

VENTIL

ISSN 1318 - 7279

Letnik 29 / 2023 / 6 / December

Fakulteta za
strojništvo z novo
raziskovalno opremo

Projektiranje in
krmiljenje miniaturnih
vodnih plovil

Trajnostno preizkušanje
hidravličnih zobniških
črpalk

Avtomatizacija
tehnoloških
procesov


EMERSON
Process Management

BETTIS™

 **BIFFI**

 **Field**

FISHER
Dantorque

HYTORK
Shafer®



EL Matic™



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

Univerza v Ljubljani
Fakulteta za strojništvo



FESTO

 **POCLAIN**
Hydraulics

 **Parker**

la&co

Sinergija premikanja. Hidravlika. Pnevmatika. Linearna tehnika.

 **Procon**



MIEL  **omron**
www.miel.si

ppt commerce

OPL

hpe
www.hpe.si info@hpe.si

OMEGA AIR
more than air

ZAVORNE REŠITVE

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

VSESTRANSKOST / VARNOST / ENOSTAVNOST UPORABE / ERGONOMIJA



Ventil za delavno zavoro



Ventil za parkirno zavoro



Ventil za polnjenje akumulatorja



Zavorni ventil za dvolinijski zavorni sistem – traktor



NOVO



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

www.poclain-hydraulics.com



PRIMERJAVA



Človek se celo življenje primerja. Že dojenčka starši primerjajo s sorodniki in z drugimi novorojenčki. Podobno je, ko gre otrok v vrtec in kasneje v šolo. Predvsem so starši tisti, ki zelo radi primerjajo svojega otroka z drugimi. Zdi se mi, da to starši počnejo vedno pogosteje in nekritično povzdigujejo svojega otroka nad druge. Mislim, da mnogi ne ločijo, kaj pomeni imeti svojega otroka rad in kaj pomeni otroka ocenjevati z argumenti. S preverjanjem znanja se šolajoči otroci in dijaki primerjajo s celotno generacijo. Ko pride dijak na fakulteto, je prav tako eno samo primerjanje. Vsa merila o znanju, vedenju in drugem temeljijo na primerjavi z najboljšimi in najuspešnejšimi.

Tudi v športu je ena sama primerjava. Olimpijsko zlato medaljo dobi tisti, ki je na trenutnih igrah najboljši, pa ne glede na to, ali je dosegel dober ali slab rezultat. Jurij Sedih, na primer, je leta 1986 v Stuttgartu v metu kladiva dosegel daljavo 86,74 metra, kar je še danes svetovni rekord. Ali pa Štefka Konstantinova je s skokom v višino 209 cm v Rimu postavila svetovni rekord za ženske, ki velja še danes. Vse od takrat pa do danes so v omenjenih disciplinah dobivali zlate medalje tekmovalci s slabšim rezultatom.

Podobno je v službah. Uspeh zaposlenega in predvsem njegovo napredovanje se merita primerjalno, redko kdaj v absolutnih merilih. Na primer: za izvolitev v rednega profesorja na Fakulteti za strojništvo so bila merila pred tridesetimi leti zelo skromna, tudi pred dvajsetimi leti jih je lahko dosegel skoraj vsak, ki je delal v normalnem tempu s povprečnim delom. Danes pa so zaradi primerjave z najbolj uspešnimi profesorji ta merila izjemno zahtevna in jih ne more doseči vsak. To pomeni, da so merila primerjava me bolj in manj uspešnimi znanstveniki.

Ne samo posamezniki tudi ustanove, podjetja, združenja in celo države ter narodi se primerjajo med seboj. Poznamo številne mednarodne organizacije, ki izvajajo razne primerjalne lestvice in tabele posameznih držav. Med njimi ja najbolj znana organizacija OECD (Organisation for Economic Cooperation and Development), ki pokriva predvsem ekonomske razmere, razvoj in izobraževanje v posameznih državah.

In kaj je bistvo tega uvodnika in kaj vzbuja zaskrbljenost, da slovenska družba ali kot država padamo praktično na vseh primerjalnih lestvicah. In prav mednarodna primerjava Slovenije z drugimi državami je lahko priložnost, da naredimo korake naprej v pravo smer.

Med bolj zaskrbljujočimi dejstvi je, da Univerza v Ljubljani pada na mednarodnih lestvicah kakovosti. Kaj to pomeni za naše študente, naše diplomante in predvsem za njihovo kariero v bodoče? Prav gotovo nič dobrega.

Prav tako vzbuja skrb, da padamo na lestvicah ekonomske učinkovitosti, ekonomske stabilnosti, na lestvicah bralne pismenosti naše mladine, zelo slabi smo na lestvici stopnje inflacije, padamo na lestvicah varnosti, slovenski sodniki so drugi najhujši kršitelji človekovih pravic v Evropi in tako naprej.

Prav gotovo je za nas navadne občane najbolj pomembna varnost. Pred dvema letoma smo bili tretja najbolj varna država na svetu. V lanskem letu smo padli na osmo mesto. Glede na podatke o napadih migrantov na različnih koncih naše države lahko pričakujemo, da bomo v tem letu padli še mnogo nižje.

Inflacija je ekonomski izraz in pomeni vsesplošno rast cen blaga in storitev. V Sloveniji je inflacija med najvišjimi v Evropi.

Zadnja mednarodna raziskava bralne pismenosti (angleško Progress in International Reading Literacy Study – PIRLS) je pokazala skrb vzbujajoče rezultate, saj so slovenski učenci dosegli pomembno nižji povprečni rezultat v primerjavi z raziskavo iz leta 2016.

Slovenija se je na letošnji lestvici konkurenčnosti švicarskega inštituta IMD med 64 državami uvrstila na 42. mesto, kar je za štiri mesta slabše kot lani.

Toliko govorimo o medijski svobodi, pa smo celo tu na mednarodni primerjavi v zadnjem letu izgubili nekaj mest.

To so skrb vzbujajoči rezultati, ki jih ni mogoče odpraviti čez noč. Tudi ena vlada ali v obdobju enega mandata vlade vsega tega ni mogoče izboljšati. To je nacionalni problem. Tega bi se morala zavedati celotna družba – od vzgojiteljic v vrtcu, učiteljev v vseh šolah, profesorjev na univerzah, vseh poslancev in predvsem politikov.

Da pa ne bomo samo kritizirali, lahko zapišemo, da sta strojništvo pri nas in naša industrija še vedno v dobri kondiciji. To pa za to, ker jo vodijo predvsem tehnično izobraženi ljudje. Žal pa nam politika trenutno sploh ni naklonjena.

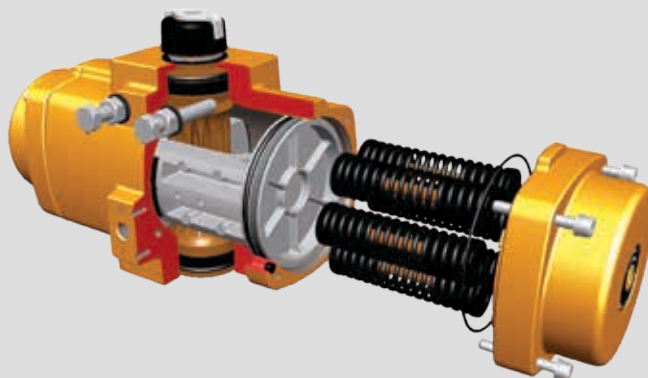
Janez Tušek




EMERSON™
Process Management



EL Matic™



Field



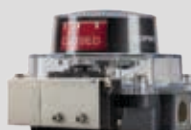
BETTIS™



 **BIFFI**



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	354
INTERVJU	
Janez Tušek	
Andraž Rumpret, direktor podjetja Iskra PIO	356
PREDSTAVITEV	
Tanja Potočnik Mesarić	
Nova raziskovalna oprema za prebojne raziskave in še bolj poglobljeno sodelovanje z gospodarstvom – 2. del	360
NOVICE • ZANIMIVOSTI	364
BIONIKA	
Janez Škrlec	
Umetna inteligenca, digitalizacija, amorfno računalništvo in bionični sistemi za prihodnje industrije	372
PNEVMATSKA TEHNIKA	
Željko Šitum, Juraj Benić, Toni Fain, Pavao Kaštelan	
Design and control of miniature water vessels	376
HIDRAVLICNE ZOBNIŠKE ČRPALKE	
Nejc Novak, Ana Trajkovski, Mitjan Kalin, Franc Majdič	
Trajnostno preizkušanje hidravličnih zobniških črpalk	384
AVTOMATIZACIJA TEHNOLOŠKIH PROCESOV	
Jure Erjavec	
Avtomatizacija tehnoloških procesov z uporabo naprednih simulacijskih orodij v procesni industriji	392
AKTUALNO IZ INDUSTRIJE	
Čisti zapahi (ELESA+GANTER)	400
NOVOSTI NA TRGU	
Rotacijske enote Deublin (INOTEH)	401
Pnevmatske in mehanske ekspanzijske gredi za papirno industrijo VORWALD (INOTEH)	401
PIAB razvijajoča se avtomatizacija (INOTEH)	402
Nova serija G2RV-ST industrijskih elektromehanskih 6-milimetrskih relejev (MIEL Elektronika)	403
PODJETJA PREDSTAVLJAJO	
Cenovno ugodni moduli Robolink® za učinkovito avtomatizacijo v proizvodnji (HENNLICH)	404
Izvajanje pregledov kakovosti stisnjenega zraka v skladu s standardom ISO 8573-1 (OMEGA AIR)	408

POSVET ASM '23

Na GZS v Ljubljani je 06. decembra potekal tradicionalni, že devetnajsti strokovni posvet na temo Avtomatizacija strege in montaže 2023 – ASM '23. Posvet, ki je najpomembnejši dogodek v Sloveniji s področja strege in montaže, je organiziral Laboratorij za strego, montažo in pnevmatiko (LASIM) Fakultete za strojništvo, Univerza v Ljubljani, soorganizatorja dogodka pa sta bila Gospodarska zbornica Slovenije ter Kompetenčni center za sodobne tehnologije vodenja – Zavod KC STV.



Udeleženci posveta ASM '2023

Glede na trenutne razmere v gospodarstvu in družbi je bil posvet zelo dobro obiskan, saj se ga je udeležilo preko 130 udeležencev iz kar 47 podjetij, iz štirih raziskovalnih in izobraževalnih institucij ter iz treh medijev. Dober in raznovrsten obisk kaže na veliko zanimanje za ta dogodek in predvsem na pomembnost področja avtomatizacije strege in montaže v gospodarstvu. Za posvet ASM danes že kar velja, da je postal dogodek, na katerem enostavno moraš biti prisoten, če deluješ na področju strege in montaže.

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. Predavatelji na posvetu so izhajali iz sledečih organizacij: GZS – Združenje kovinske industrije, Zavod KC STV, ABB, d. o. o., Yaskawa, Fanuc Adria, d. o. o., DAX, d. o. o., Miel, d. o. o., ControlTech, d. o. o., Interroll d. o. o., GOinfo d. o. o., K2 Pak d. o. o., Kolektor Sisteh d. o. o., LEOSS, d. o. o., Digiteh d. o. o., IM d. o. o., Laboratorij LAK – Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Aviat Networks, Telekom Slovenije d. d., Luka Koper, INTERNET INSTITUT d. o. o., Laboratorij LASIM – Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Olma d. o. o., ALL-AI Consulting, Ptica – zavod, Salesqueeze d. o. o. ter Kibernova s. p.

Organizator je skupaj z avtorji iz različnih podjetij pripravil izredno zanimivo srečanje, ki ga je podprlo 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 preko dveh večjih promocijskih zaslonov. Posvet ASM '23 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 in izkušenj.

Vsem udeležencem se za obisk in sodelovanje na ASM '23 najlepše zahvaljujemo. Vse zainteresirane pa vabimo, da se nam kot soorganizatorji ali udeleženci pridružijo na naslednjem posvetu ASM, ki ga načrtujemo v letu 2024.

Več utrinkov s posveta ASM '23 je dostopnih na spletni strani www.posvet-asm.si.

Dr. Mihael Debevec, UL, Fakulteta za strojništvo

IZR. PROF. DR. MATJAŽ PREK

Življenje je preplet lepih in žalostnih dogodkov. Lepi nam ostanejo v spominu, obujamo jih z najbližjimi in prijatelji, žalostni nas nekako za vedno spremenijo. In nenadno slovo izrednega profesorja Matjaža Preka, sodelavca Katedre za toplotno in okoljsko tehniko in Laboratorija za ogrevalno, sanitarno in solarno tehniko ter klimatizacijo več kot 4 desetletja, je tak trenutek.



Profesor Prek se je rodil leta 1958 v Ljubljani. Po končani viški gimnaziji se je leta 1977 vpisal na našo fakulteto. Diplomiral je leta 1982 pod mentorstvom prof. Novaka. Leta 1984 se je na fakulteti zaposlil. Sodelavec fakultete je ostal vso poklicno kariero. V prvem obdobju dela na fakulteti se je posvečal raziskavam ukrepov učinkovite rabe energije v stavbah, kasneje v okviru magistrske naloge raziskavam toplotnih in hidravličnih razmer v razvodu sistemov daljinskega ogrevanja. Doktorsko disertacijo, v kateri je raziskoval šumnost v hidravličnih mrežah, je obranil leta 1998. Na podoktorskem izpopolnjevanju je deloval na Fraunhofer Institute v Stuttgartu v skupini Bauphysik - Bauakustik pod vodstvom Prof.

Dr.-Ing. habil. Karla Gertisa. V kasnejšem obdobju se je posvečal raziskavam bivalnega ugodja v stavbah in tehnologijam stavbnih instalacij. Vodstvene funkcije je opravljal kot vodja oddelka za sanitarno tehniko v Centru za energetske in ekološke tehnologije (CEET) in kot operativni vodja v Laboratoriju za ogrevalno, sanitarno in solarno tehniko ter klimatizacijo. Njegovo delo je bilo cenjeno v mednarodnem prostoru, saj je bil član organizacijskih in znanstvenih odborov mednarodnih konferenc, na mnogih tudi kot vabljeni predavatelj.

Velik prispevek k razvoju naše fakultete pa je profesor Prek ustvaril s pedagoškim delom. Več kot 100 študentov je zaključno nalogo na vseh stopnjah študija izdelalo pod njegovim mentorstvom. Študenti so cenili Mažijev pošten in spodbujevalni odnos kot tudi njegovo vedro naravo in smisel za humor.

Kolega Prek je izkušnje in znanje prenašal kolegoma s pripravo strokovnih publikacij in organizacijo strokovnih srečanj ter kot predavatelj na strokovnih izobraževanjih, med drugimi na izobraževanjih za energetske svetovalce, neodvisne strokovnjake za izdelavo energetskih izkaznic stavb ter neodvisne strokovnjake za preglede klimatskih naprav. Več kot dve desetletji je bil član več izpitnih komisij na strokovnih izobraževanjih.

Prijatelji na fakulteti smo Mažiju hvaležni za njegov topel in vedno pošten, nežaliv in nikoli zahrbtn odnos do sodelavcev. Ob izgubi najbližjega izrekamo iskreno sožalje njegovi družini.

Prof. dr. Sašo Medved, predstojnik
Fakulteta za strojništvo, UL
Katedra za toplotno in okoljsko tehniko

ANDRAŽ RUMPRET, DIREKTOR PODJETJA ISKRA PIO

Janez Tušek

Spoštovani gospod Andraž Rumpret, direktor podjetja Iskra PIO, d. o. o., Šentjernej, prosim vas, da za bralce revije VENTIL odgovorite na nekaj vprašanj, da bolje spoznamo vaše podjetje, njegovo dejavnost, poslanstvo in pomen v slovenskem in globalnem prostoru.



Andraž Rumpret, direktor Iskra PIO

Ventil: Prosim, gospod direktor, da na kratko predstavite vaše podjetje, njegovo zgodovino, dejavnost, število zaposlenih, vaše trge, kupce in podobno.

Andraž Rumpret: Iskra PIO d. o. o. je gospodarska družba z domačim kapitalom, ki ima sedež in proizvodne prostore v Šentjerneju na Dolenjskem. Naši osnovni dejavnosti sta projektiranje in izdelava opreme za čisto in čistilno tehnologijo. Dodatno se ukvarjamo z validiranjem opreme in čistih prostorov in tako naš program dopolnjujemo z vrednotenjem in ugotavljanjem ustreznosti lastne in konkurenčne opreme. Poglavitni naročniki naših proizvodov so farmacevtska in biotehnoška podjetja, medicinske ustanove, lekarne ter raziskovalni inštituti doma in v tujini. Z intenzivnim zaposlovanjem visoko strokovnega tehničnega kadra se vsako leto povečujeta obseg proizvodnje in naša razvojna moč, prav tako napredujeta tudi kakovost in zahtevnost naših izdelkov. Tujemu trgu namenjamo 70 % proizvodnje. Dejavnost smo pričeli izvajati leta 1991 s takrat 18 zaposlenimi. Danes je v podjetju zaposlenih več kot 160 sodelavcev, od tega več kot 50 razvojnih inženirjev. Projektiramo opremo, razvijamo strojni in elektronski del proizvodnje, konstruiramo stroje

in naprave in jih tudi tehnološko obdelamo. Zaradi posebnosti narave dela se v podjetju ukvarjamo tudi s ciljno usmerjenimi razvojnimi projekti, pri tem pa sodelujemo s konzorcijskimi partnerji. Tu nastopamo v vlogi partnerja in tudi v vlogi vodilnega partnerja projekta. Podjetje Iskra PIO se uspešno razvija in postaja priznan razvojni dobavitelj najzahtevnejših rešitev z visoko vrednostjo na globalnem trgu farmacevtske in biotehnoške industrije.

