodnim curkom. Prilagoditev granulacije abraziva in izboljšanje nadzora nad kinematiko stroja sta ključna dejavnika za doseg boljših rezultatov pri rezanju različnih debelin materiala.

Viri

- [1] W. C. Cooley, "Advances in the technology of fluid jets: Past, present and targets for the 21st century," in 5th Pacific Rim International Conference on Water Jet Technology, 1998, pp. 3-5.
- [2] A. W. Momber and R. Kovacevic, Principles of Abrasive Water Jet Machining. London: Springer London, 1998.
- [3] J. Zeng and T. J. Kim, "Parameter Prediction and Cost Analysis in Abrasive Waterjet Cutting Operations," in 7th American Water Jet Conference, 1993, pp. 175-189.
- [4] Y. Natarajan, P. K. Murugesan, M. Mohan, and S. A. Liyakath Ali Khan, "Abrasive Water Jet Machining process: A state of art of review," J. Manuf. Process., vol. 49, no. January 2019, pp. 271-322, Jan. 2020, doi: 10.1016/j.jmapro.2019.11.030.

- [5] S. Saravanan, V. Vijayan, S. T. J. Suthahar, A. V. Balan, S. Sankar, and M. Ravichandran, "A review on recent progresses in machining methods based on abrasive water jet machining," *Mater. Today Proc.*, vol. 21, pp. 116–122, 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2019.05.373.
- [6] H. Wang, R. Yuan, X. Zhang, P. Zai, and J. Deng, "Research Progress in Abrasive Water Jet Processing Technology," *Micromachines*, vol. 14, no. 8, p. 1526, Jul. 2023, doi: 10.3390/mi14081526.
- [7] C. Z. Huang, J. Wang, Y. X. Feng, and H. T. Zhu, "Recent Development of Abrasive Water Jet Machining Technology," *Key Eng. Mater.*, vol. 315–316, pp. 396–400, Jul. 2006, doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.315-316.396.
- [8] R. Selvam, L. Karunamoorthy, and N. Arunkumar, "Investigation on performance of abrasive water jet in machining hybrid composites," *Mater. Manuf. Process.*, vol. 32, no. 6, pp. 700–706, Apr. 2017, doi: 10.1080/10426914.2016.1198039.
- [9] Z. Riha, M. Zelenak, K. Soucek, and A. Hlavacek, "Flow Field Analysis Inside and at the Outlet of the Abrasive Head," *Materials (Basel)*, vol. 14, no. 14, p. 22, Jul. 2021, doi: 10.3390/ma14143919.
- [10] "SN 214001: 2010-03 – Contact-free cutting – Water jet cutting – Geometrical product specification and quality," 2010.
- [11] D. Klichova and J. Klich, "Study of the Effect of Material Machinability on Quality of Surface Created by Abrasive Water Jet," *Procedia Eng.*, vol. 149, pp. 177–182, 2016, doi: 10.1016/j.proeng.2016.06.653.
- [12] D. Klichova and L. Gurková, "Evaluation of quality of cut surfaces created by abrasive water jet according to swiss standard SN 214001," in *Water jet 2017*, 2017, pp. 81–89.
- [13] J. Zeng and T. J. Kim, "Development of an Abrasive Waterjet Kerf Cutting Model for Brittle Materials," pp. 483–501, 1992, doi: 10.1007/978-94-011-2678-6_33.
- [14] J. Zeng, "Determination of machinability and abrasive cutting properties in AWJ cutting," 2007, [Online]. Available: <https://www.oxa.com/sites/default/files/documents/determinationofmachinabilityandabrasivecuttingproperties.pdf>.
- [15] N. Yuvaraj and M. Pradeep Kumar, "Multiresponse Optimization of Abrasive Water Jet Cutting Process Parameters Using TOPSIS Approach," *Mater. Manuf. Process.*, vol. 30, no. 7, pp. 882–889, 2015, doi: 10.1080/10426914.2014.994763.

Characteristics of machining 6061 aluminum alloy with abrasive water jet in relation to standard SN 214001

Abstract:

In this study, we investigated the machining of 6061 aluminum alloy using abrasive water jet and compared it with the SN 214001 standard. Experiments were conducted at various water pressures and workpiece thicknesses, measuring surface roughness (Ra), kerf taper, inlet and outlet errors, and corner errors. The results indicate that the current machine control algorithms do not fully meet the required quality standards of SN 214001, especially at greater workpiece thicknesses. The research highlights the need for further improvements in algorithms and adjustments of process parameters to achieve better compliance with the standard. Additionally, it points out the excessive conservatism in setting cutting speeds for lower quality grades, which reduces process efficiency.

Keywords:

abrasive water jet, aluminium 6061, kerf taper, surface roughness, corner error, inlet-outlet error, cutting speed

POSVET

AVTOMATIZACIJA STREGE IN MONTAŽE 2024 - ASM `24

06. decembra 2024

na Gospodarski zbornici Slovenije v Ljubljani

aktualne novice o posvetu so na voljo na www.posvet-asm.si

CELOSTNA PREOBRAZBA PROIZVODNIH IN INTRALOGISTIČNIH PROCESOV

AVTOMATIZACIJA, IMPLEMENTACIJA DIGITALNIH REŠITEV IN DIGITALNEGA DVOJČKA

Jan Suhadolnik, Andrej Erzetič, Aleš Sedej, Miha Gantar, Jure Maver,
Filip Jure Vuzem, Hugo Zupan

Izvleček:

V sodobnem poslovnem okolju se podjetja vse bolj zavedajo pomena avtomatizacije in digitalizacije proizvodnih in logističnih procesov. Zato je v članku predstavljena celostna preobrazba proizvodnih in intralogističnih procesov podjetja Herbarium. Projekti za avtomatizacijo, digitalno transformacijo in uporabo digitalnega dvojčka omogočajo znatno izboljšanje učinkovitosti, zmanjšanje operativnih napak in povečanje produktivnosti.

Ključne besede:

Avtomatizacija, Digitalizacija, Proizvodni procesi, Intralogistični procesi, Digitalni dvojček, Informatizacija, Proizvodnja čaja, Učinkovitost

1 Uvod

V dobi digitalne revolucije in avtomatizacije proizvodnih procesov se podjetja soočajo s potrebo po stalni inovativnosti in prilagodljivosti [1]. Podjetje Herbarium [2], ki ima dolgoletno tradicijo v proizvodnji čaja, je predstavljalo idealen primer, kjer je bila potrebna celostna preobrazba za ohranjanje konkurenčnosti na trgu. Spremenjeni tržni pogoji, naraščajoča konkurenca in visoka pričakovanja potrošnikov glede kakovosti in trajnosti izdelkov so narekovali nujnost te preobrazbe.

Izzivi, s katerimi se podjetje sooča, niso le v povečanju proizvodnih zmogljivosti, temveč tudi v optimizaciji obstoječih proizvodnih procesov, zmanjšanju okoljskega odtisa in izboljšanju delovnih pogojev za zaposlene. Zavedajoč se teh zahtev, je vodstvo podjetja Herbarium sprejelo strateško odločitev za

vlaganje v napredne tehnologije in digitalne rešitve, ki omogočajo prehod na bolj avtomatizirano in digitalizirano proizvodnjo.

Projekt je bil zasnovan z vizijo izboljšanja ne le operativne učinkovitosti, temveč tudi z namenom ustvariti bolj prilagodljivo in odzivno proizvodno okolje. V projekt je vključena integracija digitalnih tehnologij, ki omogočajo boljše razumevanje in upravljanje proizvodnih procesov, izboljšanje kakovosti končnih izdelkov ter zmanjšanje proizvodnih stroškov.

V naslednjih poglavjih bomo podrobneje raziskali, kako se ta vizija uresničuje skozi različne faze projekta, vključno z avtomatizacijo ključnih delov proizvodnje, digitalizacijo procesov za izboljšanje sledljivosti in kakovosti ter uvedbo digitalnega dvojčka, ki je omogočil boljše planiranje in simulacijo proizvodnih procesov.

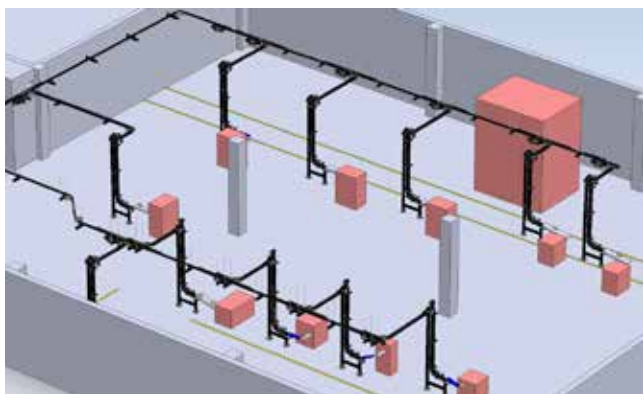
2 Avtomatizacija proizvodnje

Avtomatizacija proizvodnje v podjetju Herbarium je predstavljala ključni korak k povečanju učinkovitosti in zmanjšanju stroškov z uporabo naprednih tehnoloških rešitev. Cilj je bilo nadomestiti ročne operacije z avtomatiziranimi sistemi, kar je pripomoglo k izboljšanju kakovosti končnih izdelkov in zagotavlja bolj varno in ergonomsko delovno okolje.

Jan Suhadolnik, dipl. inž., Andrej Erzetič, dipl. inž.,
Aleš Sedej, dipl. inž., vsi LEOSS AUTOMATION,
Ljubljana

Miha Gantar, dipl. inž., Jure Maver, dipl. inž., oba
LEOSS, d. o. o., Ljubljana

Filip Jure Vuzem, mag., dr. Hugo Zupan, univ.
dipl. inž., oba DIGITEH, d. o. o., Ljubljana



Slika 1 : Transportni sistemi Dorner v Herbariumu

Napredni transportni sistemi proizvajalca Dorner

Ena od ključnih izboljšav v procesu avtomatizacije je bila uvedba naprednih transportnih sistemov proizvajalca Dorner (*slika 1*). Ti sistemi so bili prilagojeni posebej za potrebe podjetja Herbarium in omogočajo dviganje produktov z elevatorji, kar prispeva k čistejšemu proizvodnemu prostoru in boljši dostopnosti do strojev. S tem smo zmanjšali potrebo po prostoru na tleh, hkrati pa izboljšali dostop do proizvodnih linij in zmanjšali tveganje za delovne nesreče.

Po meri prilagojeni transportni sistemi LEOSS

V kombinaciji s transportnimi sistemi Dorner smo v LEOSS-u [3] razvili tudi po meri prilagojene transportne rešitve. Te vključujejo inovativno obešanje transportnih linij na strop proizvodnje. Ta pristop zagotavlja boljši izkoristek prostora, zmanjšuje nevarnost za delavce, omogoča lažji dostop do proizvodnih linij za vzdrževanje in bolj fleksibilno upravljanje s proizvodnimi linijami, kar podjetju daje možnost hitrejšega prilagajanja na spremembe v povpraševanju.



Slika 2 : Strojni vid za razvrščanje paketov

Avtomatizacija združevanja paketov in strojni vid

Nadaljnja avtomatizacija procesa je bila združevanje paketov s posebej zasnovanimi združevalci, ki zagotavljajo pravilen razmik med produkti, kar je izboljšalo kakovost pakiranja. Tudi strojni vid je ključni element naše avtomatizacijske strategije, saj omogoča natančno prepoznavanje in razvrščanje izdelkov, s čimer se povečata hitrost in natančnost izbiranja pravih izhodov za pakete (*slika 2*).

Avtomatsko paletiranje

Kot del naše avtomatizacije smo vključili tudi avtomatske paletirne sisteme, ki so racionalizirali proces pakiranja. Ti sistemi so zmanjšali fizični napor za delavce in povečali splošno produktivnost, hkrati pa omogočili hitrejšo in bolj natančno zlaganje izdelkov v pakirne embalaže.

S temi inovacijami v avtomatizaciji proizvodnje je podjetje Herbarium uspešno izboljšalo svoje proizvodne zmogljivosti, povečalo učinkovitost dela in zagotovilo višjo kakovost končnih izdelkov.

3 Informatizacija in digitalizacija proizvodnje

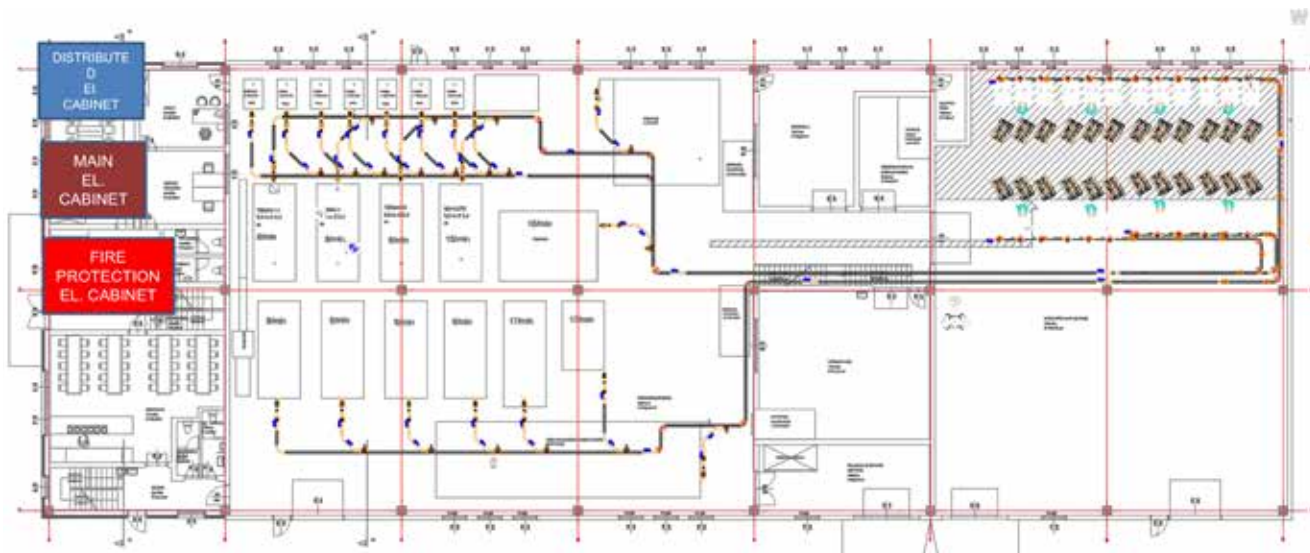
Informatizacija in digitalizacija [4] proizvodnje predstavljata naslednji ključni korak v procesu preoblikovanja podjetja Herbarium. Ta faza je bila usmerjena v integracijo informacijsko-digitalnih tehnologij, ki omogočajo boljše spremljanje, nadzor in optimizacijo proizvodnih procesov (*slika 3*). S poudarkom na natančnosti, sledljivosti in izboljšanju kakovosti končnih izdelkov sta informatizacija in digitalizacija omogočili prehod na digitalno vodeno proizvodnjo.

Integracija naprednih senzorskih tehnologij

Ključni element informatizacije je bila integracija naprednih senzorskih tehnologij po celotni proizvodni liniji. Ta vključuje uporabo fotocelic, ki omogočajo natančno štetje proizvodov in spremljanje njihovega gibanja skozi različne faze proizvodnje. Ta tehnologija zagotavlja neprekinjeno in avtomatizirano spremljanje proizvodnje, kar znatno izboljša kakovost podatkov in omogoča hitrejšo odzive na morebitne težave v proizvodnem procesu.

Digitalni prikazovalniki in vmesniki HMI

Za učinkovitejše upravljanje in spremljanje proizvodnih procesov v proizvodnem obratu smo integrirali digitalne prikazovalnike. Ti zasloni so nameščeni na strateških mestih v proizvodnji in medskladiščnih prostorih, kar omogoča delavcem in vodjem izmen neposreden vpogled v ključne proizvodne parametre. Poleg tega se uporabljajo



Slika 3 : Integracija sistemov za informatizacijo in digitalizacijo proizvodnje

vmesniki Human-Machine Interface (HMI), ki omogočajo vodjem izmen enostavno vnašanje in prilagajanje predvidenih količin ter drugih proizvodnih parametrov preko njihovih računalnikov (slika 4). Ta pristop zagotavlja večjo fleksibilnost in prilagodljivost proizvodnje ter izboljšuje natančnost pri planiranju z ažurnimi podatki, kar omogoča optimalnejše planiranje.

