

VENTIL

ISSN 1318 - 7279

Letnik 31 / 2025 / 6 / December

Hidravlične
komponenteMehatronske prototipi za
inženirsko izobraževanjeUvajanje simulacij
v zgodnji fazi razvojaDigitalizacija v
gozdarski tehnologiji

EMERSON
Process Management


BETTIS™

BIFFI

Field

ELMatic™


FISHER
Dantorque


HYTORK
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.



hpe
www.hpe.si info@hpe.si

OMEGA AIR
more than air

ŠIROK IZBOR VENTILOV

ZA HIDRAVLICNE POGONE VOZIL IN NJIHOVA HIDRAVLICNA ORODJA



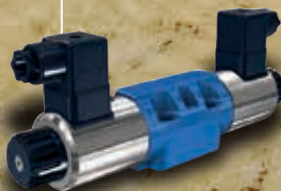
Izmenjevalni
ventil



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



PRAZNIČNA SPOROČILA



December je čas, ko je postalo že skorajda obvezno, da se moramo poleg vseh nalog, ki se pri mnogih ljudeh ravno ob koncu leta zgostijo, veseliti še praznikov. Še celo oblika tega veselja je skorajda zapovedana: ogledati si moramo lepo okrašeno mesto, po možnosti prav ob prižigu lučk, okrasiti moramo svoj dom tako, da ne zaostaja za sosedom, ter se podati po darila, ki jih brez praznikov ne bi niti kupili niti podarili. Čeprav vse to prinese kup dodatnih obveznosti, pa se pogosto prav zaradi njih utrdi občutek, da december prinaša nekaj posebnega; in ko prazniki končno pridejo, priznamo, da jih imamo kljub vsemu radi.

Praznični napisi »Vesel božič« in »Srečno novo leto«, ki z vso barvno in svetlobno dekoracijo preplavijo mesta in trgovske centre, pogosto delujejo kot simbol plitve praznične topline in hkrati prikrivajo mehanizme potrošniške manipulacije. Hkrati so napisi v trgovinah pogosto izpostavljeni kot primer potrošniške kulture. Namesto spodbujanja pristnih vrednot praznikov, kot so solidarnost, mir in človečnost, številni napisi služijo temu, da kupce že konec oktobra usmerjajo v neprestano nakupovanje z nenehnimi pozivi k akcijam, razprodajam in zadnjim priložnostim. S tem se je jezik praznikov spremenil v oglaševalski instrument, ki izkorišča čustveno nabit čas za ko-

mercialne cilje. S tem praznični napisi paradoksalno zmanjšujejo globino pomena praznikov, saj atmosfero topline nadomeščajo z intenzivno potrošniško kampanjo.

Ti napisi postajajo dandanes iluzija kolektivnega duha, ki pogosto zanemarlja realne družbene težave. Ustvarjajo videz enotnosti in sreče, ki pa ni nujno povezan z dejanskimi življenjskimi razmerami ljudi, še posebej tistih, ki praznično obdobje preživljajo v revščini, osamljenosti ali brezdomstvu. Tako praznična simbolika deluje kot nekakšen družbeni zaslon, ki zakrije neudobne strani decembrskega vsakdana in jih nadomesti z idealizirano podobo skupnosti, ki si je ne morejo privoščiti vsi.

Na takšno protislovje je na izjemno učinkovit način opozoril Banksy. V Birminghamu je na zid naslikal dva Božičkova jelena, ki ne vlečeta sani, polnih daril, temveč klop, na kateri spi brezdomec, kar je jasna in boleča metafora praznične pozabe. Še bolj neposreden je bil v Betlehemu z delom Betlehemska brazgotina (Scar of Bethlehem), kjer je božične jaslice postavil pred razdelitveni zid, zvezdo repatico pa zamenjal z luknjo od izstrelka. Če pustimo ob strani religiozno simboliko jaslic in na zgodbo pogledamo s povsem človeškega vidika, tudi izvirni motiv ni nastal iz idiličnih podob miru in topline, temveč iz stiske: par ni dobil prenočišča, zato je moralo dekle roditi v hlevu – brez mahu, brez dekorja in brez LED-lučk. Prav s tem kontrastom Banksy razgali ostro resničnost, ki se skriva za romantičnimi prazničnimi podobami, ter nas spomni, da idealizirane figurice in motivi še vedno predstavljajo usodo konkretnih, resničnih ljudi.

Podobno kot praznični napisi so tudi druga gesla močno orodje indoktrinacije, saj so vedno

ustvarjeni z jasnim in premišljenim namenom. Ko podjetje po stenah izobesi motivacijska gesla, želi z njimi krepiti svojo identiteto, ustvarjati občutek skupnosti ter spodbujati pripadnost zaposlenih. A takšna gesla lahko hitro zvenijo pokroviteljsko: vzpostavljajo prisilni optimizem, normalizirajo specifično vrednotenje produktivnosti in vsiljujejo korporativno ideologijo kot univerzalno resnico. Prav zato jih skoraj nikoli ne najdemo na univerzah, kjer bi moral prevladovati prostor kritičnega mišljenja, refleksije in pluralnosti, ne pa oblikovanje pokornosti, enotnega razmišljanja ali korporativizacije.

V tem smislu imajo praznični napisi celo določeno prednost: so vsaj časovno omejeni. Njihov vpliv se konča z zadnjim dnem decembra, ko se bleščava umakne in se vsakdan vrne v običajen ritem. V primerjavi z drugimi oblikami indoktrinacije z gesli, ki so prisotna vse leto in se lahko neopazno vtkejo v strukturo delovnega ali izobraževalnega okolja, so praznični napisi zato manj nevarni; so le kratkotrajna dekoracija, ki nas za kratek čas ovije v iluzijo.

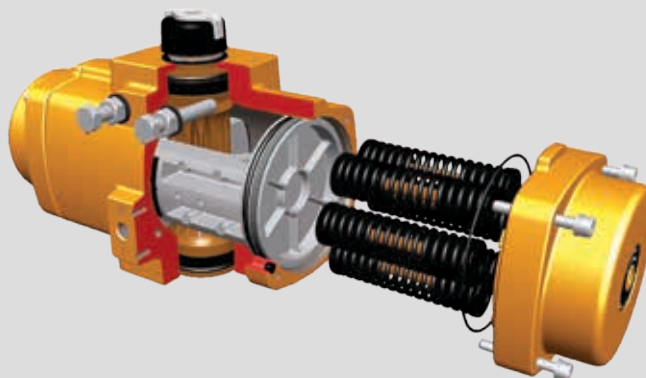
Ob koncu leta si lahko le želimo, da bi opisani mehanizmi komercializacije čim manj vplivali na naše doživljanje praznikov in da bi v tem času zmogli poiskati vrednote, ki niso odvisne od bleščavih podob ali potrošniških ritualov. Pesnica in nominiranka za Pulitzerjevo nagrado Maya Angelou pravi, da človek z odraščanjem spozna, da ima dve roki: eno za pomoč sebi in drugo za pomoč drugim. Naj nam bo praznični čas navdih, da njegovo energijo ponesemo tudi v prihajajoče leto in jo uporabimo pri gradnji spoštljivih medsebojnih odnosov in sodelovanja.

Miroslav Halilović

© Avtorji 2025. CC-BY 4.0



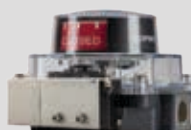
EL Matic™



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	314
IN MEMORIAM	
Francijev poslednji let	324
PREDSTAVITEV	
Helena Grahek	
Nova raziskovalna oprema za prebojne raziskave in še bolj poglobljeno sodelovanje z gospodarstvom – 1. del	326
NOVICE • ZANIMIVOSTI	329, 369
HIDRAVLICNE KOMPONENTE	
Jan Bartolj, Rok Jelovčan, Franc Majdič	
Numerična optimizacija notranje geometrije kanala hidravličnega bloka za izdelavo s 3D-tiskom	336
MEHATRONSKI PROTOTIPI	
Željko Šitum, Fran Hruškar, Lovro Meštrić, Mateo Šego, Tomislav Drašković, Eros Stemberger	
Mechatronic Prototypes for Engineering Education: Bridging Theory and Practice	340
SIMULACIJE	
Anže Čelik	
Uvajanje simulacij v zgodnji fazi razvoja in njihova demokratizacija	348
DIGITALIZACIJA V GOZDARSKI TEHNOLOGIJI	
Sandi Grobelnik, Robert Horvat	
Uniforest Connect – digitalizacija v gozdarski tehnologiji	354
3D-SKENIRANJE	
Jakob Fabjan, Adela Pišmo, Vesna Pungerčar, Slavko Arh	
Primerjava naprednih 3d-tehnologij za skeniranje pri nadzoru kvalitete industrijskih izdelkov	360
AKTUALNO IZ INDUSTRIJE	
Tečaji CFM-PC z integriranim električnim kablom (ELESA+GANter)	366
Senzorske tipke Captron (INOTEH)	367
NOVOSTI NA TRGU	
PIAB: Predstavljamo vakuumsko črpalko DFE (INOTEH)	368
PODJETJA PREDSTAVLJAJO	
Inovativne rešitve za mazanje kovin v procesu obdelave (HENNLICH)	370
Alternativni filtrirni vložki za stisnjeni zrak za znižanje stroškov vzdrževanja – izdelani po tehnologiji OMEGA AIR (OMEGA AIR)	372

INDUSTRIJSKI FORUM IRT ADRIA – SVETILNIK HRVAŠKE INDUSTRIJE

Da razvoj Hrvaške ne temelji zgolj na turizmu, te dni dokazuje več kot 230 udeležencev na poslovno-tehnični konferenci Industrijski forum IRT ADRIA v Zadru.



Otvoritev Industrijskega foruma IRT ADRIA

Po vzoru slovenskega dogodka Industrijski forum IRT, ki je bil letos organiziran že 16. zapored, je revija IRT3000 premierno pripravila podoben strokovni dogodek tudi na Hrvaškem. Dvodnevna konferenca Industrijski forum IRT ADRIA je v Zadar privabila več kot 230 predstavnikov hrvaških podjetij in izobraževalnih ustanov.

»Zavedamo se, da živimo v ekonomsko in geopolitično zelo negotovem ter zelo kompleksnem času. Svet se spreminja z veliko hitrostjo, kakršne v preteklosti ne pomnimo, negotovost pa postaja nova normalnost današnjega časa. Toda takšne okoliščine so pravzaprav dobra osnova za ustvarjanje novih idej in rešitev, ki si jih v preteklosti sploh nismo mogli predstavljati. Krize nas preprosto potisnejo naprej,« je uvodni pozdrav začel dr. Damir Godec s Fakultete za strojništvo in ladjedelstvo v Zagrebu in nadaljeval: »Vrhunskih rezultatov danes ne moremo doseči brez intenzivnega sodelovanja med znanostjo in gospodarstvom, saj lahko prav takšno sodelovanje vse izzive, ki so danes pred nami in nas bodo čakali v prihodnje, spremeni v motivacijo, ki poganja prihodnji napredek. In prav to je glavni cilj tega dogodka – spodbuditi medsebojno sodelovanje med znanostjo in gospodarstvom pri skupnem reševanju najrazličnejših izzivov.«

»Prihodki zadrške županije temeljijo na rezultatih

dela 6.800 podjetij. Lani so ustvarila 8 milijard prihodkov. Morda bo za koga presenečenje, a na prvem mestu po deležu v skupnih prihodkih je predelovalna industrija z več kot 21 odstotki – pred trgovino, gradbeništvom in turizmom. Ta panoga v Zadru in okolici trenutno zaposluje 5.300 ljudi, kar je približno nekaj več kot tretjina delavcev v celotni industriji. Toda spomniti je treba, da je v Zadru in na Hrvaškem v preteklosti delovalo bistveno več industrijskih podjetij kot danes, kar bi veljalo vrniti,« je povedal Denis Ikić, predsednik območne zbornice Zadar, in dodal: »Rad bi povedal, da obstaja povezava med kakovostnimi tehniškimi šolami in njihovimi učnimi načrti ter potrebami gospodarstva. Potrebujemo zaposlene, ki bodo obvladali tako sedanja kot predvsem bodoča delovna mesta v industriji 4.0. Izpostavil bi Univerzo v Zadru, ki z naslednjim študijskim letom uvaja študijski program mehatronike in robotike.«

V hotelu Kolovare se bo v dveh dneh Industrijskega Forumu IRT ADRIA zvrstilo 18 strokovnih predavanj priznanih strokovnjakov z različnih področij industrije. Konferenca, katere cilj je, po vzoru slovenskega dogodka, postati svetilnik hrvaške industrije, je že izpostavila vrsto spodbudnih projektov. Veseli tudi posluh države, saj Hrvaška tovrstnemu sodelovanju, inovacijam, raziskavam in razvoju letos namenja 191 milijonov evrov.

Znanje je tisto, ki šteje

Tudi hrvaška industrija se sooča s kadrovskimi izzivi in podobno kot Slovenija mlade za tehnične poklice novači s projektom Inženjerka godine (prevedeno: inženirka leta). Na konferenci je zato svoje izkušnje s projektom z udeleženci delila Snježana Miliša, ki je pred dvema letoma kot prva na Hrvaškem pridobila ta prestižni naziv. Diplomirana inženirka elektrotehnike je osvetlila vlogo inženirjev pri snovanju vrhunskih superšportnih vozil in pogled na veliko rezervo – inženirke. »Stanje, ki trenutno vlada v družbi, povzroča, da je delež inženirk, zlasti v elektrotehniki in strojništvu, še vedno zelo majhen. Razlog je očiten: pomanjkanje vzornikov. Inženirke kot take v družbi niso vidne. Prav zato je projekt Inženirka leta tako zelo pomemben, saj pokaže življenjske poti inženirk in to, da za tiste, ki sodelujejo v izboru, niso pomembni le prispevki k tehnologiji, ampak celotno njihovo življenje, prispevki v družbi in gospodarstvu. Kot otrok sem imela najraje matematiko in fiziko. Nikola Tesla je bil moj vzornik. Verjamem, da je tako še danes pri veliko otrocih na Hrvaškem, a nato se ti izgubijo na poti do tehničnih poklicev. To moramo popraviti.«

Natančnost izdelave in kontrola kakovosti

V nadaljevanju 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 dosegati 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.

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., skupaj s stranko – podjetjem Rimac Technology, d. o. o. Med tehnologijami, ki pospešeno vstopata v industrijo, sta generativni dizajn in dodajalna (aditivna) proizvodnja. Izkušnje z njunim uvajanjem so predstavili predstavniki podjetij PRIOR inženjering, d. o. o., ter Metalska jezgra Čakovec. Tudi predstavniki podjetja IZIT so spregovorili o ocenjevanju natančnosti 3D-tiskanja v proizvodnji in ponovljivosti dodajalne proizvodnje, ki se vse bolj uveljavlja v podjetjih.

Tehnološka razstava in obisk podjetja

V spremljevalnem programu dogodka, t. i. razstavi, je 35 podjetij predstavilo svoje najnovejše tehnologije in inovativne rešitve na razstavnem prostoru, dostopnem vsem obiskovalcem konference.



Udeleženci foruma med pogovorom

Udeleženci konference so odlično sprejeli tudi zanimivo novost – obisk podjetja med konferenco. Večina udeležencev je tako obiskala orodjarsko podjetje HSTec, ki že od leta 1997 ustvarja inovativne in prilagojene rešitve za različne industrijske aplikacije. Podjetje stavi na inteligentno proizvodnjo za dinamičen globalni trg, njegov portfelj izdelkov, rešitev in storitev pa obsega od načrtovanja in izdelave vreten do razvoja naprednih rešitev za industrijsko avtomatizacijo.

Prvi dan konference Industrijski forum IRT ADRIA v Zadru se je zaključil s predavanji na temo industrije 4.0 ter z uvajanjem umetne inteligence na področje programiranja CNC-strojev ter upravljanja in vzdrževanja proizvodnje.

Drugi dan v znamenju obdelave materialov

Drugi dan konference so zaznamovala strokovna predavanja s posameznih področij industrije. Dopoldanski termin so »zavzele« teme obdelave oziroma brizganja plastičnih mas v avtomobilski industriji – velike pozornosti je bilo deležno predavanje podjetja ABC-Brizganja, d. o. o., ki je predstavilo način izdelave plastičnih izdelkov brez t. i. hladnih spojev.

Popoldanski termin pa je prinesel teme uvajanja dodatne avtomatizacije in robotizacije proizvodnje, maksimiranje dobe povrnitve naložbe, dvig natančnosti izdelave. Fakulteta za strojništvo z Reke pa je predstavila številne inovacije v pomorstvu, ki jih je mogoče doseči z digitalizacijo proizvodnih procesov – udeleženci so z zanimanjem prisluhnili predstavitvi projekta INNO2MARE R&I.

Tako organizatorji kot udeleženci prvega Industrijskega foruma IRT ADRIA v Zadru so se strinjali, da je bila konferenca zadetek v polno. Številni so v svojih koledarjih že označili datum v septembru 2026, ko bodo na isti lokaciji spet črpali sveže ideje, novosti in poznanstva iz industrije. Vljudno vabljeni.

www.forum-irtadria.com

© Avtorji 2025. CC-BY 4.0

TEHNOLOGIJA ČISTIH PROSTOROV – MLADA PANOGA INVESTICIJSKIH, IZOBRAŽEVALNIH IN ZAPOSLOTITVENIH PRILOŽNOSTI

Pogoj za zagotavljanje gospodarske konkurenčnosti Slovenije v prihodnje bo sistematično in usklajeno povezovanje industrije, akademske sfere in države tudi na področju tehnologije čistih prostorov – farmacevtska industrija napoveduje investicije preko dve milijardi evrov, kadra z ustreznimi kompetencami in znanji pa pri nas primanjkuje.

Udeleženci strokovnega posveta »Čas je, da tudi v Sloveniji skupaj naredimo korak naprej v razvoju in izobraževanju na področju tehnologije čistih prostorov« v organizaciji Slovenskega združenja za tehnologijo čistih prostorov (SCS), ki deluje v okviru Podjetniško-trgovske zbornice (PTZ) pri Gospodarski zbornici Slovenije (GZS), so opozorili na nujne korake, ki bodo v prihodnjih letih omogočali uresničevanje obsežnih investicijskih načrtov gospodarstva v Sloveniji, obenem pa priložnosti za nadaljnji razvoj tehnologije čistih prostorov pri nas. Ugotovili so, da je ključni izziv v zagotavljanju temeljnih specifičnih znanj s področja tehnologije čistih prostorov in v dostopu do le-teh v sistemu formalnega izobraževanja.

Ključne priložnosti se odpirajo zlasti na področju farmacije, biotehnologije in zdravstva. Vodilna mednarodna podjetja iz teh panog v prihodnjih letih v Sloveniji načrtujejo razvojne projekte v skupni vrednosti več kot dve milijardi evrov, ki bodo zahtevali temeljna znanja in kompetence s področja tehnologije čistih prostorov. Ti obsežni projekti bodo zahtevali več kadrov z znanjem in kompetencami s področja tehnologije čistih prostorov, kot jih je trenutno na voljo pri nas. Da bo mogoče zagotoviti dovolj kompetentnih strokovnjakov, je nujno potrebno tesnejše sodelovanje med vsemi ključnimi deležniki. Kot cilj so si udeleženci posveta tako zadali poglobljeno povezovanje gospodarstva, znanosti in izobraževalne sfere, ob tem pa k sodelovanju nagovarjajo tudi državo. Na posvetu so podpisali tudi zavezo k dolgoročnemu sodelovanju med SCS in SZE – Slovenskim združenjem za energetiko.

Posvet, ki je prvi dogodek na področju tehnologije čistih prostorov na tako visokem nivoju pri nas, je gostila GZS, udeležilo pa se ga je več kot 120 predstavnikov gospodarstva, znanosti, zdravstva in državnih ustanov. Pod delovnim naslovom Vzpostavitev celovitega ekosistema znanja za čiste prostore v Sloveniji, kar je poleg povezovanja in razvoja dolgoročnega partnerstva eden ključnih namenov združenja SCS, so razpravljali o gospodarskem pomenu tehnologije čistih prostorov in strateških priložnostih, ki jih ta panoga omogoča, o kadrovskih

razmerah, izobraževanju in znanju prihodnosti ter o vprašanih, povezanih s tehnologijami, inovacijami in regulativo.

Kot predstavnik države je udeleženec nagovoril državni sekretar na Ministrstvu za visoko šolstvo, znanost in inovacije Urban Kodrič in izpostavil: »Vzpostavljamo pogoje, da bo Slovenija uspešnejša na področju visokega šolstva, znanosti, raziskav in naprednih tehnologij.«

Nova visokošolska zakonodaja prinaša več sredstev in večjo avtonomijo, da bodo univerze lažje sledile hitrim spremembam ter se odzivale na potrebe gospodarstva in družbe. Gradimo nove fakultete in vlagamo v sodobno raziskovalno infrastrukturo. Z reformo visokega šolstva za zelen in odporen prehod v družbo 5.0 pa pripravljamo izobraževanje za prihodnost, da bodo znanja in kompetence strokovnjakov boljše usklajeni s trgom dela in posla tetrabami skupnosti.«

Velik gospodarski in razvojni pomen tehnologije čistih prostorov

Tehnologija čistih prostorov je sicer mlada, razvijajoča se multidisciplinarna veda, a hkrati gospodarsko področje s pomembnim vplivom. Ocenjuje se, da predstavlja od 4 do 6 % BDP Slovenije in pri nas zaposluje več deset tisoč ljudi. Ta panoga je izredno raznolika – z vidika uporabnikov zajema farmacijo, zdravstvo, elektroniko, obrambo in raziskave, z vidika dobaviteljev pa vključuje tudi industrijo, ki se ukvarja z razvojem in proizvodnjo opreme za čiste prostore, njihovo montažo in vzdrževanjem.

Generalna direktorica Gospodarske zbornice Slovenije (GZS) Vesna Nahtigal je izpostavila pomen tehnologije čistih prostorov za slovensko gospodarstvo in njen potencial za spodbujanje ter ohranjanje razvojnih naložb v vrsti industrij in panog v Sloveniji. »Upamo, da bo vloga te tehnologije ustrezno prepoznana tudi na ravni države ter da bomo skupaj uspeli narediti potrebne korake k vzpostavitvi primerne podpore okolja tako za njen nadaljnji razvoj kot tudi za razvoj izobraževanja s



Udeleženci posveta o tehnologiji čistih prostorov

tega področja. Le tako bomo lahko zagotovili dovolj visoko usposobljenih kadrov, ki bodo lahko zasedli novo ustvarjena kakovostna delovna mesta z visoko dodano vrednostjo.» Dodala je, da tudi nova strategija Evropske komisije, katere cilj je do leta 2030 uveljaviti Evropo kot vodilno regijo na področju znanosti o življenju, poudarja pomen prebojnih tehnologij in visoke kakovosti »v sektorju znanosti o življenju, kjer imajo čisti prostori pomembno vlogo pri zagotavljanju varnosti, kakovosti in skladnosti v proizvodnji zdravil, medicinske opreme in biotehnologije.«

Sistematično in mednarodno priznано usposabljanje – pogoj za razvoj stroke in panoge

Po predstavitvi razvoja stroke na Irskem kot primera dobre prakse s strani Conora Murraya, predsednika irskega združenja za tehnologijo čistih prostorov (ICS), so v razpravi o kadrovske situaciji v panogi udeleženci posveta opozorili, da tako industrija kot zdravstveni sektor čutita veliko pomanjkanje strokovnjakov, usposobljenih za vse faze življenjskega cikla čistih prostorov. Najbolj opazno je pomanjkanje specifičnih znanj, druga vrzel pa izhaja iz osnovnih poklicev, ki so povezani s to tehnologijo, a so razmeroma šibko zastopani v formalnem izobraževanju. Zato SCS predlaga razmislek o uvedbi novih izobraževalnih programov, tudi visokošolskih, ali specializiranih modulov v okviru obstoječih.

Predsednica SCS mag. Nataša Štirn pravi: »Spodbudno je, da imamo odslej v Sloveniji prve temelje za sistematično in mednarodno priznано usposablja-

nje. Eden izmed njih je prvi slovenski prevod ključne strokovne literature na področju tehnologije čistih prostorov, strokovne knjige priznanega mednarodnega strokovnjaka dr. Williama Whyta Tehnologija čistih prostorov – osnove projektiranja, testiranja in obratovanja. Slovenski prevod je v sodelovanju s Fakulteto za strojništvo Univerze v Ljubljani izšel pred nekaj dnevi in bo dragocen pripomoček za vse, ki sodelujejo v izobraževalnem procesu in potrebujejo celovite informacije o stroki.

K temu predsednica SCS dodaja: »Drugi temelj pa je prva mednarodna akreditacija za program Cleanroom PASS, ki smo jo pridobili v SCS. Doslej so po specialistično znanje in mednarodno priznane certifikate slovenski strokovnjaki morali v tujino, odslej pa bomo to lahko omogočali v domačem panožnem združenju. To je pomembno predvsem za pridobivanje poslov mednarodnih podjetij, ki v Sloveniji vidijo potencial za razvoj zahtevnih produktov, ki nastajajo v čistih prostorih. S tem je seveda povezano odpiranje novih delovnih mest, ki zahtevajo strokovno znanje in imajo visoko dodano vrednost. Na osnovi pridobljene mednarodne akreditacije ima Združenje SCS priložnost, da razvije še druge akreditirane programe in tako postane eden od nosilcev nacionalnega sistema izobraževanja in certificiranja na tem področju.«

Hasim Solmaz, predsednik Mednarodne konfederacije društev za kontrolo kontaminacije (ICCCS), ki podeljuje akreditacije za program Cleanroom PASS, je pohvalil prizadevanja SCS in poudaril, da so prepoznana tudi že v mednarodnem prostoru: »Slovensko združenje za tehnologijo čistih prostorov

ima vse bolj vidno vlogo na hitro rastočem globalnem trgu. Z združitvijo moči v okviru ICCCS lahko izzive spremenimo v priložnosti in skupaj pomagamo oblikovati prihodnje standarde. Slovenija lahko marsikaj ponudi mednarodni skupnosti, obenem pa veliko pridobi od sodelovanja z njo.»

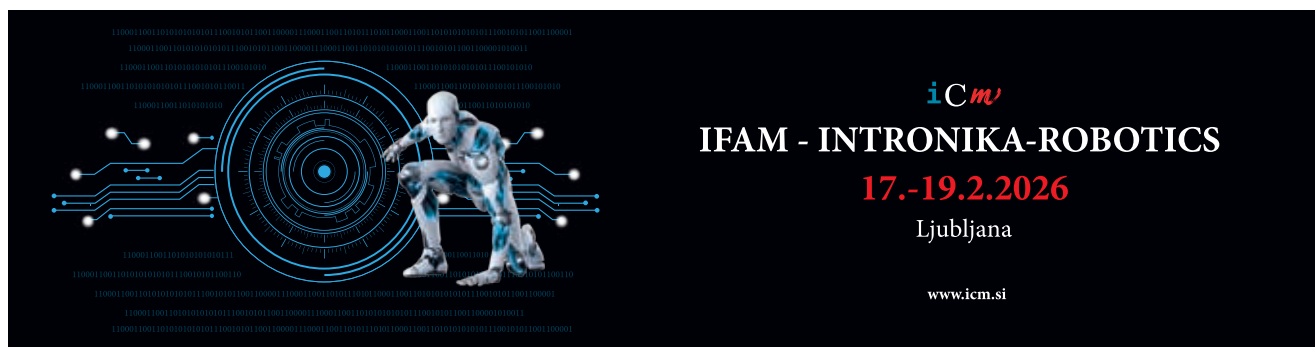
Cilj: vzpostavitev kompetenčnega centra za čiste prostore

Razprava o prihodnosti tehnologij in regulativnem okviru za čiste prostore je pokazala, da je največji potencial prav v povezovanju tehnologije, regulative in prakse. Razpravljalci so poudarili, da morajo vsi,

ki sodelujejo pri načrtovanju, montaži ali vzdrževanju opreme čistih prostorov, poznati osnovna pravila njihovega delovanja. Za primerno usposabljanje so potrebni laboratoriji, standardizirano izobraževanje in jasna dokazila o kompetencah. SCS bo zato spodbujal vzpostavitev kompetenčnega centra za čiste prostore, ki bi postal nacionalna platforma za razvoj in povezovanje, saj bo le z multidisciplinarnostjo mogoče zgraditi trajnosten in mednarodno prepoznaven ekosistem na tem področju.

Maruša Kaučič Condé,
marusa.kaucic@taktik.si

© Avtorji 2025. CC-BY 4.0



iCm
IFAM - INTRONIKA-ROBOTICS
17.-19.2.2026
Ljubljana
www.icm.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

*Vesel božič in
uspešno novo leto
2026*

*Merry Christmas and
a Happy New Year
2026*



INNOVATION DAY 2025 RAZISKOVAL SVET SODOBNE AVTOMOBILSKE PROIZVODNJE

Mednarodna konferenca Innovation Day 2025, ki smo jo v SRIP ACS+ organizirali skupaj s SRIP-om Top Tovarne prihodnosti, ki je del Instituta Jožef Stefan, in z EIT Manufacturing, je pomembno združila strokovnjake, raziskovalce in vodilne predstavnike industrije po vsej Evropi. Udeleženci so na njej raziskovali ključne trende in tehnologije ter tako oblikovali prihodnost avtomobilske proizvodnje.



Na letošnjem Innovation Dayu 2025 se je zbralo več kot 100 strokovnjakov, raziskovalcev in vodilnih predstavnikov avtomobilske industrije iz Slovenije in tujine

Letošnja konferenca se je osredotočila na napredne proizvodne tehnologije za avtomobilsko industrijo. Z njimi Slovenija, priznana po svojih inovativnih dobaviteljskih komponentah, pametnih, visoko kakovostnih proizvodnih rešitvah ter visoko digitaliziranih, avtomatiziranih in robotiziranih sistemih, zagotavlja okolje, ki spodbuja preobrazbo proizvodnje v napredno, digitalizirano, povezano in trajnostno zeleno prihodnost s poudarkom na raziskavah, inovacijah in odličnosti proizvodnje.

Celodnevni dogodek, razdeljen na štiri sklope, je gostil različne strokovnjake iz Slovenije in tujine. Pri tem je povezal ključna področja napredne proizvodnje s celovitim pregledom nastajajočih tehnologij, industrijskih izzivov in poti inovacij, ki skupaj oblikujejo prihodnost avtomobilske industrije. Strokovna in širša javnost je s tem dobila vpogled v najnovejša trende, znanja, inovacije in industrijske študije praktičnih primerov – od pionirskih dosežkov v avtomobilski proizvodnji do uporabe umetne inteligence in robotskih konceptov.

bilski proizvodnji do uporabe umetne inteligence in robotskih konceptov.

Prvi sklop *Prihodnje proizvodne tehnologije v avtomobilski industriji* se je osredotočil na prehod k inteligentnim in trajnostnim proizvodnim sistemom za avtomobilsko industrijo. Obravnaval je nove pristope k raziskavam in razvoju, ki podpirajo konkurenčen evropski avtomobilski ekosistem, raziskujejo izzive, s katerimi se soočajo start-up podjetja med digitalno preobrazbo, in predstavljajo revolucionarne koncepte prihodnjih proizvodnih tehnologij, ki ponovno opredeljujejo prilagodljivost, trajnost in inovativnost.