Ventil: Dejavnost vašega podjetja bi lahko uvrstili na področje mehatronike. Izraz mehatronika se je pojavil pred dobrima dvema desetletjema. Prosim vas, pojasnite, kaj vi razumete s tem izrazom.



Dvojni dvigni sistem za mletje in sejanje praškastih surovin



Izolator za sintezo visoko aktivnih učinkovin

Andraž Rumpret: Pred dvema desetletjema, ko se je izraz mehatronika začel uporabljati, smo imeli v mislih predvsem združevanje mehanskih in elektronskih sestavin v enotne sisteme. Cilj je bil ustvariti inženirsko prakso, ki bi povezala tradicionalni tehnološki disciplini, kot sta strojništvo in elektrotehnika, v razvoj celovitih in inteligentnih sistemov. V našem današnjem kontekstu podjetja Iskra PIO, kjer se osredotočamo na opremo za čisto in čistilno tehnologijo, mehatroniko razumemo kot integracijo mehanskih komponent in elektronskih sistemov ob sočasni avtomatizaciji naših proizvodov v medsebojno povezane visokotehnološke rešitve. To pomeni, da naši izdelki vključujejo premišljeno združevanje fizičnih komponent, kot so stroji in naprave, z elektronskimi sistemi. Ti sistemi omogočajo avtomatizacijo, nadzor in pogosto tudi povezljivost s sodobnim informacijskim zaledjem. Mehatronika v našem poslovnem kontekstu torej ni le tehnološki trend, temveč ključen pristop k razvoju in oblikovanju inovativnih rešitev za naše naročnike v farmacevtski in biotehnološki industriji.

Ventil: Živimo v turbulentnih časih, v času visoke inflacije, delno tudi gospodarske krize in delno že recesije (to velja za nekatere najbolj razvite države). Kako vaše podjetje preživlja ta čas in kaj svetujete, kako naj podjetniki delujejo v takšnih časih?

Andraž Rumpret: V današnjem gospodarskem okolju in času je ključnega pomena naš aktiven in ustrezen odziv na spremenljive razmere. Naša močna utež je znanje, ki ga razvijamo in prelivamo v produkte z visoko dodano vrednostjo, po katerih je na trgu povpraševanje. To je izhodišče. Temu pa dodajamo prilagodljivost in tudi fleksibilnost v okviru našega strateškega fokusa. Portfelj izdelkov in storitev razpršimo in s tem zmanjšujemo tveganja. Investiramo v raziskave, razvoj in inovacije. Izvajamo vsebine, ki smo jih opredelili v Digitalni strategiji podjetja. Skrbimo za razvoj zaposlenih in za razvoj medgeneracijskega sodelovanja. Aktivno sodelujemo s partnerji in se vključujemo v različne ekosisteme za dostop do novih poslovnih priložnosti in tudi na ta način zmanjšujemo tveganja. Z zaposlenimi imamo lep odnos.

Ventil: Vse razvite države v svetu, Evropska skupnost in tudi Slovenija namenjajo kar nekaj denarja za raziskave in razvoj oziroma za sofinanciranje raziskovalnih projektov. Ali se vaše podjetje prijavlja na javne razpise za raziskovalne projekte, kako je na tem področju uspešno in kaj vi menite o takšnem načinu sofinanciranja raziskovalno-razvojnega dela?

Andraž Rumpret: Javni razpisi za razvojno-raziskovalne projekte predstavljajo pomemben mehanizem spodbujanja inovacij in razvoja. V našem



Linija za pakiranje tablet s PIO-PINCH zveznim dozirnim sistemom



Navidezna resničnost v izolatorski tehniki

strateškem interesu je, da krepimo raziskovalno in razvojno dejavnost podjetja, vendar se pri tem zanašamo v veliki meri na lastne vire in partnerske konzorcije, manj pa na javne razpise. Te razumemo kot usmerjevalce in spodbujevalce, ki lahko do neke mere povečajo intenzivnost razvojnih aktivnosti podjetja, če smo seveda tudi s svojim siceršnjim vsakodnevnim delom jasno razvojno usmerjeni. Mi ne razvijamo vsebin zaradi javnih razpisov, pač pa nam javni razpisi občasno pri tem pomagajo. Bolj kot v tovrstno obliko vzpostavljanja razvojnih projektov verjamemo predvsem v stalni razvoj lastnih znanj in kompetenc, v razvojno inženirsko moč ter v partnersko in konzorcijsko sodelovanje z najboljšimi.

Ventil: V Sloveniji je poznano, da je sodelovanje med univerzitetno sfero in industrijo zelo skromno. Kakšno je vaše sodelovanje z univerzitetnimi in drugimi raziskovalnimi institucijami v naši državi in/ali mogoče tudi s tujimi?

Andraž Rumpret: Sodelovanje industrije z raziskovalnimi ustanovami mora temeljiti na vzajemnem spoštovanju, preglednosti, ciljno usmerjenih raziskovalnih projektih ter vzpostavljanju dolgoročnih partnerstev. Slovensko poslovno okolje na tem področju prežema slabše obetajiva pretekla praksa, zato je potrebno graditi obetajiva prihodnja partnerstva med obema sektorjema. Mi to počnemo že desetletja in postopno pri tem napredujemo. Najbolje se spoznavamo in utrjujemo pri izvedbi konkretnih tržnih projektov, ki prinašajo učinke. Nekaj primerov: na področju obravnave izzivov genske terapije imamo dobre rezultate in pozitivne izkušnje sodelovanja v razvojnih projektih in konzorcijih z Onkološkim inštitutom, Fakulteto za elektrotehniko v Ljubljani ter podjetjema Jafra in Cobik. Z Inštitutom Jožef Stefan sodelujemo na skupnem projektu Pametni digestorij. Mobilne čiste prostore SmartCON razvijamo skupaj z Medicinsko fakulteto. Na področjih varjenja, mehanike in fluidne tehnike sodelujemo s Fakulteto za strojništvo v Ljubljani. Skupaj z Znanstvenim in tehnološkim središčem Rudolfovo

iz Novega mesta razvijamo navidezno resničnost v procesih farmacevtske in biofarmacevtske industrije na področju razvoja in uporabe izolatorske tehnike, sodelujemo tudi s Fakulteto za kemijo in kemijsko tehnologijo Univerze v Ljubljani ter s Fakulteto za industrijski inženiring v Novem mestu. Skupaj s farmacevtsko družbo Novartis v Španiji delamo na razvojnem in procesnem področju sterilnega razpolnjevanja aktivnih učinkovin. Možnosti za sodelovanje je torej dovolj. Navedeni primeri potrjujejo, da je sodelovanje med obema svetovoma mogoče, hkrati pa je lahko to sodelovanje tudi učinkovito in koristno.

Ventil: V razvitem svetu so znani primeri, da uspešna podjetja del raziskav oziroma razvoja za svoje podjetje prenesejo na univerzo, kamor podjetje za določen čas vključi enega ali celo več svojih raziskovalcev, ki skupaj z raziskovalci z univerze ali fakultete raziskujejo probleme za podjetje. Ali bi po vašem mnenju takšna oblika sodelovanja pri nas lahko zaživele?

Andraž Rumpret: Takšna poslovna praksa lahko pri naša povsem konkretne prednosti za gospodarstvo in raziskovalne institucije ter univerze, hkrati pa je to v Sloveniji še globoko neizkoriščena priložnost. Pristop, predvsem s ciljem vzpostavitve univerzitetnega prostora, ki razvija in podaja za industrijo uporabna znanja, pa je lahko tudi nekoliko drugačen. V evropski poslovni praksi namreč poznamo uspešne primere iz različnih industrijskih okolij (npr. avtomobilske in farmacevtske industrije), kjer med odgovornimi za strateško in operativno vodenje posameznih procesov v proizvodnem podjetju najdemo tudi habilitirane visokošolske učitelje, ki so hkrati tudi nosilci posameznih študijskih predmetov in vsebin na fakulteti. To sta primer zelo učinkovitega povezovanja med univerzo in gospodarsko družbo in primer neposredne izmenjave najsodobnejših aktualnih znanj, ki jih danes potrebuje gospodarstvo. Izmenjava znanj in dobre prakse mora potekati v obeh smereh.

Ventil: Koliko inženirjev s tehničnega področja je zaposlenih v vašem podjetju in koliko ste jih zaposlili v zadnjem letu. Kakšen profil inženirja potrebujete, kakšnega si želite in kakšnega dobite na trgu?

Andraž Rumpret: Zaposlujemo visok delež izobraženih razvojnih in tehničnih strokovnjakov. Razvojno-raziskovalna skupina Iskra PIO šteje več kot 50 inženirjev. V zadnjem triletnem obdobju beležimo 30-odstotno rast števila zaposlenih. Predvsem z vključevanjem v visokotehnološke in razvojne projekte se skupaj usmerjamo v njihovo osebnostno in strokovno rast. Naš cilj je upoštevanje potreb podjetja in tudi zaposlenih. Vzpodbujamo medgeneracijsko sodelovanje med zaposlenimi, ki vključuje mentorstvo in obratno mentorstvo. Tudi starejši se namreč učimo od mladih. Študente strojništva, ele-



Sistem za manipulacijo s praškastimi surovinami

ktrotehnike in mehatronike želimo že v zgodnji fazi njihove študijske poti vključevati v delovne procese podjetja in jih nato tudi zaposliti. Pričakujemo, da bo visokošolski prostor svoje programe in učne načrte veliko bolj usmerjal k potrebam gospodarstva in jih posodabljal. Podpiramo konkurenčnost tudi na področju izvajanja visokošolskega izobraževanja. Na nacionalnem nivoju pričakujemo, da bomo izobraževali in se usmerjali predvsem v vsebine, ki so del prihodnosti in strateških ciljev Slovenije.

Ventil: Samo slovenski trg je za vsako uspešno podjetje premajhen. To še posebno velja za podjetja, ki proizvajajo tehnične proizvode. Kje so vaši trgi in kupci? Kako osvajate trge v tujini?

Andraž Rumpret: Svetovni trg na področju čiste in čistilne tehnologije raste. Zavedanje o pomenu celovite zaščite oseb, opreme in procesov pred posledicami delovanja aktivnih učinkovin in mikrobiološke kontaminacije se povečuje. Z uveljavljeno blagovno znamko PIO® in prisotnostjo podjetja v več kot 30 državah sveta dosegamo status prednostnega dobavitelja. Naši kupci na globalnem trgu so tudi podjetja NOVARTIS, KRKA, Bosch HUTTLIN, SANDOZ, Hemofarm, Hemomont, Pliva (Teva), Belupo, MERCK, SARTORIUS, ROVI in Lonza. Veseli nas, da že pridobljeni novi posli pomembno povečujejo obseg prodaje v prihodnjih letih. Pogosto nas kupci, verjetno tudi na osnovi našega preteklega dela in referenc, poiščejo sami.

Ventil: V današnjem času brez inovacij, patentov in izboljšav dolgoročno ne more praktično preživeti nobeno podjetje, ki izdeluje za trg končne uporabne izdelke. Kako vi vodite to področje, kako motivirate

zaposlene in koliko inovacij se v vašem podjetju porodi v enem letu?

Andraž Rumpret: Inovacije in inovativno delovanje so sestavni del naše poslovne in razvojne strategije. Razvoj visokotehnoloških izdelkov zahteva vključevanje inovativnih pristopov in pobud v vse poslovne procese podjetja in v delo vseh zaposlenih. Smo učeče se podjetje, inovativnost pa je del naše organizacijske kulture. V zadnjih letih je podjetje redni prejemnik nacionalnih zlatih in srebrnih priznanj Gospodarske zbornice Slovenije za inovacije. Letos smo skupaj z Znanstvenim in tehnološkim središčem Rudolfovo iz Novega mesta prejeli srebrno nacionalno priznanje za inovacijo na področju uporabe navidezne resničnosti v procesih farmacevtske in biofarmacevtske industrije. Prepričani smo, da lahko inovativnost procesov in izdelkov podjetja ob sočasni uporabi načel digitalizacije poslovanja pozitivno vpliva na prihodnje prodajne in finančne rezultate. Tako želimo ustvarjati razmere za kvaliteten razvoj podjetja in celostno izboljševanje njegovih rezultatov.

Ventil: Danes je poznano, da se mladi težko odločajo za poklice na tehničnem področju. Kaj bi vi svetovali mladim, kako naj izberejo poklic in kaj je tisto »lepo« v tehniki, da bi mlade prepričali za tehnične poklice?

Andraž Rumpret: Mladi naj pri izbiri svojega poklica najprej poslušajo svoje srce. Odkrivajo naj stvari, ki jih navdušujejo. Vsi skupaj potrebujemo navdušenje in veselje. Tehnične vsebine, kot so strojništvo, elektrotehnika in informatika, bodo imele ključno vlogo pri oblikovanju prihodnosti, novih poklicev in novih rešitev.

Ventil: Vsi, ki delamo na tehničnem področju in smo izpostavljeni tržnim zakonitostim, čutimo, da v Sloveniji niti politično niti družbeno okolje ni naklonjeno podjetništvu. To še posebno velja za področje klasičnega strojništva. Kaj se po vašem mnenju da narediti na tem področju, da bi bili uspešni podjetniki vsaj toliko spoštovani kot uspešni športniki ali uspešni kulturniki?

Andraž Rumpret: Slovenija že danes v resnici ne živi od zadetih košev in skokov pod njimi, pač pa od ustvarjalnosti, pameti, delavnosti in inovativnosti vseh, ki ustvarjamo nove vsebine in dodano vrednost. Kot država potrebujemo strateški fokus, kot državljani in podjetniki pa veselje in pogum, potem pa bomo vse postavili na svoje mesto.

V imenu uredništva Ventil hvala za vaše odgovore in veliko uspehov tudi v prihodnje.

Prof. dr. Janez Tušek
Uredništvo revije Ventil
UL, Fakulteta za strojništvo

NOVA RAZISKOVALNA OPREMA ZA PREBOJNE RAZISKAVE IN ŠE BOLJ POGLOBLJENO SODELOVANJE Z GOSPODARSTVOM – 2. DEL

Tanja Potočnik Mesarič

Pridobivanje in izvajanje vrhunskih nacionalnih in mednarodnih raziskav, objave v najprestižnejših revijah ter sodelovanje s širokim krogom partnerjev iz gospodarstva ne bi bilo mogoče brez obsežnih investicij v raziskovalno opremo. Zato Fakulteta za strojništvo Univerze v Ljubljani namenja posebno pozornost vsakoletnim investicijam v najmodernejšo raziskovalno opremo, ki je velikokrat edinstvena ne le v slovenskem, temveč tudi mednarodnem prostoru. V tokratnem prispevku nadaljujemo s predstavitvijo raziskovalne opreme (Paket 21), ki v skupni vrednosti znaša več kot 3,7 milijona €.

Robotiziran laserski obdelovalni sistem z optodinamskim nadzorom

Robotiziran laserski obdelovalni sistem z optodinamskim nadzorom je sestavljen iz treh podsistemov:

- ▶ nanosekundnega laserskega izvora za mikroobdelave in optoakustični nadzor obdelovalnega procesa,
- ▶ skenirne glave za natančno in hitro odklanjanje laserskega snopa,
- ▶ robotskega manipulatorja, ki omogoča obdelavo velikih in kompleksnih 3D-površin.

