

VENTIL

ISSN 1318 - 7279

Letnik 31 / 2025 / 3 / Junij

Svetovni dan
meroslovjaRobotska
površinska obdelavaRegulacija
pretoka zrakaLogistika
proizvodnje
v podjetju Unior

EMERSON
Process Management


BETTIS™

BIFFI

Field

ELMatic™


FISHER

Dantorque


HYTORC

Shafer®


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

ppt commerce

HIDRAVLIKA IN PROCESNA TEHNIKA
PRODAJA • PROJEKTIRANJE • SERVIS


FS
UNIVERZA
V LJUBLJANI | Fakulteta
za strojništvo


FESTO

POCLAIN
Hydraulics


OPL

G/A

MIEL®


SEAL & TRADE d.o.o.


ppt commerce

la&co

Sinergija premikanja. Hidravlika. Pnevmatika. Linearna tehnika.



OMEGA AIR
more than air

ŠIROK IZBOR VENTILOV

ZA HIDRAVLIČNE POGONE VOZIL IN NJIHOVA HIDRAVLIČNA ORODJA



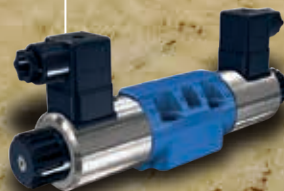
Izmenjevalni
ventil



Ventil za hidravlično
zaporo koles



4/3 Potni
ventil



6/2 Potni
ventil



ZASNOVANI IN PROIZVEDENI V SLOVENIJI



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

www.poclain-hydraulics.com



OD GIMNAZIJSKEGA MATURANTA DO INŽENIRJA



Z začetkom vročega poletja se za srednješolce zaključuje šolsko leto. Večina četrtošolcev je uspešno opravila maturo, ki je bila pretekla leta zanje eden od osrednjih ciljev šolanja. Žal pri mnogih ne toliko zato, ker bi jim matura predstavljala zrelostni izpit, pač pa bolj zato, ker je maturitetni rezultat danes vstopnica za študij na univerzi. Dijaki se dobro zavedajo, da morajo zbiranje točk postaviti pred vednoželjnost, zato se od njih pričakuje tudi strateško planiranje, če lepše poimenujemo špekuliranje. Že sam izbor maturitetnih predmetov lahko namreč odloča o tem, ali se posamezniku uspe kvalificirati na izbrano fakulteto ali ne.

Zaradi anomalij se obetajo spremembe vpisnih kriterijev pri poklicni maturi, a reduciranje kriterijev zgolj na točke mature v želji po zagotavljanju univerzalne pravičnosti odpira druge pomisleke. Ali je prav, da ocena iz matematike in angleščine določa, da posameznik ne bo študiral fizioterapije, ampak farmacijo? Zakaj je logično, da pri igralstvu fakulteta preveri talent in predspozicije, pri zdravstvu in učiteljstvu pa ne? Mar ne gre pri dijaku, ki koleba med izborom tako različnih poklicev, kot so medicina, pravo in ekonomija, bolj za dilemo, kateri študij je bolj časten in poklic bolj dobičkonosen, ne pa za to, da bi svoje talente op-

timalno razvil v poklicu, ki mu ustreza in ga veseli? V takšnem sistemu, kjer mladi vrednotijo kvaliteto posameznega študija po številu točk, ki so potrebne za vpis, tiste fakultete, ki poučujemo inženirstvo, potegnemo kratko. Zakaj?

V devetdesetih letih prejšnjega stoletja se je uveljavil koncept izobraževanja STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics), saj so prepoznali naravoslovne znanosti, tehnologijo, inženirstvo in matematiko kot štiri stebre tehnološkega in gospodarskega razvoja. ZDA, Kitajska, Japonska in druge države v svojih strategijah za konkurenčnost izrecno poudarjajo pomen vlaganj v izobraževanje STEM, pa tudi Evropska komisija v strategiji Horizon Europe poudarja ta znanja kot osnovo prehoda v zeleno in digitalno gospodarstvo. Toda kurikulum slovenskih gimnazij v sklopu obveznih predmetov predvidi samo eno tretjino vseh ur za vsebine STEM. Od te tretjine je polovica namenjena naravoslovnim znanostim (kemija, fizika, biologija) in 45 % matematiki. Za tehnologijo tako ostane samo 5 % v obliki informatike, inženirstva pa na gimnaziji sploh ni. Na podlagi katerih informacij naj se potem takem gimnazijec odloči študirati inženirstvo in visoke tehnologije?

Zanimivi so tudi podatki Državnega izpitnega centra v Letnem poročilu o izboru dveh predmetov splošne mature. Dobra tretjina dijakov izbere psihologijo, slaba tretjina geografijo, četrtna kemijo, nato s slabo petino sledijo fizika, zgodovina, sociologija, biologija in drugi tuji jezik, medtem ko ostale predmete izbere manj kot 5 % dijakov. Dijakov, ki izberejo oba naravoslovna predmeta hkrati, je torej le za vzorec, vsekakor pa bistveno manj kot tistih, ki izberejo dva družbo-

slovna predmeta. Že tako skromen bazen naravoslovcev se potem razdeli na študije naravoslovnih ved ter na inženirstvo in tehnologije.

Slabo poznavanje tehnologije in inženirstva med dijaki in v družbi na splošno je vzrok tudi za manjšo spoštovanost. Vrhunski znanstvenik ali vrhunski matematik se čisto drugače sliši kot vrhunski tehnolog ali vrhunski inženir, čeprav so za visokotehnološki razvoj družbe vsi štirje stebri STEM enakovredni. Družba potrebuje vrhunske strokovnjake na vseh področjih, zato povečevanje bazičnih znanosti in hkratno banaliziranje inženirskih znanj na servis avtomobilov in razvoj izdelkov, ki jih lahko alternativno za pol cene uvozimo iz Kitajske, odvrača mlade za študij inženirstva in tehnologij. Politični odločevalci tu in tam povečajo vlaganja v znanost z namenom povečanja inoviranja in visokih tehnologij, a vedno znova ugotavljajo, da je pri nas najbolj kritičen prenos bazičnih spoznanj iz TRL 3 do industrijsko zanimivih TRL 6.

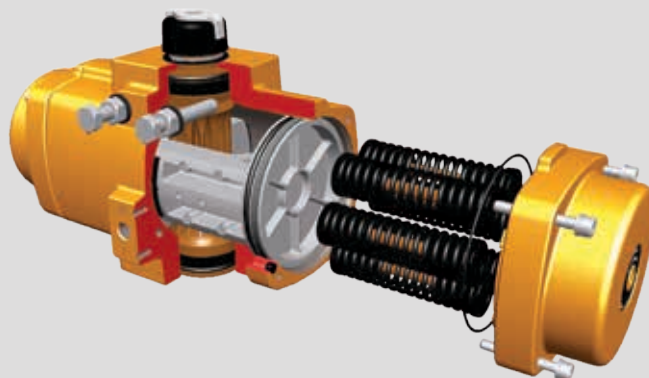
Fakultete, ki izobražujemo inženirje in tehnologe, moramo tu prepoznati svojo vlogo za skrb za kar dva od štirih stebrov STEM. Če vloge promocije stebrov tehnologije in inženirstva ter pojasnjevanja njunega pomena ne bomo prevzeli mi, je v sedanjih razmerah ne bo prevzel nihče drug. Seveda pa moramo te dejavnosti najprej ceniti sami, saj lahko le tako spremenimo percepcijo družbenega okolja glede inženirstva in tehnologij, da nameni tem področjem vsaj nekaj pozornosti tudi v gimnazijskem izobraževanju, in na tak način privabimo več mladih talentov v svoje vrste.

Miroslav Halilović

© Avtorji 2025. CC-BY 4.0



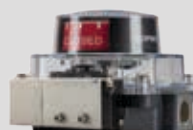
EL Matic™



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

Dan varilne tehnike v dneh Mednarodnega industrijskega sejma v Celju	126
Svetovni dan meroslovja in 150 let Metrske konvencije	130
Strokovna ekskurzija SDFT 2025	134
16. Industrijski forum IRT	136

NOVICE • ZANIMIVOSTI 142

ROBOTSKA POVRŠINSKA OBDELAVA

Tomaž Pušnik, Aleš Hace

Načrtovanje regijsko segmentirane robotske površinske obdelave z bolj realistično časovno metriko	148
--	-----

PROCESNA AVTOMATIZACIJA

Božidar Bratina, Nenad Muškinja, Milan Rotovnik, Marjan Golob

Nastavitev PID z algoritmom diferencialne evolucije v PLK na primeru regulacije pretoka zraka	156
---	-----

OPTIMIZACIJA PROIZVODNJE

Hugo Zupan, Boštjan Jegrišnik, Uroš Matavž, Niko Herakovič

Z digitalnim dvojčkom do optimalne postavitve in logistike proizvodnje v podjetju Unior	162
---	-----

BIONIKA

Janez Škrlec

Kaj lahko bionika ponudi industriji in drugim področjem?	168
--	-----

AKTUALNO IZ INDUSTRIJE

Odlična rešitev za vodotesno vpenjanje (ELESA+GANTER)	170
Hitra izbira idealnega linearnega aktuatorja s koračnim motorjem (INOTEH)	171
Nova linija vodil Rexroth – kroglična vodila BSCL (La & Co)	172

NOVOSTI NA TRGU

Nov HSD vmesniški bloki in priključni konektorji (INOTEH)	174
N 760 blister embalažni stroj proizvajalca Romaco Noack (ROMACO)	175
Ultrazvočni senzor pretoka SMC s pritrditvijo na cev (SMC)	176

PODJETJA PREDSTAVLJAJO

Natančne linearne komponente v železniški industriji (INOTEH)	178
Ultrazvočni merilniki pretoka in toplote (OMEGA AIR)	180
Napredne rešitve za doziranje v industriji (HENNLICH)	184

DAN VARILNE TEHNIKE V DNEH MEDNARODNEGA INDUSTRIJSKEGA SEJMA V CELJU OD 8. DO 11. APRILA

Janez Tušek

V Celju sta od 8. do 11. marca potekala Mednarodni industrijski sejem (MIS) in Sejem komunalne opreme, ravnanja z odpadki in vodnih tehnologij (KOMOT). Organizatorji, številni razstavljalci in obiskovalci navajajo, da sta to dva izmed najpomembnejših strokovnih sejmov v JV Evropi.

Po zaključku sejma pa to lahko potrdimo tudi tisti, ki smo delno sodelovali pri organizaciji in sami izvedbi in smo si sejem ogledali.

Celje je v navedenem času postalo največje tehnološko središče v Sloveniji, kjer so obiskovalci lahko v živo spremljali najsodobnejše in tehnično najbolj dovršene stroje, industrijske robote, orodja, opremo, naprave, aplikacije in rešitve prihodnosti. Na več kot 25.000 m² razstavnih površin je več kot 370 razstavljalcev iz kar 36 držav predstavilo okoli 1.000 blagovnih znamk. Za oba sejma so morali dodatno postaviti 3 montažne dvorane, tako so se razstavljalci predstavljali v kar 9 sejmskih dvorah, ena montažna dvorana pa je bila namenjena tekmovanju varilcev.

Velik poudarek je bil dan inovacijam, novim tehnološkim rešitvam in avtomatizaciji izdelovalnih in proizvodnih linij, ki narekujejo in oblikujejo prihodnost industrij.

Letos je sejem zabeležil največje število novih razstavljalcev, ki se v Celju oz. v Sloveniji še niso predstavili. Poleg podjetij iz Slovenije in Hrvaške so sodelovali tudi razstavljalci iz Srbije, Avstrije, Nemčije, Italije, Kitajske, Bosne in Hercegovine, Bolgarije, Poljske in drugih držav, kar potrjuje rast pomena sejma v Celju.

Organizatorji so zapisali, da je bilo letos približno 20 odstotkov več tujih razstavljalcev kot pred dve letoma, ko so ravno tako beležili rekorde.

Sejma je v štirih dneh obiskalo kar okoli 17.000 obiskovalcev iz 24 držav. Pomemben je podatek, da



Slika 1: Utrinek s sejma

se je skoraj 90 odstotkov razstavljalcev z zadnjega sejma vrnilo v Celje tudi letos, kar daje organizatorjem zadovoljstvo nad opravljenim delom.

V okviru mednarodnega sejma so bili v štirih dneh organizirani strokovni posveti. Prvi dan je bil namenjen avtomatizaciji in optimizaciji proizvodnih procesov ter varilni tehniki s strokovni predavanji in tekmovanjem varilcev. To je bilo državno in mednarodno prvenstvo z udeleženci iz tujine. Drugi dan, četrtek 10. aprila, je bil posvečen orodjarstvu (dan orodjarjev). Posvetovanje je organiziralo podjetje TECOS iz Celja. Istega dne je potekal dan vzdrževanja v organizaciji Društva vzdrževalcev. Zadnji dan pa je bil dan plastike v organizaciji Fakultete za tehnologijo polimerov.

Dan varilne tehnike

Dan varilne tehnike sta tudi letos organizirala Društvo za varilno tehniko Krško in društvo za varilno tehniko Maribor.

Celoten dan varilne tehnike lahko razdelimo v tri sklope, ki so med seboj povezani. Prvi del, ki je potekal dopoldne, je bil namenjen strokovnemu posvetovanju varilskih strokovnjakov. V drugem delu

Prof. dr. Janez Tušek, univ. dipl. inž., TKC, d. o. o., Ljubljana

© Avtorji 2025. CC-BY 4.0

je bilo tekmovanje varilcev in v tretjem druženje, razglasitev rezultatov tekmovanja in podelitev priznanja za življenjsko delo na varilskem področju.

Strokovno posvetovanje

Letošnje strokovne posvetovanje varilcev v okviru Mednarodnega industrijskega sejma v Celju je bilo izjemno dobro zastopano. To velja za število prispevkov, ki so jih avtorji želeli predstaviti na posvetovanju in objaviti v zborniku, kakor tudi za število obiskovalcev oziroma poslušalcev. Posebno zadovoljstvo izraža odziv raziskovalcev in industrijskih strokovnjakov iz neposredne proizvodnje, ki so predstavili inovativno raziskovalno delo. To kaže stanje varilne stroke v Sloveniji, ki je pohvalno in zelo dobro. Dvorana je bila praktično polna celoten čas trajanja posveta. Prisotnih je bilo veliko dijakov, študentov in mladih. zaposlenih v industriji.

Uredniški odbor v sestavi:

- ▶ dr. Andrej Lešnjak – predsednik,
- ▶ prof. dr. Janez Tušek,
- ▶ izr. prof. dr. Damjan Klobčar – Fakulteta za strojništvo, Univerza v Ljubljani,
- ▶ doc. dr. Matej Pleterski – FINI, Novo mesto,
- ▶ izr. prof. dr. Tomaž Vuherer – Fakulteta za strojništvo, Univerza v Mariboru,

je izbral osem člankov za ustno predstavitev in ostale za objavo v zborniku. Delno je pri izbiri člankov sodeloval tudi mednarodni uredniški odbor, objavljen v zborniku.

V zborniku je 20 člankov s področja varjenja in sorodnih tehnik. Zaradi velikega števila člankov se je organizacijski odbor odločil, da se na posvetovanju predstavi le osem člankov. Kriteriji so bili: aktualnost obravnavane teme, njena pomembnost za slovensko industrijo in mednarodna odmevnost.

Uvodno in vabljen predavanje je imel mag. Tomaž Blatnik, dipl. inž. stroj., direktor tehnične divizije v podjetju Revoz, d. d., v Novem mestu.

Predstavil je trenutne trende v razvoju avtomobilov. Čeprav so na področju vozil največje spremembe pri pogonih in senzoriki, so zelo pomembne spremembe tudi na sami strukturi osebnih in drugih vozil; to je na karoseriji. Mag. Blatnik se je osredotočil prav na gradnjo avtomobilov s poudarkom na področju spajanja. Iz celotnega predavanja lahko izluščimo, da se tudi pri izdelavi električnih vozil še vedno uporabljajo obločne, plazemske in laserske tehnike spajanja materialov. Poudaril pa je, da manjše zvarjene sklope v sodobnih vozilih pogosto nadomeščajo liti sklopi, predvsem iz aluminija.

To je še poseben izziv za slovenske livarje, ki slovijo po kvaliteti dela in so že močno prisotni v avtomobilski industriji ne glede na vrsto pogona motornega vozila.



Slika 2 : Polna dvorana poslušalcev

Drugo predavanje z naslovom Odziv vira varilnega toka pri pulznem varjenju TIG nerjavnega jekla je izvedel Nejc Markič s Fakultete za strojništvo iz Ljubljane. Prikazal je utripno varjenje z različnimi frekvencami varilnega toka in vpliv frekvence toka na linijski vnos energije v var.

Tretje predavanje je imel predavatelj Aleksija Đurić z Univerze u Istočnom Sarajevu sa Mašinskoh fakultet Istočno Sarajevo. Predstavil je hibridno točkovno spajanje jekla in aluminija z vmesnim vložkom. Hibridno varjenje zato, ker je uporabil uporabno varjenje in kovičenje. Vmesni vložek ima obliko črke T in se z jekleno pločevino zavari, z aluminijasto pa se koviči. To je prekrovnji zvarni spoj z eno točko.

Primož Repnik iz podjetja TKC je predstavil prispevek z naslovom Prednosti laserskega varjenja aluminija s kontinuirnim žarkom v primerjavi z utripnim žarkom. Prispevek obsega obsežno raziskovalno delo, ki so ga opravili g. Repnik in njegovi kolegi v zadnjih dveh letih. Prikazani rezultati so bili za marsikoga presenečenje. Do sedaj smo bili prepričani, da je za slabo varive materiale, kamor spada aluminij, primernejše utripno lasersko varjenje kot kontinuirano. S prikazanimi rezultati pa je to prepričanje ugasnilo.

Po kratkem odmoru je Anže Horžen predstavil prispevek Razvoj in implementacija avtomatiziranega sistema za ultrazvočni pregled dvoplastnosti valjanih pločevin. Celoten sistem je bil razvit za odkrivanje dvoplastnosti na valjani avstenitni pločevini.

Za njim je stopil na govorniški oder Mitja Račič iz podjetja Numip, d. o. o. Predstavil je članek z naslovom Razvoj postopka rotacijskega varjenja cevi večjega premera. Na rotacijskem varjenju cevi iz avstenitnega jekla premera 270 mm po postopku TIG je prikazal izdelavo kvalifikacije varilnega postopka po mednarodnem standardu.

Zadnje predavanje je imel Andrej Marušič iz Metalne Senovo. Predstavil je delo kolaborativnega robota v praksi pri varjenju najrazličnejših elementov.

Tekmovanje varilcev

Med dnevom sta potekali mednarodno in državno prvenstvo varilcev. Prvič se je zgodilo, da smo organizirali mednarodno tekmovanje. Prijavljeni kandidati so tekmovali v treh varilnih postopkih:

- ▶ varjenje po postopku MAG,
- ▶ varjenje po postopku TIG in
- ▶ ročno obločno varjenje z oplaščeno elektrodo.

Najprej so se tekmovalci preizkusili v teoretičnem pisnem preizkusu, nato pa še v praktičnem varjenju v treh različnih postopkih. Varili so po postopku MAG, po postopku TIG in ročno obločno z oplaščeno elektrodo. Glavni organizator tekmovanja je bilo Društvo za varilno tehniko Maribor. Tekmovali so fantje in dekleta, mladi, nekoliko starejši in tudi varilci v letih. Prav ta pisanost tekmovalcev je popestrila celotni dogodek.

Pozitivno presenečenje v tem letu je bilo, da se je tekmovanja udeležilo zelo veliko dijakov srednjih šol. To pomeni, da ta zelo lep in ustvarjalen poklic pridobiva na pomenu med mladimi ljudmi.

Na državnem prvenstvu je med srednješolci v kategoriji TIG dosegel 1. mesto Žan Turner iz TŠC Maribor, v kategoriji REO Andrej Malik iz ŠC Postojna, v kategoriji MAG pa Kristjan Mrzlič iz ŠC Postojna. Med profesionalnimi varilci je v kategoriji TIG dosegel 1. mesto Matej Kožuh iz podjetja Preis Sevnica, v kategoriji REO Jožef Piberčnik iz podjetja ADK in v kategoriji MAG Denis Petrovič, prav tako iz podjetja ADK. Mednarodno pa sta bili zastopani samo dve kategoriji, in sicer je v kategoriji TIG prvo mesto dosegel Matej Kožuh, v kategoriji MAG pa Denis Petrovič.

Strokovnjaki in sindikalisti so sicer izpostavili alarmantno pomanjkanje varilcev v Sloveniji –več kot 10.000 jih primanjkuje. Zaradi tega številna podjetja posegajo po delavcih iz tujine, kar pa pogosto pomeni slabe pogoje in kršitve delavskih pravic.

Kot je izpostavil izr. prof. dr. Tomaž Vuherer, vodja laboratorija za varjenje Fakultete za strojništvo Maribor, so robotske roke za varjenje odličen pripomoček, brez katerih podjetja s področja varilstva ne bi več zmogla. Sodobna tehnologija v varilstvu pomeni večjo natančnost in varnost. Vse več podjetij razvija robotske roke in pametne skenerje, ki varilcem pomagajo, a jih ne nadomeščajo. Kljub avtomatizaciji bodo izkušeni in usposobljeni varilci nepogrešljivi. Sodobna proizvodnja, predvsem v avtomobilski in kovinskopredelovalni industriji, se zato vse bolj zanaša na povezavo med človekom in tehnologijo.

Po mnenju strokovnjakov mora Slovenija razviti lasten sistem izobraževanja in kadrovanja, ki bo mladim ponudil dostojne pogoje, dobre plače in dolgoročno kariero. Poklic varilca je in ostaja eden



Slika 3 : Varilec pri varjenju navpičnega vara po postopku MAG

ključnih za industrijski razvoj in je eden tistih, ki bodo v prihodnje še posebej iskani. Sodelovanje z gospodarstvom, sindikati in izobraževalnimi ustanovami ob podpori države in zakonodaje je nujno. Le tako bo poklic varilca dobil nazaj svojo veljavo in mlade ponovno pritegnil s perspektivo, znanjem in dostojanstvom.

Podelitev priznanja za življenjsko delo na področju varjenja

Letošnje priznanje za življenjsko delo sta prejela prof. dr. Viljem Kralj in g. Jožef Kočever. Žal je Jožef Kočever že pokojni. Komisija za podeljevanje nagrade se je še v času njegovega življenja, to je pred dvema letoma, odločila, da mu podeli nagrado za življenjsko delo. Priznanje je prevzel njegov sin, ki nadaljuje tradicijo svojega očeta s proizvodnjo uporovnih varilnih strojev.

Pri obrazložitvi nagrade smo slišali, da je Jože Kočever ustanovil lastno podjetje že leta 1969 z naslovom Elektrotehnika – Varilna tehnika. V začetku svojega podjetništva je izdeloval stroje za obločno varjenje in kasneje stroje za uporovno varjenje, od mikrouporovnega varjenja do uporovnega varjenja velikih moči za pločevine debeline več milimetrov. Bil je pravi inovator vizionar varilske stroke. Svoje proizvode je prodajal predvsem v tujino. Njegovi stroji so se uporabljali in se še uporabljajo v Rusiji, Indiji in številnih drugih državah.

Njegov sin, prav tako Jože, nadaljuje očetovo tradicijo na področju strojev za uporovno varjenje.



Slika 4 : Kočevar Jože ml. prevzema priznanje za svojega pokojnega očeta.



Slika 5 : Profesor Kralj prevzema priznanje od predsednikov Društva varilne tehnike Maribor (levo) in Krško (desno).

Drugi nagrajenec je bi prof. dr. Viljem Kralj. Tu je na voljo premalo prostora, da bi lahko opisali njegov celotni opus na varilskem področju. Profesor Kralj se je v mladosti zapisal meteorologiji. Toda že po srednji šoli je prestopil na strojno-električno področje, kjer je ustvaril zavidljiva dela.

Ker je tu premalo prostora, bomo v eni prihodnjih številkk revije Ventil objavili njegov izjemno bogat življenjepis. Profesor Kralj bo letos julija star 94 let. Še vedno je v dobri psihični in fizični kondiciji. Redno telovadi, vozi avto in piše razprave, ki se tičejo slovenskega jezika in življenja Slovencev v preteklosti pri nas v Sloveniji in zunaj naše matične domovine.

Prof. Kralj je diplomiral, magistriral in doktoriral na Fakulteti za elektrotehniko v Ljubljani. V znanstvenem magistratu in doktoratu je obravnaval in raziskoval kibernetiko pri obločnem talilnem varjenju z oplašeno elektrodo. Študiral je gibanje človeške roke med varjenjem in s tem kinematiko oplašene elektrode med taljenjem; to je med varjenjem. Na tem področju je bil pionir v svetu in pri nas in imel predavanja, predvsem na mednarodnih kongresih in posvetovanjih. Objavil je številne članke, referate in ekspertize v domačih in tujih revijah. Pisal je učbenike in sodeloval pri nastajanju znanstvenih knjig, priročnikov in ekspertiz.

Profesor Kralj je bil odličen pedagog in raziskovalec, predan in spoštovan vodja oddelkov in timov ljudi. Bil je mentor več kot stotim študentom pri diplomskih, magistrskih delih in doktoratih.

Bil je pedagog iz prakse, kot radi rečemo tistim, ki pridejo iz industrije predavat na univerzo. Žal je teh primerov pri nas, predvsem na Univerzi v Ljubljani, zelo malo. Za slovensko industrijo je razvil ali sodeloval pri razvoju številnih končnih in uporabnih produktov s področja varilne opreme in naprav, ki so jih serijsko izdelovali v naši industriji za domači in tuji trg.

Tisti, ki profesorja Kralja poznamo že petinštirideset let, smo bili presenečeni nad njegovim čustvenim sprejemom priznanja. Bil je tako močno ganjen, da se je pred občinstvom zahvalil za priznanje, druge izjave oziroma drugih besed pa ni mogel izreči.

Omeniti je treba tudi zelo veliko prepoznavnost profesorja Kralja med udeleženci posvetovanja in varilskega sejma. Tudi to govori, da je letošnje priznanje prišlo v prave roke.

Zaključek

Naj tu zapišem, kar so na popoldanskem družabnem srečanju povedali glavni organizatorji dneva varilne tehnike in prireditelji sejma: glavni namen dneva varilstva z razstavnim in spremljajočim strokovnim programom je bil predstaviti to zelo pomembno stroko javnosti, jo približati mladim in mlade navdušiti za poklic varilca, ki ga v Sloveniji zelo močno primanjkuje.

Dan varilne tehnike je največja strokovna prireditev s področja varjenja v Sloveniji in je zelo pomembna za ohranjanje in razvoj varilske stroke. Treba je vedeti, da je varjenje izjemno pomembno v zelo različnih vejah slovenske industrije. Ogromno izdelkov se izdelava z varjenjem, z uporabo zelo različnih postopkov varjenja. Zato so tovrstna srečanja izrednega pomena za to področje, so poudarili govorniki in številni udeleženci prireditve.

Takšen sejem s posvetovanji in ne nazadnje druženjem veliko pomeni vsem, ki delujemo na varilskem področju. Predstavlja mnogo več kot le izjemno priložnost za najhitrejšo in najcenejšo pridobivanje kupcev iz Slovenije in drugih držav, predvsem iz celotne jugovzhodne Evrope. Pomeni tudi predstavitev novosti, srečanje z obstoječimi kupci, primerjavo s konkurenco in ne nazadnje prijetno druženje.

SVETOVNI DAN MEROSLOVJA IN 150 LET METRSKE KONVENCIJE

MERITVE ZA VSE ČASE, ZA VSE LJUDI

Dominika Rozoničnik

20. maja 2025 po vsem svetu obeležujemo *svetovni dan meroslovja*, ki letos sovpada z izjemno pomembno obletnico: 150 let od podpisa Meterske konvencije, mednarodnega sporazuma, ki je leta 1875 v Parizu postavil temelje za enoten, globalno usklajen in zaupanja vreden sistem merjenja po vsem svetu.

Z meroslovjem in merjenji se v življenju srečujemo vsak dan, na vsakem koraku, pa čeprav se tega niti ne zavedamo. Meroslovje podpira kakovost izdelkov in učinkovitost procesov s hitrimi, točnimi in zanesljivimi merjenji, s čimer omogoča povečanje produktivnosti. Prav tako igra ključno vlogo pri sprejemanju znanstvenih in tehnoloških inovacij, zasnovi in učinkoviti proizvodnji izdelkov, ki so varni in v skladu s potrebami trga, ter pri odkrivanju in preprečevanju nevarnih in neskladnih izdelkov. S točnimi meritvami se zagotavlja osnovna podpora na področju zdravstva in tehnične varnosti, varstva okolja in zdrave hrane. Meroslovje zagotavlja tudi podlago za pošteno trgovanje na državni in mednarodni ravni.

Čeprav se različna merjenja izvajajo že skoraj od začetka človeštva, pa merjenja in merske enote še zdaleč niso bili usklajeni med različnimi deželami. V Franciji je bilo npr. pred revolucijo v uporabi več kot 800 različnih merskih enot, vsaka regija, včasih vsaka tržnica je imela svoje enote. Pred časom Marije Terezije je imela na naših tleh praktično vsaka vas svojo mero za vino ... Tako je pred podpisom Meterske konvencije vladal pri merjenjih precejšen kaos, ki je onemogočal normalno trgovino in življenje.

Danes povezuje več kot 100 držav, ki sodelujejo na osnovi skupnih znanstvenih, tehničnih in institucionalnih standardov in predstavlja enega najdlje trajajočih in najbolj vplivnih mednarodnih znanstvenih dogovorov.

Z Metersko konvencijo je bil ustanovljen Mednarodni urad za uteži in mere (BIPM) s sedežem v Parizu. BIPM usklajuje svetovni sistem merjenja in vodi raz-



Slavnostni govornik na Dnevu meroslovja je bil minister za gospodarstvo, turizem in šport Matjaž Han

voj ter vzdrževanje Mednarodnega sistema enot (SI) – univerzalnega jezika merjenja. SI-sistem vključuje sedem osnovnih merskih enot: meter za dolžino, kilogram za maso, sekundo za čas, amper za električni tok, kelvin za termodinamično temperaturo, mol za množino snovi in kandel za svetilnost. Vse osnovne enote so danes opredeljene na osnovi naravnih konstant, kar zagotavlja njihovo stabilnost, univerzalnost in neodvisnost od fizičnih artefaktov. SI-sistem zagotavlja zanesljivo in sledljivo merilno infrastrukturo za vse aplikacije, od napredne znanosti in vesoljskih tehnologij do vsakdanjih uporab v trgovini in zdravstvu.

Meterska konvencija, podpisana 20. maja 1875 v Parizu, predstavlja temeljni mednarodni dogovor na področju meroslovja. Sprejeta je bila z namenom vzpostavitve skupnega in primerljivega sistema merjenja, ki bi omogočil pošteno trgovino, znanstveno sodelovanje in industrijski razvoj med državami. S to konvencijo se je začelo uradno sodelovanje držav pri razvoju mednarodnih etalonov in definicij osnovnih merskih enot.

Mag. Dominika Rozoničnik, Urad RS za meroslovje

© Avtorji 2025. CC-BY 4.0



Polna dvorana z udeleženci Dneva meroslovja 2025

BIPM sodeluje z nacionalnimi meroslovnimi inštituti in organizira mednarodne primerjave etalonov in merilnih zmogljivosti, ki so osnova za medsebojno priznavanje rezultatov meritev in kalibracijskih certifikatov. S tem je omogočena globalna sledljivost meritev do mednarodnih etalonov, kar pomeni, da lahko merilni rezultat, izveden v kateri koli državi, velja kot zaupanja vreden kjer koli drugje po svetu. Z vključevanjem najsodobnejših znanstvenih dosežkov SI-sistem ostaja dinamičen in se prilagaja razvoju znanosti, industrije in potreb družbe.