Drugi sklop *Konkurenca evropske avtomobilske proizvodnje* je poudaril strateško vlogo robotike in inteligentne avtomatizacije pri krepitvi industrijskega položaja Evrope. Kot osrednji element industrije 4.0 namreč robotika povečuje produktivnost,



S konferenco smo pomembno združili podjetja, univerze, raziskovalne institucije in inovacijske skupnosti, ki skupaj gradijo prihodnost evropske industrije na temeljih odličnosti, ustvarjalnosti in sodelovanja

natančnost in prilagodljivost ter omogoča prehod k pametnejšim in bolj prilagodljivim proizvodnim sistemom. Panel je prikazal, kako uvedba robotov prispeva k vodenju in h globalni konkurenčnosti Evrope v avtomobilski industriji.

Tretji sklop *Kakovost kot ključni dejavnik avtomobilске industrije* je omogočil vpogled v ključno vlogo natančnosti, zanesljivosti in stalnega izboljševanja pri ohranjanju konkurenčnosti. Poudaril je predvsem računalniško vizijo, podprto z umetno inteligenco, inovativne pristope k optimizaciji proizvodnih linij ter uporabo naprednih platform in sistemov za načrtovanje, pri čemer se izboljšujeta kakovost in stabilnost procesov.

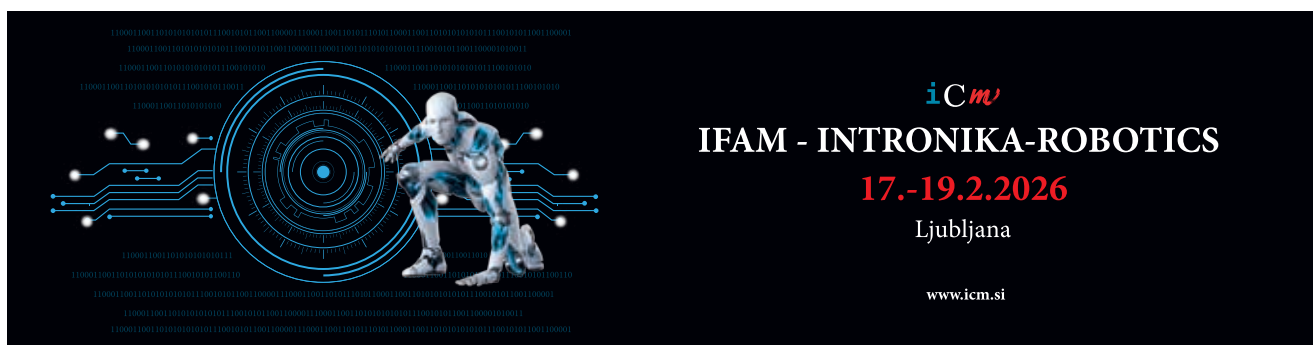
Četrty, zaključni sklop *Digitalne tehnologije v procesih proizvodnje vozil* pa je raziskoval preoblikovalni vpliv digitalizacije in umetne inteligence na proizvodnjo vozil. Udeleženci so lahko spoznali izzive in priložnosti, ki izhajajo iz pristopov proizvodnje na-

slednje generacije, naprednega inženiringa in integracije programske opreme ter uporabe digitalnih dvojčkov kot temelja za načrtovanje, spremljanje in optimizacijo procesov proizvodnje vozil na podlagi podatkov.

S konferenco smo pomembno združili podjetja, univerze, raziskovalne institucije in inovacijske skupnosti, ki skupaj gradijo prihodnost evropske industrije na temeljih odličnosti, ustvarjalnosti in sodelovanja. Okrepili smo dialog med industrijo in raziskovalno-razvojno sfero, pospešili prenos inovacij v prakso ter poglobili mednarodno sodelovanje kot ključni dejavnik industrijske preobrazbe. Izzivi sodobne proizvodnje namreč zahtevajo skupni odziv, temelječ na strokovnosti, odprtosti in medsebojnem navdihu.

Erik Blatnik, GIZ ACS,
Slovenski avtomobilski grozd
Foto: Robert Zabukovec

© Avtorji 2025. CC-BY 4.0



POSVET ASM '25

Na GZS v Ljubljani je 4. decembra potekal že enaindvajseti strokovni posvet Avtomatizacija strege in montaže 2025 – ASM '25. Dogodek, ki velja za osrednje nacionalno srečanje na področju avtomatizacije strege in montaže, je organiziral Laboratorij za strego, montažo in pnevmatiko (LASIM) Fakultete za strojništvo Univerze v Ljubljani v soorganizaciji z Gospodarsko zbornico Slovenije in Kompetenčnim centrom za sodobne tehnologije vodenja – Zavodom KC STV



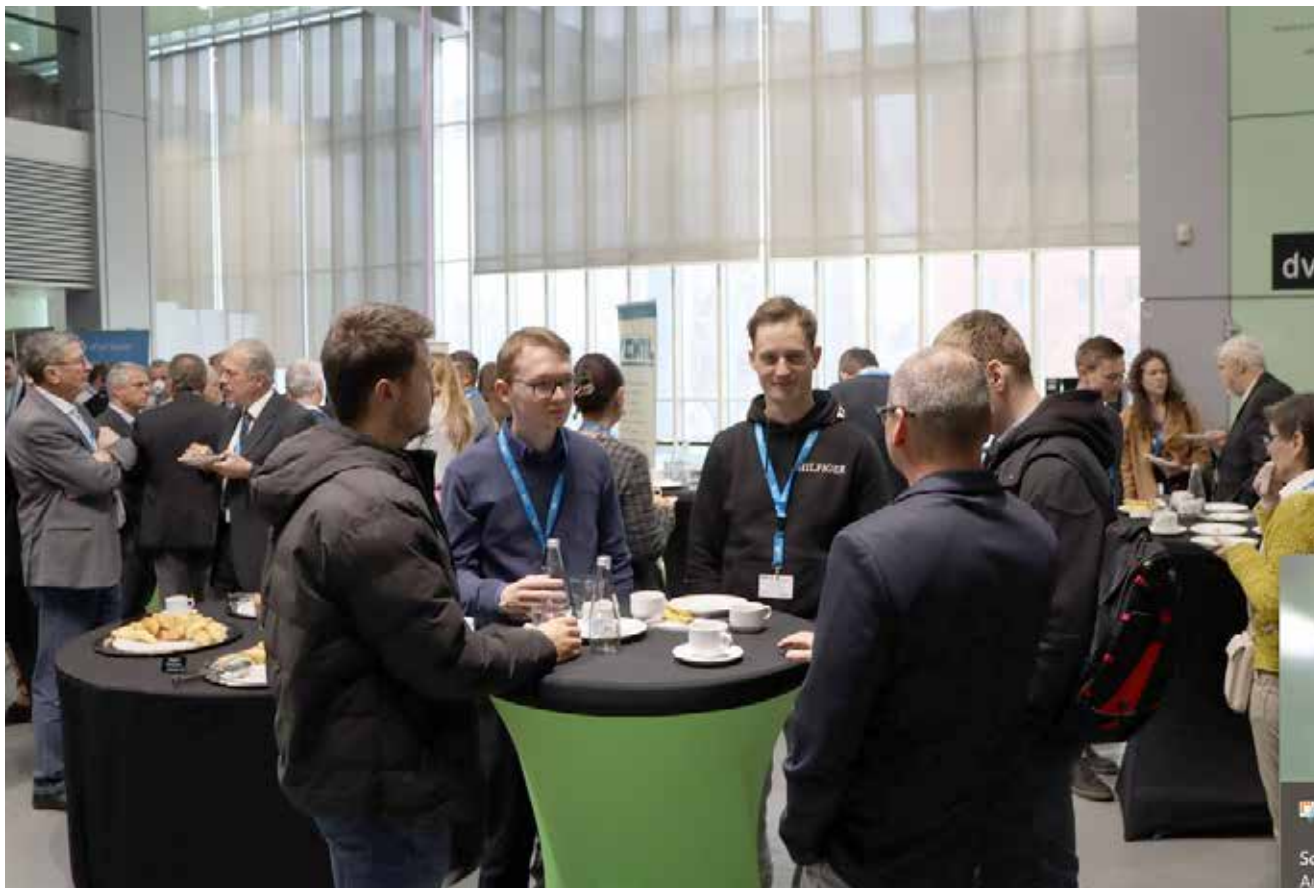
Utrinek s posveta ASM '25

Kljub zahtevnim gospodarskim razmeram je bil posvet izjemno dobro obiskan. Udeležilo se ga je več kot 130 strokovnjakov iz 44 podjetij, sedmih raziskovalnih in izobraževalnih ustanov ter predstavnikov treh medijev. Zanimanje in široka zastopanost udeležencev potrjujeta, da področje avtomatizacije strege in montaže ostaja ključno za razvoj slovenskega gospodarstva. Posvet ASM je tudi tokrat upravičil svoj ugled najpomembnejšega letnega dogodka na tem področju.

Na posvetu so se predstavila številna podjetja s svojimi dosežki, tehnološkimi rešitvami in novostmi. Mnoge rešitve, ki so bile prikazane, so plod lastnega razvoja podjetij in inovativnosti njihovih inženirjev in bodo prav gotovo marsikomu pripomogle pri rešitvi njegovih problemov in dilem, s katerimi se srečuje v

vsakodnevni praksi. Na začetku srečanja je dogodek s spodbudnimi besedami odprlo več govornikov. Sledila so strokovna predavanja. Predavatelji so izhajali iz naslednjih organizacij: GZS, Fanuc Adria, d. o. o., ABB, d. o. o., Yaskawa Slovenija d. o. o. in Yaskawa Ristro d. o. o., DAX, d. o. o., HENNLICH d. o. o., MIEL d. o. o., DIGITEH d. o. o. in AKA PCB d. o. o., Dommel d. o. o., Laboratorij LASIM – Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, ISKRA, elektro in sistemske rešitve, d. o. o., ITS d. o. o. Ljubljana, Unichem d. o. o. in PTICA – zavod, Kranj, IJS in Zavod KC STV, Riko d. o. o., ControlTech d. o. o., TRIMO d. o. o., MAHLE Electric Drives Slovenija d. o. o., IJS, Odsek za sisteme in vodenje, CGS d. o. o. in TECOS.

Organizator je skupaj z avtorji iz različnih podjetij pripravil izredno zanimivo srečanje, ki ga je podprlo



Pogovor med udeleženci posveta

več ustanov, podjetij in medijev. Med njimi naj posebej omenimo generalnega pokrovitelja Digiteh d. o. o., ki je v Sloveniji in širši regiji vodilno podjetje na področju razvoja in implementacije digitalnih dvojčkov proizvodnih in logističnih sistemov. Podjetje ima več kot 10 let izkušenj na tem področju.

Na razstavnem prostoru pred konferenčno dvorano so imela podjetja možnost predstavitve svoje dejavnosti s publikacijami, demonstracijskimi paneli ali po dveh večjih promocijskih zaslonih. Posvet ASM '25 je bil tako kot vsako leto enkratna priložnost za predstavitev novosti in naprednih pristopov, prav tako pa je ponujal priložnost za srečanje strokovnjakov s področja avtomatizacije in danes

vse pomembnejše digitalizacije ter za medsebojno izmenjavo mnenj ter izkušenj.

Vsem udeležencem se za obisk in sodelovanje na ASM '25 najlepše zahvaljujemo in vse zainteresirane vabimo, da se nam kot soorganizatorji ali udeleženci pridružijo na naslednjem posvetu ASM, ki ga načrtujemo v začetku decembra leta 2026.

Več utrinkov s posveta ASM '25 je dostopnih na spletni strani posveta www.posvet-asm.si.

Dr. Mihael Debevec, OO ASM '25 in UL, FS, LASIM

© Avtorji 2025. CC-BY 4.0



DIGITEH
DIGITALIZACIJA PROIZVODNIH PROCESOV

ZANESLJIV PARTNER NA VAŠI POTI V DIGITALIZIRANO PRIHODNOST



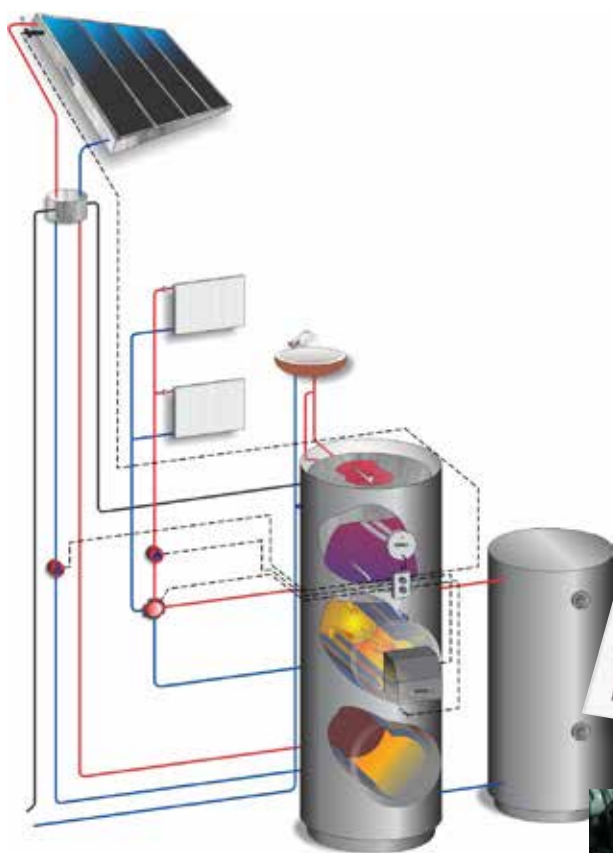
www.digiteh.eu info@digiteh.eu 08 2055 621 Tržaška cesta 315, SI-1000, Ljubljana

FRANCIJEV POSLEDNJI LET

Bila je sobota, 27. septembra, ko sem v telefonski predal prejel obvestilo – Izgubili smo Francija! Švigajoče misli so se hipoma ovile okrog vseh naših skupnih trenutkov, telo pa komaj prenese lastno obremenitev. Tisti dan se je vreme prvič letos začelo spogledovati z jesensko shemo. Počasi se bodo temperature spustile, ljudje pa se bodo oblekli v toplejša oblačila. Vsi se bomo soočili z

intenzivno toplotno prehodnostjo, sevalnimi izgubami, akumulacijo toplote in vsemi fizikalnimi zakoni s področja termodinamike – Francijevim raziskovalnim področjem.

Franci Stroj je bil rojen inovator. Že kot najstnik je kazal neverjeten smisel za aplikativno integracijo znanosti, ki je sicer nikoli ni do konca obrusil v



šolskih klopeh, pa vendar je blestel v razumevanju fizikalnih principov delovanja narave. Vedno je bil zvest svojim instinktom, ki jih je razvil do skrajnih meja v rani mladosti in kasneje v najboljših letih svojega ustvarjanja. Bil je svojevrsten umetnik v znanosti, ki je ideje vedno usklajeval z naravnimi tokovi. Nikoli se ni upiral tisti gonilni moči, ki jo premore narava.

Franci Stroj je načrtal globoko sled na področju izkoriščanja obnovljivih virov energije. Že zelo zgodaj se je zavedal, da je sonce neustavljiv vir energije, ki nam jo ponuja v naključnih intervalih. Nešteto idej in projektov je oblikovalo Francijev življenjski moto – razumeti naravo in ji na široko odpreti energetska vrata. Ideje so vstopale in se kalile v neverjetne sisteme, ki jim enostavno rečemo inovacije. Ogromno patentov in nešteto drobnih in velikih idej je zagledalo luč sveta v njegovem laboratoriju in delavnici.

Franci je bil poseben človek, v katerem je bila ujeta duša, ki je bila vedno korak pred njim samim. Njegove ideje in inovacije so bile vedno tako preproste in razumljive in vedno so bile tudi realizirane. Franci je bil zelo zahteven do rezultatov svojega raziskovalnega dela, saj je vsako idejo dodatno raziskoval, proizvode pa razvijal do popolnosti; sprejemniki sončne energije, generatorji toplote (kotli), hranilniki toplote, solarni sistemi, kurilne naprave, bivalni sistemi, nešteto inovativnih naprav na temelju solarnih sistemov in seveda neskončna želja po letenju.

Franci Stroj je bil pilot prvega zasebnega helikopterja v Sloveniji. Bil je tehniško vedoželjen in izjemno natančen upravitelj svojih čutil, kar je bila iztočnica za odhod na pot realizacije njegovih otroških sanj. Vse, kar je ustvaril, je preletel v šolanje za pilota helikopterja in v nakup svojega prvega helikopterja. Nepopisno veselje, ponos in razumevanje aerodinamike so ga gnali visoko nad gorenjske vršace. Pred mnogimi leti se je nenadoma znašel že na prvem sestanku z neskončnostjo. Takrat je z avtorotacijo uspel brez poškodb pristati in najti pot iz razbitin svojega helikopterja.

Že pred 40 leti smo se srečevali na Fakulteti za strojništvo v takratnem Laboratoriju za ogrevalno in solarno tehniko (LOS), on kot pretkan praktik, člani LOS pa kot vedoželjni teoretiki in recenzorji njegovih ogrevalnih naprav. Imel sem privilegij, da sva kasneje s Francijem uspela najti kar nekaj skupnih raziskovalnih izzivov, kot so parabolični koncentradorji za visokotemperaturne sprejemnike sončne energije, selektivni premazi absorberjev

itd. Več kot četrto stoletje (oktober 1999) mineva od oddaje prve skupne ekspertize za organizacijo »nujnih helikopterskih prevozov«. Danes, ko je tema ponovno aktualna, lahko izmerimo časovni obseg prehitevanja Francijevih idej tedanjega časa. Sledile so ideje o sodobni proizvodnji ogrevalnih sistemov doma in v tujini, ustanovljen je bil Inštitut Stroj in Franci Stroj je uradno postal razvojni sodelavec. Sledilo je načrtovano delo v sodobnem energetske laboratoriju, pripravljena je bila vsestranska dokumentacija vseh izdelkov, Francija je spoznal svetovni splet ...

Franci Stroj je bil in ostaja ambasador zelenega prehoda, kar potrjuje ogromno aktivnih in delujočih ogrevalnih sistemov v domovini in tujini. Vsi imetniki njegovih ogrevalnih sistemov so le klic stran dobili nasvet strokovnjaka, ki je takoj prepoznal izzive upirajočega se sistema in jih je večkrat s pravim nasvetom in usmeritvijo lastniku popravil na daljavo.

Francijev ustvarjalni duh za njim v prihodnost nosijo žena in oba sinova, ki najbolje vedo, kam vodijo stopinje njihovega nepozabnega moža in očeta.

Z globokim spoštovanjem se bomo spominjali Francija Stroja kot iskrivega raziskovalca in predanega strokovnjaka na področju obnovljivih virov energije. S svojim delom, natančnostjo in predanostjo trajnostnemu razvoju je pomembno prispeval k razumevanju in uveljavljanju tehnologij, ki omogočajo čistejšo in učinkovitejšo rabo energije. Njegova raziskovalna pot je bila zaznamovana z vztrajnostjo, skromnostjo in iskrenim zanimanjem za napredek aplikativne znanosti.

Tokrat je njegov nebesni stroj odletel visoko gor, tja čez. Ko gledamo za njim, lahko v daljavi slišimo eliso njegovega helikopterja, ki ga je ponesel na poslednji let.

Prof. dr. Zvone Balantič
Univerza v Mariboru,
Fakulteta za organizacijske vede

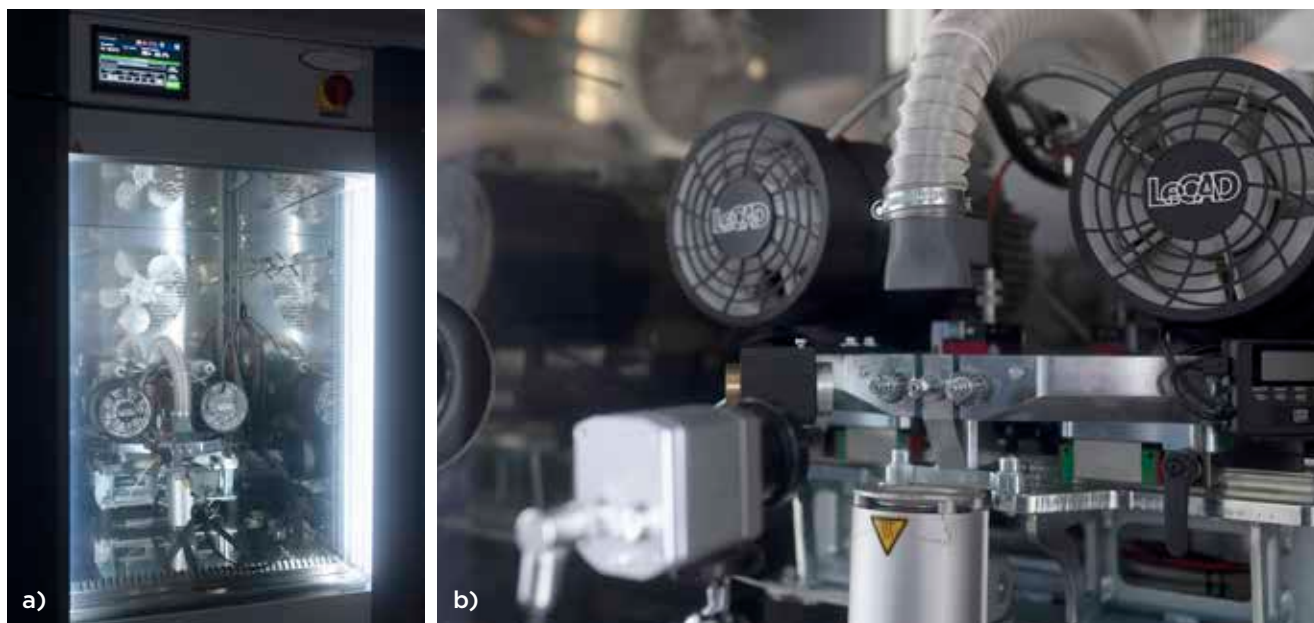
© Avtorji 2025. CC-BY 4.0

REVILJA ZA FLUIDNO TEHNIKO, AVTOMATIZACIJO IN MEHATRONIKO
VENTIL

NOVA RAZISKOVALNA OPREMA ZA PREBOJNE RAZISKAVE IN ŠE BOLJ POGLOBLJENO SODELOVANJE Z GOSPODARSTVOM – 1. DEL

Helena Grahek

Fakulteta za strojništvo UL v letu 2025 odločno nadaljuje uresničevanje razvojne strategije, ki v ospredje postavlja raziskovalno odličnost, prenos znanja v prakso ter krepitev partnerstev z gospodarstvom. V okviru Paketa 23, ki ga sofinancira Agencija za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije (ARIS), je FS UL pridobila 18 novih enot vrhunske raziskovalne opreme v skupni vrednosti 2,5 mio €, pri čemer je ARIS prispevala več kot 881.000 €. Naložba pomembno posodablja raziskovalno infrastrukturo, skrajšuje poti od ideje do prototipa in krepi zmožnost hitrega odziva na potrebe industrijskih partnerjev.



Slika 1 : a) Komora s termografsko kamero za natančno aktivno kontrolo klimatskih pogojev pri testiranju polimernih in kompozitnih zobnikov, b) Preizkuševališče zobnikov in meritve temperature zobnikov s termokamero (foto: Laboratorij za konstruiranje LECAD)

Nova oprema odpira dodatne kapacitete na področjih robotike, naprednih materialov, energetskih sis-

temov, tribologije, aditivnih tehnologij, mikroprocesov ter interakcije človek-stroj. S tem omogočamo zahtevnejše meritve, večjo ponovljivost in zanesljivost rezultatov ter uvajanje podatkovno podprtih metod (npr. digitalni dvojčki, napovedno vzdrževanje, optimizacija procesov). Posodobljena infrastruktura neposredno podpira interdisciplinarne raziskave, preplet eksperimentalnih in numeričnih

Helena Grahek, univ. dipl. ekon. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo

© Avtorji 2025. CC-BY 4.0

pristopov ter vključevanje študentov vseh stopenj v projekte, kjer pod mentorstvom raziskovalcev in v sodelovanju s podjetji razvijajo rešitve z visokim tehnološkim potencialom.

V tem članku predstavljamo prve tri raziskovalne naprave v okviru Paketa 23, ki bodo oblikovale prihodnost naših raziskav. V naslednji izdaji pa bomo razkrili še preostale inovativne sisteme, ki skupaj tvorijo celovito platformo za vrhunske raziskave in razvoj.

Komora s termografsko kamero – natančna kontrola klimatskih pogojev za prihodnost kompozitnih zobnikov

Laboratorij za konstruiranje LECAD, Katedra za konstruiranje in transportne sisteme (KKTS) je v okviru raziskovalnih programov pridobil vrhunsko opremo – klimatsko komoro KK-400 CHLT, integrirano s termografsko kamero PI 640i. Ta kombinacija omogoča natančno testiranje polimernih in kompozitnih zobnikov v aktivno nadzorovanem okolju, kjer lahko hkrati uravnavamo temperaturo in relativno vlažnost ter spremljamo lokalno temperaturno obnašanje zobnikov v realnem času. Takšna kontrola je ključna za razvoj lahkih, trajnostnih pogonskih komponent, ki bodo kos zahtevam prihodnosti.

Oprema odpira širok spekter raziskovalnih nalog: od testiranja vzdržljivosti, obrabe in utrujanja zobnikov v ekstremnih pogojih, do karakterizacije vpliva temperature in vlage na mehanske lastnosti ter življenjsko dobo materialov. Poleg zobnikov omogoča tudi pospešene okoljske teste na drugih komponentah, kar je pomembno za razvoj novih izdelkov in konstrukcijskih rešitev. Komora in kamera sta nepogrešljivi pri magistrskih in doktorskih raziskavah, kjer študenti preučujejo obnašanje komponent v različnih klimatskih režimih.

Tehnične zmogljivosti so impresivne: komora omogoča temperaturni razpon od $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ in relativno vlažnost med 10 % in 98 %, z natančnostjo nastavitve $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ in 1 %. Termografska kamera z optično resolucijo 640×480 pik in termično občutljivostjo 40 mK omogoča spremljanje temperaturnih sprememb z visoko natančnostjo. Integracija obeh sistemov omogoča daljinski nadzor, dolgotrajne teste brez fizične prisotnosti raziskovalca ter popolno avtomatizacijo protokolov.

Oprema je vključena v vrsto raziskovalnih projektov, kot so P2-0425 (digitalizacija industrije), in mednarodni projekt COMET PCCL-K1. Ključna bo tudi za nove projekte, kot sta GRIZZLY GEARS in razvoj hibridnih biokompozitov v okviru M-ERA.NET.

S tem sistemom fakulteta bistveno dviguje raziskovalno odličnost na področju razvoja trajnostnih

izdelkov, povečuje kakovost znanstvenih objav ter krepi sodelovanje z industrijo in mednarodnimi partnerji. Nova oprema ne pomeni le tehnološkega napredka, temveč tudi strateško prednost – omogoča razvoj inovacij, ki bodo oblikovale prihodnost trajnostnih pogonskih sistemov.

Raziskave z EEG: Interakcija človeka in robota za prihodnost

V laboratoriju za mehatroniko, proizvodne sisteme in avtomatizacijo LAMPA so z nakupom vrhunske EEG opreme Brain Products stopili korak naprej v raziskovanju interakcije med človekom in tehnologijo. Sistem omogoča natančno merjenje električne aktivnosti možganov (EEG) ter analizo kognitivnih procesov, pozornosti, obremenitve in odzivnosti uporabnika. To je ključno za razumevanje vpliva robotov in delovnega okolja na človeka, kar predstavlja temelj za razvoj človeku prijaznih rešitev v okviru Industrije 4.0 in 5.0.

EEG sistem Brain Products združuje visoko ločljivost (24-bit), mobilnost in fleksibilnost elektrod, kar omogoča meritve tako v laboratoriju kot v realnih industrijskih okoljih. Mobilna izvedba Live-Amp odpira možnosti spremljanja psihofizioloških stanj operaterjev in pilotov med simulacijami ali dejanskim delom. Napredna programska oprema Brain Vision Analyzer pa omogoča poglobljeno analizo EEG zapisov in razvoj metod za spremljanje utrujenosti, stresa ter kognitivne učinkovitosti v realnem času.

Oprema je ključna za raziskovalne naloge, kot so razvoj brain-computer interface (BCI) sistemov, validacija ergonomskih rešitev ter podpora odločanju v kompleksnih proizvodnih procesih. Uporablja se v okviru raziskovalne skupine LAMPA in projekta »Proizvodni sistemi, laserske tehnologije in spajanje materialov (P2-0270)«, hkrati pa bo pomembna za nove projekte, ki se pripravljajo na prijavo.



Slika 2 : Študija interakcije med človekom in robotom (foto: Laboratorij LAMPA)

Poleg raziskovalne vloge ima EEG sistem tudi pedagoško vrednost – študenti pridobivajo praktične izkušnje z biopotencialnimi meritvami, obdelavo signalov in analizo interakcij človek-stroj. S tem oprema krepi raziskovalno odličnost, inovativnost in konkurenčnost fakultete ter omogoča vključevanje v interdisciplinarne in mednarodne projekte na področjih umetne inteligence, ergonomije, letalstva in digitalnih dvojčkov človeka.

Preizkuševališče za elektro-tribološke raziskave – Rtec High Frequency Fretting Rig

V Laboratoriju TINT smo z nakupom naprave Rtec High Frequency Fretting Rig pridobili vrhunsko raziskovalno orodje, ki odpira nove možnosti na področju tribologije, razvoja maziv in naprednih materialov. Gre za visokotehnoško opremo, zasnovano za izvajanje standardiziranih in eksperimentalnih testov obrabe ter trenja v pogojih, ki simulirajo realno delovanje mehanskih komponent. Maziva in njihovi dodatki so nepogrešljivi v sodobni industriji – od avtomobilskih pogonskih

sistemov do letalskih motorjev. Njihova učinkovitost neposredno vpliva na življenjsko dobo komponent, energetske učinkovitost in trajnostno rabo virov. Naprava Rtec omogoča natančno testiranje mazalnih lastnosti po mednarodnih standardih (ASTM D6079, ASTM D7688, ISO 12156-1, IP450) ter razvoj novih formulacij, ki zmanjšujejo obrabo in trenje. S pomočjo te opreme lahko raziskovalci razvijajo in optimizirajo maziva ter njihove dodatke, simulirajo pogoje trenja in obrabe v laboratoriju, izvajajo kakovostno kontrolo maziv v proizvodnji ter razvijajo nove eksperimentalne metode za napredne tribološke študije. Naprava je nepogrešljiva tudi pri magistrskih in doktorskih nalogah ter laboratorijskih vajah, kjer študenti pridobivajo praktične izkušnje z merjenjem trenja, obrabe in analizo materialov.