Digitalno upravljanje in sledenje proizvodnje

Razvoj in implementacija celovitega digitalnega upravljanja proizvodnje sta bila še dva pomembna koraka. Ta sistem vključuje centralizirano bazo podatkov, ki zbira in analizira vse ključne informacije v realnem času. S tem je mogoče slediti vsakemu koraku v proizvodnem procesu, od vhodnih surovin do končnih izdelkov. To omogoča boljše razumevanje in optimizacijo proizvodnih tokov, hitrejšo odkrivanje in odpravljanje težav ter bolj učinkovito načrtovanje proizvodnje.



Slika 4 : Vmesnik HMI za spremljanje in upravljanje proizvodnje

Povezava z WMS in avtomatiziranimi skladiščnimi sistemi

Kot del digitalizirane strategije smo integrirali tudi WMS (Warehouse Management System) in avtomatizirane skladiščne sisteme (slika 5). Ta povezava sedaj omogoča sinhronizacijo med proizvodnjo in logistiko, kar prispeva k boljši uporabi skladiščnih prostorov, optimizaciji zalog in zmanjšanju zastojev. Z WMS lahko sedaj v podjetju Herbarium bolje sledijo in upravljajo zalogami, kar omogoča bolj



Slika 5 : Programska rešitev LEOSS WMS

natančno in pravočasno dobavo surovin in materialov v proizvodnjo.

S temi digitalnimi inovacijami je podjetje Herbarium uspešno prešlo na povezano, učinkovito in prožno proizvodnjo, ki je sposobna hitreje reagirati na spremenjene tržne zahteve in pričakovanja kupcev. Informatizacija in digitalizacija proizvodnje predstavljata ključni korak v procesu preoblikovanja in izboljšanja celotnega podjetja.

4 Planiranje proizvodnje s pomočjo digitalnega dvojčka

V procesu digitalne preobrazbe podjetja Herbarium je razvijanje digitalnega dvojčka s strani podjetja DIGITEH [4] predstavljalo revolucionaren korak naprej pri planiranju proizvodnje. Ta tehnološka inovacija sedaj omogoča podjetju, da natančno simulira in optimizira proizvodne procese, kar vodi do znatnega izboljšanja učinkovitosti in zmanjšanja napak v proizvodnji.

Vloga digitalnega dvojčka v proizvodnji

Digitalni dvojček predstavlja digitalno kopijo realnega proizvodnega sistema podjetja [5], vključno z vsemi stroji, transportnimi sistemi in delovnimi procesi. Ta tehnologija omogoča podrobno analizo in simulacijo proizvodnih procesov, kar olajša identifikacijo morebitnih težav in iskanje optimalnih rešitev. Uporaba digitalnega dvojčka omogoča preizkušanje različnih scenarijev »kaj-če«, s čimer lahko hitro ugotovimo, kako spremembe v vhodnih parametrih ali proizvodnih procesih vplivajo na celoten sistem (slika 6).

Optimizacija in napovedovanje s pomočjo digitalnega dvojčka

Digitalni dvojček je uporabljen ne le za simulacijo in analizo trenutnih proizvodnih procesov, ampak omogoča tudi napovedovanje prihodnjih trendov in potreb [5, 6]. Z analizo zbranih podatkov iz različnih informacijskih sistemov lahko predvidimo



Slika 6 : Preslikava realnega procesa v digitalnega dvojčka in digitaliziranje znanja podjetja Herbarium

potrebe po vzdrževanju, optimiziramo proizvodne zmogljivosti in izboljšamo celotno učinkovitost proizvodnje. Ta pristop prinaša podjetju Herbarium veliko prednost v smislu zmanjšanja nepotrebnih stroškov in izboljšanja odzivnosti na tržne spremembe.

Nadgradnja simulacijskih modelov

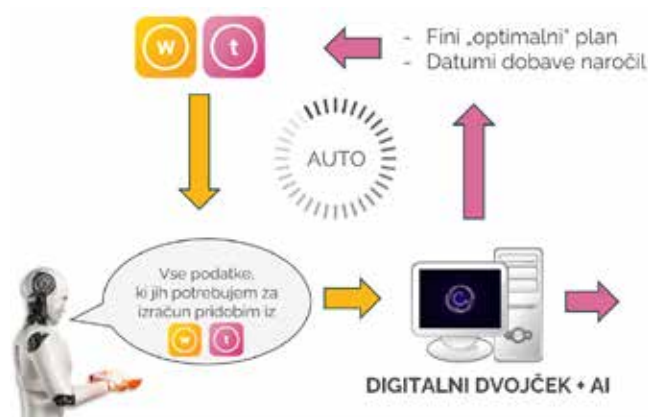
Digitalni dvojček predstavlja nadgradnjo tradicionalnih simulacijskih modelov. V tradicionalnih modelih je vnašanje podatkov večinoma ročno, kar pogosto vodi do napak. Pri uporabi digitalnega dvojčka zajem podatkov poteka avtomatsko iz realnega sistema, kar skoraj v celoti odpravi možnosti za napake. Poleg tega digitalni dvojček omogoča dvosmerno komunikacijo, kar pomeni, da lahko podatke vrača nazaj v sistem, s čimer dodatno izboljša procese načrtovanja in odločanja.

Povezava z digitalnimi agenti in WMS

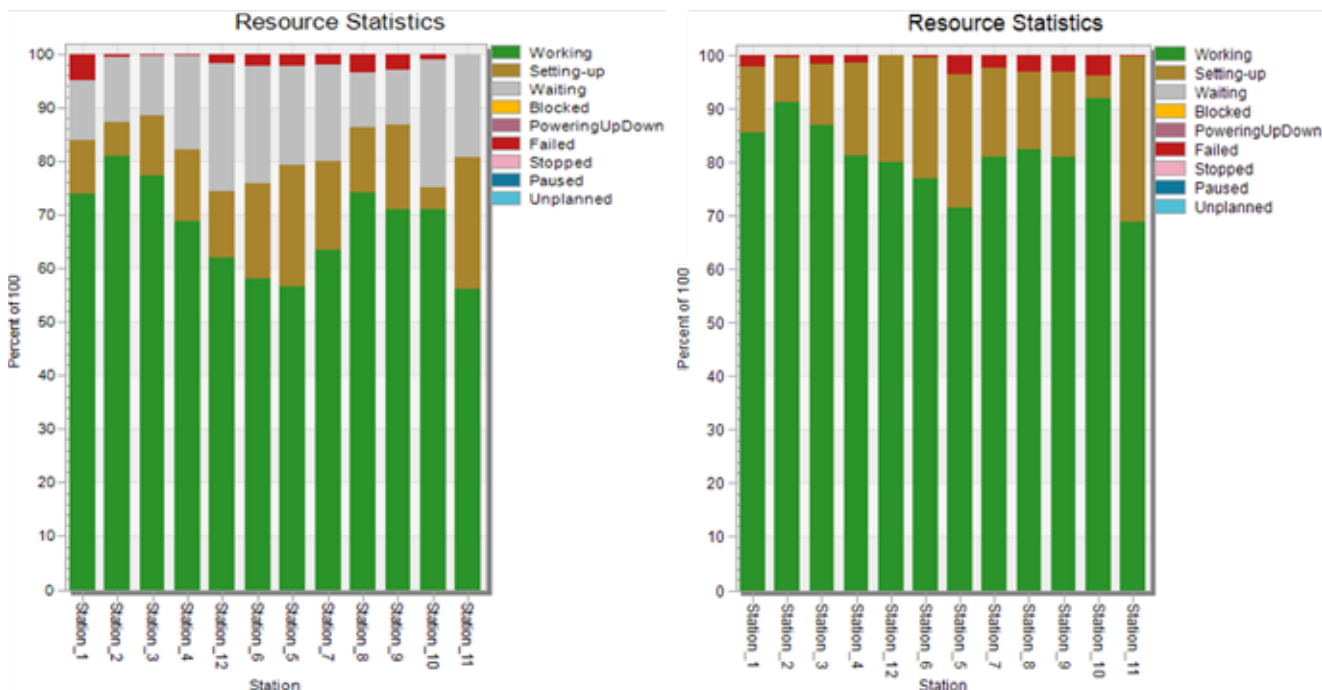
Za maksimalno izkoriščenje digitalnega dvojčka smo razvili tudi digitalne agente, ki omogočajo samodejno sprejemanje hitrih in učinkovitih odločitev. Ti agenti delujejo v tesni povezavi z digitalnim dvojčkom, pri čemer iz njega pridobivajo vhodne podatke in na podlagi teh ponujajo optimalne rešitve. Poleg tega je digitalni dvojček povezan z WMS, kar zagotavlja učinkovito upravljanje zalog in materialov, potrebnih za proizvodnjo (slika 7).

Inovativnost in učinki na proizvodnjo

Inovativnost digitalnega dvojčka se odraža v sposobnosti sistema, da preprečuje vnos napačnih parametrov in s tem povečuje zanesljivost in hitrost načrtovanja. To je še posebej pomembno pri načrtovanju proizvodnih sistemov različnih tipov in velikosti. Razvit sistem digitalnega dvojčka se uporablja za realnočasovno planiranje in usmerjanje proizvodnje, kar omogoča hitre prilagoditve delovnega plana v primeru nepričakovanih dogodkov, kot so zaustavitve proizvodnje ali spremembe v naročilih.



Slika 7 : Integracija digitalnega dvojčka in rešitev LE-OSS



Slika 8 : Z dobrim planiranjem do boljše izkoriščenosti strojev: PREJ (levo), POTEM (desno)

Digitalni dvojček v realnem času izračunava »optimalne« proizvodne plane, ki jih nato vrača v proizvodnjo. Na ta način razvršča delo na posameznih linijah tako, da je čim manj neaktivnega časa linije, s čimer se dviga skupna učinkovitost (OEE) proizvodnje (slika 8).

S pomočjo digitalnega dvojčka je podjetje Herbarium uspešno vzpostavilo natančno, prožno in učinkovito planiranje proizvodnje, kar ima dolgoročne pozitivne učinke na celotno poslovanje podjetja.

5 Zaključek

Projekt celostne preobrazbe proizvodnih in intralogističnih procesov v podjetju Herbarium je prelomnega pomena za nadaljnji razvoj in konkurenčnost na trgu. Z uvedbo avtomatizacije, informatizacije, digitalizacije in uporabo digitalnega dvojčka smo dosegli obsežne izboljšave v učinkovitosti, natančnosti in prilagodljivosti proizvodnih procesov.

Ključni dosežki

Glavni dosežek projekta je znatno povečanje pro-



Slika 9 : Dvig proizvodnih kapacitet za vsaj 30 %

duktivnosti, ki se odraža v povečanju proizvodnje s 140.000 na 185.000 škatel čaja na dan, kar predstavlja povečanje za več kot 30 % (slika 9). Ta izboljšava je rezultat uvedbe naprednih avtomatiziranih in digitalnih sistemov, ki optimizirajo tako posamezne proizvodne procese kot tudi celotno proizvodno linijo.

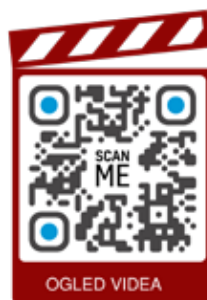
Dolgoročni učinki

Dolgoročni učinki te preobrazbe so mnogostranski. Poleg neposrednih izboljšav v proizvodnji in logistiki je projekt prispeval k boljšim delovnim pogojem, zmanjšanju okoljskega odtisa in izboljšanju splošne kakovosti izdelkov. Avtomatizacija in digitalizacija prinašata tudi boljše možnosti za prilagajanje tržnim spremembam ter hitrejši odziv na potrebe kupcev.

Naprej v digitalno prihodnost

S tem projektom je podjetje Herbarium postavilo temelje za nadaljnjo digitalno transformacijo in inovacije. Uvedba digitalnega dvojčka in povezanih tehnologij predstavlja pomemben korak v smeri razvoja pametne tovarne, ki bo sposobna še večje prilagodljivosti in učinkovitosti. Ta transformacija ni pomembna samo za izboljšanje trenutnih proizvodnih procesov, temveč tudi za razvoj novih strategij in poslovnih modelov.

Celostna preobrazba v podjetju Herbarium je jasen primer, kako lahko pravilno usmerjena in izvedena avtomatizacija ter digitalizacija proizvodnje pripomoreta k večji učinkovitosti, zmanjšanju stroškov in izboljšanju kakovosti izdelkov. Ta uspešni projekt je vzorčni primer za ostala podjetja, ki iščejo načine za inovacije in izboljšave v svojih proizvodnih procesih. S tem korakom Herbarium dokazuje svojo predanost nenehnemu izboljševanju in prilagajanju sodobnim tržnim zahtevam, s čimer si utira pot do vodilne pozicije v industriji.



Za vpogled v trenutno proizvodnjo podjetja Herbarium skenirajte spodnjo QR kodo in si oglejte, kako poteka naš napredni proizvodni proces.

Reference

- [1] Intervju s prof. dr. Nikom Herakovičem: Digitalizacija se povrne vsaj dvanajstkratno. V Slovenji še več., Večer, 1.6.2024, str: 10-11
- [2] Herbarium (www.spidergrupa.hr)
- [3] LEOSS d.o.o. (www.leoss.si)
- [4] DIGITEH d.o.o. (HYPERLINK »<http://www.digiteh.eu>«www.digiteh.eu)
- [5] H. Zupan, N. Herakovič, J. Žerovnik, T. Berlec: Layout optimization of a production cell. International Journal of Simulation Modelling 16 (2016) str. 603-616.
- [6] H. Zupan, N. Herakovič, M. Starbek: Hybrid Algorithm Based on Priority Rules for Simulation of Workshop Production. International Journal of Simulation Modelling 15 (2016) str. 29-41.
- [7] H. Zupan, N. Herakovič, J. Žerovnik: A hybrid metaheuristic for job-shop scheduling with machine and sequence-dependent setup times. 13th International Symposium on Operational Research in Slovenia, Bled, Slovenia, 2015. str. 129-134.

Comprehensive Transformation of Production and Intralogistics Processes - Automation, Implementation of Digital Solutions, and Digital Twin

Abstract:

In the modern business environment, companies increasingly recognize the importance of automation and digitalization of production and logistics processes. This article presents the comprehensive transformation of production and intralogistics processes at the Herbarium company. The projects for automation, digital transformation, and the use of a digital twin significantly improved efficiency, reduced operational errors, and increased productivity. The transformation aimed not only to enhance operational efficiency but also to create a more flexible and responsive production environment. The project included the integration of digital technologies that enabled better understanding and management of production processes, improvement of product quality, and reduction of production costs. Through various phases of the project, including automation of key production areas, digitalization for traceability and quality improvement, and the introduction of a digital twin for better planning and simulation, the vision was successfully realized.

Keywords:

Automation, Digitalization, Production Processes, Intralogistics Processes, Digital Twin, Informatization, Tea Production, Efficiency, Productivity

NAPOVED RABE TOPLOTNE ENERGIJE, POTREBNE ZA DOGREVANJE ZRAKA V MEHANSKEM PREZRAČEVALNEM SISTEMU

Gašper Brunskole, Ljupka Vrteva, Uroš Stritih

Izvleček:

V tem članku predstavljamo izdelavo računalniškega programa za napovedovanje potrebne toplote za dogrevanje zraka v mehanskem prezračevalnem sistemu. Prikazan je postopek izdelave računalniškega programa, ki temelji na urnem spreminjanju temperature zunanega zraka in urniku obratovanja prezračevalne naprave. Pri izdelavi programa smo upoštevali zahteve relativnih tehničnih predpisov in standardov notranjega okolja. Na izbranem mehanskem prezračevalnem sistemu smo opravili meritve in izmerili parametre, ki vplivajo na potrebno toploto za dogrevanje vtočnega zraka. Na podlagi meritev in izračunanih rezultatov potrebne dodatne toplote smo naredili validacijo prototipa računalniškega programa ter numerično in grafično prikazali razloge za morebitna odstopanja. Ugotovili smo, kateri parametri vplivajo na potrebno toploto za dogrevanje zraka v mehanskem prezračevalnem sistemu ter kako zagotavljamo toplotno ugodje v prostoru s čim manjšo rabo energije.

Ključne besede:

mehansko prezračevanje, meritve v realnem okolju, dogrevanje vtočnega zraka, računalniški program, validacija računalniškega programa, napovedovanje dodatne potrebne toplote

1 Uvod

V današnjem svetu imamo z naraščajočimi zahtevami in težnjami po višjem življenjskem standardu možnost bivanja v bivalnih prostorih, ki vključujejo sodobne in sofisticirane tehnologije. Ti napredki pomembno vplivajo na splošno kakovost našega bivanja v teh prostorih. Naše nenehno prizadevanje je izboljšati že obstoječe tehnologije, ki zagotavljajo izboljšano in obogateno izkušnjo uporabnikov. Uporaba in pravilno upravljanje s sodobnimi tehnologijami bistveno vplivata na zdravje in počutje uporabnikov prostorov, predvsem pa na rabo energije v stavbah.