Za mednarodno usklajen sistem zahtev za merilne instrumente, ki se uporabljajo na področju trgovine, zdravstva, tehnične varnosti, zaščite okolja in uradnih postopkov (npr. električni števci, tehtnice, vodomerni, merilni sistemi za gorivo, merilniki hitrosti v cestnem prometu itd.), pa skrbi Mednarodna organizacija za zakonsko meroslovje (OIML), ki razvija mednarodna priporočila za tovrstne merilne instrumente. S tem zagotavlja, da so zahteve za merilne instrumente na področju zakonskega meroslovja mednarodno usklajene, omogoča lažje priznavanje dokazil glede merilnih instrumentov med državami, uporabnikom in potrošnikom pa zagotavlja točna in zaupanja vredna merjenja.

V Sloveniji skrbi za vzpostavitev, razvoj in vzdrževanje nacionalnega meroslovnega sistema Urad RS za meroslovje, ki deluje v okviru Ministrstva za gospo-

darstvo, turizem in šport. Urad vodi sistem zagotavljanja sledljivosti meritev in uvaja mednarodna priporočila za merilne instrumente v nacionalne predpise. Urad skupaj s pooblaščenimi inštitucijami (t. i. nosilci nacionalnih etalonov) skrbi za razvoj nacionalnih etalonov, skupaj s t. i. imenovanimi organi pa za merilne instrumente na področju zakonskega meroslovja. Pri zagotavljanju zaupanja v meritve, ki jih vsakodnevno izvajamo in uporabljamo – od goriva na črpalkah do medicinskih pripomočkov, laboratorijskih meritev in meritev v znanosti – je pomembno tudi sodelovanje z gospodarstvom, izobraževalnimi ustanovami, potrošniki in drugimi uporabniki nacionalnega meroslovnega sistema.

Svetovni dan meroslovja vsako leto organizirata BIPM in OIML skupaj z nacionalnimi in regionalnimi meroslovnimi organizacijami. Mednarodna skupnost meroslovcev s sodelovanjem in nenehnim razvojem zagotavlja, da meritve ostajajo točne, sledljive in primerljive, kar je ključno za zaupanja vredno globalno delovanje. Leta 2023 je tudi UNESCO uradno vključil ta dan v svoj koledar mednarodnih dni, s čimer je dodatno poudaril ključno vlogo meroslovja v znanosti in izobraževanju.

Tema letošnjega dneva meroslovja Meritve za vse čase, za vse ljudi poudarja, da so meritve oblikovale našo preteklost, omogočajo napredek v sedanjosti in podpirajo trajnostne rešitve za prihodnost. Hkrati



Skupinska fotografija ob zaključku dogodka z vsemi sodelujočimi na dogodku, bivšimi in zdajšnjim direktorjem Urada RS za meroslovje ter direktorji oziroma dekani nosilcev nacionalnih etalonov v Sloveniji

opozarja na pomen meroslovja, ki mora biti dostopno vsem – od vsakodnevnih uporabnikov do najnaprednejših znanstvenih raziskav tako na Zemlji kot v vesolju.

Ob tej priložnosti se številne države pridružujejo praznovanju s strokovnimi dogodki. V Sloveniji je osrednja slovesnost potekala v Hotelu Bernardin v Portorožu. Slavnostni govornik je bil minister za gospodarstvo, turizem in šport Matjaž Han. Poleg njega pa sta vse udeležence nagovorila tudi direktor BIPM dr. Martin Milton in direktor Urada RS za meroslovje dr. Samo Kopač.

Dogodek je postregel tudi z bogatim kulturnim programom, s slikovito predstavitvijo zgodovine meroslovja skozi 150 let, ki jo je pripravil dr. Rado Lapuh, in z zelo zanimivo okroglo mizo s strokovnjaki, ki so vsak s svojega področja delovanja oziroma raziskovanja predstavili svoj pogled na pomen Metrske konvencije.

Zanimive izkušnje in videnja so s polno dvorano udeležencev delili red. prof. dr. Bojan Ačko s Fakultete za strojništvo, UM; globalni direktor kakovosti v Iskraemeco, d. d., Grego Kita; direktorica v Elpro Lepenik & Co. d. o. o. Aleksandra Lepenik in red. prof. dr. Iztok Podbregar s Fakultete za organizacijske vede, UM. Zanimivo je bilo prisluhniti njihovim odgovorom na vprašanja:

»Česa na svojem področju ne bi mogli, uspeli, kaj ne bi bilo možno – če ne bi bilo Metrske konvencije?« Še bolj presenetljiva so bila njihova razmišljanja ob

vprašanju: »Kaj želijo ali celo napovedujejo drugače, še boljše za naslednjih 150 let?«

Vsi sodelujoči so prišli do iste točke, da si življenja in razvoja, kot ga poznamo danes, ne znajo predstavljati brez Metrske konvencije. To dejstvo še dodatno potrjuje trditev, ki jo je že leta 1821 povedal John Quincy Adams, da nas merjenja spremljajo v vsakodnevnem življenju, da so ključna za industrijo, nepogrešljiva pri menjavi in trgovanju, so osnova znanosti tako za fizika kot za filozofa, arheologa ali arhitekta.

To še dodatno potrjuje že znano dejstvo, da je znanje o merjenjih eden prvih elementov izobrazbe, ki se ga naučijo tudi tisti, ki se nikoli ne naučijo pisati in brati.

Več informacij o meroslovju in Uradu RS za meroslovje je na voljo na spletni strani Urada RS za meroslovje: www.mirs.gov.si.





Vabljeni na premiero

tehnološke evolucije v obrambni industriji

Obiščite SIDEC 2025, prvi mednarodni sejem in konferenco obrambnih tehnologij nove generacije v regiji. Spoznajte ključne domače in mednarodne strokovnjake ter predstavnike oboroženih in varnostnih sil, s poudarkom na inovacijah na področju naprednih obrambnih rešitev.

Na dogodku boste imeli priložnost srečati:

- visoke častnike partnerskih in tujih vojsk, odgovorne za procese opremljanja na odločevalski ravni,
- domače in tuje vojaške atašeje,
- domače in tuje ekonomske svetovalce,
- civilne strokovnjake s področja raziskav in razvoja.

OSREDOTOČILI SE BOMO NA ŠTIRI GLAVNA PODROČJA:



KIBERNETSKA
VARNOST



TEHNOLOGIJE
PRIHODNOSTI
(R&R)



ENERGETSKA
UČINKOVITOST
& ODPORNOST



UMETNA
INTELIGENCA

STROKOVNA EKSKURZIJA SDFT 2025 – ČEŠKA IN MORAVSKA Z NAVDIHOM

Slovensko društvo za fluidno tehniko (SDFT) je ponovno uspešno organiziralo tridnevno strokovno ekskurzijo, ki je tokrat potekala na severu Češke in v osrčju Moravske. Ekskurzija je udeležencem ponudila vpogled v sodobno industrijo fluidne tehnike, obenem pa prijetne družabne trenutke ob kulturnem in pivovarskem utripu regije.



Na poti domov nas je čakal še »skrivni« postanek, ki je popestril že tako bogat program.

1. dan: četrtek, 22. maj – Noč, ki se je začela zgodaj

Na pot smo se podali že ob 1^h zjutraj iz Ljubljane, preko Maribora in mimo Dunaja do mesteca Vrchlabí na severu Češke. V dopoldanskem času smo obiskali podjetje ARGO-HYTOS iz skupine VOITH. Dan smo zaključili z nastanitvijo v hotelu in prijetno tradicionalno večerjo v pristnem češkem vzdušju.

2. dan: petek, 23. maj – Od Krkonošev do moravske metropole

Po zajtrku nas je pot vodila proti jugu, v Brno. Tam smo dopoldne obiskali podjetje Poclain Hydraulics. Popoldne je sledil sproščen obisk mesta Brno, vključno z ogledom znamenite pivovarne Starobrno, kjer smo spoznali umetnost varjenja piva.

3. dan: sobota, 24. maj – Zaključek v duhu tradicije in skrivnosti

Zadnji dan je bil namenjen kulturnemu doživetju – obiskali smo Center slovaških tradicij v vasi Modra. Ob pokušini lokalnih dobrot in ogledu tradicionalnih obrti smo začutili pristen utrip podeželskega vsakdana.

Na poti domov nas je čakal še »skrivni« postanek, ki je popestril že tako bogat program.

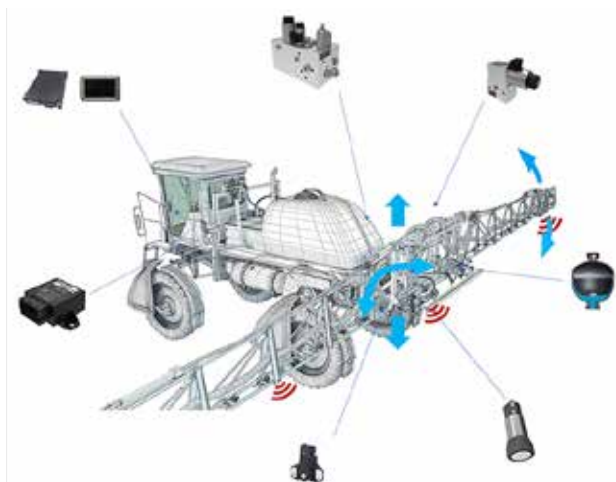
Domov smo se vrnili v poznih večernih urah, bogatejši za nova strokovna znanja, poslovne stike in prijetne spomine.

Dragan Grgić, Nevija, d. o. o., Maribor

© Avtorji 2025. CC-BY 4.0

Podjetje **ARGO-HYTOS** s sedežem na Češkem (natančneje v kraju Krajané pri Vrchlabíju) je pomemben del mednarodne skupine ARGO-HYTOS Group, ki ima dolgoletno tradicijo na področju razvoja in proizvodnje komponent ter sistemov za hidravlično in mazalno tehniko.

V podjetju so nas sprejeli zelo gostoljubno in nam temeljito predstavili razvojno-proizvodni program proporcionalnih in standardnih ventilov, vključno z elektromagnetni za vse vrste hidravličnih ventilov.



Sistem za nadzor višine pršenja (SHC) je podporni sistem za kmetijske škropilnice, ki samodejno uravnava razdaljo med pršilnim drogom in rastlinami, ki jih je treba obdelati.

Podjetje deluje kot razvojni in proizvodni center za celotno skupino.

Mesto Vrchlabí je v severovzhodnem delu Češke. Leži ob reki Labi, ob vznožju Krkonoš (Rezenških Alp), in je znano kot vrata v Krkonoški narodni park (KRNAP).

To je turistično priljubljeno območje, še posebej v zimskem času, saj je v bližini znanih smučarskih središč, kot je Špindlerův Mlýn.



Kljub celonočnemu potovanju, pozornemu poslušanju prijaznih gostiteljev in temeljitemu ogledu proizvodnje smo pred odhodom v mesto ohranili dobro razpoloženje.

Podjetje **POCLAIN HYDRAULICS, s. r. o.**, v Brnu na Češkem je pomemben del mednarodne skupine Poclain (kot tudi »naš« Poclain Hydraulics d. o. o. v Žireh), ki je specializirana za razvoj, proizvodnjo in trženje hidrostatičnih in elektrohidravličnih pogonskih sistemov.

Brnski obrat, ustanovljen leta 1992, je eden največjih proizvodnih obratov skupine in ima ključno vlogo pri globalni proizvodnji hidravličnih motorjev.

Brno, drugo največje mesto Češke, ima ugodno geografsko lego, saj leži blizu treh srednjeevropskih prestolnic: Prage, Dunaja in Bratislave, in se ponaša z bogato kulturno dediščino, vključno z znamenitostmi, kot so katedrala svetih Petra in Pavla, grad Špilberk ter vila Tugendhat, ki je na seznamu UNESCO.

V Brnu deluje več univerz, med njimi Masarykova univerza in Tehniška univerza, ki skupaj privabljata približno 65.000 študentov.

Mesto je tudi dom raziskovalnih centrov, kot je CEITEC, ki spodbuja sodelovanje med akademsko sfero in industrijo.



Maksimalna zbranost ob predstavitvi POCLAIN HYDRAULICS, s. r. o., v Brnu in kar nekaj korakov skozi proizvodne hale podjetja – vse to je še dodatno spodbudilo dobro razpoloženje udeležencev.

16. INDUSTRIJSKI FORUM IRT: PRIHODNOST PROIZVODNJE BO TEMELJILA NA SODELOVANJU ČLOVEKA IN ROBOTA

Miran Varga

Zgolj stroji in znanje niso več dovolj za doseganje industrijske odličnosti. Kot ugotavljajo govorci na letošnjem Industrijskem forumu IRT, so zaposleni tisti, ki živijo kulturo vsakega zelo uspešnega podjetja, vodje pa tisti, ki imajo največji vpliv na poslovanje.



16. Industrijski forum IRT – razstavni prostor

Kongresni center hotela Slovenija se je v začetku junija spremenil v središče strokovnega dogajanja, povezovanja in navdiha – na »sporedu« je bil namreč že 16. Industrijski forum inovacij, razvoja in tehnologij. Gre za osrednje srečanje strokovnjakov iz industrije, raziskovalnih institucij in izobraževalnih ustanov, na katerem se izmenjujejo znanja, izkušnje in vizije za prihodnost. »Več kot 380 udeležencev v dveh dneh je dokaz, da IF IRT ostaja največji strokovni dogodek domače industrije,« je ponosno

dejal Darko Švetak, glavni urednik revije IRT3000 in organizator Industrijskega foruma IRT.

»Sodobna industrija ima veliko izzivov, vodenje je eden največjih. Krmarjenje po spremembah v industrijskem okolju zahteva odlične vodje. Ljudi, ki so sposobni opazovati, kaj se dogaja okoli njih, v njih, in razumeti svet okoli sebe. So strokovnjaki dobri vodje? Ne vedno, se je pa vodenja vsekakor možno naučiti. To bo tudi nujno potrebno, saj se podjetja v vseh panogah gospodarstva soočajo z razkorakom med vodenjem in kadrovanjem – pogostim izzivom na poti do industrijske odličnosti,« je dejal dr. Blaž Florjanič, direktor razvoja v podjetju BSH Hišni aparati, ter dodal: »Vodja mora vedeti, kaj zaposleni znajo in kako delajo. Kakovostno vodenje podjetjem prinaša hitrejšo odločanje, nižjo fluktuacijo ključnih kadrov,

Miran Varga, IRT3000

© Avtorji 2025. CC-BY 4.0

boljše sistemsko sodelovanje – zato gradite učeča podjetja, ki od zaposlenih dobijo zavzetost in ne le transakcijskega odnosa menjave časa za denar.«

Vodenje ni tehnična stroka

Na okrogli mizi z naslovom Vodenje ni tehnična stroka so strokovnjaki razpravljali o pomenu vodenja za industrijsko odličnost. Vodenje je bilo neka kšna rdeča nit prvega dela Industrijskega foruma IRT, saj podjetja ugotavljajo, da zgolj stroji in znanje niso več dovolj za doseganje industrijske odličnosti. Zaposleni so tisti, ki živijo kulturo vsakega zelo uspešnega podjetja.

»Vodja ni le izvedbena funkcija, je prevzemanje odgovornosti. Dober vodja posluša zaposlene in ne sprejema odločitev brez ljudi. Velik izziv sodobnih vodij je usklajevanje pričakovanj, ne le do zaposlenih, temveč tudi do vodstva oziroma lastnika,« je menila Saška Rihtaršič, direktorica Danfoss Trata, nosilka priznanja Artemida 2024 Združenja Manager.

Zdravka Zalar, direktorica podjetja Smartis in predsednica projekta Inženirke in inženirji bomo!, pa je spomnila na velike razlike med vsemi generacijami zaposlenih, ki so danes na trgu dela. »Mlajši sodelavci ne marajo ukazovanja oziroma vojaškega načina vodenja. V poslu se želijo dokazati, pokazati svoje znanje in sposobnosti, zato jim je treba dati priložnost, jim prisluhniti, izkoristiti njihovo mladostno energijo. Predvsem pa to vse naštetu kombinirati z izkušnjami in modrostjo drugih sodelavcev. Menim, da je prav to zmagovalna kombinacija. Za kaj takega pa podjetje potrebuje vodjo s čustveno inteligenco, saj lažje usklajuje in usmerja generacijsko mešane ekipe zaposlenih.«

Pridobiti zaupanje zaposlenih pa je po mnenju Mojce Ciglarič, dekanje Fakultete za računalništvo in informatiko Univerze v Ljubljani, ključna naloga vodje. »V akademskem okolju so razlike pri delu zaposlenih ogromne. Sodelavec mi je pred kratkim dejal, da je bila včasih strokovnost glavna odlika, saj so z njo predavatelji pritegnili pozornost študentov, danes pa morajo za pridobivanje pozornosti 'pripovedovati vice in žonglirati'. Se pa oblikuje nov trend voditeljstva v skupinah, saj si skupine same poiščejo vodjo med svojimi člani.«

O tem, da so vsi vodje avtoritativni, ni dvoma, čeprav svojo avtoriteto dosežejo na različne načine. »Vodenje je vzpostavljanje in upravljanje odnosov. Vodja upravlja veliko osebnosti, pričakovanj, preteklosti, izkušenj; ko je v enačbi kolektiv, je izziv še večji. Čustvena pismenost vodje zato postaja nuja, sposobnost, da vodja stopi v povsem nove čevlje,« je dejal Marko Divjak, predavatelj na DOBA fakulteti, in zaključil: »Dober vodja je trener in mentor, ki dovoli, da ga učenec prehiti.«

Izdelke je treba prodati

Še tako dober inženir mora priznati, da je od njegove inovacije do tržne uspešnice dolga pot – pa še ta se

pogosto ne konča le s prodajo izdelka. Kot je udeležencem Industrijskega foruma IRT pojasnila Maruša Grah, vodja B2B središča pri Društvu za marketing Slovenije, se z dobro tržno strategijo zmanjša poslovno tveganje. »Vsako podjetje mora imeti načrt, kako bo pravi izdelek spravilo do pravih kupcev. Pri oblikovanju tržne strategije naj zato sodelujejo vsi v podjetju, saj zgolj vlaganje v razvoj samo po sebi ne zagotavlja uspeha. Razmišljati je treba o tem, kaj potrebuje trg in kako ta cilj doseči. Preprosto preveč je na kocki, da bi ravnali drugače.«

Če raziskuješ, najdeš odgovor!

Forum je letos gostil tudi aktualno inženirko leta Rebeko Kropivšek Leskovar, ki je z udeleženci delila svoje izkušnje in poglede na vlogo inženirk v sodobni industriji. Glede vodenja je povedala naslednje: »Z ljudmi je treba znati delati. Tehnologija je res napredna, a za njeno uporabo ne rabiš nujno inženirja – je pa inženir tisti, ki jo kreira. Glavna naloga v razvoju je razviti tehnologijo, ki ji bodo ljudje zaupali in jo uporabljali.«

Tudi uvajanje novih tehnologij, kot je npr. umetna inteligenca, v poslovanje je izziv. Rebeka Kropivšek Leskovar zato meni, da je organizacijska kultura zelo pomembna, saj vpliva tudi na razvoj in rabo tehnologije v podjetjih. »UI ima dobro lastnost, da je precej prilagodljiva. Večinoma oponaša ljudi – pride s praznim listom papirja in oponaša uporabnika.«

Odkar je pridobila naziv inženirka leta, je precej bolj vplivna – in to jo preseneča. »Dejansko me je presenetilo, koliko imam vpliva, ko spregovorim. Nisem bila navajena, da ima lahko inženirka tako prodoren glas.«

Študentski prebliski in preboji

Veliko zanimanje občinstva je požela predstavitev osmih obetavnih študentskih projektov in inovacij. Natečaj, poimenovan Študentska ideja s poslovnim potencialom, je odprla Leja Rebolj s predstavitvijo ideje kako izdelovati najrazličnejše izdelke iz odpadnih surovin. Njena prva rešitev je pomter, biopolimerna embalaža iz krompirjevih olupkov, a načrtuje že vrsto novih izdelkov, za katere bodo podlaga kavne usedline, koruzni listi in drugi ostanki ter odpadki.

Ekipa Courtsight je predstavila istoimensko spletno platformo za avtomatizirano video in statistično analizo tekem za učinkovitejše vpoglede v igro – trenutno deluje v košarki, algoritme umetne inteligence pa je moč prilagoditi tudi drugim športom. Bistvena prednost: analizo košarkarske tekme iz treh ur skrajša v manj kot pol ure.

Sledilo je več samostojnih inovatorjev med študenti. Patrik Jakopiček je predstavil model za napovedovanje odjema toplote v sistemu daljinskega ogrevanja, ki ga bo letošnje jesen že preizkusila Energetika Maribor, prototipna aplikacija pa je na natečaju dosegla 2. mesto. Tretje mesto na natečaju je osvojil



Okrogla miza – 16. Industrijski forum IRT

Matevž Menart z rešitvijo Peletrudor, ekstrudorjem za 3D-tisk iz peletov namesto iz filamentov. Prvo mesto je po mnenju strokovne žirije pripadlo rešitvi Blow it za inteligentni nadzor tlaka v pnevmatikah dirkalnih vozil, njen avtor Vid Nemec pa je bogatejši za nagrado v višini 1.500 evrov.

Kot zelo inovativno idejo bi izpostavili še avtonomni inkubator za gojenje vrtnin v kuhinjskem pohištju. Mojster za urbano vrtnarjenje Renato Žaberl pa je prepričan, da lahko umetna inteligenca v omari rastlinam pomaga rasti vsaj tako učinkovito kot na prostem.

Inovator Gal Guštin pa je, motiviran z zdravstveno težavo svoje sostanovke, razvil rešitev AURISE – tih vibracijski alarm za uporabnike kohlearnih vsadkov. Majhna, magnetno pritrjena naprava se poveže na slušni vsadek in vibrira ob nastavljenem času ter tako poskrbi za zanesljivo in diskretno prebujanje z vibriranjem ali nežno melodijo.

Na podatkih industrija stoji

Predstavniki slovenskih proizvodnih podjetij so z zanimanjem prisluhnili predavanju podjetja MEDIUS, ki je razvilo podatkovno platformo GAMAYUN AI, ki obvlada odkrivanje anomalij, prediktivno vzdrževanje, digitalne dvojčke in naloge generativne UI. »Naša rešitev podjetjem skrajša pripravo podatkov za 40 do 60 % in poveča stabilnost izvajanja modelov UI, tako urejeni podatki pa so uporabni tudi za trening algoritmov umetne inteligence,« je povedal Viktor Brajak, direktor podjetja MEDIUS.

O izzivih in priložnostih malih proizvodnih podjetij v času naraščajočih stroškov in globalne konkurence sta spregovorila Jakob Robič in Karsten Kranz ter poudarila, da je digitalizacija poslovanja imperativ tudi za majhna podjetja, saj urejeni in natančni po-

datki sprostijo več časa zaposlenim, avtomatizacija pa jim pomaga pri vrsti nalog v prodaji in poprodaji.

Proizvodna prihodnost: sodelovanje človek-robot

Tudi v Sloveniji smo priča vsakoletni rasti števila sodelujočih robotov v proizvodnji. Trend industrija 5.0 pa narekuje premik od popolne in marsikje neurešničljive avtomatizacije na k človeka usmerjeni proizvodnji ter izpostavlja potrebo po ravnovesju med učinkovitostjo in blagostanjem zaposlenih.

Robert Ojsteršek s Fakultete za strojništvo na Univerzi v Mariboru je predstavil ugotovitve študije Vpliv zasedenosti delavca na delovno obremenitev, stres in učinkovitost – ko delavec na delovnem mestu sodeluje z robotom. »Zanimalo nas je, ali je sodelovalno delovno mesto primerno za slovenska proizvodna podjetja in kakšen vpliv na delavca ima. Teorija je jasna: s sodelovanjem človek-robot pridobimo učinkovitost in prilagodljivost v enem, pri čemer je seveda pomembno, da se robot prilagaja človeku in ne obratno,« je dejal Ojsteršek.

Omenjena študija je merila različne ravni stresa in obremenitev pri opravljanju dela v navezi s sodelujočim robotom. Raziskovalci so ugotovili, da stres zaposlenih naraste le v primerih, ko je robot za delavca prehitel, sicer pa ne – ko se delavec navadi na robota, stres načeloma pade. »Ugotavljamo, da bi ob uvedbi sodelovalnih delovnih mest podjetja morala opraviti tudi teste sposobnosti posameznih zaposlenih ter tako najti t. i. referenčne vrednosti posameznega delavca in mu prilagoditi delovanje robota. Potem pa razlike v stresu pri delu skorajda ni več, učinkovitost le malo zaniha. Rezultat: podjetje dobi več izdelkov, delavec pa je razbremenjen,« je povedal Ojsteršek in zaključil: »Prihodnost v in-

dustriji mora poskrbeti, da ne bomo preobremenili ljudi. Uvedba sodelujočih robotov je praktična rešitev za doseganje blagostanja zaposlenih ob zadovoljivi učinkovitosti za podjetje.»

Natančnost izdelave in kontrola kakovosti

Drugi dan 16. Industrijskega foruma IRT so bili v ospredju primeri dobrih praks iz domače industrije. Podjetje ABB d. o. o. je pokazalo, kako je moč z novimi robotskimi krmilniki ABB OmniCore dosežati izjemno natančnost poti robotskih rok (na 0,03 mm natančno) ob sočasni energetski učinkovitosti. Udeležence so zanimale tudi napredne 3D-tehnologije za skeniranje in njihova uporaba pri nadzoru in kontroli kakovosti industrijskih izdelkov. Rudolfovo – znanstveno in tehnološko središče Novo mesto – je namreč pripravilo zelo zgovorno primerjavo omenjenih 3D-tehnologij in računalniškega vida.

Ljubljanska strojna fakulteta pa je skupaj s partnerji iz industrije (Mahle, Domel) razvila odprtokodno platformo OpenEOL, ki je namenjena končni kontroli (EOL) izdelkov v proizvodnem procesu. Odlikujejo jo enostavna uporaba, prilagodljivost in integracija z industrijsko strojno opremo. Podpira analizo velikih podatkov in strojno učenje.

Tudi to, kako je obdelovanec postavljen v obdelovalni stroj, lahko izjemno vpliva na končni rezultat. Posebej, če gre za napredne načine obdelave, kot je predstavil Joško Valentinčič z ljubljanske Fakultete za strojništvo na primeru procesa plazemskega elektrolitskega poliranja. Rezultati kažejo, da sta orientaciji 60° in 90° glede na gladino elektrolita zagotovili najboljšo površinsko obdelavo tako za ravne kot valjaste vzorce. Obdelava je bila dokaj enakomerna na vseh površinah. Valjasti vzorci, polirani pri 60°, so dosegli najbolj enakomerno kvaliteto površine zaradi ugodnega kroženja elektrolita, medtem ko je ravne najboljše polirati v orientaciji od 60° in 90°.

Zagotavljanje kakovosti izdelkov je mogoče tudi s pomočjo merjenja tlaka v orodju. Kot primer dobre prakse je podjetje Hella Saturnus Slovenija d. o. o. pokazalo, kako na ta način dosega stabilnost proizvodnega procesa in zagotavlja visoko kakovost.

Na 3D in druge meritve se izjemno zanašajo tudi proizvajalci električnih vozil, posebej baterijskih sklopov. Za predstavitev prednosti uporabe industrijske računalniške tomografije (CT) pri ocenjevanju baterijskih celic in modulov, namenjenih električnim vozilom v avtomobilski industriji, je poskrbelo hrvaško podjetje TOPOMATIKA d. o. o.

Inovacije za industrijo

Industrijskega foruma ni brez predstavitve prebojnih inovacij. Laboratorij za fluidno tehniko (LFT) na ljubljanski Fakulteti za strojništvo je predstavil

razvoj novega proporcionalnega potnega ventila, zasnovanega z mislijo na funkcionalno integracijo in aditivno izdelavo. Avtorja rešitve Jan Bartolj in prof. dr. Franc Majdič sta v konstrukcijo vključila integrirane pretočne kanale, ki izboljšujejo hidravlično učinkovitost ter omogočajo znatno zmanjšanje mase in števila sestavnih delov.

Podjetje LTH Castings d. o. o. je predstavilo lastno inovacijo: avtomatizirano oskrbovanje robotskih celic z izdelki z uporabo avtonomno vodenega vozila. Ta omogoča optimiziran in samodejen transport materiala med vmesnim skladiščem in robotskimi celicami, s čimer zmanjšajo ročne posege, povečujejo produktivnost in izboljšajo varnost v proizvodnem okolju. V linijo so vključene 4 robotske celice z 8 obdelovalnimi stroji in paletna linija, ki skrbi za distribucijo izdelkov od robotskih celic, skozi pralni sistem do čiste sobe za nadaljnjo obdelavo.

Veliko pozornosti udeležencev je bila deležna tudi predstavitev robotskega sistema za pobiranje razsutih objektov iz zaboja z uporabo globokih nevronskih mrež in robotskega operacijskega sistema, ki ga je razvilo podjetje Moderne tehnologije d. o. o. Sistem za pobiranje razsutih objektov iz zaboja omogoča robotizacijo takšnih delovnih mest, pri čemer zaznava vsebino zaboja s pomočjo 3D-kamere. Na zajetih podatkih detekcijski algoritem najde zaboj in lokalizira objekte v njem. S pomočjo geometrijskih podatkov robota se v naslednjem koraku generira robotska trajektorija za pobiranje objekta, ki je kinematično izvedljiva in brez trkov z okolico.

Pobiranju sledi sestavljanje. Podjetje ELVEZ d. o. o. je v okviru projekta IntelliMan razvilo robotski sistem, izboljšan z umetno inteligenco, ki omogoča natančno in zanesljivo vstavljanje kovanih vodnikov (beri: kablov) v konektorje v avtomobilski industriji. Sestavljanje kabelskih snopov je tako povsem avtomatizirano.

Krožno gospodarstvo postaja nuja

Industrijska doba nas je naučila, da viri niso neskončni. Evropska unija zato uvaja strožje regulacije, ki spodbujajo krožno gospodarstvo. Nova Uredba o okoljsko primerni zasnovi trajnostnih proizvodov (ESPR 2024/1781), ki je začela veljati julija lani, zahteva celosten pristop k zasnovi izdelkov: daljša življenjska doba, manj odpadkov in boljša reciklabilnost. Ključna novost je digitalni potni list izdelka (DPP), ki omogoča sledljivost materialov, ogljičnega odtisa, možnosti popravila in reciklaže. To bo koristilo potrošnikom, proizvajalcem in regulatorjem, saj bodo informacije o trajnosti izdelkov postale bolj dostopne. V Gorenju krožno gospodarstvo jemljejo skrajno resno, zato so udeležencem predstavili napredek na področju razvoja trajnostnih gospodinjstev aparatov in avtomatiziranega beleženja podatkov.

DEVETNAJSTA MEDNARODNA FLUIDNOTEHNIČNA KONFERENCA V LINKÖPINGU

Mednarodna fluidnotehnična konferenca, imenovana tudi SICFP, poteka vsaki dve leti – izmenoma v finskem Tampereu in švedskem Linköpingu. Letošnje leto je bila med 2. in 4. junijem v lepem švedskem mestu Linköping. Konferenca spada med bolj prepoznavne s področja fluidne tehnike v svetovnem merilu in uspešno povezuje sodobne trende in inovacije med proizvajalci, uporabniki in znanstveniki.



Prof. dr. Liselott Ericson ob otvoritvi konference SICFP'25



Udeleženci konference SICFP'25 na ogledu tamkajšnje laboratorija za fluidno tehniko

Konferenco s tematskim naslovom Fluidni in mehatronski sistemi je gostila prof. dr. Liselott Ericson. Na konferenci je bilo 75 udeležencev, predstavljenih je bilo 50 prispevkov, od tega 20 % iz Švedske, 20 % iz Kitajske, 15 % iz Nemčije, 13 % iz Amerike, 8 % iz Finske, 8 % iz Slovenije, 5 % iz Japonske, po 3 % iz Francije, Avstrije, Brazilije in Velike Britanije. Od vseh udeležencev je bilo 34 % predstavnikov iz industrije in 66 % iz akademskih krogov.