Robotski manipulator je namensko razvit za visokonatančne laserske obdelave. Laserski izvor je kompaktnih dimenzij z visokoenergijskimi nanosekundnimi bliski. Skenirna optika omogoča visokonatančno in hitro vodenje laserskega snopa po površini. Visoka fleksibilnost prostorskega vodenja laserskega snopa s pomočjo 8-osnega robotskega manipulatorja in skenirne glave ter visokoenergijski bliski so ključnega pomena za širok spekter industrijskih in bazičnih raziskav. Zato raziskovalci pričakujejo, da bo raziskovalna oprema omogočila nove pristope in razvoj novih tehnologij in produktov, ki bodo zanimivi tudi za partnerje iz gospodarstva, ter bo pomembno pripomogla k znanstvenemu in razvojnemu preboju raziskovalcev UL, Fakultete za



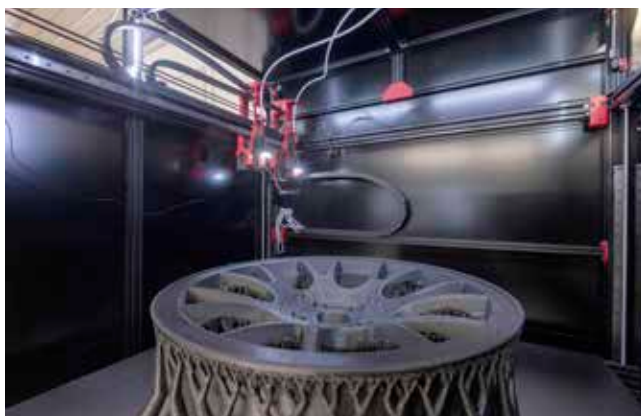
Slika 1: Robotiziran laserski obdelovalni sistem z optodinamskim nadzorom (Foto: IFP, d. o. o.)

strojništvo na področjih optodinamike, laserskih obdelovalnih procesov ter laserskih medicinskih posegov.

Oprema za raziskave na področju razvoja hibridnih digitalnih dvojčkov za ovrednotenje vibracijske poškodovanosti naprav

Opremo bodo raziskovalci uporabljali predvsem za razvoj veljavnih hibridnih digitalnih dvojčkov, ki temeljijo na kombiniranju modelov komponent z eksperimentalnega in numeričnega področja. Laserski vibrometer z možnostjo skeniranja bo služil za pridobitev eksperimentalnih odzivnih modelov z visoko prostostno ločljivostjo, večkanalni merilni sistem pa bo omogočal zajemanje vibracijskih

Dr. Tanja Potočnik Mesarič, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo



Slika 2 : Oprema za raziskave na področju razvoja hibridnih digitalnih dvojčkov za ovrednotenje vibracijske poškodovanosti naprav (Foto: IFP, d. o. o.)

signalov tudi v visokem frekvenčnem področju, s čimer bomo lahko bistveno povišali natančnost meritev. Termovizijska kamera bo služila za identifikacijo kritičnih mest vibracijsko obremenjenih struktur preko identifikacije temperaturnega polja, 3D-tiskalnik pa bodo raziskovalci uporabljali za izdelavo velikih (do 1 m x 1 m x 1 m velikosti) fizičnih prototipov digitalnih dvojčkov, s čimer bo mogoče izvesti validacijo razvitih hibridnih digitalnih dvojčkov. Oprema bo služila kot nadgradnja obstoječih sistemov za karakterizacijo dinamskega odziva vibracijsko obremenjenih struktur in bo prispevala k razvoju mirnejših in tišjih naprav.



Slika 3 : Univerzalna naprava za mehansko preizkušanje materialov in nosilnosti strukturnih elementov (Foto: IFP, d. o. o.)



Z novo opremo bodo možne znanstvene raziskave, ki bodo bistveno prispevale v mednarodno zakladnico znanja. Te raziskave bodo raziskovalci prenašali v razvojno naravnano slovensko industrijo.

Univerzalna naprava za mehansko preizkušanje materialov in nosilnosti strukturnih elementov

Raziskovalna oprema za mehansko preizkušanje materialov in nosilnosti strukturnih elementov je trenutno najnaprednejša tovrstna naprava na trgu. Naprava omogoča izjemno visoko ločljivost merjenja pomikov, ki znaša do 8 nanometrov (nm), odlično natančnost merjenja sil v velikem razponu 0-100 kN, izjemno fleksibilnost v kontekstu hitre in enostavne nastaviteljivosti obremenitvenih načinov ter programabilnosti celotnega sistema. Z napravo je mogoče izvajati meritve tako po najsodobnejših svetovnih standardih, kot so ISO, DIN, ASTM itn., kot tudi po merilnih protokolih, ki jih lahko definira uporabnik sam. Izkušnje sodelovanja z industrijo kažejo na velike potrebe po tako natančnem merjenju mehanskih karakteristik. Raziskovalna oprema raziskovalcem omogoča storitve visokokakovostnega merjenja mehanskih lastnosti gradiv, kot so Youngov modul, Poissonov količnik, krivulje plastičnega tečenja, meja plastičnega tečenja, visko-elastičnega lezenja, relaksacije in vrsto kompleksnih eksperimentov s posebnimi zahtevami, ki niso standardni in so nujni v naših raziskovalnih prizadevanjih in podpori slovenski industriji. Oprema omogoča možnost interdisciplinarnega sodelovanja, med drugim merjenja elastokaloričnega efekta gradiv z oblikovnim spominom in efektom superelastičnosti ter v medicini za določanje biomehanskih lastnosti trdih in mehkih tkiv za potrebe razvoja medicinskih implantatov.

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

PREDSTAVITEV SLOVENSKEGA NACIONALNEGA KOMPETENČNEGA CENTRA EUROCC SLING

Gašper Omahen

Laboratorij LECAD Fakultete za strojništvo Univerze v Ljubljani je aktivni član konzorcija SLING, slovenskega nacionalnega superračunalniškega omrežja. V okviru konzorcija deluje tudi slovenski nacionalni kompetenčni center NCC SLING, ki spodbuja koriščenje superračunalniških zmogljivosti za potrebe znanstvenih in industrijskih raziskav na akademskem področju ter pri zagotavljanju javnih storitev. Eden izmed ciljev NCC SLING je dvigniti nivo znanja superračunalništva v Sloveniji ter povečati ozaveščenost o prednostih, ki jih prinaša uporaba tehnologije.

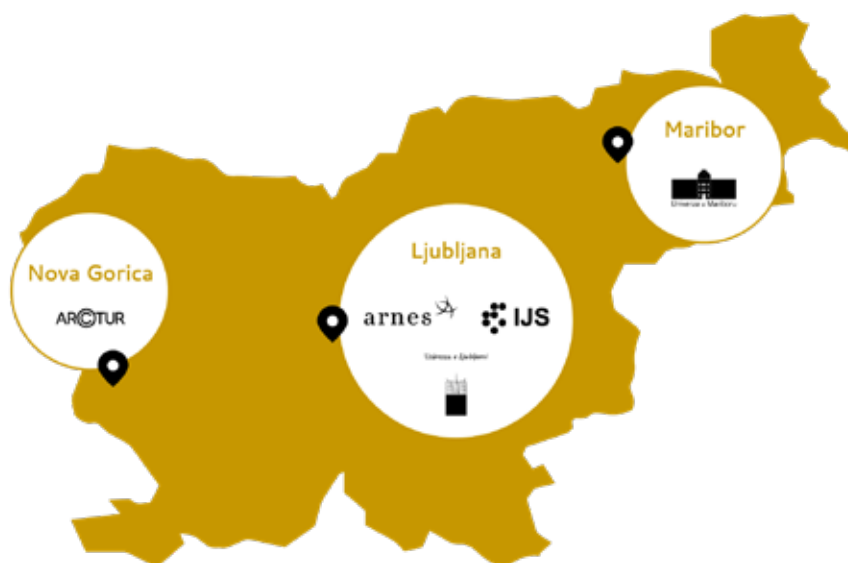
NCC SLING deluje v sklopu vse-evropskega projekta EuroCC 2, katerega cilj je vzpostavitev mreže nacionalnih kompetenčnih centrov (NCC) v več kot 30 državah članicah na najučinkovitejši način in hkrati nadaljevati s premagovanjem razlik pri uvajanju superračunalništva v Evropi. Pri tem je glavna naloga projekta podpreti nacionalne centre pri vzpostavitvi operativnih okvirov, ki vključujejo podporo lokalnim skupnostim in podjetjem, ter v najbolj meri izkoristiti njihove izkušnje in strokovno znanje.

Superračunalništvo (HPC) je danes bistvenega pomena za napredne raziskave temeljnih znanosti in inženiringa, kar omogoča proučevanje izjemno zapletenih problemov, ki bi jih bilo neučinkovito raziskati na drugačen način. Superračunalništvo kot podpora avtomobilski, letalski, proizvodni industriji, energetiki ter zdravstvu omogoča, da postanejo podjetja bolj inovativna in produktivnejša, predvsem pa razvijajo izdelke ter storitve z višjo dodano vrednostjo. Uporaba superračunalnikov

omogoča izvedbo simulacij in vizualizacij novih izdelkov, optimizacijo procesov, analizo velike količine podatkov in načrtovanje inovativnih izdelkov ter storitev s pomočjo umetne inteligence. Hkrati znatno skrajša čas načrtovanja izdelkov in proizvodne cikle, zmanjša proizvodne stroške, porabo materiala in potrebo po fizičnem testiranju.

Ideje včasih bolje delujejo v teoriji kot v praksi. Zmožnost vizualizacije, vpogled, kako se bo izdelek obnašal v resničnem svetu

pred zagnanim proizvodnim procesom, lahko razvojnim ekipam prihrani mnogo težav. Superračunalniške tehnologije omogočajo simulacijo in modeliranje izdelkov in proizvodnih procesov v obsegu, ki je bil prej nemogoč. To proizvajalcem omogoča oblikovanje boljših izdelkov in optimizacijo proizvodnih procesov. V letalski in vesoljski industriji se superračunalniki uporabljajo za simulacijo delovanja komponent plovil v različnih pogojih, v avtomobilski industriji za simulacijo trkov vozil in napovedovanje ob-



Slika 1 : Partnerji konzorcija SLING

Gašper Omahen,
UL, Fakulteta za strojništvo



Slika 2 : Slovenski nacionalni superračunalnik HPC Vega, ki je del skupnega evropskega sistema v okviru EuroHPC (foto: IZUM, Institut informacijskih znanosti Maribor).

našanja materialov v ekstremnih pogojih, kar pomaga pri načrtovanju varnejših in bolj vzdržljivih vozil.

Simulacije superračunalništva pomagajo optimizirati proizvodni proces, da lahko podjetja prepoznajo ozka grla in povečajo učinkovitost. Na primer: v kemični industriji proizvajalci uporabljajo kombinacijo simulacije in modeliranja procesov za optimizacijo proizvodnega procesa, kot so polimeri in plastične mase. To jim omogoča, da zmanjšajo količino surovin in energije, potrebne za proizvodnjo izdelka, kar ima pozitiven učinek v znatnem prihranku stroškov in okoljskem vplivu.

Te in številni drugi primeri uporabe so razlog, da so večine uporabe superračunalnikov potrebne za različne skupine raziskovalcev in razvijalcev. Danes je izziv najti pravo podporo pri uporabi računskih sredstev in se v celoti posvetiti raziskavam. V Sloveniji se lahko obrnete na osebje SLING, ki ima veliko izkušenj v pripravi pravih okolij za raznolike raziskovalne dejavnosti, infrastruktura SLING pa

ponuja uporabnikom standarden in uniformen dostop do razpršenih sredstev.

Če ste znanstvenik ali inženir, ki pri svojem delu potrebuje simulacije, vam lahko NCC SLING pomaga razviti veščine za samozavestno in učinkovito programiranje in upravljanje visoko vzporednih računalniških gruč. Naše delavnice, na katerih poučujejo izkušeni strokovnjaki za superračunalništvo, dopolnjujejo vaše strokovno znanje za raziskovalno disciplino in nudijo praktično znanje, potrebno za delovanje v superračunalniškem okolju. Strokovnjaki laboratorija Lecad Fakultete za strojništvo so tako v letošnjem letu organizirali različne tečaje in delavnice, kot so na primer: CFD on HPC – OpenFOAM primer, Delo s superračunalnikom HPC FS, Uporaba GIT z Gitlab, Github in Bitbucket.

Seznam vseh seminarjev in delavnic, ki se izvajajo v okviru NCC SLING, pa lahko preverite na:

<https://indico.ijs.si/category/29/>.

Več informacij: <https://www.sling.si>



Projekt EuroCC 2 financira Evropska unija. Financiran je s sredstvi Skupnega evropskega podjetja za visokozmogljivo računalništvo (EuroHPC JU) ter Nemčije, Bolgarije, Avstrije, Hrvaške, Cipra, Češke republike, Danske, Estonije, Finske, Grčije, Madžarske, Irske, Italije, Litve, Latvije, Poljske, Portugalske, Romunije, Slovenije, Španije, Švedske, Francije, Nizozemske, Belgije, Luksemburga, Slovaške, Norveške, Turčije, Republike Severne Makedonije, Islandije, Črne gore in Srbije v okviru sporazuma o dodelitvi sredstev št. 101101903.

INOVACIJE UL, FAKULTETE ZA STROJNIŠTVO, Z REKORDNIM USPEHOM NA RAZPISU INOVACIJSKEGA SKLADA

V mesecu oktobru je Univerza v Ljubljani izbrala že četrto generacijo zmagovalcev razpisa za dodelitev sredstev Inovacijskega sklada Univerze v Ljubljani. Kot pretekla leta je bil tudi letošnji razpis pripravljen z namenom podpore obetavnih projektov, tehnologij ali rešitev za že identificirane izzive in jim pomagati pri preboju v industrijo. V ta namen je Univerza v Ljubljani namenila 100.000 evrov finančnih sredstev, s katerimi bo pripomogla k prenosu intelektualne lastnine v gospodarstvo z namenom izboljšanja kvalitete življenja tako v slovenskem kot tudi v mednarodnem prostoru.



prof. dr. Andrej Kitanovski
(strojništvo)



dr. Katja Klinar
(strojništvo – fizika)



Katja Vozel
(fizika)

Ocenjevalna komisija je letos za sofinanciranje izbrala 4 projekte, izmed katerih so bile kar tri inovacije plod dela raziskovalcev Fakultete za strojništvo:

1. TEcomfort: Kompaktna enota za nizkotemperaturne sisteme ogrevanja in hlajenja

Člani ekipe *Laboratorija za hlajenje in daljinsko energetiko (LAHDE)* prof. dr. Andrej Kitanovski, dr. Katja Klinar in Katja Vozel so na razpisu za inovacijo **TEcomfort** prejeli finančna sredstva v višini 25.000 evrov. Kompaktna dopolnilna enota za sisteme ogrevanja TEcomfort omogoča prehod na nizkotemperaturni sistem ogrevanja brez potrebe po rekonstrukciji notranjih sistemov ogrevanja in po večjih posegih v obstoječe objekte in ogrevalne sisteme. Dopolnilna grelna enota je kompaktna termoelektrična toplotna črpalka, ki ima v primerjavi z električnim in plinskim grelcem bistveno manjšo porabo primarne energije in s tem manjši ogljični

odtis. Opisani izum na energetsko učinkovit način lokalno zvišuje temperaturo dovodne vode v ogrevalnem sistemu na temperaturo, ki je optimalna za grelna telo.

2. IceJet: Čista tehnologija rezanja z ledenim abrazivnim vodnim curkom z znižanim okoljskim odtisom

Sofinanciranje v višini 25.000 evrov so prav tako prejeli člani *Laboratorija za alternativne tehnologije (LAT)*: asist. dr. Marko Jerman, izr. prof. dr. Joško Valentinčič, doc. dr. Andrej Lebar, doc. dr. Izidor Sabotin in Pavel Drešar, ki so na razpis prijavili projekt z naslovom *IceJet: Čista tehnologija rezanja z ledenim abrazivnim vodnim curkom z znižanim okoljskim odtisom*.

V praksi se pogosto srečamo s produkti, pri katerih je ključno, da po rezanju ostanejo čisti. Pri materialih, ki se težje režejo (debelejše kovine, oreščki, ko-

Ekipa



dr. Marko Jerman



dr. Joško Valentinčič



dr. Andrej Lebar



dr. Izidor Sabotin



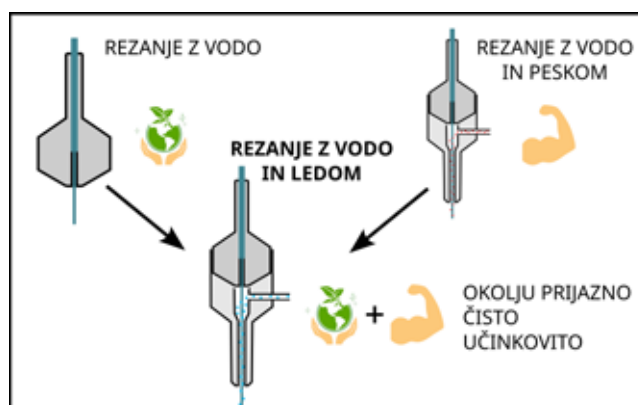
Pavel Drešar, ing. stroj.

sti), uporabljamo za rezanje kombinacijo vodnega curka in mineralnega abrazivnega peska, kar omogoča rezanje praktično vseh materialov, ki pa pri tem ostanejo kontaminirani z delci peska. Raziskovalci laboratorija LAT so razvili tehnologijo rezanja, pri kateri namesto zrn peska uporabijo zrna ledu pri zelo nizkih temperaturah (pod $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$). Prednost tehnologije je v tem, da omogoča rezanje trših materialov in hkrati ohranja čistost. Obenem predstavlja okolju prijazno rešitev, saj se led v primerjavi s peskom, ki predstavlja 99 % trdega odpadnega materiala, po uporabi enostavno stopi. Dodatna prednost pa je tudi možnost izdelave zrn na samem mestu uporabe, kar ukinja stroške transporta in odvisnost od trga.