Kakovost zraka v notranjem okolju je eden od temeljnih pogojev za zdravje in ugodje uporabnikov prostorov. V bivalne prostore mora vtekati svež zrak brez vonjav, koncentracij in škodljivih primesi [1].

Kakovost zraka v notranjem okolju zagotavljamo s prezračevanjem prostorov, torej z zamenjavo notranjega onesnaženega zraka s svežim zunanjim zrakom. Nedvomno se na tej točki pojavi tudi vprašanje o potrebni toploti in strošku za ponovno ogrevanje zunanega zraka, ki ga s pomočjo prezračevalnih sistemov dovajamo v prostor, zato da bi zagotovili ustrezno kakovost zraka in toplotno udobje v prostoru.

V članku se osredotočamo na napovedovanje dodatne potrebne toplote za dogrevanje vtočnega zraka že v fazi investicijskega projekta. S tem določamo referenčno rabo toplote za potrebe prezračevanja stavbe. Na podlagi relativnih tehničnih predpisov in standardov smo izdelali prototip računalniškega programa, ki omogoča napoved potrebne toplote za dogrevanje vtočnega zraka, ki bo temeljila na urnem spreminjanju temperatur zunanega zraka in urniku obratovanja prezračevalne naprave. V realnem okolju na izbrani stavbi smo izmerili parametre, ki vplivajo na potrebno toploto za dogrevanje vtočnega zraka. Na podlagi meritev in izračunanih rezultatov potrebne dodatne toplote smo naredili validacijo prototipa računalniškega programa ter numerično in grafično prikazali vključujoče parametre in rezultate ter obrazložili vzroke za morebitna odstopanja.

Gašper Brunskole, dipl. inž., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo; Ljupka Vrteva, mag. inž., Petrol, d. d., Ljubljana; izr. prof. dr. Uroš Stritih, univ. dipl. inž., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo

2 Mehansko prezračevanje stavbe

Temperatura zraka v prezračevalni coni in temperatura zraka, ki vteka (ga vpihujemo) v prostor, običajno nista enaki, zato je v skladu z energijskimi zahtevami in v odvisnosti od namembnosti prostora definirana notranja temperatura zraka v bivalni coni. V prostor vteka svež zrak z določeno temperaturo, ki ga zagotavlja prezračevalni sistem. Vedno stremimo k energijski učinkovitosti, da je energija, potrebna za ogrevanje ali hlajenje vtočnega zraka, čim manjša oziroma enaka nič. To pomeni, da je temperatura vtočnega zraka enaka temperaturi zraka v prezračevalni coni ali malo nižja od nje (razlika v temperaturi med vtočnim zrakom in zrakom v prezračevalni coni majhna, običajno v razponu nekaj stopinj Celzija).

Mehansko prezračevanje temelji na principu nadtlachnega toka zraka v prostor, ki povzroča gibanje zraka v prezračevalni coni. Na takšen način se zagotovi ustrezna zamenjava zraka v prezračevalni coni v odvisnosti od namembnosti prostora. Če je temperatura zunanjega zraka višja od načrtovane temperature vtočnega zraka v prezračevalni coni, se vtočni zrak preko hladilnega elementa sistema termodinamično obdeluje in ohladi na želeno temperaturo. Če je temperatura zunanjega zraka nižja od načrtovane temperature vtočnega zraka v prezračevalni coni, se vtočni zrak, ki prehaja skozi sistem, termodinamično obdeluje in segreje na želeno temperaturo s pomočjo grelne enote oziroma lamelnega prenosnika toplote. Odtočni zrak odteče iz bivalne prezračevalne cone in se zavrže v atmosfero. Del odtočnega zraka, ki zapuša sistem, je mogoče vrniti v sistem.

Na *sliki 1* je poenostavljen prikaz sistema mehanskega prezračevanja, ki vključuje kanalske dovode in odvode.

2.1 Mehansko prezračevanje z izkoriščanjem zavržene toplote

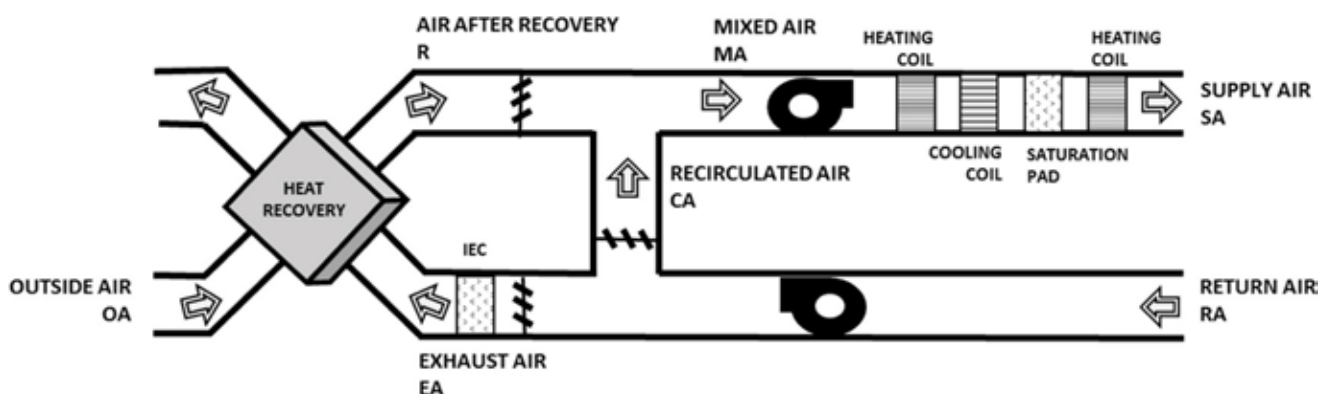
Izkoriščanje toplote zavrženega zraka za mehansko prezračevanje je nujna in zelo učinkovita tehnologija,

ki je bistvenega pomena pri današnjih prizadevanjih za varčevanje z energijo. Za doseganje želene temperature in toplotnega ugodja v stavbi je pogosto potrebno prostore ogrevati ali hladiti. Svež zunanji zrak, ki ga dovajamo v prostore stavbe, moramo pogosto najprej segreti ali ohladiti na želeno temperaturo in s tem zagotoviti toplotno ugodje v prostoru. Pri termodinamični obdelavi zunanjega zraka, ki ga dovajamo v prostor stavbe, je treba v sistem dovesti energijo. Zavrženi zrak oziroma odtočni zrak, ki zapuša prostor, ima temperaturni nivo, ki se lahko izkoristi za dogrevanje vtočnega zraka, če je temperatura zunanjega svežega zraka nižja od želene temperature vtočnega zraka v prostoru. Za ta namen se uporabljajo prenosniki toplote, ki lahko prenesejo le toploto ali hkrati tudi vlago. Z uporabo mehanskih prezračevalnih sistemov, ki omogočajo izkoriščanje zavržene toplote, se zagotavlja svež zrak in ugodje v prostoru ter zmanjšajo obratovalni stroški za prezračevanje stavbe. S pomočjo mehanskega prezračevanja in z izkoriščanjem zavržene toplote iz zračnih tokov, ki zapuša prostor, se zagotavlja minimalna izguba toplote in nižja raba energije za prezračevanje stavbe. Posledično se zmanjšajo tudi emisije v okolje.

Mehansko prezračevanje zagotavlja avtomatizirano in kontrolirano zamenjavo zračnih tokov v prostorih stavbe. Tako se doseže stalna zamenjava zraka neodvisno od zunanjih vremenskih pogojev [3]. Najbolj uporabljana prenosnika toplote za izkoriščanje zavržene toplote v klimatski tehniki sta rekuperator in regenerator toplote.

3 Izdelava računalniškega programa za napovedovanje potrebne toplote za dogrevanje zraka v mehanskem prezračevalnem sistemu

V idejni zasnovi projekta smo opazili pomanjkljivosti pri izračunu prihrankov energije in dejanski rabi dodatne toplote za dogrevanje vtočnega zraka. Izkoristimo eksergijo zavržene toplote. V ta namen



Slika 1 : Poenostavljen shematski prikaz mehanskega prezračevanja [2]

smo izdelali (prototip) računalniškega programa v Excelu za izračun potrebne dodatne toplote za dogrevanje vtočnega zraka. Program se osredotoča na urne spremembe temperature zraka, odvisno od lokacije stavbe in predvidenega urnika obratovanja prezračevalnih naprav. Pri izdelavi programa smo upoštevali tehnične predpise in standarde.

3.1 Splošni podatki o stavbi

Splošni podatki o stavbi so pomembni za klasifikacijo stavbe in povezovanje s pravilnikom o prezračevanju in klimatizaciji stavb [5], ki opredeljuje kakovost zraka in toplotno ugodje v prostoru.

K osnovnim podatkom o stavbi štejemo:

- ▶ naslov stavbe (ime obravnavane stavbe),
- ▶ lokacijo obravnavane stavbe (geografske koordinate stavbe, pomembne za določanje zunanjih klimatskih pogojev),
- ▶ vrsta oziroma namen obravnavane stavbe, v katero je vgrajen mehanski prezračevalni sistem – je podatek, ki je povezan s predpisanim pretokom svežega zraka v prostoru.

3.2 Vhodni podatki

Z vhodnimi podatki smo definirali obravnavani prostor in zahtevano toplotno okolje v obravnavanem prostoru. Na podlagi definiranih robnih pogojev je potekal izračun potrebne toplote za dogrevanje zraka po izkoriščanju zavržene toplote v mehanskem prezračevalnem sistemu. Za bolj natančen izračun smo morali definirati tudi čas obratovanja mehanskega prezračevalnega sistema.

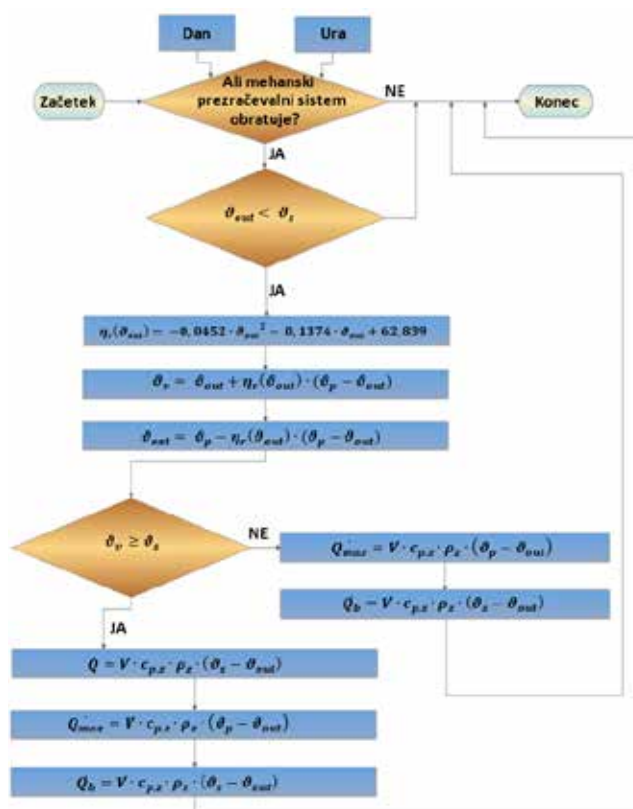
K vhodnim podatkom štejemo:

- ▶ temperaturo notranjega zraka,
- ▶ temperaturo vtočnega zraka,
- ▶ podatke o prostoru in potrebnem toku zraka v prostor,
- ▶ obratovalne ure mehanskega prezračevalnega sistema,
- ▶ temperaturo zunanjega zraka.

3.3 Potek izdelave računalniškega programa

Računalniški program mora biti izdelan tako, da avtomatsko bere postavljene robne pogoje za obravnavano stavbo.

Najprej smo definirali obdobje, za katero so bile upoštevane zunanje temperature zraka. Če smo upoštevali povprečje temperatur zunanjega zraka za več let, smo definirali referenčno leto, za katero so bili definirani datumi in ure za vsak dan posebej. Po definiranju obdobja, na podlagi katerega smo izvedli izračun, smo določili prvi dan v tem obdobju in nato povezali vsak datum z dnevom, ki sledi.



Slika 2 : Predstavitev algoritma z diagramom poteka

Za boljšo predstavitev ozadja računalniškega programa in principa delovanja ter branja robnih pogojev smo algoritem programa prikazali z diagramom poteka, ki je prikazan na *sliki 2*.

V prvem koraku program določi datum in uro ter preveri, ali mehanski prezračevalni sistem v tistem trenutku obratuje glede na nastavljene delovne robne pogoje. Če sistem ne obratuje, se proces zaključi. V nasprotnem primeru se nadaljuje v naslednji korak, kjer preveri, ali je temperatura zunanjega zraka nižja od nastavljene temperature vtočnega zraka. Če ta pogoj ni izpolnjen, se proces konča. Če je pogoj izpolnjen, se proces nadaljuje s tremi naslednjimi koraki: izračun temperaturne učinkovitosti regeneratorskega na podlagi spremembe temperatur zunanjega zraka, izračun temperature vtočnega zraka po izkoriščanju zavržene toplote in izračun temperature zavrženega zraka. Nato se preveri nov pogoj: ali je temperatura zraka po izkoriščanju zavržene toplote višja ali enaka nastavljeni temperaturi vtočnega zraka. Če pogoj ni izpolnjen, se izračunata le maksimalna senzibilna toplota in potrebna toplota za dogrevanje zraka brez izkoriščanja zavržene toplote, nato se proces konča. Če je pogoj izpolnjen, se izračunajo potrebna toplota za dogrevanje zraka po izkoriščanju zavržene toplote, maksimalna senzibilna toplota in potrebna toplota za dogrevanje zraka brez izkoriščanja zavržene toplote, nato se proces zaključi.

Koraki pri izdelavi programa:

- Določitev tipa urnika v odvisnosti od dneva v tednu

Pri izdelavi računalniškega programa je bil prvi korak povezovanje dneva v tednu z že določenimi robnimi pogoji glede urnikov. Računalniški program je identificiral tip urnika za vsak dan in izpisal število urnika obratovanja mehanskega prezračevalnega sistema za določeno časovno obdobje.

- Določitev časa delovanja mehanskega prezračevalnega sistema

Računalniški program za mehansko prezračevanje je po določitvi urnika obratovanja sistema dnevno moral prebrati ure obratovanja za vsak mesec. Program upošteva definirane urne robne pogoje za vsak tip urnika, izpisuje, ali je sistem obratoval, ter preneha z računanjem, če sistem ni obratoval, pri čemer je bil rezultat enak nič.

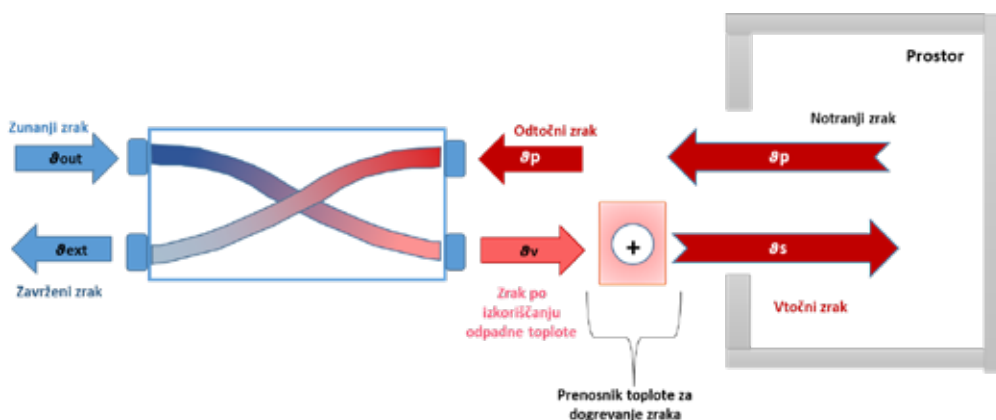
- ▶ Definiranje parametrov

Na *sliki 3* je prikazan mehanski prežračevalni sistem s prenosnikom toplote zrak-zrak za izkoriščanje zavržene toplote ter z vstopnimi in izstopnimi zračnimi tokovi. Prikazane so oznake zračnih tokov na vstopu in izstopu iz prenosnika toplote zrak-

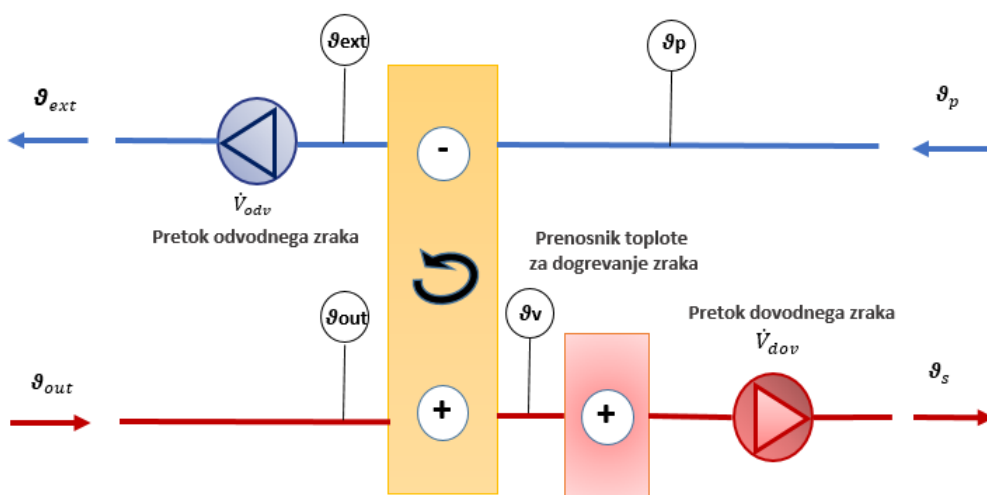
-zrak ter oznaka lamelnega prenosnika toplote, ki dogreva svež zunanji zrak pred vstopom v prostor. Vsi parametri, prikazani na sliki 3, so bili uporabljeni za izračun potrebne toplote za dogrevanje zraka po izkoriščanju zavržene toplote. Definirali smo potek izračuna temperaturne učinkovitosti prenosnika toplote zrak-zrak. Posledično smo definirali tudi postopek izračuna temperature vtočnega zraka in zavrženega zraka.