Najprej so bili trije pozdravni govori. Prvi je nastopil prof. Matts Karlsson, prorektor za raziskave, sledil je pozdravni govor gostiteljice in glavne organizatorke prof. Liselott Ericson in nato še prof. Pettra Krusa, ki je predstavil glavne mejnike dosedanjih konferenc SICFP. Prvo uvodno predavanje je imel prof. Perry Y. Li, vodja centra za fluidno tehniko na univerzi v Minnesoti, ZDA. Predstavil je vidike digitalne hidravlike in elektrifikacije v mobilni hidravliki. Drugo vabljenno predavanje je imel prof. Jean-Charles Maré iz INSA iz Toulousea, Francija. Njegovo predavanje je bilo osredotočeno na prihodnost razvoja fluidnotehničnih sistemov za uporabo v letalstvu. Tretje vabljenno predavanje z naslovom Modularno in tiho: krmiljenje in zaviranje preko električnih žic v mobilni hidravliki je izvedel dr. Björn Eriksson iz podjetja Parker Hannifin, četrto vabljenno predavanje z naslovom Globalne verige vrednosti – izzivi za prihodnost pa prof. Jakob Rehme.

Tridnevna konferenca je potekala v dveh vzporednih sekcijah, na katerih so bila predstavljena sledeča področja: hrup in vibracije, komponente, črpalke, elektrohidravlični aktuatorji, modeliranje in simulacije, aplikacije, ventili in mobilni stroji.

Fakulteta za strojništvo Univerze v Ljubljani je predstavila tri prispevke: dr. Ana Trajkovski prispevek Drsní kontakti 3D natisnjenih potnih ventilov: tribološke lastnosti primernih materialnih parov, Jan Bartolj temo SLM 3D natisnjeni proporcionalni potni ventil za vodno hidravliko, test z optimizirano priključno ploščo, dr. Franc Majdič pa prispevek z naslovom Novi zasučni proporcionalni potni ventil za humanoidnega robota.

Vsi udeleženci konference smo bili povabljeni na ogled največjega laboratorija za fluidno tehniko na Švedskem – ta je del oddelka za fluidne in mehatronske sisteme na Univerzi v Linköpingu.

Naslednja skandinavska mednarodna konferenca SICFP bo čez dve leti v finskem mestu Tampere.

Izr. prof. dr. Franc Majdič
UL, Fakulteta za strojništvo

© Avtorji 2025. CC-BY 4.0

**FS**UNIVERZA V LJUBLJANI
Fakulteta za strojništvo

POLETNA ŠOLA STROJNIŠTVA

26. - 29. avgust



Delavnica dekleta za dekleta



Robotska izdelava
silikonskih kalupov za
čokoladne praline



PRIJAVI SE!

PROF. DR. NIKO HERAKOVIČ – NOVI PREDSEDNIK UPRAVNEGA ODBORA UNIVERZE V LJUBLJANI

Z veseljem sporočamo, da je bil prof. dr. Niko Herakovič, redni profesor na Fakulteti za strojništvo Univerze v Ljubljani, 24. aprila 2025 izvoljen za predsednika Upravnega odbora Univerze v Ljubljani za mandatno obdobje 2025–2029.



Prof. dr. Niko Herakovič (foto: osebni arhiv)

Vrhunski strokovnjak s prebojnimi dosežki

Prof. dr. Herakovič je ena vidnejših osebnosti slovenskega raziskovalnega in strokovnega prostora na področju industrijske avtomatizacije, pametnih tovarn in prenosa znanja v gospodarstvo. Na Fakulteti za strojništvo UL vodi laboratorij LASIM in je predstojnik Katedre za izdelovalne tehnologije in sisteme. Doktorski naziv je pridobil leta 1995 na Tehniški univerzi RWTH Aachen v Nemčiji, eni vodilnih tehniških univerz v Evropi.

Njegova kariera obsega bogate izkušnje tako v akademskem kot v industrijskem okolju. Več let je deloval v industriji, štiri leta pa je bil tudi državni podsekretar na Ministrstvu za izobraževanje, znanost in šport (MIZŠ). Poleg tega je bil član in predsednik različnih upravnih odborov ter strokovnih združenj doma in v tujini.

Njegova bibliografija vključuje več kot 750 enot – znanstvenih in strokovnih člankov ter konferenčnih prispevkov – sodeloval pa je v več kot 50 domačih

in mednarodnih raziskovalnih ter industrijskih projektih. Kot gostujoči profesor je predaval na številnih uglednih univerzah v tujini, kjer je sodeloval tudi v razvojnih projektih s področja avtomatizacije in digitalizacije.

Prebojni projekti, ki postavljajo Slovenijo na zemljevid pametne industrije

Eden njegovih največjih dosežkov je sodelovanje pri vzpostavitvi prve evropske tovarne robotov Yaskawa v Sloveniji. Za japonsko korporacijo Yaskawa Electric je s svojo raziskovalno ekipo razvil celovit proizvodno-logistični sistem, ki je bil zasnovan v digitalnem okolju s pomočjo tehnologije digitalnih dvojčkov in umetne inteligence, še preden se je fizična gradnja sploh začela. Ta pionirski pristop je bil leta 2019 nagrajen s **Puhovo nagrado**, najvišjim državnim priznanjem za dosežke v tehničnih znanostih.

V okviru LASIM-a je s sodelavci vzpostavil tudi prvi in edini delujoči demonstracijski center Pametna tovarna v Sloveniji, ki temelji prav na digitalnih dvojčkih in umetni inteligenci. Ta center predstavlja pomembno platformo za razvoj, testiranje in prenos znanja v prakso.

Na Fakulteti za strojništvo smo ponosni, da bo prof. dr. Niko Herakovič svojo bogato strokovno, raziskovalno in vodstveno pot nadaljeval kot predsednik Upravnega odbora UL. Prepričani smo, da bo s svojo vizijo, povezovalnostjo in mednarodnimi izkušnjami pomembno prispeval k razvoju univerze in njenemu ugledu doma in po svetu.

Iskrene čestitke in veliko uspeha pri opravljanju nove odgovorne funkcije!

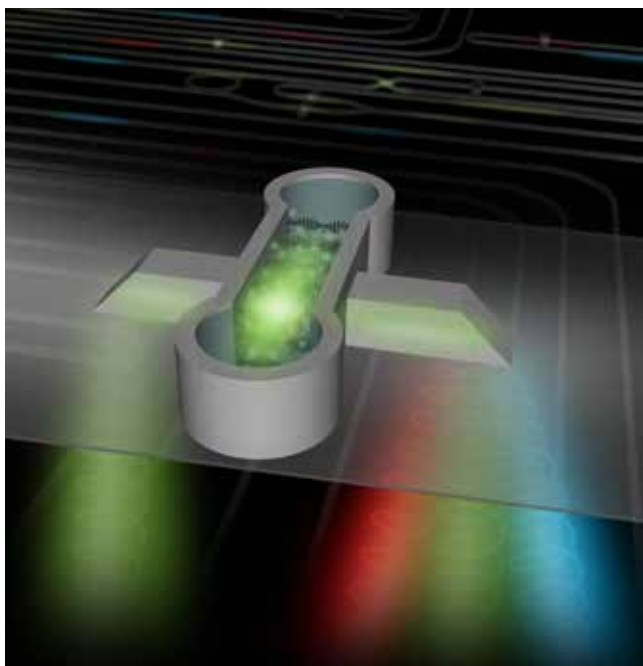
www.fs.uni-lj.si

© Avtorji 2025. CC-BY 4.0

REVLIJA ZA FLUIDNO TEHNIKO, AVTOMATIZACIJO IN MEHATRONIKO
VENTIL

PRVI PRIMER UPORABE TEKOČIH KRISTALOV V MIKROSKOPSKO MAJHNIH SVETLOBNIH INTEGRIRANIH VEZJIH

Sodelavci Instituta »Jožef Stefan« so prvi na svetu uporabili tekoče kristale v mikroskopsko majhnih svetlobnih integriranih vezjih, ki so v celoti izdelana iz organskih materialov, delujejo izključno na svetlobo in so sposobna s pomočjo svetlobe zatemniti drugo svetlobo v času 0,000000001 sekunde.



Mikrolaser

V raziskavi so uporabili precizen laserski tiskalnik, razvili inovativno metodo za zatemnitev delovanja mikrolaserja v času ene nanosekunde in podprli eksperimentalne izsledke s teorijskimi prijemi. Raziskave o svetlobnih integriranih mikrovezjih, ki so izdelana iz organskih snovi in za svoje delovanje uporabljajo izključno svetlobo, so osrednji rezultat petletnega raziskovalnega dela na ERC projektu LOGOS, o njih pa poroča tudi ugledna revija Nature Photonics.

Svetlobo že zdaj učinkovito uporabljamo za prenos informacij po optičnih vlaknih na velikih razdaljah, njena uporaba pa se tudi vedno bolj širi v podatkovne centre, kjer znanstveniki poskušajo nadomestiti klasična mikroelektronska vezja, ki delujejo na elektriko, s fotonskimi mikrovezji, ki so sedaj izdelana iz silicija in delujejo na svetlobo. Glavni razlog je zmanjšanje porabe energije, ki je pri podatkovnih centrih osrednji problem, z uporabo svetlobe pa se poraba energije lahko drastično zniža.

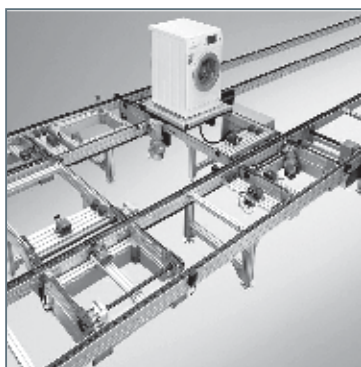
Raziskovalke in raziskovalci Mahendran Vellaichamy, Uroš Jagodič, Jaka Pišljar, Jaka Zaplotnik, Urban Mur, Andreja Jelen, Andriy Nych, Deepshika Malkar, Anna V. Ryzhkova, Miha Škarabot, Miha Ravnik in Igor Muševič z Instituta »Jožef Stefan« in Fakultete za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani poročajo o prvem primeru uporabe tekočih kristalov v mikroskopsko majhnih svetlobnih integriranih vezjih, ki so v celoti izdelana iz organskih materialov, delujejo izključno na svetlobo in so sposobna s pomočjo svetlobe zatemniti drugo svetlobo v času 0,000000001 sekunde. Na ta način so izdelali preklopni mikroelement, ki deluje izključno na svetlobo. Uporabili so precizen laserski tiskalnik, s katerim so na stekleni podlagi izdelali mikroskopsko majhno in prozorno polimerno ogrodje. To je vsebovalo mikrolaserje iz tekočih kristalov, ki so med seboj povezani z natančno izdelanimi prozornimi žičkami, po katerih se praktično brez izgub širi vidna svetloba. Mikrolaserje so izdelali iz tekočih kristalov z dodanimi organskimi barvili, kar je omogočalo, da z zunanjo lasersko svetlobo sprožijo njihovo delovanje.

Avtorji so razvili inovativno metodo, ki omogoča, da s svetlobnim sunkom drugačne barve, kot jo izseva mikrolaser, lahko popolnoma zatemnijo delovanje mikrolaserja v času ene nanosekunde. Eksperimentalne izsledke so podprli s teorijskimi prijemi, ki omogočajo izračune sevanja, širjenja in uravnavanja svetlobe v mikrolaserjih na osnovi tekočih kristalov.

Objavljeno delo o svetlobnih integriranih mikrovezjih, ki so izdelana iz organskih snovi in za svoje delovanje uporabljajo izključno svetlobo, je prvi tovrstni primer na svetu in osrednji rezultat petletnega raziskovalnega dela na ERC projektu LOGOS, ki ga na IJS in FMF UL vodi prof. dr. Igor Muševič. Avtorji si obetajo, da bo s to novo tehnologijo v bodoče mogoče izdelati svetlobna mikrovezja, ki bodo delovala izključno na svetlobo, se sestavila sama od sebe, bodo biokompatibilna in v celoti biorazgradljiva, za njihovo izdelavo pa bo potrebno dosti manj energije.

Polona Strnad, IJS, Ljubljana

© Avtorji 2025. CC-BY 4.0

Rexroth**ORGATEX®****LEANPRODUCTS®****BOSCH****OPL**
automationOPL 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

MIKROREAKTORJI PRIHODNOSTI ZA UČINKOVITO ČIŠČENJE ODPADNIH VODA S HIDROKSILNIMI RADIKALI

Problematika čiščenja odpadnih voda je čedalje bolj pereč problem sodobne družbe, čemur sledi tudi znanost s svojimi raziskavami na tem področju. Konvencionalni postopki čiščenja ne zadostujejo vse večji raznolikosti onesnaževal, ki končajo v vseh vodnih telesih (nadzemnih in podzemnih vodah), zato si znanost zelo prizadeva za razvoj novih tehnoloških prijemov za reševanje tega problema in se kavitacija kaže kot ena izmed obetavnih tehnologij.



Priprava laboratorijskega mikroreaktorja za testiranje kemijskih učinkov kavitacije.

Kavitacija je fizikalni pojav, pri katerem zaradi lokalnega znižanja tlaka v tekočini nastanejo majhni parni mehurčki. Ob njihovem kolapsu nastanejo močne mehanske sile (strižne sile, tlačni udarni valovi, mikrocurki) in kemijske reakcije, predvsem tvorba hidroksilnih radikalov. Ti radikali so izjemno reaktivni in lahko učinkovito razgrajujejo organska mikroonesnaževala ter inaktivirajo bakterije in viruse v vodi.

Doslej so raziskave kavitacije potekale predvsem na večjih reaktorjih z milimetrskimi do centimetrskimi zožitvami. V naši študiji pa smo preučevali vpliv mikrofluidnih reaktorjev z velikostjo zožitev v mikrometrskem območju. Ugotovi-

vili smo, da zmanjšanje velikosti reaktorja bistveno spremeni značilnosti kavitacijskega toka – poveča se nastanek hidroksilnih radikalov, kar pospešuje razgradnjo mikroonesnaževal.

Rezultati kažejo, da lahko pravilno zasnovan mikroreaktor kemijske učinke poveča za 30-krat v primerjavi s tradicionalnimi sistemi. To odpira nove možnosti za učinkovitejše in varčnejše čiščenje vode.

Interdisciplinarno raziskavo so izvedli znanstveniki z Univerze v Ljubljani (Fakulteta za strojništvo, Fakulteta za farmacijo) in Univerze Sabanci v Istanbulu (Turčija). Rezultati so bili objavljeni v ugledni reviji *Chemical Engineering Journal* (IF: 13,4).

»Naša odkritja dokazujejo, da mikrofluidni reaktorji omogočajo bolj učinkovit nadzor nad kavitacijo. To tehnologijo lahko uporabimo v industriji, še posebej za čiščenje vode,« poudarja eden izmed vodilnih avtorjev raziskave.

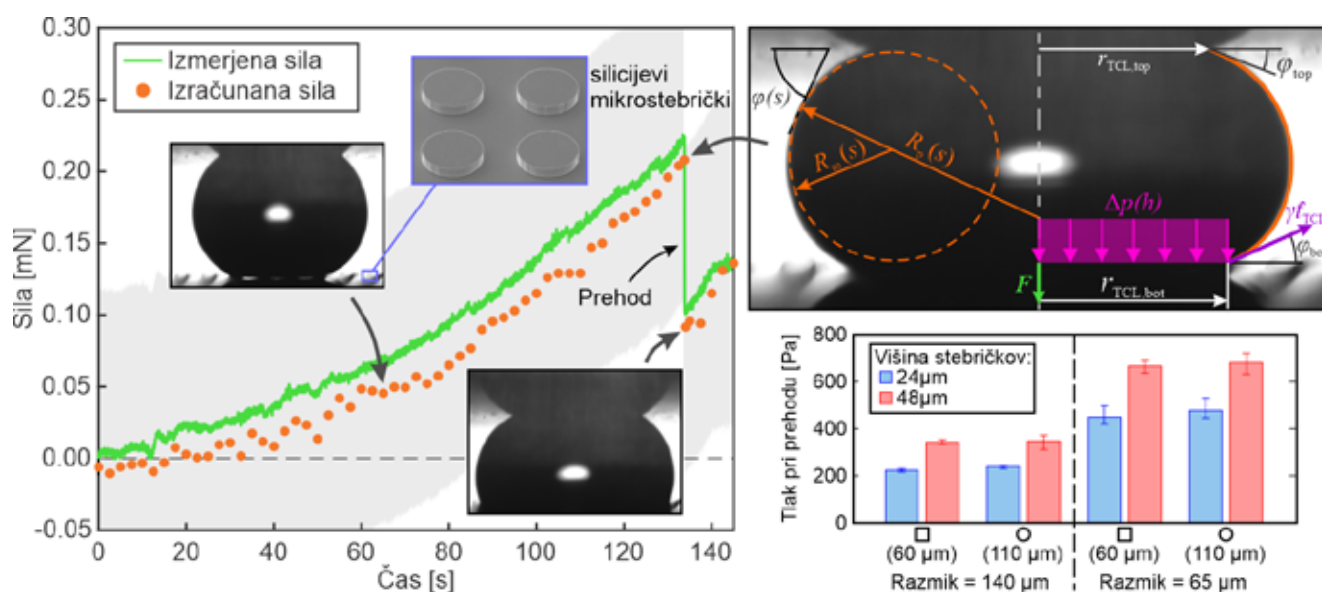
Obeti za prihodnost: V prihodnosti bi lahko takšni mikroreaktorji postali ključni gradniki kompaktnih in energetsko učinkovitih naprav za čiščenje voda, razgradnjo škodljivih kemikalij ali celo sintezo materialov.

www.fs.uni-lj.si

© Avtorji 2025. CC-BY 4.0

KAKO LAHKO KAPLJICA RAZKRIJE MEJO ODPORNOSTI VODOODBOJNIH POVRŠIN?

Raziskovalci Laboratorija za toplotno tehniko so razvili novo metodo, ki natančneje določa, kdaj superhidrofobne (voododbojne) površine odpovedo pri povišanem tlaku. Ugotovitve bodo omogočile razvoj bolj odpornih površin z možnostjo uporabe v realnih industrijskih okoljih, kot so hlajenje, samočiščenje in preprečevanje korozije. Rezultati raziskave so objavljeni v reviji *Journal of Colloid and Interface Science* (IF = 9.4)



Slika 1: Ovrednotenje obstojnosti superhidrofobnih površin: primerjava eksperimentalno izmerjene in teoretično izračunane sile kapljice na površino (levo), teoretični model za izračun sile (desno zgoraj) in primerjava velikosti tlaka pri odpovedi superhidrofobnosti na vzorcih z različno topografijo (desno spodaj)

Superhidrofobne površine izkazujejo izjemno nizko omočljivost in visoko voododbojnost – vodne kapljice na njih ohranjajo sferično (oz. okroglo) obliko in začnejo drseti že pri majhnih naklonih. V naravi jih najdemo med drugim na lotosovih listih, kjer drsenje kapljic omogoča odstranjevanje nečistoč. Umetno poustvarjene superhidrofobne površine poleg samočistilnega učinka omogočajo tudi ločevanje snovi, izboljšujejo prenos toplote pri vrenju in kondenzaciji, zavirajo korozijo, zakasniyo zmrzovanje površin in imajo na splošno velik potencial za uporabo v naprednih tehnoloških aplikacijah. Kljub številnim prednostim pa imajo superhidrofobne površine eno veliko slabost: občutljive so na povišane tlake. Zaradi tega jih je težko uporabljati v industrijskih pogojih. Dodatna težava je, da ni enotnih postopkov za oceno njihove odpornosti, kar ovira razvoj bolj obstojnih površin.

V predhodnih študijah so obstojnost superhidrofobnih površin ocenjevali tako, da so analizirali obliko stisnjene vodne kapljice. Vendar so pri tem pogosto poenostavljali geometrijo kapljice, zato je

prihajalo do razhajanj med meritvami in predvidevanji.

Raziskovalci Laboratorija za toplotno tehniko (LTT) na Fakulteti za strojništvo UL so razvili novo eksperimentalno in analitično metodo, ki presega te omejitve. Namesto poenostavitev so uporabili teoretični model na osnovi Young–Laplaceove enačbe, ki opisuje obliko kapljice glede na tlak. Metoda omogoča izračun sile kapljice na površino, ki se zelo dobro ujema z eksperimentalnimi meritvami – povprečna napaka znaša le 27,71 μN pri silah do 2,5 mN, kar predstavlja veliko izboljšanje glede na prejšnje študije.

Novo metodologijo so preizkusili na vzorcih z različno mikrotopografijo, da bi raziskali vpliv površinske strukture na odpornost proti odpovedi superhidrofobnosti pri povišanem tlaku.

www.fs.uni-lj.si

© Avtorji 2025. CC-BY 4.0

RECIKLAŽA KLJUČNIH KRITIČNIH MATERIALOV VODIKOVIH TEHNOLOGIJ ZA BOLJ TRAJNOSTNO PRIHODNOST

Vodikove tehnologije veljajo za eno ključnih poti do razogljičenja gospodarstva in pomembno prispevajo k doseganju trajnostnih ciljev Evropske unije. Ker se uporaba vodikovih gorivnih celic hitro povečuje, postaja vse bolj pomembno razmisliti tudi o tem, kaj se zgodi z njimi, ko dosežejo konec svoje življenjske dobe. Za trajnostno prihodnost moramo razviti rešitve, ki omogočajo učinkovito reciklažo, zmanjšajo okoljski vpliv in ponovno uporabijo dragocene materiale.

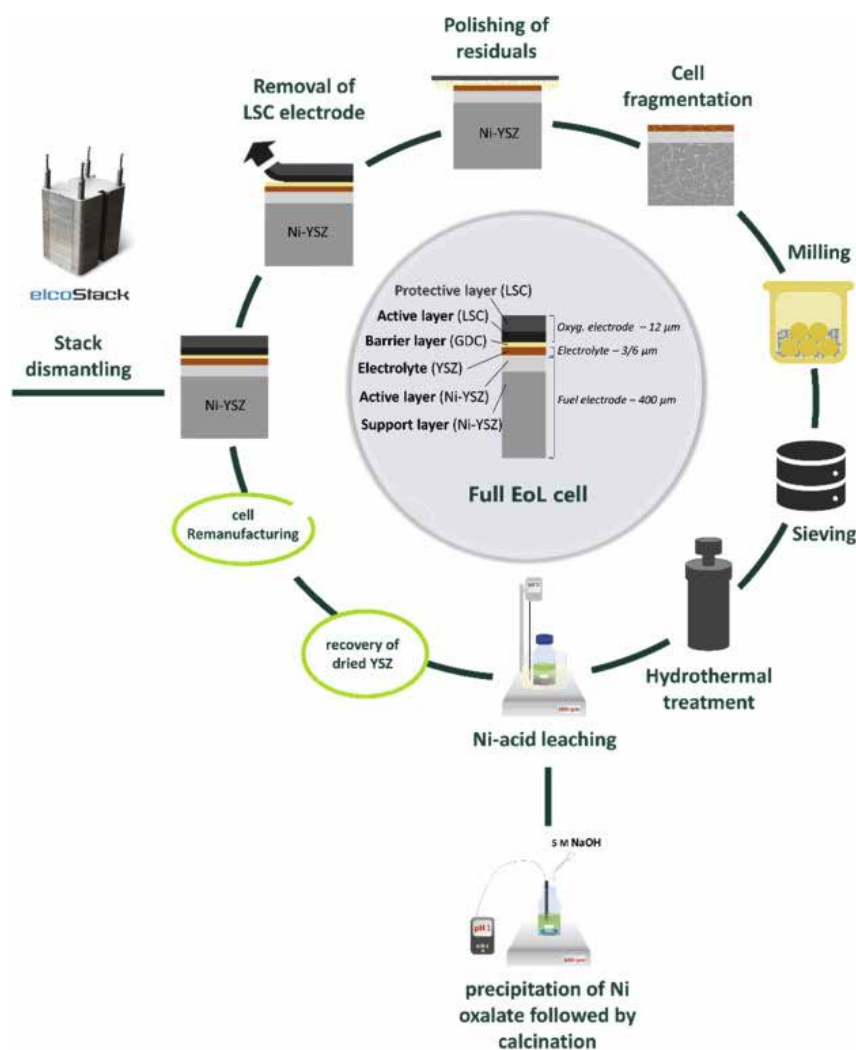
To zahteva celosten pristop: očno vplivov različnih reciklažnih postopkov s pomočjo metodologije LCA (ocena življenjskega cikla), razvoj učinkovitih in okolju prijaznih načinov recikliranja ter

uvvedbo politik, kot sta ekodizajn in razširjena odgovornost proizvajalcev, ki poskrbijo za odgovorno upravljanje naprav skozi njihov celoten življenjski cikel.

Celice s trdnim elektrolitom (SOC) so napredne naprave, ki lahko proizvajajo elektriko ali vodik – odvisno od tega, kako jih uporabimo. Kot gorivne celice (SOFC) ustvarjajo električno energijo, kot elektrolizne celice (SOEC) pa omogočajo proizvodnjo vodika. Čeprav ta tehnologija še ni povsem razvita, ima velik potencial v prihodnjem razvoju vodikovega gospodarstva. Njene glavne prednosti so visoka učinkovitost, prilagodljivost, možnost toplotnega povezovanja z drugimi sistemi ter dejstvo, da lahko deluje v obe smeri – kot vir energije ali kot način za njeno shranjevanje.

Ker pričakujemo, da bo uporaba teh celic v prihodnosti hitro rasla, je pomembno, da že zdaj razmišljamo o njihovi trajnosti. To pomeni, da moramo razumeti njihov celoten življenjski cikel – od proizvodnje do konca uporabe – in razviti učinkovite načine recikliranja ter ponovno uporabo dragocenih materialov.

Te celice vsebujejo redke in pomembne kovine, kot so kobalt, lantan, itrij in nikelj, ki jih Evropska unija večinoma uvaža. Zato si prizadeva zmanjšati odvisnost od uvoza s tem, da išče nadomestke, optimizira uporabo teh surovin ter izboljšuje postopke recikliranja. A trenutno na področju ravnanja s temi celicami ob koncu njihove življenjske dobe še vedno primanjkuje podatkov, kar pomeni, da moramo še okrepiti



Shematski prikaz večstopenjskega postopka recikliranja gorivne celice s trdnim elektrolitom (SOFC)

raziskave in razvoj tehnologij za njihovo učinkovito predelavo in ponovno uporabo.

Znanstveni članek z naslovom *New life cycle inventories for end-of-life solid oxide cells based on novel recycling processes for critical solid oxide cell materials* predstavlja del rezultatov projekta BEST4Hy, ki ga je financirala Evropska unija, s poudarkom na LCA-vrednotenju raziskovalcev iz Laboratorija za termoelektroenergetiko (LTE) Fakultete za strojništvo in izvedbe reciklažnih procesov raziskovalcev iz Politehnične univerze v Turinu.

Študija prinaša nov način, kako oceniti vplive reciklaže materialov iz gorivnih celic s trdnim elektrolitom (SOC). Ker reciklažni postopki za te celice še niso na voljo v industrijskem merilu, jih dosedanje

raziskave niso vključevale. Tokratna analiza temelji na eksperimentih v laboratoriju in ponuja dragoocene podatke o postopkih za ponovno pridobivanje ključnih materialov, kot sta cirkonij in nikelj. Poleg tega prvič podrobno predstavi tudi nove načine recikliranja kovin, kot sta lantan in kobalt, kar pomembno dopolnjuje obstoječe raziskave o trajnostni rabi redkih surovin.

Članek je objavljen v znanstveni reviji *International Journal of Hydrogen Energy* s faktorjem vpliva 8,1, kar jo uvršča v revije prve četrtine oz. predstavlja izjemen znanstveni dosežek na tem področju.

www.fs.uni-lj.si

© Avtorji 2025. CC-BY 4.0

POSVET

AVTOMATIZACIJA STREGE IN MONTAŽE 2025 - ASM '25

04. decembra 2025
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

NAČRTOVANJE REGIJSKO SEGMENTIRANE ROBOTSKE POVRŠINSKE OBDELAVE Z BOLJ REALISTIČNO ČASOVNO METRIKO

Tomaž Pušnik, Aleš Hace

Izvleček:

Tradicionalni pristopi pri robotski površinski obdelavi pogosto temeljijo na vnaprej določeni konstantni smeri in hitrosti gibanja orodja, ne glede na lokalne značilnosti obdelovanca, kar vodi v neučinkovito izrabo robotskih zmogljivosti. V tej študiji predstavljamo metodo, ki temelji na regijski segmentaciji površine obdelovanca, kjer se za vsako regijo določita optimalna smer in hitrost obdelave na osnovi kinematične zmogljivosti robota in geometrije obdelovanca. Razvit je bil izboljšan indeks za oceno časa obdelave, ki vključuje penalizacijo zaradi prehodov med posameznimi obdelovalnimi potmi, ter nov postopek za iskanje optimalnega števila začetnih segmentov, kar omogoča bolj realistično oceno učinkovitosti načrtovanih poti. Eksperimentalni rezultati potrjujejo, da predlagani regijski pristop dosega do 22 % krajše čase obdelave v primerjavi s konvencionalno enosmerno strategijo.

Ključne besede:

robotska površinska obdelava, časovna optimizacija obdelave, sodelujoči roboti, regijska segmentacija, mikrokovanje

1 Uvod

V današnji industriji se proizvodni procesi vse bolj usmerjajo k izdelavi manjših serij z visoko stopnjo prilagodljivosti in raznolikosti izdelkov. Ta trend zahteva napredne rešitve, ki omogočajo hitro prilagajanje in optimizacijo proizvodnih ciklov. Sodelujoči roboti, zasnovani za varno in učinkovito interakcijo z operaterji, imajo osrednjo vlogo pri doseganju teh ciljev, saj združujejo prilagodljivost z visoko natančnostjo. Kljub njihovim prednostim pa se pri robotski površinski obdelavi kompleksnih površin pojavljajo izzivi, povezani z načrtovanjem optimalnih poti orodja, ki bi zagotavljale tako uspešno izvedljivost kot časovno učinkovitost. Ti izzivi so še posebej pri robotskem mikrokovanju [1], kjer pnevmatsko oz. elektromagnetno orodje s konico iz trde karbidne kroglice natančno udarja po površini obdelovanca z visoko frekvenco in s tem izboljšuje mehanske lastnosti materiala.

Za uspešno izvedbo tega postopka je ključnega pomena natančno in optimalno gibanje robota. Pri tradicionalnih pristopih z uporabo standardnih programov CAD/CAM se obdelava izvaja z enotno smerjo in konstantno hitrostjo, kar ne omogoča izkoriščanja kinematičnih zmogljivosti robota in geometrijskih lastnosti obdelovanca, zato se posledično lahko pojavijo neučinkovite poti orodja in daljši časi obdelave. Zaradi teh omejitev so bili razviti različni pristopi, ki temeljijo na segmentaciji površine v regije z bolj homogenimi lastnostmi. V literaturi so se pojavile metode, ki optimizirajo togost robota pri rezkanju [2] ali pa se izogibajo poškodbam obdelovanca pri brušenju [3]. V delu [4] prav tako s segmentacijo obdelovanca dosežejo pravilne varilne zveze, pri [5] pa z regijami omogočajo obdelavo večjih kipov.

Pomemben napredek na področju sinhroniziranega gibanja robotskih sistemov je predstavljen v [6], kjer je uporabljena razširjena inverzna Jacobijeva matrika za oceno efektivne manipulabilnosti robotske roke z upoštevanjem geometrije obdelovanca. Ta pristop omogoča sinhronizacijo translacijskih in rotacijskih gibanj orodja, pri čemer se šestdimenzionalni prostor gibanja projicira na dvodimenzionalno tangentno ravnino na površini obdelovanca. Rezultat je dvodimenzionalni hitrostni elipsoid, definiran z glavnima osema, pri čemer daljša os elipse

Tomaž Pušnik, mag., izr. prof. dr. **Aleš Hace**, univ. dipl. inž., oba Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko

© The Authors 2025. CC-BY 4.0

<https://doi.org/10.5545/Ventil-31-2025-3.01>

označuje smer, v kateri robot dosega višje hitrosti, krajša os pa smer z nižjimi hitrostmi. Takšna analiza omogoča natančnejše načrtovanje poti orodja, prilagojene kinematičnim zmožnostim robota.