3. Kiberfizikalni sistem za napredno napovedovanje internih stanj v Li-ionskih baterijah

Prav tako so financiranje v višini 25.000 evrov prejeli tudi člani Laboratorija za motorje z notranjim zgorevanjem in elektromobilnost (LICEM): prof. dr. Tomaž Katrašnik, doc. dr. Chowdhury Haque Amer Amor, dr. Klemen Zelič, Igor Mele, Andraž Kravos ter Ivo Pačnik s projektom Kiberfizikalni sistem za napredno napovedovanje internih stanj v Li-ionskih baterijah.

Cilja projekta sta razvoj in izdelava ter prva demonstracija bolj natančne funkcionalnosti monitoringa, diagnostike in posledično nadzora ter upravljanja



baterij in baterijskih sistemov v svetovnem merilu. Kiberfizikalni sistem za napredno napovedovanje internih stanj v Li-ionskih baterijah, ki bo bistveno presegel trenutno stanje tehnike, bo omogočil prvo demonstracijo najnaprednejših funkcionalnosti napovedovanja internih stanj v Li-ionskih baterijah, ki temeljijo na znanstvenih prebojih in imajo velik tržni potencial. Odličnost avtorjev na enem izmed ključnih področij za doseganje zelenega in digitalnega prehoda pa potrjuje tudi sodelovanje v ključnih EU projektih na tem področju.

Prejeta priznanja nedvoumno potrjujejo, da raziskave in inovacije na področju strojništva odražajo aktualnost in pomembnost reševanja sodobnih izzivov. Vsem dobitnikom sredstev iskreno čestitamo!

www.fs.uni-lj.si

FAKULTETA ZA STROJNIŠTVO ZMAGOVALNA V DVEH KATEGORIJAH ZA REKTORJEVO NAGRADO

V okviru festivala Uni.Minds so včeraj podelili rektorjeve nagrade za naj inovacijo Univerze v Ljubljani (UL). Nagrade v skupni vrednosti 18.000 evrov so razdelili med devet projektov, ki so se v treh različnih kategorijah z idejami, rešitvami in inovacijami za izzive družbe potegovali za prvo, drugo in tretje mesto: študenti in alumni, raziskovalci in zaposleni na UL in študenti.



Prvo nagrado v višini 3000 evrov sta prejela kar dva projekta Fakultete za strojništvo. V kategoriji študenti in alumni je prvo nagrado prejela ekipa treh študentov s projektom *Visokohitrostni 3D-tiskalnik*. Vid Nemec, Janko Tuta in David Kolšek so v Peskovniku – odprtem laboratoriju Fakultete za strojništvo – skupaj z Vidom Gostišo, Anžetom Jarcem, Maticem Čičem in Timom Guzelom razvili visokohitrostni 3D-tiskalnik, ki tiska 5,5-krat hitreje od komercialnih in s tem skrajšuje triurni tisk na samo 30 minut. Obenem prispeva tudi k razvoju okolju prijaznih tehnologij, saj tiskalnik omogoča trajnostno proizvodnjo izdelkov brez odpadnega materiala.



V kategoriji raziskovalci in zaposleni Univerze v Ljubljani je prvo nagrado osvojila ekipa Laboratorija za motorje z notranjim zgorevanjem in elektromobilnost (LICeM): prof. dr. Tomaž Katrašnik, doc. dr. Chowdhury Haque Amer Amor, dr. Klemen Zelič, Igor Mele, Andraž Kravos ter Ivo Pačnik s projektom *Napredni digital twin za monitoring in diagnostiko baterij*. Inovacija združuje funkcionalen preplet fizikalno-kemijsko konsistentnih modelov, ki omogočajo bolj natančen vpogled v interna stanja baterije, patentno zaščiteno metodologijo za računalniško implementirano diagnostiko stanj baterije ter patentno zaščiteno topologijo prvega fizikalno-kemijsko konsistentnega modela nadomestnega vezja. Skupek teh treh inovacij odpira novo področje bistveno boljše možnosti nadzora ter upravljanja baterij in baterijskih sistemov.

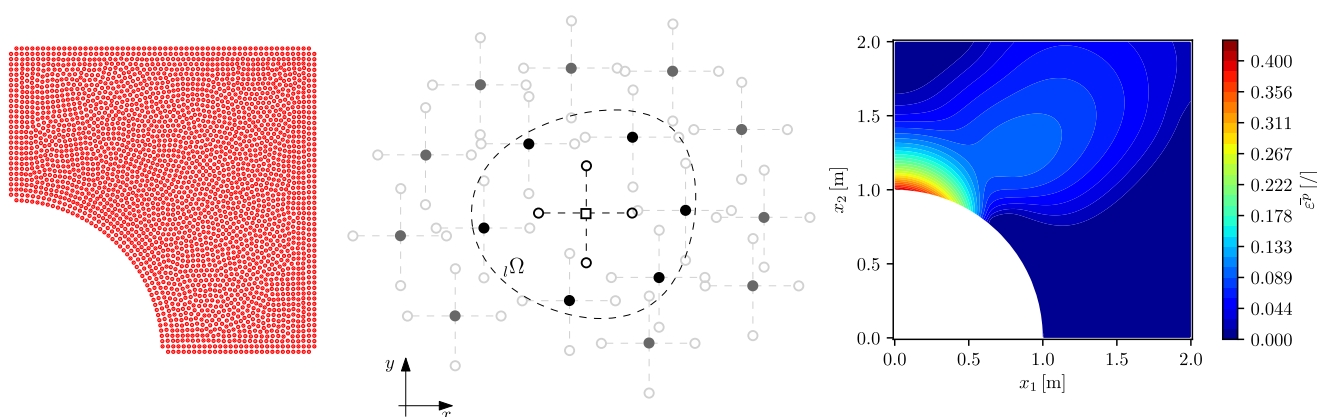
Nagrajencem je na dogodku čestital tudi minister za visoko šolstvo, znanost in inovacije dr. Igor Papič, ki je poudaril pomembnost sodelovanja med akademsko skupnostjo in podjetniško sfero.

Tudi mi vsem zmagovalcem in sodelujočim iskreno čestitamo!

www.fs.uni-lj.si
Foto: katja Kodba (STA)

IZBOLJŠANA LOKALNA METODA RADIALNIH BAZNIH FUNKCIJ ZA REŠEVANJE ELASTO-PLASTIČNEGA ODZIVA V PRIBLIŽKU MAJHNIH DEFORMACIJ

Raziskovalci Laboratorija za dinamiko fluidov in termodinamiko Fakultete za strojništvo ter Laboratorija za simulacijo materialov in procesov Inštituta za kovinske materiale in tehnologije so razvili novo brez mrežno metodo za reševanje vodilnih enačb elasto-plastičnosti.



Levo: prostorska diskretizacija testnega primera plošče z luknjo, sredina: hibridni način diskretizacije z LKMRBF ter desno: akumulirana plastična deformacija za primer plošče z luknjo

Brez mrežne metode predstavljajo novo generacijo diskretizacijskih tehnik za reševanje parcialnih diferencialnih enačb. Nova metoda, ki temelji na močni formulaciji, združuje metodo končnih razlik z brez mrežno lokalno kolokacijsko metodo z radialnimi baznimi funkcijami (LKMRBF), strukturirano s poliharmoničnimi zlepkami. Nova hibridna kombinacija omogoča uspešno reševanje elasto-plastičnih problemov, ki so bili samo z LKMRBF doslej nerešljivi. Rezultati raziskave so bili objavljeni v reviji *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering* (IF = 7.2), osrednji reviji področja računalniške mehanike.

V študiji je predstavljena podrobna analiza vpliva prostih parametrov novega pristopa na natančnost, stabilnost in konvergenco. Predstavljena metoda ne vsebuje mreženja in integracije. Kompleksnost numerične implementacije je ekvivalentna v dveh in v treh dimenzijah.

Industrijska uporaba opisane nove metode je predvidena v termomehanskih simulacijah procesiranja aluminijevih zlitin in jekla.

Članek si lahko preberete na spletni strani: <https://doi.org/10.1016/j.cma.2023.116501>.

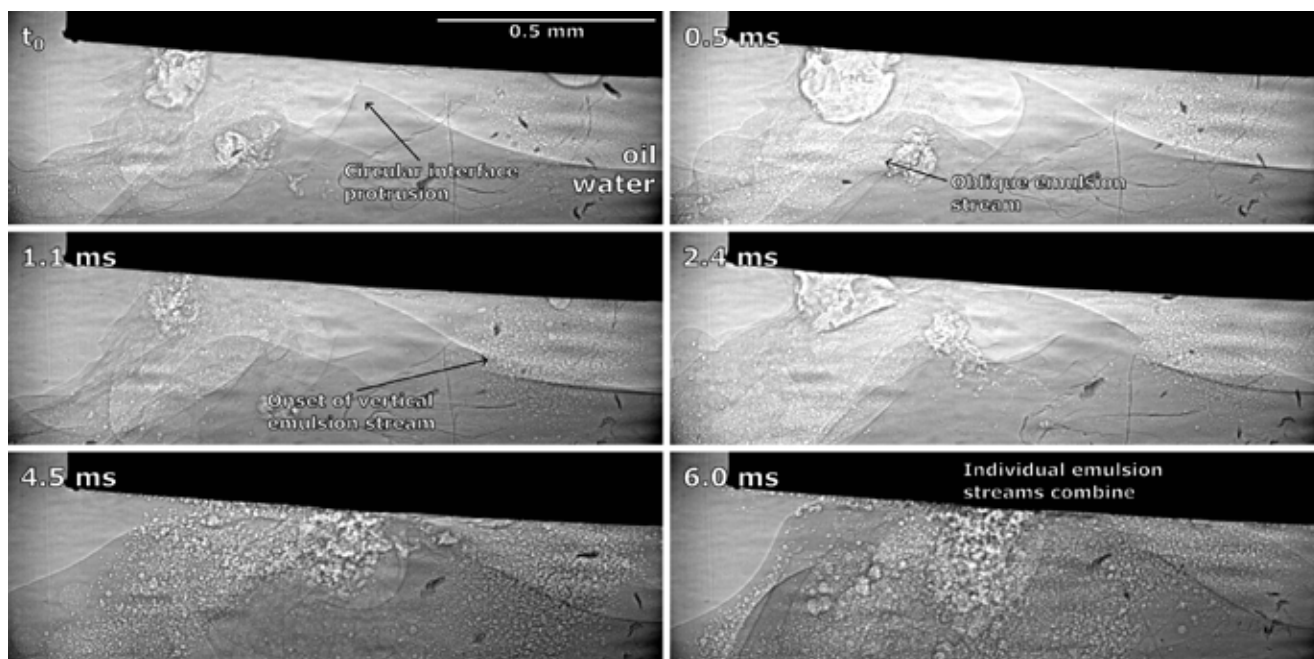
www.fs.uni-lj.si

REVILJA ZA FLUIDNO TEHNIKO, AVTOMATIZACIJO IN MEHATRONIKO
VENTIL


strojnistvo.com
križišče strojnikov

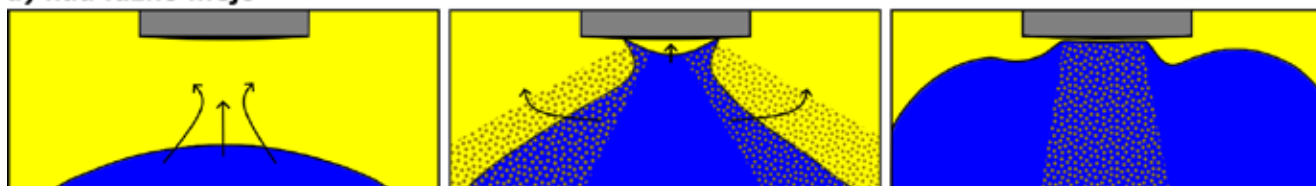
DINAMIKA FAZNE MEJE OLJE-VODA MED ZAČETKOM ULTRAZVOČNE EMULZIFIKACIJE

Raziskovalci *Laboratorija za vodne in turbinske stroje (LVTS)* so skupaj z raziskovalci iz Argonne National Laboratory, Advanced Photon Source (ZDA), izvedli eksperimentalno študijo porušitve fazne meje olje-voda med pripravo emulzij z ultrazvočno sondo. Rezultate raziskave so objavili v reviji *Ultrasonics Sonochemistry* (IF = 8.4).

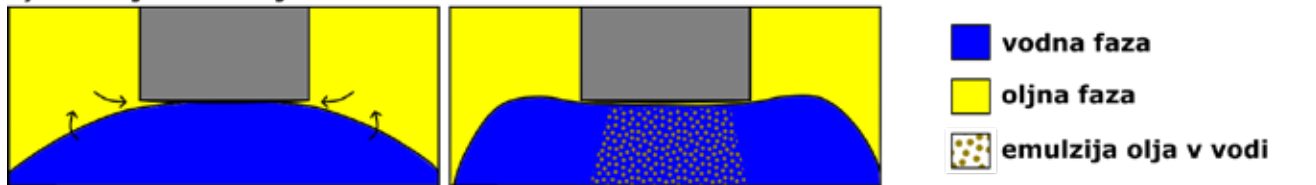


Slika 1: Opazovanje interakcije med ultrazvočno sondo in fazno mejo s pomočjo visokoenergijskih rentgenskih žarkov

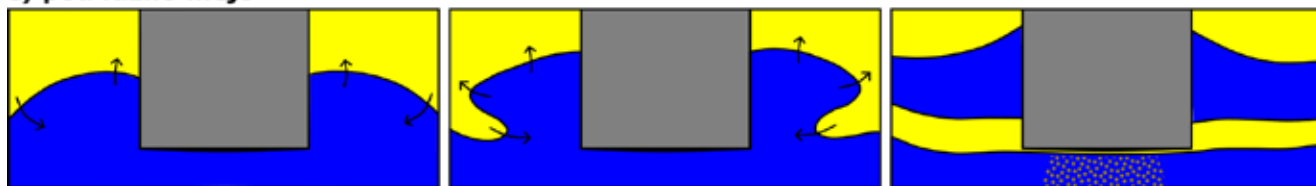
a) nad fazno mejo



b) znotraj fazne meje



c) pod fazno mejo



Slika 2: Različni mehanizmi emulzifikacije s sonotrodo, odvisni od začetnega položaja konice glede na fazno mejo olje-voda

Emulzije so heterogeni sistemi, sestavljeni iz dveh nemešljivih kapljev, kjer je ena dispergirana znotraj druge v obliki majhnih kapljic. Na ta način lahko na primer v produkte, ki temeljijo na vodni osnovi, vključimo snovi, ki so topne zgolj v olju. S tem dosežemo manjšo porabo topil in raznih drugih strupenih snovi. Zaradi tega se emulzije pogosto uporabljajo v prehranski industriji kot tudi v kozmetičnih, kmetijskih, medicinskih in farmacevtskih izdelkih.

V LVTS v zadnjih letih posvečajo veliko dela raziskovanju kavitacijske emulzifikacije, predvsem na nivoju posameznih kavitacijskih mehurčkov, ta raziskava pa predstavlja prenos znanja na kompleksnejši sistem. Za opazovanje prvih trenutkov nastanka emulzije so uporabili več visokohitrostnih kamer, ki so snemale pri vidni svetlobi in pod visokoenergijskimi rentgenskimi žarki. Ugotovili so, da je mehanizem emulzifikacije močno odvisen od začetnega polo-

žaja konice sonde glede na fazno mejo olje-voda. Če je sonda postavljena nad mejo, se fazna meja najprej giblje proti konici, kjer se oblikujeta poševna toka emulzije, ki se kasneje združita v navpičen tok. V primeru, da je konica postavljena znotraj fazne meje, se takoj oblikuje navpičen tok emulzije. Potek emulzifikacije je najkompleksnejši, ko je začetni položaj ultrazvočne sonde pod fazno mejo olje-voda. Tukaj se pred pojavom emulzije oblikuje vmesna plast oljne faze:

Nova spoznanja je mogoče uporabiti za optimizacijo industrijskih procesov ultrazvočne emulzifikacije, pa tudi širše – na pretočnih emulzifikatorjih.

Celoten članek je dostopen na spletni strani: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2023.106657>.

www.fs.uni-lj.si



Tovarne prihodnosti



Zelena in varna mobilnost



Zdravje



Trainostna energija

Več o dogodku in prijavi na povezavi v QR kod!