Na *sliki 4* je prikazan shematski prikaz mehanskega prezračevalnega sistema s prenosnikom toplote za izkoriščanje zavržene toplote. Z rdečo barvo so označene temperatura zunanjega zraka, temperatura zraka po izkoriščanju zavržene toplote in temperatura vtočnega zraka. Z modro barvo sta označeni dve temperaturi, in sicer temperatura notranjega zraka in temperatura zavrženega zraka. Na dovodni in na odvodni strani prezračevalnega sistema je vgrajen ventilator za zagotavljanje potrebnega pretoka zraka. Na dovodni strani prezračevalnega sistema je vgrajen tudi lamelni prenosnik toplote za dogrevanje vtočnega zraka po izkoriščanju zavržene toplote, če je to potrebno.

- Gostota zraka in specifična toplota zraka
Gostota zraka in specifična toplota zraka sta se



Slika 3 : Prikaz mehan-
skega prezračevalnega
sistema s prenosnikom
toplote za izkoriščanje
zavržene toplote



Slika 4 : Shematski prikaz mehanskega pre-zračevalnega sistema z izkoriščanjem zavržene toplote

spreminjali s temperaturo zraka, kar je vplivalo na prenos toplote med zavrženim in svežim zrakom v prezračevalnem sistemu. Te lastnosti smo določili s pomočjo interpolacije na podlagi znanih vrednosti gostote in specifične toplote zraka za različne temperature.

- ▶ Izračun temperaturne učinkovitosti prenosnika toplote zrak-zrak

Temperaturna učinkovitost prenosnika toplote zrak-zrak smo lahko določili na podlagi matematičnega modela. Temperaturna učinkovitost prenosnika toplote se je spreminjal s spreminjanjem temperature zunanjega zraka. Izračun smo ponovili za vsako uro, za katero je bil postavljen robni pogoj, da mehanski prezračevalni sistem obratuje.

- ▶ Izračun maksimalne senzibilne toplote v času obratovanja mehanskega prezračevalnega sistema

Prvi pogoj za izračun maksimalne senzibilne toplote je obratovanje prezračevalnega sistema in temperatura zunanjega zraka, ki morata biti nižja kot nastavljena temperatura vtočnega zraka v prostoru stavbe. Če sta oba pogoja izpolnjena, računalniški program izračuna maksimalno senzibilno toploto v času obratovanja prezračevalnega sistema, v nasprotnem primeru se rezultat ne izpiše.

- ▶ Izračun temperature zavrženega zraka

Pogoj pri računanju temperature zavrženega zraka je bil podani robni pogoj za obratovanje mehanskega prezračevalnega sistema. Če je prezračevalni sistem obratoval in če je bila temperatura zunanjega zraka nižja od načrtovane temperature vtočnega zraka v prostoru, se je proces nadaljeval in sledil je izpis rezultata o izračunani temperaturi zavrženega zraka. V nasprotnem primeru se rezultat temperature zavrženega zraka ni izpisal.

- ▶ Izračun temperature zraka po izkoriščanju zavržene toplote

Prvi pogoj pri izračunu temperature vtočnega zraka po rekuperaciji ali regeneraciji toplote je bil, da prezračevalni sistem obratuje. Nato je sledilo preverjanje temperature zunanjega zraka ob določeni uri, ki je morala biti nižja od načrtovane temperature vtočnega zraka v prostoru stavbe. Če so bili vsi pogoji zagotovljeni, se je proces nadaljeval in sledil je izpis rezultata o izračunani temperaturi vtočnega zraka po izkoriščanju zavržene toplote.

- ▶ Izračun toplote za ogrevanje zunanjega zraka na želeni temperaturi vtočnega zraka v času obratovanja mehanskega prezračevalnega sistema

Če je mehanski prezračevalni sistem obratoval brez rekuperativne ali regenerativne enote, se je lahko izračunala skupna potrebna toplota za ogrevanje zunanjega zraka na želeni temperaturi vtočnega zraka. To pomeni, da smo kot pogoj vzeli obratovanje prezračevalnega sistema in robni pogoj, da je bila temperatura zunanjega zraka nižja od načrtovane tem-

perature vtočnega zraka. V tem primeru se zavržena toplota ne izkorišča, ampak se zunanji zrak dogreva s pomočjo lamelnega prenosnika toplote za dogrevanje zraka. Če sta bila oba pogoja izpolnjena, je računalniški program določil urno vrednost toplote za ogrevanje zunanjega zraka na želeni temperaturi vtočnega zraka v prostoru stavbe.

- ▶ Izračun potrebne toplote za dogrevanje zraka po izkoriščanju zavržene toplote

Pri računanju potrebne toplote za dogrevanje zraka po izkoriščanju zavržene toplote so veljali isti pogoji kot v prejšnjih primerih. Prvi pogoj je bil, da je prezračevalni sistem obratoval, drugi pogoj, da je bila temperatura zunanjega zraka nižja kot načrtovana vtočna temperatura v prostoru stavbe, in tretji pogoj, da je bila temperatura zraka po izkoriščanju zavržene toplote višja od načrtovane temperature vtočnega zraka ali enaka tej temperaturi. Nato smo izračunali potrebno toploto za dogrevanje zraka po izkoriščanju zavržene toplote. Če so bili vsi pogoji izpolnjeni, je računalniški program izračunal toploto za dogrevanje zraka v določenem času obratovanja mehanskega prezračevalnega sistema.

3.4 Validacija računalniškega programa

Izdelani računalniški program za napovedovanje potrebne toplote za dogrevanje zraka v mehanskem prezračevalnem sistemu se uporablja za vse vrste rekuperatorjev in regenerativnih toplote, in sicer neodvisno od tega, kje se nahaja obravnavana stavba. Z upoštevanjem urnega spreminjanja temperature zunanjega zraka in s pravilnim nastavljanjem obratovalnih ur prezračevalnega sistema v odvisnosti od namembnosti prostora se približamo realni rabi energije stavbe. Za kalibracijo računalniškega programa je smiselno narediti več meritev na različnih mehanskih prezračevalnih sistemih z različnimi tipi prenosnikov toplote zrak-zrak. Po opravljenih meritvah bi bilo treba postaviti matematični model aproksimacije meritev za vsak mehanski prezračevalni sistem, ki bo izražen s trendno črto in enačbo. Po postavitvi matematičnega modela aproksimacije meritev za vsak mehanski prezračevalni sistem je ključnega pomena izvedba postopka validacije, ki potrdi skladnost rezultatov programa z dejanskimi meritvami ter zagotavlja njegovo zanesljivost in natančnost pri napovedovanju potrebne toplote za dogrevanje zraka v različnih obratovalnih pogojih. Po uspešni validaciji računalniški program omogoča natančno optimizacijo delovanja prezračevalnega sistema glede na specifične zahteve stavbe, kar prispeva k energetski učinkovitosti in udobju uporabnikov.

3.4.1 Podatki o izbrani stavbi

Najprej smo definirali parametre, povezane z izbrano stavbo, ki se prezračuje z mehanskim prezračevalnim sistemom z vgrajenim prenosnikom toplote zrak-zrak.

Vhodni podatki			
Parameter		Vrednost	Enota
Temperatura notranjega zraka	q_p	21,3	[°C]
Temperatura vtočnega zraka	q_s	19	[°C]

Slika 5 : Vpisani robni pogoji o načrtovani temperaturi notranjega zraka in vpihanega zraka

Podatki o prostoru								
Parameter	Vrednost	Enota	Parameter	Vrednost	Enota	Parameter	Vrednost	Enota
Namen prostora	Telovadnice		Namen prostora			Namen prostora		
Število oseb	357,15	[/]	Površina prostora		[m²]	Število prostorov		[/]
Potreben pretok za prezračevanje	12500	[m³/h]		0	[m³/h]		0	[m³/h]

Slika 6 : Vpisani robni pogoji o izbranem prostoru in izračunan pretok zraka, potreben za prezračevanje športne dvorane

► Vhodni podatki o izbrani stavbi

V računalniškem programu smo določili vhodne podatke glede na izbrani mehanski prezračevalni sistem ter upoštevali predpisane standarde o notranjem okolju.

Glede na to, da je obravnavani objekt športna dvorana, smo upoštevali drugo kategorijo prostora in minimalno dovoljeno temperaturo notranjega zraka 16 °C ter maksimalno temperaturo zraka 25 °C. Upoštevali smo, da se v prostor vpihuje zrak s temperaturo 19 °C. Ko je bila temperatura zunanjega zraka enaka kot nastavljena temperatura vtočnega zraka, je potekala le zamenjava zraka. Za določitev priporočene temperature notranjega zraka smo na podlagi zunanje temperature zraka odčitali priporočeno temperaturo notranjega zraka, ki je znašala 21,3 °C.

Na *sliki 5* so prikazani vpisani robni pogoji o načrtovani temperaturi notranjega zraka in načrtovani temperaturi vtočnega zraka v prostor.

► Podatki o izbranem prostoru, potrebnem pretoku zraka in urniku obratovanja mehanskega prezračevalnega sistema

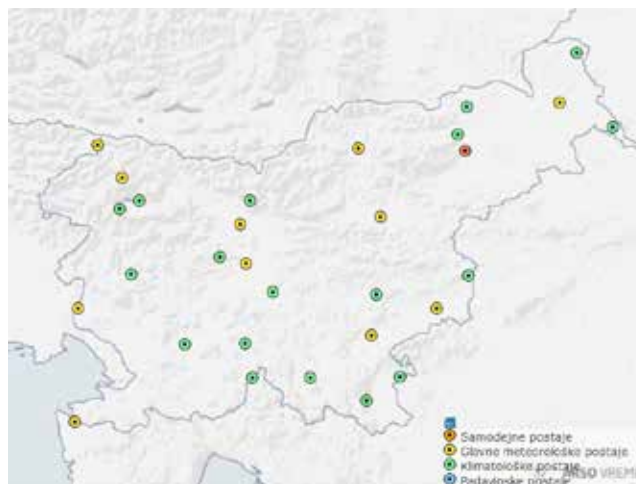
Za primer smo vzeli mehanski prezračevalni sistem, ki že obratuje in se nadzoruje ter uporablja za prezračevanje športne dvorane v Osnovni šoli Majšperk. Pretok zraka na dovodni in odvodni strani je 12.500 m³/h, kar zadostuje potrebam po kakovosti zraka, če je v prostoru maksimalno 357 uporabnikov in če ne upoštevamo drugih onesnaževal, kot je predpisano v pravilniku za prezračevanje in klimatizacijo stavb. Urnik prezračevalne naprave je nastavljen tako, da prezračevalna naprava obratuje med tednom, in sicer od 5. ure do 20. ure. Med vikendom, ob praznikih in počitnicah prezračevalna naprava ne obratuje. Glede na to, da hočemo pri-

merjati izračunano načrtovano potrebno toploto za dogrevanje zraka s pomočjo računalniškega programa in dejansko potrebno toploto za dogrevanje zraka v realnem okolju, smo upoštevali vse praznike in počitnice v tem času. S tipom urnika ena smo definirali, da prezračevalni sistem obratuje od 5. ure do 20. ure, s tipom urnika dva smo definirali, da prezračevalni sistem ne obratuje. Tip urnika ena smo nastavili za pet dni v tednu, in sicer od ponedeljka do petka, tip urnika dva pa za vse sobote in nedelje, praznike in počitnice.

Na *sliki 6* so prikazani vpisani robni pogoji o izbranem prostoru in izračunan pretok zraka, potreben za prezračevanje športne dvorane.

► Temperatura zunanjega zraka na območju obravnavane stavbe

Temperatura zunanjega zraka se urno spreminja,



Slika 7 : Izbrana meteorološka postaja, označena z rdečo piko [4]

zato je bilo pri načrtovanju mehanskega prezračevanja stavbe primerno uporabiti urno metodo računanja, kajti tako smo dobili bolj natančne rezultate za vsako uro v letu v odvisnosti od variacije temperature zunanjega zraka. Urne podatke o temperaturi zunanjega zraka smo odčitali na spletni strani Agencije Republike Slovenije za okolje (ARSO), in sicer za najbližjo izbrano meteorološko postajo Edvarda Rusjana Maribor na nadmorski višini 264 m.

Na *sliki 7* je z rdečo piko označena izbrana meteorološka postaja, iz katere smo pridobili urne mesečne podatke o temperaturi zunanjega zraka za leto 2023.

Po nastavljanju vseh robnih pogojev računalniški program naredi napoved potrebne toplote za dogrevanje zraka za obravnavani mehanski prezračevalni sistem.

4 Rezultati

Prikazali smo postopek izdelave računalniškega programa za napoved toplote za dogrevanje zraka v mehanskem prezračevalnem sistemu. Obravnavali smo sistem prezračevanja z vgrajenim regeneratorm, ki se uporablja za izkoriščanje zavržene toplote. Napovedovanje potrebne toplote za dogrevanje vtočnega zraka smo izvedli za obdobje enega leta, za katero so bili zajeti podatki meritev v realnem okolju.

Izdelani računalniški program smo testirali tako, da smo naredili primerjavo med rezultati, pridobljenimi s pomočjo računalniškega programa, in dejanskimi vrednostmi v realnem okolju. Zaradi

morebitnih odstopanj med napovedano potrebno toploto za dogrevanje zraka s pomočjo prototipa računalniškega programa in dejansko potrebno toploto za dogrevanje vtočnega zraka v realnem okolju smo primerjali več parametrov, ki so direktno vplivali na končni rezultat in razliko v toploti. Pri napovedi potrebne toplote za dogrevanje zraka v mehanskem prezračevalnem sistemu in v realnem okolju smo uporabili urno metodo računanja. V tem poglavju bomo prikazali rezultate pri uporabi računalniškega programa za prvi delovni dan v letu 2023.