Rtec High Frequency Fretting Rig omogoča frekvenco gibanja do 200 Hz in amplitudo od 10 μm do 2,8 mm z resolucijo 0,1 μm , obremenitev do 350 N in temperaturno območje od sobne temperature do 150 °C. Sistem omogoča realnočasovno merjenje pomika in frekvence z LVDT senzorjem, servo nadzor sile brez uteži za natančno vzdrževanje konstantnih obremenitev ter napredno okoljsko kontrolo, ki vključuje uravnavanje temperature, vlage in dodajanje inertnega plina. Programska oprema temelji na avtomatiziranih testnih protokolih, kjer je mogoče nastavljati parametre, kot so sila, temperatura, frekvenca, pomik, čas, cikli in vlaga, ter določiti končne pogoje glede na meritve v realnem času. Posebnost naprave je elektromagnetni aktuator brez klasičnih ležajev, kar zagotavlja izjemno natančnost in ponovljivost gibanja. Piezoelektrični senzorji omogočajo merjenje trenja v realnem času, kar je ključno za dinamično spremljanje poteka testov.

Oprema je vključena v vrsto mednarodnih in nacionalnih projektov, med drugim Patron – MSCA Doctoral Networks (prognostika in zdravje pogonskih sistemov), BilaTex – bioaktivne lasersko teksturirane površine, Mobility GT – trajnostna mobilnost (MSCA COFUND), NOO – Green tribology za zeleno in digitalno transformacijo ter CODE GM – naponskalni kontaktni dizajn za energetske učinkovite komponente. Ti projekti potrjujejo strateško vlogo naprave pri razvoju novih materialov, maziv in tehnologij z visoko dodano vrednostjo.

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



Slika 3 : Preizkuševališče za elektro-tribološko karakterizacijo mejnih površinskih filmov in kontaktov v širokem območju mehanskih, temperaturnih in električnih obremenitev (foto: Laboratorij TINT)

USPEH EKIPE CAVEOg:

BREZTEŽNOSTNI EKSPERIMENT NA 87. ESA ACADEMY PARABOLNEM LETU V BORDEAUXU

Študentska raziskovalna ekipa CAVEOg z ljubljanske Fakultete za strojništvo Univerze v Ljubljani (FS UL) je septembra uspešno sodelovala na 87. ESA Academy Parabolic Flight Campaign v Bordeauxu v Franciji. V edinstvenih pogojih breztežnosti je izvedla lasten eksperimentalni projekt – izjemno priznanje slovenskemu znanstvenoraziskovalnemu delu, saj je bila med številnimi prijavi iz vseh držav članic ESA izbrana le še ena študentska ekipa.



Ekipa CAVEOg

Ekipa je na posebnem letalu Airbus A310 ZERO-G, ki ga upravlja podjetje Novespace, v treh dneh izvedla 90 ponovitev eksperimenta. Vsak polet je vključeval 30 paraboličnih manevrov, pri čemer je vsaka parabola omogočila približno 22 sekund popolne breztežnosti. Glavni cilj projekta je bil raziskati proces kavitacijske emulzifikacije, pri katerem s pomočjo parnih mehurčkov nastane stabilna emulzija dveh sicer nezdužljivih tekočin, denimo olja in vode. Na Zemlji ta proces poteka ob jasno definirani fazni meji, v breztežnosti pa te meje ni – prav to razliko je ekipa želela razvozlati. Razumevanje teh mehanizmov je ključno za pripravo hrane in zdravil v vesoljskih pogojih ter za razvoj novih materialov za dolgotrajne misije na Luno in Mars, obenem pa odpira nova spoznanja za rabo na Zemlji, zlasti v farmaciji, prehranski tehnologiji in zaščiti materialov.

»Gre za edinstveno raziskavo generacije emulzije s pomočjo kavitacije v pogojih breztežnosti. Celoten projekt so vodili študenti. Morda sem na začetku podal le prvo idejo – kako se bo razvila emulzija, če ne vemo, kje se nahaja meja med oljem in vodo in kako kakovostna ter obstojna bo. Vse ostalo delo so opravili študenti. Vesel sem, da je misija uspela, na končne rezultate pa bo treba še malo počakati,« je povedal prof. dr. Matevž Dular, vodilni strokovnjak za kavitacijo. Dodal je: »Emulzije imajo pomemb-

no vlogo v farmaciji, prehranski industriji in zaščiti materialov. Naša raziskava pomaga razumeti te procese na Zemlji in obenem odpira nove možnosti za dolgotrajne vesoljske polete.«

Kot največji izziv je Dular izpostavil stroge varnostne zahteve in natančnost protokola:

»Le tri dni pred odhodom so na primer od nas zahtevali dodatne meritve hrupa v visokem frekvenčnem območju, saj bi ultrazvok merilne postaje lahko bil potencialno škodljiv za udeležence poleta. Pomemben je bil tudi izjemno natančen eksperimentalni protokol, saj je bila za vsako meritev na voljo le približno minuta časa.«

Vodja projekta Jakob Mali je polet opisal kot nepozabno izkušnjo:

»Občutek lebdenja je nekaj posebnega, vsak najmanjši gib vpliva na premik celotnega telesa, zato je osredotočenost ključna. Presenetila pa me je faza, ko na telo deluje skoraj dvojna gravitacija.« Poudaril je tudi znanstveni pomen misije: »Že prvi podatki so razkrili nove pojave, ki jih želimo raziskati naprej. Naša ekipa je v treh dneh pridobila 100 odstotkov načrtovanih rezultatov, kar je dokaz odličnega timskega dela.«

Projekt CAVEOg združuje študente in študentko Fakultete za strojništvo, Fakultete za elektrotehniko in Naravoslovnotehniške fakultete Univerze v Ljubljani, kar znova potrjuje moč interdisciplinarnega sodelovanja. Fakulteta za strojništvo UL sodi med vodilne raziskovalne institucije v regiji. S sodobnimi laboratoriji, interdisciplinarnimi projekti in tesnim sodelovanjem z industrijo omogoča študentom, da se že med študijem vključujejo v vrhunske mednarodne raziskave, kot je misija CAVEOg. Uspeh ekipe je še en dokaz, da lahko slovenska znanost samozavestno posega po vesoljskih izzivih in s tem soustvarja prihodnost raziskovanja v vesolju.

www.fs.uni-lj.si

Foto: Arhiv CAVEOg

© Avtorji 2025. CC-BY 4.0

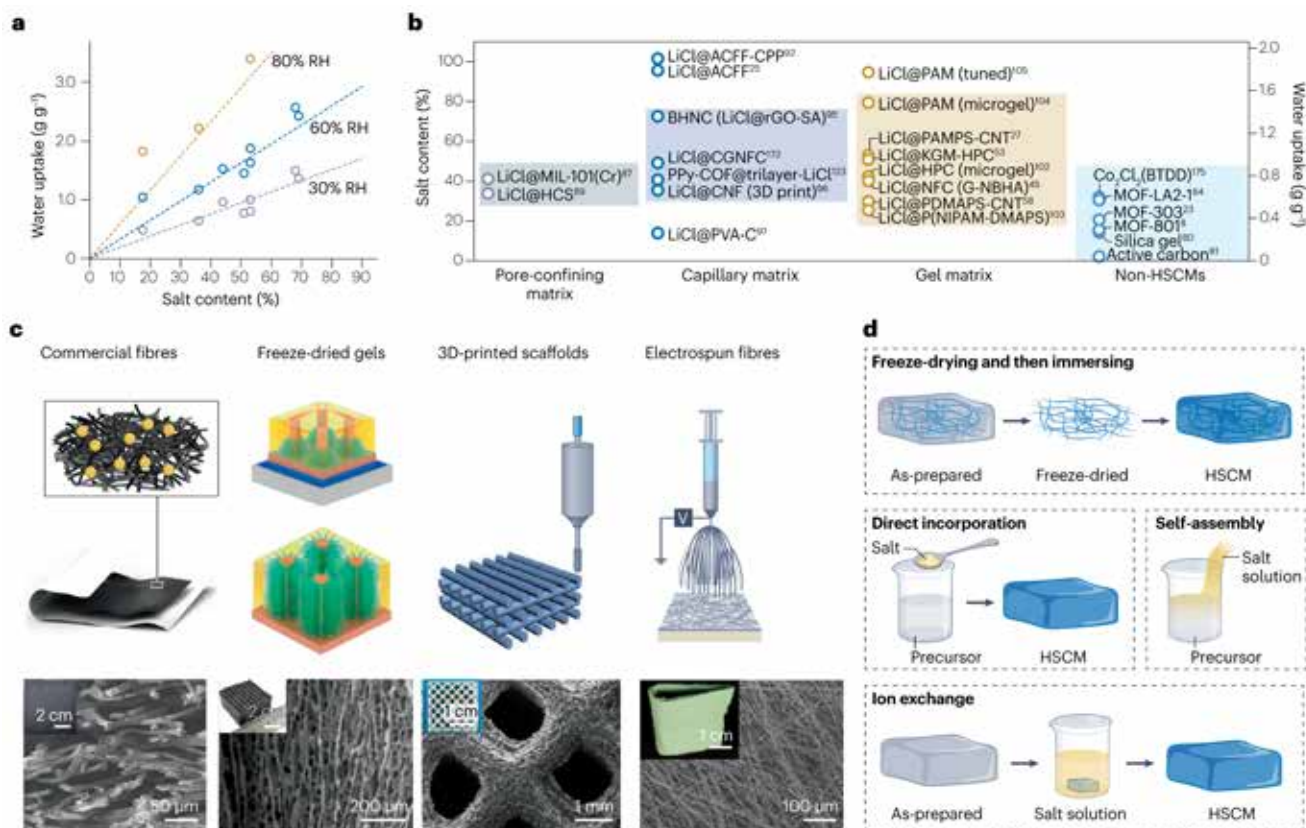
HIGROSKOPSKI S SOLJO VGRAJENI KOMPOZITNI MATERIALI ZA SORPCIJSKO ZAJEMANJE ATMOSFERSKE VODE

Pomanjkanje sladke vode je postalo globalni izziv, ki ogroža trajnostni razvoj in varnost ljudi. Atmosfera vsebuje približno šestkrat več vodne pare kot vsi svetovni rečni sistemi skupaj. Tehnologija zajemanja atmosferske vode omogoča pridobivanje velikih količin sladke vode kjer koli in kadar koli ter tako predstavlja trajnostno rešitev za spopadanje s pomanjkanjem vode.

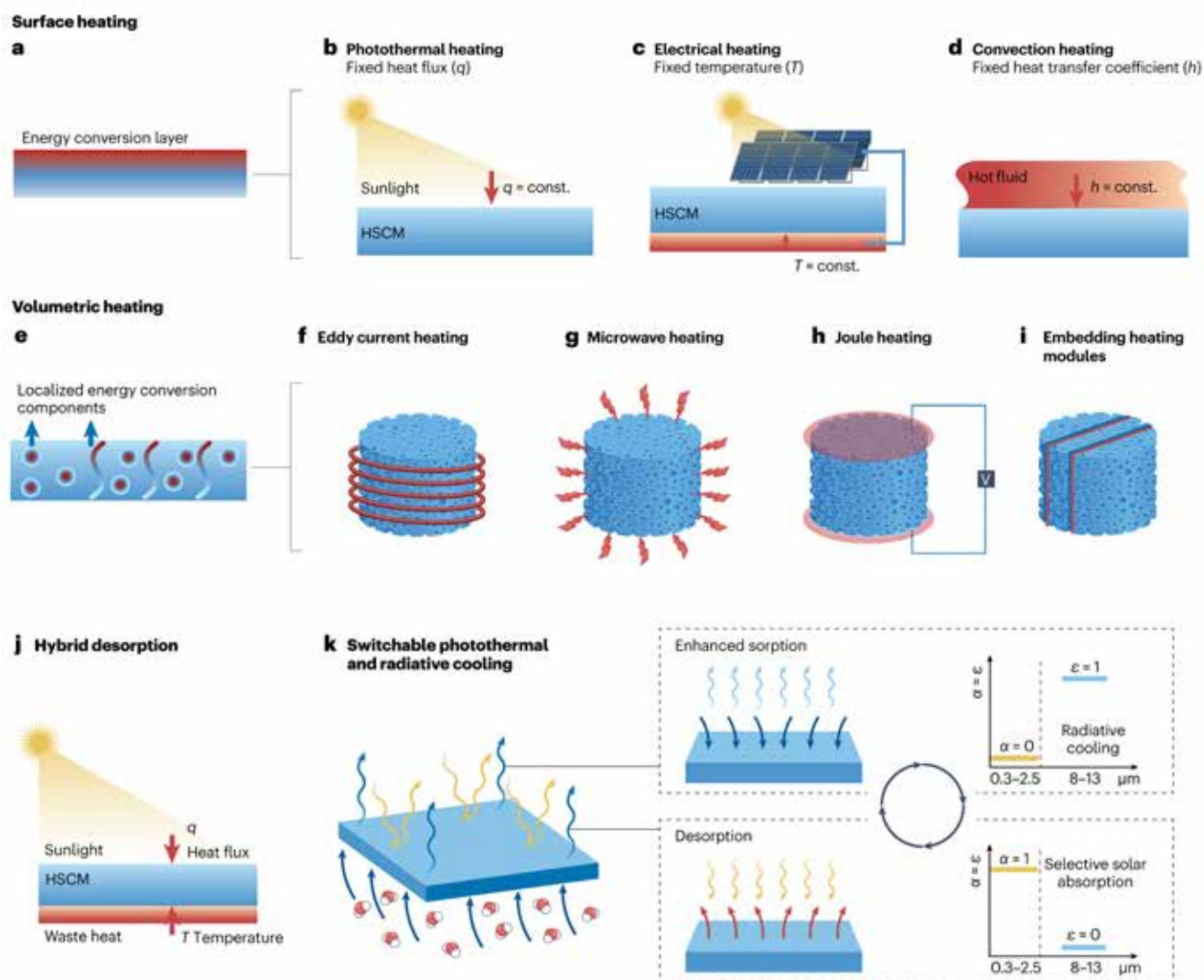
Doc. dr. Primož Poredoš z ljubljanske Fakultete za strojništvo je kot soavtor skupaj z raziskovalci iz inovacijske ekipe ITEWA s Šanghajske univerze Jiao Tong in Oddelka za znanost o materialih in inženirstvo Nacionalne univerze v Singapurju objavil pregledni znanstveni članek, ki analizira interakcijo med higroskopskimi solmi, vodo in solnimi raztopinami v kompozitnih adsorbentih, dopiranih s higroskopskimi solmi, z vidika termodinamike. Članek vzpostavlja razmerje med ključnimi strukturnimi parametri – kot so vrsta in vsebnost higroskopskih soli, poroznost ter nosilna sposobnost matrice – in končno zmogljivostjo materiala.

Pregled prav tako predlaga teoretični načrtovalski okvir za usmerjanje adsorpcijske kapacitete, entalpije desorpcije, kinetike in stabilnosti adsorbentov, s čimer zagotavlja enotno metodo za preverjanje in regulacijo pri razvoju adsorpcijskih materialov za zajemanje atmosferske vode, in sorodna področja.

Adsorpcijski potencial higroskopskih materialov (t. i. sorbentov) določa njihovo sposobnost zajemanja vodne pare iz okolja in je ključni dejavnik učinkovitosti sorpcijskega zajemanja atmosferske vode. Pri večini doslej opisanih s soljo dopiranih



Slika 1: Ocena sorpcijske kapacitete glede na vsebnost soli ter prikaz tipičnih kapilarnih HSCM-jev z njihovo izdelavo, optičnimi in mikroskopskimi posnetki ter metodami vgradnje higroskopskih soli v gelske matrikse za sintezo kompozitnih higroskopskih sorpcijskih materialov



Slika 2 : Metode dovoda toplote in hladu za izboljšanje procesov sorpcije in desorpcije

kompozitnih sorbentov pa kvalitativna izbira sinteznih parametrov in nejasne interakcije med komponentami močno ovirajo natančno uravnavanje in napovedovanje njihovega adsorpcijskega obnašanja. Poleg tega integracija teh tehnologij z novimi energetske pristopi, kot sta dnevno sevalno hlajenje in 3D-tisk (slika 1), zahteva še natančnejše metode načrtovanja, da bi v celoti izkoristili njihov razvojni potencial.

To prelomno raziskavo je objavila revija *Nature Reviews Materials* (IF = 86,2), ena najuglednejših znanstvenih revij na področju materialov, ki jo izdaja založba Springer Nature.

Za načrtovanje sposobnosti materiala, da veže vodo (adsorpcijske kapacitete), so raziskovalci teoretično izračunali, koliko vlage lahko material adsorbira oziroma vsrka. To lastnost imenujemo vnos vode v material (gram vode na gram suhega sorpcijskega materiala). Pri tem so uporabili teorijo večstopenjske reakcije, ki upošteva tri glavne faze:

- ▶ adsorpcijo – hidracijo (vezava vode v kristalno strukturo soli),
- ▶ delikvescenca (vnos vode, ko sol iz zraka adsorbira toliko vode, da tvori solno raztopino),
- ▶ absorpcijo (absorpcija vode v solno raztopino).

Pri izračunih so upoštevali tudi ravnotežje parnega tlaka, kar pomeni, da so določili, kako se vodna para v zraku obnaša, dokler ne doseže ravnovesja z materialom. To jim je omogočilo, da so zelo natančno določili, kako veliko količino vode lahko material sprejme v različnih razmerah.

Za načrtovanje entalpije desorpcije (energije, potrebne za sproščanje vezane vode iz materiala) so izračunali spremembe energije v različnih fazah procesa sušenja. Posebej so razlikovali med:

- ▶ entalpijo koncentracije raztopine (energijo, ki se sprošča ali porablja, ko se raztopina soli koncentrira) in
- ▶ entalpijo izhlapevanja (energijo, ki jo potre-

bujemo, da voda iz tekočega stanja preide v paro).

Na ta način lahko natančno določijo, kakšne okoljske pogoje (npr. temperaturo ali vlažnost) potrebuje material za učinkovito sušenje in ponovno adsorpcijo.

Pri načrtovanju hitrosti vpojnosti (adsorpcijske kinetike) so raziskovalci poenotili razlago, kako hitro voda prodira v gelne in negelne matrice. Preučili so, kateri strukturni dejavniki (npr. velikost por, oblika in razporeditev delcev) vplivajo na hitrost adsorpcije vlage ter kako se to odraža v celotni učinkovitosti materiala. Tako so dobili teoretično osnovo za ocenjevanje in primerjavo različnih materialov.

Za stabilnost materiala so analizirali, kako se higroskopske soli po absorpciji vode volumensko razširijo in vpliv na trdnost oziroma nosilno sposobnost matrice. To je pomembno, ker mora struktura ostati mehansko stabilna kljub ponavljajočim se ciklom adsorpcije (vpijanje vlage) in desorpcije (sušenja).

Z energetskega vidika so raziskali, kako lahko vnos hlajenja med adsorpcijo in vnos toplote med desorpcijo povečata učinkovitost celotnega procesa (cikla vpijanja in sušenja). Predlagali so tudi konkretne metode za izboljšanje obeh korakov in strategije, s katerimi bi se lahko oba procesa še dodatno podpirala.

Eden ključnih napredkov je uporaba dnevnoevalnega hlajenja – to je pasivno hlajenje zemeljskih teles s sočasnim odbojem vpadnega sončnega sevanja (več kot 95 % odbojnost) in izsevanjem toplote v vesolje skozi atmosfersko okno (emisivnost znotraj atmosferskega okna vsaj 85 %) brez rabe energije. Če se zunanji sloj materiala pametno oblikuje, da se lahko po potrebi preklopi med sevalnim hlajenjem in absorpcijo sončne toplote, material ne samo da učinkoviteje vsrka vlogo, temveč jo lahko tudi trajnostno sprost. Takšen proces omogoča celovito izrabo trajnostne in obnovljive energije sonca in hladnega vesolja.

www.fs.uni-lj.si

© Avtorji 2025. CC-BY 4.0

RAZVIT IN IZDELAN V SLOVENIJI

YASKAWA

GP20

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

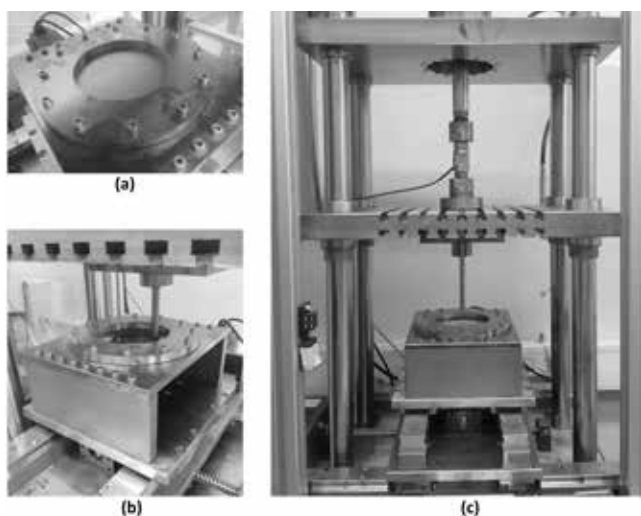
YASKAWA Slovenija d.o.o. www.yaskawa.si



Controlled by
YRC1000

RAZVOJ INOVATIVNE HIDRAVLIČNE STISKALNICE ZA INKREMENTALNO PREOBLIKOVANJE

Raziskovalci iz *Laboratorija za preoblikovanje (LAP)* ter *Laboratorija za strego, montažo in pnevmatiko (LASIM)* so rezultate svoje najnovejše raziskave objavili v ugledni Elsevierjevi reviji *Materials & Design* ($IF = 7,9$). Članek predstavlja razvoj *inovativnega hibridnega stroja na osnovi servohidravlične stiskalnice*, ki odpravlja nekatere ključne omejitve inkrementalnega preoblikovanja pločevine.



Slika 1 : a) Začetno vpetje obdelovanca, b) vpet obdelovanec med postopkom SPIF in c) začetni položaj pehala stiskalnice in dodatnega sklopa, nameščenega na mizi stiskalnice

Inkrementalno preoblikovanje pločevine (ISF), zlasti enotočkovno (SPIF), je dobro poznano po svoji fleksibilnosti pri izdelavi prototipov, personaliziranih izdelkov in manjših serij brez potrebe po dragih orodjih. Kljub temu so ti procesi pogosto omejeni z neenakomerno debelino pločevine izdelka, natančnostjo ter težavami pri obdelavi debelejših oziroma težje preoblikovalnih materialov. Da bi premostili te izzive, so raziskovalci razvili stroj, ki temelji na servohidravlični stiskalnici. CNC-stroji in robotski sistemi se pogosto uporabljajo za izvajanje SPIF, vendar zaradi omejene togosti in dosegljivih sil niso primerni za zahtevnejše materiale. Hidravlični koncept zagotavlja večjo togost in višje sile v smeri, pravokotni na obdelovano pločevino, kar bistveno razširja nabor materialov, ki jih je mogoče obdelovati. Posebej je treba poudariti, da je stroj uspešno demonstriral preoblikovanje dvofaznih jekel – skupine visoko trdnostnih materialov, ki imajo velik pomen v številnih vejah industrije. Na novo razvitem stroju je mogoče izvesti tudi hibridno dvostopenjsko preoblikovanje, ki združuje predhodno izbočevanje in SPIF v enoten proces

brez ponovnega vpenjanja obdelovanca. Tak hibridni pristop izboljšuje enakomernost porazdelitve debeline končnega izdelka.

Rezultati raziskave kažejo na velik potencial predstavljenega hibridnega preoblikovalnega stroja, katerega koncept je mogoče prenesti tudi na večje industrijske stiskalnice. Razviti koncept ponuja industrijsko uporaben okvir za nadaljnji razvoj proizvodnje, saj združuje fleksibilnost inkrementalnega preoblikovanja z dosegljivimi silami in togostjo hidravličnih sistemov. Prvi avtor članka asist. dr. Luka Sevšek poudarja: »Razvoj stroja predstavlja skalabilno in industrijsko relevantno rešitev za prihodnost inkrementalnega preoblikovanja, saj omogoča obdelavo naprednih materialov in debelejših pločevin ter odpira nove priložnosti za uporabo v avtomobilski, letalski, biomedicinski in drugih visokotehnoloških panogah.«

www.fs.uni-lj.si

Avtorji 2025. CC-BY 4.0

POPRAVEK

V reviji Ventil 31(2025)5 - oktober so bili v prispevku z naslovom **Uporaba avtonomno vodenega vozila za oskrbo robotskih celic z izdelki** (str. 280), napačno navedni podatki o avtorjih.

Pravilna navedba je:

Maria Yakimovska, univ. dipl. inž., **Vinko Drev**, dipl. inž. str., oba LTH Castings d. o. o., (obrat Ljubljana), Litostrojska 46, Ljubljana

REVILJA ZA FLUIDNO TEHNIKO, AVTOMATIZACIJO IN MEHATRONIKO
VENTIL

USTVARJAJO SE PROJEKCIJE NOVE, SICER ŠE NEKOLIKO ODDALJENE INDUSTRIJSKE PARADIGME – INDUSTRIJE 6.0

Janez Škrlec

Industrijo 4.0, ki se je začela že leta 2010, mnogi ocenjujejo kot uspešno, čeprav je bila v tem času deležna številnih sprememb, dopolnitev in posodobitev. Izjemno hiter razvoj novih tehnologij in vse večje zahteve sodobne industrije so ustvarile novonastalo industrijsko paradigmo, industrijo 5.0. Čeprav ta industrijska paradigma vrača človeka nazaj v proizvodne procese v neki novi vlogi in v industrijo prinaša mnoge nove rešitve, tudi integracijo kooperativnih robotov v proizvodne procese, so strategji mnenja, da bo treba že naslednjo industrijsko paradigmo industrijo 6.0 zelo zahtevno načrtovati in ne samo oblikovati ali preoblikovati.



Industrija 6.0 bo revolucionarna in skrbno načrtovana. Infografiko preuredil Janez Škrlec.

Industrija 4.0 še ne bo ugasnila, čeprav se je 5.0 neuradno že začela pred letom 2022. Zadnja letošnja infografika industrije 5.0 Institution of Engineering and Technology (IET) precej natančno opre-

deljuje vsa pomembna področja znotraj industrije 5.0 in tudi njeno vse večjo vključenost v zdravstvo, medicino in bioniko. Če so ključni cilji industrije 5.0 vzpostavitev industrijskega sistema, v katerem lahko kooperativni roboti – koboti – in človeško delo sobivata v sinergiji, proizvodnja pa postaja zelo personalizirana za potrošnike, je treba temu prilagoditi tudi raziskovalna področja tako za napredek strojne in programske opreme, na tehničnem in tudi

Janez Škrlec, inž., Uredništvo revije Ventil

© Avtorji 2025. CC-BY 4.0

na netehničnem področju. V industrijo 5.0 so stratezi vključili medicinski zdravstveni sistem in bionične tehnologije. Poudarek v tej smeri je na senzoričnih dodatkih z napredkom AR-VR v kombinaciji z umetno izboljšanimi senzoričnimi moduli, ki bodo zmožni veliko več kot le naravnih občutkov. Potem se izpostavljajo kirurška avtomatizacija in robotizacija, pametna protetika, vsadki, umetni organi, organoidi, možganski vmesniki (BCI), generativna umetna inteligenca, rojeva inteligenca itd. Čeprav industriji 5.0 pripisujejo veliko novosti, povezanih z razvojem bioničnih humanoidnih robotov in bionjskih humanoidov, in priključitev na vse več algoritmov umetne inteligence, bo verjetno šele industrija 6.0 v popolnosti uporabljala vse te tehnologije. Tehnologije NBIC in DARQ bodo v industriji 5.0 imele velik potencial, vendar se bo industrija 5.0 soočala s kritičnimi izzivi na področju skalabilnosti, prehoda delovne sile na sodelovanje z naprednimi tehnologijami, proizvodnimi stroški ter izzivi zasebnosti in varnosti.

Ali bo industrija 6.0 revolucionarna in bolj skrbno ter dolgoročno načrtovana?

Proces načrtovanja industrije 6.0 se je že zdavnaj začel in na kratko ga lahko predstavimo iz nabora zbranih relevantnih študij in informacij (Alexandria Engineering Journal). Industrija 6.0 bi naj bila revolucionarna in skrbno načrtovana (ne kot industrija 5.0) in je že zdaj opredeljena kot vseprisotna, v popolnosti usmerjena v potrebe in zahteve strank, proizvodnja pa bo povsem virtualizirana in trajnostna, velik poudarek pa bo na hiperpovezavah tovarn in ekstremno dinamičnih dobavnih verigah. Pričakuje se, da bo industrija 6.0 povezala medvertikalne aplikacije s popolno uvedbo generativne umetne inteligence (GAI), in to v vse pomembne krmilne procese. Izpostavljajo se ključni dejavniki za podporo digitalnih dvojčkov z avtomatiziranim vidom 6.0, virtualne proizvodnje s pomočjo metaverzuma, 6G, novodobnega računalništva z omrežij kolaborativnih robotov GAI (GOBOT), interneta vsega (IoX), kvantno podprte nanoproizvodnje in drugih tehnologij. Industrija 6.0 predvideva ultra odzivne, varne tovarne, ki jih bo poganjala umetna inteligenca. V podporo temu se z vzponom standardov 6G že zdaj oblikuje brezžična omrežna infrastruktura. Nastajajoči standardi skupaj tvorijo kibernetiko-fizični kontinuum, ki omogoča praktično dosegljive hiper-skalne in hiperprilagojene operacije industrije 6.0. Z integracijo inteligentne avtomatizacije s trajnostnimi praksami bo industrija 6.0 ne le optimizirala učinkovitost, temveč tudi zmanjševala ogljični odtis. Ta sinergija med avtonomijo in ekološko ozavešeno zasnovo bo utirala pot odpornim, samoregulirajočim industrijskim ekosistemom. Sprememba paradigme in transformativni pristop industrije 6.0 ne bo zgolj razširitev industrije 5.0, temveč trans-

formativna revolucija, ki združuje fizično, digitalno in biološko sfero. Poudarja prilagodljive, odporne in na stranke usmerjene proizvodne rešitve, ki spodbujajo medsebojno povezan industrijski ekosistem namesto izoliranih pametnih tovarn. Kvantno računalništvo in razširjena integracija interneta stvari bosta v industriji 6.0 reševala kompleksne proizvodne probleme, kar bo omogočalo nanonatančnost zasnov. Tradicionalne meje interneta stvari se bodo maksimalno razširile in bodo povezovala povsem nove naprave, senzorje in omrežja, v tako imenovani enoten industrijski metaverzum, kjer obogatena resničnost (AR) in virtualna resničnost (VR) izboljšujeta proizvodnjo, interakcijo s strankami in upravljanje pretoka podatkov. Bionika in biomimikrija ter generativna umetna inteligenca v robotiki bodo povečale učinkovitost in prilagodljivost v avtomatizirani proizvodnji, biodigitalna konvergenca pa bo postala realnost. Napovedna analitika se bo preusmerjala od procesov, ki jih poganja umetna inteligenca, k procesom, ki jih poganjajo generativni digitalni dvojčki, kar bo olajšalo razvoj optimiziranih proizvodnih strategij, prilagodljivih digitalnih dvojčkov in modelov, ki jih bo generirala umetna inteligenca, s tem pa se bo zmanjševala odvisnost od človeškega strokovnega znanja, hkrati pa se bo ohranjalo ravnoesje s človeško usmerjeno ustvarjalnostjo.