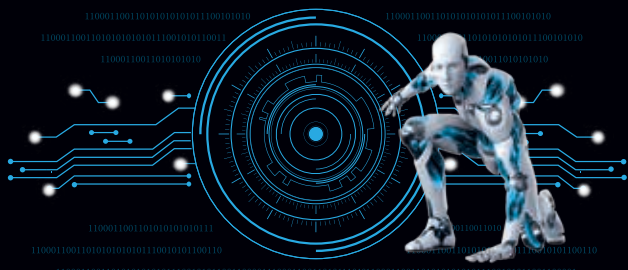


Rešimo vaše izzive skupaj!

Pridružite se nam 6. februarja 2024 na Odprti fakulteti!

V želji po tesnejšem sodelovanju dogodek poteka v skupni organizaciji Odbora za znanost in tehnologijo pri OZS in UL, Fakultete za strojništvo in je namenjen obrtnikom in podjetnikom, članom Obrtno-podjetniške zbornice Slovenija.





icm

IFAM-INTRONIKA-ROBOTICS

13.-15.2.2024

Ljubljana

www.icm.si

DOLOČITEV STATIČNEGA RAVNOTEŽJA VEČSLOJNIH ZASTEKLITEV PRI KLIMATSKIH OBREMENITVAH

Raziskovalci *Laboratorija za numerično modeliranje in simulacijo v mehaniki (LNMS)* so skupaj s podjetjem *Reflex d. o. o.* in *Fakulteto za matematiko in fiziko* razvili metodo za izračun mehanskega odziva večslojnih zasteklitev, ki so izpostavljeni klimatskim obremenitvam. Razvita metoda je objavljena v priznani reviji *Journal of Building Engineering* (IF: 6,4).



Obstoječi standardi omogočajo preračun samo dvoslojnih in trislojnih zasteklitev, novo razvita metoda pa je natančnejša ter omogoča še eleganten izračun napetosti in upogibkov posameznih stekel v zasteklitvah s poljubnim številom stekel

Večslojne zasteklitve se uporabljajo v okenskih in fasadnih elementih. Z naraščanjem števila stekel se povečuje toplotna izolativnost zasteklitve in izboljšuje udobje bivanja v stavbi. Povečanje števila stekel pa poveča vpliv klimatskih obremenitev na mehanske obremenitve sestava, saj izolativnost plinskih komor preprečuje odvajanje akumulirane toplote v njih zaradi sončnega obsevanja, s čimer se v komorah poveča tlak in s tem obremenjenost posameznih steklenih plošč. Evropski standard EN 16612 in ameriški standard ASTM E1300 sicer omogočata mehanski izračun zasteklitvenih sestavov, a le dvoslojnih in trislojnih, ne pa tudi sestavov z večjim številom stekel. Podrobna analiza standardov je pokazala, da zaradi zanemaritev tudi za manjše število stekel standarda ne ponujata točnega izračuna.

V raziskavi so raziskovalci razvili novo metodo, ki je točnejša in elegantnejša od obeh standardizira-

nih metod, hkrati pa omogoča mehanski izračun za poljubno število stekel v zasteklitvi. Formulacija omogoča tudi enostavno posodobitev in nadgradnjo uveljavljenega standarda EN 16612.

Celoten članek je dostopen na spletni strani: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2023.107955>.

www.fs.uni-lj.si

REVija ZA FLUIDNO TEHNIKO, AVTOMATIZACIJO IN MEHATRONIKO
VENTIL

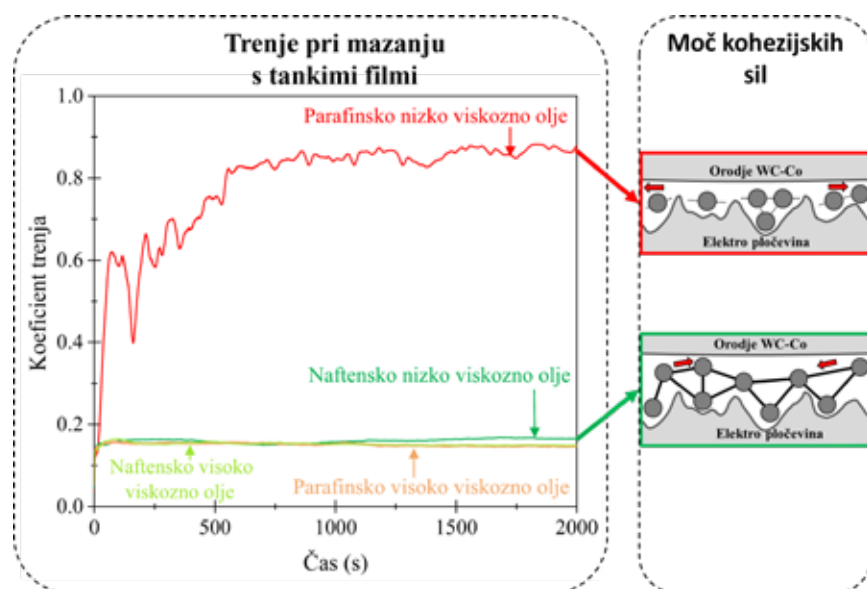
BAZNA MAZIVA ZA ZELENO ŠTANCANJE: UČINEK NJIHOVE STRUKTURE IN VISKOZNOSTI

Raziskovalci iz *Laboratorija za tribologijo in površinsko nanotehnologijo* so objavili študijo baznih maziv za zeleno štancanje v reviji *Friction* (IF: 6.8). Pokazali so, kako kemijska struktura in viskoznost baznih maziv vplivata na tribološko delovanje kontakta pri štancanju.

Zahteve za zeleno in trajnostno proizvodnjo pomenijo, da je treba maziva za štancanje nenehno

ocenjevati in na novo oblikovati. V študiji so raziskali tribološko delovanje različnih maziv za

štancanje, in sicer so raziskovalci uporabili štiri bazna olja z različnimi kemijskimi strukturami (parafinsko in naftensko) in viskoznostmi (2 in 20 cSt). Naftensko olje z nizko viskoznostjo deluje podobno kot obe olji z visoko viskoznostjo. Presenetljiva izjema je parafinsko olje z nizko viskoznostjo, ki daje nekajkrat večje trenje in obrabo v primerjavi s suhim kontaktom. To je posledica odlične omočljivosti-razširjanja in zelo šibkih kohezijskih sil, ki omogočajo uhajanje olja iz izjemno tankih mazalnih filmov v kontaktu zaradi nizke viskoznosti, kar vodi do pomanjkanja maziva. V nasprotju s tem visoko viskozna olja zagotavljajo dovolj debel mazalni film, medtem ko močne kohezijske sile pomagajo pri trdnosti filma, zmanjšajo obrabo in trenje. Pri mazanju s tankimi filmi z uporabo nizko viskoznih olj je zato izredno pomembno, da sta omočljivost in viskoznost maziva zadostni, da zagotovita dovolj mazalnega filma v kontaktu in preprečita njegovo popolno iztisnitev, s čimer se zagotovijo manjše trenje, manjša obraba in daljša življenjska doba kontakta.



Koefficient trenja za bazna maziva z različno jakostjo med-molekulskih interakcij



Povezava do članka:
<https://doi.org/10.1007/s40544-022-0706-6>.

www.fs.uni-lj.si

UMETNA INTELIGENCA, DIGITALIZACIJA, AMORFNO RAČUNALNIŠTVO IN BIONIČNI SISTEMI ZA PRIHODNJE INDUSTRIJE

Janez Škrlec

Pri prehodu iz industrije 4.0 v industrijo 5.0 in družbo 5.0 se v ozadju dogajajo velike razvojne tehnološke paradigme. Digitalizacija, digitalna transformacija in umetna inteligenca nas domala že zdaj spremljajo na vsakem koraku. V svetu nastajajo nove oblike podjetij – bionska podjetja, ki jih podrobno opisuje (BCG). Veliko manj, skoraj nič pa se danes piše o tehnoloških trendih na področju bionike, bionične inteligence in o amorfnem računalništvu, ki pa se navezuje na sodobno zdravstvo, medicino in novodobno industrijo.

Če na kratko opredelimo nekatera pomembna področja, lahko za amorfnu računalništvo poenostavljeno rečemo, da je sestavljeno iz množice medsebojno delujočih računalnikov z relativno skromno računalniško močjo in pomnilnikom ter modulov za medsebojno komunikacijo. Ideje za amorfnu računalništvo so izpeljane iz vedenja rojev družbenih organizmov, kot so mravlje, čebele in bakterije (govorimo o bionskih pristopih). Inteligenca rojev definirajo kot »nastajajočo kolektivno inteligenco skupin preprostih agentov«. To je disciplina biološko navdihnjene umetne inteligence, ki temelji na vedenjskih modelih družbenih žuželk, kot so kolonije mravelj in termitov, jate rib, jate ptic in črede kopenskih živali. Inteligenca rojev se ukvarja z naravnimi in umetnimi sistemi, sestavljenimi iz številnih posameznikov, ki se usklajujejo z decentraliziranim nadzorom in samoorganizacijo. Zlasti se disciplina osredotoča na kolektivno vedenje, ki izhaja iz lokalnih interakcij med posamezniki in njihovim okoljem. Nekateri človeški artefakti spadajo tudi v domeno inteligence rojev, zlasti sistemi z več roboti, in tudi nekateri računalniški programi, ki so napisani za reševanje problemov optimizacije in analize podatkov (pogosto to povezujemo tudi z bionskimi in biološkimi algoritmi). Pred kratkim so biologi in računalniški znanstveniki, ki proučujejo umetno življenje, modelirali biološke roje, da bi razumeli, kako takšne živali medsebojno delujejo, dosegajo cilje in se razvijajo. Določena raven inteligence, ki presega stopnjo inteligence posameznih agentov, je namreč posledica vedenja roja. Razvoj rojevega računalni-

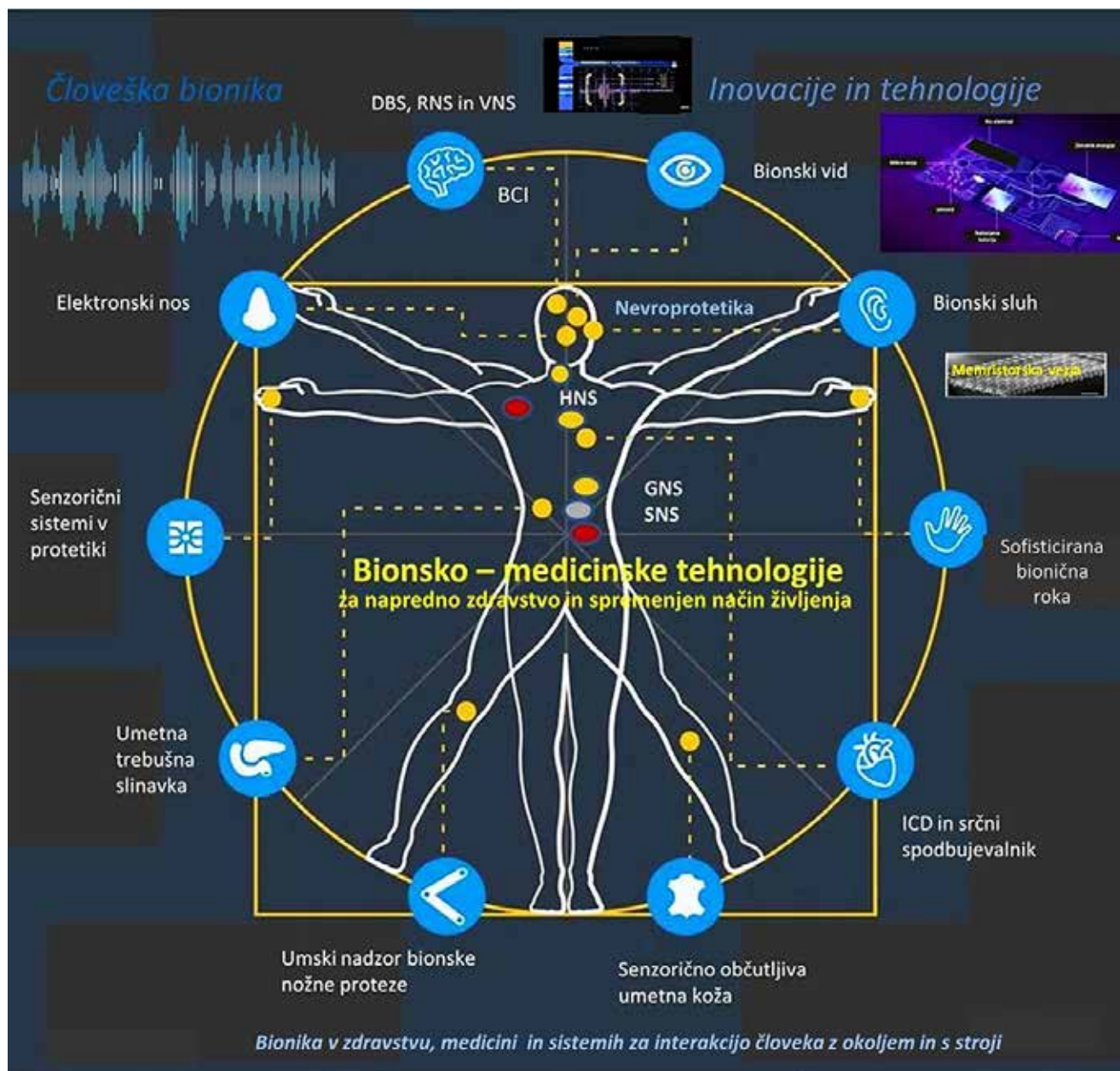
štva so spodbudili nekateri naravni pojavi. Najbolj zapletene dejavnosti, kot je iskanje optimalne poti, so izvajali preprosti organizmi. V zadnjem času so raziskave sistemov MEMS in NEMS utrle pot za proizvodnjo povzročiteljev rojev z nizkimi stroški in visoko učinkovitostjo. Izraz amorfnu računalništvo je bil skovan na MIT že leta 1996 v prispevku z naslovom Manifest amorfnega računalništva. Amorfnu računalništvo je danes povezano z mnogimi področji: z biologijo, bioniko, kemijskim inženirstvom, molekularno biologijo in seveda nevronskimi mrežami.

S prihodom visokotehnoloških obdobij z velikimi podatki, umetno inteligenco in komunikacijami 5G imajo ljudje vse višje zahteve glede zmogljivosti računalnikov. Tradicionalna von Neumannova arhitektura, katere princip je ločitev centralne procesne enote (CPE) in pomnilnika, ne omejuje samo zmogljivosti računalnika, ampak povzroča tudi veliko porabo energije. Naslednja generacija računalniških čipov, ki jih navdihujejo možgani, obljublja, da bo prekinila von Neumannovo ozko grlo s simulacijo možganskih nevronskih mrež, kar bo omogočilo novo računalniško arhitekturo, znano kot nevromorfnu računalništvo. Ugotovljeno je bilo, da so memristorji danes eden najboljših gradnikov strojne opreme za nevromorfnu računalništvo in najboljše komponente za gradnjo umetnih nevronskih mrež.

Nevronske mreže na osnovi memristorjev bodo most od naprav do umetne inteligence

Od začetka 21. stoletja ni dvoma, da je bil pomen umetne inteligence poudarjen na številnih podro-

Janez Škrlec, inž., Uredništvo revije Ventil



Infografika sodobnih bionskih tehnologij (Izdelal: Janez Škrlec)

čjih, med katerimi naj bi bila tehnologija umetne nevronske mreže, ki temelji na memristorju, prebila omejitve von Neumanna. Nova vrsta nanonaprav, in sicer memristorjev in tovrstnih vezij, ki temeljijo na variabilnosti njegove vrednosti upora, nima le zelo pomembnih aplikacij v trajnem shranjevanju informacij, ampak predstavlja tudi obsesivno progresivnost v visoko integriranih vezjih, zaradi česar je ena najbolj obetavnih komponent vezja. Memristorji lahko učinkovito simulirajo nevronske sinapse in gradijo nevronske mreže; tako jih je mogoče uporabiti za pripravo različnih sistemov umetne inteligence. Danes sicer poznamo že vrsto različnih memristorjev, tudi fotomemristorje in biomemristorje, ki so še posebej pomembni za bioniko in razvoj bionske inteligence, ki jo navdihuje narava. V širši kontekst ne-

vromorfni naprav prištevamo tudi naprave za bionično zaznavanje. Nevromorfne naprave, ki lahko posnemajo bionične senzorične in zaznavne funkcije nevronskega sistema, imajo odlične aplikacije pri spremljanju osebnega zdravstvenega varstva, nevroprotetiki in vmesnikih človek-stroj (BCI). Za uresničitev bioničnega zaznavanja je ključnega pomena priprava nevromorfni naprav s funkcijo zaznavanja okolja v realnem času. Do zdaj je bilo v industrijo umetne inteligence vloženo veliko truda še zlasti pri vključitvi bioinspiriranega zaznavanja in nevromorfnega inženiringa. Nevromorfne naprave danes temeljijo na različnih materialih in mehanizmih. Cilj nevromorfnega inženiringa pa je zgraditi biološko navdihnjen kognitivni sistem za posnemanje biološkega nevronskega zaznavanja in za

zmogljivosti obdelave. Pristop integracije naprav je bil v zadnjih letih obsežno prikazan pri konstruiranju umetnih nevronskega sistemov in ta metoda ima potencial za uporabo v nosljivi elektroniki naslednje generacije, robotiki in nevroprotektiki. Na primer: umetni nevronske sistemi lahko pomagajo nadomestiti poškodovane nevrone ali pa jih je mogoče uporabiti kot orodje v nevroznanosti za proučevanje motenj senzoričnih ali motoričnih nevronov. Poleg tega je mogoče razviti umetne nevronske sisteme za pridobivanje in analizo senzoričnih informacij ter za reševanje težav v negotovih okoljih. Ti sistemi, ki bodo sposobni zaznati okolje in se ustrezno odzvati, bodo pomembno vplivali na napredek umetne inteligence.