4.1 Rezultati izračunane temperaturne učinkovitosti regeneratorja

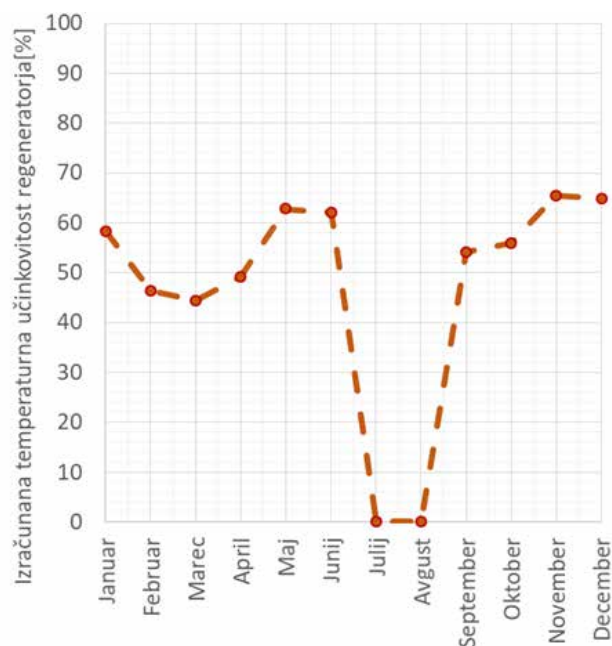
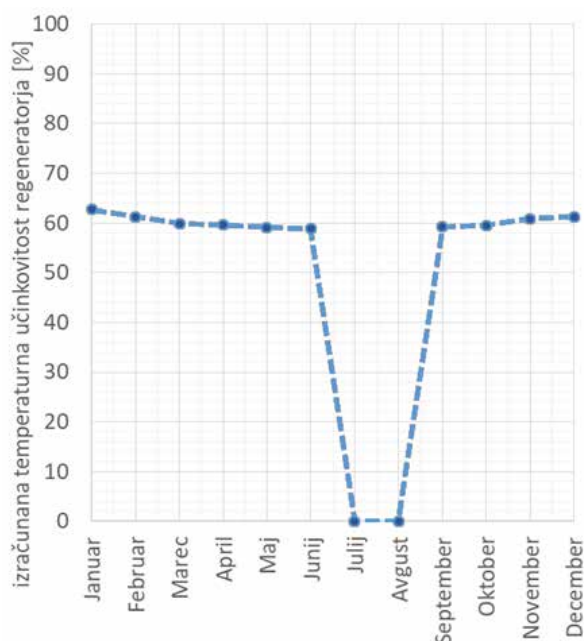
V računalniškem programu smo temperaturo zraka po izkoriščanju zavržene toplote računali na podlagi temperaturne učinkovitosti regeneratorja, temperature zunanjega zraka in temperature notranjega zraka. V realnem okolju nismo imeli podatkov o temperaturni učinkovitosti regeneratorja, zato smo to temperaturo računali na podlagi prenesene toplote z lamelnega prenosnika toplote.

Podatki izračuna povprečnih mesečnih temperaturnih učinkovitosti regeneratorja v računalniškem programu in v realnem okolju so prikazani v *preglednici 1*.

Za boljšo analizo in razumevanje spreminjanja izračunane temperaturne učinkovitosti regeneratorja v obravnavanem letu 2023 smo izračunali povprečne mesečne temperaturne učinkovitosti regeneratorja s pomočjo računalniškega programa in v realnem okolju ter jih prikazali v dveh diagramih, ki sestavljata *sliko 8*.

Preglednica 1 : Izračunane povprečne mesečne temperaturne učinkovitosti regeneratorja v letu 2023

Mesec	Temperaturna učinkovitost regeneratorja (Računalniški program) $\eta_r (g_{out})$ [%]	Temperaturna učinkovitost regeneratorja (Realno okolje) η_r [%]
Januar	61	58
Februar	62	46
Marec	58	44
April	57	49
Maj	55	63
Junij	54	63
Julij	0	0
Avgust	0	0
September	56	54
Oktober	57	56
November	62	65
December	62	65



Slika 8 : (a) Izračunani mesečni povprečni temperaturni učinkovitosti regeneratorja s pomočjo računalniškega programa. (b) Izračunani mesečni povprečni temperaturni učinkovitosti regeneratorja v realnem okolju.

S slike 8 razberemo, da potek povprečne mesečne temperaturne učinkovitosti regeneratorja skozi leto ni enaka v primeru računanja s pomočjo računalniškega programa in v realnem okolju. Do odstopanja pride, ker se je v realnem okolju temperatura zunanjega zraka spreminjala, hkrati pa se je spreminjala tudi temperatura notranjega zraka. Obe temperaturi sta močno vplivali na temperaturno učinkovitost regeneratorja. V primeru računanja z računalniškim programom se spreminja le temperatura zunanjega zraka, saj smo predpostavili, da se temperatura notranjega zraka vzdržuje konstantno na enaki načrtovani temperaturi.

S povišanjem temperature notranjega zraka pri isti zunanji temperaturi zraka se temperaturno učinkovitost regeneratorja zmanjša; če se temperatura notranjega zraka zniža, se učinkovitost regeneratorja poveča. Največje odstopanje med rezultati je februarja, marca in aprila, saj je bila v tem obdobju v realnem okolju povprečna razlika v temperaturi notranjega in zunanjega zraka višja kot v primeru računanja z računalniškim programom. V obeh diagramih v juliju in avgustu je temperaturna učinkovitost regeneratorja enak nič, ker v tem obdobju ni bilo potrebe po izkoriščanju zavržene toplote oziroma mehanski prezračevalni sistem ni obratoval.

Povprečna letna temperaturna učinkovitost regeneratorja, izračunana s pomočjo računalniškega programa, je 60 [%], v realnem okolju je pa ta temperaturna učinkovitost 56 [%].

4.2 Rezultati izračunanih temperatur zraka po izkoriščanju zavržene toplote

V računalniškem programu smo uporabili temperaturno učinkovitost regeneratorja, temperaturo zunanjega in notranjega zraka za izračun temperature zraka po izkoriščanju zavržene toplote.

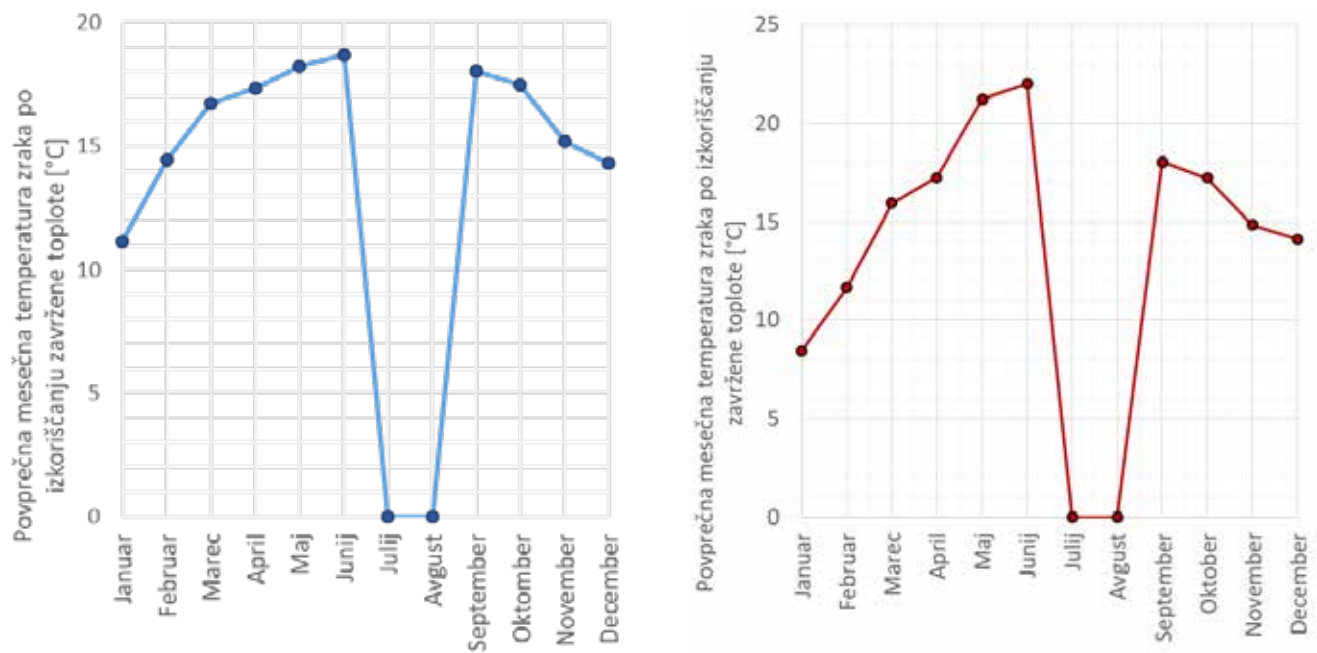
Podatki izračunanih povprečnih mesečnih temperatur zraka po izkoriščanju zavržene toplote v računalniškem programu in v realnem okolju so prikazani v preglednici 2.

Za boljšo analizo in razumevanje spreminjanja izračunanih temperatur zraka po izkoriščanju zavržene toplote v obravnavanem letu 2023 smo izračunali povprečne mesečne temperature zraka po izkoriščanju zavržene toplote z računalniškim programom in v realnem okolju ter jih prikazali v dveh diagramih, ki sestavljata sliko 9.

S slike 9 razberemo, da je največje odstopanje med povprečnimi mesečnimi temperaturami zraka v zimskem času, in sicer v januarju in februarju, ter v poletnem času v maju in juniju. Odstopanj izračunanih temperatur zraka ne pripisujemo le konstantni temperaturi notranjega zraka, temveč tudi temperaturne učinkovitosti regeneratorja. V zimskem času pride do odstopanja med izračunanimi temperaturami zraka, ker je pri računanju z računalniškim programom upoštevana konstantna temperatura notranjega zraka, ki je bila 21,3 °C, v realnem okolju pa je bila temperatura notranjega zraka dokaj nizka, in sicer približno 18 °C. Glede na to, da je bila povpreč-

Preglednica 2 : Izračunane povprečne mesečne temperature zraka po izkoriščanju zavržene toplote

Datum in čas	Temperatura zraka po izkoriščanju zavržene toplote (Računalniški program) $\vartheta_{v,rp}$ [°C]	Temperatura zraka po izkoriščanju zavržene toplote (Realno okolje) $\vartheta_{v,ro}$ [°C]
Januar	11,1	8,0
Februar	14,4	12,0
Marec	16,7	16,0
April	17,3	17,0
Maj	18,2	21,0
Junij	18,7	22,0
Julij	0	0
Avgust	0	0
September	18,0	18,0
Oktober	17,4	17,0
November	15,0	15,0
December	14,0	14,0



Slika 9 : (a) Izračunane mesečne povprečne temperature zraka po izkoriščanju zavržene toplote z računalniškim programom (b) Izračunane mesečne povprečne temperature zraka po izkoriščanju zavržene toplote v realnem okolju.

na mesečna temperaturna učinkovitost regeneratorsa višja v primeru računanja s pomočjo programa, je bila tudi temperatura zraka po izkoriščanju zavržene toplote višja. Pri računanju v realnem primeru je bila povprečna mesečna temperaturna učinkovitost nižja; posledično je bila nižja tudi temperatura zraka po izkoriščanju zavržene toplote.

V poletnem času pride do odstopanja med izračunanimi temperaturami zraka, ker je v računalniškem programu definirana maksimalna temperatura vtočnega zraka v prostoru, ki ima vrednost

19 °C. To pomeni, da mehanski prezračevalni sistem ni obratoval, če je bila temperatura zunanjega zraka višja od načrtovane temperature vtočnega zraka. V realnem okolju temperatura vtočnega zraka ni bila definirana, zato je mehanski prezračevalni sistem obratoval tudi pri višjih zunanjih temperaturah zraka.

Na obeh diagramih na *sliki 9* v juliju in avgustu je temperatura zraka po izkoriščanju zavržene toplote enaka nič, ker v tem obdobju mehanski prezračevalni sistem ni obratoval.

4.3 Rezultati izračunanih temperatur zavrženega zraka

V računalniškem programu smo temperaturo zavrženega zraka računali na podlagi temperaturne učinkovitosti regenerotorja, temperature zunanje zraka in temperature notranjega zraka.

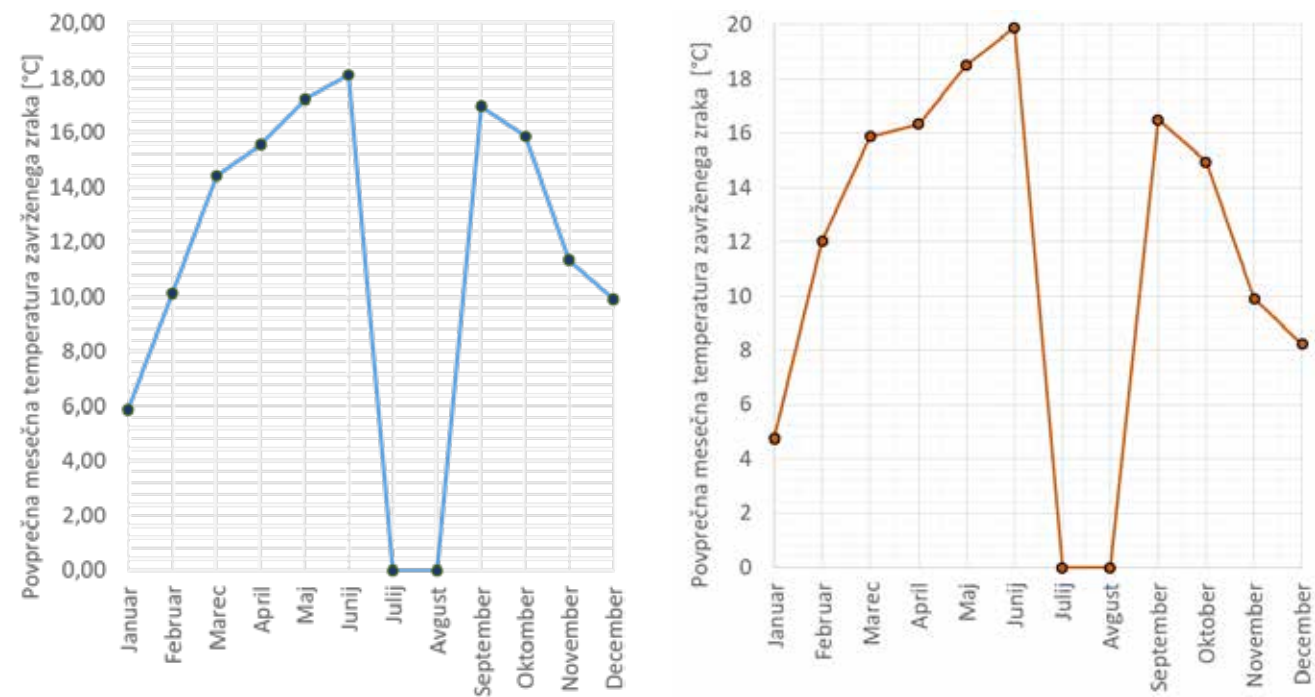
Podatki o izračunanih povprečnih mesečnih temperaturah zavrženega zraka v računalniškem programu in v realnem okolju so prikazani v preglednici 3.

Za boljšo analizo in razumevanje spreminjanja izračunanih temperatur zavrženega zraka za obravnavano leto 2023 smo izračunali povprečne mesečne temperature zavrženega zraka z računalniškim programom in v realnem okolju ter jih prikazali v dveh diagramih, ki sestavljata sliko 10.

S slike 10 razberemo, da je največje odstopanje med povprečnimi mesečnimi temperaturami zavrženega zraka v zimskem času, in sicer februarja, ter v poletnem času v juniju. Odstopanja izračunanih tem-

Preglednica 3 : Izračunane povprečne mesečne temperature zavrženega zraka v letu 2023

Datum in čas	Temperatura zavrženega zraka (Računalniški program) $\vartheta_{ext,rp}$ [°C]	Temperatura zavrženega zraka (Realno okolje) $\vartheta_{ext,ro}$ [°C]
Januar	5,9	5,7
Februar	10,1	12,0
Marec	14,4	15,9
April	15,5	16,3
Maj	17,2	18,5
Junij	18,1	19,9
Julij	0	0
Avgust	0	0
September	17	17,0
Oktober	15,9	15,0
November	11,3	10
December	9,1	8,2



Slika 10 : (a) Izračunane mesečne povprečne temperature zavrženega zraka z računalniškim programom (b) Izračunane mesečne povprečne temperature zavrženega zraka v realnem okolju.

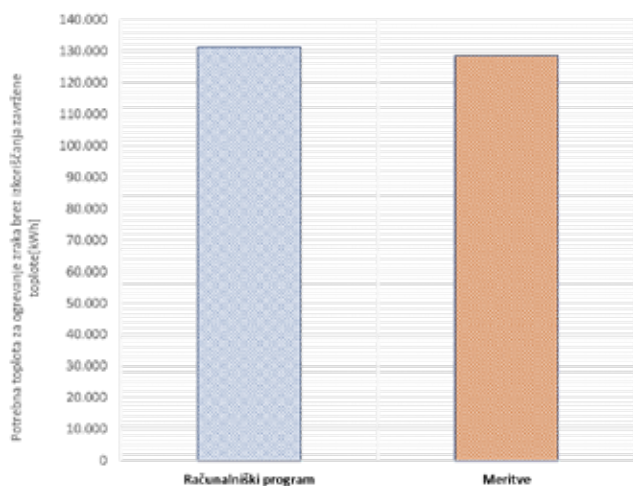
peratur zraka ne pripisujemo le konstantni temperaturi notranjega zraka, temveč tudi temperaturni učinkovitosti regeneratorja. Pri manjši temperaturni razliki med temperaturo notranjega zraka in zunanega zraka je temperatura zavrženega zraka višja.