V tem delu predstavimo izboljššan pristop k optimizaciji robotske površinske obdelave, ki temelji na segmentaciji površine obdelovanca in upošteva kinematične omejitve robota. Z uporabo algoritma strojnega učenja K-means [7] smo površino razdelili na regije s podobnimi kinematičnimi značilnostmi. Vsaka regija omogoča določitev optimalnih smeri in hitrosti obdelave, kar izboljšuje časovno učinkovitost in kakovost obdelave. Predstavljena je izboljšana metoda za oceno časa obdelave, ki vključuje časovno penalizacijo zaradi prehodov med obdelavo, saj je bilo ugotovljeno, da prepogosti prehodi, zlasti v regijah z velikim številom kratkih obdelovalnih poti, povzročajo znatne časovne izgube zaradi upočasnevanja in pospeševanja robota. Numerični in eksperimentalni preizkusi so bili izvedeni na sodelujočem robotu UR5e (slika 1), kar je omogočilo validacijo predlagane metode v realnih pogojih.

2 Metodologija

2.1 Iskanje optimalne obdelovalne smeri in hitrosti

Pri površinski obdelavi mora konica orodja slediti natančno določeni poti, ki leži na površini obdelovanca. Ta pot ni določena le s položajem, temveč tudi z orientacijo orodja, saj mora biti smer orodja usklajena s površinsko normalo – običajno je zahtevana pravokotna orientacija glede na lokalno ukrivljenost površine. Za določitev smeri gibanja, ki vodi do največje izvedljive hitrosti obdelave, za vsako točko površine P_i definiramo dvodimenzionalni smerni vektor v bazni ravnini:

$$u_2 = [\cos(\varphi) \quad \sin(\varphi)]^T \quad (1)$$

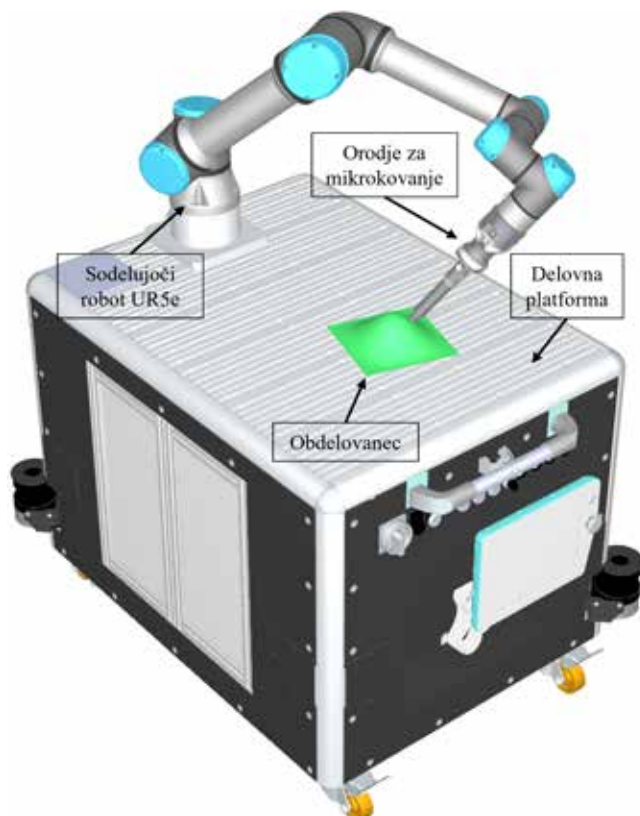
kjer je φ iskani kot zasuka. Ta vektor nato preslikamo v tridimenzionalni smerni vektor v tangentski ravnini točke na površini obdelovanca z matriko S_v [6]:

$$u_T = \frac{S_v u_2}{\|S_v u_2\|} \quad (2)$$

Na tej osnovi za vsako točko obdelovanca izračunamo največjo izvedljivo linearno hitrost gibanja orodja v dani smeri:

$$V_{\max} = \frac{1}{\|J_C^\# \cdot u_T\|_\infty} \quad (3)$$

kjer $J_C^\#$ označuje razširjeno inverzno Jacobijevo matriko [6], ki vključuje kinematične omejitve robota in diferencialno geometrijo površine, u_T pa je smerni vektor (2). Hitrost v splošnem variira od toč-



Slika 1 : Fleksibilna delovna platforma s sodelujočim robotom UR5e, obdelovancem in orodjem za mikrokovanje

ke do točke: $V_{\max} = V_{\max}(P_i)$. Optimizacijski problem za določitev globalne optimalne smeri obdelave temelji na iskanju tiste smeri, ki maksimira najmanjšo izvedljivo hitrost med vsemi točkami obravnavane površine obdelovanca:

$$V_{\max}^{\text{opt}} = \max_{\varphi} \left(\min_{i=1, \dots, N} (V_{\max}(P_i)) \right) \quad (4)$$

pri čemer $V_{\max}^{\text{opt}}$ predstavlja največjo izvedljivo linearno hitrost na površini obdelovanca v optimalni smeri $u_2 = u_2(\varphi)$, N pa je število obravnavanih točk na površini. Z rešitvijo tega optimizacijskega problema pridobimo vektorsko polje hitrosti VVF (ang. Velocity Vector Field), ki podaja optimalne smeri in hitrosti obdelave na površini obdelovanca.

2.2 Regijska segmentacija obdelovanca

2.2.1 Segmentacijski vektor

Površine kompleksnih oblik praviloma vsebujejo območja z različno ukrivljenostjo in posledično različnimi kinematičnimi zmogljivostmi robotske obdelave. Ker optimalna smer in hitrost obdelave nista homogeni čez celotno površino, je smiselno površino razdeliti na regije s podobnimi lokalnimi značilnostmi. S tem pristopom lahko v vsaki regiji

izvajamo obdelavo po enotni smeri, ki je blizu lokalnemu optimumu. Za namen segmentacije priredimo t. i. segmentacijski vektor F , ki združuje geometrijske lastnosti obdelovanca, kot so položajni vektor P_p , enotski normalni vektor površine $\hat{n}_p$, ter minimalno in maksimalno ukrivljenost površine $\kappa_{\min,i}$ in $\kappa_{\max,i}$ [6]:

$$F = [P_{ix}, P_{iy}, P_{iz}, \hat{n}_{ix}, \hat{n}_{iy}, \hat{n}_{iz}, \kappa_{\min,i}, \kappa_{\max,i}] \quad (5)$$

kjer smo upoštevali komponente vektorjev v Kartezijevem koordinatnem sistemu

$$P_i = [P_{ix}, P_{iy}, P_{iz}]^T \text{ in } \hat{n}_i = [n_{ix}, n_{iy}, n_{iz}]^T$$

Za pretvorbo podatkov v standardizirano obliko je uporabljena normalizacija z Z-vrednostjo [8]:

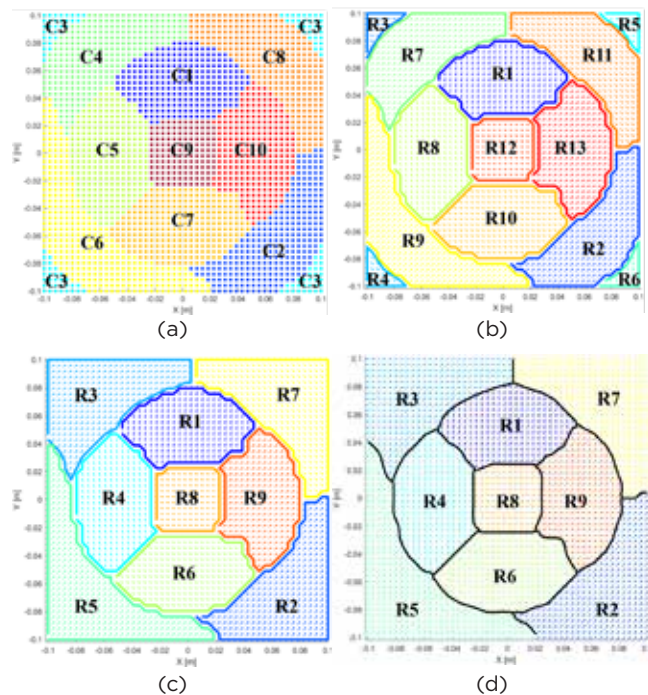
$$\tilde{F} = \frac{F_i - \mu}{s} \quad (6)$$

kjer $\tilde{F}$ predstavlja standardiziran segmentacijski vektor, μ povprečno vrednost podatkov, s pa standardni odklon.

Za segmentacijo podatkov je uporabljen algoritem strojnega učenja K-means, ki razvrsti množico točk v ločene gruče na osnovi podobnosti [7]. Vsaka točka je pripisana tisti gruči, katere težišče (center) ji je najbližje glede na izbrano metriko razdalje. Postopek se začne z inicializacijo centrov, nato pa algoritem iterativno izmenjuje dva koraka: (1) dodeljevanje podatkovnih točk najbližjemu centru in (2) posodabljanje centrov z izračunom povprečne vrednosti vseh točk v posamezni skupini. Iteracije se ponavljajo, dokler se centri ne stabilizirajo ali ni doseženo prednastavljeno največje število korakov.

2.2.2 Združevanje regij

Po začetni segmentaciji površine, kjer množico točk razvrstimo v segmente, ki izhajajo iz gruč C_p , lahko dobimo premajhne segmente, kar lahko negativno vpliva na stabilnost in uporabnost načrtovane poti (slika 2a). Zaradi tega najprej določimo jasne meje med segmenti in tako ustvarimo jasno definirane regije (slika 2b). V nadaljevanju uvedemo postopek združevanja, kjer vse regije pod določenim pragom površine združimo s sosednjimi in tako ustvarimo končne obdelovalne regije R_p . Rezultati so prikazani na sliki 2c, kjer je bilo začetno število 13 regij iz slike 2b zmanjšano na 9. Vsaka regija ima sprva svoje meje, kar povzroči podvajanja in vrzeli. Za rešitev tega se izračunajo sredinske točke med temi mejami, ki se nato zgladijo. Tako nastanejo enotni, gladki prehodi med regijami, kar izboljša natančnost obdelave (slika 2d).



Slika 2 : Proces regijske segmentacije: (a) začetno K-means segmentiranje, (b) regije z ustvarjenimi mejami, (c) združene regije, (d) končne regije, pripravljene za površinsko obdelavo. Puščice prikazujejo VVF – vektorsko polje hitrosti.

2.3 Ocena časa obdelave

Za oceno časa obdelave smo definirali osnovni indeks MTI (ang. Machining Time Index) [9], ki zagotavlja referenčno metriko za oceno na podlagi izračunanega $V_{\max}^{opt}$ (4) in gostote točk na obdelovancu:

$$\tau = \sum_{i=1}^N \frac{d_i}{V_{\max}^{opt}} \quad (8)$$

kjer τ predstavlja MTI indeks, d_i je standardna razdalja med točkami, N je število obravnavanih točk na površini, $V_{\max}^{opt}$ pa največja izvedljiva linearna hitrost v tangentni ravnini, pripeti na točko obdelovanca.

Vpeljani indeks MTI nudi uporabno metriko za oceno potencialne učinkovitosti robotske obdelave, vendar temelji zgolj na standardni razdalji in lokalno optimalnih hitrostih. V praksi pa lahko pri večjem številu majhnih regij in kratkih obdelovalnih poti pride do pomembnih izgub, ki izvirajo iz pogostih zausstavitvev in ponovnih pospeškov orodja pri prehodih med zaporednimi potmi. Te dinamične izgube niso zajete v osnovnem MTI in vodijo do sistematičnega podcenjevanja dejanskega časa obdelave. Za vsako regijo R_i se glede na izračunano optimalno smer obdelave in mejnih točk regij določi skupna dolžina projekcije v smeri, pravokotni na obdelovalno pot. Na podlagi razmika med potmi d_{step} se število po-

trebnih prehodov med obdelovalnimi potmi $N_{step}^{R_i}$ za posamezno regijo določi kot:

$$N_{step}^{R_i} = \frac{W_{R_i}}{d_{step}} - 1 \quad (9)$$

kjer W_{R_i} označuje širino regije R_i v smeri prečnih projekcij. Vsak prehod sestavljajo tri faze:

- ▶ prva faza je zaviranje iz trenutne obdelovalne hitrosti V_{max}^{opt} na hitrost prehoda v_{step} :

$$t_{dec} = \frac{V_{max}^{opt} - v_{step}}{a} \quad (10)$$

kjer a predstavlja pospešek orodja robota,

- ▶ druga faza je dejanski čas prehoda $t_{step} = d_{step} / v_{step}$,
- ▶ tretja faza pa je ponovno pospeševanje iz hitrosti prehoda v_{step} na obdelovalno hitrost V_{max}^{opt} s pospeškom a , kar rezultira v čas pospeševanja, ki je enak času zaviranja:

$$t_{acc} = \frac{V_{max}^{opt} - v_{step}}{a} \quad (11)$$

Skupni časovni pribitek za en prehod je:

$$\tau_{step} = t_{dec} + t_{step} + t_{acc} \quad (12)$$

Časovni pribitek zaradi prehodov za eno regijo dobimo tako, da seštejemo časovne pribitke pri vseh prehodih v regiji:

$$\tau_{step}^{R_i} = \sum_{i=1}^{N_{step}^{R_i}} \tau_{step,i} \quad (13)$$

Skupna časovna izguba za celoten obdelovanec je definirana kot τ_{step}^{wp} :

$$\tau_{step}^{wp} = \sum_{i=1}^{N_R} \tau_{step}^{R_i} \quad (14)$$

kjer je N_R število regij. Prilagojeni indeks za oceno časa obdelave EMTI (ang. Effective Machining Time Index) je seštevek obstoječega indeksa MTI (8) in dodatne časovne penalizacije zaradi prehodov (14):

$$\tau_{eff} = \tau + \tau_{step}^{wp} \quad (15)$$

2.4 Optimalno število segmentov

Pri načrtovanju regijsko prilagojene površinske obdelave ima odločitev o številu začetnih segmentov

pomemben vpliv na strukturo obdelovalnih poti in s tem na učinkovitost celotnega procesa. Premajhno število segmentov lahko vodi v regije z izrazito notranjo variabilnostjo, zaradi česar se optimalna obdelovalna smer znotraj regije ne more uskladiti z lokalnimi kinematičnimi značilnostmi. Nasprotno pa preveliko število segmentov povzroči številne kratke obdelovalne poti z veliko prehodi, kar zaradi dinamičnih izgub negativno vpliva na skupni čas obdelave. Zaradi tega je potrebno izvesti optimizacijo števila segmentov N_C , ki predstavlja vhodni parameter za *K-means* segmentacijo.

Po segmentaciji v segmente C_i ($i=1, \dots, N_C$) sledi postopek združevanja regij, kar vodi do obdelovalnih regij R_i ($i=1, \dots, N_R$), kjer je N_C število segmentov in N_R število končnih regij. Za določeno lego obdelovanca izvajamo iterativni postopek, v katerem za vsako število segmentov $N_C \in \{1, 2, \dots, C_{max}\}$, kjer je C_{max} maksimalno dovoljeno število segmentov, izvedemo:

- ▶ segmentacijo površine v N_C segmentov,
- ▶ razdelitev segmentov v ločene regije,
- ▶ izračun efektivnega indeksa časa obdelave τ_{eff} (N_C) in združevanje regij.

Cilj je določiti takšno vrednost N_C , pri kateri je indeks EMTI (τ_{eff}) minimalen:

$$\tau_{eff} = \min_{N_C \in \{1, \dots, C_{max}\}} \tau_{eff}(N_C) \quad (16)$$

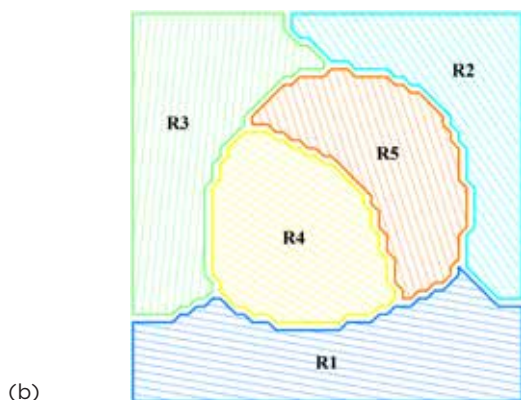
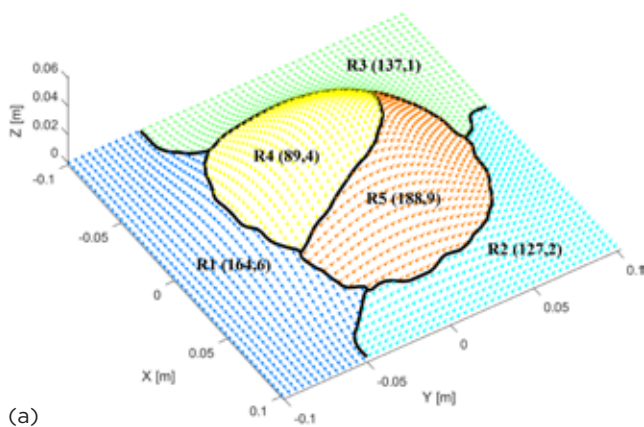
3 Študija primera

V tem poglavju predstavljamo rezultate, s katerimi ocenjujemo učinkovitost predlaganega pristopa regijsko prilagojene površinske obdelave v primerjavi s konvencionalno strategijo z enotno smerjo gibanja orodja po celotni površini obdelovanca. Obe strategiji temeljita na vzorcu paralelnih, dvostranskih gibanj po principu Zig-Zag, pri čemer so posamezne obdelovalne poti med seboj povezane z linearnimi ravnimi prehodi, kar zagotavlja enostavno izvedbo in enakomerno pokritost površine.

3.1 Regijska segmentacija obdelovanca

Za zagotovitev primerljivih pogojev med posameznimi preizkusi je bil ohranjen enak položaj obdelovanca v vseh testih. Obdelovanec je bil postavljen v položaj s koordinatami XYZ = [-46; -564,6; -96] (mm) glede na referenčni koordinatni sistem robota in rotiran okoli z-osi za 253°. Takšna nastavitve omogoča neposredno primerjavo rezultatov različnih strategij neodvisno od vpliva lege obdelovanca. Optimalno število segmentov za algoritem K-means je bilo izbrano po avtomatskem iterativnem postopku na $N_C = 5$, pri čemer je bil $C_{max} = 10$, saj so se v praksi višje vrednosti C_{max} izkazale za neučinkovite zaradi poslabšanja razmerja med dolžino poti in številom prehodov.

Po uvodnem segmentiranju smo identificirali in ciljali manjše regije za morebitno združitev, da bi izboljšali kazalnik časa obdelave EMTI. Vsaka manjša regija je bila ocenjena za združitev s sosednjimi regijami, pri čemer je bila odločitev za združitev sprejeta na podlagi doseganja bolj ugodnega EMTI (16). Po regionalizaciji je bila za raziskovanje potencialnih smeri obdelave uporabljena funkcija globalne optimizacije z roji delcev PSO (Particle Swarm Optimization) v Matlabu, ki maksimizira ciljno funkcijo $F(\varphi) = V_{\max}^{opt}$ (4). Optimalne smeri obdelave omogočajo oblikovanje vektorskega polja hitrosti VVF, ki se nato uporablja za načrtovanje poti v programu CAM. Končni rezultat regijske segmentacije je viden na *sliki 3a*, *slika 3b* pa prikazuje načrtovane obdelovalne poti pri izračunu števila prehodov po enačbi (9).



Slika 3 : Regijska segmentacija obdelovanca: **(a)** optimalne smeri in največje izvedljive hitrosti (mm/s) za vsako regijo (VVF-polje), **(b)** obdelovalne poti za izračun števila prehodov

3.2 Validacija hitrosti

Tehnološki parametri, uporabljeni pri eksperimentih, vključujejo vstopno in izstopno hitrost obdelave, ki je bila nastavljena na 150 (mm/s). Enaka vrednost je uporabljena tudi za prehode med različnimi regijami obdelovanca, kjer orodje ni v stiku s površino. Med linearnimi prehodi znotraj posamezne regije, torej pri vodoravnem premiku med zaporednimi obdelovalnimi potmi se uporablja nižja hitrost, nastavljena

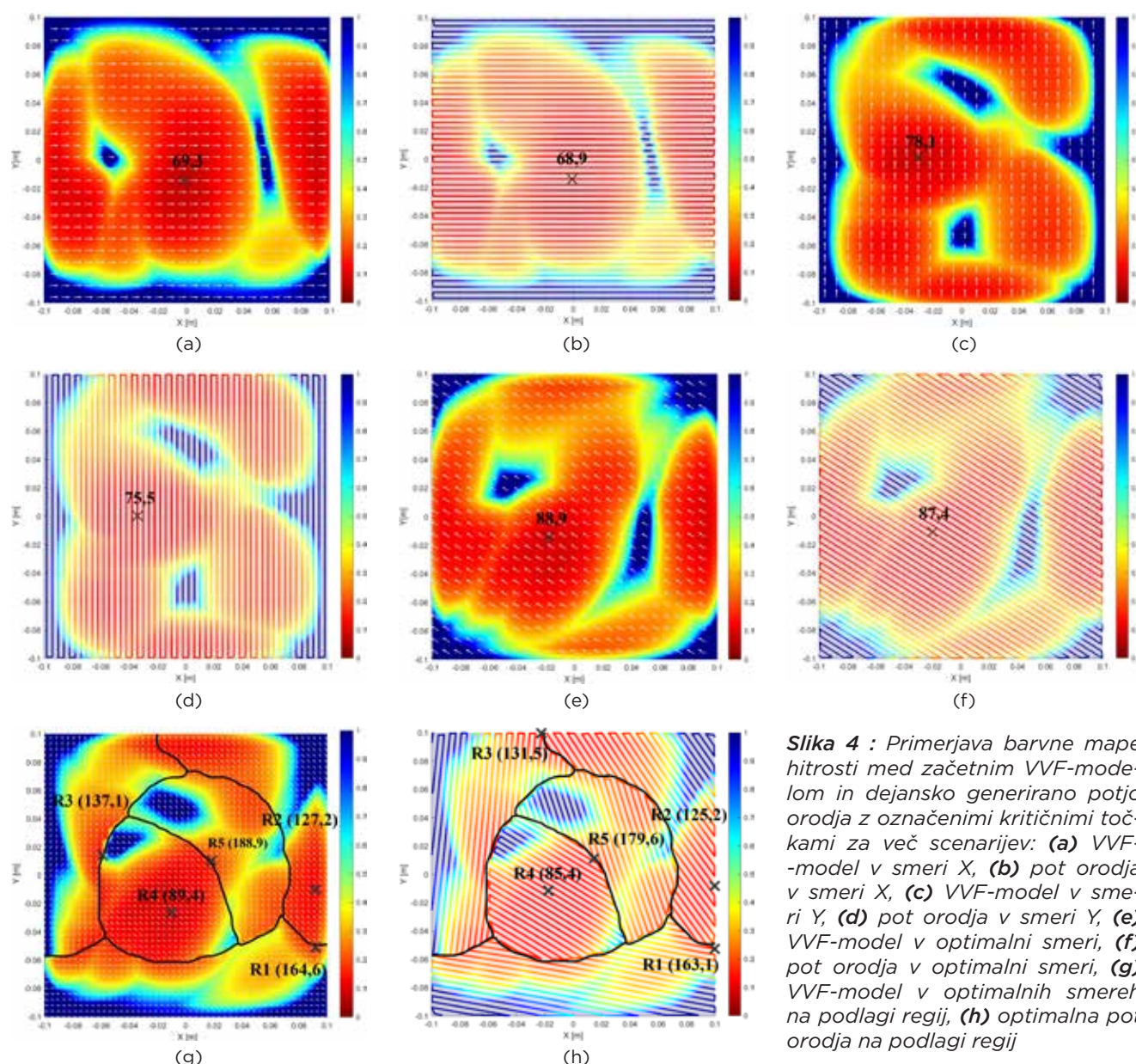
na 20 (mm/s), pospešek robota je bil nastavljen na 1,5 (m/s²). V skladu s priporočili za postopek mikrokovanja pa se razdalja med prehodi običajno giblje med 0,1 (mm) in 2 (mm), kar omogoča ustrezno prekrivanje in konsistentno površinsko obdelavo.

Obravnavana sta dva različna načina poti obdelave, in sicer prvi pristop temelji na tradicionalni enosmerni obdelavi, pri kateri so bile orodne poti generirane vzdolž vnaprej določenih koordinatnih osi – najprej v smeri osi X (*slika 4b*) in nato v smeri osi Y (*slika 4d*). Ta metoda predstavlja klasičen pristop CAM, kjer je smer gibanja konstantna čez celotno površino, ne glede na geometrijo obdelovanca ali manipulabilnostno karakteristiko robotskega sistema. Posledično lahko pride do lokalnega zmanjšanja hitrosti in manj učinkovite izrabe kinematičnega potenciala robota. Drugi pristop uvaja obdelavo z optimiziranimi smermi, kjer je bila najprej določena globalna optimalna smer za celoten obdelovanec. Ta je bila izračunana na podlagi vrednosti indeksa EMTI s ciljem maksimirati minimalno dopustno hitrost gibanja v vseh točkah površine (*slika 4f*). V nadaljevanju je bila površina razdeljena na več regij z uporabo metode segmentacije, pri čemer je bila za vsako regijo posebej določena lastna optimalna smer obdelave, prav tako na osnovi lokalnega EMTI. Obdelovalne poti so bile nato generirane znotraj posamezne regije v smeri, ki maksimizira kinematično učinkovitost obdelave (*slika 4h*). Takšen regijsko prilagojen pristop omogoča večjo fleksibilnost pri načrtovanju poti in boljši izkoristek robotskih zmogljivosti, še posebej pri kompleksnih geometrijah, kjer enotna smer gibanja ne more optimalno pokriti vseh področij površine.

Naša metodologija za izračun največje izvedljive hitrosti obdelave površine robota $V_{\max}^{opt}$ (4) v optimalni smeri je bila razvita v tangentni ravnini površine za vse točke, kjer se je ustvarilo polje VVF, kot je prikazano na *slikah 4a, c, e, g* in so bile generirane poti obdelave (*slika 4b, d, f, h*). Največje izvedljive hitrosti za te poti obdelave so bile določene z metodo DTF [10], ki izračuna največjo dopustno linearno hitrost robota med zaporednimi točkami vzdolž poti obdelave:

$$V_{\max}^{path} = \frac{1}{\left\| \tilde{J}_T^{\dagger} \hat{u}_T^{path} + h^{-1} \tilde{J}_R^{\dagger} \hat{u}_R^{path} \right\|_{\infty}} \quad (17)$$

kjer sta $\hat{u}_T^{path}$ in $\hat{u}_R^{path}$ linearna in kotna smer vzdolž poti. Parameter h predstavlja razmerje med translacijskim in rotacijskim gibanjem orodja vzdolž površine, ki je v našem primeru določeno z geometrijo obdelovanca in ga lahko izračunamo kot $h = 1 / \sqrt{\kappa_n^2 + \tau_g^2}$ [11], kjer je κ_n normalna ukrivljenost, τ_g pa geodetska torzija. V tem validacijskem procesu smo želeli preveriti, ali se dejanske poti obdelave in njihove največje izvedljive hitrosti ujemajo z začetnimi načrtovanimi vrednostmi. Na *sliki 4* je prikazana primerjava v smeri osi X (*sliki 4a, b*) v smeri osi Y (*slika 4c, d*), v optimalni smeri (*slika 4e, f*) in v smereh na podlagi regij (*slika 4g, h*).



Slika 4 : Primerjava barvne mape hitrosti med začetnim VVF-modelom in dejansko generirano potjo orodja z označenimi kritičnimi točkami za več scenarijev: (a) VVF-model v smeri X, (b) pot orodja v smeri X, (c) VVF-model v smeri Y, (d) pot orodja v smeri Y, (e) VVF-model v optimalni smeri, (f) pot orodja v optimalni smeri, (g) VVF-model v optimalnih smereh na podlagi regij, (h) optimalna pot orodja na podlagi regij

Preslikava iz modela VVF na dejanske poti obdelave lahko povzroči odstopanja pri največjih izvedljivih hitrostih. Ta odstopanja nastanejo zaradi razlike v gostoti modelnih točk in točk generiranih poti ter njihovih različnih položajev, vendar pa bi se ta odstopanja z večjo gostoto točk morala približati ničli. Na sliki 4 temno sivi križci označujejo največje izvedljive hitrosti v (mm/s). Hkrati barvna mapa prikazuje celoten razpon hitrosti na površini, pri čemer rdeča barva pomeni nižjo hitrost, modra pa višjo. Kljub manjšim odstopanjem so rezultati validacije na splošno pokazali dobro ujemanje, kar potrjuje sposobnost metode za natančno napovedovanje optimalnih smeri in hitrosti pred fazo generiranja poti. Dejanski testi so bili izvedeni na modelnih površinah obdelovancev s 2500 modelnimi točkami, pri čemer so bile poti površinske obdelave generirane z razdaljo med prehodi 2 (mm), kar je zneslo približno 22.000 točk za obravnavani primer. Razvidno je, da je bilo največje odstopanje približno

5 % ali manj. To potrjuje robustnost naše metode, saj so ta odstopanja ostala minimalna in znotraj sprejemljivih meja, kar dokazuje, da je metoda delovala dobro, tudi v scenarijih, ki vključujejo regijsko površinsko obdelavo. V praksi se za obdelavo na realnem robotu zaradi odstopanj v modelih priporoča uporaba 10 % nižjih hitrosti, da lahko zagotovimo uspešno izvedljivost obdelave.

3.3 Eksperimentalni rezultati

Eksperimentalni testi so bili izvedeni na prilagodljivi robotski platformi, opremljeni s sodelujočim robotom UR5e, kot je prikazano na sliki 1. Generiranje obdelovalnih poti je potekalo v programskem okolju Autodesk Fusion 360 CAM (2602.0.71), medtem ko sta bili simulacija gibanja in časovna analiza izvedeni s pomočjo okolja RoboDK (v5.7.4). S tem je bila omogočena primerjava ocenjenih časov obde-

Tabela 1 : Primerjava časa obdelave med različnimi strategijami. Izboljšava v (%) je med optimalno smerjo in regijami.

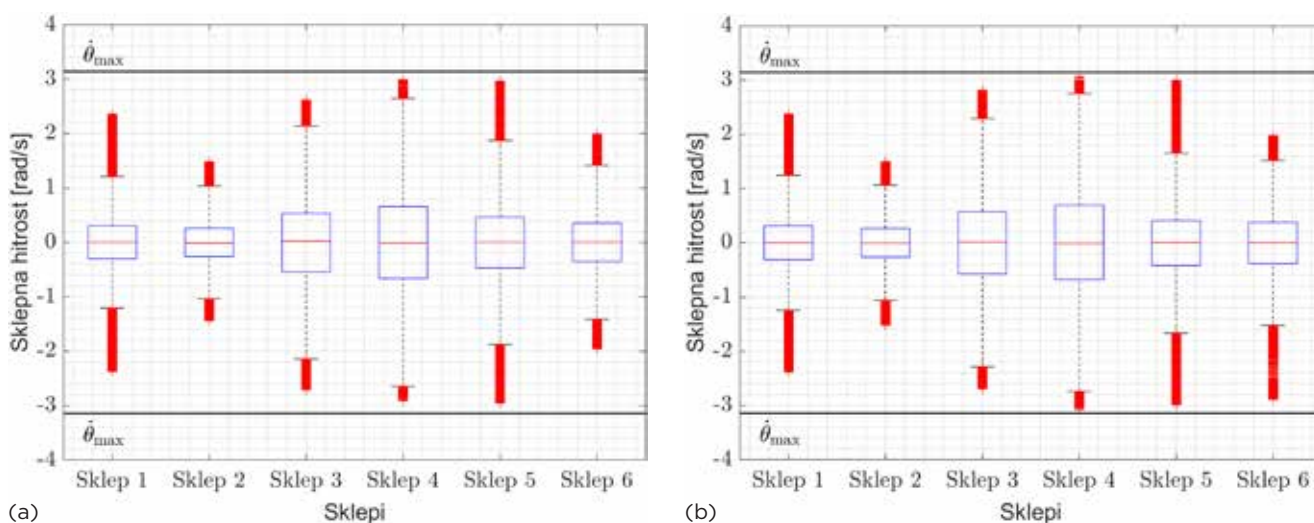
	X-smer	Y-smer	Opt. smer	Opt. regije	Izb. %
EMTI [sek]	148,1	130,9	118,2	103,6	
Max. izvedljiva hitrost [mm/s]	62,4	70,3	80	R5: 170	
Prehod 2 mm					
Čas obdelave [min:sek]	6:03	5:21	4:50	4:07	14,8
Prehod 1 mm					
Čas obdelave [min:sek]	11:56	10:33	9:32	7:45	18,7
Prehod 0,5 mm					
Čas obdelave [min:sek]	23:40	20:55	18:54	14:55	21,1
Prehod 0,1 mm					
Čas obdelave ur:min:sek]	1:58:25	1:44:46	1:34:31	1:13:11	22,6

lave za regijsko in tradicionalno strategijo na ravni simulacije, medtem ko so bili dejanski časi obdelave pridobljeni preko protokola RTDE (ang. Real-Time Data Exchange) z izvedbo procesov na fizičnem robotskem sistemu UR5e.