Industrija 6.0 naj bi bila do potankosti načrtovana in naj bi pisala novo definicijo industrijske revolucije. Sistemi, ki jih poganja umetna inteligenca, bodo optimizirali izrabo virov in zmanjšali količino odpadkov, s čimer bodo spodbudili bolj krožen in trajnosten proizvodni proces. Bioinspirirane in nanotehnološke rešitve z naprednimi materiali in tehnikami bioproizvodnje bodo spodbujale okolju prijazne izdelke in procese. Industrija 6.0 naj bi imela večplastne arhitekture, predvidoma tri medsebojno povezane plasti, in sicer: fizične, virtualne in tehnološke. Ta večplastna arhitektura pa bi bila zasnovana tako, da bi omogočala nemoten pretok podatkov in sofisticirane procese odločanja, pri čemer bi izkoriščala napredne tehnološke inovacije za izpolnjevanje zahtev sodobne industrije. Nove tehnologije ne le izboljšujejo operativno učinkovitost, temveč tudi postavljajo temelje za transformativne premike v industrijskih operacijah, pri čemer dajejo prednost trajnosti, poveztljivosti in avtomatizaciji.

REVILJA ZA FLUIDNO TEHNIKO, AVTOMATIZACIJO IN MEHATRONIKO

VENTIL

NUMERIČNA OPTIMIZACIJA NOTRANJE GEOMETRIJE KANALA HIDRAVLIČNEGA BLOKA ZA IZDELAVO S 3D-TISKOM

Jan Bartolj, Rok Jelovčan, Franc Majdič

Izvleček:

V članku je predstavljena uporaba gradientno adjungirane metode¹ (angl. *Gradient Adjoint Method*) za numerično optimizacijo notranjih kanalov v hidravličnih blokih, izdelanih z aditivnimi postopki. Tradicionalne metode oblikovanja pogosto omejujejo zasnovo zaradi zahtev po strojni obdelavi in podpornih strukturah. Aditivna proizvodnja omogoča kompleksne geometrije, vendar je pri komponentah, skozi katere tečejo tekočine, še vedno potrebno upoštevati pogoje postopkov aditivnih tehnologij in samopodpornosti. Uporabljena metoda omogoča učinkovito izračunavanje vpliva sprememb oblike na tlačne izgube brez potrebe po ponavljanju simulacij za vsako geometrijsko spremembo. Rezultati kažejo, da lahko s to metodo zmanjšamo tlačne izgube v kanalu za približno 25 % v primerjavi z osnovno geometrijo. Za primerjavo: parametrična optimizacija je zmanjšala tlak za 15 %. Rezultati potrjujejo učinkovitost numerične optimizacije pri razvoju energetsko učinkovitih hidravličnih komponent.

Ključne besede:

aditivna tehnologija, hidravlika, numerična optimizacija, samonosne strukture

1 Uvod

Zaradi zakonodajnih zahtev po zmanjšanju porabe energije v industriji, kot jih določa Direktiva EU o energetski učinkovitosti (EU 2023/1791), se povečuje potreba po optimiziranih hidravličnih komponentah [1]. Hidravlični bloki predstavljajo ključen element hidravličnih sistemov, kjer nepravilno oblikovani notranji kanali povzročajo visoke tlačne izgube in s tem nižjo njihovo učinkovitost. Z razvojem aditivne proizvodnje (angl. *Additive Manufacturing, AM*), zlasti postopkov selektivnega laserskega taljenja (angl. *Selective laser melting, SLM*), je mogoče oblikovati notranje kanale kompleksnih oblik, ki jih konvencionalne metode ne omogočajo [2, 3, 4]. Vendar pa so pri tem potrebni novi pristopi za optimizacijo pretoka in hkrati zagotavljanje, da je geometrijo mogoče izdelati. Eden takšnih pristopov je gradientno adjungirana metoda. Ta omogoča optimizacijo prostora, ki ga zavzema kapljevina, glede na določeno ciljno funkcijo, kot je zmanjšanje tlačnih izgub.

V zadnjih letih se kombinacija AM in hidravličnih komponent kaže kot zelo perspektivna, zlasti pri zahtevnih sistemih z omejitvami mase, prostorske zasnove in integracije funkcij. V času, ko so tradicionalni hidravlični bloki pogosto omejeni s stroški obdelave in zapleteno podporno strukturo, aditivna proizvodnja omogoča notranje kanale z zelo kompleksno geometrijo. Na primer: v raziskavi, v kateri je bil aditivno izdelan hidravlični blok za krmiljenje pristajalnega mehanizma letalskih koles, so dosegli zmanjšanje mase za več kot 40 % v primerjavi s konvencionalnim modelom [5]. Podobno projekt »HyRESS – Resource-saving Process Route for Integrated Hydraulic Components« izpostavlja sinergijo med tehnologijo AM in izostatičnim stiskanjem (angl. *hot isostatic pressing*) pri razvoju funkcionalno integriranih hidravličnih blokov [6]. Razvoj pa ne zajema zgolj mehanske optimizacije – poudarek je tudi na energetski učinkovitosti in zmanjševanju izgub v hidravličnih sistemih, kar je dokazano v raziskavah hidravličnih energetskih rešitev za proizvodnje in sisteme visoke zmogljivosti [7, 8]. Takšna kombinacija omogoča ne le geometrijsko optimizacijo, temveč tudi večjo prilagodljivost pri oblikovanju pretočnih kanalov, zmanjšanje teže, integracijo funkcij in izboljšano hidravlično učinkovitost – kar vse vodi k sistemom z višjo zmogljivostjo in manjšim okoljskim odtisom.

Jan Bartolj, Rok Jelovčan, izr. prof. dr. Franc Majdič, univ. dipl. inž., vsi Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo



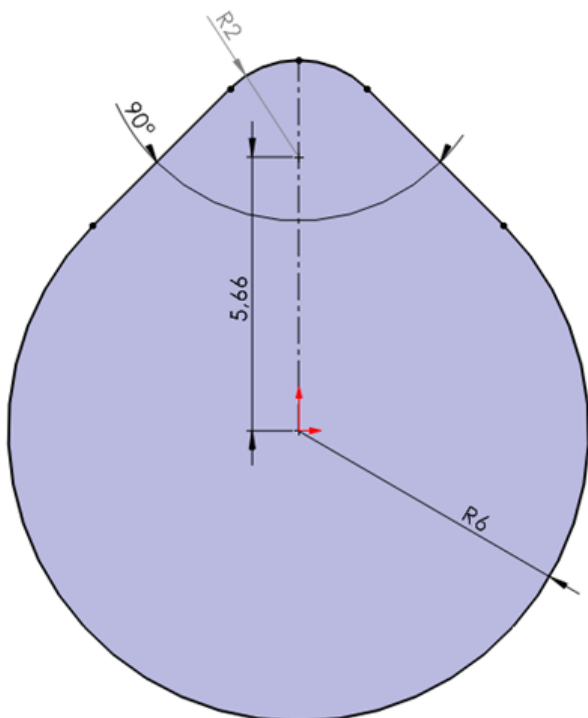
© The Authors 2025. CC-BY 4.0

<https://doi.org/10.5545/Ventil-31-2025-6.12>

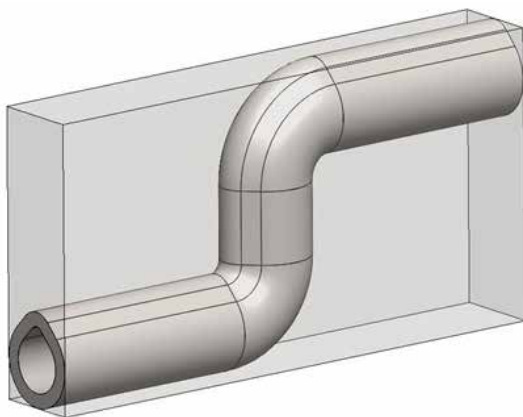
2 Metodologija

Optimizacija je bila izvedena na osnovi preprostega S-ukrivljenega kanala [8], običajnega za hidravlične bloke. Geometrija kanala je bila definirana z dolžino 115 mm, višino 70 mm in širino 20 mm (slika 1 in slika 2).

Računska mreža je bila sestavljena iz približno 550.000 poliedričnih elementov z dodatnimi plastmi ob stenah za natančnejše opisovanje obrobni pogojev. Simulacije so bile izvedene v programu ANSYS Fluent z uporabo modela turbulence k- ω SST. Gradientno adjungirana metoda izračuna, kako se ciljna funkcija spreminja glede na spremembe oblike. Za razliko od metode končnih razlik, ki zahteva večje število ponovljenih simulacij toka, gra-



Slika 1 : Osnovna samonosna presečna struktura kanala



Slika 2 : Računska domena za izdelavo CFD-analiz in gradientno adjungirane optimizacijske metode



Slika 3 : Grafični prikaz računskega procesa gradientno adjungirane metode

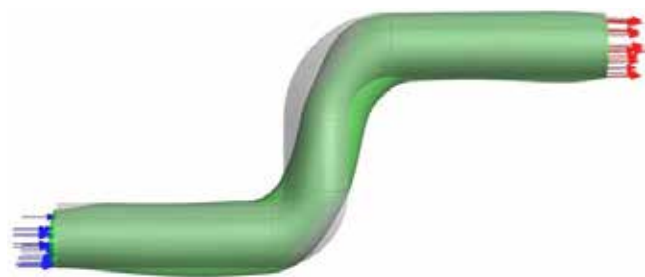
dientno adjungirana metoda (slika 3) rešuje le en dodatni sistem enačb – ne glede na število oblikovnih parametrov, zaradi tega je posebej primerna za optimizacijo kompleksnih geometrij z velikim številom spremenljivk. Metoda omogoča natančen izračun gradientov, kar omogoča učinkovit in stabilen postopek optimizacije oblike. V programu ANSYS Fluent metoda izračuna občutljivosti ciljne funkcije glede na spremembe oblike z reševanjem adjungirane oblike tokovnih enačb.

Uporabljena kapljevina je bila voda z gostoto 998 kg/m³ pri sobni temperaturi in kinematično viskoznostjo $0,993 \times 10^{-6}$ m²/s. Vhodni pretok je bil 70 l/min, izhodni tlak pa atmosferski (101,3 kPa).

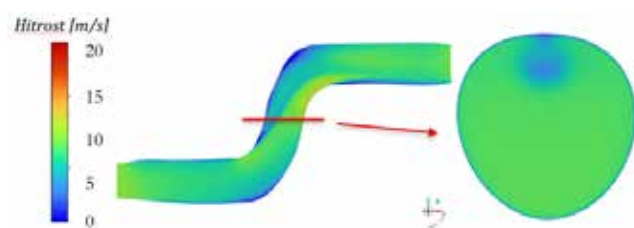
3 Rezultati in razprava

Rezultati optimizacije so pokazali izrazito izboljšanje pretokovnih lastnosti kanala. Optimizirana geometrija je dobila bolj »organsko« obliko z lokalnim razširjanjem prereza in prilagojenim radijem ukrivljenosti, kar je omogočilo zmanjšanje recirkulacijskih območij za prvim in drugim kolenom kanala. Na sliki 4 je prikazana sprememba geometrije, ki je posledica optimizacije. V sivi barvi je prikazana geometrija pred optimizacijo, v zeleni pa geometrija po njej.

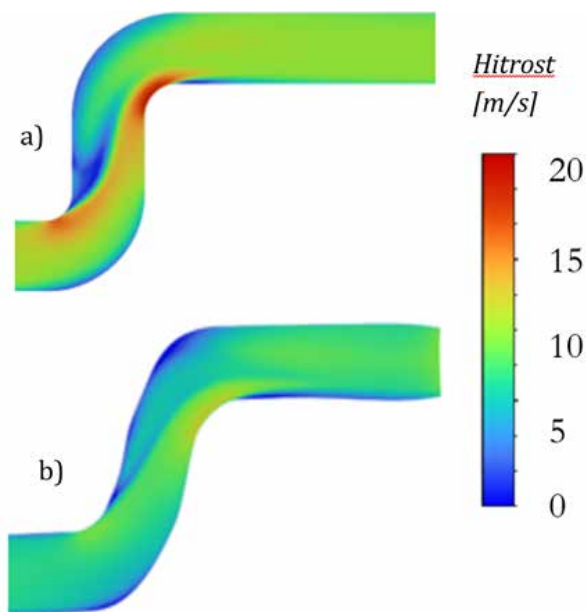
Največja vrednost turbulentne kinetične energije se je po optimizaciji zmanjšala za več kot polovico, kar potrjuje zmanjšanje lokalnih izgub. Izračunani padec tlaka se je zmanjšal z 39,41 kPa na 30,32 kPa, kar predstavlja 25 % izboljšanje. Za primerjavo: parametrična optimizacija istega primera je dosegla



Slika 4 : Sprememba geometrije, določena z računskim procesom gradientno adjungirane optimizacijske metode



Slika 5 : Numerično izračunano hitrostno polje znotraj optimizirane geometrije



Slika 6 : Primerjava numerično izračunanih hitrostnih polj med a) neoptimizirano in b) optimizirano geometrijo

zmanjšanje padca tlaka z 39,41 kPa na 33,83 kPa, kar pomeni 15 % izboljšanje. Razlika kaže, da gradientno adjungirana metoda omogoča učinkovitejše iskanje globalno optimalnih rešitev, saj upošteva celoten, s kapljevino omočen prostor, ne le lokalnih geometrijskih parametrov (slika 5).

Na sliki 6 je prikazana primerjava med a) osnovno (neoptimizirano) in b) optimizirano geometrijo ka-

nala, dobljeno z uporabo gradientno adjungirane metode. Pri optimiziranem modelu so vidni mehkejši prehodi med ukrivljenimi deli in lokalno povečane presečne površine, kar omogoča bolj enakomeren potek toka. Posledično se zmanjšata območje recirkulacije za prvim kolonom ter maksimalna vrednost turbulentne kinetične energije. Ti spremembi vodita v nižji tlačni padec in večjo hidravlično učinkovitost sistema, kar potrjuje uspešnost izvedene optimizacije.

4 Zaključek

Raziskava dokazuje, da predstavlja uporaba gradientno adjungirane metode učinkovit pristop za optimizacijo notranjih kanalov v hidravličnih blokih, zasnovanih za aditivno proizvodnjo. S pomočjo numeričnih simulacij je bilo mogoče oblikovati samopodporne geometrije z bistveno manjšimi tlačnimi izgubami in izboljšanim potekom pretoka. V primerjavi s parametrično optimizacijo metoda omogoča boljše rezultate pri manjši računski obremenitvi. Takšni pristopi predstavljajo pomemben korak k razvoju energetsko učinkovitih in proizvodno prilagodljivih hidravličnih komponent prihodnosti.

Viri in literatura

- [1] European Parliament and Council. (2023). Directive (EU) 2023/1791 of 13 September 2023 on energy efficiency and amending Regulation (EU) 2023/955. Official Journal of the European Union. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2023/1791/oj>.
- [2] Diegel, O., Nordin, A. & Motte, D. (2019). A Practical Guide to Design for Additive Manufacturing. Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-8281-9>.
- [3] Wohlers, T., et al. (2024). Wohlers Report 2024: 3D Printing and Additive Manufacturing Industry State of the Industry. Wohlers Associates. <https://wohlersassociates.com/product/wr2024/>.
- [4] Diegel, O., Nordin, A. & Motte, D. (2019). A practical guide to design for additive manufacturing. Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-8282-6>.
- [5] Arena, M., Ambrogiani, P., Raiola, V., Bocchetto, F., Tirelli, T. & Castaldo, M. (2023). Design and qualification of an additively manufactured manifold for aircraft landing gears applications. Aerospace, 10(69), 1-18. <https://doi.org/10.3390/aerospace10010069>.
- [6] Tappeiner, Z., Donners, M., Schmid, M. & Schmitz, K. (2014, October). Resource saving process route for integrated hydraulic components. HyRes Project poster, RWTH Aachen University. Retrieved July 30, 2025, from <https://acam.rwth-campus.com/wp-content/>

uploads/sites/11/2014/10/HyRes-Resource-saving-Process-Route-for-Integrated-Hydraulic-Components.pdf.

- [7] Hofmann, U., Fankhauser, M., Willen, S., Inniger, D., Klahn, C., Löffel, K. & Meboldt, M. (2023). Design of an additively manufactured hydraulic directional spool valve: An industrial case study. *Virtual and Physical Prototyping*, 18(1),

1-18. <https://doi.org/10.1080/17452759.2023.2166634>.

- [8] Bartolj, J., Schmitz, K., Vukašinović, N., Majdič, F. (2025). Numerical Optimization of Internal Geometry for Additively Manufactured Hydraulic Manifolds. *International Conference Fluid Power 2025: Conference Proceedings*. 1(1), 31-44. 10.18690/um.fs.7.2025.4.

Numerical optimisation of internal geometry structures of AM made hydraulic manifolds

Abstract:

The article presents the use of the Gradient Adjoint Method for numerical optimization of internal channels in hydraulic manifolds manufactured using additive manufacturing. Traditional design methods are often limiting the geometry due to machining and support structure requirements. Additive manufacturing enables complex geometries; however, for components with internal fluid flow, it is still necessary to consider the constraints of additive manufacturing processes and self-supporting conditions. The applied method allows efficient computation of the influence of shape changes on pressure losses without the need to repeat simulations for every geometric modification. The results show that this method can reduce pressure losses in the channel by approximately 25% compared to the baseline geometry. For comparison, parametric optimization reduced the pressure drop by 15%. These results confirm the effectiveness of numerical optimization in developing energy-efficient hydraulic components.

Keywords:

Additive manufacturing, Hydraulics, Numerical optimisation, Self-supporting structures

MEHATRONIC PROTOTYPES FOR ENGINEERING EDUCATION: BRIDGING THEORY AND PRACTICE

Željko Šitum, Fran Hruškar, Lovro Meštrić, Mateo Šego,
Tomislav Drašković, Eros Stemberger

Abstract:

This article presents five innovative mechatronic prototypes developed as educational tools to enhance engineering education by bridging theoretical concepts with practical implementation. The systems are organized into two thematic sections. The first section, *Mechatronic systems simulating real-world applications*, includes three prototypes that replicate real-life engineering challenges: a robotic fire-fighting unit – *Firebot*, integrated with a water tanker for active fire suppression; a cargo transport model demonstrating load stability on uneven terrain; and a gyro-stabilized mini-vessel designed to reduce lateral rolling during marine navigation. The second section, *Applied mechatronics for conceptual exploration*, presents two systems aimed at illustrating specific principles through interactive demonstration: the oncooscillator, which generates oscillating magnetic fields using a rotating magnet for potential biomedical applications, and an automated chessboard capable of autonomous gameplay, piece manipulation, and board state recognition. Together, these prototypes serve as effective platforms for experiential learning, fostering a deeper understanding of mechatronic principles among engineering students.

Keywords:

mechatronics, laboratory prototypes, hands-on learning, system integration, educational robotics

1 Introduction

Mechatronics is a multidisciplinary engineering field that integrates mechanical, electrical, computer, and control systems, with applications extending well beyond traditional industrial automation into areas such as biomedical engineering, environmental monitoring, transportation, and interactive technologies [1], [2]. As mechatronic systems become increasingly complex and diverse, engineering education must adapt by placing greater emphasis on both theoretical knowledge and practical, hands-on experience [3]. One of the key challenges in teaching mechatronics lies in effectively translating abstract theoretical concepts into tangible, real-world systems. Traditional teaching methods are often not effective in conveying the integrated and interdisciplinary nature of mechatronic design and implementation [4]. To address this gap, educational

laboratory prototypes have emerged as powerful tools for enhancing student engagement and understanding. These systems enable active learning by allowing students to interact directly with sensors, actuators, microcontrollers, and feedback mechanisms in realistic scenarios [5]. This article presents five educational laboratory prototypes developed to demonstrate fundamental mechatronic principles. The systems are grouped into two thematic sections based on their educational focus. The first section, *Mechatronic systems simulating real-world applications*, includes three prototypes that replicate practical engineering challenges: a robotic fire-fighting unit – *Firebot*, designed for active suppression; a cargo transport model that explores load stability on uneven terrain; and a gyro-stabilized mini-vessel that simulates marine navigation dynamics. These systems emphasize the application of mechatronics in solving real-world problems. The second section, *Applied mechatronics for conceptual exploration*, presents two prototypes designed to illustrate specific principles through interactive demonstration: the oncooscillator, which generates oscillating magnetic fields for potential biomedical applications, and an automated chessboard capable of autonomous gameplay, piece manipulation, and board state recognition. These systems serve as engaging platforms for conceptual learning and experimentation. Together, the five prototypes provide a comprehensive approach to mechatronics education, combining practical relevance with conceptual clarity, and fostering deeper understanding through experiential learning.

Prof. dr. sc. Željko Šitum, full professor, University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture; **Fran Hruškar, Lovro Meštrić, Mateo Šego, Tomislav Drašković** and **Eros Stemberger** are students; all University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture



© The Authors 2025. CC-BY 4.0

<https://doi.org/10.5545/Ventil-31-2025-6.13>

2 Mechatronic systems simulating real-world applications

This section presents three educational prototypes that replicate real-world engineering challenges in safety, transport, and marine navigation. Each system demonstrates how mechatronic design can be applied to solve practical problems through integrated mechanical, electronic, and control components.

2.1 Firebot: robotic fire-fighting system

A compact and mobile fire-fighting robot has been developed for intervention in hazardous indoor and outdoor environments. Its primary function is water-based fire suppression, with water supplied via connection to a fire truck or external tank. Its compact dimensions enable operation in narrow

and confined spaces, including stairways and steep terrain, where human access may be limited or unsafe. The robot is equipped with environmental sensors to measure gas concentrations and an infrared sensor to detect the hottest point in the area. A high-definition camera mounted on a rotating turret enables remote visual inspection and control via network connection. To ensure reliable mobility, a tracked chassis system was designed. The tracks allow the robot to climb stairs and traverse uneven ground. The chassis is constructed from hollow steel square tubes (30×30 mm, 5 mm thick) for structural strength, while PETG polymer joints, produced via 3D printing, are used in the prototype phase. Lightweight aluminium checker plates serve as protective covers. For simplified assembly and increased load capacity, standard wheels can be mounted on steel axles. Electric motors were chosen for propulsion due to their robustness and reliability in

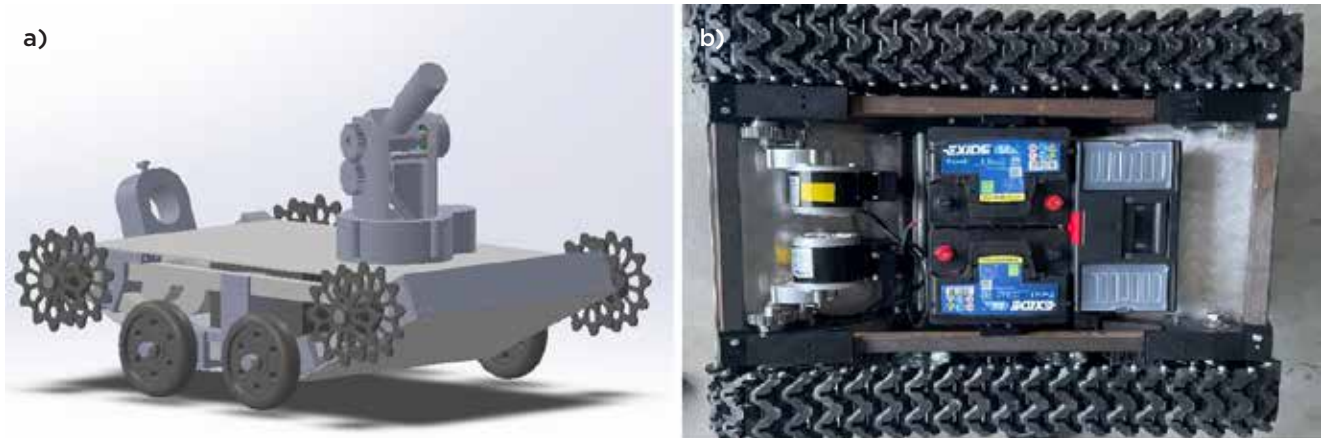


Figure 1 : a) CAD model of Firebot, b) drive assembly with mounted components

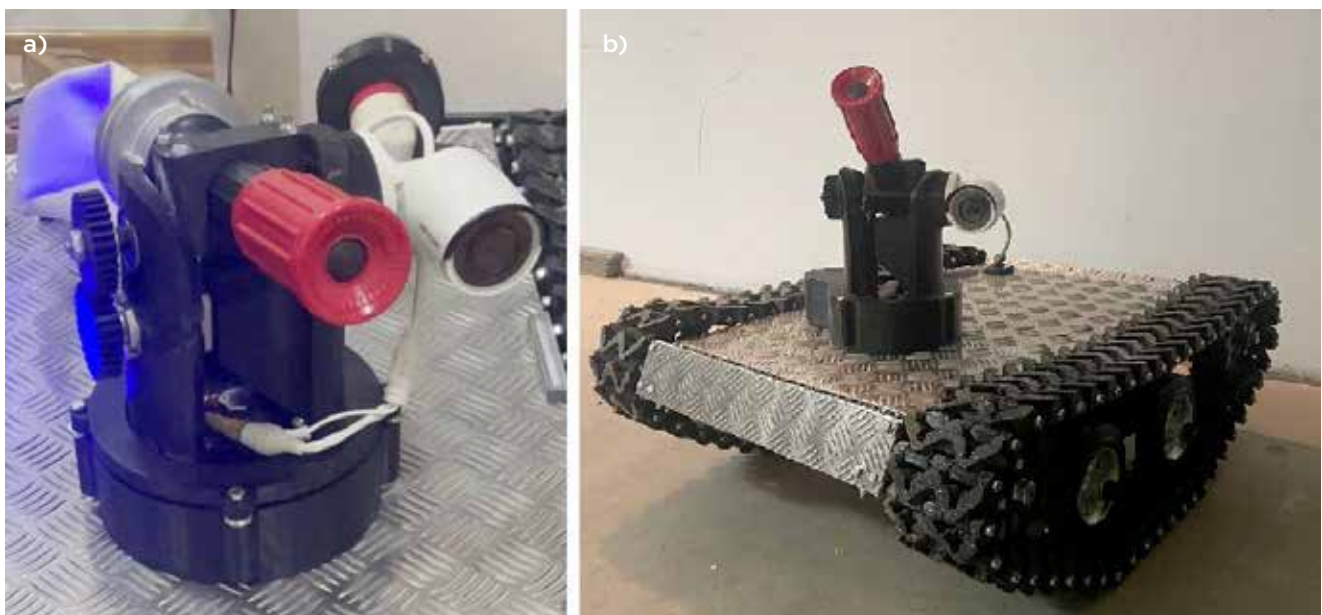


Figure 2 : Mobile fire-fighting robot with mounted rotating turret

Source: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:554997> [6]

oxygen-deficient environments. Each track is driven by a DC motor through a gear system, with shafts supported by press-fitted bearings. The drivetrain includes PETG-printed sprockets and track links, with future versions planned in metal for enhanced durability. Commercially available wheels and standardized steel axles were used to reduce production complexity. The fire-fighting turret mounted on top of the chassis provides two degrees of rotational freedom, controlled by two Nema 17 stepper motors. One motor controls horizontal rotation, while the other (equipped with a 32:1 planetary gearbox) controls vertical movement. The turret components are also 3D-printed. A high-definition camera is fixed on the turret for real-time feedback, connected via LAN and powered by a 12V supply. The control system is based on a Raspberry Pi 4 running Python scripts. Wireless communication over a local network ensures reliable remote operation. All electronic components including motor drivers (BTS7960 and TB6600), a DC-DC voltage regulator, and batteries are housed in a waterproof enclosure within the chassis (*Figure 1*).

The robot's low center of gravity, achieved by placing batteries at the base, contributes to its stability. Testing has shown that the created robot can climb standard-sized steps, pull heavy objects such as sandbags, and withstand mechanical stress.

The turret rotation and camera positioning improve hazard detection and casualty identification. The final prototype of the mobile fire-fighting robot is shown in *Figure 2*. Future enhancements may include integration of LIDAR, advanced gas sensors, and semi-autonomous navigation capabilities for operation in low-visibility conditions.

2.2 Cargo transport model: load stabilization on uneven terrain

A prototype transport vehicle was developed to simulate the challenges of carrying liquids or low-density materials over uneven or inclined surfaces.

The system addresses common stability issues by implementing an active suspension mechanism that dynamically adjusts the chassis inclination in real time. The goal of this educational prototype is to demonstrate the advantages of electronically controlled suspension in reducing vehicle oscillations caused by surface irregularities. *Figure 3* shows the CAD model of the transport vehicle and the motorized conveyor belt used to simulate uneven terrain. The system incorporates two MPU6050 gyroscopic sensors positioned at the front and rear axles to measure angular displacement. Sensor data is processed by an Arduino Nano, which sends corrective signals to MG995 servo motors. These motors adjust the axle positions to counteract tilting and maintain stability. To simulate a realistic load, a plexiglass container holding 400 ml of water is mounted on the chassis. Road disturbances are emulated using a motorized conveyor belt with surface bumps, powered by a Nema 17 stepper motor with gear reduction. The belt is controlled via an Arduino Nano and A4988 driver, housed in a control unit with an LCD display. This setup enables controlled and repeatable testing of the suspension system's response. A dynamic model of the system was created in Simulink, incorporating road input and a sliding PID controller. The controller generates voltage outputs to stabilize the vehicle. Based on simulation results, mechanical components were designed in CAD and fabricated using FDM 3D printing with PETG filament. The chassis, axles, and joints were assembled using U-profiles, springs, and servos. A custom two-layer PCB, designed in Altium Designer, processes sensor signals and controls motor actuation.

Figure 4 shows the completed vehicle prototype equipped with the electronic stability control system. Testing was conducted under both static and dynamic conditions. In static tests, the vehicle remained stable over a 7 mm obstacle, even when loaded. During dynamic tests on the moving belt (0.04 m/s), angular data confirmed rapid sensor and servo response, keeping the chassis nearly ho-

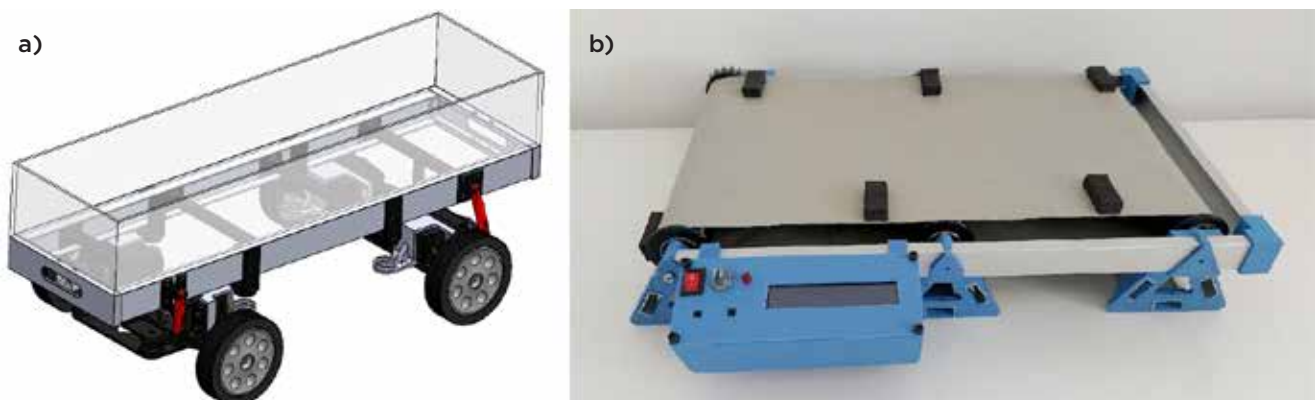


Figure 3 : a) CAD model of Firebot, b) drive assembly with mounted components

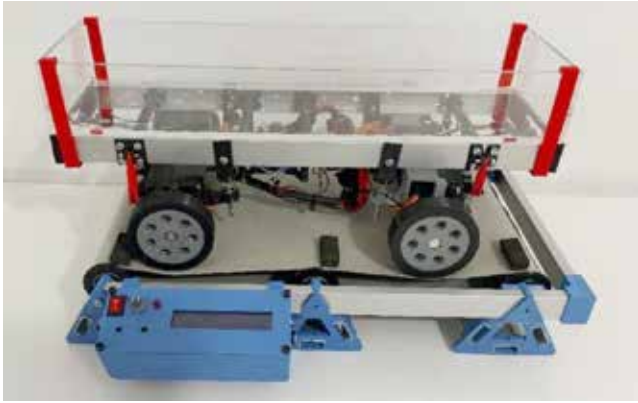


Figure 4 : Vehicle prototype equipped with electronic stability control system

Source: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:516852> [7]

horizontal. Full stabilization was achieved within a few seconds. The final prototype effectively demonstrates real-time tilt correction through active suspension and serves as a valuable educational tool for exploring electronic stability control in liquid transport systems.