V zimskem času je prišlo do odstopanja med temperaturami zavrženega zraka, ker je bila v realnem okolju temperaturna učinkovitost regeneratorja nižja od temperaturne učinkovitosti regeneratorja, izračunanega s pomočjo računalniškega programa. V poletnem času je prišlo do odstopanja med temperaturami zavrženega zraka, ker je v računalniškem programu definirana maksimalna temperatura vtočnega zraka. Posledično se je temperaturna učinkovitost regeneratorja znižala. V realnem okolju temperatura vtočnega zraka ni bila definirana in je mehanski prezračevalni sistem obratoval tudi pri višjih zunanjih temperaturah zraka. Posledično se je povečala tudi temperaturna učinkovitost regeneratorja.

4.4 Rezultati izračunane potrebne toplote za dogrevanje zraka brez izkoriščanja zavržene toplote

Pri obravnavanju mehanskega prezračevalnega sistema je smiselno določiti, kakšna je potrebna toplota za ogrevanje zraka, če bi mehanski prezračevalni sistem obratoval brez izkoriščanja zavržene toplote. Ta toplota je odvisna od fizikalnih lastnosti zraka in pretoka zraka v določenem času. Prav tako nanjo vpliva tudi razlika med temperaturo vročega in zunanjega zraka.

Skupni izračunani potrebni toploti za ogrevanje zraka brez izkoriščanja zavržene toplote v primeru uporabe računalniškega programa in v realnem okolju sta prikazani v diagramu na *sliki 11*. Iz diagrama je razvidno, da je potrebna toplota za ogrevanje zraka, izračunana s pomočjo računalniškega programa, višja od izračunane toplote v realnem



Slika 11 : Izračunani potrebni letni toploti za ogrevanje zraka brez izkoriščanja zavržene toplote.

okolju. To razliko pripisujemo definirani konstantni temperaturi vtočnega zraka v računalniškem programu. V realnem okolju je temperatura vtočnega zraka nihala in bila nižja od načrtovane temperature vtočnega zraka v računalniškem programu.

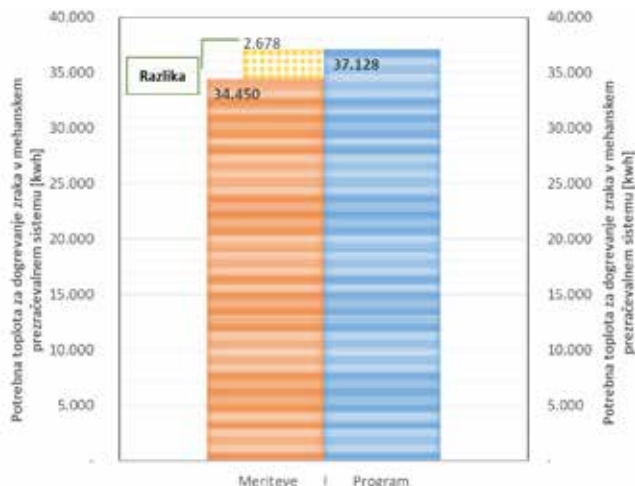
4.5 Rezultati napovedane in izračunane potrebne toplote za dogrevanje zraka v mehanskem prezračevalnem sistemu

S pomočjo računalniškega programa smo naredili napoved potrebne toplote za dogrevanje zraka v mehanskem prezračevalnem sistemu, v realnem okolju pa smo to toploto izračunali na podlagi znane karakteristike lamelnega prenosnika toplote.

Skupni izračunani potrebni toploti za dogrevanje zraka v mehanskem prezračevalnem sistemu v primeru uporabe računalniškega programa in v realnem okolju sta prikazani v diagramu na *sliki 12*.

Iz diagrama na *sliki 12* je razvidno, da je potrebna toplota za ogrevanje zraka, izračunana s pomočjo računalniškega programa, višja od izračunane toplote v realnem okolju. To razliko pripisujemo definirani konstantni temperaturi vtočnega in notranjega zraka v računalniškem programu. S pomočjo definirane temperature vtočnega in notranjega zraka ter vzdrževanja teh temperatur zagotavljamo boljše toplotno ugodje in manjšo število nezadovoljnih v prostoru. V realnem okolju sta temperaturi vtočnega in notranjega zraka nihali. Posledično v določenem obdobju ni bilo zagotovljeno toplotno ugodje v prostoru, kar je vodilo do večjega števila nezadovoljnih v prostoru.

V *preglednici 4* sta prikazani napovedana in izračunana potrebna toplota za dogrevanje zraka v mehanskem prezračevalnem sistemu ter odstotek odstopanja med meritvami in prototipom računalniškega programa.



Slika 12 : Izračunana in napovedana letna potrebna toplota za dogrevanje zraka v mehanskem prezračevalnem sistemu

Preglednica 4 : Odstopanje med meritvami in računalniškim programom

	Vrednost	Enota
Načrtovana potrebna toplota za dogrevanje zraka v mehanskem prezračevalnem sistemu-program	36.235	[kWh]
Izračunana potrebna toplota za dogrevanje zraka v mehanskem prezračevalnem sistemu-meritve	33.053	[kWh]
Odstopanje med računalniškim programom in meritvami	9	[%]

5 Zaključek

- Po že opravljenih meritvah smo naredili validacijo prototipa računalniškega programa in določili odstotek odstopanja med potrebno toploto za dogrevanje vtočnega zraka v realnem okolju in napovedano potrebno toploto za dogrevanje vtočnega zraka s pomočjo prototipa računalniškega programa. Dobili smo rezultat, da je odstotek odstopanja med rezultatom, pridobljenim z računalniškim programom, in rezultatom v realnem okolju enak 9 %, kar pomeni, da je bila z računalniškim programom izračunana potrebna toplota za dogrevanje vtočnega zraka višja kot izračunana potrebna toplota v realnem okolju.
- Pokazali smo, kako temperature zunanjega in notranjega zraka ter temperatura zraka po izkoriščanju zavržene toplote vplivajo na izračun potrebne toplote za dogrevanje vtočnega zraka, in opisali njihovo pomembnost pri dimenzioniranju mehanskega prezračevalnega sistema.
- Dobljeni rezultati pomenijo, da bi lahko na podlagi že znane lokacije stavbe in temperature zunanjega zraka, želenih parametrov notranjega okolja ter načrtovane ure obratovanja mehanskega prezračevalnega sistema napovedali, kakšna bo njegova raba energije v realnem okolju. Odstopanje med izračunano letno toploto za dogrevanje vtočnega zraka z računalniškim programom in izračunano letno potrebno toploto za dogrevanje vtočnega zraka v realnem okolju se pojavi zaradi načrtovane konstantne

temperature vtočnega in notranjega zraka pri računanju z računalniškim programom.

- Ugotovili smo, da s pravilnim krmiljenjem mehanskega prezračevalnega sistema ter vzdrževanjem konstantne načrtovane temperature notranjega in vtočnega zraka lahko zagotovimo toplotno ugodje v prostoru. Hkrati je potrebna toplota za dogrevanje vtočnega zraka enaka, kot če ti temperaturi nihata, in v določenih obdobjih se toplotno ugodje ne zagotovi.

Viri

- [1] M. Prek: Kakovost zraka: Predloga za laboratorijsko vajo. Fakulteta za strojništvo, Univerza v Ljubljani, Ljubljana, 2013.
- [2] S. Tefelmeier, G. Pernigotto, A. Gasparella: Annual performance of sensible and total heat recovery in ventilation systems: Humidity control constraints for European climates. Faculty of Science and Technology, Free University of Bozen-Bolzano, Bolzano, 2017.
- [3] J. F. Krielder, Ph. D., P. E.: Handbook of heating, ventilation and air conditioning, New York, 2001.
- [4] Agencija Republike Slovenije za okolje, Klimatski podatki. Dostopno na: <http://meteo.arso.gov.si/met/sl/app/webmet/>, ogled: 15. 12. 2023.
- [5] Uradni list RS: Pravilnik o prezračevanju in klimatizaciji stavb, Ljubljana, 2002.

Prediction of the use of heat energy required for reheating the air in the mechanical ventilation system

Abstract:

In this article, we present the creation of a computer program for predicting the required heat for air reheating in a mechanical ventilation system. The process of creating a computer program is shown, which is based on the hourly change of the outside air temperature and the operating schedule of the ventilation device. When developing the program, we took into account the requirements of relative technical regulations and standards of the internal environment. We performed measurements on the selected mechanical ventilation system and measured the parameters that affect the heat required to reheat the incoming air. Based on the measurements and calculated results of the necessary additional heat, we validated the prototype of the computer program and numerically and graphically showed the reasons for any deviations. We found out which parameters affect the heat required to reheat the air in the mechanical ventilation system and how to ensure thermal comfort in the room with as little energy consumption as possible.

Keywords:

mechanical ventilation, measurements in real environment, preheating of supply air, computer program, validation of computer program, prediction of additional required heat

IZRAVNAVALNE NOGE, OPTIMIZIRANE ZA ČIŠČENJE

Tam, kjer veljajo strogi higienski standardi, so ustrezno optimizirane komponente pogoj. Njihova uporaba pa je smiselna tudi na manj občutljivih območjih. Začne se že z izravnalnimi nogami.



Izravnalne noge

Podjetje Elesa+Ganter je s svojimi standardnimi elementi iz serije Hygienic Design postavilo standarde – in to ne le za higiensko optimizirano načrtovanje proizvodnih sistemov v živilskem sektorju. Uporaba takšnih sestavnih delov je smiselna in ekonomična tudi na drugih področjih. Kakovost površine elementov iz nerjavnega jekla, njihova posebna zasnova s poševnimi odtoki in tesnili ter odsotnost mrtvega prostora na splošno olajšajo čiščenje. S tem se zmanjša uporaba agresivnih čistilnih sredstev, porabljen dragocen čas in energija.

Vse se je začelo z izravnalnimi nogami iz nerjavnega jekla GN 20 s struženim nožnim krožnikom, vulkaniziranim podstavkom in tesnili vretena. Izravnalne noge so opremljene s pritrdilnimi luknjami in izpolnjujejo smernice EHEDG, sanitarni standard 3-A in preskusna načela DGUV.

Sorodni model GN 19 je zasnovan za manjše obremenitve, ima enak spekter uporabnosti, razen talne montaže, in ustreza sanitarnemu standardu 3-A ter preskusnim načelom DGUV. Nožni krožnik ni strojno obdelan, temveč globoko vlečen iz pločevine iz nerjavnega jekla A4 in od spodaj obložen z modrim silikonskim elastomerom. S tem je zagotovljena tudi zanesljiva zatesnitev na tleh. Globoko vlečena pločevinasta plošča je cenovno ugodnejša od izravnalne noge GN 20.

Izravnalni nogi GN 17 in GN 18 sta novost – nista pa v skladu z zahtevami Elesa+Ganter za Hygienic Design, vendar sta izdelani iz materialov, ki so skladni s FDA, in izpolnjujeta zahteve EU 1935-2004.

Oba izravnalni nogi se uporabljata tam, kjer mokro čiščenje ni potrebno, na primer pri pakiranju suhega blaga. Uporabljeni materiali so ustrezno prilagojeni: GN 17 uporablja nerjavno jeklo A2 za nožni krožnik, vreteno za nastavitev nagiba za šest stopinj in vijak s šestrobno glavo za nastavitev višine. Namesto modrega enobarvnega silikonskega elastomera je tesnilo pri dnu izdelano iz črnega vulkaniziranega gumijastega materiala NBR, ki ne vsebuje mehčalcev. Za GN 18 je značilno nerjavno jeklo kakovosti A4. Obe izravnalni nogi pa imata optimizirane poševne odtoke in površino, ki jo je enostavno očistiti. Podjetje Elesa+Ganter s tema dvema izravnalnima nogama širi svoj portfelj standardnih elementov za uporabo na proizvodnih področjih živilske in farmacevtske industrije.

Več informacij je na voljo na naslovu: elesa-ganter.si.

Vir:

ELESA+GANTER Austria GmbH, Franz Schubert-Straße 7, AT-2345 Brunn am Gebirge, Tel.: +43 2236 379 900 23, Fax: +43 2236 379 900 20, e-mail: j.plesnik@elesa-ganter.at, GSM: 386 41 362 859, internet: www.elesa-ganter.at



NOVA VAKUUMSKA PRIJEMALA ZA AVTOMATIZACIJO

Vakuumske komponente za prijemanje (vakuumski priseski, držala za vakuumske priseske in ustrezni dodatki) podjetja ELESAGANTER so idealna rešitev za avtomatizirano in varno prijemanje in prenašanje izdelkov različnih oblik, velikosti in površin (npr.: kovina, steklo, plastika, keramika).



Družina vakuumskih prijemalnih komponent in elementov

Vakuum v vakuumskem sesalnem prijemalu ustvari generator vakuuma, ki ga mora zagotavljati med prijemanjem in premikanjem izdelkov. Za prijemanje izdelkov, ki jih je treba prenašati, so prisesni deli različnih oblik in iz različnih materialov. Zagotoviti morajo dober stik s prijemanci, ne glede na stanje prijemne površine, in dovolj veliko prijemno silo med premikanjem.

Vakuumski priseski ELESAGANTER so na voljo v različnih velikostih (od 4 do 125 mm) in oblikah (klasični vakuumski priseski, ravni, eliptični, z mehkom itd.). Primerni so za uporabo v različnih industrijskih panogah, kot so živilska industrija (zlasti za pakiranje v embalaži Flowpack s folijo), elektronska industrija, industrija predelave papirja in kartona (premikanje posameznih listov itd.), pa tudi avtomobilska industrija, na primer za ravnanje s kovinskimi deli in vetrobranskimi stekli, in farmacevtska industrija. Poleg tega se uporabljajo pri premikanju keramičnih in glinenih ploščic, marmornih in steklenih plošč ter delov iz betona, lesa in plastike.

Vakuumski priseski so izdelani iz različnih materialov (proti olju odporna guma, silikon, naravna guma ali rumena naravna guma) in so zato primerni za prijemanje vseh izdelkov, tudi tistih z zelo hrapavimi in neenakomernimi površinami. Tudi prisotnost olja in drugih tekočin ni težava.



Držalo za vakuumske priseske

Utori in struktura na prijemalni površini vakuumskega priseska močno izboljšajo dvžno silo in zagotavljajo trden oprijem, zlasti na mastnih površinah, steklu ali marmorju, ter olajšajo odtekanje tekočin.

Držala za vakuumske priseske omogočajo pritrditev vakuumskih priseskov na prijemalo avtomatiziranega sistema in so sestavljena iz:

- ▶ gredi iz medenine ali plemenitega jekla,
- ▶ vzmeti (zunanja in vgrajena), ki blaži udarce vakuumskega priseska in hkrati vzdržuje konstanten tlak na bremenu, ki ga je treba dvigniti,
- ▶ hitre spojke za priključitev na sesalno cev.

Na voljo so v različnih konfiguracijah, velikostih (vključno mini in mikro) in materialih, ki ustrezajo vsem panogam.

Obiščite spletno trgovino na: elesa-ganter.si.

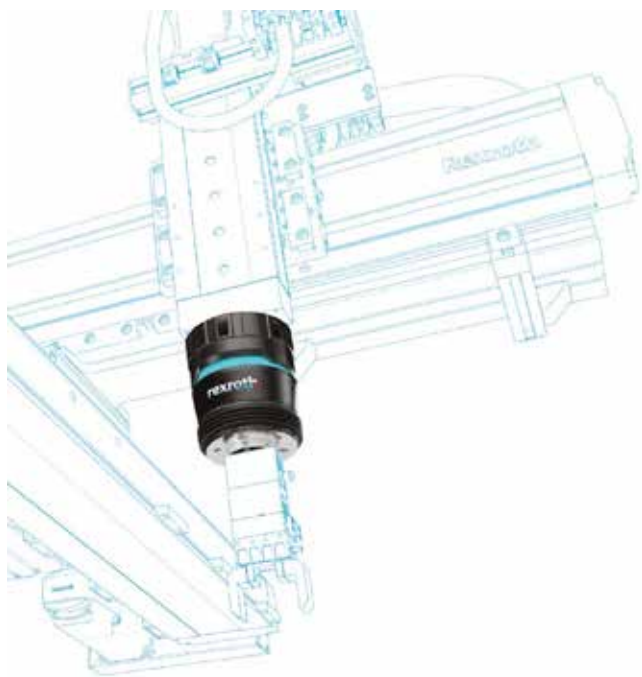
Vir:

ELESAGANTER Austria GmbH, Franz Schubert-Straße 7, AT-2345 Brunn am Gebirge, Tel.: +43 2236 379 900 23, Fax: +43 2236 379 900 20, e-mail: j.plesnik@elesa-ganter.at, GSM: 386 41 362 859, internet: www.elesa-ganter.at

elesa+Ganter 

SMART FLEX EFFECTOR – INTELIGENTEN KOMPENZACIJSKI MODUL ZA ROBOTE

Kompleksne procese bo mogoče enostavno avtomatizirati in nove aplikacije realizirati z novim inteligentnim kompenzacijskim modulom za robote – s Smart Flex Effectorjem z vgrajenimi senzorji, ki ga je mogoče dodatno vgraditi.