Analiza prikazuje učinkovitost posameznih metod obdelave, pri čemer posebej izpostavlja prednosti pristopa na podlagi regij v primerjavi s klasičnimi enosmernimi strategijami obdelave. Rezultati so prikazani v tabeli 1, kjer je mogoče opaziti zmanjšanje časa obdelave na realnem sistemu za približno 14–24 %, odvisno od gostote poti. Ključno je to, da izboljšan indeks EMTI bistveno bolje ocenjuje realni čas obdelave, ki upošteva razmerje med hitrostjo in časovnimi izgubami. Tako dobimo bolj uravnotežene regije v primerjavi s prejšnjim pristopom, kjer je bilo število segmentov zmeraj proti vrednosti C_{max} [9].

Rezultati eksperimentalne primerjave jasno kažejo, da strategija obdelave na osnovi regijske delitve pomembno presega tradicionalne pristope pri

zmanjševanju skupnega časa obdelave. Z razdelitvijo obdelovanca na regije je mogoče preprečiti ozko grlo pri obdelavi celotnega obdelovanca z minimalno (maksimalno izvedljivo) hitrostjo, ki jo нареkuje enosmerni linearni pristop. Namesto tega se lahko vsaka regija obdela z optimizirano hitrostjo, ki je najbolj primerna za njene specifične značilnosti. Pri mikrokovanju se lahko prilagodi frekvenca oscilacije orodja, tj. število udarcev karbidne kroglice na sekundo, kar omogoča sinhronizacijo s hitrostjo obdelave orodja. Ta sinhronizacija zagotavlja, da je vsaka regija ustrezno obdelana, kar izboljša splošno kakovost in učinkovitost procesa obdelave. Na sliki 5 sta prikazana škatlasta diagrama sklepni hitrosti za optimalno smer obdelave in obdelavo z regijami, kjer je vidno, da v nobenem primeru niso bile presežene maksimalne dopustne sklepne hitrosti (3,14 rad/s). To pomeni, da so bile vse načrtovane poti skladne z omejitvami sistema in izvedljive v praksi. Takšna skladnost potrjuje robustnost naše metode pri generiranju varnih in časovno optimiziranih poti gibanja, obenem pa potrjuje uspešnost regijskega

**Slika 5 :** Škatlasta diagrama sklepni hitrosti za različne strategije obdelave: **(a)** enosmerna optimalna smer obdelave, **(b)** obdelava na podlagi regij

pristopa kot realno izvedljive strategije za zahtevne aplikacije površinske obdelave.

3 Zaključek

Predstavljena raziskava je usmerjena v analizo kinematičnih zmogljivosti industrijskega robota pri površinski obdelavi obdelovancev s srednjekompleksno geometrijo. Na podlagi obstoječih teoretičnih temeljev smo razvili pristop, ki temelji na vektorskem polju hitrosti (VVF) kot osnovi za generiranje obdelovalnih poti, usklajenih z lokalnimi kinematičnimi značilnostmi robota in geometrije površine. Z uporabo tega koncepta smo implementirali metodo regijske obdelave, ki omogoča individualno optimizacijo hitrosti in smeri v vsaki regiji s ciljem povečanja učinkovitosti celotne obdelave.

V primerjavi s prejšnjo raziskavo [9] smo v tej študiji razvili izboljšan indeks za oceno časa obdelave (EMTI), ki upošteva tudi časovne izgube prehodov med posameznimi potmi, ter uvedli postopek iskanja optimalnega števila segmentov na podlagi tega indeksa. S tem smo zagotovili bolj realistično oceno časovne učinkovitosti, ki je bila tudi eksperimentalno preverjena na fizičnem robotskem sistemu. Na podlagi razvite metode smo ugotovili, da regijsko prilagojene strategije omogočajo izboljšave časa v primerjavi s tradicionalno enosmerno obdelavo. Odvisno od razdalje med prehodi se je čas obdelave zmanjšal za od 14 % do 22 %. Največje izboljšave so bile dosežene pri manjših razmikih med potmi, kar kaže na visoko učinkovitost regijskega pristopa pri gostejših poteh gibanja, kjer so klasične metode pogosto neučinkovite zaradi dinamičnih izgub.

Viri

- [1] Bleicher, F.; Lechner, C.; Habersohn, C.; Kozeschnik, E.; Adjassoh, B.; Kaminski, H. Mechanism of surface modification using machine hammer peening technology. *CIRP Ann.* 2012, 61, 375–378. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2012.03.139>.
- [2] Liao, Z.-Y.; Li, J.-R.; Xie, H.-L.; Wang, Q.-H.; Zhou, X.-F. Region-based toolpath generation for robotic milling of freeform surfaces with stiffness optimization. *Robot. Comput. Integr. Manuf.* 2020, 64, 101953. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2020.101953>.
- [3] Xie, H.-L.; Li, J.-R.; Liao, Z.-Y.; Wang, Q.-H.; Zhou, X.-F. A robotic belt grinding approach based on easy-to-grind region partitioning. *J. Manuf. Process.* 2020, 56, 830–844. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2020.03.051>.
- [4] Hu, Z.; Hua, L.; Qin, X.; Ni, M.; Liu, Z.; Liang, C. Region-based path planning method with all horizontal welding position for robotic curved layer wire and arc additive manufacturing. *Robot. Comput. Integr. Manuf.* 2022, 74, 102286. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2021.102286>.
- [5] Yin, F.-C. A Partitioning Grinding Method for Complex-Shaped Stone Based on Surface Machining Complexity. *Arab. J. Sci. Eng.* 2022, 47, 8297–8314. <https://doi.org/10.1007/s13369-021-06150-0>.
- [6] Hacı, A. Toward Optimal Robot Machining Considering the Workpiece Surface Geometry in a Task-Oriented Approach. *Mathematics* 2024, 12, 257.
- [7] S. Lloyd, "Least squares quantization in PCM," in *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 28, no. 2, pp. 129–137, March 1982, doi: 10.1109/TIT.1982.1056489.
- [8] Han, J.; Kamber, M.; Pei, J. *Data Mining: Concepts and Techniques*; Morgan Kaufmann Publishers Inc.: Burlington, MA, USA, 2011.
- [9] Pušnik, T.; Hacı, A. Region-Based Approach for Machining Time Improvement in Robot Surface Finishing. *Appl. Sci.* 2024, 14, 9808. <https://doi.org/10.3390/app14219808>.
- [10] Stradovnik, S.; Hacı, A. Task-Oriented Evaluation of the Feasible Kinematic Directional Capabilities for Robot Machining. *Sensors* 2022, 22, 4267. <https://doi.org/10.3390/s22114267>.
- [11] Stradovnik, S.; Hacı, A. Workpiece Placement Optimization for Robot Machining Based on the Evaluation of Feasible Kinematic Directional Capabilities. *Appl. Sci.* 2024, 14, 1531. <https://doi.org/10.3390/app14041531>.

Improved Time-Optimal Planning of Robotic Surface Finishing Using a Region-Based Approach

Abstract:

Traditional approaches to robotic surface machining often rely on a predefined, constant direction and speed of tool motion, regardless of the local characteristics of the workpiece. Such a uniform strategy results in inefficient utilization of the robot's capabilities, particularly when dealing with complex geometries where the kinematic performance can vary significantly across different surface regions. In this study, we present an advanced approach based on surface segmentation of the workpiece into regions, where each region is assigned a locally optimal machining direction and speed, derived from the robot's kinematic capabilities and the geometry of the surface. An improved machining time index was developed, incorporating a penalty for toolpath transitions, along with a new procedure for determining the optimal number of initial segments. This enables a more realistic estimation of the overall process efficiency. Numerical and experimental results confirm that the proposed region-based strategy achieves up to 22% reduction in machining time compared to conventional unidirectional strategies.

Keywords:

robot surface machining, machining time optimization, collaborative robots, surface segmentation, machine hammer peening

NASTAVITEV PID Z ALGORITMOM DIFERENCIALNE EVOLUCIJE V PLK NA PRIMERU REGULACIJE PRETOKA ZRAKA

Božidar Bratina, Nenad Muškinja, Milan Rotovnik, Marjan Golob

Izvleček:

Prispevek predstavlja primer izvedbe naprednih algoritmov v PLK višjenivojskem programskem jeziku SCL za potrebe nastavitve parametrov PID na primeru procesne avtomatizacije. Z razvojem strojne opreme je možno napredne algoritme izvajati tudi direktno v PLK, še posebno zanimive pa so vgradnje algoritmov umetne inteligence in strojnega učenja. V okviru zaključnih del smo s študenti izvedli več prenosov naprednih algoritmov v PLK in jih primerjali s teoretičnimi metodami in praktičnimi orodji v industriji. Na področju uporabe optimizacijskih algoritmov v procesni industriji smo za namen demonstracije nastavitve parametrov PID izvedli z uporabo algoritma diferencialne evolucije na PLK na učnem laboratorijskem modelu regulacije pretoka zraka. Zaradi specifičnosti in omejenosti programskih jezikov so bile rešitve namenoma deloma izvedene tudi s pomočjo orodij generativne umetne inteligence, da se lahko ovrednoti kvaliteta podanih rešitev. Pojav generativnih modelov, kot so chatGPT, Copilot, Gemini, DeepSeek itd., nezadržno vpliva tudi na pedagoški proces in nove priložnosti podajanja učnih vsebin na vseh stopnjah izobraževanja. Izkušnje z različnimi projekti študentov avtomatike in robotike kažejo, da orodja umetne inteligence (UI) še ne zmorejo podati celovitih rešitev, lahko pa služijo kot dobra podpora.

Ključne besede:

procesna avtomatizacija, algoritmi vodenja, optimizacija parametrov PID, izobraževanje, orodja umetne inteligence

1 Uvod

Hitremu razvoju tehnologij in prehodom industrijskih nivojev običajno sledijo tudi prilagoditve učnih vsebin na področju tehniškega izobraževanja. Prehod v industrijo 4.0 je zajel celovito avtomatizacijo procesov z medsebojno povezljivostjo naprav na lokalnem in oblačnem nivoju in postopno vključevanje orodij umetne inteligence (ang. artificial intelligence, AI). Prehod v industrijo 5.0 razširja obstoječi nivo s ključno spremembo, da v ospredje vrača človeka pri odločanju in upravljanju z modernimi orodji (tudi UI). Združevanje izkušenj, spretnosti in človeku prilagojenih naprednih orodij s ciljem dose-

ganja boljšega sodelovanja med stroji in ljudmi. Pri tem so prepoznane ključne tehnologije za prehod, kot so generativna umetna inteligenca, razširjena resničnost, digitalni dvojčki in tehnologije veriženja blokov.

Pojav orodij (generativne) umetne inteligence spreminja način pridobivanja informacij, kot smo ga bili vajeni do nedavnega. Tudi na področju terciarnega izobraževanja že leta tiskane knjige in skripte zamenjujemo s spletnimi vsebinami, interaktivnimi nalogami, kvizi, projekti, alternativnimi metodami učenja, kjer študenti preko različnih metod poučevanja samostojno pridobivajo in iščejo rešitve. Pri pedagoškem delu na nižji stopnji študente elektrotehnike smeri avtomatike in robotike poučujemo vsebine klasične avtomatizacije, kot so: gradniki sistemov vodenja, programiranje programabilnih logičnih krmilnikov (PLK), integracija komponent, komunikacije v avtomatiki, regulacijski algoritmi, vmesniki človek-stroj (HMI), nadzorni (SKADA) sistemi itd. Te vsebine so že desetletja bistven del in se sproti dopolnjujejo glede na razvoj in pojav novih tehnologij. S pridobljenim predznanjem si zato lahko na višji stopnji privoščimo bolj napredne vsebine, ki jih zaradi hitrega razvoja tehnologij in orodij

Dr. Božidar Bratina, univ. dipl. inž.,
doc. dr. Nenad Muškinja, univ. dipl. inž.,
Milan Rotovnik, izr. prof. **dr. Marjan Golob**, univ. dipl. inž., vsi Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko

© The Authors 2025. CC-BY 4.0

<https://doi.org/10.5545/Ventil-31-2025-3.02>

težje direktno vključujemo v posodabljanje vsebin, saj se tehnologije hitro spreminjajo.

Z leti opažamo spremembe v prid vse večje uporabe in zanašanja na informacije iz modelov UI kot pa na iskanje rešitev iz predhodnega znanja, literature, mentorstva itd. Tako smo vplive uporabe orodij UI zaznali tudi pri študentskih projektih ali zaključnih delih, kjer so potrebni teoretično predznanje, integracija vsebin različnih predmetov in celovit pristop k reševanju problema [1, 2]. Uporabo seveda vzpodbujamo kot pripomoček pri raziskovalnem delu študentov na magistrski stopnji elektrotehnike smeri avtomatike in robotike v okviru Laboratorija za procesno avtomatizacijo (LPA) na Fakulteti za elektrotehniko, računalništvo in informatiko v sklopu Univerze v Mariboru. Pri delu so običajno zelo samostojni in iznajdljivi, na UM pa jim je omogočeno vključevanje tako v raziskovalno kot projektno delo v sklopu laboratorijev in inštitutov [3].

V nadaljevanju bo predstavljen en primer takšnega zaključnega dela, kjer je bilo pri delu uporabljeno predhodno znanje študenta, dopolnjeno z orodji umetne inteligence pri razvoju končne rešitve. Za nalogo je bil izveden algoritem diferencialne evolucije v PLK za potrebe nastavitve parametrov PID na učnem laboratorijskem modelu regulacije pretoka zraka. Prenos znanstvenih metod in algoritmov iz simulacijskih okolij, izvajanih na osebnih računalnikih, v industrijsko opremo ni enostaven, zato predstavljena rešitev lahko služi kot dober primer za industrijo 5.0, kjer se vse več naprednih algoritmov integrira v majhne vgrajene naprave.

2 Vgradnja diferencialne evolucije v PLK za nastavitev parametrov regulatorja PID

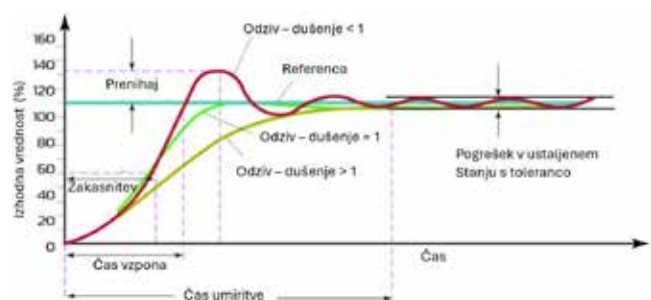
Regulatorji PID (proporcionalno-integrirno-diferencialni) so široko uporabljani v industrijskih regulacijskih sistemih zaradi svoje učinkovitosti in relativne preprostosti. Ključen izziv je določitev dobrih, če že ne optimalnih parametrov (K_p , T_i , in T_d), saj neustrezne nastavitve vodijo do nestabilnosti ali slabe regulacije. Enačba 1 predstavlja zapis idealne (paralelne) strukture regulatorja PID.

$$PID(S) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i S} + T_d S \right) \quad (1)$$

Metode nastavitve parametrov PID v industriji, kot so Ziegler-Nicholsova metoda, Chien-Hrones-Roswick, Cohen-Coon in druge, pogosto ne zagotavljajo optimalnega delovanja pri kompleksnih ali nelinearnih sistemih. Zato se vse pogostejše uporabljajo inteligentni in metahevristični optimizacijski algoritmi, ki omogočajo iskanje optimalnih nastavitve parametrov PID. Optimizacijski algoritmi, od numeričnih, biomimetičnih do evolucijskih, so v praksi najbolj pogosti genetski algoritmi (GA), al-

goritmi na osnovi rojev delcev (PSO), diferencialna evolucija (DE) in v zadnjem času algoritmi na osnovi umetne inteligence (globoke mreže), metode strojnega učenja (učenje z okrepitvijo) itd.

Optimizacijski algoritmi omogočajo iskanje optimalnih parametrov PID s pomočjo cenilne funkcije, ki lahko zajema različne regulacijske zahteve: prenihaj (ang. overshoot), ustalitev (ang. settling time), pogrešek v ustaljenem stanju (ang. steady-state error), čas zakasnitve (ang. delay time), čas vzpona (ang. rise time), čas vrha prenihaja (ang. peak time), in se posamično ali v kombinaciji ovrednotijo preko integralnega kvadratičnega pogreška (ISE), integralnega absolutnega pogreška (IAE) in podobno (slika 1).



Slika 1 : Regulacijske zahteve za zaprtozankni odziv

V zadnjem desetletju se je pojavilo ogromno primerov optimizacije parametrov PID z različnimi algoritmi optimizacije in kombinacijami, redko pa se zaradi kompleksnosti implementirajo v industrijske naprave. [4–6] Na splošno se je uporaba diferencialne evolucije pri optimizaciji parametrov PID izkazala za izjemno uspešno, saj nudi:

- ▶ **stabilno konvergenco:** DE-algoritmi so znani po svoji sposobnosti stabilnega iskanja optimalnih rešitev, tudi v prisotnosti šuma in nestabilnosti sistema;
- ▶ **robustnost:** DE-algoritmi so manj občutljivi na začetne pogoje in lahko učinkovito obravnavajo nelinearnosti in večdimenzionalne iskalne prostore;
- ▶ **prilagodljivost:** Sodobne različice DE-algoritmov vključujejo kombinacije z ostalimi algoritmi ali modifikacije za prilagodljive parametre, ki izboljšajo učinkovitost optimizacije v realnih aplikacijah.

Velika prednost pa je tudi nastavitev parametrov PID brez potrebe po modeliranju sistema.

2.1 Diferencialna evolucija

Diferencialna evolucija (DE) je populacijski, metahevristični optimizacijski algoritem. Primeren je za reševanje problemov z neznanimi ali kompleksnimi funkcijami in deluje na principih evolucije, podobno kot genetski algoritmi. Od njih se razlikuje z uporabo diferencialne mutacije za generiranje novih kan-

didatov oziroma rešitev in je bil v osnovi zasnovan za iskanje globalnega optimuma. Deluje brez potrebe po gradnji modela ali izračunavanja odvodov, zato je DE hitro prodrla na številna področja, kot so strojništvo, ekonomija, biomedicina, nastavitve PID, načrtovanje omrežij, načrtovanje poti itd. Delovanje algoritma je predstavljeno z naslednjimi koraki, tudi predstavljenimi s psevdokodo v *tabeli 1*:

- ▶ inicializacija populacije naključnih rešitev znotraj določenih mej;
- ▶ mutacija: za vsakega člana populacije se ustvari mutirana rešitev z uporabo linearne kombinacije razlik med naključnimi člani populacije;
- ▶ križanje (rekombinacija): kombinacija mutirane in obstoječe rešitve za ustvarjanje nove rešitve;
- ▶ izbor: če ima nova rešitev boljšo ocenjeno vrednost, ta nadomesti obstoječo.

Algoritem DE za svoje delovanje uporablja različne matematične funkcije, kot so generator naključnih števil, permutacije, matrični izračuni in podobno. Izvedba algoritma v višjenivojskih jezikih tako ne predstavlja problema, kar pa ne velja za okorno okolje PLK in strojno opremo. Z razvojem vedno močnejših serij PLK pa se umika tudi ta ovira. Tako se je za pripravo algoritma DE v PLK najprej celotna koda pripravila in testirala v Matlab okolju v simulacijah. Sprva se je testiralo delovanje algoritma DE na problemu iskanja minimuma nekaj različnih matematičnih funkcij z vnaprej znanim minimumom (Kowalik, Himmelblau, Rastrigin). Nato pa se je delovanje DE testiralo še na primeru nastavitve parametrov regulatorja PID s pomočjo matematičnih modelov sistema višjega reda z mrtvim časom. Zaprtizančni odzivi so pokazali, da je z ustrezno omejitvijo naključno generiranih parametrov PID z algoritmom DE ta konvergirala proti optimalni rešitvi.

Tabela 1: Psevdokoda algoritma diferencialne evolucije

1. Nastavi parametre algoritma DE:
▶ velikost populacije (NP), ▶ dimenzija problema (število parametrov, 3 za PID), ▶ faktor mutacije (npr. 0,5–0,9), ▶ stopnja križanja (npr. 0,7–0,9), ▶ največje število generacij, ▶ spodnje in zgornje meje parametrov.
2. Inicializiraj populacijo P z NP osebki:
▶ za vsak $i \in [1, NP]$: ▶ x_i = naključni vektor znotraj mej (dimenzije D).
3. Oцени s cenilno funkcijo $f(x_i)$ za celo populacijo.
4. Izvajaj DE, dokler niso izpolnjeni pogoji za ustavitev
▶ za vsak osebek x_i v populaciji: a) izberi tri različne posameznike $x_{r_1}, x_{r_2}, x_{r_3} \neq x_i$, b) izvedi mutacijo in križanje, c) izberi najboljše, d) oceni s cenilno funkcijo nove osebke, e) prestavi najboljše osebke v novo generacijo.
5. Vrne najboljše rešitev iz končne populacije.

Kot smo omenili, se je v PLK algoritem uporabil za nastavitve parametrov PID na učnem laboratorijskem modelu regulacije pretoka zraka. Pri tem je uporabljen klasični krmilnik Siemens serije S7-1500, sprogramiran z lestvično logiko za vodenje procesa in uporabo osnovnega funkcijskega bloka PID. Funkcija algoritma DE je, da z različnimi generiranimi parametri PID testira in izvaja različne skočne spremembe želene vrednosti in na podlagi zajetega zaprtizančnega odziva ponastavi parametre PID za novo iteracijo. Tako se na podlagi obnašanja sistema z regulatorjem iščejo optimalni parametri PID za doseganje zelenega zaprtizančnega obnašanja sistema oziroma dinamike.

Vključevanje orodij umetne inteligence se je pričelo s pripravo kode algoritma diferencialne evolucije v PLK, ki je bil sprogramiran v programskem jeziku SCL. Prav zaradi okrnjenosti programskih jezikov PLK in specifik programiranja je določene algoritme in funkcije težje izvesti. Problem predstavljajo matematične funkcije, ki so običajno zajete v knjižnicah višjih programskih jezikov (npr. RAND, RANDI, RANDPERM, FLOOR, MOD, TRUNC itd.), v SCL pa jih je običajno potrebno pripraviti lastnoročno. Pri razvoju smo tako identificirali več načinov kako hitro pridobiti parcialne rešitve – od UI orodij, namenskih prevajalnikov ali lastnega kodiranja, a je končno rešitev dalo šele človeško delo.

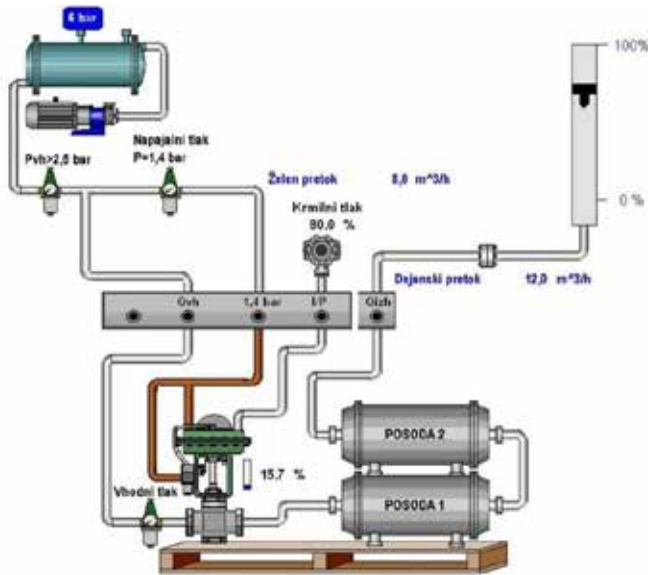
2.2 Učni laboratorijski model

Za testiranje smo izbrali učni laboratorijski model z regulacijo pretoka zraka, ki je zaradi uporabljenih pnevmatskih gradnikov nelinearen (sistem višjega reda, pnevmatski ventil, meritev pretoka na podlagi razlike tlakov) in v različnih delovnih točkah zahteva drugačne parametre PID. Proces na *sliki 2* večkrat uporabljamo pri laboratorijskih vajah za demonstracijo različnih vsebin avtomatizacije (gradniki, pretvorbe, programiranje). Regulacija pretoka zraka se izvaja v območju med 0–16 m³/h, s pomočjo krmiljenja pnevmatskega ventila v območju med 0,2–1 bar (odprtost med 0–100 %).

S pomočjo tokovnih pretvornikov so vsi signali pretvorjeni v območje med 4–20 mA in v krmilniku nato normirani in skalirani v območje 0–100 %. Običajno študenti problem regulacije in nastavitve parametrov PID rešujejo parcialno z določanjem stabilnih parametrov PID v nekaj delovnih območjih. Nato pa sprogramirajo posodobitev parametrov PID med delovanjem procesa glede na želeno delovno točko. V primeru nastavitve parametrov PID z optimizacijo DE pa se je želelo poiskati parametre avtomatsko v več izbranih delovnih točkah na podlagi zahtevanega stabilnega zaprtizančnega odziva.

2.3 Izvedba algoritma DE s funkcijskim blokom v PLK

Celotna koda, napisana v jeziku SCL, je bila predhodno testirana v simulaciji na PLK z razvitim dis-



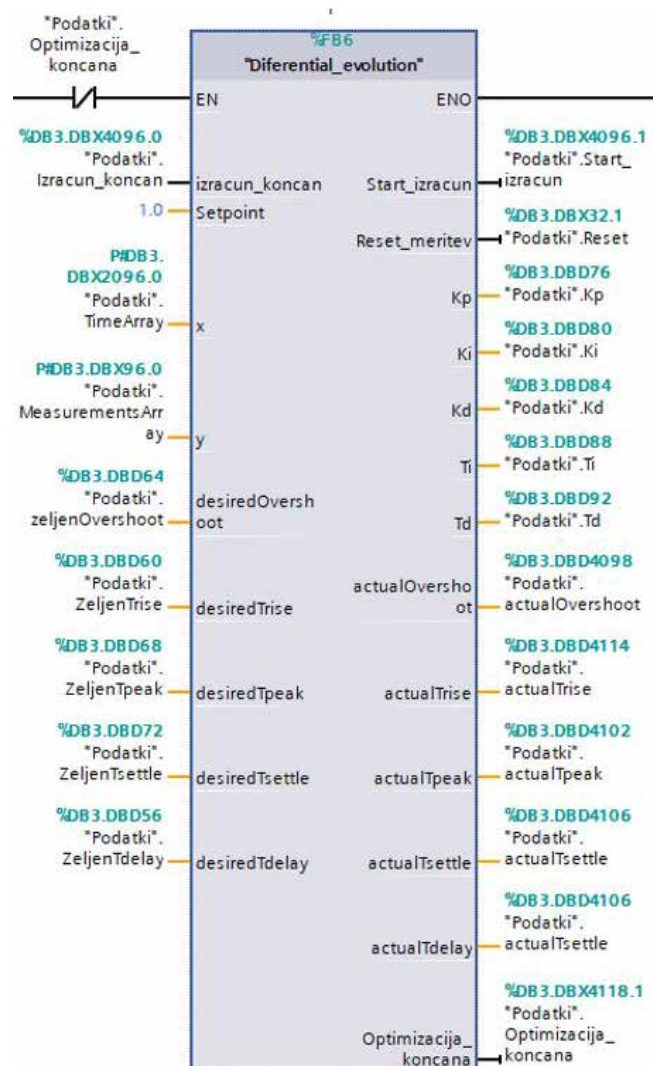
Slika 2 : Laboratorijski učni model regulacije pretoka zraka

kretnim modelom sistema 2. reda z zakasnitvijo v zaprti regulacijski zanki, s podobno dinamiko kot kasnejši realen učni model regulacije pretoka zraka. Slika 3 prikazuje razvit blok algoritma DE [7].

Pred delovanjem je v algoritmu DE potrebno določiti različne parametre: končna vrednost, ki jo algoritem doseže, da se optimizacija zaključi; število parametrov, ki jih iščemo, v našem primeru tri parametre PID; število osebkov oziroma populacije; maksimalno število iteracij; verjetnost za križanje (rekombinacijo) parametrov med različnimi osebki; stopnjo mutacije, ki določa velikost koraka spremembe parametrov; ter spodnje in zgornje meje parametrov populacije. Cenilno funkcijo smo po potrebi omejili zgolj na nekaj regulacijskih zahtev, kot so: vrednost prenihaja, čas umiritve ter minimalno regulacijsko odstopanje v ustaljenem stanju.

Končni parametri regulatorja PID so bili pridobljeni na podlagi skočnih sprememb referenčne vrednosti glede na različne parametre DE (število osebkov, iteracij, cilj, faktorje križanja in mutacije), izvedba v PLC (računanje) pa je zaradi počasnega odziva procesa in zajetnih meritev v vektorjih zahtevala daljše čase obdelave (trajanje nekaj ur). Programska koda in izvedba v jeziku SCL je pravilno delovala, optimizacija pa je vzela kar nekaj časa za doseganje stabilnih rešitev parametrov PID. Pred vsakim generiranim setom parametrov PID se je te preverilo in v testiranje vključilo le tiste, ki so bili smiselni oziroma znotraj dovoljenih mej. S tem se je zagotovilo doseganje stabilnega zaprtozančnega odziva, na podlagi katerega je bilo moč oceniti rezultat.

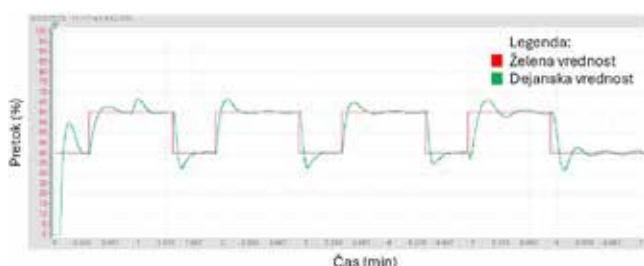
Pri testiranju smo zaradi nelinearnosti procesa izbrali tri območja delovanja procesa: pri spremembi pretoka v območju 10 % in 30 %, 40 % in 60 % in med 70 % in 90 %. Pri vsakem testu novih parametrov PID, ki jih je nastavila DE, se je zajelo meritve krmilne in procesne spremenljivke v vektor 100 se-



Slika 3 : Funkcijski blok algoritma diferencialne evolucije za optimizacijo parametrov regulatorja PID

kund z vzorčenjem 0,1 sekunde. Skočna sprememba navzgor z osveženimi parametri PID je trajala fiksnih 60 sekund, navzdol s stabilnimi parametri PID pa 40 sekund (slika 4).

Parametri algoritma diferencialne evolucije so bili nastavljeni: 3 parametri, 9 osebkov, maksimalno število iteracij 20, končna vrednost cenitve 5, faktor križanja 0,8 in mutacije 0,8. V cenilni funkciji smo upoštevali minimalni pogrešek v ustaljenem stanju 0, vrednost prenihaja 10 % in čas nastavitve 30 sekund (slika 5). Vrednosti so bile izbrane izkustveno glede na dinamiko in nelinearnost procesa. Če je bilo v cenilno funkcijo zajetih preveč kriterijev, algoritem DE ni našel ustreznih parametrov PID, ki bi zadostili vsem kriterijem.