2.3 Gyro-stabilized mini-vessel: simulating marine navigation stability

A scale model of a marine vessel equipped with a gyroscopic stabilization system was developed to reduce lateral rolling caused by wave action or side forces. In modern maritime engineering, improving vessel stability is essential for enhancing safety, comfort, and maneuverability. Among various stabilization methods, gyroscopic stabilizers are notable for their compact design, mechanical simplicity, and ability to generate stabilizing torque based on the conservation of angular momentum. The objective of this project was to demonstrate how gyroscopic stabilization can reduce the amplitude of roll angles and minimize the number of free oscillations within a $\pm 2^\circ$ range. The core component of the system is a high-speed spinning rotor, which when subjected to external torque exhibits precession and generates a stabilizing force perpendicular to the rolling motion.

The stabilization system integrates several key components:

- ▶ a rotor extracted from a lightweight RC aircraft motor,
- ▶ a NEMA 17 stepper motor to induce precession,
- ▶ a Dasduino CORE microcontroller for signal processing and control,
- ▶ a six-axis IMU sensor for estimating the vessel's roll angle.

The entire assembly was designed in SolidWorks, with the flywheel as the central element around which the system was compactly arranged. Figure

5 shows the CAD model of the gyroscopic stabilization system. The prototype was manufactured using a combination of turning, milling, and FDM 3D printing. Most parts were printed using PETG filament to allow geometric flexibility and ease of fabrication. After assembly, the system was tested in a controlled environment, i.e. in a water pool simulating calm sea conditions.

Validation of simulation results with experimental data was a key aspect of the project. Simulations were based on simplified equations of rolling motion, and experiments were designed to replicate these conditions by manually tilting the vessel and observing its free oscillation. Figure 6 shows the mini-vessel during in-water testing. Real-time data acquisition was performed using Excel's Data Streamer function, with sensor signals collected on a laptop. MATLAB was used for post-processing and comparison of simulated and experimental results. Initial tests without stabilization confirmed that the simplified dynamic model accurately reflected real-world behavior. Subsequent tests with

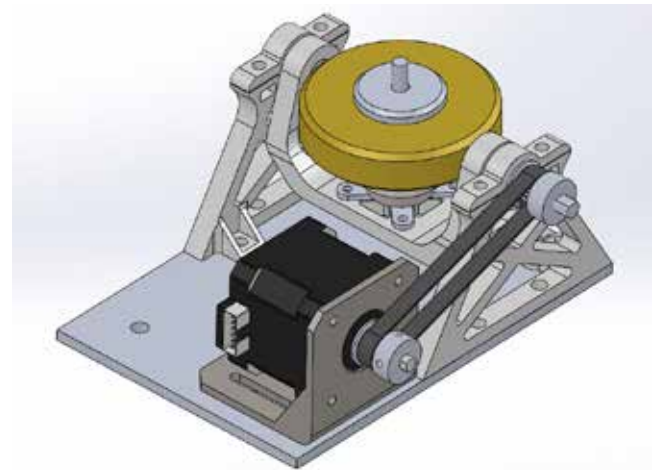


Figure 5 : CAD model of the gyroscopic stabilizer



Figure 6 : Mini-vessel model during water-based testing
Source: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:360882> [8]

the gyroscopic system (in passive mode, without active control) showed a significant reduction in oscillations. Starting from a 13° tilt, the unstabilized vessel required 11 oscillations to settle within $\pm 2^\circ$, while the gyroscopic stabilizer reduced this to just 2 oscillations, which brings about an 80% improvement. Although active control could further enhance performance, the weight of the actuator system exceeded the mini-vessel's capacity, making full active testing impractical in this setup.

This project confirms the feasibility and effectiveness of gyroscopic stabilization in small marine vessels. Even without active control, the system significantly improved roll damping, validating both the simulation model and the physical design. Future work may focus on reducing system mass and integrating active control to further improve stabilization performance.

3 Applied mechatronics for conceptual exploration

This section presents educational prototypes designed to illustrate specific mechatronic principles through interactive and conceptual demonstration. Unlike systems that simulate real-world engineering applications, these prototypes focus on exploring advanced ideas in biomedical and intelligent systems, offering students insight into emerging technologies and their underlying mechanisms.

3.1 Oncooscillator: magnetic field generation for biomedical demonstration

The oncooscillator is an innovative biomedical device developed to explore non-invasive cancer treatment using oscillating magnetic fields (OMF). Recent research, particularly involving spinning oscillating magnetic fields (sOMF), suggests that such fields can selectively disrupt mitochondrial activity in tumor cells, leading to cell death while sparing healthy tissue [9]. This therapeutic approach targets the electron transport chain in mitochondria, increasing reactive oxygen species and causing energy failure in malignant cells.

The system consists of three oscillators that generate dynamic magnetic fields through the rapid rotation of strong permanent magnets. Each magnet is driven by a 24V brushed DC motor without gear transmission, providing high torque and suitable rotational speed. Motor control is handled by an Arduino Mega 2560 using PWM signals, with a DC-DC converter and integrated circuit driver (up to 1.5 A) ensuring stable voltage and current delivery. Mechanical components are made from industrial plastics and polymer-based materials selected for their thermal resistance, mechanical strength, and non-magnetic properties, which is essential for preventing interference with the magnetic fields. Ceramic bearings support the rotating magnets, offering low friction and thermal stability during extended operation. The magnets used are DX0X0-N52 type, known for their extremely high magnetic strength. Due to their powerful attractive force,

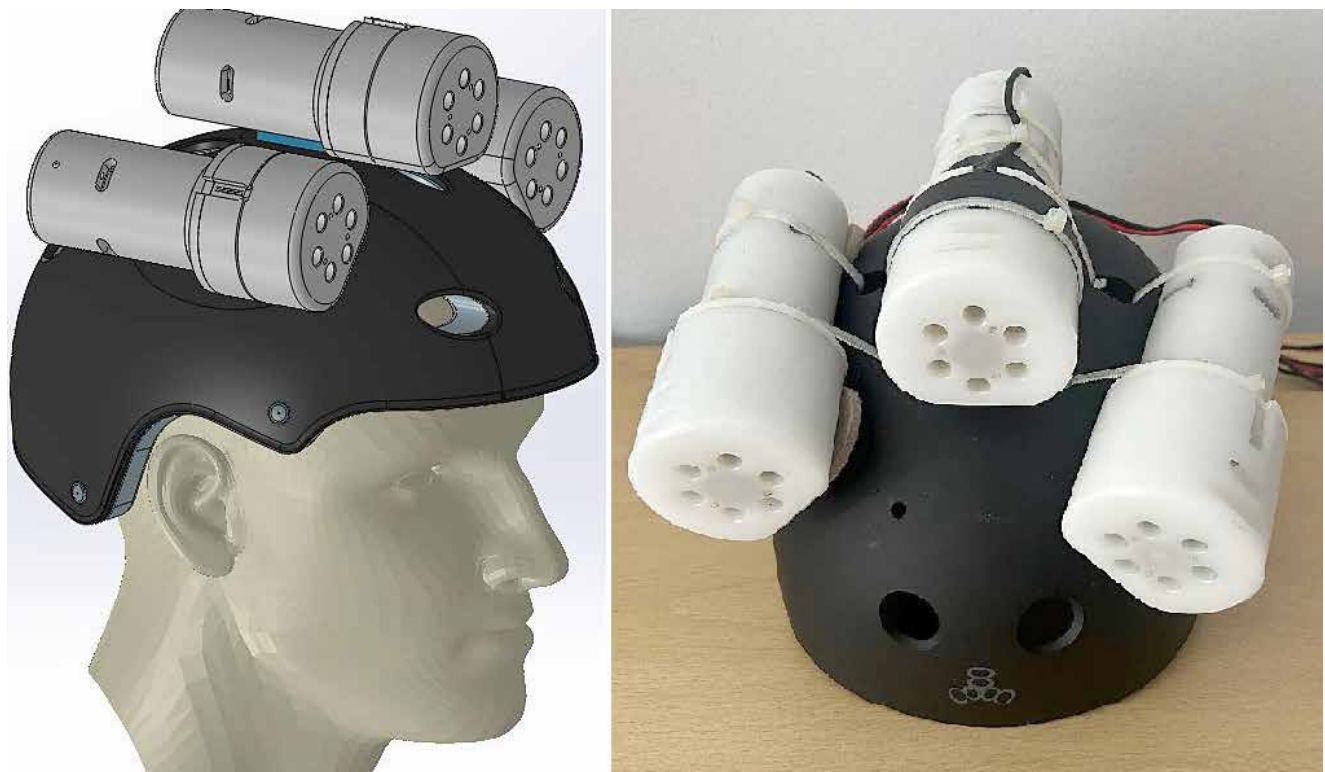


Figure 7: CAD model and assembled OMF helmet



Figure 8 : Application of OMF: a) wearable helmet, b) configuration for reclining patient
Source: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:906046> [10]

careful handling and secure mounting are essential to prevent damage or injury. Their high magnetic induction and low mass make them suitable for OMF therapy applications. A key design feature of the oncooscillator is its use of inertial motion. After accelerating the magnets to the desired rotational frequency, motor power is reduced, and the system relies on the inertia of the rotating mass to maintain motion. This eliminates the need for mechanical braking and reduces energy consumption, improving overall efficiency. Speed monitoring is achieved using Hall-effect sensors, which detect changes in magnetic fields and provide feedback to the control system. This enables real-time adjustment of motor signals, ensuring synchronized operation of all three oscillators (*Figure 7*). Since all motors receive a common PWM signal, they operate at the same speed, assuming identical mechanical loads.

The device is made in two configurations: a wearable helmet and a version adapted for patients in a reclined position (*Figure 8*). Both devices are designed for localized treatment, and particularly for brain tumors such as glioblastoma. Preliminary findings from existing studies indicate that OMF exposure can selectively induce cell death in glioblastoma and lung cancer cells, while leaving healthy tissue unaffected. This selectivity is believed to be linked to the bioenergetic vulnerabilities of tumor mitochondria and the radical pair mechanism. With its non-invasive operation, low energy consumption, and precise control, the oncooscillator represents a promising direction in cancer therapy. Its potential applications may also extend to mental health and rehabilitation, where magnetic stimulation is already used in clinical practice.

3.2 Automated chessboard: autonomous gameplay and board recognition

The development of an automated chessboard capable of autonomous gameplay represents an interesting integration of embedded systems, mechanical design, and artificial intelligence. This system can

detect player moves, calculate its own responses using a chess engine, and physically move pieces via an XY-axis magnetic actuator, which allows the board to function as a real, interactive chess opponent. The game begins from the standard initial position, with the human player always playing white to simplify programming logic. Move detection is achieved using 64 reed switches, one beneath each square. Each switch contains two ferromagnetic contacts sealed in an inert gas-filled tube. When a magnetic piece is placed near a square, the contacts close, signaling its presence. Since reed switches cannot distinguish piece color, the board scans all 64 squares twice per second to detect movement and captures. To overcome limitations in vertical magnetic alignment and reed switch geometry, the switches are offset from the center of each square. Four multiplexers are used to efficiently read all switches using limited input pins. A display connected via the I2C protocol provides user feedback, displays timers, and alerts players to illegal moves or game status. Upon startup, the board automatically calibrates using end-stop limit switches to locate the electromagnet's home position. The system is powered by an Arduino Nano and an ESP32 microcontroller, programmed via the Arduino IDE. The chess engine used is Micro-Max, a lightweight engine consisting of only 133 lines of C code, developed by Harm Geert Muller. It employs the *minimax algorithm* with *alpha-beta pruning technique* to optimize move generation, evaluating positions based on material balance, king safety, pawn structure, and move potential. A key innovation is the real-time move evaluation assistant. When a player lifts a piece, all legal destination squares light up using embedded multi-colored LEDs. The colors reflect the engine's evaluation of each move, helping players understand strategic consequences and learn as they play. *Figure 9* illustrates the electronic schematic connecting the reed switches, address multiplexers, stepper motor driver (TMC2208), and display to the Arduino.

Figure 10 shows the assembled automated chessboard, including the game board, drive mechanism, piece disposal zone, and visual feedback interface.

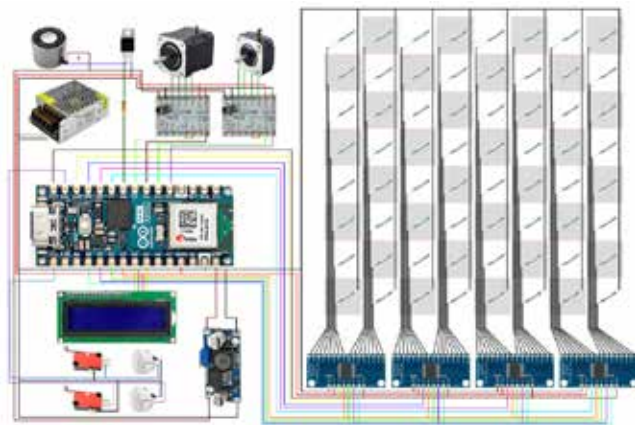


Figure 9 : Electronic schematic connecting of chess board



Figure 10 : Automated chess board
Source: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:563233> [11]

By combining tactile interaction, intelligent move generation, and online connectivity, this project revitalizes the traditional chess experience while simultaneously using modern technologies to enhance learning, engagement, and enjoyment.

4 Conclusion

This study has presented five mechatronic prototypes developed as educational platforms to support hands-on learning in engineering curricula. By integrating mechanical design, control systems, and sensor technologies, these systems effectively demonstrate key concepts in automation, dynamics, and embedded control. Grouped into two thematic sections: real-world application simulation and conceptual exploration, these prototypes show how theoretical knowledge in areas such as kinematics, feedback control, and programming can be translated into practical, interactive systems. Through the process of designing, building, and testing these devices, students engage directly with engineering challenges, fostering critical thinking, creativity, and problem-solving skills. These educational platforms not only enhance conceptual understanding but also encourage innovation and interdisciplinary collaboration. As widely recognized, laboratory-based learning remains essential in preparing future engineers for the complexity and integration required in modern mechatronic systems.

Sources

- [1] Bolton, W. (2018). Mechatronics: Electronic control systems in mechanical and electrical engineering. 7th edn. Harlow: Pearson, ISBN 978-1-292-25097-7.
- [2] Singh, M. and Joshi, A. (2020). Emerging trends in mechatronics engineering: A review. International Journal of Engineering Research and Technology, 13(6), 1454-1461.
- [3] Habib, M.K. (2013). Mechatronics: A unifying and integrating engineering science paradigm. IEEE Industrial Electronics Magazine, 7(2), 20-27. <https://doi.org/10.1109/MIE.2013.2253134>.
- [4] Aung, W. and Miller, R.K. (2020). Mechatronics education: Challenges and opportunities. International Journal of Engineering Education, 36(4), 1025-1032.
- [5] Gonzalez, R., Khamis, A. and Nunez, P. (2021). Hands-on mechatronics education through project-based learning: A case study. IEEE Transactions on Education, 64(2), 123-130. <https://doi.org/10.1109/TE.2020.3008721>.
- [6] Hruškar, F. (2024). Mobile fire-fighting robot. Undergraduate thesis (in Croatian), University of Zagreb, Fac. of Mech. Eng. and Naval Arch. <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:554997>
- [7] Meštrić, L. (2024). Electronic stability control of liquid transport vehicles. Master's thesis, (in Croatian), University of Zagreb, Fac. of Mech. Eng. and Naval Arch. <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:516852>
- [8] Šego, M. (2024). Design of a vessel stabilization device. Undergraduate thesis (in Croatian), University of Zagreb, Fac. of Mech. Eng. and Naval Arch. <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:360882>
- [9] Sharpe, M. A., Baskin, D. S., Pichumani, K., Ijare, O. B., & Helekar, S. A. (2021). Rotating Magnetic Fields Inhibit Mitochondrial Respiration, Promote Oxidative Stress and Produce Loss of Mitochondrial Integrity in Cancer Cells. Frontiers in oncology, 11, 768758. <https://doi.org/10.3389/fonc.2021.768758>
- [10] Drašković, T. (2024). Application of oscillating magnetic fields for treating tumors. Master's thesis, (in Croatian), University of Zagreb, Fac. of Mech. Eng. and Naval Arch. <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:906046>
- [11] Stemberger, E. (2024). Automated chess board. Master's thesis, (in Croatian), University of Zagreb, Fac. of Mech. Eng. and Naval Arch. <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:563233>

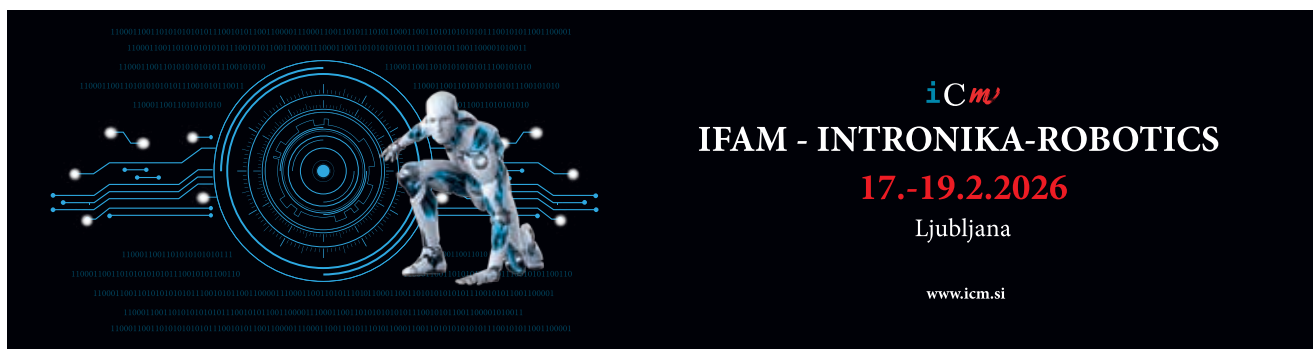
Mehatronski prototipi za inženirsko izobraževanje: povezovanje teorije in prakse

Izvleček:

Članek predstavlja pet inovativnih mehatronskih prototipov, razvitih kot izobraževalna orodja za izboljšanje inženirskega izobraževanja s povezovanjem teoretičnih konceptov s praktično izvedbo. Sistemi so organizirani v dva tematska sklopa. Prvi sklop, Mehatronski sistemi, ki simulirajo aplikacije v resničnem svetu, vključuje tri prototipe, ki posnemajo resnične inženirske izzive: robotsko gasilsko enoto - Firebot, integrirano s tankerjem za vodo za aktivno gašenje požara; model tovornega prevoza, ki prikazuje stabilnost tovora na neravnem terenu; in žiroskopsko stabilizirano mini plovilo, zasnovano za zmanjšanje bočnega zibanja med pomorsko navigacijo. Drugi sklop, Uporabna mehatronika za konceptualno raziskovanje, predstavlja dva sistema, katerih cilj je ponazoriti specifična načela z interaktivno demonstracijo: onkoscilator, ki ustvarja nihajna magnetna polja z vrtečim se magnetom za potencialne biomedicinske aplikacije, in avtomatizirano šahovnico, ki je sposobna avtonomnega igranja, manipulacije s figurami in prepoznavanja stanja plošče. Ti prototipi skupaj služijo kot učinkovite platforme za izkustveno učenje, ki spodbujajo globlje razumevanje mehatronskih načel med študenti inženirstva.

Ključne besede:

mehatronika, laboratorijski prototipi, praktično učenje, sistemska integracija, izobraževalna robotika



iCm
IFAM - INTRONIKA-ROBOTICS
17.-19.2.2026
 Ljubljana
www.icm.si



Mednarodni industrijski sejem

14.-17. APRIL 2026

Ključne teme:

- Industrija prihodnosti: AI, digitalizacija, robotika in človek
- Prihodnost varjenja in rezanja
- Pametno industrijsko vzdrževanje in industrijsko čiščenje
- Energetika v industriji
- Logistika in oskrbovalne verige
- Grafika, pakiranje in označevanje
- Reciklaža, trajnostni materiali in industrijski odpadki
- Industrijska elektronika, senzorika in avtomatizacija

Celjski sejem

UVAJANJE SIMULACIJ V ZGODNJI FAZI RAZVOJA IN NJIHOVA DEMOKRATIZACIJA

Anže Čelik

Izvilleček:

Podjetje Poclain d. o. o. predstavlja uporabo simulacij v začetni fazi razvoja izdelkov in procesov ter uvažanje simulacijskih orodij za razvojne inženirje.

Simulacije v zgodnji fazi razvoja (angl. *upfront simulations*) se nanašajo na razvojne aktivnosti, ki se praviloma izvajajo pred izdelavo fizičnih prototipov ali gradnje sistemov; pri tem velja rek »čim prej – tem ceneje«. Cilji tovrstnega konstruiranja so ugotoviti šibke točke produkta (ali procesa), izboljšati samo konstrukcijo oz. zasnovo izdelka in napovedati njegove bodoče karakteristike [1], [7].

Demokratizacija /tudi popularizacija/ simulacijskih orodij (angl. *simulation democratization*) v zgodnji fazi razvoja pomeni omogočiti njihovo uporabo predvsem tistim, ki v osnovi niso strokovnjaki za simulacije – znotraj podjetja, organizacije ali skupnosti. Pri tem gre za odstranitev ovir in opolnomočenje deležnikov v procesu snovanja izdelka (ali procesa), za samostojno izvajanje simulacij v zgodnji fazi razvoja, kakor tudi za sprejemanje odločitev na osnovi dobljenih rezultatov. [3], [4], [5], [6]

Prispevek pojasnjuje tudi dejavnosti, ki so (bile) izvedene za uvajanje simulacijskih orodij med skupino razvojnih inženirjev.

Ključne besede:

simulacije, faza razvoja, razvojni inženir, demokratizacija, popularizacija, prototip, delavnice

1 Kaj pomeni »simulacija v zgodnji fazi« in kaj »demokratizacija«?

Na samem začetku velja zgoraj omenjeni besedi oz. besedni zvezi nekoliko pojasniti – predvsem zato, da se izognemo napačnemu razumevanju.

Demokratizacija simulacijskih orodij oz. simulacij samih pomeni omogočiti njihovo izvajanje čim širšemu krogu ljudi (predvsem tistim, ki v osnovi niso strokovnjaki na področju simulacij), in sicer z namenom izkoriščanja prednosti tovrstne tehnologije. Primer prikazuje *slika 1*.

Simulacija v zgodnji fazi se nanaša na simulacijske aktivnosti, ki se izvajajo v zgodnji fazi razvoja izdelka (ali procesa).

Demokratizacija simulacijskih orodij in pripadajočih aktivnosti ima za posledico dejstvo, da morajo biti

takšna orodja in »rokovanje« z njimi primerna za ciljno skupino. To so najpogostejše razvojni inženirji, vodje razvojnih in tehnoloških oddelkov kot tudi povsem civilna družba.

1.1 Primer demokratizacije iz vsakdanje rabe

Michael Alba [2] pojasnjuje primer demokratizacije GPS-tehnologije – tj. globalni sistem za določanje položaja.

Uvedba GPS-sistema ni enostavna naloga. Potrebno je znanje brezžičnih komunikacij, mehanike (dinamike), splošne relativnosti in mnogih drugih znanj. Določanje položaja z GPS-om je v preteklosti zahtevalo veliko strokovnega znanja v obliki specializirane opreme in operaterjev, ki so tehnologijo znali uporabljati.

Kompleksnost GPS-a se do danes ni bistveno spremenila. Spremenilo se je dejstvo, kdo ga lahko učinkovito uporablja: vsi. Vsak, ki ima pametni telefon, ima tudi dostop do GPS-a. Za njegovo uporabo ne potrebuje nobenega znanja o tej tehnologiji – potrebno je zagnati ustrezno aplikacijo in slediti grafičnim ter zvočnim navodilom. Podrobnosti tehnologije so za končnega uporabnika nepomembne.

Mag. Anže Čelik, univ. dipl. inž., Poclain Hydraulics d. o. o., Žiri



© The Authors 2025. CC-BY 4.0

<https://doi.org/10.5545/Ventil-31-2025-6.14>



Slika 1 : Demokratizacija simulacijskih orodij | Vir: Poclain

Podobna ideja je tudi za demokratizacijo simulacijskih orodij.

1.2 Kako demokratizacijo razumejo v podjetju Poclain?

Simulacijska orodja so v podjetju Poclain del razvojnega procesa že desetletja (začenši s poznimi 90. leti prejšnjega stoletja). V začetni fazi so bile trdnostne analize uvedene s pomočjo namenskega strokovnjaka za »končne elemente«, kasneje pa z manjšo ekipo tovrstnih strokovnjakov oz. ekspertov (*slika 2*). Za tem so bile uvedene tudi simulacije hidravličnih sistemov (v 1-dimenzionalnem prostoru), ki jih je tudi v tem primeru obvladovala le peščica strokovnjakov. Precej kasneje so bile uvedene tudi tokovne simulacije (poznane kot CFD), za katere je bil uvodoma zadolžen le en sam strokovnjak.

Treba je omeniti, da se je na začetku (in tudi kasneje) besedna zveza »simulacijsko orodje« nanašala predvsem na uporabo samostojnega naprednega

simulacijskega programa. Biti avtonomen in izkušen uporabnik takšnega orodja pomeni vsakdanje rokovanje z njim.

Število uporabnikov simulacijskih orodij se je tekom let povečevalo (*slika 3*).

Z osvajanjem novih trgov in novih (zahtevnih) strank se je portfelj izdelkov postopoma širil skupaj z njegovo kompleksnostjo. Slednja je botrovala potrebi po globljem razumevanju obnašanja izdelkov ter sočasnem skrajševanju časa do uvedbe na trg. Vsi omenjeni razlogi so postali glavni sprožilec za večje naložbe v simulacijski pristop snovanja izdelka.

Ker je vse več razvojnih inženirjev pričelo uporabljati simulacijska orodja, se je s tem pojavila potreba po poenotenju in standardizaciji simulacijskih postopkov in simulacijskih orodij.

Podjetje se je soočalo z dvema možnostma: povečati ekipo specializiranih strokovnjakov za simulacije oz. razširiti uporabo simulacijskih orodij na vse razvojne inženirje?



Slika 2 : Nekdanja ekipa strokovnjakov | Vir: Poclain



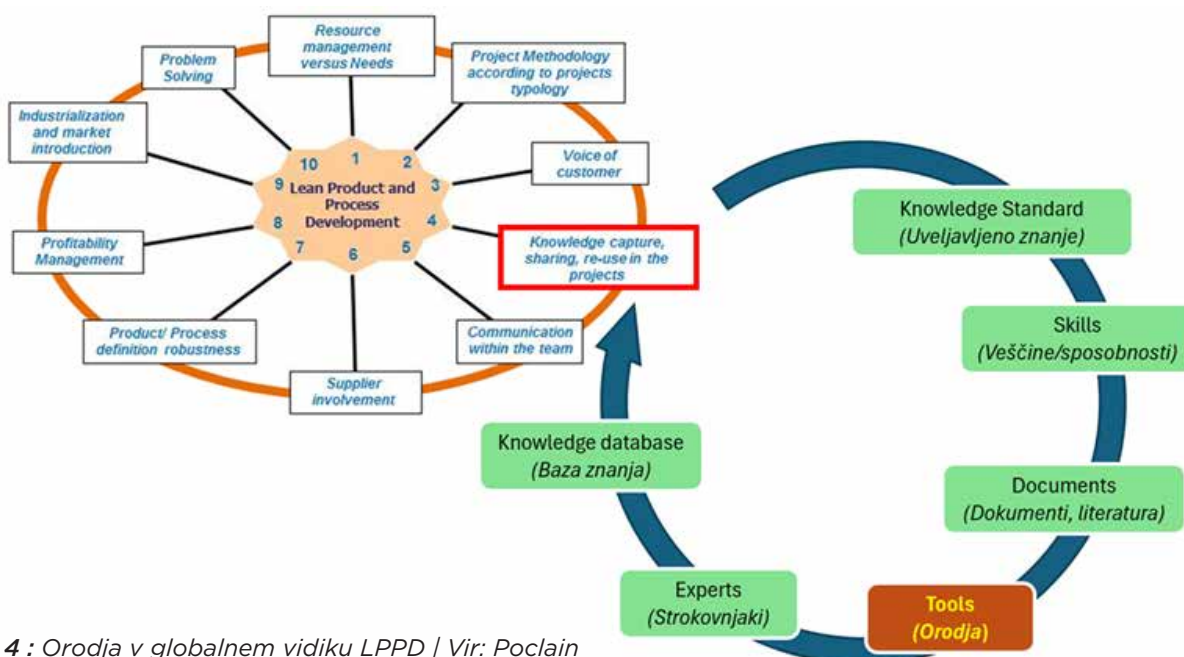
Slika 3 : Razširitev ekipe strokovnjakov / Vir: Poclain

2 Celostna pot uvajanja simulacijskih orodij

Z vidika podjetja Poclain je bila preobrazba uporabe simulacijskih orodij del celovitejšega pristopa. Orodja (vseh vrst) so eden glavnih stebrov procesa, imenovanega upravljanje znanja (angl. *knowledge management* - KM). Ta proces je v podjetju vzpo-

stavljen že dobro desetletje. Izpostaviti velja, da je KM tudi eden od desetih stebrov vitkega razvoja izdelkov in procesov (angl. *lean product and process development* - LPPD), ki je prav tako uveden v sistem procesov podjetja.

LPPD je namreč močan sistem za razvoj novih izdelkov in storitev ter procesov, potrebnih za njihovo proizvodnjo in dobavo. [9]



Slika 4 : Orodja v globalnem vidiku LPPD / Vir: Poclain

2.1 Demokratizacija simulacijskih orodij pomeni spremembo miselnosti

Če bi demokratizacija simulacijskih orodij pomenila zgolj namestitvev namenskega računalniškega programa inženirjem, potem bi bil odgovor jasan – (skoraj) nihče ne bi uporabljal teh orodij. Četudi podjetje zagotovi namensko usposabljanje, je rezultat dokaj podoben – zelo malo ljudi bi uporabljal orodja. Jasno je, da demokratizacija pomeni več kot le preprosto zagotavljanje orodij za simulacijo. O podobnih ugotovitvah poroča tudi vir [2].