V svetu se gradijo centri za bionično inteligenco

Nam geografsko blizu je Center BITS, ki edinstveno združuje komplementarno odličnost univerz v Stuttgartu in Tübingenu ter povezanih inštitutov Maxa Plancka za inteligentne sisteme in biološko kibernetiko kot idealno okolje in se popolnoma

prilega regionalnemu akademsko-industrijskemu ekosistemu. Center za bionično inteligenco Tübingen-Stuttgart (BITS) bo namreč močna podpora za vzpostavitev radikalno novega pristopa za tesno integracijo inteligentnih tehnoloških sistemov s človekom. Presegli bodo tehnične omejitve trenutnega zdravljenja in podpornih sistemov za nevrološke bolezni, nadomestili pomanjkljivosti in obnovili inteligentne telesne funkcije. To bo izrazito zmanjšalo vedno večje družbeno breme psihiatričnih in nevroloških bolezni. Človeška utelešena inteligenca izhaja namreč iz pametnega medsebojnega delovanja med obdelavo živčnih informacij in fizičnimi lastnostmi telesa, ki so tesno povezane v zaprti zanki. Takšno medsebojno delovanje je treba razširiti na sisteme, ki povezujejo ljudi s tehnologijo. V tej vlogi razvoja in povezovanja pa se izpostavi pomen bionike, novih bionskih sistemov, bionske inteligence in tehnologij, ki jih potrebuje novodobna industrija. Te smernice smo mi v preteklosti že izpostavili na nanotehnoloških dnevih in letos tudi v okviru projekta MVZI – Stičišča znanosti in gospodarstva.

RAZVIT IN IZDELAN V SLOVENIJI

GP20

YASKAWA

GLAVNE PREDNOSTI

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

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



Controlled by
YRC1000

20 LET TRDEGA DELA IN ZAČETKI SODELOVANJA SO SE ZAČELI Z INŠTITUTOM ZA ROBOTIKO FERI UNIVERZE V MARIBORU

Polnih 20 let je od začetka sodelovanja z inštituti, fakultetami in univerzami. Pot sodelovanja z akademsko znanstveno sfero vsa ta leta ni bila lahka. Moji začetki sodelovanja segajo v leto 2003, ko smo znotraj OZS ustanovili strokovno sekcijo elektronikov in se že takoj za tem povezali z Inštitutom za robotiko FERI Univerze v Mariboru.

Sodelovanje se je kmalu razširilo tudi na druge inštitute znotraj te fakultete. Cilj sodelovanja je bil povezati drobno gospodarstvo z razvojno-raziskovalno sfero in spodbujati inženirske poklice na področjih naravoslovja in tehnike. Leta 2005 je že prišlo do podpisa sodelovanja med OZS in FERI Univerze v Mariboru. Leto kasneje z Inštitutom Jožef Stefan, nato s Fakulteto za elektrotehniko Univerze v Ljubljani, leto kasneje s Kemijskim inštitutom v Ljubljani, nato s celotno Univerzo v Mariboru ter Univerzo v Novi Gorici in z drugimi.

Po uspešnih povezavah in podpisih dogovorov o sodelovanju so se za članstvo OZS začeli organizirati izjemno pomembni tehnološki dnevi, energetski in nanotehnološki dnevi. Strokovni dogodki so z ustanovitvijo Odbora za znanost in tehnologijo pri OZS leta 2006 prešli še na druge strokovne dogodke, srečanja znanosti in gospodarstva ter skupne predstavitve na različnih sejmi, še zlasti na mednarodnih sejmi MOS v Celju.

Po letu 2016 (po 80 strokovnih dogodkih) so bili vsi pomembnejši strokovni dogodki, tehnološki in nanotehnološki dnevi v okviru OZS ukinjeni. Istega leta je takratno ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport (danes ministrstvo za visoko šolstvo,



Arhivski posnetek z 11. Nanotehnološkega dneva z 273 udeleženci na Gospodarskem razstavišču v Ljubljani (Foto: OZS)

znanost in inovacije) prepoznalo pomen sodelovanja med znanostjo in gospodarstvom in začel se je projekt tako imenovanega Stičišča znanosti in gospodarstva. Ta projekt se je v teh letih izkazal kot izjemno uspešen in koristen, saj je njegov fokus tesno povezan s predstavitvijo visokotehnoloških inovacij, izdelkov in tehnologij. Projekt se organizira znotraj sejma MOS in v preteklosti tudi znotraj sejma Medical (sejma sodobne medicine in zdravstva). Bistvo projekta Stičišča znanosti in gospodarstva je tudi sodelovanje inštitutov, fakultet, univerz in visokotehnoloških podjetij na skupnem razstavnem prostoru. Kot projekt se je pokazal zanimiv tudi za promocijo novih inženirskih poklicev in izobraževalnih programov. V okviru Stičišča znanosti in gospodarstva so zajeta pomembna področja elektronike, mehatronike, avtomatike, robotike, bionike, IKT, energetike in drugih področij. Poseben poudarek pa je bil vsa leta na mikro- in nanotehnologijah, na digitalizaciji in novih smernicah industrije 4.0, 5.0 in družbe 5.0. Vse pomembnejše dogodke, zajete v tem prispevku, so medijsko vrsto let pokrivala tehniške revije IRT 3000, Ventil, časnik Finance in drugi.



Arhivski posnetek Stičišča znanosti in gospodarstva kot projekt MVZI (Foto: Alen Rojko)

Janez Škrlec, inž.
Uredništvo revije Ventil

DESIGN AND CONTROL OF MINIATURE WATER VESSELS

Željko Šitum, Juraj Benić, Toni Fain, Pavao Kaštelan

Abstract:

This paper presents the design and practical realization of two mechatronic systems designed to float in the water. The paper first presents a remotely controlled pneumatically powered boat, as an example of ecological and unconventional vessels. The boat is constructed with a proper arrangement of components to ensure its better balance. The propeller is driven by an air motor that enables the propulsion of the boat. The actuator for steering is a three-position pneumatic cylinder that realizes the three positions of the rudder blade (left-center-right). The air supply to the actuators is controlled using a valve block and a microcontroller. The boat can be used to patrol waterways, monitor marine wildlife or conduct water quality tests. In the second part of the article, a remotely controlled underwater vehicle or a miniature submarine is presented. The body of the submarine is a watertight chamber containing four ballast tanks, a control unit and batteries. Two servo motors are used to fill and empty water from the ballast tanks, which allows the vessel to sink and surface. The submarine is steered by a servo motor that rotates the rudder blade, and a DC motor that drives the propeller. The microcontroller is used to control the direction of rotation of the motors and the angle of the boat's rudder.

Keywords:

pneumatically powered boat, air motor, underwater vehicle, remote control, miniature submarine

1 Introduction

Mechatronics is a highly interdisciplinary field and finds application in almost all branches of technology, even in very specific areas such as marine engineering. Some examples of mechatronic systems used in boats and underwater vehicles include autonomous underwater vehicles (AUVs) that use sensors and control systems to navigate and perform tasks [1], control systems for vessel navigation and attitude or mission control systems for AUVs [2]. The application of microprocessors, sensors, and communication components is widespread in the field of mechatronic systems that are used in underwater vehicles. They are installed to control the vehicle's movement, monitor its environment, or communicate with other systems. Mechatronic systems designed to float in the water are associated with numerous limitations and challenges that must be overcome for proper and reliable operation, such as higher signal delay, significant interference and noise, harsh environment, sealing problems, limited lifetime of the drive without charging, etc. [3]. Pneumatic components are rarely used in mechatronic systems for underwater vehicles. Instead, hydraulic and electric systems are

more commonly used. However, there are some examples of mechatronic systems that use pneumatic components. For example, the mechatronic system of a fleet of three autonomous underwater vehicles (AUVs) called Eco-Dolphin uses pneumatic components [4]. Due to their waterproofness, artificial pneumatic muscles may have the potential to be used in mechatronic systems for underwater vehicles as drive actuators or to perform auxiliary actions that need to be performed in water [5]. This paper presents the design and practical realization of two mechatronic systems with pneumatic and electric drive intended for work in a water medium.

2 Pneumatically powered boat

In marine technology, pneumatic systems could be widely used. They can be used as propulsion systems for small boats, kayaks or canoes. Such vessels use compressed air to drive an air engine that drives a propeller or oars. They can also be used on large ships as steering systems, where compressed air drives a pneumatic cylinder that steers the ship's rudder, which turns the rudder blade. In addition, they can be used as ballast systems that use compressed air to inflate and deflate tanks to adjust the ship's stability. They are used in winch and crane systems on cargo ships, as part of diving equipment and many other applications. Remotely operated pneumatic boats can provide some advantages over traditional electric systems. They can be more energy efficient than electric motors

Prof. dr. sc. Željko Šitum, dr. sc. Juraj Benić, Toni Fain, univ. bacc. ing., **Pavao Kaštelan**, univ. bacc. ing.; all University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture

which will result in longer operating times while reducing operating costs. Furthermore, pneumatic systems are more reliable, durable and require less maintenance than electric motors. They are also more environmentally friendly because they do not produce harmful emissions, which makes them suitable for ecologically sensitive areas. Remotely operated inflatable boats are suitable for small-scale operations such as patrolling waterways, monitoring marine wildlife and conducting water quality tests. Therefore, the production of a small boat equipped with electronic components can provide insight into the application of mechatronic principles in systems operating in water.

2.1 Design and construction of the boat

The design requirement was that the boat has enough space for mounting all the necessary components. Next, the components should be arranged to allow an easy flow from the air source to the pneumatic motor to achieve the boat's propulsion and to connect the parts to the boat's construction. Furthermore, it should be taken into account that the compressor, battery and tank are the heaviest and largest components, whose positions on the boat are of crucial importance for the stability of the boat. The hull of the ship was gradually developed, since its shape depends on the elastic properties of the material, the position of the components and the operation of the steering and propulsion systems.

The size of the components, their shape and placement determined the final form of the boat. The rudder must be positioned behind the propeller and a few centimeters (distance 3 on Figure 1) from the stern in order to achieve the necessary propul-

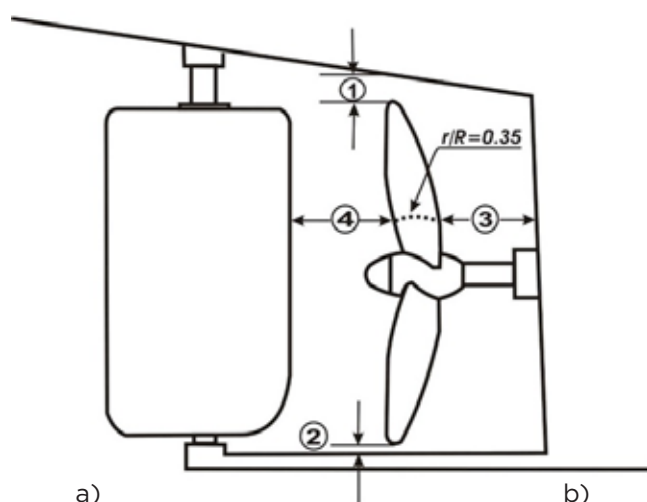


Figure 1 : The position of the boat's propeller and rudder

Source : <https://repozitorij.fsb.unizg.hr/islandora/object/fsb:8392> [6]



Figure 2 : Stages of boat hull construction, a) screw connection, b) polyester binding, c) plasticizing, d) coating with cement kit, e) primer coating, f) coating with final paint

Source : <https://repozitorij.fsb.unizg.hr/islandora/object/fsb:8392> [6]

sion of the boat, and the rudder blade should be placed at a minimum distance of 15% of the propeller diameter.

The boat must have ribs to ensure structural support and overall stability. According to the rules of shipbuilding, the boat must contain air tanks that provide buoyancy in case of sea entering the boat so that these air chambers keep it above water. The bow part was chosen for the reserve tank. The internal volume of the hull must be 3 times greater than the volume of water whose mass is equal to the mass of the cargo and the boat's hull itself.

The material used to make the hull of the boat was plywood with a thickness of 6 mm. The parts are precisely cut and connected to each other with

screws. The contact surfaces of the plywood pieces on the inside and outside were coated with polyester paste. After the binder solidifies, the screws are removed. The bow air chamber is covered with brushed Styrodur which gives a better shape to the boat, which could not be achieved using only plywood. The next step, after obtaining the final form of the boat, is plasticizing. Through this process, glass wool is placed on the hull of the boat and then a layer of polyester resin is spread over it. This is generally an important step in shipbuilding as it protects the surface from corrosion, water ingress and UV radiation. Also, it adds a new layer of protection and increases strength, gives shine to the boat and makes it more attractive. The hull of the boat is coated with cement putty, which is easy to apply and closes the pores on the vessel. Furthermore, the surface is sanded and the process is repeated until the desired flatness and smoothness of the layer is achieved. The last step in making the boat hull is to apply primer and then the final paint. The primer improves the adhesion between the surface and the final layer. It seals the porous surface and thus ensures that the final layer remains uniform, durable and resistant to moisture. It increases the durability of the boat's formwork and reduces the need for frequent repainting. All stages of making the hull of the boat are shown in *Figure 2*.

2.1.1 Boat steering system

The initial idea for the realization of the steering system was the use of a two-acting pneumatic cylinder in combination with a proportional valve. However, such a solution would require measuring the position of the cylinder, creating a more complex control algorithm, and would significantly increase the cost of the project. For this reason, a simpler solution was used. For the movement of the boat in three directions (right, straight, left) a three-position cylinder was used that can set the

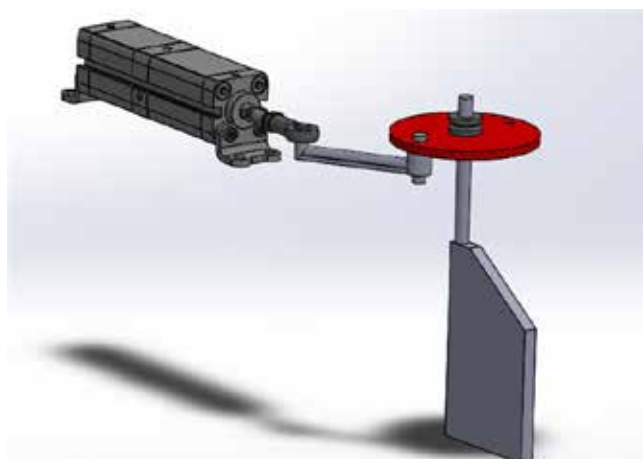


Figure 3 : 3D model of the boat steering system

Source : <https://repozitorij.fsb.unizg.hr/islandora/object/fsb:8392> [6]

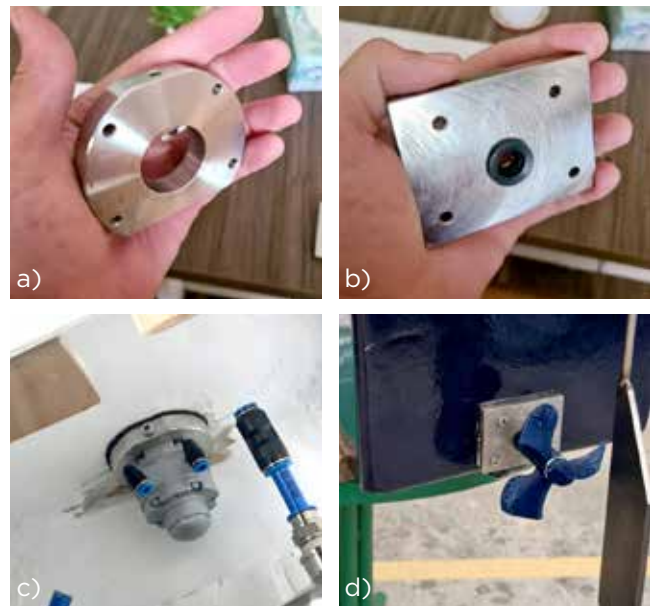


Figure 4 : Boat propulsion parts, a) front support part, b) rear support part, c) air motor, d) propeller

Source : <https://repozitorij.fsb.unizg.hr/islandora/object/fsb:8392> [6]

rudder blade in 3 positions. The steering system is made according to the model given in *Figure 3*.