Slika 4 : Graf poteka izvajanja skočnih zaprtozančnih odzivov na delovnem območju med 40 % in 60 % vrednosti pretoka, zajetih v portalu TIA

```
//Inicijalizacija
#MaxValue := #y[1];
#Overshoot := 0;
#Trise := 0;
#Tpeak := 0;
#Tsettle := 0;
#Tdelay := 0;
#Tolerance := 0.02 * #Setpoint;

//Iskanje MAX vrednosti in Tpeak
FOR #i := 1 TO 500 DO
  IF #y[#i] > #MaxValue THEN
    #MaxValue := #y[#i];
    #Tpeak := #x[#i];
  END_IF;
END_FOR;

//Izračun Overshoot
#Overshoot := ((#MaxValue - #Setpoint) / #Setpoint) * 100.0;

//Trise (čas, ko signal prvič doseže Setpoint)
FOR #i := 1 TO 500 DO
  IF #y[#i] >= #Setpoint THEN
    #Trise := #x[#i];
    EXIT;
  END_IF;
END_FOR;

//Poišči Tdelay (čas, ko signal prvič doseže 10% Setpointa)
FOR #i := 1 TO 500 DO
  IF #y[#i] >= 0.1 * #Setpoint THEN
    #Tdelay := #x[#i];
    EXIT;
  END_IF;
END_FOR;
```

Slika 5 : Izsek kode SCL izračuna cenilne funkcije glede na izbrane zahteve odziva.

2.4 Analiza rezultatov

Dobljene parametre PID z algoritmom DE v več delovnih točkah se je primerjalo z nastavitvijo v portalu TIA, ki jo omogoča osnovni funkcijski blok PID. Izkazalo se je, da so nastavljeni parametri v bloku PID vedno izračunali preveliko ojačenje K_p glede na delovno točko, kar je povzročalo nihanje procesne vrednosti okoli delovne točke. Pri določanju časovnih konstant ni bilo hujših odstopanj. V tabeli 2 so prikazane regulacijske zahteve, v tabeli 3 pa nastavljeni parametri PID pred izvedbo optimizacije in dobljeni z blokom DE in PID. Začetni parametri PID so bili omejeni glede na znanje o dinamiki in nelinearnosti procesa in pridobljeni po izkustveni metodi CHR (Chien-Hrones-Reswick), da so zagotavljali delovanje v delovni točki brez oscilacij. To je bil namreč predpogoj za izračun cenilne funkcije in postopek optimizacije z diferencialno evolucijo.

3 Vstop orodij UI v orodja avtomatizacije

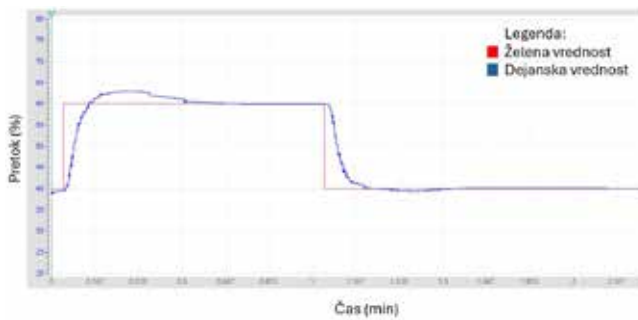
Predstavljeni primer potrjuje možnost dokaj hitre integracije naprednih algoritmov v vgrajene naprave, kot je PLK že danes. Z mnogimi primeri smo s kolegi v okviru zaključnih nalog izvedli še več zanimivih algoritmov seveda tudi s pomočjo orodij UI. Tako smo od konceptov industrije 4.0 in prehodom v industrijo 5.0 na pragu nove revolucije UI. Pristop glavnih proizvajalcev industrijske opreme se že nagiba k vključevanju teh orodij v razvojna okolja za doseganje višje učinkovitosti pri razvoju proizvodnje. S pomočjo generativnih modelov UI se bo dalo lažje avtomatizirati kompleksne naloge na področju vodenja sistemov, analitika, temelječa na podatkih, bo dala boljši vpogled v delovanje in

Tabela 2 : Regulacijske zahteve za optimizacijo različnih območij delovanja procesa

Kriterij	Območje	Zahteva za odziv	Najboljši odziv
Prenihaj (%)	10–30 %	10	3,6
Čas umiritve (s)		30	31,4
Prenihaj (%)	40–60 %	10	8,9
Čas umiritve (s)		30	27,5
Prenihaj (%)	70–90 %	10	5,3
Čas umiritve (s)		30	27,6

Tabela 3 : Primerjava parametrov PID za različna območja delovanja procesa

Območje	Parametri PID	K_p	T_i	T_d
10–30 %	začetni stabilni parametri	0,2	2,2	0,6
	diferencialna evolucija	0,23	3,0	0,4
	samonastavitev PID v TIA	0,7	2,4	0,5
40–60 %	začetni stabilni parametri	0,4	2,2	0,6
	diferencialna evolucija	0,6	5,0	0,1
	samonastavitev PID v TIA	0,9	3,0	0,4
70–90 %	začetni stabilni parametri	1	2,2	0,6
	diferencialna evolucija	0,78	3,0	0,3
	samonastavitev PID v TIA	1,3	2,5	0,7



Slika 6 : Končni odziv z dobljenimi parametri PID po DE v delovnem območju med 40-60 % vrednosti pretoka

generirala odločitve, ki vodijo k višji učinkovitosti in natančnosti. Generativna umetna inteligenca lahko obdeluje ogromne količine podatkov, prepoznava vzorce in optimizira procese v realnem času, zaradi česar bodo podjetja in panoge, ki želijo z inovacijami ostati konkurenčna, morala vlagati v znanje, orodja UI in kadre, ki znajo uporabljati in izkoristiti njihov potencial. Pri izobraževanju kot podajalci klasičnih in/ali naprednih vsebin študentom s področja avtomatizacije smo primorani slediti trendom in omogočati študentom pridobitev čim več znanja, kompetenc in izkušenj. Soočeni z izzivi kako akademsko pridobljena znanja približati potrebam v industriji poskušamo poleg osnovnih znanj študente spoznavati tudi s koncepti industrije 4.0 in 5.0, ki jih bodo prenesli, uporabljali in razvijali naprej (IIoT, digitalni dvojčki, razširjena resničnost ...).

Vedno več podjetij na trgu že ponuja lastna orodja za razvoj digitalnih dvojčkov za boljšo analizo in optimizacijo delovanja. Po drugi strani se področje programiranja krmilnikov in razvoj kode približujeta kombiniranim konceptom z znanimi programskimi jeziki, kot sta C++ in Python. Tako se z višjega nivoja orodja UI lažje vključujejo v okolja avtomatizacije in programiranje PLK. Večja podjetja, kot npr. Siemens, vključujejo v svoje produkte MS Copilot in s tem posodablajo koncept portala TI. Prav tako podjetje B & R svoje okolje Automation Studio Code nadgrajuje z MS Copilotom, s čimer želi povišati produktivnost in izboljšati timsko delo pri razvoju programske opre-

me v smeri industrije 5.0 s poudarkom na človeških odločitvah. Z združevanjem domenskega znanja avtomatizacije in izkušenj v različnih panogah lahko pričakujemo hitrejšo obvladovanje strogih zahtev v proizvodnji in avtomatizaciji. Testiranje in spremljanje napredka velikih jezikovnih modelov (chatGPT, Gemini, DeepSeek itd.) pri razvoju različnih algoritmov kaže na hiter razvoj na področju avtomatizacije. Če ta orodja še pred letom dni niso podala konkretnih rešitev, na primer kode SCL diskretnega regulatorja PID, je danes slika že drugačna. Le vprašanje je potrebno pravilno formulirati.

Nazadnje sledi še zahvala vsem študentom zaključnih del, ki so vztrajno razvijali in testirali različne algoritme v kodi SCL [7], ki jih z ustreznimi dopolnitvami že vključujemo v pedagoške vaje na smeri avtomatika in robotika.

Viri

- [1] Francis, J. N. et al.: Generative AI in Higher Education: Balancing Innovation and Integrity, British Journal of Biomedical Science, 81/ 2024.
- [2] Sengar, S. S. et al.: Generative artificial intelligence: a systematic review and applications, Multimed Tools Appl, 2024.
- [3] Vključevanje študentov v raziskovalno in projektno delo, UM, 2022.
- [4] Fayti, M., Mjahed, M., Ayad, H., & El Kari, A. (2023). "Recent Metaheuristic-Based Optimization for System Modeling and PID Controllers Tuning." Studies in Informatics and Control, 32.
- [5] Hasanien, H. M., & El-Fergany, A. A. (2021). "A novel hybrid GWO-PSO algorithm for optimal PID tuning of nonlinear systems." Applied Soft Computing, 102, 107099.
- [6] Nasir, Mohannad & Saloumi, Majd & Nassif, Ali. (2022). Review of Various Metaheuristics Techniques for Tuning Parameters of PID/FOPID Controllers. ITM Web of Conferences. 43. 01002.
- [7] Grm, A.: Uporaba optimizacijskih algoritmov za samodejno nastavitve PID parametrov v PLK, magistrsko delo. Maribor, 2024.

PID tuning based on differential evolution algorithm in PLC for airflow control

Abstract:

The paper presents implementation of advanced algorithms in PLC using the higher-level programming language SCL for PID parameter tuning in process automation. Nowadays advanced algorithms can also be implemented directly in PLCs, whereas implementation of artificial intelligence and machine learning algorithms is particularly interesting. In scope of the master thesis and student projects we implemented several advanced algorithms in PLCs and compared them with theoretical methods and practical industry tools. In the study case we implemented differential evolution algorithm optimization algorithm in the process industry control scheme for PID parameter tuning into PLC for task of airflow control. Due to the specificity and limitations of programming languages, the solutions were partially developed using tools of generative artificial intelligence, to evaluate the quality of obtained solutions. Generative models such as chatGPT, Copilot, Gemini, DeepSeek, etc., also have an impact on the teaching part, bringing new opportunities for teaching content at all levels of education. Experience through various student projects by students of automation and robotics shows that AI tools are not yet able to provide comprehensive solutions, but they can serve as good support.

Keywords:

process automation, control algorithms, PID parameter optimization, education, artificial intelligence tools.

Z DIGITALNIM DVOJČKOM DO OPTIMALNE POSTAVITVE IN LOGISTIKE PROIZVODNJE V PODJETJU UNIOR

Hugo Zupan, Boštjan Jegrišnik, Uroš Matavž, Niko Herakovič

Izvleček:

Prispevek prikazuje uporabo digitalnega dvojčka kot ključnega orodja za optimizacijo tlorisov in notranje logistike v podjetju UNIOR. Zaradi zaprtja ene izmed proizvodnih enot je bilo potrebno preseliti več strojev in tehnologij na dve obstoječi lokaciji, pri čemer je bil cilj zagotoviti učinkovito razporeditev brez dodatnih gradbenih posegov. Z uporabo digitalnega dvojčka smo izvedli natančne simulacije, analizirali različne scenarije in optimizirali materialne tokove, kar je omogočilo povečanje števila izvedenih operacij za več kot 320 %, skrajšanje poti materialov za 43 % ter odpravo potrebe po zunanjih logističnih storitvah. Primerjava z začetno rešitvijo, pripravljeno pred začetkom optimizacije, je pokazala, da pristop z digitalnim dvojčkom vodi do bistveno boljše učinkovitosti, boljše izrabe prostora in racionalizacije notranje logistike. Prispevek ne prikazuje le uspešnega primera reorganizacije proizvodnih kapacitet, temveč tudi dokazuje, da je digitalni dvojček nepogrešljivo orodje pri optimizaciji in reorganizaciji obstoječih proizvodnih postavitev v sodobnem industrijskem okolju.

Ključne besede:

digitalni dvojček, optimizacija proizvodnje, postavitev proizvodnje, notranja logistika, simulacija proizvodnih procesov, Sankeyjev diagram, prilagodljiva proizvodnja, pametna tovarna

1 Uvod

V okviru projekta reorganizacije proizvodnje smo v podjetju UNIOR, d. d., divizija ročno orodje, uporabili digitalni dvojček kot ključno orodje za optimizacijo razporeditve kapacitet in materialnih tokov. Zaradi strateškega zaprtja proizvodne enote v Starem trgu je nastala potreba po preselitvi več strojev in tehnologij na dve preostali lokaciji – v Zreče in Vitanje.

Glavni cilj reorganizacije je bil zagotoviti učinkovito razporeditev proizvodnih kapacitet, izboljšati pretočnost materialnih tokov in maksimizirati izrabo obstoječih prostorskih zmogljivosti, vse to brez obsežnih gradbenih posegov, kot so gradnje dodatnih plavajočih temeljev. Pri tem je bilo ključnega pomena, da nova postavitev ne le zadovolji trenutne proizvodne potrebe, temveč omogoči tudi fleksibilnost za prihodnje spremembe in rast.

Uporaba digitalnega dvojčka je omogočila natančno preslikavo obstoječega stanja, simulacijo različnih »kaj-če« scenarijev in primerjavo alternativnih rešitev za preselitev strojev. Že v zgodnjih fazah smo lahko na podlagi analiziranih podatkov prepoznali rešitve z največjim potencialom za izboljšanje proizvodne učinkovitosti, skrajšanje transportnih poti in optimizacijo notranje logistike, kar nam je omogočilo sprejemanje premišljenih odločitev in postavitev trdnih temeljev za nadaljnjo optimizacijo proizvodnih procesov.

2 Izzivi in priložnosti

Pred začetkom reorganizacije je podjetje UNIOR proizvajalo ročno orodje na štirih ločenih lokacijah: v Zrečah, Vitanju, Lenartu in Starem trgu (*slika 1*).

Lokacija Stari trg je bila logistično zahtevna, saj je omejena povezljivost med obratoma oteževala transport produktov, usklajevanje podpornih procesov in izvedbo delovnih nalog.

Zaradi strateške odločitve o zaprtju proizvodnje v Starem trgu je bilo potrebno izvesti natančno načrtovano selitev strojev, tehnologij in procesov na dve preostali lokaciji – Zreče in Vitanje. Ta selitev pa ni predstavljala zgolj logističnega izziva, temveč tudi priložnost za temeljito optimizacijo tlorisov, izboljš-

Dr. Hugo Zupan, univ. dipl. inž., DIGITEH, d. o. o., Ljubljana; **Boštjan Jegrišnik**, **Uroš Matavž**, oba UNIOR, d. d., Zreče; **prof. dr. Niko Herakovič**, univ. dipl. inž., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo

© The Authors 2025. CC-BY 4.0

<https://doi.org/10.5545/Ventil-31-2025-3.03>



Slika 1 : Transportne poti med različnimi lokacijami

šanje materialnih tokov in boljšo izrabo obstoječih proizvodnih površin.

V prvi fazi reorganizacije smo izvedli podroben pregled vseh obstoječih lokacij. S tem smo pridobili celovit vpogled v trenutno stanje, prepoznali ključne omejitve in definirali izhodiščne pogoje, ki so bili podlaga za načrtovanje optimalne preselitve. Posebno pozornost smo namenili prepoznavanju ozkih grl, analizi prostorskih možnosti in določanju prioritarnih področij za izboljšave.

3 Proces optimizacije

Proces optimizacije proizvodnje je bil zasnovan v treh glavnih fazah, ki so si logično sledile in se med seboj nadgrajevale.

3.1 Analiza obstoječega stanja

V začetni fazi smo z uporabo digitalnega dvojčka (slika 2) natančno analizirali obstoječe stanje.

Pregledali smo materialne tokove, logistične poti in postavitev strojev ter identificirali ključne omejitve



Slika 2 : Preslikava realnega sistema v digitalni dvojček

in priložnosti za izboljšave. V digitalni dvojček smo vključili vse pomembne podatke: tlorise proizvodnih prostorov, dimenzije in karakteristike strojev, sezname vseh delovnih nalogov in operacij ter dodatne omejitve, kot so prostorske zahteve in zahteve po temeljih.

Od podjetja UNIOR smo prejeli seznam vseh strojev in tehnologij, predvidenih za selitev iz Starega trga. Skupno je bilo preseljenih **29** strojev, kar je predstavljalo pomemben logistični in organizacijski izziv.

3.2 Simulacija možnih rešitev

Na podlagi vnesenih podatkov smo v digitalnem dvojčku oblikovali in primerjali več alternativnih »kaj-če« scenarijev preselitve in optimizacije. Pri tem smo upoštevali naslednje ključne kriterije:

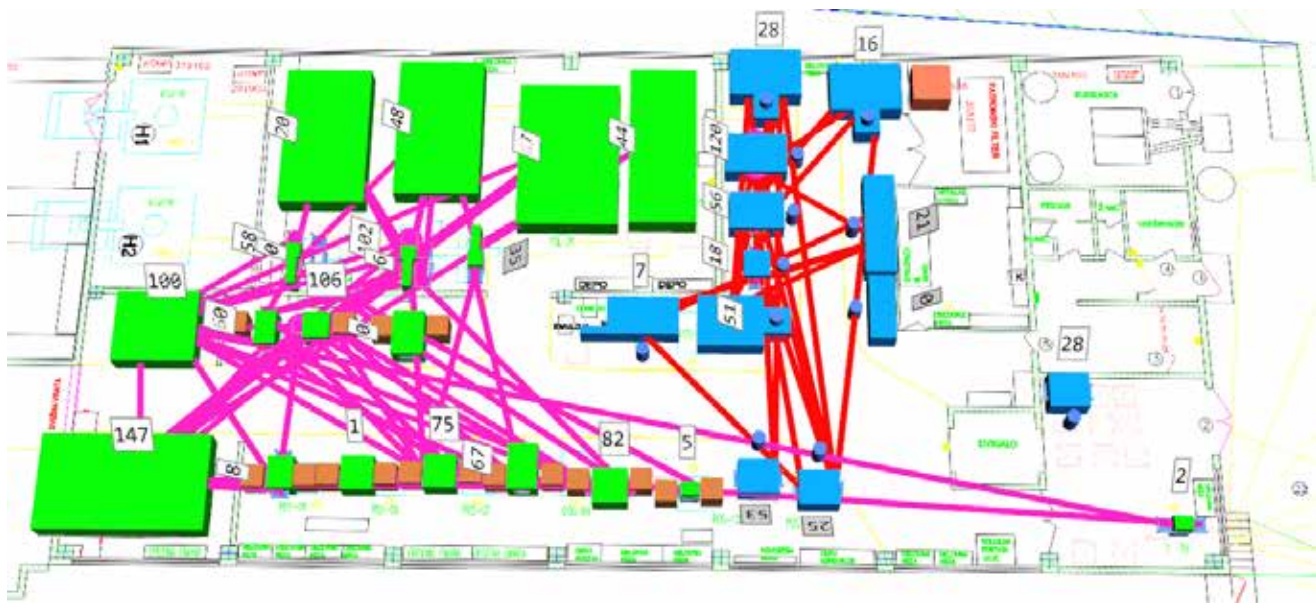
- ▶ *zmanjšanje nepotrebnih materialnih tokov*: zmanjšanje premikov med posameznimi fazami proizvodnje;
- ▶ *prostorska učinkovitost*: kar najboljši izkoristek obstoječih zmogljivosti;
- ▶ *fleksibilnost*: možnost prilagoditve bodočim proizvodnim zahtevam;
- ▶ *minimalne gradbene prilagoditve*: čim manjša potreba po novih temeljih (na koncu je bil potreben le en dodatni temelj);
- ▶ *optimalna postavitev strojev*: zasnova, kjer lahko en operator upravlja več strojev;
- ▶ *združevanje tehnoloških družin*: bližina strojev s sorodnimi procesi;
- ▶ *minimalne spremembe obstoječih tlorisov*: optimizacija brez obsežnih sprememb trenutne postavitve.

Za boljšo primerjavo in vizualizacijo materialnih tokov smo v vsaki različici postavitve pripravili tudi *Sankeyjev diagram*, ki jasno prikazuje količino in smer premikov med posameznimi stroji oziroma proizvodnimi območji.

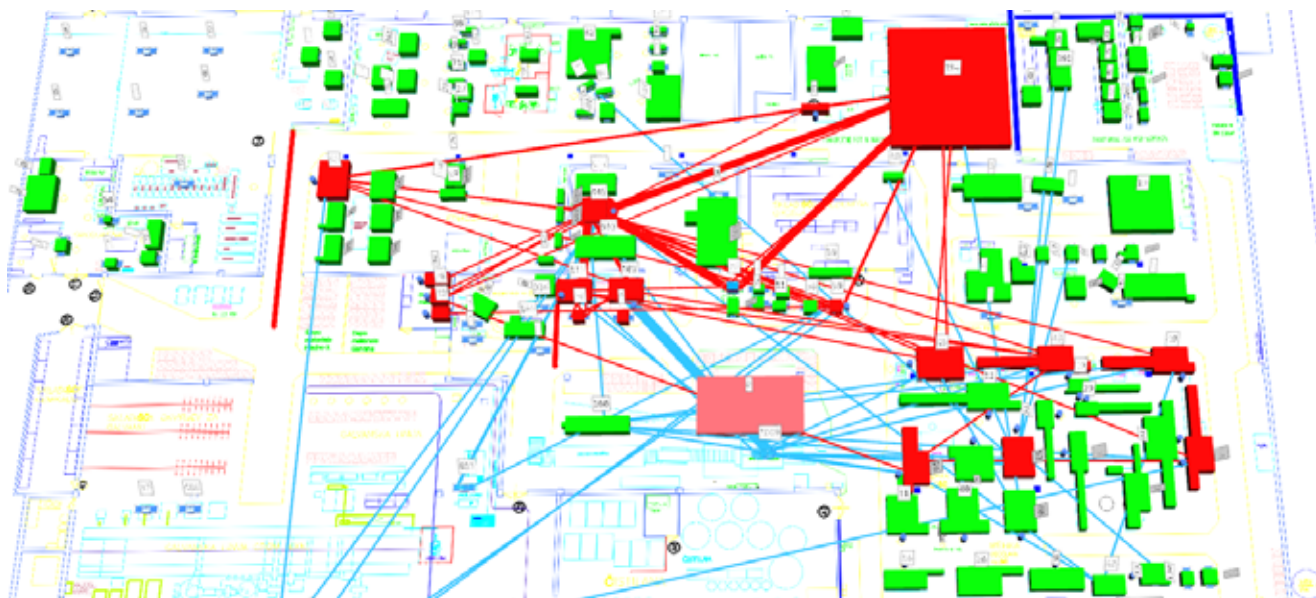
Gre za orodje za vizualizacijo tokov, pri katerem debelina povezav ponazarja količinsko intenzivnost posameznega toka. Takšna predstavitev je bistveno pripomogla k lažjemu prepoznavanju ozkih grl in logičnejši razporeditvi strojev po proizvodnem prostoru. Sankeyjev diagram se je tako izkazal kot pomembno podporno orodje pri sprejemanju odločitev o optimalni postavitvi.

3.3 Izbor optimalne rešitve

Na podlagi rezultatov simulacij in izmenjav z ekipo UNIOR smo določili končno postavitev strojev za lokaciji Vitanje (slika 3) in Zreče (slika 4). Pri izboru smo posebno pozornost namenili čim večji proizvodni učinkovitosti, skrajšanju transportnih poti, boljši izrabi prostora in izboljšanju ergonomije delovnih mest. Tako smo oblikovali rešitev, ki ne samo



Slika 3 : Optimiziran tloris Vitanje s prikazom delnega Sankeyjevega diagrama



Slika 4 : Optimiziran tloris Zreče s prikazom delnega Sankeyjevega diagrama

ustreza trenutnim proizvodnim zahtevam, temveč omogoča tudi prilagodljivost za prihodnje širitve ali spremembe proizvodnih programov.

Na *sliki 3* in *sliki 4* so poleg postavitve strojev prikazani tudi delni Sankeyjevi diagrami, ki ponazarjajo materialne tokove znotraj posameznih oddelkov. Ti prikazi omogočajo hiter vizualni vpogled v povezave med stroji ter intenzivnost posameznih tokov. Celotnega Sankeyjevega diagrama vseh povezav nismo vključili, saj bi bila njegova berljivost zaradi kompleksnosti in velikega števila tokov močno omejena.

Zeleni elementi predstavljajo obstoječe stroje v Vitanju, modri pa stroje, ki so bili v okviru optimizacije preseljeni z lokacije Starega trga. Barvne linije pri-

kazujejo materialne tokove: rdeče linije ponazarjajo tokove med modrimi (preseljenimi) stroji, rožnate pa povezave med obstoječimi stroji. Debelina linij odraža količinsko intenzivnost posameznega toka v opazovanem obdobju.

Zeleni elementi predstavljajo obstoječe stroje v Zrečah, medtem ko rdeči označujejo stroje, ki so bili preseljeni z lokacije Starega trga. Rdeče linije v Sankeyjevem diagramu prikazujejo materialne tokove med preseljenimi stroji, svetlo modre linije pa tokove med preseljenimi in obstoječimi stroji.

Zaradi preglednosti Sankeyjev diagram ne vključuje tokov med obstoječimi stroji, saj bi bil prikaz zaradi njihove gostote in prepletenosti nepregleden.

4 Rezultati optimizacije

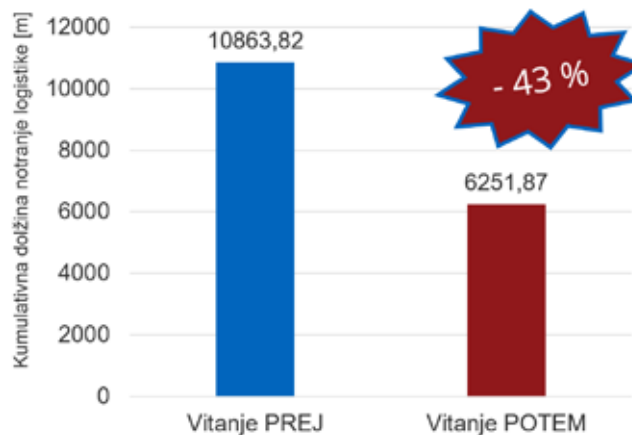
V zaključni fazi projekta smo predlagane rešitve, razvite s pomočjo digitalnega dvojčka, primerjali s tlorisi, zasnovanimi na strokovnem znanju brez uporabe simulacijskih orodij, ki jih je podjetje UNI-OR izdelalo pred začetkom optimizacije za lokaciji Zreče in Vitanje. S to primerjavo smo preverili skladnost rešitev in dodatne možnosti za izboljšave ter zagotovili, da smo v končni razporeditvi proizvodnih kapacitet upoštevali vse ključne dejavnike.

4.1 Vitanje

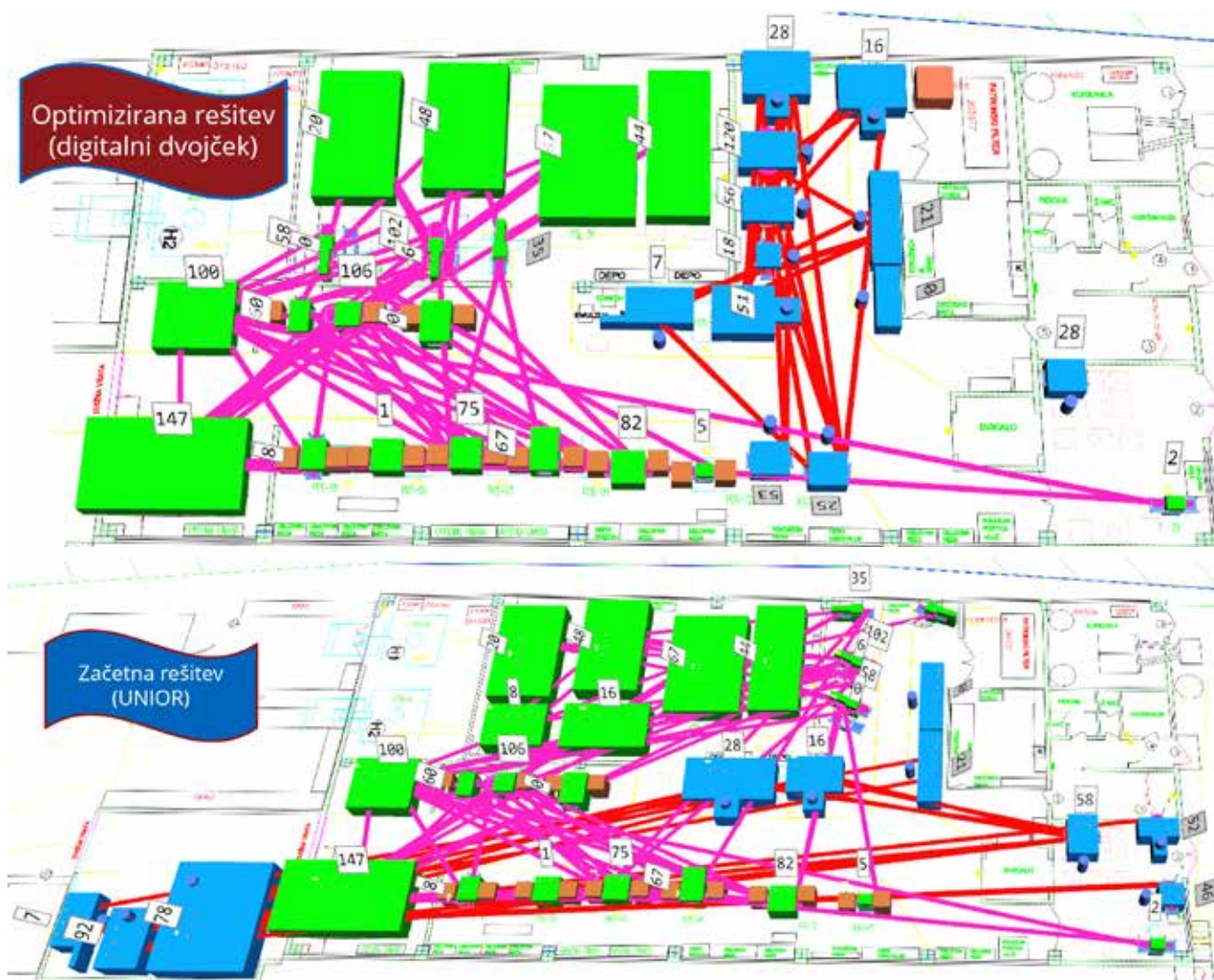
V Vitanju je primerjava med tlorisom, zasnovanim na strokovnem znanju brez uporabe simulacijskih orodij, in končno rešitvijo (slika 5), razvito s pomočjo digitalnega dvojčka, pokazala naslednje ključne izboljšave:

- ▶ povečanje števila preseljenih strojev: z 10 na 12;
- ▶ skrajšanje dolžine materialnih tokov: za 43 % glede na opazovano obdobje (slika 6);
- ▶ izboljšana izraba prostora in optimizacija poteka proizvodnih operacij.

Dolžina materialnih tokov



Slika 6 : Skrajšanje dolžine materialnih tokov za opazovano obdobje za -43 %



Slika 5 : Primerjava tlorisov UNIOR/DD - Vitanje

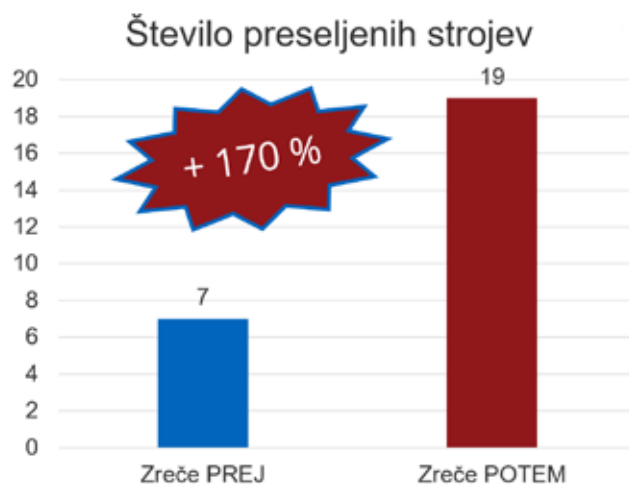
4.2 Zreče

Tudi v Zrečah je primerjava pokazala pomembne razlike med tlorisom, zasnovanim na strokovnem znanju brez uporabe simulacijskih orodij, in optimizirano postavitvijo.

Na primerjavi tlorisov (slika 7) je jasno razvidno, da ima optimizirana postavitve bistveno več povezav med posameznimi stroji, kar je neposredna posledica večjega števila uspešno preseljenih strojev in boljše organizacije proizvodnih procesov.