Demokratizacija simulacijskih orodij je strateška, dobro organizirana pot. Uspešna je lahko le, če se celotna organizacija – od vodij do specializiranih strokovnjakov in inženirjev – poenoti v načinu razmišljanja. Najtežja stvar pri demokratizaciji simulacijskih orodij ni tehnologija sama – najtežje je spremeniti (uveljavljeno) miselnost, utečene navedbe (»tako delamo že vseskozi«).

Običajno je potrebnega veliko časa (let!), da se v ekipi oz. v celotnem podjetju spremeni miselnost. Poclain tukaj ni (bil) izjema. Začetne ovire pri demokratizaciji se bile pogojene z nezaupanjem v rezultate simulacij; tudi vodstvo ni veliko vedelo o sami tehnologiji, zato naložbe v simulacijska orodja uvodoma niso bile odobrene in, ne nazadnje, inženirji so v uporabi simulacijskih orodij videli le dodatno (nepotrebno) delo, ne pa tudi dodane vrednosti.

2.2 Trud za vzpostavitev demokratizacije

Spreminjanje miselnosti ljudi (začenši pri sebi) običajno zahteva največ truda. K spremembi miselnosti znatno pripomorejo jasno predstavljena pot in pripadajoče aktivnosti: predstavitev novega pristopa (podkrepljena z dejstvi!), dodana vrednost, strateški načrt uvajanja (usposabljanja, delavnice ...), podpora, donosnost naložbe (angl. *return of investment* – ROI) itd.

V podjetju Poclain je demokratizacijo simulacijskih orodij začela namenska skupina inženirjev z različ-

nih področij (na nivoju komponent in sistemov). Ti so simulacije izvajali večinoma že pred fazo koncepta, in sicer z namenom, da bi preučili izvedljivost in dopolnili manjkajoča znanja. Z rastjo njihovih kompetenc so se tudi rezultati simulacij vse bolj ujemali z rezultati internih testov in zdržljivosti na terenu. Posledično se je v smiselnost in uporabnost simulacij okrepilo zaupanje inženirjev, projektnih vodij in nenazadnje tudi vodstva podjetja.

Potrebno je bilo vzpostaviti standardizirane in verificirane simulacijske postopke ter kreirati in kodificirati simulacijska orodja (v te namene je bil vzpostavljen intranetni portal, dostopen kadrom v razvojnem procesu, *slika 5*).

Simulacijski postopki se nanašajo na dokumente za usposabljanje, pripravljene predstavitvene primere in organizirana usposabljanja (izobraževanja, delavnice). Vzpostavljena je bila tudi notranja tehnična podpora s ciljem ažurne podpore razvojnih inženirjev pri njihovem vsakodnevnem delu. Usposabljanja so bila kasneje integrirana v sistem izobraževalne akademije, ki jo ima podjetje Poclain.

2.3 Trud za ohranjanje demokratizacije

Simulacijska orodja z ustrezno dokumentacijo, usposabljanjem in podporo so bila na voljo. Kljub temu je bilo med zaposlenimi v razvojnem procesu občutiti manko nečesa ključnega – miselnosti oz. »duha« za simulacije.

Za krepitev slednjega so bili uvedeni dodatni koraki. Dva od njih sta omenjena v nadaljevanju, in sicer: redne mesečne/letne delavnice (angl. *workshops*) in letni načrt uvajanja (angl. *yearly deployment plan* – YDP).

2.3.1 Delavnice

Eden izmed elementarnih pogojev za učinkovito uporabo simulacijskih orodij je ta, da se uporabniki s temi orodji počutijo »domače«. Torej: da so jim orodja všeč (ergonomija) in da jih poznajo (redna

✓	OCS Number	OCS Name	Picture	Launch it	Expected result	Poclain_Product	Poclain_Function
	OCS1	... Le Petit Hydraulicien		Launch this tool	Many small hydraulic calculation tools	Radial; Axial; Valves; Orifices;	
	OCS2	... N/A			Calculation of a PH motor with Amesim	Radial;	
	OCS4	... VFG4		Install VFG4	Lifetime of the whole motor (cam, fixations, bearings) according to a load	Radial; Bearings; Bearings stop system; Shaft;	

Slika 5 : Intranetni portal, namenjen enostavnemu dostopu do simulacijskih orodij | Vir: Poclain

uporaba). K temu pa pripomore tudi vadba na resničnih demonstracijskih primerih in prikazovanju primerov dobrih praks uporabe simulacijskih orodij. To je pot (rednih) delavnic.

Kaj je delavnica?

Delavnica je organiziran dogodek, na katerem udeleženci osvežijo svoje znanje in spretnosti o simulacijskih orodjih – s povzetkom tega, kar so se že naučili v preteklih usposabljanjih (npr. teoretično ozadje, grafični uporabniški vmesnik, metodologije ...) in z vadbo simulacijskega orodja (in metodologije) na resničnem primeru. Delavnica torej ni izobraževanje, temveč »osvežitev« njihovega obstoječega znanja in spretnosti. Je opolnomočenje uporabnikov.

Tovrstne delavnice so za večino uporabljenih simulacijskih orodij (numeričnih ali analitičnih) organizirane vsaj enkrat letno; deljenje primerov dobrih praks je organizirano na mesečni ravni.

2.3.2 YDP

Letni načrt uvajanja (YDP) je postopek oblikovanja načrta za uspešno uvajanje novih/obstojećih nalog, orodij ali sistemov. Vključuje opredelitev virov, nalog in časovnice, potrebnih za zagotovitev uspešne uvedbe. [10]

Z YDP določimo, kje (projekti in druge vsebine), kdo (inženir) in kaj (izdelek, proces) je treba virtualno vrednotiti s pomočjo simulacijskih orodij. Na ta način spodbujamo ljudi, ki uporabljajo simulacijska orodja, in vodje projektov, da rezervirajo potrebne vire za tovrstne analize. Na ta način se izognemo reku »nimamo časa«, prav tako je v fazi načrtovanja (zaradi boljšega poznavanja izdelka) manj »presenečenj«.

3 Trenutno stanje demokratizacije v podjetju

Danes so na razpolago številna simulacijska orodja, ki jih uporabljajo razvojni inženirji in strokovnjaki za simulacije. Nekatera od teh orodij so kupljena, saj so dostopna na tržišču (npr. analitično orodje za

načrtovanje tlačnih vzmeti po standardu EN 13906-1, numerična orodja za trdnostne in tokovne analize ...), druga so namensko razvita znotraj podjetja (npr. orodje za načrtovanje življenjske dobe hidravličnega motorja).

Ne glede na naravo ali izvor simulacijskih orodij so vsa uradno kodificirana in dostopna preko intranetnega portala (*slika 5*). Vsako kodificirano orodje je »opremljeno« z ustrezno tehnično dokumentacijo, usposabljanji, povezanimi znanji in kontaktnimi podatki za pomoč (tj. interni strokovnjak za določeno področje fizike).

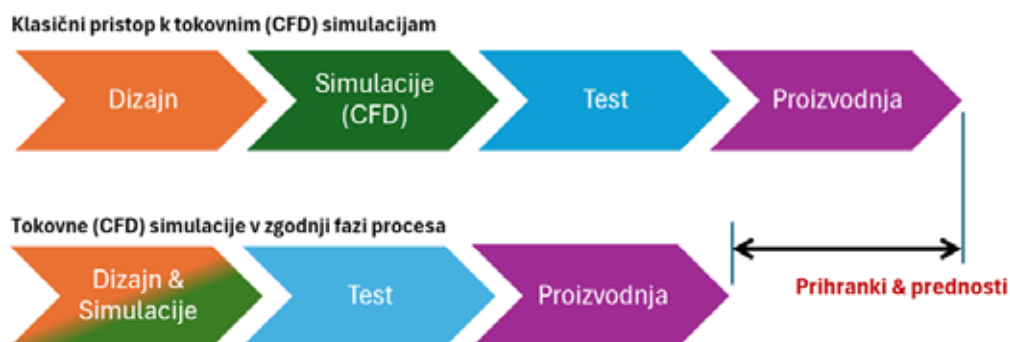
3.1 Simulacije v zgodnji fazi

Računalniško podprto konstruiranje (CAD) je danes središče procesov virtualnega razvoja izdelkov. Simulacijska orodja (npr. MKE, CFD, topološka optimizacija ...), ki so vdelana v orodje za CAD, izboljšujejo produktivnost uporabnikov in demokratizacijo uporabe takšnih orodij. [8]

Orodja za simulacijo, vdelana v CAD programsko opremo, omogočajo simulacije v zgodnji fazi razvoja izdelka, kjer imajo te največji vpliv ob nižjih stroških. Takšne simulacije se v okoljih CAD in PLM izvajajo neposredno na ažurnem 3D CAD-modelu in zagotavljajo rezultate v realnem časovnem okviru (tj. minutah ali urah).

Vgrajena orodja omogočajo (dvosmerno) asociativnost z glavnim CAD-modelom, kar znatno zmanjša število potrebnih iteracij snovanja izdelka (*slika 6*). Virtualni izdelki v podjetju Poclain nastajajo v okolju PTC Creo Parametric. Omenjeni MCAD-paket ima vgrajenih več simulacijskih orodij, in sicer za trdnostne analize (MKE), tokovne analize (CFD), procese litja, analizo mehanizmov, topološke optimizacije idr. (*slika 7*).

Velja poudariti dejstvo, da je večina simulacijskih orodij vgrajena v CAD-okolje in so posledično uporabnikom bolj prijazna, »domača« ... izkušnje kažejo, da inženirji po njih raje posegajo kot v primerih, da gre za samostojna programska orodja (torej izven CAD-okolja), katerih vmesnik uporabnikom ni domač.



Slika 6 : Prikaz (časovnega) prihranka pri uporabi zgodnjih simulacij | Vir: Poclain



Slika 7 : Vgrajena (simulacijska) orodja znotraj okolja PTC Creo / Vir: Poclain

4 Zaključek

Simulacije v zgodnji fazi razvoja nudijo številne prednosti, saj je ideja oz. podoba o bodočem izdelku (ali procesu) šele v nastajanju in ima inženir še »dovolj svobode«. Kakršnekoli spremembe v tej fazi razvoja (kot posledica rezultatov simulacij) se lahko odpravijo hitro in z minimalnimi stroški.

Dodana vrednost simulacijskih aktivnosti je tem večja, čim več ljudi jo uporablja (demokratizacija). To pa ima za posledico dejstvo, da morajo biti simulacijska orodja uporabniku prijazna (grafično okolje), enostavno dostopna (»klik« sistem) ter opremljena z ustrezno (tehnično) podporo. Demokratizacija simulacijskih orodij pomeni tudi krepitev miselnosti oz. »duha« za simulacije. To je mnogokrat najtežji del v procesu uvajanja novosti.

Podjetje je z omenjenimi aktivnostmi doseglo več zastavljenih ciljev: opolnomočiti inženirje pri snovanju in odločanju, narediti jih produktivnejše, jim omogočiti poglobljeno razumevanje izdelka (ali procesa) ter skrajšati čas do uvedbe izdelka na trg.

Viri in literatura

- [1] PDSVISION: Drive Innovation and reduce cost by earlier analysis. Dostopano 3. 11. 2025, <https://pdsvision.com/technologies/simulation/upfront-simulation/>.
- [2] Engineering.com: The Path to Simulation Democratization. Dostopano 5. 11. 2025, <https://www.engineering.com/the-path-to-simulation-democratization/>.
- [3] PTC.com: Simulation-Led Design: Democratizing the Power of Simulation. Dostopano 3. 11. 2025, <https://www.ptc.com/en/resources/cad/white-paper/simulation-led-design>.
- [4] Diginomica.com: Ansys - democratizing simulation is key to reducing uncertainty. Dostopano 12. 11. 2025, <https://diginomica.com/ansys-democratizing-simulation-key-reducing-uncertainty>.
- [5] Digital Engineering 24/7: The Mission to Democratize Simulation at Turning Point. Dostopano 12. 11. 2025, <https://www.digitalengineering247.com/article/the-mission-to-democratize-simulation-at-turning-point>.
- [6] Simulationhub.com: Democratizing simulation. Dostopano 11. 11. 2025, <https://www.simulationhub.com/philosophy>.
- [7] Engineering.com: Mentor Graphics Makes CFD Meshing Faster. Dostopano 14. 11. 2025, <https://www.engineering.com/mentor-graphics-makes-cfd-meshing-faster/>.
- [8] R. K. Hanna, I. Weinhold: THE DEMOCRATIZATION OF CFD. Mentor Graphic, dostopano 3. 11. 2025, <https://revolutioninsimulation.org/wp-content/uploads/2020/06/THE-DEMOCRATIZATION-OF-CFD-K-Hanna-I-Weinhold.pdf>.
- [9] Lean.org: Lean Product and Process Development. Dostopano 4. 11. 2025, <https://www.lean.org/explore-lean/product-process-development/>.
- [10] Jane Temov: What is Deployment Planning? A Detailed Guide. Enov8, dostopano 12. 11. 2025, <https://www.enov8.com/blog/what-is-deployment-planning/>.

Upfront simulations and (their) democratization

Abstract:

Upfront simulation is a term to describe simulation activities being performed early in the design stage. So before physical prototypes are made or full systems being built. The goal is to identify potential issues, optimize designs and predict performance as early as possible, when changes are cheaper and easier to make. [1], [7]

Simulation democratization is understood as making simulation tools accessible to non-simulation expert users within enterprise, organization or community. It means removing the barriers that restrict product managers, designers or even non-professionals to run simulations and make data-driven decisions without needing to be simulation experts. [3], [4], [5], [6]

The paper presents current status regarding upfront simulations and their democratization within Poclain company. The practical cases demonstrate the abilities brought through the upfront (or front-loading) simulations. It is also explained what activities have been made to democratize (deploy) simulation tools among the group of design engineers.

Keywords:

upfront simulation, democratization, design engineer, product manager, design stage, prototype, product performance

UNIFOREST CONNECT – DIGITALIZACIJA V GOZDARSKI TEHNOLOGIJI

Sandi Grobelnik, Robert Horvat

Izvleček:

Uporabniki sodobnih strojev in opreme tako doma kot na delovnem mestu pričakujejo možnost spremljanja parametrov delovanja strojev na mobilnih napravah. To omogoča enostaven vpogled v stanje stroja, spremljanje delovne zmogljivosti, hitro diagnostiko in servis na daljavo, opozarjanje na morebitne težave in preventivno vzdrževanje. Cilj projekta je uporabnikom gozdarskih strojev omogočiti zelo preprost vpogled v delovanje stroja. Vsi pomembni parametri in podatki, ki jih želijo spremljati končni uporabniki, lastniki (podjetja in trgovci) in razvijalci strojev, so tam zabeleženi.

Naš cilj je omogočiti brezžično povezavo gozdarskih strojev s pametnimi napravami, kar uporabnikom omogoča enostaven dostop do podatkov o delovanju strojev. To bo uporabnikom omogočilo natančnejši vpogled v stanje stroja, hkrati pa olajšalo diagnosticiranje morebitnih napak. S tem bodo tako proizvajalec kot serviserji in uporabniki lažje preprečevali neželene izpade delovanja strojev.

Ključne besede:

Uniforest Connect, servisiranje strojev, pameten način dela, servisni intervali, delovna zmogljivost

1 Uvod

Kot proizvajalci gozdarske opreme se zavedamo, da dober stroj z inovativnimi rešitvami ne more zadovoljiti uporabnikov, če ni dobre tehnične podpore in hitre ter odzivne storitve v primeru težav. Zato moramo, če želimo v tem pogledu zadovoljiti naše stranke, natančno poznati navade uporabnikov, njihov način dela in posebnosti dela na različnih trgih. V ta namen smo razvili elektroniko, ki zagotavlja brezhibno delovanje stroja in hkrati shranjuje vse pomembne dogodke, ki se zgodijo na stroju, in jih lahko preko modula Bluetooth pošlje na pametno napravo.

Razvili smo tudi aplikacijo za pametne telefone, ki prepozna stroj in uporabniku prikaže pomembne informacije na podlagi serijske številke (Slika 1).

To vključuje sinhronizacijo dvosmernega pretoka podatkov med pametno napravo in elektroniko. Varnost podatkov je v komunikaciji zelo pomembna, da se zagotovita zanesljivost in uporabnost podatkov. Vsi podatki, zbrani preko aplikacije, se shranijo v podatkovni bazi podjetja. To prispeva k veliko večji preglednosti strojev proizvajalca. Serijska številka stroja

Sandi Grobelnik, dipl. inž., **dr. Robert Horvat**, univ. dipl. inž., oba Uniforest, d. o. o., Prebold



© The Authors 2025. CC-BY 4.0

<https://doi.org/10.5545/Ventil-31-2025-6.15>



Slika 1 : Zaslona aplikacije za pametne telefone za upravljanje gozdarskih strojev – Uniforest Connect



Slika 2 : Povezava aplikacije Uniforest Connect z gozdarskim vitlom preko brezžične povezave Bluetooth

se uporablja za beleženje vseh delovnih ciklov, časa uporabe in posameznih funkcij. Pri nekaterih modelih je mogoče v realnem času spremljati tudi vlečno silo stroja, prav tako pa se v realnem času prikaže napetost napajanja. Ti podatki so predstavljeni v uporabniku prijazni grafični obliki.

2 Kako deluje Uniforest Connect

Uporabniki lahko aplikacijo namestijo na svoje mobilne telefone Android preko trgovine Play Store/iTunes. Pomembno je tudi, da ima pametni telefon povezavo Bluetooth, preko katere aplikacija komunicira z elektroniko vitla (Slika 2).

Funkcije, ki jih ponuja sistem Uniforest connect, so opisane v nadaljevanju.

- ▶ Sistem lahko spremlja delovanje sklopke, zavor, odvijalne naprave in končnega stikala.
- ▶ Hkrati ima uporabnik pregled nad servisnim intervalom vitla.
- ▶ Spremljanje obremenitve vitla: Elektronika be-



Slika 3 : Zaznavanje odstotka obremenitve vitla

leži odstotek časa, ko vitel deluje pod obremenitvijo (Slika 3). To uporabniku omogoča, da ugotovi, ali je gozdarski vitel primeren za njegove potrebe. Hkrati ima pregled nad intervalom vzdrževanja vitla.

- ▶ Diagnostika: Napajanje, vlečna sila (Slika 4), signali daljinskega upravljalnika ter vhodi in izhodi na tuljavah ventilov se ves čas aktivno nadzorujejo.

To uporabniku omogoča vpogled v delovanje naprave v realnem času. Podatke je mogoče shraniti in predstaviti v obliki poročila, ki je lahko koristno za nadaljnjo analizo delovanja posameznega vitla. V primeru okvare lahko zabeležena zgodovina zagotovi dragocene informacije za oceno pričakovane življenjske dobe stroja, z naprednim znanjem in izkušnjami na tem področju pa je mogoče zagotoviti ustrezno preventivno vzdrževanje.

3 Prednosti za uporabnika

Novo razvita aplikacija omogoča uporabnikom izvajanje diagnostike v realnem času, hkratno spremljanje več strojev in optimizacijo servisnih ciklov. Glavne prednosti takšnih aplikacij so navedene spodaj:

- ▶ Uporabnik lahko izvede osnovno diagnostiko na kraju samem.
- ▶ Poslovni uporabniki z več zaposlenimi in več stroji lahko dnevno spremljajo delovanje in učinkovitost strojev.
- ▶ Servisni intervali pomagajo uporabniku optimizirati vzdrževanje strojev (opomniki za redno vzdrževanje).
- ▶ Možnost sodelovanja v razpisih, kjer je za pridobitev sredstev iz razpisa potrebna industrija 4.0 ali digitalno spremljanje strojev.



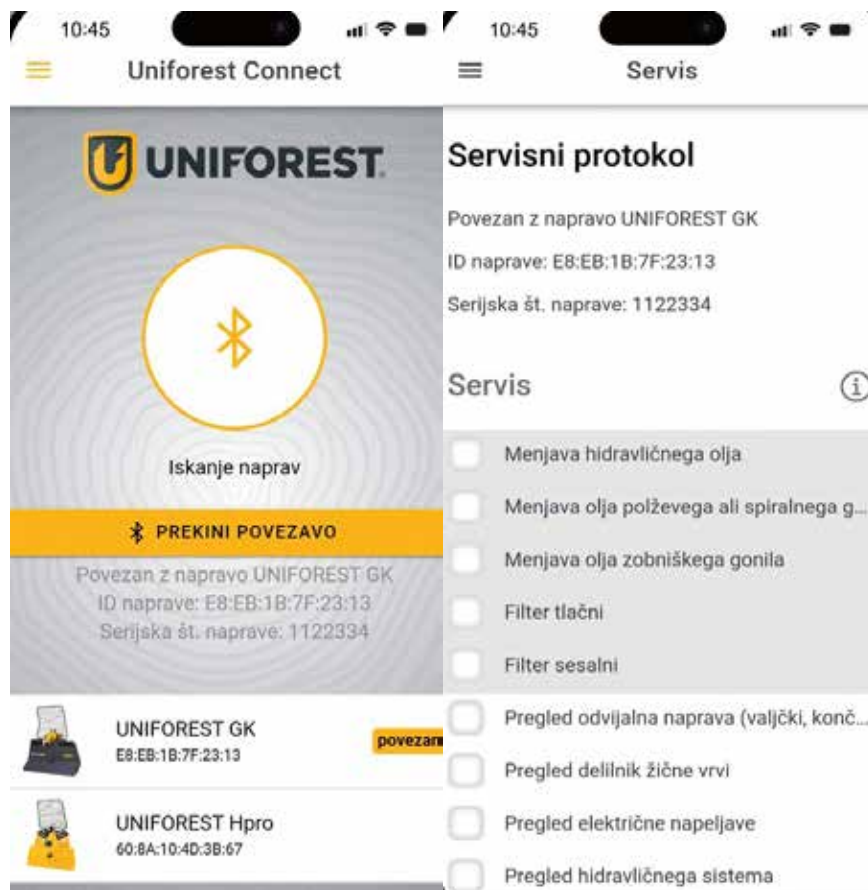
Slika 4 : Zapis merjene vlečne sile vitla

4 Prenesite, povežite, podaljšajte, garancija 2 + 1

Z uporabo aplikacije Uniforest Connect je mogoče pridobiti podaljšano garancijsko obdobje. Redno in ustrezno vzdrževanje strojev prispeva k njihovi daljši življenjski dobi, ob upoštevanju priporočenih servisnih intervalov pa je zagotovljena podaljšana garancija v trajanju 2 + 1 leto.

Uniforest je prvi proizvajalec gozdarskih vitlov, ki omogoča digitalno diagnostiko in s tem pomembno izboljšuje uporabniško izkušnjo. Na ta način podjetje ne le ohranja konkurenčno prednost, temveč uvaja rešitve, ki prispevajo k učinkovitejšemu delu končnih uporabnikov, prodajalcev in ponudnikov storitev.

5 Kako deluje Uniforest Connect na rezalno-cepilnih strojih



Slika 5 : Zasloni nastavitve aplikacije Uniforest connect



Slika 6 : Zasloni nastavitve aplikacije Uniforest Connect na rezalno-cepilnih strojih



Slika 7 : Prikaz količine pridelanih drv na rezalno-cepilnem stroju

Slika 6 prikazuje zaslon nastavitve aplikacije Uniforest Connect za rezalno-cepilne stroje [1]. Na voljo je več možnosti, med katerimi lahko uporabnik izbere optimalne nastavitve za svoje potrebe.

Uniforest Connect za rezalno-cepilne stroje omogoča:

- ▶ diagnostiko elektronike;
- ▶ pregled vhodov in izhodov krmilne enote, pregled delovanja senzorjev, meritve temperature stroja in meritve hitrosti stroja;
- ▶ opozarjanje uporabnika preko aplikacije, če navodila za uporabo niso upoštevana (npr. če je hitrost kardanske gredi previsoka ali prenizka);
- ▶ meritve napetosti krmilnega signala (Slika 7).

6 Pomen industrije 4.0 in 5.0 za uporabnike in prihodnost aplikacije Uniforest Connect

Tehnološki razvoj v zadnjih letih je prinesel vse večjo uvedbo umetne inteligence v delovanje strojev, proizvodnjo, skladiščenje in druge sisteme, ustvarjanje in širjenje informacij ter, nenazadnje, v vsakdanjo rabo ljudi v obliki »pametnih« naprav, avtomobilov in domov. Avtomatizacija, povezljivost naprav in umetna inteligenca so temelji industrije 4.0.

Vendar pa samostojno delovanje in učenje programske opreme v različnih oblikah ter njen odziv na dejanske okoliščine niso vedno idealni, zato je naslednja stopnja razvoja privedla do industrije 5.0. Ta ponovno postavlja ljudi v središče in se osredotoča na varno in ergonomsko delo ter optimizacijo delovnih procesov za optimalno učinkovitost ob upoštevanju zmanjšanja negativnih učinkov sodobnega dela na ljudi.

Najbolj razširjene oblike industrije 5.0 vključujejo: generativno umetno inteligenco, ki sodeluje z ljudmi in se tako razvija v skladu s potrebami uporabnika, razširjeno realnost, ki združuje virtualno in realno realnost z namenom spodbujanja ustvarjalnosti in učinkovitosti, digitalne dvojnike za neprekinjeno spremljanje, simulacijo in optimizacijo industrijskih procesov, uporabo »blockchaina« kot sistema za sledenje podatkov za večjo varnost in preglednost v industrijskih procesih.

6.1 Povezljivost in pametno vzdrževanje z Uniforest Connect

Stroji Uniforest so preko aplikacije Uniforest Connect (Slika 8) povezani s centralno bazo podatkov Uniforest, kar omogoča sledenje servisnega cikla, predvidljivo vzdrževanje in pravočasno obveščanje servisnih centrov. Zahvaljujoč tej tehnologiji so nadomestni deli vedno na voljo, delovni proces pa poteka neprekinjeno.



Slika 8 : Diagnostični in nadzorni sistem Uniforest Connect

Industrija 4.0 v praksi – integracija IoT in analitike podatkov [2].

6.2 Diagnostika v realnem času in daljinsko upravljanje

Rešitve na dosegu roke – kjerkoli in kadarkoli! Z napredno daljinsko diagnostiko strojev in odzivnim časom 0,3 sekunde lahko operaterji in servisni tehniki v realnem času spremljajo obremenitve strojev, preverjajo vhodne signale in hitro odpravljajo napake (Slika 9). Industrija 4.0 – napredno spremljanje delovanja strojev v skladu s strategijo EU [3].



Slika 9 : Uniforest Connect – odziv v 0,3 s

6.3 Sledljivost in varnost strojev

Vse informacije o stroju na enem mestu!

Vsak stroj Uniforest je sledljiv preko serijske številke, ki je shranjena v elektroni in na tablici z deklaracijo. Zgodovina servisiranja je na voljo kadarkoli in ponuja popoln pregled preteklih posegov in prihodnjih vzdrževalnih del (*Slika 10*). Industrija 4.0 – preglednost in inteligentno upravljanje podatkov v skladu z direktivami EU [4].

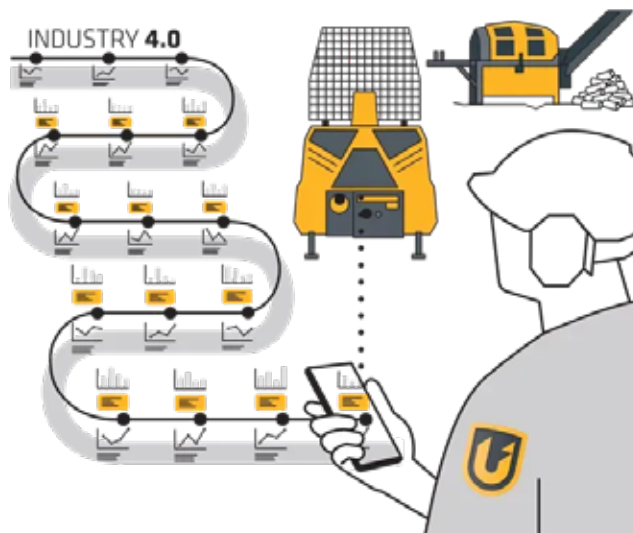
6.4 Ergonomsko oblikovanje v skladu s standardi EU

Manj napora, več varnosti!

Stroji Uniforest so zasnovani v skladu z ergonomskimi smernicami EU, vključno z ISO 12100, kar zmanjšuje utrujenost operaterja in izboljšuje delovno okolje. Prilagojeni krmilni sistemi in uporabniku prijazne aplikacije omogočajo enostavno upravljanje v več jezikih. Industrija 5.0 – v središču so ljudje in varno delovno okolje [5]. Sklic na direktivo EU: Direktiva 89/391/EGS o varnosti in zdravju pri delu.

Literatura

- [1] Uniforest Connect, Katalog, 2025, Slovenija.
- [2] Evropska unija: Direktiva 2006/42/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 17. maja 2006 o strojih in spremembah Direktive 95/16/ES (preoblikovano), 2025.
- [3] Evropska unija: Oblikovanje digitalne priho-



Slika 10 : Sledljivost stroja preko aplikacije Uniforest Connect

dnosti Evrope, vir: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/europe-fit-digital-age/shaping-europes-digital-future_en, dostopno na: 19. avgust 2025.

- [4] Evropska unija: Industrijske raziskave in inovacije, vir: https://research-and-innovation.ec.europa.eu/research-area/industrial-research-and-innovation_en, dostopno na: 19. avgust 2025.
- [5] Evropska unija: Direktiva Sveta z dne 12. junija 1989 o uvajanju ukrepov za spodbujanje izboljšav varnosti in zdravja delavcev pri delu, 2025.

Uniforest Connect – digitalization in forestry technology

Summary:

Users of modern machines and equipment, both at home and at work, expect the ability to monitor machine operating parameters on mobile devices. This allows for easy insight into the machine's status, monitoring of working capacity, fast diagnostics and remote service, warning of potential problems and preventive maintenance. The goal of the project is to provide users of forestry machines with a very simple insight into the machine's operation. All important parameters and data that end users, owners (companies and dealers) and machine developers want to monitor are recorded there. Our goal is to enable wireless connection of forestry machines with smart devices, which allows users to easily access data on machine operation. This will provide users with a more accurate insight into the machine's status, while also facilitating the diagnosis of potential errors. This will make it easier for both the manufacturer as well as service technicians and users to prevent unwanted machine outages.