The piston rod of the cylinder turns the rotary disc which is connected to the boat's rudder blade. The displacement of the piston rod from the middle position to the two end positions is 15 mm, which causes the rotation of the boat's rudder blade by approximately 20°.

2.1.2 Boat propulsion system

There are four problems that had to be solved during designing the propulsion system:

- ▶ placing the air motor low enough inside the boat's hull so that the propeller is completely submerged in the water,
- ▶ mounting the air motor in a position so that the motor shaft passes through the center of the stern,
- ▶ preventing water from leaking through the hole where the shaft passes,
- ▶ mounting the 3D printed propeller on the shaft of the air motor.

The first problem was solved by the own weight of the components, which plunges the vessel into the water, with careful selection of the propeller with an outer radius of 51 mm to be within the boat's waterline. For mounting the air motor, an internal and external support is made that holds the air motor in a fixed position. A seal (semmering) is inserted into the rear support, which does not allow water to enter the interior of the boat. And finally, the air mo-

tor shaft is machined so that it can transmit torque from the motor to the propeller. The manufactured parts of the boat propulsion system are shown in *Figure 4*.

2.2 Drive and control components

An air motor (GAST 1AM-NRV-63A) was chosen to drive the boat's propeller. Air motors have many advantages, even compared to electric motors. Air throttling and pressure control are more cost effective compared to electric motor controls and can be overloaded for longer periods without damaging the motor. The characteristics that distinguish air motors are: variable operating speed and output power, they do not heat up significantly during operation, they are ideal for use in extreme conditions (dangerous environments, extreme temperatures, etc.). A three-position pneumatic cylinder (FESTO ADN 25-A-P-A-15Z1-30Z2) was chosen as the actuator for steering. The cylinder has 3 three positions where the connecting rod is extended by 0, 15 and 30 mm. It has good corrosion resistance, which is essential for applications in the presence of sea salt. The valve block (FESTO VTUG-10-SH3-S1T-Q6-U-M5S-6K), which contains 12 solenoid 3/2 valves, was used to control the actuators. Each valve is activated by a digital 24 V electrical signal sent by the microcontroller via serial communication. A compressor (VIAIR 400C) was used to supply the

system with compressed air. It can produce 1.2 l/s of compressed air when the tank is completely empty and 0.9 l/s when the air in the tank is 5 bar. An air tank (FESTO CRVZS-2) with a volume of 2 liters is placed behind the compressor, and is used for pressures up to 16 bar. The drive components are shown in *Figure 5*.

Controllino Mini microcontroller was used as control device. It is programmed using the ARDUINO IDE software package and contains relay outputs that can be used to activate valves without additional electronic elements. It uses an ATmega328P microprocessor and has a USB port for communication with a computer. Bluetooth module (HC-05) is used for wireless control of the boat using a mobile phone or laptop. It has a data mode in which it can send and receive data from other bluetooth devices. The module requires a +5 V power supply, and its range is less than 100 meters. Two power sources are required for the operation of the entire system. The compressor requires a 12 V DC power supply, and the Controllino can be powered from a 12 or 24 V DC source.

Two batteries were used because the compressor is a big consumer of energy compared to Controllino devices, and in the case of a complete discharge of one battery, the valve would close, although theoretically there could be compressed air in the tank.

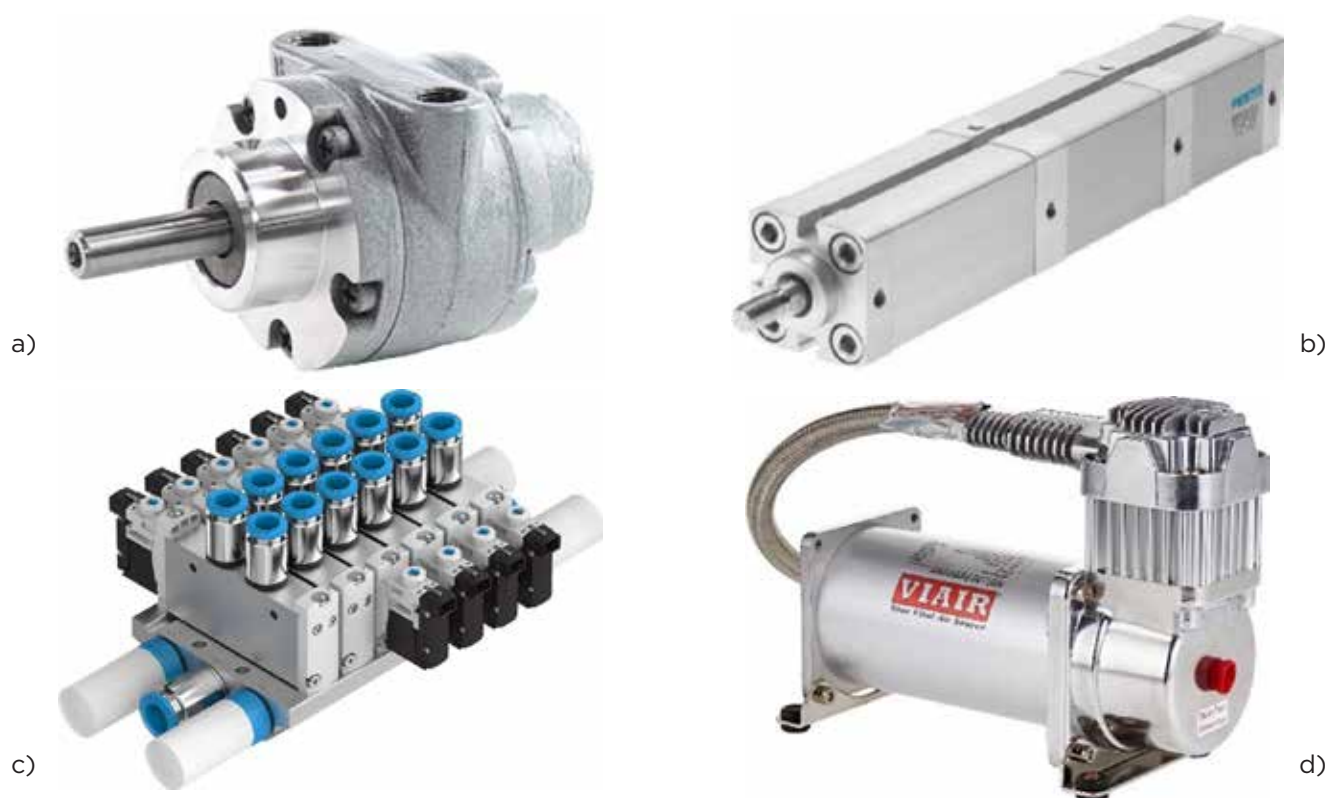


Figure 5 : Drive components, a) air motor, b) cylinder, c) valve block, d) compressor

Source : <https://repozitorij.fsb.unizg.hr/islandora/object/fsb:8392> [6]

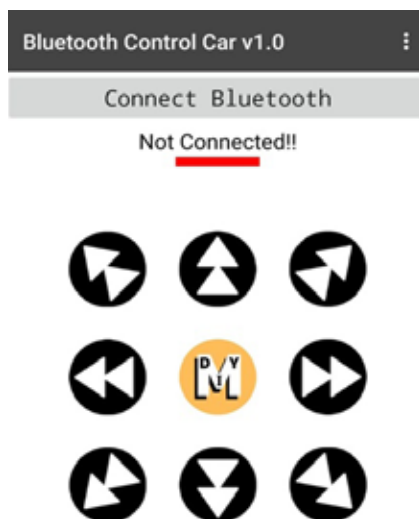


Figure 6 : Mobile application for boat control

Source : <https://repozitorij.fsb.unizg.hr/islandora/object/fsb:8392> [6]



Figure 7 : Pneumatically powered boat in the water

Source : <https://repozitorij.fsb.unizg.hr/islandora/object/fsb:8392> [6]

2.3 Description of system operation

The program code is transferred to the microcontroller from the laptop using USB communication. The microcontroller initially includes all necessary libraries, defines initial variables, starts serial communication and declares control pins. In the next step, an infinite loop is started in which the values of the variables are constantly examined and it is determined which valve will be activated by an electrical signal. In manual mode, as soon as the operator touches the screen in the application, the programmed task of the boat is interrupted and all control actions are undertaken by the operator, who has the option of moving the boat forward - backward with the option on the mobile phone, *Figure 6*.

Figure 7 shows the developed prototype of a remotely controlled pneumatically powered boat during testing in water.

3 Remote controlled underwater vehicle

Remotely controlled underwater vehicles are used for underwater activities, scientific research, inspection of installations at sea for oil and gas, extraction of shipwrecks from the sea, etc. They can be equipped with different instruments, such as cameras, lights, and manipulators, to collect data or perform a specific task. They can work in deep waters where it is not possible or safe for divers. The goal of this project is to show an example of controlling the depth of the dive and realizing the movement of the vessel in the water. With a sonar or camera upgrade, a vehicle for mapping or recording the underwater surface could be realized. However, there are many difficulties with remote communications with a vehicle under water. Water absorbs most of the signal wavelengths used

in remote-controlled vehicles. For this reason, an underwater cable is often used to connect the vehicle to the control device. The next problem is maintaining the required navigation depth of the underwater vehicle. One solution is to use ballast tanks that can be filled and emptied with water to change the density of the vehicle, causing the vehicle to sink or rise. Manipulating the depth of diving requires knowledge of the static buoyancy of the underwater vehicle (the ability to float in the water at rest). By using ballast tanks, water is introduced into the submarine, which changes its density and enables a change in diving depth. Control of the depth of the underwater vehicle also requires measuring the depth at which the vehicle is located. A pressure sensor will be used for this purpose because the depth can be calculated from the hydrostatic pressure.

3.1 Designing and construction of an underwater vehicle

The hull of the submarine is a watertight chamber, in the form of a cylinder with rounded ends, in which all the parts necessary for the operation of the submarine are located. The main part of the hull is made of a transparent acrylic tube with a diameter of Ø120/114 mm and a length of 340 mm, in which the ballast tanks, control unit and batteries are placed. *Figure 8* shows the hull of the submarine in a 3D model. The ballast tanks system is made using medical syringes where the pistons are driven by two servo motors. Each motor drives two pistons at opposite ends of the submarine. This allows manipulating the center of mass of the submarine and adjusting the pitch. The positions of the pistons inside the cylinders is measured using two linear potentiometers and the data is sent to the microcontroller for controlling the servo motors.



Figure 8 : 3D model of ballast tanks and submarine hull

Source : <https://repozitorij.fsb.unizg.hr/islandora/object/fsb:9155> [7]



Servo motors (MPJA MG995) used for filling and emptying ballast tanks have the possibility of continuous rotation. Watertightness between joints is achieved by using suitable seals. There are six contact surfaces on the submarine that require sealing.

nication and PID control. The control device with electronics and sensors is shown in *Figure 9*. A servomotor (SG90) is used to rotate the rudder of the underwater vehicle, which drives a shaft connected to a lever on the vehicle's rudder, *Figure 10*.

3.2 Control of an underwater vehicle

The control unit consists of a microcontroller that is programmed to interpret the input signals from the radio receiver and convert them into suitable output signals for driving the propeller as well as the servo motors for driving the pistons of the ballast tanks. The control system also contains analog or digital inputs for reading signals from the pressure sensor, potentiometer and temperature sensor.

An Arduino Uno microcontroller is used for sensor data processing, motor control, wireless commu-

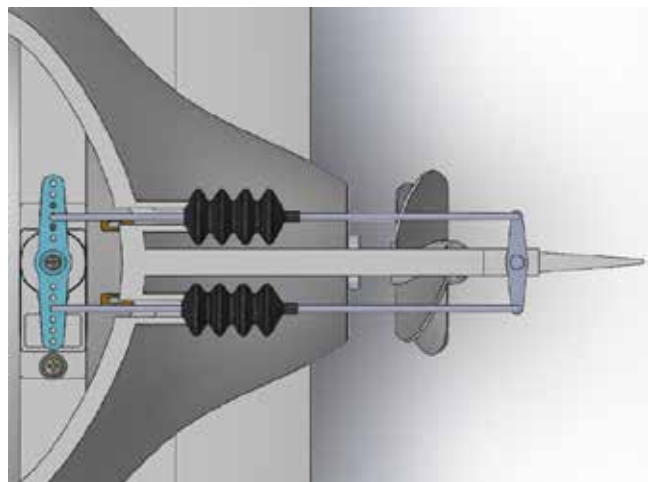


Figure 10 : Rudder control

Source : <https://repozitorij.fsb.unizg.hr/islandora/object/fsb:9155> [7]

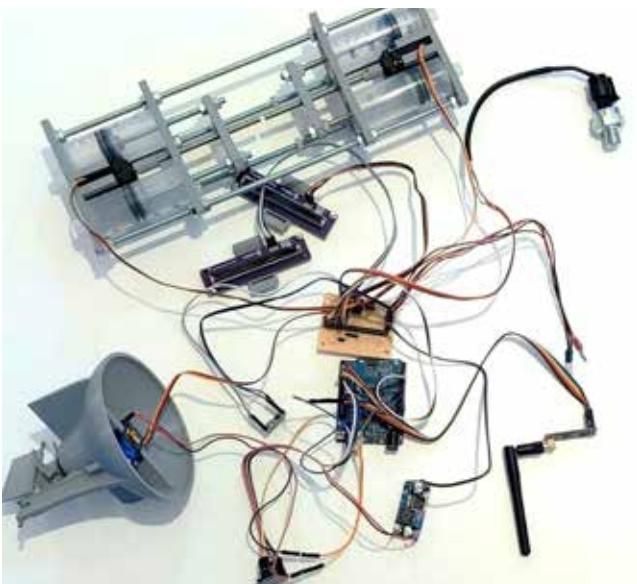


Figure 9 : Control electronics with sensors

Source : <https://repozitorij.fsb.unizg.hr/islandora/object/fsb:9155> [7]

3.3 Description of system operation

The microcontroller is programmed to perform the tasks of maintaining the required depth, controlling the motors and wireless communication with the transmitter. The submarine has a relatively slow response to changing the diving depth. The reason for this is the large transverse surface of the submarine and the relatively slow rotation of the servo motor, which gives a slow response of the ballast tank. A PID controller was used to achieve the accuracy of the required diving depth and response speed of the submarine, and the operation of the system was checked experimentally. *Figure 11* shows the constructed underwater vehicle.



Figure 11 : Underwater vehicle

Source : <https://repozitorij.fsb.unizg.hr/islandora/object/fsb:9155> [7]

4 Conclusion

The paper has presented the design and practical realization of two mechatronic systems for floating in the water environment. First, a small boat with a propeller driven by a pneumatic motor was presented. The boat is remotely controlled and has the ability to change the direction of navigation. Then the process of designing and making a remotely controlled underwater vehicle or a miniature submarine was presented. The underwater vehicle has the ability to fill and empty water from the ballast tanks.

These experimental systems can be used as educational test models in the field of mechatronics and automatic control in marine technology. In order for the systems to work properly on water or under water, it is necessary to solve many specific requirements of such mechatronic systems. Such systems clearly demonstrate the possibilities of applying mechatronic and fluid power systems in ship technology. Such innovative works based on mechatronic principles give impetus to students to create new practical works in the future as well [8, 9].

References

[1] Bemfica, J.R., Melchiorri, C., Moriello, L., Palli, G., Scarcia, U., Vassura, G. (2013). Mecha-

tronic Design of a Three-Fingered Gripper for Underwater Applications, IFAC Proc. Vol., Vol. 46 (5), pp. 307-312, <https://doi.org/10.3182/20130410-3-CN-2034.00080>.

- [2] Higuera, C., Sandoval, J., Coria, L.N. et al. (2022). An autonomous unmanned underwater control test vehicle: platform description and experiments. J Mech Sci Technol 36, pp. 395-405 <https://doi.org/10.1007/s12206-021-1238-0>
- [3] McPhail, S. (2009). Autosub6000: A Deep Diving Long Range AUV. J Bionic Eng 6, pp. 55-62, [https://doi.org/10.1016/S1672-6529\(08\)60095-5](https://doi.org/10.1016/S1672-6529(08)60095-5)
- [4] H. Liu et al., (2015). The mechatronic system of Eco-Dolphin — A fleet of autonomous underwater vehicles, International Conference on Advanced Mechatronic Systems (ICAMechS), Beijing, China, pp. 108-113, doi: 10.1109/ICAMechS.2015.7287138.
- [5] Fan, J., Wang, S., Wang, Y., Li, G., Zhao, J., & Liu, G. (2022). Research on frog-inspired swimming robot driven by pneumatic muscles. Robotica, 40 (5), pp. 1527-1537. doi:10.1017/S0263574721001247
- [6] Fain, T. (2021). Design and remote control of a pneumatically driven vessel. Final year project (in Croatian), University of Zagreb, Fac. of Mech. Eng. and Naval Arch.
- [7] Kaštelan, P. (2021). Design and control of an underwater vehicle. Final year project (in Croatian), University of Zagreb, Fac. of Mech. Eng. and Naval Arch.
- [8] Šitum, Ž. (2017). Fluid power drives in robotic systems. Invited Lecture. Int. Conf. Fluid Power 2017, Maribor, Slovenija, 11-23.
- [9] Šitum, Ž., Benić, J., Pejić, K., Bača, M.M., Radić, I., Semren, D. (2021). Design and control of mechatronic systems with pneumatic and hydraulic drive, Int. Conf. Fluid Power 2021, September 16-17, Maribor, Slovenija.