Rezultati primerjave so pokazali:

- ▶ povečanje števila preseljenih strojev: s 7 na 19 (slika 8);



Slika 8 : Povečanje števila preseljenih strojev za 170 %



Slika 7 : Primerjava tlorisov UNIOR/DD - Zreče

rahlo povečanje dolžine materialnih tokov, kar je posledica večjega števila izvedenih operacij;

- ▶ *povečanje proizvodne zmogljivosti*: število izvedenih operacij na preseljenih strojih se je povečalo za 327 %, kar predstavlja občutno izboljšanje izkoristka proizvodne površine.

5 Sklep

Projekt reorganizacije proizvodnje v podjetju UNIOR je jasno pokazal, kako lahko uporaba digitalnega dvojčka bistveno prispeva k učinkovitemu načrtovanju in izvajanju kompleksnih sprememb v proizvodnem okolju.

Z analizo na podlagi podatkov smo uspešno identificirali ozka grla, optimizirali razporeditev strojev in racionalizirali materialne tokove, kar je pripeljalo do občutnih izboljšav v prostorski izrabi in logistični učinkovitosti.

Iterativni simulacijski postopek nam je omogočil oblikovanje tlorisov, ki so:

- ▶ izboljšali prostorsko razporeditev strojev;
- ▶ zmanjšali notranjo logistiko in odpravili potrebo po zunanjih prevozi;

- ▶ skrajšali transportne poti in povečali izrabo razpoložljivega delovnega prostora ter
- ▶ omogočili večjo prilagodljivost za prihodnje spremembe v proizvodnji.

Ključna prednost digitalnega dvojčka se je izkazala v možnosti testiranja različnih rešitev že v fazi načrtovanja, kar je omogočilo sprejemanje bolj premišljenih odločitev brez tveganj za motnje v realnem proizvodnem procesu.

V tesnem sodelovanju z ekipo UNIOR smo izbrali najbolj uravnoteženo rešitev, pri čemer smo upoštevali tudi ergonomijo delovnih mest, združevanje sorodnih tehnologij in minimalne posege v obstoječo infrastrukturo.

Izkušnje iz projekta kažejo, da uporaba digitalnega dvojčka ni omejena zgolj na preselitve proizvodnih kapacitet, temveč predstavlja nepogrešljivo orodje tudi pri optimizaciji in reorganizaciji obstoječih postavitev.

Z uporabo digitalnega dvojčka lahko podjetja preidejo od improviziranih rešitev k podatkovno vodenemu načrtovanju proizvodnje, optimizirajo vsak meter prostora in si ustvarijo trajno konkurenčno prednost v industriji prihodnosti.

Optimizing Production Layout and Logistics Using a Digital Twin at UNIOR

Abstract:

This paper presents the optimization efforts at the company UNIOR. Following the closure of one of its production units, it was necessary to relocate several machines and technologies to two existing locations, with the goal of achieving an efficient arrangement with minimal construction interventions. Using the digital twin, we conducted precise simulations, analysed various scenarios, and optimized material flows, which enabled a more than 320% increase in the number of operations performed, a 43% reduction in material transport distances, and the elimination of the need for external logistics services. To support analysis and decision-making, we also used Sankey diagrams, which visualized the intensity and direction of material flows and significantly contributed to identifying bottlenecks and selecting the optimal layout. A comparison with the initial layout, developed based on expert knowledge without the use of simulation tools, showed that the digital twin approach leads to significantly better efficiency, improved space utilization, and more streamlined internal logistics. The paper not only presents a successful case of production capacity reorganization but also demonstrates that the digital twin is an indispensable tool for optimizing and reorganizing existing production setups in modern industrial environments.

Keywords:

digital twin, production optimization, production layout, internal logistics, simulation of production processes, Sankey diagram, flexible manufacturing, smart factory



INDUSTRIJA POTREBUJE VEDNO NOVE IZZIVE

Kaj lahko bionika ponudi industriji in drugim področjem?

Janez Škrlec

Bionika je osupljiva in vznemirljiva veda, ki skuša rešiti tehnične probleme in izzive z izkoriščanjem znanja narave in biologije. Bionika se ukvarja s prenosom pojavov iz narave v tehnologijo. Sposobnost organizmov, da se prilagajajo okoljskim spremembam, ponuja dragocen vpogled v razvoj in ustvarjanje inovativnih pametnih bionskih sistemov.



Infografika bionike na poti v prihodnost

Čeprav bionika ni od danes, je za čas, v katerem živimo, izjemnega pomena. Še zlasti je pomembna za našo prihodnost. Bionika temelji na predpostavki, da živa narava z evolucijskimi procesi razvija optimizirane strukture in procese, iz katerih se lahko ljudje učinkovito učijo. Bionika se ukvarja s sistematičnim prepoznavanjem rešitev žive narave

in njihov cilj je bolj ali manj vedno tehnični objekt ali proces. Ker si človeštvo prizadeva za boj proti globalnemu segrevanju, za razvoj trajnostnih energijskih sistemov, zaščito okolja in zemeljskih ekosistemov, imamo v naravnem okolju na voljo vse primerke, ki jih potrebujemo. Bionika se običajno uporablja za reševanje problemov in ustvarjanje idej pri tehničnem in procesnem inženiringu. Visoke stopnje bionske integracije danes zahtevajo tehnološki napredek tako na mehatronskem kot na biološkem področju. Te rešitve se kažejo na različnih področjih – od medicine, zdravstva, robotike, energetike, industrije ...

Janez Škrlec, inž., Uredništvo revije Ventil

© Avtorji 2025. CC-BY 4.0

S katero industrijo je trenutno najbolj povezana bionika

Bionika je bila do zdaj po vseh kazalnikih najbolj povezana z industrijo zdravstvenih in medicinskih tehnologij, izdelkov in pripomočkov. K tej industriji sodi bionska protetika (različne umetne okončine), implantabilni vsadki (različni stimulatorji: srčni spodbujevalniki, kardioverter defibrilatorji, nevrostimulatorji za blaženje hudih kliničnih nevroloških stanj), sakralni nevrostimulatorji, nevronski vmesniki, umetni organi, eksoskeleti za zdravstvo, humanoidni roboti, bionski humanoidi in razvoj posebnih robotov za operativne posege in rehabilitacijske potrebe. Bionika ima posebno vlogo tudi pri razvoju novih materialov, pri oblikovanju izdelkov, ki se uporabljajo v medicini in zdravstvu, ter pri oblikovanju površin, ki nudijo večjo in učinkovitejšo antimikrobno zaščito. Pomembno vlogo v industrijskih aplikacijah dobivajo tudi slušni in vidni vsadki, različne črpalke, na primer inzulin-ske, protibolečinske, alfa črpalke, črpalke za ciljno doziranje zdravilnih učinkovin in drugo. Posebno mesto imajo tudi različni senzorji (biosenzorji, bi-onanosenzorji, bionski senzorji in senzorji na podlagi razvoja memristorjev, ki predstavljajo lastnost upora s spominom in služijo za nadzor in spremljanje bolezni, boljše diagnostiko ter učinkovitejšo obliko zdravljenja. Med učinkovito protetiko sodijo tudi umetne bionske mišice, ki so zasnovane na različnih principih, tudi s pomočjo elektroaktivnih polimerov. Nabor tehnologij in inovacij, ki jih uporablja industrija medicinskih in zdravstvenih pripomočkov, je še veliko večji in napovedi v tovrstni industriji so izjemno obetavne.

Bionika posodablja industrijske procese in prinaša nove rešitve

Napredne bionske pogonske tehnologije so že izstopajoči dosežki na področju mehke robotike (Bionic Soft Robots) in humanoidne robotike, vključno z novo generacijo kooperativnih robotov. Področje tehnologij mehkega aktiviranja, ki se uporablja za mehke robote, navdihuje biologija s procesnimi pristopi bionike. V ostrem nasprotju s svojimi običajnimi togimi dvojniki so mehki roboti po biološkem navdihu v prvi vrsti izdelani iz prožnih oziroma fleksibilnih materialov, kar jim daje izjemno prilagodljivost in prožnost za izvajanje številnih nalog v kompleksnih okoljih, vendar je razvrstitev njihove pogonske tehnologije velik izziv zaradi raznolike palete uporabljenih pogonskih mehanizmov in materialov. V kontekst oblikovanja prilagodljivih in rekonfigurabilnih robotskih sistemov z bionično sestavo sodijo tudi BioARS (Bionic Assembly Robotic System). Gre za nove industrijske razvojne pristope, oblikovanje roja robotov za reševanje različnih nalog in prilagajanje različnim

okoljem. Samosestavljanje pa je ena najzahtevnejših tem na področju raziskav robotike danes. Trend oblikovanja po naravi postaja prav tako pomembna bionična zasnova in ključni dejavnik za najso-dobnejšo aditivno proizvodnjo. Spreminjajoče se proizvodno okolje, za katero so značilne agresivna konkurenca v svetovnem merilu in hitre spremembe v procesni tehnologiji, zahteva ustvarjanje proizvodnih sistemov, ki jih je mogoče enostavno nadgraditi in v katere je mogoče zlahka integrirati nove tehnologije in nove funkcije. Da bi odgovorili na te nove zahteve, je bil pred nekaj leti predstavljen sistem bioničnega sestavljanja (BAS – Bionic Assembly System). BAS temelji na konceptih avtonomije, sodelovanja in inteligence svojih enot. Sistem predlaga uporabo avtonomnih mobilnih robotov v proizvodnem okolju, roboti pa dajejo sistemu fleksibilnost in povečujejo dinamiko celotnega procesa. BAS je sistem, ki je osredotočen tudi na človeka in spodbuja vključevanje delavcev v kompleksni delovni proces. Seveda pa bionika vstopa v industrijske procese tudi s preoblikovanjem industrijske avtomatizacije, ki jo navdihuje narava. S črpanjem navdiha iz domiselnih oblik, ki jih najdemo v naravi, želi bionika posnemati učinkovitost in prilagodljivost naravnih sistemov. Velik izziv je tudi integracija bioničnih sistemov z obstoječimi industrijskimi procesi in infrastrukturo. Zlitje narave in tehnologije utira pot učinkovitejši in okolju prijaznejši dobi industrijske avtomatizacije. Bionika prinaša inteligenco v oblikovanju in operativno učinkovitost. S črpanjem navdiha iz naravne učinkovitosti, prilagodljivosti in trajnosti naj bi bionika spremenila način pristopa k industrijski avtomatizaciji. Integracija eksoskeletov, protetike, genetskih algoritmov in drugih najsodobnejših tehnologij v industrijsko avtomatizacijo pa nesporno revolucionira proizvodnjo in tudi robotiko samo. Ta napredek vodi k izboljšani učinkovitosti, varnosti in sodelovanju med ljudmi in stroji. Danes že obstaja tudi inovativni metodološki okvir PLM za bioniko z vgrajeno povratno biomimetiko za inovativen razvoj izdelkov. Nova metodologija uporablja funkcionalno modeliranje za podporo analognim kategorijam s slikovnim in virtualnim prenosom znanja iz biologije v inženirstvo, s čimer odpravlja omejitve biomimetičnih procesov, s katerimi se sooča inženirstvo. Projekti bionike se nezadržno širijo na različna inženirska področja, postajajo gibalno inovacij in transformativna pot skozi digitalizacijo na poti v biodigitalno konvergenco.

Vse več projektov EU, denimo Obzorje 2020, je povezanih z industrijo prihodnosti, v kateri bodo imele pomembno mesto tudi bionika in z njo ustvarjene inovacije. Trende na področju razvoja bionike pri nas že več let predstavljamo tudi v okviru projekta Stičišče znanosti in gospodarstva Ministrstva za visoko šolstvo, znanost in inovacije (MVZI).

ODLIČNA REŠITEV ZA VODOTESNO VPENJANJE

Elesa+Ganter z novimi vodotesnimi vpenjalnimi ročicami MRY-SST-HVD širi svojo ponudbo nastavljivih vpenjalnih ročic. Zasnovane so za aplikacije, kjer se izvajajo redni postopki čiščenja ali so tekočine. Nastavljive vpenjalne ročice so bile razvite za izpolnjevanje zahtev industrijskih panog, kjer sta čistoča in varnost na prvem mestu. Ročaj zagotavlja odlično delovanje in zanesljivost v zahtevnih okoljih, na primer na strojih in sistemih v živilski, farmacevtski in kemični industriji.



Najpomembnejše funkcije so:

- ▶ **Material in oblika:** Nastavljive vpenjalne ročice MRY-SST-HVD so izdelane iz termoplasta (poliamid, PA), ojačanega s steklenimi vlakni, torej iz materiala, skladnega z zahtevami FDA (FDA CFR.21 in EU 10/2011). Nenamerno umazanijo na ročajih je zaradi posebne barve enostavno prepoznati. Vse to prispeva k večji varnosti pri proizvodnji hrane.

- ▶ **Vodotesna konstrukcija:** Zaradi sistema tesnil med posameznimi deli nastavitvenega mehanizma je ta ročaj praktično vodotesen in preprečuje nabiranje umazanije in drugih ostankov. Zaradi te lastnosti je ročaj idealen za okolja, ki so izpostavljena ciklom čiščenja z vodnimi curki.
- ▶ **Sestavni deli iz plemenitega jekla:** Ročaj je na voljo v izvedbah z notranjim ali zunanjim navojem iz nerjavnega jekla 1.4404. V primerjavi z drugimi vpenjalnimi vzvodi s kovinskimi pritrdilnimi vijaki ima ta naslednje prednosti: zaščita uporabnika pred električnimi razelektritvami med delovanjem, brez vidnih jeklenih delov, ki bi lahko rjaveli, in priročno upravljanje tudi pri prostorskih omejitvah.
- ▶ **Ergonomsko in varno:** Zasnova brez votlin in gladka površina ($R_a < 0,8 \mu m$) zagotavljata maksimalno primernost izdelka za uporabo. Poleg tega omogočata lažje čiščenje in vzdrževanje.

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

© Avtorji 2025. CC-BY 4.0



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.

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

HITRA IZBIRA IDEALNEGA LINEARNEGA AKTUATORJA S KORAČNIM MOTORJEM

Pravilna izbira in dimenzioniranje linearnega aktuatorja s koračnim motorjem (SMLA) za posamezne primere uporabe je lahko dolgotrajen in zahteven postopek. Kateri motor je najprimernejši? Ali je potrebna uporaba matice? Če da, katera vrsta je najbolj ustrezna? Kakšna je pravilna velikost vretena? Tovrstna vprašanja so lahko zahtevna tudi za najbolj izkušene inženirje, zato je koristna uporaba enostavnih in preglednih grafov zmogljivosti.



Slika 1 : Linearni pogoni SMLA

V podjetju Thompson so izdelali enostavne in pregledne zmogljivostne grafe, ki bistveno poenostavijo postopek in zagotovijo pravilnost izbire. Njihova uporaba je prikazana na izbranem primeru. Zmogljivostne karakteristike za standardne enote

SMLA so prikazane v grafu, kjer sta na oseh osna obremenitev in linearna hitrost.

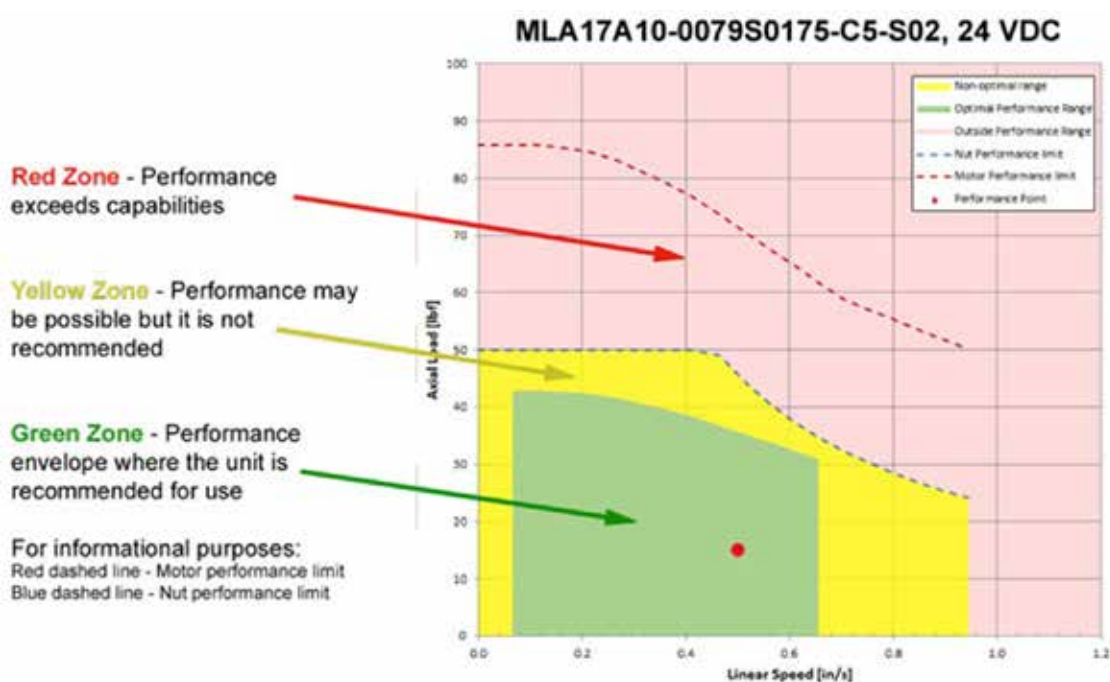
Inženirji podjetja THOMSON LINEAR so določili tribarvno označena območja, ki prikazujejo priporočljivost uporabe posameznega SMLA v določeni aplikaciji. Če sta poznani zahtevana osna obremenitev in linearna hitrost primera uporabe, se lahko hitro preveri, ali je izbrani Thomsonov aktuator SMLA ustrezen (slika 2).

Takšni zmogljivostni grafi so na voljo za večino standardnih konfiguracij Thomson (aktuator, navojno vreteno in navojna matica).

Vir:

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

© Avtorji 2025. CC-BY 4.0



Slika 2 : Zmogljivostni graf

NOVA LINIJA VODIL REXROTH – KROGLIČNA VODILA BSCL

Z vodili BSCL (Ball Rail System Compact Line) je Bosch Rexroth razširil svoj program vodil in v svojo ponudbo dodal vsestransko, visokokakovostno linearno kroglično vodilo za srednji zmogljivostni in cenovni razred.



Umestitev tirnic BSCL v segmentu krogličnih vodil

Nova družina izdelkov BSCL je primerna za aplikacije z nižjimi zahtevami glede zmogljivosti in dopolnjuje niz visoko natančnih Rexrothovih vodil BSHP. Vodila BSCL so posebej primerna za uporabo pri montažnih in vpenjalnih napravah, za varilne sisteme in aplikacije pri rezanju kovin in za sisteme obdelave lesa ali strojna orodja, kjer nista zahtevani visoka natančnost in zmogljivost.

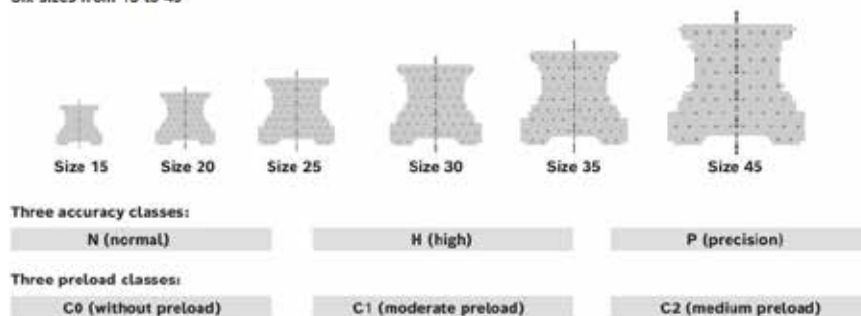
Z novimi sistemi krogličnih tirnic BSCL Bosch Rexroth zapolnjuje vrzel med visoko natančnimi sistemi krogličnih tirnic in enostavnejšimi sistemi vodilnih tirnic, kot so linearne puše ali vodila s kotalnimi ležaji. To omogoča sestavljanje strojev in sistemov, ki odražajo Rexrothovo znano visoko kakovost kot tudi ustrezno zmogljivost in natančnost za optimalno ceno.

Nova družina izdelkov BSCL s šestimi velikostmi od 15 do 45, šestimi izvedbami vodilnih vozičkov (FNS, FLS, SNS, SLS, SNH in SLH), tremi razredi prednapetosti vodilnih vozičkov in tremi razredi točnosti N, H in P pokriva širok spekter aplikacij. Nosilnost C100dyn je do 79.200 N, največja

Six runner block formats made of steel in accordance with ISO 12090-1



Six sizes from 15 to 45



Razdelitev skupine vodil BSCL glede na tip vozičkov in velikosti tirnic

hitrost 5 m/s in največji pospeški do 500 m/s². Vodilne tirnice je mogoče skrajšati na željeno dolžino z uporabo preprostih orodij brez potrebe po dragi končni obdelavi. Lahko jih tudi sestavljamo v sestave do 8 delov in skupne dolžine 28 m. Tehnologija natančnega brušenja, ki jo uporablja Rexroth, omogoča uporabo katere koli vrste vodilnih vozičkov v družini BSCL na kateri koli tirnici BSCL enake velikosti. Vgradne dimenzije omogočajo, da se lahko natančna vodila BSHP in vozički enake velikosti in tipa v kompletu po potrebi zamenjajo med seboj s tirnicami BSCL in obratno. Koncept tesnjenja vodilnih vozičkov preprečuje, da bi ostružki

in drugi onesnaževalci prodrli v vodilne vozičke, kar pomaga zagotoviti dolgo življenjsko dobo. Vodilni vozički so opremljeni z začetnim mazanjem in jih je mogoče ponovno namazati z obeh strani. Zasnova z osmimi mazalnimi točkami daje uporabnikom večjo svobodo. Sprednja tesnila, strgalne plošče in sprednje mazalne enote so na voljo kot dodatna oprema.

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. Ivan Muršec

© Avtorji 2025. CC-BY 4.0



Visokotehnološka oprema za farmacevtsko industrijo, medicinske ustanove, raziskovalne inštitute ter obrambni sektor.

Naše rešitve temeljijo na dolgoletnih izkušnjah, zanesljivosti in prilagodljivosti potrebam uporabnikov v najzahtevnejših okoljih.



Iskra PIO d.o.o. | www.iskra-pio.si | +386 7 39 31 400 | info@iskra-pio.si

Zanesljivi partner
vaše proizvodnje



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>



Nov HSD VMESNIŠKI BLOKI IN PRIKLJUČNI KONEKTORJI

Novi HSD vmesniški bloki podjetja INGUN omogočajo neodvisno testiranje USB-A, USB-C in RJ-45 konektorjev na tiskanih vezjih (PCB) kakor tudi optimalno kakovost signala, maksimalno prilagodljivost in enostavno integracijo. S hitrostjo prenosa podatkov do 5 Gbit/s in stalno stabilno kakovostjo signala izpolnjujejo zahteve sodobnih digitalnih testov za visoke hitrosti.

Prilagodljiva konfiguracija za specifične testne zahteve

Vmesniški bloki imajo pet kanalov za visoke hitrosti, ki jih je mogoče prosto konfigurirati in prilagoditi za različne vrste signalov z uporabo HSD priključnih konektorjev USB-A ali USB-C.

- ▶ USB-C priključek z dvema neodvisnima USB-C kanaloma
- ▶ USB-A priključek z enim USB-A kanalom

Z uporabo USB-C konektorjev je mogoče te vmesniške bloke opremiti z do desetimi neodvisnimi testnimi kanali.

Enostavna združljivost brez specializiranih kablov

Zahvaljujoč združljivosti s standardnimi USB-A in USB-C kabli, posebni testni kabli niso potrebni. To omogoča neodvisen in stroškovno učinkovit nakup ter enostavno vgradnjo v obstoječe testne sisteme.

Združljivost z obstoječimi testnimi sistemi

Vmesniški bloki so zasnovani za uporabo v vseh testnih napravah z notranjim ali zunanjim Pylon vmesnikom in jih je mogoče enostavno vključiti v obstoječe testne procese.

Lastnosti:

- ▶ Združljivo z vsemi testnimi napravami z notranjim/zunanjim



Nov HSD vmesniški bloki in priključni konektorji

njim Pylon vmesnikom

- ▶ Pet visokohitrostnih kanalov za USB-A ali USB-C konektorje
- ▶ Pet USB-A ali deset USB-C kanalov, prosto nastavljivih
- ▶ Hitrost prenosa podatkov do 5 Gbit/s
- ▶ Konstantno stabilna kakovost signala
- ▶ Povezava signala s standardnimi HSD kabli

Visokokakovostna testna tehnologija "Made in Germany"

Podjetje INGUN že od leta 1971 zagotavlja najboljšo možno povezavo med testno točko in testnim sistemom. Več kot 450

zaposlenih po vsem svetu skrbi, da so inovativne testne rešitve podjetja INGUN vedno na voljo. Kot razvojni partner svojim strankam – od avtomobilske industrije do telekomunikacij – podjetje INGUN zagotavlja kakovost električnih in elektronskih izdelkov.

Več informacij o produktih proizvajalca INGUN dobite pri podjetju INOTEH.

Vir:

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

© Avtorji 2025. CC-BY 4.0

N 760 BLISTER EMBALAŽNI STROJ

PROIZVAJALCA ROMACO NOACK



Stroj za pakiranje v pretisne omote N 760 podjetja Romaco Noack

N 760 je stroj za pakiranje v pretisne omote s prekinjenim gibanjem v konzolni izvedbi za univerzalno uporabo z največjo zmogljivostjo do 200 omotov na minuto. Odličen je za pakiranje najrazličnejših izdelkov, od trdnih dozirnih oblik, ampul in medicinskih pripomočkov do poltrdnih snovi. Na ta način je mogoče izdelati pretisne omote z največjo površino pakiranja 155 x 138 mm in največjo globino pakiranja 25 mm. Spremembe pakiranih izdelkov

je mogoče izvesti hitro in enostavno, saj je treba zamenjati le nekaj kompaktnih in lahkih formatiranih delov, vsi parametri pa so elektronsko shranjeni. Stroj N 760 ima izjemno prostorsko varčno postavitev, je enostaven za upravljanje in izpolnjuje vse zahteve za ponudnike storitev pakiranja, ki se mora v vsakem trenutku hitro in prilagodljivo odzvati na dinamične razmere na trgu. Poleg tega izjemno kratek segment omota od postaje za oblikovanje do izsekovalnika zmanjšuje količino odpadkov pri novih nastavitvah stroja in zagonu za nov izdelek na minimum. Ta kompaktni stroj je pripravljen tudi za izdelavo pretisnih omotov iz PET materiala, ki ga je mogoče reciklirati in je trajnostna izbira za primarno embalažo v farmacevtski in prehranski industriji. Če so izdelki trenutno pakirani v PVC/aluminijastih pretisnih omotih, pa PET/PET pretisni omoti zagotavljajo enakovredne lastnosti, kot jih imajo PVC/aluminijasti primerki.

Vir:

www.romaco.com, P +49 721 4804 159, F +49 721 4804 225., e-mail: susanne.silva@romaco.com, Mrs. Sussane Silva

© Avtorji 2025. CC-BY 4.0

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

ULTRAZVOČNI SENZOR PRETOKA SMC S PRITRDITVIJO NA CEV

Podjetje SMC, globalni specialist za avtomatizacijo, znova dokazuje svojo inovativnost z razvojem novega senzorja pretoka, ki se pritrdi na zunanjo stran cevi. Nova serija PFUW uporablja ultrazvočno tehnologijo za merjenje pretoka tekočin v ceveh. Senzorji omogočajo merjenje pretoka različnih vrst tekočin, vključno z olji, sredstvi proti zmrzovanju, kemičnimi tekočinami, vodo, pijačami in drugimi mediji.

Brezstična tehnologija s številnimi prednostmi

Senzorji s pritrditvijo na cev imajo pomembne prednosti v primerjavi s tradicionalnimi senzorji pretoka, ki se vgrajujejo neposredno v cevovod. Ker se serija PFUW namesti na zunanjo površino cevi, je tako mogoče brezstično merjenje pretoka. Kar pomeni, da ne prihaja do puščanja, zamašitev, padca tlaka ali tveganja kontaminacije zaradi stika senzorja s tekočino – kar so sicer pogoste pomanjkljivosti pri vgradnih senzorjih.

Pripravljeni na prihodnost

Zasnova ohišja novega pretočnega senzorja omogoča hitro in enostavno naknadno vgradnjo na obstoječe cevovode. Namestitev poteka tako, da monter ovije trakove zgornjega in spodnjega nosilca okoli cevi in senzor pritrdi z dvema vijakoma. To je idealna rešitev za uporabnike, ki iščejo hitro, enostavno in stroškovno učinkovito montažo. Tudi demontaža senzorja PFUW je preprosta in hitra.

Prednost tovrstne namestitve je tudi možnost namestitve več senzorjev v neposredni bližini. Pri klasičnih vgradnih senzorjih monterji pogosto naletijo na težave z dostopom do orodja (npr. ključev) zaradi prostorske stiske med cevmi. Pri senzorju PFUW s pritrdilnim sistemom na cev ni teh težav, saj potrebuje bistveno manj prostora. Tako je mogoče več senzorjev namestiti na sosednje cevi na zelo majhnih razdaljah.

Zanesljivo delovanje in enostavna uporaba

Serija PFUW se odlikuje tudi po visoki uporabnosti in preglednosti delovanja. Opremljena je z dvozaslonskim LCD-prikazovalnikom ločljivosti 128 × 128 pik za hiter pregled trenutnega pretoka, nastavljenih vrednosti in skupnega pretoka. Prikazovalnik je mogoče zavrteti v korakih po 90°, kar omogoča optimalen prikaz z različnih zornih kotov.

Poleg tega senzorji serije PFUW podpirajo komunikacijski protokol IO-Link, kar omogoča enostavno prenašanje podatkov in nastavitev senzorja preko



Ultrazvočni senzor pretoka

višjega sistema. To poenostavi ožičenje, olajša lokalizacijo napak ter omogoča hitro zamenjavo in konfiguracijo naprave.

Uporaba novih ultrazvočnih pretočnih senzorjev sega od hladilnih sistemov za livarske stroje, varilne pištole, obdelovalne stroje in stroje za brizganje PET-embalaže do upravljanja polnilnih linij za pijače ter industrijskih sistemov za odvajanje vode. S serijo PFUW je nadzor pretoka enostavnejši kot kadar koli prej.

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: technics.si@smc.com, g. Marko Omerzu

© Avtorji 2025. CC-BY 4.0

UVEDBA SISTEMA LEOSS WMS – KORAK ZA KORAKOM

Implementacija rešitev WMS (Warehouse Management System) se pogosto zdi zapleten in zahteven proces. V resnici lahko z dobrim načrtom in pravim partnerjem prehod na napredno upravljanje skladišč poteka gladko, brez stresa ali izpadov.

V prispevku pojasnjujemo, kakšen je postopek uvedbe sistema LEOSS WMS – jasen, strukturiran in s poudarkom na stranki.

1. Analiza potreb in uvodni posvet

Vsaka uspešna izvedba se začne z razumevanjem. Skupaj s stranko analiziramo trenutni način dela, prepoznamo izzive in opredelimo cilje, ki jih je treba doseči. To je faza, v kateri postavimo temelje za personalizacijo sistema glede na specifične operacije, panogo in velikost skladišča.

Ključni cilji te faze:

- ▶ razumevanje obstoječih procesov,
- ▶ opredelitev ključnih vprašanj,
- ▶ zbiranje podatkov in kartiranje skladišč,
- ▶ določanje ciljev in pričakovanj.

2. Prilagoditev in konfiguracija sistema

Na podlagi predhodne analize se naša ekipa loti konfiguracije sistema LEOSS WMS. Sistem je prilagojen specifičnim operacijam uporabnika – od načina sprejema in skladiščenja blaga do komisioniranja in odpreme. Po potrebi se razvijejo dodatne funkcionalnosti.

Ta faza vključuje:

- ▶ določitev pravil skladiščenja, con in pretokov blaga,
- ▶ konfiguracijo uporabniških računov in pravic dostopa,
- ▶ integracijo z ERP ali drugimi sistemi (po potrebi),
- ▶ pripravo testnega okolja.