Keywords:

Uniforest Connect, machine servicing, smart working, service intervals, working capacity





UNIFOREST

UNIFOREST CONNECT APP

Poskeniraj QR kodo in prenesi aplikacijo

GET IT ON Google Play

Download on the App Store

www.uniforest.si

IRT 3000
INOVACIJE • RAZVOJ • TEHNOLOGIJE

SPLAČA SE BITI NAROČNIK

IRT 3000
INOVACIJE • RAZVOJ • TEHNOLOGIJE



ZA SAMO 50€ DOBITE:

- celoletno naročnino na revijo IRT3000 (10 številke)
- strokovne vsebine na več kot 140 straneh
- vsakih 14 dni e-novice IRT3000 na osebni elektronski naslov
- možnost ugodnejšega nakupa strokovne literature
- vsak novi naročnik prejme majico in ovratni trak

IRT 3000
ADRIA
INOVACIJE • RAZVOJ • TEHNOLOGIJE



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

PRIMERJAVA NAPREDNIH 3D-TEHNOLOGIJ ZA SKENIRANJE PRI NADZORU KVALITETE INDUSTRIJSKIH IZDELKOV

Jakob Fabjan, Adela Pišmo, Vesna Pungerčar, Slavko Arh

Izvleček:

3D-skeniranje je nekontaktna tehnologija, s katero lahko fizični objekt pretvorimo v digitalni model, kar industriji omogoča obratni inženiring in nadzor kakovosti (preverjanje skladnosti s predpisi). Vendar imajo te napredne tehnike določene omejitve: če ima na primer predmet izvrtine ali če so poškodbe skrite v notranjosti, jih s temi metodami ne moremo zaznati. Takšne informacije pa so ključnega pomena za napovedovanje trajnosti materiala in odkrivanje skritih napak (razpoke, vključki, nehomogenost materiala). Zato se naša raziskava osredotoča na primerjavo treh različnih tehnik za zajem tridimenzionalnih podatkov industrijskega izdelka iz aluminija: 3D-skeniranje s strukturirano svetlobo, 3D-skeniranje z lasersko svetlobo in skeniranje z uporabo računalniške tomografije (CT). Cilj je bil primerjati posamezne tehnike glede na natančnost izdelave v primerjavi s CAD-modelom in glede na količino in kakovost informacij, ki jih posamezna tehnika omogoča. Pri tem smo upoštevali, ali tehnika omogoča analizo zunanjih geometrijskih lastnosti materialov in drugih pomembnih značilnosti. Rezultati raziskave kažejo, da je kombinacija 3D-skeniranja skupaj s CT-analizo smiselna za preverjanje visoke kakovosti in boljše napovedi življenjske dobe industrijskega izdelka.

Ključne besede:

3D-skeniranje s strukturirano svetlobo, 3D-skeniranje z lasersko svetlobo, CT-skeniranje, kontrola kvalitete

1 Uvod

Eden izmed pomembnih ciljev industrijske proizvodnje je nadzor kakovosti. Kot navaja avtor Mitra v svoji monografiji [1], je kontrola kakovosti definirana kot: »Sistem, ki vzdržuje želeno raven kakovosti s preverjanjem povratnih informacij o izdelku/storitvi in implementaciji popravilnih aktivnosti ...«. Ena od povratnih informacij o industrijski proizvodnji je dimenzija njenega končnega izdelka. To pomeni, da morajo biti dimenzije izdelkov med procesom kontrole izmerjene z različnimi merilnimi napravami.

Pogosto se uporablja koordinatni merilni sistem (CMM), pri katerem merilna konica določi položaj z dotikom merjenega izdelka, potem ko se premakne

iz vnaprej določenega položaja po natančno predpisani poti. Najbolj točni CMM dosega točnost tudi pod 1 μm [2]. Ključne slabosti CMM so, da so izmerjeni le položaji določenih točk, tako da meritev ne zajema oblike preostale površine. Za vsako obliko izdelka je potrebno pripraviti nov program merjenja. Mehki merjenci (pene, gume, ...) se ob dotiku deformirajo, kar povzroči popačenje meritve. Izvajanje meritev s CMM je počasno v primerjavi z brezkontaktnim merjenjem, kjer lahko npr. s 3D-skenerjem zajamemo tudi več milijonov točk na sekundo. CMM so nepremični, zato je potrebno izdelek dostaviti do naprave.

Kot alternativa CMM se uporabljajo optični 3D-skenerji. Za merjenje izdelkov, manjših od 10 m, se uporabljata dva tipa optičnih skenerjev, in sicer 3D-skener s strukturirano svetlobo in 3D-skener z laserskimi žarki.

3D-skenerji s strukturirano svetlobo na izdelek projicirajo različne progaste svetlobne vzorce. Ti se zaradi različnih oddaljenosti točk na merjencu od skenerja popačijo. Kamere to popačitev zajamejo na slike. Na podlagi več slik (pri vsaki se projicira drugačen vzorec) se lahko določi, kje v prostoru se nahaja posamezna točka na izdelku. Iz vsakega zor-

Jakob Fabjan, Adela Pišmo, mag., doc. dr. Vesna Pungerčar, univ. dipl. inž., dr. Slavko Arh, univ. dipl. inž., vsi Rudolfovo – Znanstveno in tehnološko središče Novo mesto



© The Authors 2025. CC-BY 4.0

<https://doi.org/10.5545/Ventil-31-2025-6.16>

nega kota se mora tako zajeti več slik. Pri tem pa se zajamejo vrednosti vseh delov predmeta, ki so znotraj merskega območja. Glavne pomanjkljivosti 3D-skenerjev s strukturirano svetlobo so njihova občutljivost na barvo in odbojnost površine izdelka ter občutljivost na svetlobo iz okolice. Kot rešitev prve pomanjkljivosti se pogosto uporablja posebno razpršilo za 3D-skeniranje, ki prekrije površino izdelka s tanko plastjo belega prahu.

3D-skenerji z laserskimi žarki delujejo na principu triangulacije. Na podlagi poznavanja kota in razdalje med laserskim virom in kamero ter položaja laserske linije na sliki je mogoče določiti prostorski položaj točk na površini izdelka.

Rentgenska računalniška tomografija (CT) se je uveljavila kot ključna nekontaktna, nedestruktivna metoda v industrijskem meroslovju in medicinski diagnostiki, saj omogoča zajem podrobne notranje in zunanje geometrije kompleksnih objektov [3]. Prehod CT-tehnologije iz tradicionalnih radioloških aplikacij v visoko natančno dimenzijsko meroslovje omogoča njena sposobnost vizualizacije notranjih struktur, ki so nedostopne za taktilne ali optične merilne sisteme [4]. CMM merilni sistemi, ki še vedno veljajo za zlati standard pri merjenju zunanjih dimenzij, se pogosto izkažejo kot neustrezni pri ocenjevanju notranjih struktur [3]. V primerjavi s konvencionalnimi merilnimi sistemi ima CT številne prednosti, zlasti pri merjenju delov z visoko površinsko hrupavostjo ali prisotnostjo votlin ter kompleksnih notranjih struktur [5]. Kljub temu delovanje CT-sistemov še vedno omejujejo različni dejavniki, kot so velikost vokslov (volumetrična enota v 3D-prostoru), artefakti zaradi utrjevanja spektra rentgenskega žarka (ang. beam hardening) ter negotovosti, povezane z algoritmi za določanje površin [6].

Inovativni pristopi danes vključujejo metode globokega učenja za avtomatizirano zaznavanje napak v CT volumskih podatkih. Takšni pristopi izkazujejo visoko odpornost na artefakte, kar odpira možnosti za avtomatizirane in linijsko integrirane CT-sisteme za nadzor kakovosti. [5]

Pomembno je poudariti, da industrijska uporaba CT-tehnologije ni omejena le na kovinske komponente. V gradbeništvu se je CT pokazal kot primerno orodje pri analizi povezanosti in porazdelitve por v poroznem asfaltu. Takšna analiza omogoča razvrščanje zračnih por v koristne in škodljive, kar neposredno vpliva na vodoprepustnost vozišča in njegovo konstrukcijsko stabilnost [7]. Ta široka uporabnost potrjuje vse večjo vlogo CT-skeniranja pri karakterizaciji materialov v različnih inženirskih panogah.

Izbira med CT-, 3D-skeniranjem in koordinatnimi merilnimi sistemi (CMM) je v veliki meri odvisna od zahtev po kakovosti meritev, točnosti in ekonomičnosti. Nižja ločljivost CT-skenerja pri zaznavanju površinske teksture in občutljivost na materialne lastnosti zahtevata dopolnjevanje z drugimi meril-

nimi metodami, kar omogoča bolj zanesljivo validacijo rezultatov [8].

3D- in CT-skeniranje danes predstavljata tehnologiji natančnega merjenja, saj sta prilagojeni izzivom sodobne proizvodnje in karakterizacije materialov. Z napredkom računalniških metod in razvojem standardov bo vloga teh tehnologij v procesih zagotavljanja kakovosti vse bolj ključna.

2 Metodologija

Naša raziskava se osredotoča na primerjavo treh različnih tehnik za zajem tridimenzionalnih podatkov industrijskega izdelka iz aluminija: 3D-skeniranje s strukturirano svetlobo, 3D-skeniranje z lasersko svetlobo in skeniranje z uporabo računalniške tomografije (CT). Cilj je bil primerjati posamezne tehnike glede na natančnost izdelave v primerjavi s 3D CAD-modelom ter glede na količino in kakovost informacij, ki jih posamezna tehnika omogoča.

Izbrani testni predmet je izdelan iz aluminija in je sestavljen iz dveh valjastih delov. Spodnji del je širši ($\Phi 60$ mm) in nižji (8 mm), v njem pa sta dve nasproti ležeči izvrtini. Zgornji del je ožji ($\Phi 32,8$ mm) in višji (32,9 mm) ter vsebuje natančno obdelane utore in odprtine. Njegova geometrijska oblika je zaradi izvrtin kompleksna, kar omogoča primerjavo med različnimi metodami skeniranja.

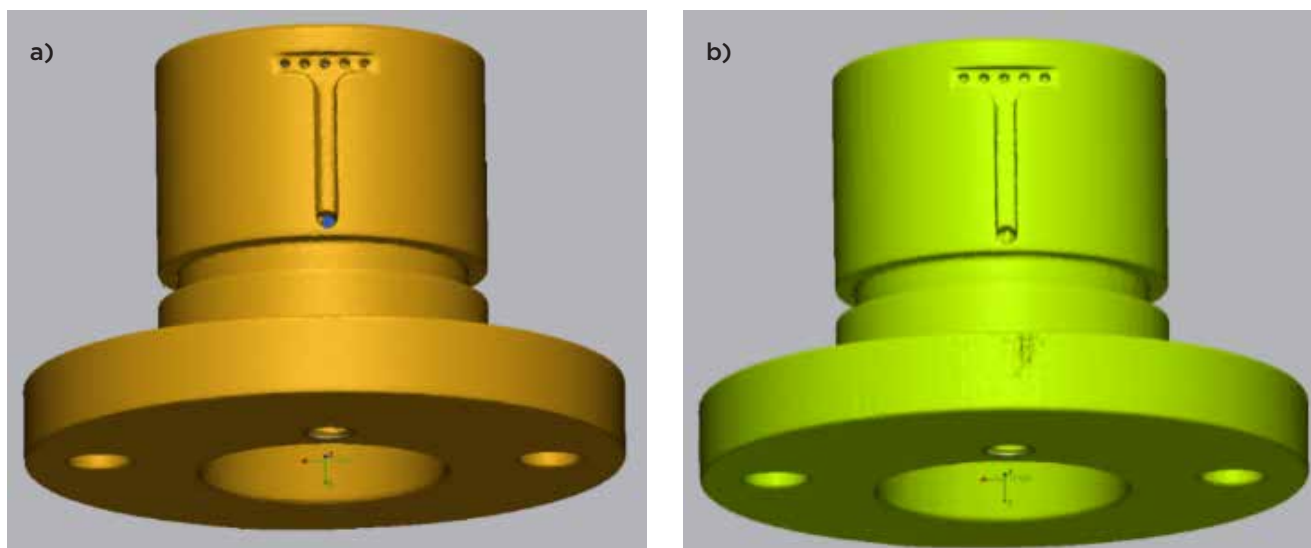
2.1 3D laserski skener

Za merjenje z laserskim skenerjem smo uporabili 3D-skener kanadskega podjetja CREAFORM, Me-traSCAN BLACK+™|Elite (točnost 25 μ m) in programsko opremo VXEelements 11. Pri skeniranju smo nastavili ločljivost 0,2 mm ter čas zaslonke 0,78 ms. Skeniranje smo izvedli v dveh delih. Najprej smo poskenirali izdelek z zgornje strani, nato smo ga obrnili za 180° in ga poskenirali še s spodnje strani. Oba skena smo nato umestili v skupni koordinatni sistem in ju združili v programu za zajem podatkov. Kot rezultat skeniranja smo iz programa izvozili mrežo v obliki stl datoteke (*slika 1a*).

2.2 3D-skener s strukturirano svetlobo

Pri skeniranju s strukturirano svetlobo smo uporabili skener južnokorejskega podjetja VYLO vrste RAPTOR 3D-X in programsko opremo za zajem podatkov 3D-XPartner. Pri skeniranju smo nastavili najnižjo možno resolucijo skeniranja (0,09 mm). Pred skeniranjem smo izdelek prekrili s skenirnim razpršilom, saj je njegova površina za skener s strukturirano svetlobo preveč odbojna. Ravno tako kot pri laserskem skeniranju smo skeniranje izvedli v dveh korakih.

Na *sliki 1b* je prikazan 3D-model po skeniranju s 3D-skenerjem s strukturirano svetlobo.



Slika 1 : Rezultat skeniranja s (a) 3D laserskim skenerjem in (b) 3D-skenerjem s strukturirano svetlobo

2.3 Računalniška tomografija (CT)

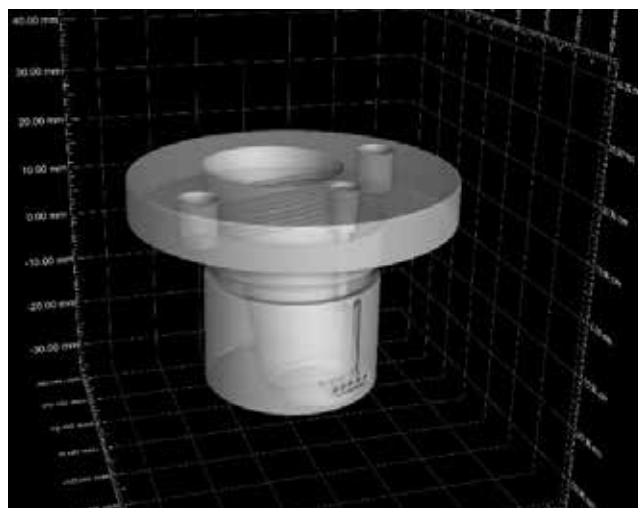
Za potrebe računalniške tomografije je bila uporabljena naprava Nikon Metrology XT V 160 (Belgija), za rekonstrukcije slik pa programska oprema CT Pro3D- (Nikon Metrology). Za nadaljnjo analizo podatkov in vizualizacijo je bil uporabljen VGSTUDIO MAX (Volume Graphics, Nemčija). Na *sliki 2* je prikazana namestitvev vzorca v napravo med skeniranjem.



Slika 2 : Položaj vzorca v CT-skenerju

Testni predmet je med zajemanjem podatkov rotiral okoli horizontalne osi za 360°. Za vsako stopinjo rotacije so bile posnete štiri rentgenske slike. To je omogočilo izboljšano ostrino in povečano ločljivost skenirane slike. Parametri skeniranja – vključno z napetostjo (160 kV), tokom (69 μ A), povečavo (1.581), številom slik (5000) ter časom osvetlitve (354 ms / 2,82 fps) – so bili izbrani glede na fizikalne lastnosti materiala in kompleksnost oblike z namenom pridobiti čim bolj kakovostne prikaze notranjih struktur. Za doseg optimalne vizualizacije manjših detajlov je bila povečava prilagojena velikosti testnega predmeta, ustrezen čas osvetlitve pa je omogočil zmanjšanje šuma in izboljšanje kakovosti slike.

Za generiranje rentgenskih žarkov je bila uporabljena volframova tarča, medtem ko je 0,5-milimetrski bakreni filter služil kot sredstvo za izločanje nizkoenergijskih žarkov, ki bi zmanjšali kakovost posnetkov.



Slika 3 : Vizualni prikaz CT skeniranega modela

Slikovni podatki, pridobljeni z rentgenskim slikanjem, so bili združeni v 3D-model z uporabo programa CT Pro3D-. Določanje površin je potekalo v VGSTUDIO MAX, pri čemer je bila uporabljena napredna nastavitvev, ki temelji na sivinskih vrednostih posameznih vokslov. Pravilna opredelitev površine je bistvenega pomena za kasnejše meritve in primerjave. Vizualni prikaz končnega 3D-modela je prikazan na *sliki 3*.

Za primerjavo CAD-modela s CT skeniranim modelom je bil uporabljen modul Nominal/Actual Comparison v programu VGSTUDIO MAX.

3 Analiza rezultatov

Analizo rezultatov meritev zunanjih površin smo izvedli v programu Geomagic Control X 2023. 3. 0. Tu smo najprej izvedli okvirno (funkcija Initial Alignment) in nato še detajlno (funkcija Best Fit Alignment) poravnavo med CAD-modelom in izmerjenimi mrežami. Nato smo uporabili funkcijo, ki primerja odstopanje med izmerjenimi mrežami in CAD-modelom.

V *tabeli 1* so prikazane kvantitativne vrednosti odstopanj med izmerjenimi površinami in referenč-

nim CAD-modelom za vse tri uporabljene metode skeniranja. Ti podatki vključujejo minimalno in maksimalno odstopanje, povprečno vrednost, koren srednje kvadratne vrednosti (RMS) ter standardni odklon, kar omogoča celovito oceno natančnosti posamezne metode pri zajemu geometrije.

Treba pa je upoštevati, da je RAPTOR 3D-X bolj specializiran za skeniranje izdelkov tega velikostnega razreda (mersko območje do 300 mm), medtem ko lahko z MetraSCAN BLACK+™|Elite skeniramo tudi kose velikosti več metrov.

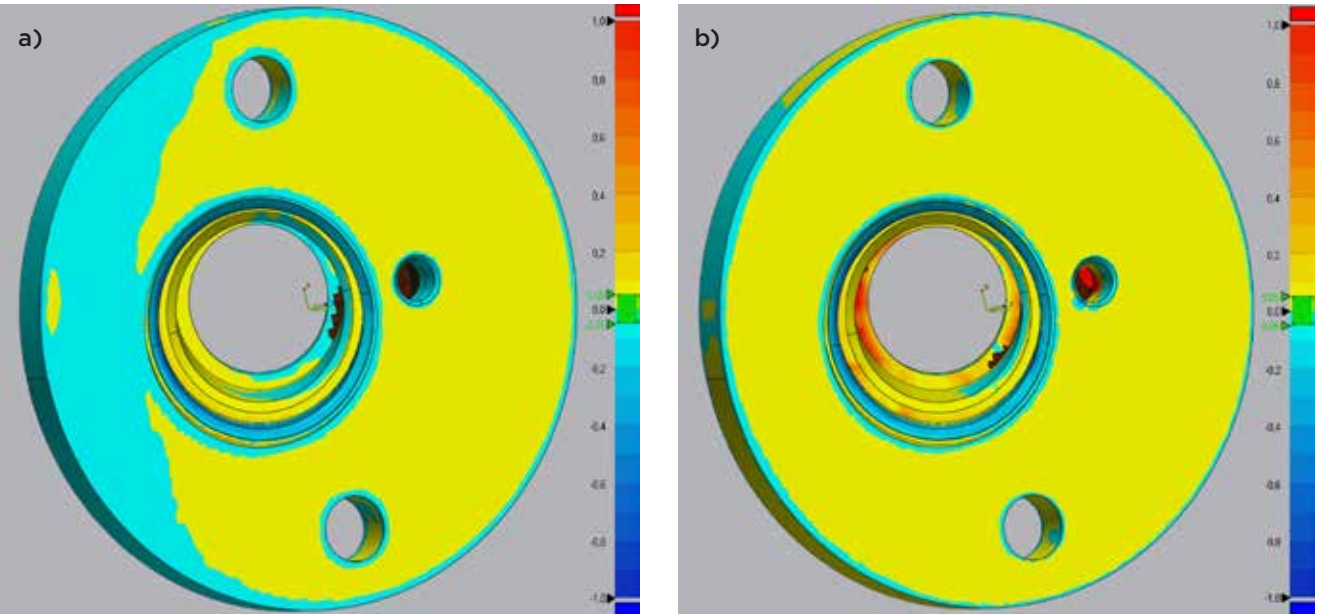
S *slike 4a* in *slike 4b* pa je razvidno, da imata oba optična skenerja težavo pri zajemanju sten globokih in ozkih izvrtin. Na skrajnih legah takih izvrtin, kjer skenerja še lahko zaznata točke, pride do največjih odstopanj (min. in max. v *tabeli 1*). Stene globokih ozkih izvrtin lahko tako zazna le CT-skener.

Na *slikah 4* in *5* bolj rdeče barve predstavljajo točke, katerih meritev je nad površino modela izdelka, bolj modre barve pa točke, katerih meritev je pod površino modela izdelka.

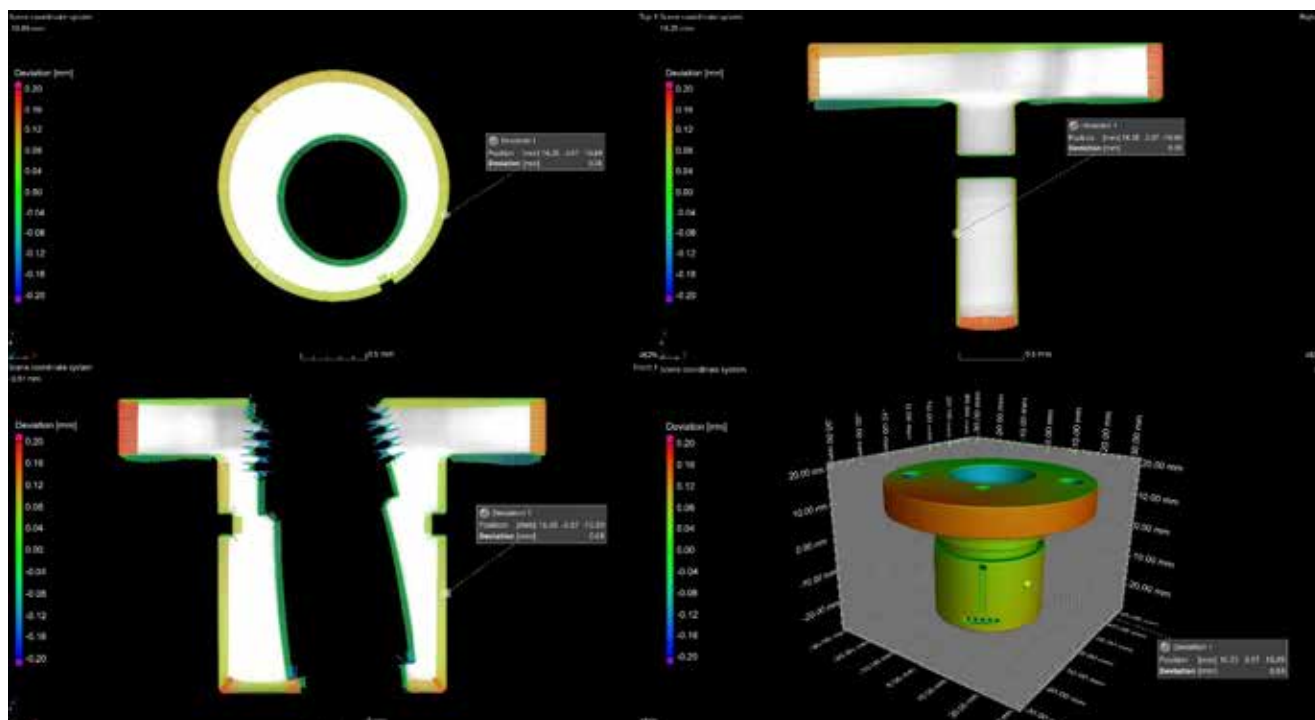
Na *sliki 5* so prikazani rezultati analize CT-skeniranja, pri čemer je prikazano tudi odstopanje za eno izmed toleriranih mer. V tem primeru je bila dopustna toleranca ±0,1 mm (cilinder spodaj), izmerjeno

Tabela 1 : Odstopanja površinskih meritev v mm

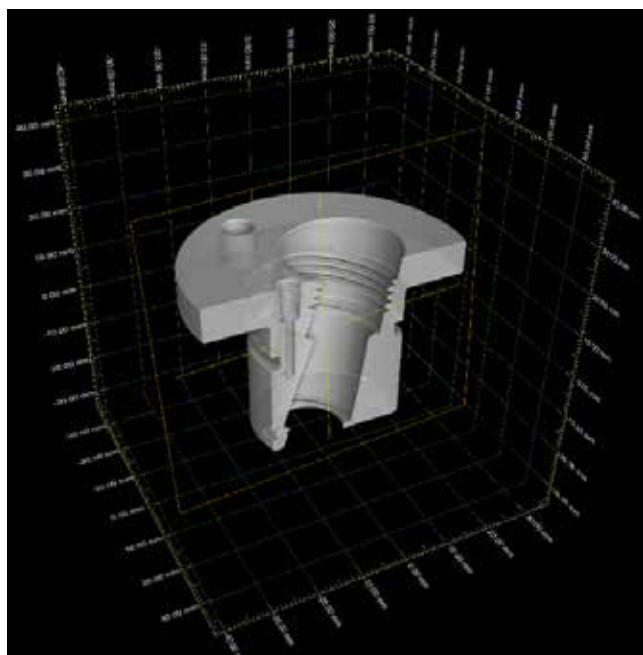
	Min.	Max.	Avg.	RMS	Std. Dev.
CT-skener	-0,6886	0,6872	0,0149	0,1095	0,1291
Strukturirana svetloba	-0,9622	0,9595	0,0036	0,0817	0,0816
Laserski skener	-1,6504	1,6523	0,0012	0,1765	0,1765



Slika 4 : Prikaz odstopanj pri: (a) strukturirani svetlobi, (b) laserskem



Slika 5 : Prikaz odstopanj, zaznanih pri CT-skeniranju



Slika 6 : Prikaz notranje geometrije izdelka (CT)

odstopanje pa je znašalo 0,08 mm, kar pomeni, da vrednost ostaja znotraj dovoljenega območja. Poleg zunanjih značilnosti so s CT-skeniranjem vidne tudi notranje strukture izdelka, kar je prikazano na sliki 6. Ta sposobnost natančne vizualizacije notranjih komponent je ključna prednost CT-tehnologije v primerjavi z optičnimi metodami, še posebej pri nadzoru kakovosti izdelkov z notranjimi votlinami ali kompleksnimi funkcionalnimi elementi. Če se

osredotočimo na spodnji del izdelka, natančneje na spodnji cilindar, je razvidno, da CT-skener izkazuje večja odstopanja v primerjavi s 3D-skenerjema. Glavni razlog za to so artefakti, ki nastajajo pri CT-skeniranju v območjih z večjo debelino materiala. Povečana absorpcija rentgenskih žarkov na debelejših delih vpliva na kakovost rekonstrukcije, kar vodi do manjše natančnosti v teh regijah. Kljub temu pa so izmerjena odstopanja še vedno v okviru dopustnih toleranc, kar potrjuje, da je metoda zanesljiva tudi pri kompleksnejših geometrijah.

4 Sklep

Primerjalna analiza treh naprednih metod – 3D laserskega skenerja, 3D-skenerja s strukturirano svetlobo in računalniške tomografije (CT) – je pokazala, da ima vsaka tehnologija svoje prednosti in omejitve, ki jih je treba upoštevati glede na specifične izdelke in merilnega namena.

3D-skener s strukturirano svetlobo je najbolj natančen pri zajemu zunanje geometrije manjših komponent, kar potrjujejo nizka RMS-vrednost in zelo dobra skladnost s CAD-modelom. 3D laserski skener kljub nekoliko višjim odstopanjem ponuja večjo prilagodljivost glede velikosti merjencev in hitrost zajema.

CT-skeniranje statistično ne dosega enake površinske natančnosti kot optični sistemi, vendar ga odlikuje sposobnost celostnega zajema notranjih struktur, kar je ključnega pomena pri analizi komponent

z notranjimi votlinami, izvrtinami ali potencialnimi defekti.

Optimalna izbira tehnologije 3D-skeniranja ni univerzalna, temveč mora temeljiti na konkretnih zahtevah aplikacije – vrsti izdelka, zahtevani natančnosti, dostopnosti površin ter potrebi po notranji analizi. Kombinacija CT in optičnih metod se tako izkaže kot učinkovit pristop za celostni nadzor kakovosti industrijskih komponent.

Viri

- [1] Mitra, A.: *Fundamentals of Quality Control and Improvement*, John Wiley & Sons, 2016.
- [2] Tehnične specifikacije proizvajalca, (<https://www.zeiss.co.in/metrology/systems/cmms/bridge-type-cmms/xenos.html>).
- [3] Villarraga-Gómez, H., Lee, C., Smith, S.T.: Dimensional metrology with X-ray CT: A comparison with CMM measurements on internal features and compliant structures, *Precision Engineering* 51(2018)3, str. 291-307.
- [4] Dach, E., Bergauer, B., Seidel, A., von Wilmsky, C., Adler, W., Lell, M., Wichmann, M., Matta, R.-E.: Impact of voxel size and scan time on the accuracy of three-dimensional radiological imaging data from cone-beam computed tomography, *Journal of Cranio-Maxillo-Facial Surgery* 46(2018)12, str. 2190-2196.
- [5] Fuchs, P., Kröger, T., Garbe, C. S.: Defect detection in CT scans of cast aluminum parts: A machine vision perspective, *Neurocomputing* 453(2021)1, str. 85-96.
- [6] Liu, W., Chen, X., Zeng, W., Sun, W., Gorman, D., Wilson, A., Qi, Q., Scott, P., Jiang, X., Lou, S.: Comparison of X-ray computed tomography and coordinate-measuring system dimensional measurement for additive manufacturing parts using physical and simulation methods, *Measurement* 229(2024)1
- [7] Zhao, Y., Wang, X., Jiang, J., Zhou, L.: Characterization of interconnectivity, size distribution and uniformity of air voids in porous asphalt concrete using X-ray CT scanning images, *Construction and Building Materials* 213(2019)1, str. 182-193.
- [8] Gapinski, B., Wieczorowski, M., Marciniak-Podsadna, L., Dybała, B., Ziółkowski, G.: Comparison of different method of measurement geometry using CMM, optical scanner and computed tomography 3D-, *Procedia Engineering* 69(2014)1, str. 255-262.

Comparison of advanced 3d scanning technologies for quality control

Abstract:

3D scanning is a non-contact technology that can convert a physical object into a digital model, enabling the industry to perform reverse engineering and quality control (checking compliance with regulations). Advanced technologies such as 3D scanning are often used in quality control. However, these advanced techniques have certain limitations: for example, if an object has holes or if there is hidden damage inside, these methods cannot detect them. Such information is crucial for predicting the durability of a material and detecting hidden defects (cracks, presence of inclusions, material inhomogeneity). Therefore, our research focuses on comparing three different techniques for capturing three-dimensional data of an industrial aluminum product: 3D structured light scanning, 3D laser light scanning and scanning using computed tomography (CT). The aim was to compare individual techniques in terms of manufacturing accuracy compared to a CAD model and in terms of the amount and quality of information that each technique provides. In doing so, we considered whether the technique allows for the analysis of external geometric properties of materials and other important characteristics. The results of the research show that the combination of 3D scanning together with CT analysis makes sense for high-quality verification and better prediction of the service life of an industrial product.

Keywords:

3D scanning with structured light, 3D scanning with laser light, CT scanning, quality control

Zahvala

Raziskavo je sofinancirala Javna agencija za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije (ARIS) preko letnega delovnega programa Rudolfovega.