Z aktivnim merjenjem podatkov o položaju v šestih prostostnih stopnjah Smart Flex Effector omogoča industrijskim robotom natančnost in občutljivost človeške roke ter odpira povsem nove možnosti v tovarniški avtomatizaciji.

Smart Flex Effector je mogoče pritrditi na vse običajne vrste robotov in je združljiv z najrazličnejšimi prijemali. Uporablja se lahko skoraj povsod: v elektronski, avtomobilski ali embalažni industriji, pa tudi v proizvodnji baterij, strojništvu ali kovinski gradnji.

Smart Flex Effector prepriča v vseh aplikacijah, ki zahtevajo občutljiv in individualen dotik. Tako omogoča procesno zanesljivo in natančno montažo tudi pri najmanjših tolerancah.

Z uporabo Smart Flex Effectorja je omogočena robotika z občutljivim občutkom za dotik, zagotovljeni so kompleksno prijemanje in montaža, neprekinjeno popravljanje položaja in spremljanje procesov ter maksimalna preglednost procesov.

Uporabniki so povabljeni v svet naslednjega nivoja robotske preciznosti.

Izvedite več o Smart Flex Effectorju na: <https://www.boschrexroth.com/de/de/smart-mechatronix/smart-flex-effector/>.

Vir:

La & Co. inženiring, proizvodnja, trgovina, d. o. o., Limbuška cesta 2, 2341 Limbuš, tel.: (02) 429 26 60, e-mail info@la-co.si, www.la-co.si, g. Kristijan Pipan

OGLAŠEVALCI

- | | |
|--|--|
| ▶ CELJSKI SEJEM, d. d., Celje 51 | ▶ OPL AVTOMATIZACIJA, d. o. o, Trzin125, 143 |
| ▶ FESTO, d. o. o., Trzin125, 192 | ▶ PODKRIŽNIK, d. o. o., Nazarje125 |
| ▶ HENNLICH, d. o. o., Kranj186 | ▶ PARKER HANNIFIN (podružnica v N. M.),
Novo mesto125 |
| ▶ HPE, d. o. o., Ljubljana125 | ▶ POCLAIN HYDRAULICS, d. o. o, Žiri125, 126 |
| ▶ ICM, d. o. o., Vojnik138, 191 | ▶ PPT COMMERCE, d. o. o., Ljubljana125, 128 |
| ▶ INOTEH, d. o. o., Bistrica ob Dravi183 | ▶ PROFIDTP, d. o. o., Škofljica187 |
| ▶ JAKŠA, d. o. o., Ljubljana131 | ▶ SEAL & TRADE, d. o. o., Maribor125 |
| ▶ La & Co., d. o. o., Limbuš125 | ▶ STROJNISTVO.COM, Ljubljana141 |
| ▶ OLMA, d. o. o., Ljubljana133 | ▶ UL, Fakulteta za strojništvo131, 161 |
| ▶ OMEGA AIR, d. o. o., Ljubljana125, 189 | ▶ YASKAWA, d. o. o., Ribnica184 |

MINI PLINSKE VZMETI BANSBACH

Podjetje INOTEH dopolnjuje svoj prodajni program z MINI plinskimi vzmetmi proizvajalca BANSBACH, ki ustrezajo skoraj vsem aplikacijam.



MINI plinske vzmeti

Serije 3/8 mm, 3/10 mm in 4/12 mm so zaradi svoje kompaktne velikosti še posebej primerne za

uporabo tam, kjer je prostor za vgradnjo omejen. Potreben je samo prostor 3 oz. 4 mm za ba-

tnico. Tudi premeri cilindra 8 mm, 10 mm in 12 mm omogočajo uporabo v najmanjšem prostoru.

Značilnosti:

- ▶ hod 10–150 mm,
- ▶ sila 7–200 N,
- ▶ velika odpornost proti koroziji,
- ▶ minimalna vrednost trenja,
- ▶ optimalno mirno delovanje.

Več informacij o MINI plinskih vzmeteh in drugih proizvodih BANSBACH dobite pri podjetju INOTEH.

Vir:

INOTEH, d. o. o., K železnici 7, 2345 Bistrica ob Dravi, tel.: +386(0)2 673 01 34, faks: +386(0)2 665 20 81, e-mail: gp@inoteh.si, internet: www.inoteh.si



Vitka proizvodnja.

item. Your ideas are worth it.®

Sistem item Lean Production združuje preprosto rokovanje in visoko stabilnost konstrukcije. S profilnim sistemom D30 nastajajo rešitve, ki jih lahko preprosto prilagajamo na licu mesta.

INOTEH
www.inoteh.si **A BIBUS GROUP COMPANY**
Inoteh d.o.o. K železnici 7 2345 Bistrica ob Dravi

AKTUATORJI SERIJE UW100 ZA UPORABO POD VODO

Podjetje INOTEH dopolnjuje svoj prodajni program z aktuatorji UW100 proizvajalca BANSBACH, ki so primerni za uporabo pod vodo.



Serijska easyE-50

Aktuatorji serije easyE-35, easyE-35i, easyE-50 in easyE-50i se lahko sedaj uporabljajo tudi pod vodo. Razviti in testirani so za aplikacije, ki so tudi do 100 m pod vodo. Aktuatorji so iz nerjavnega jekla (AISI316) in imajo integrirana posebna tesnila, odporna na visoke tlake vode.

Značilnosti:

- ▶ hod do 400 mm,
- ▶ sila 300–4500 N,
- ▶ hitrosti do 20 mm/s,
- ▶ napetost 12 ali 24 VDC,
- ▶ material AISI316,
- ▶ optimalno gladko delovanje.

Vir:

INOTEH, d. o. o., K železnici 7, 2345 Bistrica ob Dravi, tel.: +386(0)2 673 01 34, faks: +386(0)2 665 20 81, e-mail: gp@inoteh.si, internet: www.inoteh.si

RAZVIT IN IZDELAN V SLOVENIJI

GP20

YASKAWA

GLAVNE PREDNOSTI

- Vitka in robustna zasnova
- Uporaba v različnih robotskih aplikacijah
- 20 kg nosilnosti
- Velik polmer dosega: 1.802 mm
- Hiter / visoki pospeški in pojemki
- Enostaven zagon, uporaba in vzdrževanje

YASKAWA Slovenija d.o.o. www.yaskawa.si



Controlled by
YRC1000

SMC PREDSTAVLJA NOV KOMPAKTNI BREZZIČNI SISTEM SERIJE EXW1

SMC predstavlja nov kompaktni brezžični sistem serije EXW1 s povečanim dometom do 100 m. EXW1 je tehnološko podoben sedanjemu EX600-W, vendar je manjši, lažji in združljiv z industrijskimi komunikacijskimi standardi ter ima izboljšane funkcije, ki razširjajo sedanjo ponudbo



Družba SMC je razvila edinstven sistem brezžičnega povezovanja kot odgovor na zahteve sodobnih tovarniških obratov, ki zahtevajo veliko mobilnost in svobodo gibanja ob povečani uporabi robotov in druge opreme, kjer ožičene rešitve postanejo velika težava. Nova serija EXW1 vključuje več inovacij, ki so odziv na povratne informacije strank, prejete za serijo EX600-W. Koncept decentraliziranega brezžičnega sistema gre še dlje, saj ponuja hitrost omrežja do 1 Mb/s (250 kb/s pri EX600-W), hkrati pa omogoča povezavo do 11768 vhodov/11768 izhodov na eno bazno enoto brez uporabe komunikacijskih kablov. V primerjavi z modularnim tipom EX600-W se je velikost kombinirane bazne in oddaljene enote serije EXW1 zmanjšala za 86 % (prostornina) in 83 % (teža). EXW1 je sistem vhodno-izhodnih signalov, ki se lahko uporablja v kombinaciji z EX600-W in tako zagotavlja večjo prilagodljivost, tako da je mogoče dodajati ventilske otoke in IO-Link enote za izpolnjevanje različnih aplikacijskih potreb.

Zanesljiva komunikacija

Podobno kot EX600-W tudi EXW1 zagotavlja zanesljivo in varno komunikacijo, vendar s podaljšanim dosegom do 100 m, kar olajša povezovanje s številnimi vhodnimi/izhodnimi napravami, razporejenimi po tovarniških prostorih. Tako kot njegov predhodnik tudi EXW1 prenaša radijske valove v visokofrekvenčnem pasu ISM 2,4 GHz –nekomercialnem pasu, rezerviranem za industrijske, znanstvene in medicinske namene. Poleg šifriranja podatkov, ki izključuje nepooblaščen dostop, uporablja funkciji frekvenčnega preskakovanja (FH) in izbire frekvenčnega kanala (FCS), ki preprečujeta motnje drugih brezžičnih naprav. Z možnostjo dodajanja zunanje antene

(IP67) je mogoče brezžično bazno/oddaljeno enoto namestiti tudi v kovinsko zaščiteno ohišje ali nadzorno ploščo/omarico v prašnem ali agresivnem okolju, ne da bi to vplivalo na domet ali zmogljivost komunikacije. Ker je naprava EXW1 kompaktna in lahka, je zelo primerna za namestitev na pripravah ali premičnih delih robotov. Z boljšo hitrostjo komunikacije, odzivnim časom in zmogljivostjo prenosa podatkov je EXW1 zelo prilagodljiv za različne industrijske panoge in opremo ter izpolnjuje povečane zahteve oblikovalcev opreme ter inženirjev za proizvodnjo in vzdrževanje. EXW1 se lahko široko uporablja v vseh panogah, ki so prilagodljive za komunikacijo z različnimi omrežji, različica, združljiva z IO-Link, pa dodaja še večje komunikacijske zmogljivosti.

SMC sistem brezžične komunikacije odpravlja težave, povezane s kablji v gibljivih delih strojev, kot so vrtljive ali indeksne mize ter robotske roke za menjavo orodja. Te vključujejo veliko tveganje poškodbe/odklopa kablov v gibljivih delih, zaplete zaradi prekompleksnega ožičenja, pomanjkanje prostora in specializiranega osebja za odpravljanje težav. Posledična izguba komunikacije zaradi poškodovanih/odklopljenih kablov ne povzroča le izgube produktivnosti, temveč tudi izgubo časa in sredstev za namestitev nadomestnih kablov in ponovno vzpostavitev vseh povezav. Decentraliziran brezžični sistem ohranja produktivnost ob vsaki prekinitvi, prihrani denar zaradi manj kablov, konektorjev in druge pomožne opreme, kot so dragi vrtljivi spoji. Tudi če se na istem komunikacijskem območju uporablja več brezžičnih baznih enot, kot je to v primeru tovarniške avtomatizacije, lahko vsaka brezžična bazna enota učinkovito komunicira z oddaljenimi enotami, s katerimi je seznanjena.

Če povzamemo, ima EXW1 naslednje glavne značilnosti:

- ▶ kompakten in lahek,
- ▶ povečan komunikacijski domet,
- ▶ zunanja antena,
- ▶ hitrejši odziv na komunikacijo in
- ▶ možnost uporabe v kombinaciji z obstoječimi modeli EX600-W.

Vir:

SMC Industrijska Avtomatika d. o. o., Mirnska cesta 7, 8210 Trebnje, tel.: +386 7 388 5425, spletna stran: www.smc.si, www.smc.eu, e-pošta: tehnika@smc.si

REKORDNA ŠTIRILETNA GARANCIJA ZA KABLE IGUS

Na podlagi več kot 20 milijard dodatnih testnih ciklov v lastnem laboratoriju v preteklem desetletju so v podjetju igus garancijsko dobo za celoten asortiment kablov chainflex podaljšali s 36 mesecev na 4 leta, kar zagotavlja bolj predvidljivo in varno planiranje.



Štiriletna garancija za kable chainflex

Če se kabel poškoduje, pride do ustavitve strojev in sistemov. Vendar pa uporabniki ne vedo, kako dolgo bo kabel zdržal, zato so v igusu poiskali rešitev za to težavo: pred desetimi leti so kot prvo industrijsko podjetje na svetu

predstavili 36-mesečno garancijo za gibljive kable. Ravno v času za sejem avtomatizacije SPS2023 je igus, specialist za gibljivo plastiko, podaljšal garancijsko dobo za celoten asortiment kablov še za 12 mesecev, torej skupno na štiri

leta. To uporabnikom omogoča še več varnosti in predvidljivosti pri načrtovanju.

Kateri kable so dovolj robustni, da lahko zagotovijo visoko stopnjo zanesljivosti in vzdržljivosti? To vprašanje se pogosto pojavi, saj veliko proizvajalcev ne more zagotoviti točne informacije o življenjski dobi. »Tej negotovosti smo želeli narediti konec. Strankam zato že deset let dajemo 36-mesečno garancijo na vse izdelke chainflex, kar je v tej panogi izjema,« pravi Rainer Rössel, vodja oddelka za kable chainflex v podjetju igus. Ta zaveza je certificirana s strani ameriškega inštituta Underwriters Laboratories (UL). »V preteklem desetletju smo pridobili mnogo dragocenih izkušenj, zato smo na podlagi tega našo garancijo lahko podaljšali na polna 4 leta. To uporabnikom omogoča še večjo zagotovitev varnosti in predvidljivosti pri načrtovanju,« poudari Rössel.

To izjemno dolgo garancijsko dobo lahko zagotovijo po zaslu-



TLAČNE POSODE V20, V30 IN V40

- » Dovajanje pod pritiskom za večjo količino tekočine na časovno enoto.
- » Stalen pretok tekočine za boljšo kakovost nanosa.
- » Zmanjšana meglica zaradi manjšega trenja zraka z delci tekočine.
- » Trdna konstrukcija (nerjavno jeklo), enostavna uporaba.
- » Več brizgalnih pištol (opcijsko).
- » Z vso priključno opremo. Dodatna oprema na zahtevo.



www.hennlich.si

HENNLIICH d.o.o., Ul. Mirka Vadnova 13, 4000 Kranj / Pokličite nas: 041 386 004

gi največjega testnega laboratorija za energijske verige v celotni industriji, s katerim v podjetju igus upravljajo na sedežu v Kölnu. Tam strokovnjaki testirajo kable chainflex v različnih praktičnih testih z več kot dvema milijardama testnih ciklov letno. Podatki, ki jih z izvedenimi testi pridobijo, so tudi podlaga za spletni kalkulator življenjske dobe. Vanj stranka vnese želene parametre za svojo aplikacijo, kot so temperatura, upogibni radij in dolžina hoda. Življenjsko dobo kabla je nato mogoče izračunati s samo nekaj kliki. »Do sedaj smo pridobili že toliko izkušenj z različnimi zasnovami kablov, testi, spletnimi orodji in izkušnjami naših strank, da lahko z vedno večjo gotovostjo najdemo pravi kabel za vsako specifično aplikacijo,« še pove Rössel. Če se kabel znotraj garancijske dobe vseeno pokvari (kar je sicer malo verjetno), vam ga igus v najkrajšem možnem času brezplačno zamenja, da je čas nede-lovanja aplikacije čim krajši.

Glavna razloga podaljšanja garancijske dobe sta želja in prizadevanje po izdelovanju kar se da traj-

nostnih izdelkov. »Vsakič, ko se kabel pokvari, je potrebno izdelati novega, pri čemer v proizvodnem procesu nastanejo dodatni izpusti ogljikovega dioksida,« poudari Rössel. To tudi pomeni, da izdelki, ki jih lahko uporabljamo dlje časa, prihranijo več CO₂. »S tem razlogom se neprestano trudimo izboljšati naše kable in jih želimo prilagoditi za čim širši spekter aplikacij.« Danes obsega asortiment kablov chainflex preko 1.350 različnih tipov: tako cenovno ugodnejše kot visoko zmogljive, vključno z bus, motornimi in servokabli, pa tudi kable za robote in merilne sisteme. Ključ do dolge življenjske dobe kablov chainflex je v idealni kombinaciji materialov. Večletni testi v realnem življenju so že dokazali njihovo ustreznost. Izdelke uporabljajo po vsem svetu: v skladiščnih sistemih, žerjavih, dvigalih in na ploščadih.