3. Usposabljanje in testiranje uporabnikov

Nobena tehnologija ne prinaša resničnih rezultatov, če je ljudje ne uporabljajo. Zato organiziramo usposabljanje za vse ključne uporabnike – od operaterjev do nadzornikov. Vzporedno se sistem podrobno testira v nadzorovanih pogojih.

Poudarek je na:

- ▶ praktičnem usposabljanju na resničnih primerih,
- ▶ testnih scenarijih za vse ključne funkcionalnosti,
- ▶ preverjanju točnosti integracij in poročil,
- ▶ pripravi na prehod v proizvodnjo.

4. Zagon sistema

Ko so vsi procesi preverjeni, preidemo v fazo »začetek delovanja«. V tem obdobju je naša ekipa prisotna na lokaciji (ali na voljo na daljavo) in uporabnikom zagotavlja popolno podporo v realnem času. Ključnega pomena je, da se sistem zažene brez iz-



Implementacija skladiščnega poslovanja

padov in da so vsi uporabniki pri vsakodnevni uporabi varni.

Ta faza vključuje:

- ▶ aktivacijo sistema v produkcijskem okolju,
- ▶ nadzor in pomoč pri dejanskem delu,
- ▶ hiter odziv na morebitne nepredvidene situacije.

5. Podpora in optimizacija po implementaciji

Sodelovanje se ne konča z izvedbo – ravno nasprotno, tu se začne nova faza. Ekipa LEOSS WMS ostane s stranko skozi vse nadaljnje korake s podporo, spremljanjem sistema in priporočili za optimizacijo. Spremljamo rezultate, prisluhnemo potrebam in razvijamo sistem skupaj s stranko.

V tej fazi nudimo:

- ▶ tehnično in funkcionalno podporo,
- ▶ poročanje in analizo uspešnosti,
- ▶ predloge za dodatne optimizacije in izboljšave.

Implementacija sistema LEOSS WMS je proces, ki se izvaja skrbno, po fazah, z jasnim ciljem – da stranka prejme funkcionalen, stabilen in prilagojen sistem, ki izboljšuje vsakodnevno poslovanje. Vsak korak je zasnovan tako, da zmanjša tveganje, hkrati pa poveča učinkovitost in uporabniško izkušnjo.

Če razmišljate o izboljšanju upravljanja skladišča, smo tukaj, da vas vodimo – korak za korakom.

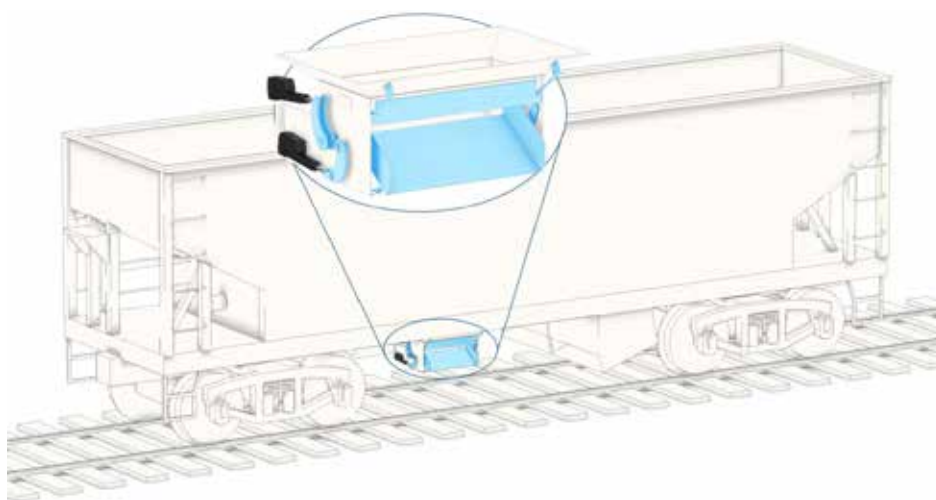
Vir:

LEOSS, d. o. o., Dunajska cesta 106, 1000 Ljubljana,
T: +386 (0) 1 530 90 39, F: +386 (0) 1 530 90 40,
GSM: +386 (0) 40 211 230, E: sara@leoss.si, www.leoss.si

© Avtorji 2025. CC-BY 4.0

NATANČNE LINEARNE KOMPONENTE V ŽELEZNIŠKI INDUSTRIJI

Načrtovanje linearnih gibov v industriji železniških ali drugih transportnih sistemov je zaradi strogih zahtev, standardov in varnostnih predpisov zelo zahtevno. Podjetje Thomson je s skoraj 80-letnimi izkušnjami v proizvodnji visokokakovostnih linearnih pogonov in njihovih komponent izkušen in zanesljiv partner pri zagotavljanju optimalnih rešitev in popolni zanesljivosti.



Slika 1 : Primer vgradnje in uporabe linearnih pogonov podjetja Thomson

Linearni pogoni in komponente podjetja Thomson delujejo zanesljivo in zagotavljajo dolgo življenjsko dobo v različnih železniških aplikacijah, kot so pantografi, spenjači, vrata javnega prevoza, premične stopnice, dvizne ploščadi, gravitacijski zabojniki in vzdrževalna oprema (slika 1).

Pri prikazanih primerih so med drugimi komponentami uporabljeni linearni pogoni Thomson Electrak® LL ter Thomsonova kroglična vretena.

Linearni pogoni Thomson Electrak® LL

V širokem naboru linearnih aktuatorjev je mogoče najti primeren model za skoraj vsako aplikacijo. Z dolgo življenjsko dobo in premišljenim inženiringom je ta električni aktuator posebej prilagojen zahtevam pri projektiranju in izdelavi železniških lokomotiv in vagonov.

Značilnice linearnih pogonov Thomson Electrak® L:

- ▶ možnosti napajanja s 24 ali z 48 V DC;
- ▶ posebni vgrajeni kontrolni sistemi ustrezajo železniškemu varnostnemu standardom EN 50155, EN 60077, EN 4554;
- ▶ integrirane možnosti krmiljenja vključujejo ko-



Slika 2 : Linearni pogoni Thomson Electrak® LL

munikacijo preko vodila CAN in nekontaktni absolutni senzor položaja;

- ▶ vgrajene visokokakovostne komponente za dolgo in zanesljivo delovanje;
- ▶ v skladu s standardi CE, RoHS in REACH (EU);
- ▶ stopnja zaščite IP69K (statično) in IP66 (dinamično); odpornost proti koroziji, UV-sevanju, vodnim curkom, pranju z vročo vodo pod visokim tlakom in drugim vplivom.

Thomson kroglična vretena

Thomsonove izkušnje s kritičnimi aplikacijami v letalski in obrambni industriji strankam zagotavljajo najvišjo raven kakovosti za vse njihove izdelke iz programa krogličnih vreten:

- ▶ izvedbe: valjana, spiralna ali brušena (tolerančni razredi P3-T7);
- ▶ možni koraki do 100 mm;
- ▶ posebne dolžine do 15 m;
- ▶ široka paleta izvedb matic za kroglična vretena (prirobnične, cilindrične ali varnostne maticice);
- ▶ posebna tesnila za zaščito pred vdorom prahu in kovinskih ostružkov;
- ▶ miniaturna kroglična vretena, $\varnothing$ 8–16 mm;
- ▶ visokoobremenitvena kroglična vretena, $\varnothing$ 40–160 mm, maksimalna dinamična nosilnost 1.440 kN;
- ▶ možnosti prilagoditev obsegajo: posebne navoje, obdelavo končnih delov in nanos zaščitnih premazov za korozijsko odpornost;
- ▶ izdelano v Nemčiji.



Slika 3 : Kroglična vretena

Vir:

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

© Avtorji 2025. CC-BY 4.0



Jubilejna mednarodna konferenca
Fluidna Tehnika/Fluid Power 2025
 17. in 18. september 2025,
 Maribor, Kongresni center Habakuk

Od prve konference Fluidna tehnika organizirane v letu 1995, so te do danes prerasle v tradicionalni, mednarodno priznani strokovni dogodek s področja fluidne tehnike, hidravlike in pnevmatike. Na področju stroke so se uveljavile kot pokazatelj trendov razvoja in raziskovalnih dosežkov ter spoznanj in ponudbe, ne samo pri nas v Sloveniji, temveč tudi v Evropi in po svetu.

Letos praznujemo lep jubilej – 30-obljetnico od prve izvedbe konference Fluidna tehnika. Jubilej je še toliko pomembnejši, saj letos praznujemo tudi 30-letnico ustanovitve Fakultete za Strojništvo in 50-letnico ustanovitve Univerze v Mariboru. Temu primerno bomo slavnostno tudi izvedli konferenco.

Vabimo Vas, da se kot udeleženec, razstavljalavec ali kot pokrovitelj jubilejne mednarodne konference Fluidna tehnika 2025 udeležite tega osrednjega dogodka naše branže.

Skladno s sloganom konference »Vedno v toku dogodkov« se bomo posvetili aktualnim problemom: aktualno stanje v Svetu in Evropi ter vplivi na branžo, digitalizacija in trajnost na področju fluidne tehnike ter nove rešitve, energetska učinkovitost komponent in sistemov, hidravlika na področju energetike, pnevmatika ... Sodelovanje so že najavili vodilni tuji in domači strokovnjaki s področja stroke.



Podrobnejše informacije o konferenci ter temah in okvirnem programu ter spremljajočih dogodkih, lahko najdete na domači spletni strani konference:

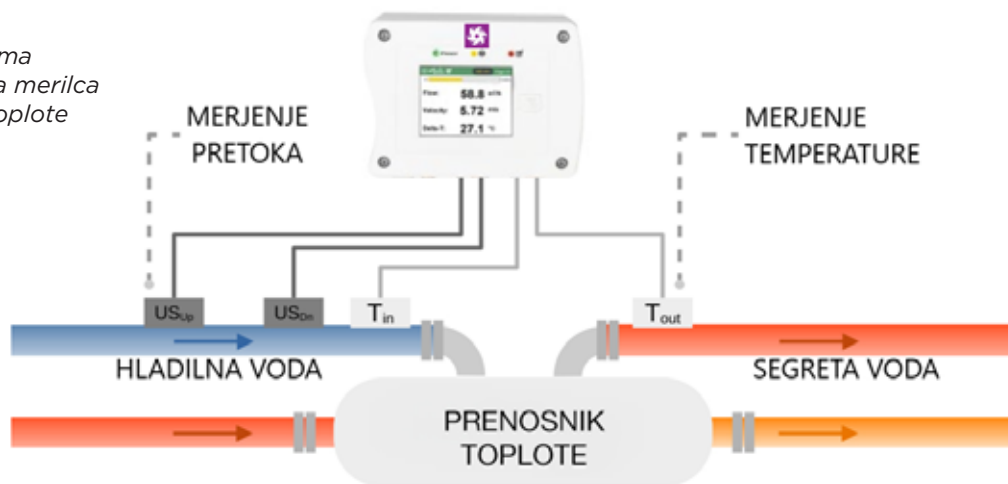
<http://ft.fs.um.si>

Za organizacijski odbor jubilejne FT2025
 Prof. dr. Darko Lovrec

ULTRAZVOČNI MERILNIKI PRETOKA IN TOPLOTE

Ultrazvočni merilnik pretoka in toplote podjetja OMEGA AIR, d. o. o., Ljubljana, za namestitev na zunanost cevi zagotovi hitro in točno merjenje in beleženje parametrov brez posegov v obstoječe inštalacije.

Slika 1 : Shema inštaliranega merilca pretoka in toplote



V središču današnjih industrijskih podjetij je prizadevanje za uspešnost in trajnost postalo strateško nujno. Cilji so jasni:

- ▶ zmanjšanje količine odpadnih surovin in energije,
- ▶ optimalizacija porabe energije,
- ▶ krepitev konkurenčnosti (zmanjšanje izpadov proizvodnje in stroškov vzdrževanja),
- ▶ zagotavljanje okoljske skladnosti.

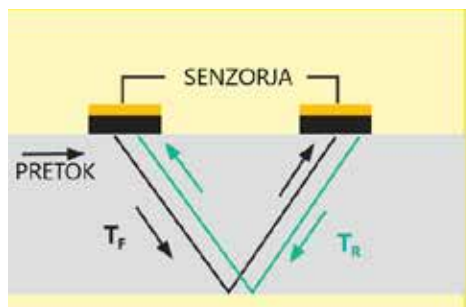
Natančno merjenje pretoka tekočin in porabe toplote je torej ključno za prepoznavanje priložnosti izboljšav na področju izgub energije.

Z uporabo ultrazvočnih merilnikov pretoka industrijski operaterji pridobijo vpogled v svoje energetske tokove v realnem času. Na ta način lahko

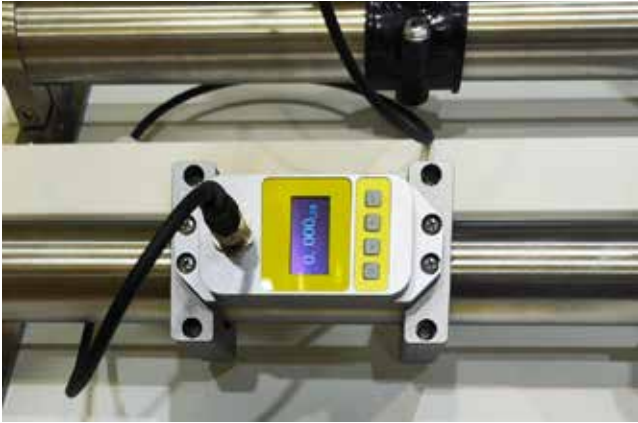
hitro prilagodijo proizvodne parametre. Brez neposrednega stika s tekočino se odpravijo tveganja onesnaženja in zmanjša ogljični odtis (manj materialov, manj posegov). Njihova visoka natančnost pa omogoča takojšnje odkrivanje odstopanj v porabi, boljše razporeditev virov in optimizacijo proizvodnje, s čimer se povečata donosnost procesov in okoljska učinkovitost.

Razvoj tehnologije merilnikov pretoka

V primerjavi s preteklostjo danes ultrazvočni merilniki pretoka zagotavljajo neprekosljivo raven natančnosti za merjenje pretoka tekočine. Najnovejša tehnologija pošilja ultrazvočne impulze diagonalno med dvema senzorjema, nameščenima na zunanji strani cevi. Časovna razlika, izmerjena med zgor-



Slika 2 : Prikaz delovanja in namestitve senzorja pretoka



Slika 3 : Merilec pretoka za cevi manjših premerov

njimi in spodnjimi senzorji, je posledica hitrosti tekočine. Ta pristop omogoča zelo natančne meritve, ne da bi bile omejene na tekočine, ki vsebujejo mehurčke ali delce.

Ob hkratnem merjenju temperature medija na vhodni in izhodni strani pa dobimo kompleten vpogled v porabo energije.

Z več senzorji, povezanimi v eno točko, enostavneje sproti analiziramo podatke. Podatki se lahko izvozijo tudi na računalnik za kasnejšo analizo.

Tehnologija tranzitnega časa

Ultrazvočni merilniki pretoka podjetja OMEGA AIR, d. o. o., Ljubljana, delujejo s tehnologijo tranzitnega časa. Prednosti tega načina pa so:

- ▶ *visoka natančnost:* merjenje ni odvisno od prisotnosti delcev, kar zagotavlja zanesljive rezultate tudi v zelo čistih tekočinah;
- ▶ *brez kontaminacije:* brez stika s tekočino, kar preprečuje kontaminacijo ali obrabo komponent;
- ▶ *prilagodljivost v več panogah:* primerno za ultračiste tekočine, rahlo napolnjene tekočine in zahtevnejše aplikacije.

Novi algoritmi za obdelavo signalov izboljšujejo občutljivost senzorjev in diagnostiko (zaznavanje zračnih mehurčkov, ocena kakovosti signala itd.). Posledično merilniki pretoka izstopajo kot vodilna rešitev, ki zagotavlja zanesljivo merjenje, prihranke pri stroških in enostavno namestitve, kar popolnoma ustreza izzivom v različnih proizvodnih okoljih.

Namestitev in uporaba po principu »vklopi in meri« Ena od ključnih prednosti takih ultrazvočnih merilnikov pretoka je njihova enostavnost namestitve z objemkami. Za razliko od vgradnih merilnikov pretoka (vstavnih ali linijskih) se namestitev izvede na zunanji strani cevovoda:

- ▶ *brez zaustavitev proizvodnje:* brez rezanja, varjenja in praznjenja cevovoda;
- ▶ *hiter zagon:* namestitev senzorjev in konfiguracija naprave trajata le nekaj minut;
- ▶ *združljivost z več materiali:* jeklo, PVC, HDPE ... Objemke iz nerjavnega jekla na merilnikih pretoka ostanejo učinkovite z različnimi materiali cevi.

Ta preprostost znatno zmanjša izpade in težke postopke, neposredno zniža industrijske stroške in zagotovi boljšo kontinuiteto storitev.

Zmanjšano vzdrževanje in hitra diagnostika

Čas delovanja je ključnega pomena za optimizacijo industrijskih procesov. Z našimi ultrazvočnimi merilniki pretoka je vzdrževanje poenostavljeno:

- ▶ *brez delov, ki so v stiku s tekočino:* brez korozije, usedlin ali prezgodnje obrabe;
- ▶ *hitra diagnostika:* omogočajo preverjanje segmentov cevovodov in hitro odkrivanje puščanja ali zamašitev;
- ▶ *enostavna zamenjava:* okvarjen merilnik pretoka je mogoče zamenjati, ne da bi ustavili proizvodnjo.

Ta odzivnost pomeni večjo razpoložljivost proizvodne linije in natančnejše zaznavanje anomalij.



Slika 4 : Na cev nameščeni sondi merilca pretoka

Vsestranskost in prilagodljivost za širok spekter sektorjev

Ultrazvočno merjenje pretoka med merilniki pretoka izstopa zaradi svoje izjemne vsestranskosti. Ker merijo brez neposrednega stika s tekočino, so primerni za številne industrije, kot so:

- ▶ *kemična industrija*: Natančno doziranje reagentov pomaga omejiti odpadke surovin in zagotavlja kakovost izdelkov. Merilniki pretoka zagotavljajo stabilno in zanesljivo merjenje, hkrati pa preprečujejo kontaminacijo – ohranjajo čistost komponent in izpolnjujejo standarde sledljivosti;
- ▶ *obdelava vode*: Z neprekinjenim merjenjem pretoka surove ali obdelane vode lahko operaterji hitro prilagodijo parametre filtracije in usedanja, preprečijo prelivanje in optimizirajo porabo energije. Merjenje v realnem času olajša tudi skladnost z okoljskimi normami;
- ▶ *industrijski hladilni sistemi*: Pri hlajenju in klimatizaciji zgodnje zaznavanje sprememb pretoka ali temperature zagotavlja optimalno delovanje. Merjenje pomaga preprečiti drage izpade in prekomerno porabo energije.

Zahvaljujoč tej prilagodljivosti se ultrazvočni merilniki pretoka učinkovito spopadajo z izzivi v mnogih industrijskih aplikacijah.



Slika 5 : Sonda pretoka nameščena na cev večjega premera

www.omega-air.si

© Avtorji 2025. CC-BY 4.0



OMEGA AIR
more than air

OMEGA AIR d.o.o. Ljubljana
Cesta Dolomitskega odreda 10
SI-1000 Ljubljana, Slovenija
www.omega-air.si
T +386 (0)1 200 68 00
info@omega-air.si



RAZPON TLAKOV

1000 mbar
16 bar, 50 bar
100 bar, 250 bar
420 bar



MEDIJI

stisnjen zrak
vakuum
N₂, O₂, CNG,
dihalni zrak
CO₂, H₂, He



TOČKE ROSIŠČA

+3°C
-25°C
-40°C
-70°C



© Avtor(ji) 2025. CC-BY 4.0 / © The Authors 2025. CC-BY 4.0

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

ISSN 2630-4090 (on line) / 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 31
Year Letnica 2025
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: izr. prof. dr. Miroslav Halilović
Pomočnik urednika: izr. prof. dr. Franc MAJDIČ
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, penzija
- ▶ prof. dr. Jože DUHOVNIK, (upokojen) FS Ljubljana
- ▶ izr. prof. dr. Miroslav HALILOVIČ, 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 KLOBČAR, 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, (upokojena) FS Ljubljana
- ▶ Bogdan OPAŠKAR, FESTO, Ljubljana
- ▶ dr. Jože PEZDIRNIK, (upokojen) FS Ljubljana
- ▶ prof. dr. Jože 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, TKC 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: 800 izvodov
Cena: 5,00 EUR – letna naročnina 30,00 EUR

Revijo sofinancira Javna agencija za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije (ARIS).

REVIJA JE PROSTO DOSTOPNA.  ACCESS

Znanstveni članki v reviji Ventil so recenzirani. 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.
Tiskano v Sloveniji. / Printed in Slovenia.

NAPREDNE REŠITVE ZA DOZIRANJE V INDUSTRIJI

Mojca Gros

Podjetje sera AQUA GmbH je z dolgoletno tradicijo in inovativnimi rešitvami vodilno na področju industrijskih črpalk in sistemov za doziranje tekočin. Med njimi so različne serije sistemov, zasnovanih za industrijske aplikacije, kjer sta natančnost in zanesljivost ključnega pomena. Njihovi produkti se uporabljajo v številnih industrijah, kot so kemijska, farmacevtska, živilska, pri pripravi pitne vode in čiščenju odpadne vode. Dozirni sistemi sera AQUA zagotavljajo visoko stopnjo učinkovitosti in vzdržljivosti tudi v zahtevnih delovnih razmerah.

1. sera AQUA CVD: visoka natančnost in zanesljivost

Sistemi CVD (Compact Vertical Dosing) so zasnovani za natančno in varčno doziranje tekočin. Ti sistemi omogočajo zelo natančno odmerjanje pri nizkih pretokih, kar je ključno v industrijah, kjer je potrebna visoka stopnja kontrole in točnosti. S pomočjo reguliranega tlaka in naprednih nadzornih sistemov omogočajo natančno prilagoditev doziranja, kar vpliva na optimizacijo proizvodnih procesov in zmanjšanje napak pri proizvodnji.

Sistemi CVD so še posebej uporabni v kemijski industriji, kjer je pogosto potrebno doziranje agresivnih kemikalij in topil, ki zahtevajo visoko stopnjo natančnosti. Prav tako so idealni za farmacevtsko industrijo, kjer mora biti doziranje aktivnih sestavin skrbno nadzorovano, da se zagotovi kakovost in skladnost z regulativnimi zahtevami.

Popolnoma modularna zasnova omogoča prilagajanje – tako kot komplet za sestavljanje – in zagotavlja funkcije sistema za vaše zahteve individualnega doziranja. Izbirate lahko med številnimi dodatki, kot so blažilniki pulzov, ventili ali priključne omarice za oskrbo z električno energijo.

2. sera AQUA CTD: zmogljivost za visoke pretoke in natančnost v različnih aplikacijah

Sistem CTD (Compact Tank Dosing) je zasnovan za zagotavljanje visoke zmogljivosti in natančnosti pri črpanju različnih medijev. Njegova prednost je obvladovanje večjih pretokov pri visokih natančnostih, kar je ključno v industrijah, kjer so



Slika 1: Standardizirani kompaktni stenski ali samostojni dozirni sistemi CVD so posebej primerni za kemijsko ali farmacevtsko industrijo.

potrebni večji pretoki brez žrtvovanja natančnosti. Sistemi CTD omogočajo prilagoditev hitrosti in tlaka, kar omogoča natančno doziranje in optimizacijo proizvodnih procesov. Kompaktna dozirna enota z rezervoarjem omogoča individualno konfiguracijo.

Sistemi CTD so primerni za uporabo v številnih industrijskih panogah, kot so živilska industrija, farmacija, kemijska industrija in obdelava odpadnih voda. Zaradi svoje zmogljivosti in zanesljivosti so črpalke CTD idealne za obvladovanje tekočin z različnimi lastnostmi, vključno z viskoznostjo, abrazivnostjo in agresivnostjo. Zasnovane so tako, da omogočajo dolgo življenjsko dobo in enostavno vzdrževanje, kar zmanjšuje potrebo po pogostih popravilih in zamenjavah delov.

Mojca Gros, Hennlich, d. o. o., Kranj

© Avtorji 2025. CC-BY 4.0



Slika 2 : Dozirna enota CTD je pripravljena za uporabo v samo nekaj minutah po namestitvi.

Kompaktna dozirna enota CTD je pripravljena za uporabo v samo nekaj minutah po namestitvi. Med konfiguracijo ima naročnik možnost izbire med tremi različnimi linijami črpalk sera AQUA in različnimi velikostmi rezervoarjev.

3. sera AQUA PolyLine: prilagodljivost in trpežnost za različne aplikacije

Serijo polimernih postaj PolyLine (standardiziranih enot za pripravo polimerov) sestavljajo preprosti, prilagodljivi, ekonomični in učinkoviti sistemi za pripravo polimerov.

Sistemi PolyLine so zelo uporabni v industrijah, kjer je treba upravljati s širokim spektrom medijev, kot so živilski in kemični koncentрати, viskozni materiali,



Slika 3 : S svojo trpežnostjo in odpornostjo na različne kemikalije so sistemi PolyLine zanesljivi tudi v zahtevnih in agresivnih okoljih.

lepila ali suspenzije. S svojo trpežnostjo in odpornostjo na različne kemikalije so ti sistemi zanesljivi tudi v zahtevnih in agresivnih okoljih. Zasnovani so tako, da omogočajo dolgo življenjsko dobo in zmanjšajo potrebo po pogostem vzdrževanju.

Serija vključuje sisteme za obdelavo, ki lahko delujejo s suhimi ali tekočimi polimeri. Opremljeni so z natančnimi merilnikom pretoka vode in njenega nivoja, ki zagotavljajo učinkovito in ekonomično delovanje sistemov.

Predelani polimeri se uporabljajo za filtriranje delcev iz pitne in odpadne vode, obenem pa so tudi pomembne komponente pri aplikacijah za odstranjevanje vode iz blata.

Desetletja inovacij za najzahtevnejše industrije

Podjetje **sera AQUA** že desetletja združuje bogate izkušnje in strokovno znanje na področju dozirne in črpalne tehnologije. Njihova predanost kakovosti in inovacijam se kaže v razvoju zanesljivih, inteligentnih in dolgotrajnih rešitev, ki jih uporabljajo številne industrije po svetu.

Z visoko prilagodljivostjo lahko zahvaljujoč lastnemu inženiringu razvijajo rešitve, natančno prilagojene specifičnim potrebam strank. Znani so po hitrosti izvedbe, zanesljivem delovanju in doslednem spoštovanju dobavnih rokov. Njihov pristop vključuje celovito podporo od strokovnega svetovanja in projektiranja do montaže, zagona, vzdrževanja in popravil.

Izdelki podjetja sera so zasnovani z mislijo na trajnost, inovativnost in visoko kakovost. Robustna konstrukcija in pametne, nadzorovane komponente omogočajo natančno upravljanje procesov tudi v najzahtevnejših industrijskih okoljih. Zaradi vseh teh lastnosti velja sera AQUA za enega najbolj zanesljivih partnerjev v svoji panogi.

Za več informacij smo vam kot uradni distributer izdelkov sera AQUA na voljo v podjetju HENNLICH d. o. o. Vsako dozirno napravo lahko izdelamo popolnoma po vaši meri glede na vaše potrebe. S tem povečate učinkovitost, zmanjšate morebitne izgube in seveda prihranite. Sestavite zelo natančen dozirni sistem v skladu s svojimi idejami.

- ▶ FESTO, d. o. o., Trzin121
- ▶ GIA-S, d. o. o., Grosuplje.....121
- ▶ HENNLICH, d. o. o., Kranj.....186
- ▶ ICM, d. o. o., Griže188
- ▶ INOTEH, d. o. o., Bistrica ob Dravi 170
- ▶ Iskra PIO, d. o. o., Šentjernej173
- ▶ JAKŠA, d. o. o., Ljubljana147
- ▶ La & Co., d. o. o., Limbuš 121, 186
- ▶ MIEL Elektronika, Velenje.....121
- ▶ OLMA, d. o. o., Ljubljana.....173
- ▶ OMEGA AIR, d. o. o., Ljubljana.....121
- ▶ OPL AVTOMATIZACIJA, d. o. o., Trzin121, 144
- ▶ POCLAIN HYDRAULICS, d. o. o., Žiri..... 121, 122
- ▶ PPT COMMERCE, d. o. o., Ljubljana 121, 124
- ▶ PROEVENT, d. o. o., Ljubljana133
- ▶ PROFIDTP, d. o. o., Škofljica.....187
- ▶ SEAL & TRADE, d. o. o., Maribor121
- ▶ STROJNISTVO.COM, Ljubljana167
- ▶ UL, Fakulteta za strojništvo 140, 147
- ▶ UM, Fakulteta za strojništvo179
- ▶ YASKAWA, d. o. o., Ribnica175



VISOKOTLAČNE STISKALKE Z MANOMETROM

- » delovanje pri tlaku do 700 barov
- » nadzorovana in natančna uporaba maziva
- » ventil za sprostitve tlaka
- » opcija s polnilnim nastavkom



www.hennlich.si

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

la&co

Sinergija premikanja. Hidravlika. Pnevmatika. Linearna tehnika.



LA & CO d.o.o.
Limbuška cesta 2
2341 LIMBUŠ

www.la-co.si
info@la-co.si
02 / 42 92 660



Z več kot 30-letnimi izkušnjami na področju hidravlike, pnevmatike in linearne tehnike vam zagotavljamo vrhunske in zanesljive rešitve, prilagojene vašim specifičnim potrebam. Naša tehnologija temelji na inovacijah, energetski učinkovitosti in trajnostnem pristopu, s katerim vam pomagamo optimizirati delovanje sistemov ter zmanjšati vpliv na okolje.

PREDSTAVLJAMO IN NAPOVEDUJEMO

INDUSTRIJSKI FORUM

IRTADRIA25

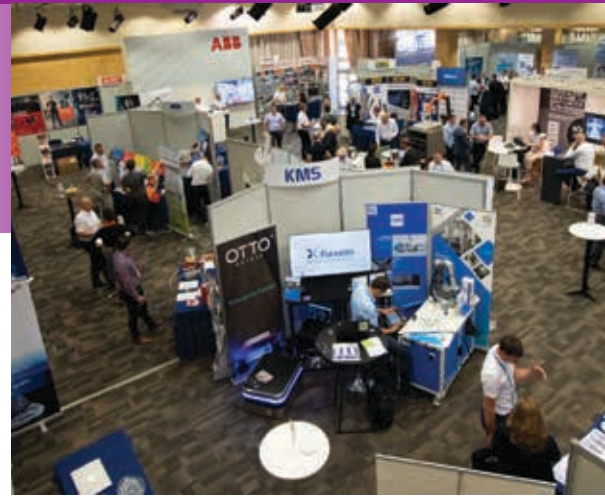
Strokovni dogodek za industrijo

Industrijski forum IRT3000 je dvodnevni strokovni dogodek, ki že več kot 15 let ustvarja prostor za izmenjavo informacij, znanj, idej in pogledov na dosežke industrijske panoge. Revija IRT3000 ga je doslej organizirala v Sloveniji, z naslednjim letom pa se dogodek uveljavlja tudi na širšem področju Zahodnega Balkana.

Industrijski forum IRT povezuje soustvarjalce industrijske panoge: industrijska podjetja z najrazličnejših področij, razvojno-raziskovalne organizacije in predstavnike akademske sfere.

Dogodek bogati razstava visokotehnoških podjetij, ki obiskovalcem foruma predstavljajo svoje najnovejše dosežke, napredne tehnologije, razvojne rešitve in inovacije za večjo konkurenčnost podjetij.

Industrijski forum IRT | Motnica 7 A, 1236 Trzin, Slovenija
telefon: +386 1 5800 884 | gsm: +386 51 322 442 | info@forum-irt.si



RAZSTAVA



POSLOVNI DEL



STROKOVNA
PREDAVANJA



RAZISKOVALCI

15. in 16. 9. 2025

Zadar, Hrvaška • Hotel KOLOVARE

Prihodnost je tukaj.

WWW.FORUM-IRT.SI



SPLAČA SE BITI NAROČNIK



ZA SAMO 50€ DOBITE:

- celoletno naročnino na revijo IRT3000 (10 števil)
- 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



IFAM-INTRONIKA-ROBOTICS

17.-19. 2. 2026

Ljubljana