TEČAJI CFM-PC Z INTEGRIRANIM ELEKTRIČNIM KABLOM

Tečaji CFM-PC iz samougasljivega termoplasta (UL-94 V0) združujejo mehansko funkcijo klasičnega tečaja z možnostjo prenosa električnega toka iz podboja na vrata. Certifikat UL-94 V0 potrjuje, da material pri preizkusu navpičnega gorenja samogasne v 10 sekundah, ne da bi pri tem nastajale goreče kapljice. Takšna klasifikacija zagotavlja visoko stopnjo požarne varnosti pri stiku z viri toplote ali odprtim ognjem. Zaradi tega so tečaji posebej primerni za uporabo v industrijskih okoljih, laboratorijih in prenosnih napravah, kjer je zaščita pred požarom ključnega pomena.



Tečaji CFM-PC z integriranim električnim kablom

Funkcije in uporaba:

- ▶ Odpravlja potrebo po vidnih in estetsko motečih kablilih ali zunanjih kabelskih mostovih.
- ▶ Med odpiranjem in zapiranjem vrat ali konstrukcij tečaj učinkovito ščiti kable ter preprečuje njihovo poškodbo ali zatikanje ob ovire.
- ▶ Kompaktna zasnova in različne možnosti montaže ter izhoda kablov omogočajo hitro in enostavno vgradnjo.
- ▶ Vgrajeni 8-polni kabel uporabniku omogoča priključitev različnih naprav, kot so svetilke, električne ključavnice in ročaji z električnim stikalom.
- ▶ Tečaj CFM-PC je mogoče kombinirati z enim ali več dopolnilnimi tečaji CFM-PCN ali cevastimi ročaji z električno stikalno funkcijo EBR-SWM, EBR-SWB in M.2000-SWM. Pri horizontalnem odpiranju ali manjši masi vrat je mogoče uporabiti tudi samo en tečaj.
- ▶ Dopolnilni tečaji so na voljo v izvedbi iz supertermoplasta (CFM-PCN) in samougasljivega termoplasta (CFM-PCN-AE-V0).

Standardna izvedba je na voljo v dveh različicah:

- ▶ SH: prehodna izvrtina za vijake z ugreznjeno glavo,
- ▶ B: ponikljane medeninaste puše s slepo navojno izvrtino.

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.

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

SENZORSKE TIPKE CAPTRON

Nemško podjetje CAPTRON je vodilno na svetovnem trgu kapacitivnih senzorskih tipk in proizvaja visokokakovostne senzorje za merjenje nivoja, optično zaznavanje objektov in LED-signalizacijo.



Senzorske tipke CAPTRON

Senzorji in senzorski sistemi CAPTRON se uporabljajo v številnih panogah in že od leta 1983 služijo kot zanesljiv vmesnik med človekom in strojem ter med stroji. Podjetje ima več kot štiri desetletja izkušenj v razvoju industrijskih senzorjev, kar se odraža v visoki kakovosti, zanesljivosti in robustnosti njihovih izdelkov – skladno z njihovim vodilom: Kakovost, izdelana na Bavarskem.

Prednosti senzorskih tipk captron

Tehnične lastnosti, ki odlikujejo kapacitivne senzorske tipke CAPTRON:

- ▶ *Inkapsulirana elektronika in polikarbonatno ohišje* zagotavljata visoko vodoodpornost, odpornost na vremenske vplive in dolgo življenjsko dobo. Ker tipke nimajo mehanskih delov, so praktično brez vzdrževanja.
- ▶ *Brezstično delovanje, odpornost proti vandalizmu in neomejeno število preklopnih ciklov* omogočajo zanesljivo uporabo v industrijski avtomatizaciji, prometu, transportu in gradbeni tehniki.
- ▶ *Dostopnost za invalide* je zagotovljena z izrazito prepoznavnostjo stikal, ki vključuje jasen vizualni povratni signal, Braillovo pisavo ter otipljive reliefne simbole. Na voljo so tudi taktilni in zvočni povratni signali (vibracije, zvočni signal).
- ▶ *Enostavna montaža* omogoča hitro namestitvev

na stene, vrata ali steklo, kar zmanjšuje stroške vgradnje in čas montaže.

- ▶ *Možnost prilagoditev po meri:* CAPTRON ponuja razvoj posebnih simbolov, barv, tipov priključkov, kablov, taktilnih ali akustičnih povratnih informacij ter posebnih oblik ohišij. Po potrebi je možen tudi popolnoma nov razvoj v sodelovanju s stranko.
- ▶ *Kapacitivno preklapljanje skozi steklo* omogoča upravljanje brez mehanskih posegov v površino. Stikala za steklo se namestijo v predhodno prilepljene montažne obrobe, kar odpravlja potrebo po vrtanju lukenj.

Področja uporabe

Industrijska avtomatizacija

Izdelki CAPTRON imajo pomembno vlogo v industrijski avtomatizaciji in sistemskem inženiringu ter se uporabljajo pri upravljanju strojev, procesni opremi in proizvodnih linijah. Podjetje je danes uveljavljen specialist za kapacitivne in optične senzorske rešitve, prilagojene specifičnim potrebam industrijskih aplikacij.

Promet & transport

CAPTRON je zgodaj prepoznal potencial kapacitivne senzorske tehnologije v prometnih sistemih. Leta 1994 so bila njihova senzorska stikala prvič uporabljena v transportni tehniki, kjer so izkazala visoko zanesljivost, odpornost na vandalizem in dolgotrajno delovanje. Tehnologija se od takrat stalno izpopolnjuje in danes pokriva širok spekter transportnih aplikacij.

Gradbena tehnologija

Kapacitivna senzorska stikala se od leta 1994 uspešno uporabljajo tudi za odpiranje avtomatskih vrat v prometnem inženiringu. Zaradi nadaljnjega razvoja, optimizacije in razširitve funkcionalnosti so primerna tudi za sodobne javne zgradbe, poslovne objekte in zasebne hiše, kjer nudijo elegantno, robustno in brezstično upravljanje.

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

PIAB: PREDSTAVLJAMO VAKUUMSKO ČRPALKO DFE

Švedski proizvajalec vakuumske opreme PIAB, ki ga na slovenskem trgu zastopa podjetje INOTEH d. o. o., vam s ponosom predstavlja kompaktno in modularno sestavljivo vakuumsko črpalko DFE (Dual Function Ejector) za dolgotrajno in vsestransko uporabo.



Slika 1: Vakuumsko črpalko DFE

Model DFE vključuje inovativne funkcije, namenjene zagotavljanju operativne učinkovitosti tudi v zahtevnih in prašnih okoljih. Gre za z zrakom gnani (venturijev efekt) enostopenjski ejektor z dvojno funkcionalnostjo, ki jo omogočajo vgrajeni električni ventili za vklop/izklop vakuuma in izpihovanje. Z vgrajenim povratnim ventilom za vakuum DFE omogoča varčevanje z energijo in varnejše ravnanje z neporoznimi materiali, kot sta steklo ali pločevina.

»Cilj razvoja je bil ustvariti vakuumsko črpalko, ki bo uspevala v težkih, prašnih okoljih in hkrati zagotavljala ključne funkcionalnosti, ki bi poenostavile postavitve sistema,« pravi Christina Storckenfeldt, produktna vodja oddelka za vakuumsko avtomatizacijo pri podjetju Piab AB.

Ključne značilnosti črpalke:

- ▶ *kompaktna in robustna zasnova:* aluminijasto ohišje ejektorja zagotavlja odpornost in dolgo življenjsko dobo;
- ▶ *integriran električni ventil za vakuum:* poenostavlja integracijo v sisteme;
- ▶ *vgrajena funkcija izpihovanja:* omogoča hitrejši cikel prijemanja in odlaganja predmetov;
- ▶ *povratni ventil za vakuum:* varnejše rokovanje s težkimi predmeti in varčevanje z energijo;
- ▶ *zaščita IP65:* delovanje v prašnih in vlažnih industrijskih okoljih;
- ▶ *modularnost:* možnost priklopa na razdelilnike

za večnivojske sisteme;

- ▶ *širok razpon šob:* prilagoditev pretoku in stopnji vakuuma glede na aplikacijo.

Model DFE odraža zavezanost podjetja PIAB razvoju učinkovitih in zanesljivih rešitev za najrazličnejše vakuumske aplikacije.

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



REVUIA ZA FLUIDNO TEHNIKO, AVTOMATIZACIJO IN MEHATRONIKO
VENTIL

VIRTUALNI VPOGLED V GORIVNE CELICE S PROTONSKO IZMENJEVALNO MEMBRANO

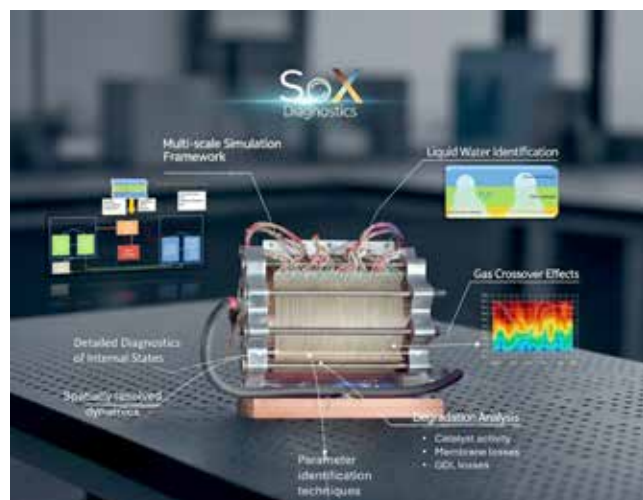
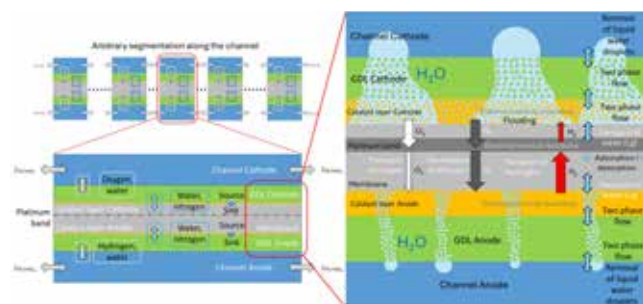
Raziskovalci Laboratorija za motorje z notranjim zgorevanjem in elektromobilnost na Fakulteti za strojništvo so razvili inovativno diagnostično metodologijo za gorivne celice s protonsko izmenjevalno membrano (PEMFC), ki jo omogoča večskalni modelski pristop.

Sočasna optimizacija delovnih pogojev in trajnosti PEMFC zahteva uporabo napredne diagnostike State-of-X (SoX), kjer SoX pomeni stanje delovnih pogojev (State-of-Operation-Conditions - SoOC), stanje zdravja (State-of-Health - SoH) in stanje delovanja (State-of-Function - SoF). Za razliko od trenutno uporabljenih metod SoX, ki temeljijo na izmerjenih električnih parametrih in zato omogočajo omejen vpogled v notranja stanja in parametre gorivne celice, kar posledično omejuje njihove diagnostične sposobnosti, omogoča razviti diagnostični pristop celovit virtualni vpogled v PEMFC. Tako razvita diagnostična metodologija, ki kot vhodni informaciji uporablja zgolj izmerjeni električni tok in napetost, omogoča nove funkcionalnosti SoX z inovativno uporabo modelsko osnovanega vpogleda v notranja stanja PEMFC in parametre, ki predstavljajo hitrost in učinkovitost reakcij ter transportnih mehanizmov.

Razvita diagnostična metodologija SoX omogoča izračun notranjih stanj gorivne celice v realnem času, kar pomeni, da omogoča funkcionalnost virtualnih zaznaval v realnem času in torej inovativno diagnostiko SoOC ter funkcionalnost digitalnega dvojčka. Podobno modelsko podprta analiza parametrov, povezanih s hitrostjo in učinkovitostjo reakcij ter transportnih mehanizmov, odpira nove diagnostične funkcionalnosti SoH, medtem ko obe funkcionalnosti podpirata inovativne funkcionalnosti SoF.

Ta zahtevni izziv so raziskovalci rešili z razvojem inovativne metode za diagnostiko SoX, ki temelji na računsko učinkovitem večskalnem modelskem pristopu za PEMFC, metodah identifikacije parametrov in metodah za ocenjevanje enolične določljivosti identifikacije parametrov, ki je bila objavljena v International Journal of Hydrogen Energy. Predlagani izvirni modelski pristop vključuje napreden podmodel za prostorsko razločeno dinamiko vode v kapljevitem stanju in novo razviti podmodel, ki upošteva vpliv učinkov prehoda plina čez membrano na mešane potenciale gorivne celice.

Rezultati potrjujejo sposobnost inovativne metodologije diagnostike SoX za napredno določanje notranjih stanj PEMFC in natančno določanje sprememb parametrov, ki so posledica degradacije in so povezane z aktivnostjo katalizatorja, izgubami v membrani in izgubami v plinski difuzijski plasti. Razvita metodologija diagnostike SoX je torej sposobna razbrati specifične prispevke posame-



Shematska predstavitev diagnostične metodologije SoX, ki temelji na metodah identifikacije parametrov, metodah za ocenjevanje enolične določljivosti identifikacije parametrov in računsko učinkovitem večskalnem modelskem pristopu za PEMFC, ki je predstavljen z 1D diskretizacijo vzdolž kanala in podrobnejšim popisom, povezanim z 1D diskretizacijo pravokotno na membrano, z označenimi učinki dinamike vode in prehoda plina skozi membrano.

znih komponent k napetostnim izgubam. Razvita metodologija torej odpira nova obzorja modelsko osnovane diagnostike gorivnih celic in predstavlja ključno orodje za napredne metode zaznavanja in določitve napak ter nove perspektive na področju strategij preprečevanja napak.

www.fs.uni-lj.si

Avtorji slike:

Andraž Kravos, Tomaž Katrašnik in Jon Hauptman

Avtorji 2025. CC-BY 4.0

INOVATIVNE REŠITVE ZA MAZANJE KOVIN V PROCESU OBDELAVE

Branko Šimac, Nejc Šega

Mazanje kovin je ključen proces v kovinskopredelovalni industriji, ki zagotavlja učinkovito in zanesljivo delovanje strojev ter podaljšuje njihovo življenjsko dobo. Pri preoblikovanju kovin, kot sta stiskanje in štancanje, je pravilno mazanje še posebej pomembno, saj zmanjšuje trenje, obrabo orodij in omogoča boljšo kakovost končnega izdelka. Mazalni sistemi za štancanje in stiskanje kovin so zasnovani tako, da zagotavljajo ustrezno količino maziva ter njegovo enakomerno razporeditev na vseh delovnih mestih, s čimer prispevajo k večji učinkovitosti proizvodnega procesa. V tem članku bomo raziskali pomen mazanja v kovinskih obdelavah ter predstavili ključne komponente in načine delovanja mazalnih sistemov v teh zahtevnih industrijskih procesih. Na voljo so različni sistemi.

Razpršilni sistem

Razpršilni sistem je sestavljen iz več ključnih elementov:

Pršilna kabina, opremljena z odstranljivimi razpršilnimi glavami. Razpršilne glave imajo več šob na zgornji in več na spodnji strani. Njihovo število je odvisno od dimenzije obdelovanca.

Osnovna rešitev vključuje 24-litrsko tlačno posodo za mazivo in rezervoar za zbiranje odpadnih produktov. Možno je dodati še dodaten rezervoar za upravljanje z različnimi olji ter čistilni sistem. To preprečuje kontaminacijo (onesnaženje) pri prehodu z enega olja na drugo.

Upravljalca lahko z njegovo pomočjo enostavno upravlja vse parametre mazanja, vključno z izbiro programov, prilagojenih mazanju različnih izdelkov, nastavitvijo količine olja, nastavitvijo prilagoditev razpršilnega zraka.

Promax in Lubodie mazalni sistemi

Promax in Lubodie mazalni sistemi so idealni za različne obdelovalne procese, kjer je natančno doziranje maziva ključnega pomena. Gre za prilagodljive sisteme za mazanje s pršenjem, ki omogočajo hitro menjavo in nastavitve parametrov glede na izdelek. Zasnova omogoča pokrivanje širine obdelovanca od 200 mm do 800 mm. Opcija je tudi



Slika 1 : Mazalni sistemi za štancanje in stiskanje kovin zagotavljajo enakomerno razporeditev maziva na vseh delovnih mestih, s čimer prispevajo k večji učinkovitosti proizvodnega procesa.



Slika 2 : Sistem Promax omogoča tudi do 80-odstotno zmanjšanje porabe maziva v primerjavi s tradicionalnimi metodami.

Branko Šimac, produktni vodja, **Nejc Šega**, oba Hennlich, d. o. o., Kranj, simac@hennlich.si

© Avtorji 2025. CC-BY 4.0



Slika 3 : Zaradi preproste zasnove in nizkih zahtev po čiščenju sistem Promax zagotavlja dolgo in brezhibno delovanje brez večjih posegov.

dodatno mazanje kritičnih območij. Na voljo so dodatni enojni razpršilni ventili (lubo-die), ki omogočajo ciljno mazanje kritičnih območij neposredno v kalupu (orodju). To zagotavlja optimalno zaščito in podaljšuje življenjsko dobo orodja.

Sistem ne omogoča le izboljšanja kakovosti, ampak tudi optimizacijo delovnega procesa, saj zagota-

vlja popoln nadzor in visoko zanesljivost postopka mazanja, omogoča tudi do 80-odstotno zmanjšanje porabe maziva v primerjavi s tradicionalnimi metodami ter zmanjšuje razprševanje, kar vodi do čistejšega in varnejšega delovnega prostora. Sistem dosega popolno ponovljivost in standardizacijo rezultatov ter poenostavljeno vzdrževanje in menjavo maziv.

PROMAX ponuja pomembne tehnične prednosti, ki neposredno vplivajo na vaš poslovni rezultat, kot so hitra povrnitev naložbe in varčevanje, natančen nanos brez oljne meglice in enostavna namestitve.

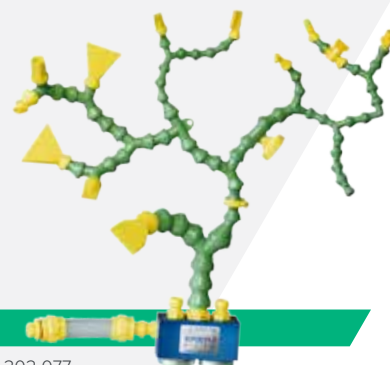
Omogoča ciljno mazanje izbranih površin, kar zagotavlja učinkovitost in manjšo porabo maziva. Sestavljajo ga pršilna kabina, tlačna posoda za mazivo, nadgraditi pa ga je mogoče z dodatnimi komponentami: sistem za odsesavanje oljne meglice, senzor nivoja, enota Lubo-die.

Namestitev in vzdrževanje sistema Promax sta zelo preprosta. Zaradi preproste zasnove in nizkih zahtev po čiščenju sistem zagotavlja dolgo in brezhibno delovanje brez večjih posegov. Za več informacij se obrnite na podjetje HENNLICH d. o. o.



SISTEM LEGROM VARIO 1 IDEJA - 1000 REŠITEV

- » Prilagodljiv sistem cevi za nanašanje, odpihavanje ali odsesavanje.
- » Natančno usmerjanje tekočine ali maziva.
- » Hitra montaža in številne možnosti kombiniranja.
- » Odpornost na kemikalije in stabilnost pri visokih tlakih.



www.hennlich.si

HENNLICH d.o.o., Ul. Mirka Vadnova 13, 4000 Kranj / Pokličite nas: 041 302 077

OGLAŠEVALCI

- | | |
|--|--|
| ▶ CELJSKI SEJEM, d. d., Celje347 | ▶ OMEGA AIR, d. o. o., Ljubljana309, 373 |
| ▶ FESTO, d. o. o., Trzin309 | ▶ OPL AVTOMATIZACIJA, d. o. o, Trzin309 |
| ▶ GIA-S, d. o. o., Grosuplje309 | ▶ POCLAIN HYDRAULICS, d. o. o, Žiri310 |
| ▶ HENNLICH, d. o. o., Kranj371 | ▶ PPT COMMERCE, d. o. o., Ljubljana309 |
| ▶ HPE, d. o. o., Ljubljana309 | ▶ PROFIDTP, d. o. o., Škofljica359, 374 |
| ▶ ICM, d. o. o., Griže318, 375 | ▶ SEAL & TRADE, d. o. o., Maribor309 |
| ▶ INOTEH, d. o. o., Bistrica ob Dravi371 | ▶ STROJNISTVO.COM, Ljubljana368 |
| ▶ JAKŠA, d. o. o., Ljubljana318 | ▶ UL, Fakulteta za strojništvo319, 339 |
| ▶ La & Co., d. o. o., Limbuš309 | ▶ UNIFOREST, d. o. o., Prebold359 |
| ▶ MIEL Elektronika, Velenje309 | ▶ YASKAWA, d. o. o., Ribnica332 |

ALTERNATIVNI FILTRIRNI VLOŽKI ZA STISNjeni ZRAK ZA ZNIŽANJE STROŠKOV VZDRŽEVANJA – IZDELANI PO TEHNOLOGIJI OMEGA AIR

V industrijskih sistemih stisnjenega zraka predstavljajo stroški vzdrževanja pomemben delež skupnih obratovalnih stroškov. Eden ključnih dejavnikov so filtrirni vložki, ki morajo zagotavljati visoko učinkovitost filtracije, hkrati pa omogočati nizke padce tlaka in dolgo življenjsko dobo. V članku predstavljamo alternativne filtrirne vložke, razvite po napredni tehnologiji podjetja OMEGA AIR, ki združujejo zanesljivo stopnjo filtracije z nizkimi obratovalnimi stroški.

Filtracija stisnjenega zraka je ključna za zagotavljanje zanesljivega delovanja pnevmatskih sistemov, zaščito opreme in končnega izdelka. Kljub temu so originalni filtrirni vložki pogosto povezani z visokimi stroški, zato se številna podjetja obračajo k alternativnim rešitvam. Pomembno pa je, da alternativni vložki ne predstavljajo kompromisa glede učinkovitosti, kakovosti in varnosti.

Tehnologija izdelave alternativnih vložkov OMEGA AIR

Podjetje OMEGA AIR d. o. o. Ljubljana je razvilo lastno tehnologijo izdelave alternativnih filtrirnih vložkov, ki se lahko uporabljajo kot zamenjava za številne originalne vložke vodilnih svetovnih proizvajalcev. Osnovne prednosti tehnologije vključujejo:

- ▶ večplastni filtrirni material z optimiziranim tokom zraka,
- ▶ zmanjšane tlačne padce v primerjavi s konkurenčnimi vložki,
- ▶ dolgo življenjsko dobo vložkov ob ohranjeni učinkovitosti filtracije in
- ▶ zanesljivo odstranjevanje oljnih aerosolov in trdnih delcev.

Nizki tlačni padci – ključ za energetsko učinkovitost

Padci tlaka neposredno vplivajo na porabo električne energije kompresorja. Z vsakim dodatnim 0,1 bar padca tlaka se lahko poraba energije poveča za do 1 %. Vložki OMEGA AIR so zasnovani z napredno geometrijo filtrirnih materialov in optimizirano površino, kar zagotavlja:

- ▶ začetni tlačni padec znaša 80 mbar (0,08 bar),
- ▶ stabilen pretok v celotni življenjski dobi ter
- ▶ zmanjšano obremenitev kompresorskega sistema.

S tem prispevajo k nižjim stroškom električne energije in manjši potrebi po pogostih menjavah.

Deli filterskega vložka



Slika 1 : Sestava filterskega vložka

Ustreznost stopnje filtracije

Alternativni vložki OMEGA AIR so razvrščeni po stopnjah filtracije, skladno z zahtevami standarda ISO 8573-1. S tem zagotavljajo ustrezno kakovost zraka za različne industrijske aplikacije – od splošnih pnevmatskih sistemov do zahtevnih aplikacij v živilski, farmacevtski in kemični industriji.

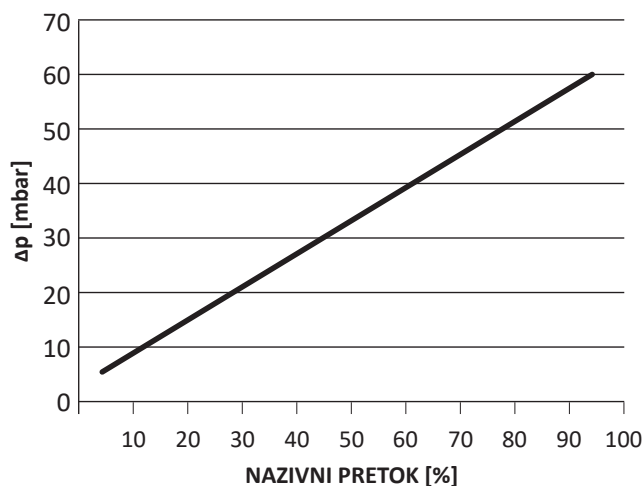
Primeri tipičnih razredov filtracije:

- ▶ P (grob filter): odstranjevanje trdih delcev $<3 \mu\text{m}$,
- ▶ XM (mikrofilter): odstranjevanje trdnih delcev $<1 \mu\text{m}$, odstranjevanje oljnih delcev $<0,1 \text{ mg/m}^3$,
- ▶ XS (super mikrofilter): odstranjevanje trdnih delcev $<0,01 \mu\text{m}$, odstranjevanje oljnih delcev $<0,01 \text{ mg/m}^3$,
- ▶ A (aktivno oglje): odstranjevanje oljnih delcev $<0,005 \text{ mg/m}^3$.

Kompatibilnost in ponudba

OMEGA AIR ponuja širok nabor alternativnih vložkov, ki so združljivi z modeli filtrirnih ohišij različnih proizvajalcev, kot so Atlas Copco, Kaeser, Ingersoll Rand, Boge, CompAir, Abac, Donaldson, Parker, Domnini Hunter in mnogi drugi. Skladnost filtrirnih elementov s standardom ISO 8573-1 preizkuša Inštitut za energijo in okoljsko tehnologijo (IUTA Nemčija) v Duisburgu-Essnu in izpolnjujejo vse tehnične zahteve, kar omogoča enostavno zamenjavo brez posegov v sistem.

Alternativni filtrirni vložki, izdelani po tehnologiji OMEGA AIR, predstavljajo zanesljivo in cenov-



Slika 2 : Rezultat testiranja tlačnega padca v skladu z ISO12500-2 za vložek 06050 A, testirano z N-Hexane, testna koncentracija 100 mg/kg, 80 % nasičenost

no učinkovito rešitev za industrijske uporabnike, ki iščejo znižanje stroškov vzdrževanja brez kompromisov glede kakovosti. Z nizkimi tlačnimi padci, dolgo življenjsko dobo in potrjeno stopnjo filtracije se uvrščajo med najboljše in najširše alternative na trgu stisnjenega zraka.

www.omega-air.si

© Avtorji 2025. CC-BY 4.0

 OMEGA AIR <i>more than air</i> OMEGA AIR d.o.o. Ljubljana Cesta Dolomitskega odreda 10 SI-1000 Ljubljana, Slovenija www.omega-air.si T +386 (0)1 200 68 00 info@omega-air.si	 N₂	 O₂	RAZPON TLAKOV 1000 mbar 16 bar, 50 bar 100 bar, 250 bar 420 bar
 Air	 H₂	 CO₂	MEDIJI stisnjen zrak vakuum N₂, O₂, CNG, dihalni zrak CO₂, H₂, He
	 He	 CNG	TOČKE ROSIŠČA +3°C -25°C -40°C -70°C

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 6

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, d. o. o., Ribnica
- ▶ prof. dr. Ivan BAJSIČ, Univerza v Novem mestu, Fakulteta za strojništvo
- ▶ mag. Aleš BIZJAK, POCLAIN HYDRAULICS, d. o. o., Žiri
- ▶ doc. dr. Andrej BOMBAČ, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo
- ▶ prof. dr. Alexander CZINKI, Fachhochschule Aschaffenburg, ZR Nemčija
- ▶ prof. dr. Janez DIACI, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo
- ▶ prof. dr. Jože DUHOVNIK, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo (upokojen)
- ▶ izr. prof. dr. Miroslav HALILOVIČ, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo
- ▶ prof. dr. Niko HERAKOVIČ, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo
- ▶ dr. Robert IVANČIČ, INTECH-LES, d. o. o., Rakek
- ▶ dr. Milan KAMBIČ, OLMA, d. o. o., Ljubljana
- ▶ doc. dr. Gorazd KARER, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko
- ▶ prof. dr. Mitjan KALIN, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo
- ▶ prof. dr. Roman KAMNIK, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko
- ▶ izr. prof. dr. Damjan KLOBČAR, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo
- ▶ prof. dr. Darko LOVREC, Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo
- ▶ izr. prof. dr. Franc MAJDIČ, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo
- ▶ prof. dr. Hubertus MURRENHOF, RWTH Aachen, ZR Nemčija
- ▶ izr. prof. dr. Dragica NOE, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo (upokojena)
- ▶ Bogdan OPAŠKAR, FESTO, d. o. o., Ljubljana (upokojen)
- ▶ dr. Jože PEZDIRNIK, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo (upokojen)
- ▶ prof. dr. Jože RITONJA, Univerza v Mariboru, FERi
- ▶ prof. dr. Katarina SCHMITZ, RWTH Aachen, ZR Nemčija
- ▶ prof. dr. Riko ŠAFARIČ, Univerza v Mariboru, FERi
- ▶ Janez ŠKRLEC, inž., uredništvo revije Ventil, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo
- ▶ doc. dr. Marko ŠIMIC, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo
- ▶ prof. dr. Željko ŠITUM, Fakultet strojarstva i brodogradnje Zagreb, Hrvaška
- ▶ prof. dr. Janez TUŠEK, TKC, d. o. o., 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 V ODPRTEM DOSTOPU. 

Znanstveni članki v reviji Ventil so recenzirani. Revija Ventil je indeksirana v podatkovni bazi DOAJ.

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.

NEPOGREŠLJIV VIR INFORMACIJ ZA STROKO

Predstavitev strokovnih prispevkov
Strokovna razstava | Aktualna okrogla miza
Podelitev priznanja TARAS



FORUM ZNANJA IN IZKUŠENJ

Dogodek je namenjen vsem, ki delujejo v industrijskem okolju ali za industrijo. Na forumu predstavljamo dosežke in novosti, inovativne rešitve, primere prenosa znanja in izkušenj ter njihove uporabe v industrijskem okolju, pri čemer je pozornost usmerjena tako na nove zamisli, zasnove in metode, kot tudi na tehnologije in orodja. Forum je tudi prostor, kjer osvetlimo resnično stanje v industriji, njene zahteve in potrebe. Posebna pozornost je namenjena uspešnim aplikativnim projektom raziskovalnih organizacij, inštitutov in univerz, izvedenih v industrijskem okolju, ter prenosu uporabnega znanja iz znanstveno-raziskovalnega okolja v industrijo.

Priznanje TARAS za

najuspešnejše sodelovanje
znanstvenoraziskovalnega okolja
in gospodarstva na področju
inoviranja, razvoja in tehnologij.



Portorož, 8. in 9. junij 2026

www.forum-irt.si

IFAM-INTRONIKA-ROBOTICS

17.-19. 2. 2026

Ljubljana