Vir: podjetje igus GmbH

Matic Butja, HENNLICH d. o. o.
butja@hennlich.si



SPLAČA SE BITI NAROČNIK



ZA SAMO 50€ DOBITE:

- celoletno naročnino na revijo IRT3000 (10 številke)
- 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



ZA SAMO 20€ DOBITE:

- celoletno naročnino na revijo IRT3000 (4 številke)
- strokovne vsebine na več kot 200 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

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.

NAROČITE SE!



051 322 442



info@irt3000.si



www.irt3000.si/narocilo-revije

WWW.IRT3000.COM

ZAJEM IN UPORABA OGLJIKOVEGA DIOKSIDA (CO_2) S SISTEMI OMEGA AIR

V podjetju OMEGA AIR d. o. o. Ljubljana verjamemo v prihodnost sistemov, ki bodo pomagali zmanjšati delež CO_2 v industriji. V ta namen ponujamo CCS/CCU-rešitve na ključ za vrednotenje CO_2 (ločevanje, utekočinjanje, stiskanje in čiščenje plina).



Slika 1 : Izpusti CO_2 v ozračje

Obstajata dva sistema za preprečevanje izpustov CO_2 v ozračje, ki sta dragocena korist za okolje (višja koncentracija CO_2 v ozračju je glavni vzrok globalnega segrevanja) – CCU- in CCS-sistem. Glavna razlika med procesoma CCU in CCS je v tem, da CCS-sistemi ne vključujejo obdelave CO_2 in zato plina pozneje ni mogoče uporabiti.

Tehnika zajema CO_2 , ki ji lahko rečemo tudi »vrednotenje ogljika«, je proces zajemanja plinastega ogljikovega dioksida (CO_2), ki je v industrijskem ali kmetijsko-živilskem procesu, in njegove nadaljnje obdelave z namenom ponovne uporabe v lokalnem procesu ali pa prodaje.

Sistem CCU je potrebno razlikovati od sistemov za zajemanje in shranjevanje ogljika (CCS), ki večinoma zajemajo CO_2 iz procesa (ali celo iz atmosfere) in ga usmerjajo v hranilnike (večinoma pod zemljo).

V proizvodnem obratu OMEGA AIR PE Logatec proizvodimo

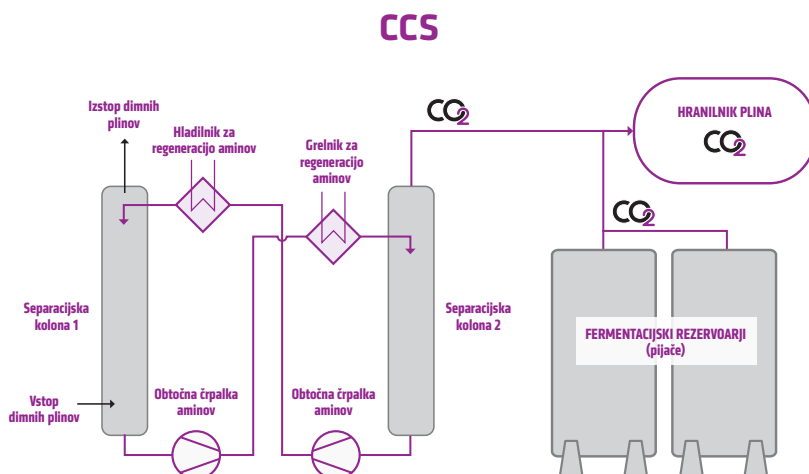
kontejnerske sisteme na ključ CO_2 -BOX, ki končnemu uporabniku omogočijo pozitiven vpliv na okolje in hkrati ustvarjanje dobička. Tako pridobljen CO_2 je lahko – odvisno od zahteve kupca in nadaljnje uporabe – v plinastem ali tekočem stanju in industrijske ali prehranske kakovosti.

Zajem CO_2 iz dimnih plinov (slika 3 – levi del) – CCS-sistem

Dimni plini vsebujejo relativno visoko koncentracijo CO_2 , ki ga je s kombinacijo separacijskih tehnologij možno zajeti. Pri separaciji z



Slika 2 : Kompaktna kontejnerska izvedba – CO_2 BOX

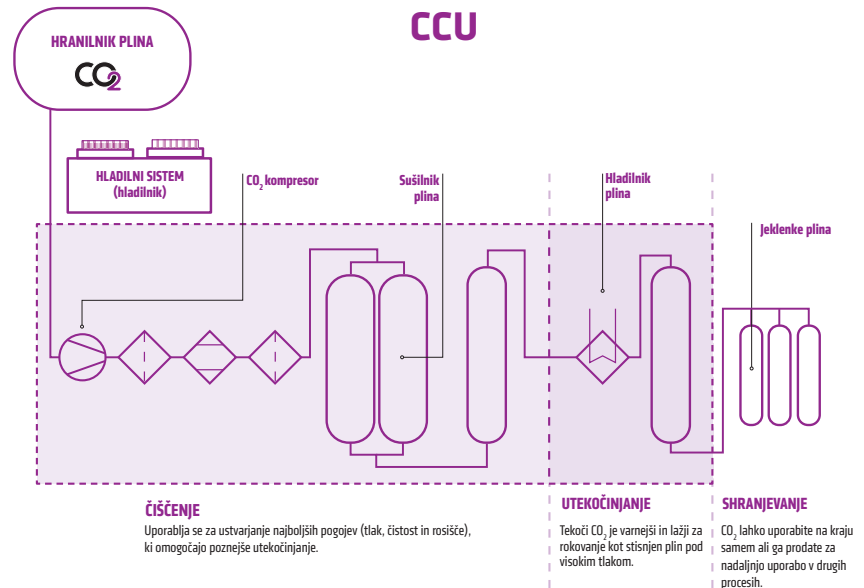


Slika 3 : Shema CCS-sistema

organskimi topili (npr. etilenamid) se v prvi separacijski koloni tok dimnih plinov spira s topili, ki vežejo nase CO_2 . V naslednji fazi tekočino, obogateno s CO_2 , regeneriramo (segrejemo) in v drugi separacijski koloni CO_2 v plinasti fazi ločimo iz topila v tekoči fazi. Organsko topilo nato ohladimo in ga ponovno injiciramo v prvo separacijsko kolono, medtem ko se CO_2 v plinasti fazi hrani v vmesnem zalogovniku, kjer je pripravljen za fazo dodatne obdelave (npr. filtracija, komprimiranje, utekočinjanje).

Zajem CO_2 pri fermentaciji (slika 3 – desni del) – CCS-sistem

Alkoholno vrenje ali alkoholna fermentacija je biološki proces, pri katerem se sladkorji, kot so glukoza, fruktoza in saharoza, pretvorijo v energijo v obliki adenozin trifosfata (ATP), pri tem pa nastane etanol in ogljikov dioksid (CO_2) kot presnovna odpadna produkta. Na vrhu fermentorjev se zajema CO_2 v visoki koncentraciji in se nato pred fazo



Slika 4 : Shema CCU-sistema

nadaljnje obdelave hrani v vmesnem zalogovniku.

CCU-sistem

Kadar želimo CO_2 ponovno uporabiti v nekem procesu, ga je predhodno potrebno dodatno

očistiti. Faza čiščenja najpogosteje zajema komprimiranje, filtracijo in sušenje. Ustrezno očiščen CO_2 je primeren za nadaljnjo uporabo v živilski industriji ali različnih industrijskih aplikacijah.

www.omega-air.si

 OMEGA AIR <i>more than air</i> 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	 N₂	 O₂
RAZPON TLAKOV 1000 mbar 16 bar, 50 bar 100 bar, 250 bar 420 bar	 H₂	 8-Air
MEDIJI stisnjen zrak vakuum N₂, O₂, CNG, dihalni zrak CO₂, H₂, He	 He	 CNG
	Air	CO₂

© Ventil 30(2024)3. Tiskano v Sloveniji. Vse pravice pridržane.
© Ventil 30(2024)3. Printed in Slovenia. All rights reserved.

Internet: <http://www.revija-ventil.si>
E-mail: ventil@fs.uni-lj.si

ISSN 1318-7279
UDK 62-82 + 62-85 + 62-31/-33 + 681.523 (497.12)

VENTIL Revija za fluidno tehniko, avtomatizacijo in mehatroniko
Journal for Fluid Power, Automation and Mechatronics

Volume Letnik 30
Year Letnica 2024
Number Številka 3

Revija je skupno glasilo Slovenskega društva za fluidno tehniko in Fluidne tehnike pri Združenju kovinske industrije Gospodarske zbornice Slovenije. Izhaja šestkrat letno.

Ustanovitelj: SDFT in GZS – ZKI-FT
Izdajatelj: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo
Glavni in odgovorni urednik: prof. dr. Janez Tušek
Pomočnik urednika: izr. prof. dr. Miroslav Halilović
Tehnični urednik: Roman Putrih

Znanstveno-strokovni svet:

- ▶ Erih ARKO, YASKAWA, Ribnica
- ▶ prof. dr. Ivan BAJSIČ, Univerza v Novem mestu, Fakulteta za strojništvo
- ▶ mag. Aleš BIZJAK, POCLAIN HYDRAULICS, Žiri
- ▶ doc. dr. Andrej BOMBAČ, FS Ljubljana
- ▶ prof. dr. Alexander CZINKI, Fachhochschule Aschaffenburg, ZR Nemčija
- ▶ prof. dr. Janez DIACI, FS Ljubljana
- ▶ prof. dr. Jože DUHOVNIK, FS Ljubljana
- ▶ prof. dr. Niko HERAKOVIČ, FS Ljubljana
- ▶ dr. Robert IVANČIČ, INTECH-LES, Rakek
- ▶ dr. Milan KAMBIČ, OLMA, Ljubljana
- ▶ doc. dr. Gorazd KARER, FE Ljubljana
- ▶ prof. dr. Mitjan KALIN, FS Ljubljana
- ▶ prof. dr. Roman KAMNIK, FE Ljubljana
- ▶ izr. prof. dr. Damjan KOLBČAR, FS Ljubljana
- ▶ prof. dr. Darko LOVREC, FS Maribor
- ▶ izr. prof. dr. Franc MAJDIČ, FS Ljubljana
- ▶ prof. dr. Hubertus MURRENHOFF, RWTH Aachen, ZR Nemčija
- ▶ izr. prof. dr. Dragica NOE, FS Ljubljana
- ▶ Bogdan OPAŠKAR, FESTO, Ljubljana
- ▶ dr. Jože PEZDIRNIK, FS Ljubljana
- ▶ prof. dr. Jožef RITONJA, FERI Maribor
- ▶ prof. dr. Katarina SCHMITZ, RWTH Aachen, ZR Nemčija
- ▶ prof. dr. Riko ŠAFARIČ, FERI Maribor
- ▶ Janez ŠKRLEC, inž., uredništvo revije Ventil
- ▶ doc. dr. Marko ŠIMIC, FS Ljubljana
- ▶ prof. dr. Željko ŠITUM, Fakultet strojarstva i brodogradnje Zagreb, Hrvaška
- ▶ prof. dr. Janez TUŠEK, FS Ljubljana
- ▶ prof. dr. Hironao YAMADA, Gifu University, Japonska

Oblikovanje naslovnice in oglasov: Narobe Studio, d. o. o., Ljubljana
Lektoriranje: Marjeta Humar, prof., Andrea Potočnik
Prelom in priprava za tisk: Grafex agencija | tiskarna
Tisk: Schwarz Print d.o.o., Ljubljana
Marketing in distribucija: Roman Putrih

Naslov izdajatelja in uredništva: UL, Fakulteta za strojništvo – Uredništvo revije Ventil
Aškerčeva 6, POB 394, 1000 Ljubljana
Telefon: +(0)1 4771-704
Faks: +(0)1 4771-772 in +(0)1 2518-567

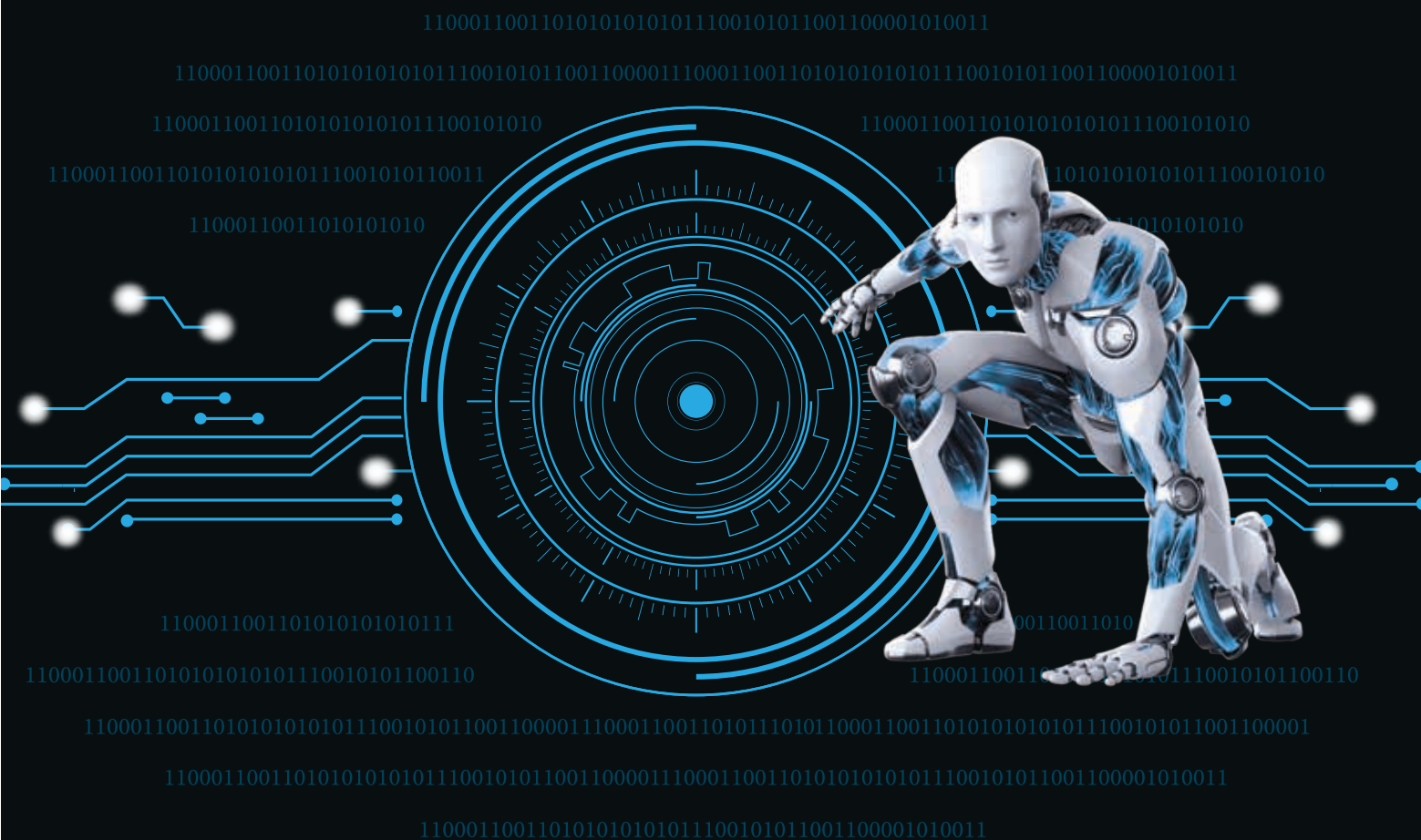
Naklada: 1.000 izvodov
Cena: 5,00 EUR – letna naročnina 30,00 EUR

Revijo sofinancira Javna agencija za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije (ARIS).
Revija Ventil je indeksirana v podatkovni bazi INSPEC.
Na podlagi 25. člena Zakona o davku na dodano vrednost spada revija med izdelke, za katere se plačuje 5-odstotni davek na dodano vrednost.

IFAM-INTRONIKA-ROBOTICS

11.-13. 2. 2025

Ljubljana





FESTO

Preprosto: del rešitve

Festo ★ osnovni program

Prednosti na prvi pogled:

- Več kot 35.000 izdelkov v ponudbi
- Hitra dostava
- Privlačne cene

Osnovni program za avtomatizacijo

Festo osnovni program je naš izbor najpomembnejših izdelkov in funkcij, ki rešujejo večino vaših nalog v avtomatizaciji.

Poenostavite svojo nabavo -
Samo poiščite modro zvezdo!



Festo, d.o.o. Ljubljana
Blatnica 8
SI-1236 Trzin
Telefon: 01/ 530-21-00
Telefax: 01/ 530-21-25
sales_si@festo.com
www.festo.si