Projektiranje in krmiljenje miniaturnih vodnih plovil

Razširjeni povzetek:

Prispevek opisuje projektiranje in praktično izvedbo dveh mehatronskih sistemov, namenjenih navigaciji v vodi. V članku je najprej predstavljen daljinsko voden čoln na pnevmatski pogon, kot primer ekološkega in nekonvencionalnega plovila. Čoln je izdelan s pravilno razporeditvijo sestavnih delov, ki zagotavljajo njegovo boljše ravnotežje. Propeler poganja zračni motor, ki omogoča pogon čolna. Aktuator za krmiljenje je tripoložajni pnevmatski cilindar, ki realizira tri položaje lista krmila (levo-sredina-desno). Dovod zraka v aktuatorje se krmili z ventilskim blokom in mikrokrmilnikom. Čoln se lahko uporablja za patroliranje vodnih poti, spremljanje morskih divjih živali ali izvajanje testov kakovosti vode. V drugem delu članka je predstavljeno daljinsko vodeno podvodno vozilo oziroma miniaturna podmornica. Telo podmornice je vodotesna komora, ki vsebuje štiri balastne rezervoarje, krmilno enoto in baterije. Dva servo motorja se uporabljata za polnjenje in praznjenje vode iz balastnih tankov, kar omogoča, da plovilo zlahka potone in lebdi. Podmornico krmili servo motor, ki vrti list krmila, in enosmerni motor, ki poganja propeler. Mikrokrmilnik se uporablja za krmiljenje smeri vrtenja motorjev in kota krmila podmornice.

Ključne besede:

čoln na pnevmatski pogon, zračni motor, podvodno vozilo, daljinsko upravljanje, miniaturna podmornica

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, 10. in 11. junij 2024

www.forum-irt.si

Glavni pokrovitelji



Razvojna partnerja



Vsebinski partner



Nacionalni pokrovitelji



Pokrovitelji



TRAJNOSTNO PREIZKUŠANJE HIDRAVLICNIH ZOBNIŠKIH ČRPALK

Nejc Novak, Ana Trajkovski, Mitjan Kalin, Franc Majdič

Izvleček:

Hidravlični sistemi so vse bolj prisotni v vseh segmentih naših proizvodnih verig, kot so kmetijstvo, gradbeništvo, transport in razna industrijska področja. Ključni sestavni del vsakega hidravličnega sistema so praviloma črpalke. Z novo razvito napravo za testiranje zobniških črpalk smo izvajali trajnostne teste petih zobniških črpalk hkrati. Vse imajo ohišja iz aluminijevih zlitin in jeklene zobnike. Ena črpalka je testirana s standardnim srednjim testnim prahom (MTD), ena je testirana z namensko dodanimi dejanskimi obrabnimi delci za hidravlične teste, zadnje tri pa smo testirali pri pogojih brez dodajanja nečistoč, in sicer v osnovi s čistočo 20/19/17 po standardu ISO 4406. Spremljanje temperature na ohišju delujočih in s tem bolj ali manj obrabljenih črpalk kaže na povečevanje notranjega puščanja in zmanjševanje skupnega izkoristka vsake črpalke. Spremljali smo predvsem upadanje volumetričnih izkoristkov črpalk. Ugotovitve te raziskave prispevajo k trajnostnemu razvoju hidravličnih zobniških črpalk in s tem k izboljšanju učinkovitosti celotnih hidravličnih sistemov.

Ključne besede:

zobniška črpalka, čistoča olja, obrabni delci, testni prah, volumetrični izkoristek

1 Uvod

Uporabna doba hidravličnega sistema je časovno obdobje, v katerem se sistem uporablja gospodarno in učinkovito ter lahko vzdržuje želene temperature pri zahtevanih tlakih in pretokih, potrebnih za izvajanje zelenih operacij. Na trajnost delovanja vplivajo številni parametri. Med najpomembnejšimi so kvaliteta hidravličnega olja, temperatura in čistoča olja. Eden najpomembnejših parametrov za daljšo uporabno dobo olja je čim nižja količina kontaminantov v olju, pa tudi vpliv tlaka, oksidacije, radiacijskega striženja in drugih dodatkov v olju. Vsi ti lahko sprožijo kemično reakcijo [1–4]. Več kot 70 % okvar v industrijskem delovnem procesu povzročijo kontaminanti v hidravlični kapljevini, pri čemer je med 60 % in 70 % vseh okvar posledica trdnih delcev [5]. Za izvajanje vzdrževanja hidravličnih sestavnih delov in posledično celotnih sistemov je čistost olja izrednega pomena [6–8]. Čistost olja je temelj stanja sistema.

V hidravlični kapljevini so številni delci – nekateri so nastali zaradi obrabe, drugi so prišli vanjo kot onesnaževalci iz okolice, nekateri pa obstajajo že od nastanka sistema. Dimenzije in sestava teh delcev bistveno vplivajo na delovanje sistema, še posebej, če je višina rež med površinami z medsebojno rela-

tivno hitrostjo približno enaka velikosti delcev [9]. Delci med kontaktnimi površinami spodbujajo njihovo obrabo [10]. Kontaktna površina so tudi tiste, ki večino ali del časa niso v neposrednem kontaktu, a so med njimi reže reda velikosti le nekaj mikrometrov. Najpogostejša mehanizma obrabe sta tritelesna abrazija [11] in erozija [12].

ISO 12103-1 je standard, ki natančno popiše arizonski testni prah. Ta se uporablja za testiranje filtrov, saj ima ponovljivo porazdelitev velikosti in količine delcev [13]. Obstajajo štiri vrste testnega prahu: A1 zelo fini, A2 fini, A3 srednji in A4 grobi. Srednji testni prah (MTD, ang. *medium test dust*) se pogosto uporablja za pospešeno preizkušanje hidravličnih elementov in komponent. Testni prah je bolj abraziven od običajnih kontaminantov, ki jih najdemo v hidravličnih sistemih, in zato pospešuje obrabo hidravličnih komponent [14, 15]. Volumetrični izkoristek je odvisen od zmanjšanja dejanskega pretoka črpalke v primerjavi z začetnim (nova črpalka) predvsem zaradi obrabe tesnilnih površin komponent in njihovih sestavnih delov [16]. S tem je mišljena obraba tesnil, še večkrat pa obraba kontaktnih površin. Neposreden kontakt teh površin imenujemo včasih tudi »kovinsko tesnjenje«. Wang in sod. [17] so napovedali preostalo uporabno dobo (RUL) hidravlične zobniške črpalke z uporabo pospešenega preizkusa uporabne dobe zobniške črpalke. Uporaba te metode je učinkovito izboljšala izkoristek delovanja hidravličnega sistema in zmanjšala pogostost okvar. Zobniške črpalke so preučevali tudi Ranganathan in sod. [18] in Frith [19] z uporabo preskusnega prahu. Ugotovljeno je bilo, da so najbolj vplivni dejavniki za zmanjšanje pretoka črpalk

Nejc Novak, mag. dr. Ana Trajkovski, prof. dr. Mitjan Kalin, univ. dipl. inž., izr. prof. dr. Franc Majdič, univ. dipl. inž., vs Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo

ke: kemična sestava, trdota, porazdelitev velikosti in število delcev, ki so povzročili obrabo kritičnih tesnilnih elementov. Obstajajo številne simulacije hitrosti pretoka zobniških črpalk, ki so jih opravili Rundo [20], Casoli [21], Malsavi [22] in drugi, kar kaže na uporabnost takih orodij.

Raziskovalci so raziskovali vpliv temperature na volumetrični izkoristek črpalke [23] in ugotovili da nadzorovanje temperature hidravlične kapljevine (olja) omogoča stabilen proces. Previsoka temperatura negativno vpliva na delovanje hidravlične črpalke, saj pri povišanih temperaturah volumetrični izkoristek črpalke izrazito upada. Kot rešitev bi se moralo sistemu dodati ustrezen hladilen sistem, da ne bi prišlo do porasta temperature. Dokumentiranje polja parametrov (tlak, pretok, temperatura, vrtilna hitrost) črpalke pripomore k predvidevanju obnašanja izvršilnih hidravličnih komponent in avtomatizaciji procesov kot tudi diagnostiki črpalk in sistemov ter njihovih optimalnih pogojev delovanja. Mazanje zobniških črpalk z zunanjim ozobjem z ustreznim hidravličnim oljem lahko optimizira Stribeckove krivulje črpalke, kar predstavlja enostaven izraz Stribeckovega števila z volumetričnim in mehanskim izkoristkom [24].

Delci neizogibno poškodujejo vse komponente v hidravličnem sistemu, povzročajo obrabo in povišanje temperature komponent, olja in posledično sistema. Ta obraba na tesnilnih površinah se kaže v obliki notranjega ali celo zunanjega puščanja, kar vodi do zmanjšanja volumetričnega izkoristka sistema. Pregled literature kaže, da so delci, ki so običajno v hidravličnem sistemu, manj škodljivi za sistem kot testni prah. Obstaja nekaj dokazov, da lahko testni prah učinkovito pospeši obrabo in tako skrajša čas, potreben za dolgoročno preizkušanje hidravličnih komponent. Vendar je treba za določitev časa pospeševanja upoštevati parametre, kot so koncentracija delcev (čistost olja), temperatura, tlak, pretok in druge. Poleg tega v literaturi ni navedene neposredne povezave med učinki obrabnih delcev in testnega prahu na obrabo hidravličnih komponent. V laboratoriju so bili na hidravličnih zobniških črpalkah izvedeni trije preskusi vzdržljivosti: eden brez dodatnih kontaminantov (na vzorcu treh črpalk), eden z obrabnimi delci iz industrijskega hidravličnega sistema in eden s testnim prahom. V tej študiji so predstavljeni: zasnova preizkuševališča, dejanske meritve pretokov in primerjava volumetričnih izkoristkov črpalk ter spremljanje temperature ohišja črpalke pri normalnem obratovanju in med okvaro.

2 Metodologija raziskave

V laboratoriju so bila sestavljena tri hidravlična preizkuševališča. Preizkusili smo vpliv čistoče olja v hidravličnem sistemu na vzdržljivost sistema in primerjali učinek obrabnih delcev in testnega

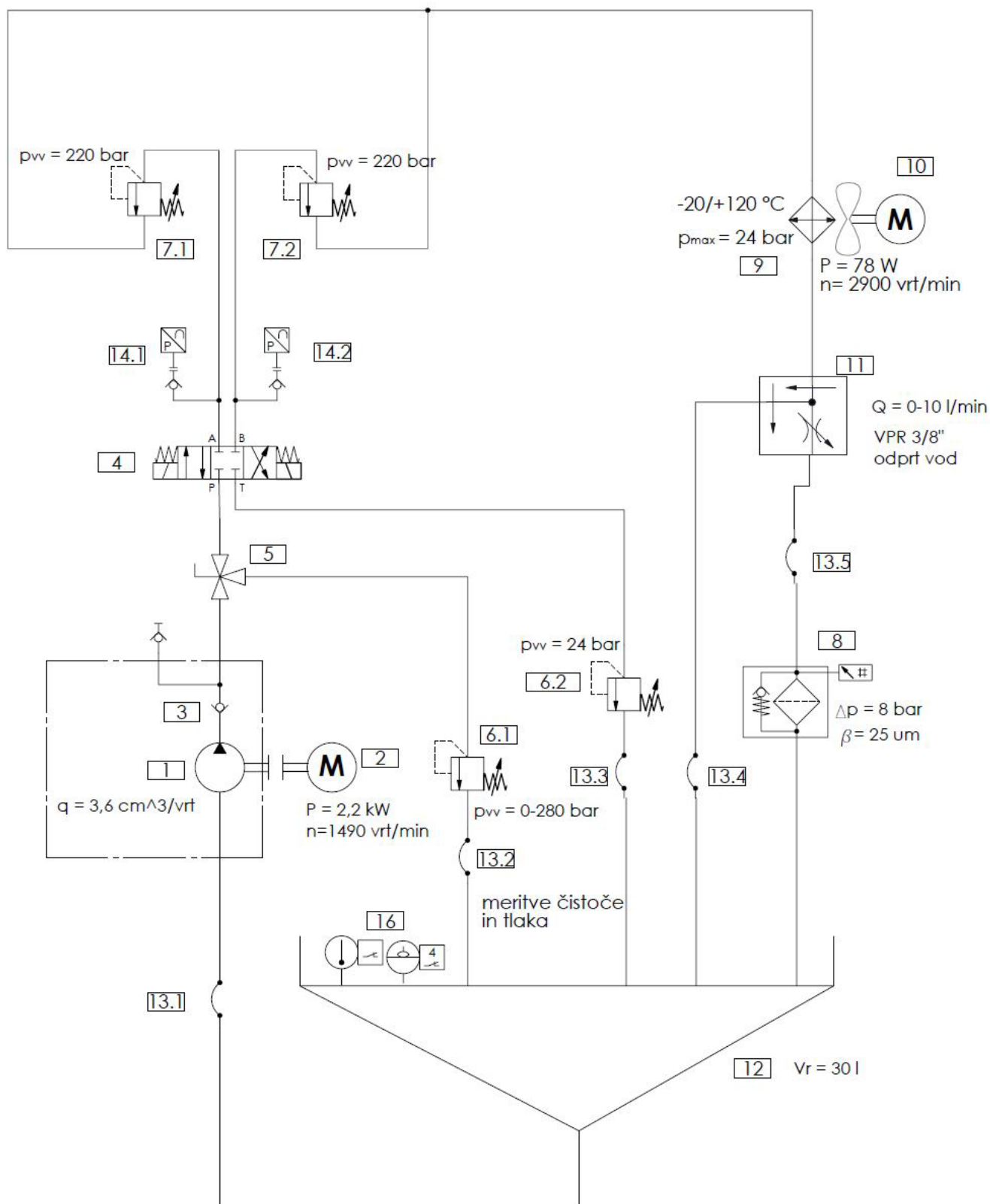


Slika 1 : Preizkuševališče petih zobniških črpalk, testiranih s srednjim testnim prahom, obrabnimi delci in brez dodajanja kontaminanta s filtracijo

prahu (MTD) z normalno delujočim hidravličnim sistemom brez dodatnih kontaminantov. *Slika 1* prikazuje vse preskusne stožčaste rezervoarje preizkuševališča in hidravlične ventile, ki se uporabljajo za obremenitev zobniških črpalk. Na začetku je bilo v prvo enoto, ki je bila testirana brez dodatnih onesnaževalcev, dodanih 30 L hidravličnega olja ISO VG 46 čistoče 20/19/17. Drugi dve preizkuševališči sta imeli v vsaki enoti po 13 L olja. Eno je bilo testirano z obrabnimi delci, drugo pa s testnim prahom. Pretok skozi zobniško črpalko je bil izmerjen s štoparico in tehtanjem olja. Kasneje je bil pretok določen na podlagi znane gostote mineralnega olja ISO VG 46, ki je 0,8551 kg/L. Zobniške črpalke imajo iztisnino 3,6 cm³/vrt in največji dopustni tlak 290 bar. V nevtralnem položaju 4/3 potnega ventila z elektromagnetni so vsi priključki zaprti – blokirani. Temperatura olja (v rezervoarju), ki je bilo uporabljeno za preizkušanje zobniške črpalke, in sicer brez dodatnega kontaminanta, je bila 63 +/- 5 °C. Termostat za nadzor delovanja hladilnika je bil nastavljen na 70 °C.

Črpalka (*slika 2*, poz. 1) črpa olje iz stožčastega rezervoarja (*slika 2*, poz. 12), ki zaradi oblike ne omogoča nastajanja usedlin delcev na dnu. To olje nato skozi protipovratni ventil (*slika 2*, poz. 3) teče v ročno krmiljen 3/2-krogelni ventil (*slika 2*, poz. 5). Nato olje teče dalje skozi elektromagnetno krmiljen 4/3-potni drsniški ventil (*slika 2*, poz. 4). Odvisno od položaja ventila (vzporedno ali križno) teče olje dalje skozi delovni vod A ali B proti tlačnima omejitelnima – varnostnima ventiloma (*slika 2*, poz. 7), hladilniku (*slika 2*, poz. 10), prioritetenemu ventilu (*slika 2*, poz. 11) in filtru (*slika 2*, poz. 8) nazaj v rezervoar.

Prioritetni ventil (*slika 2*, poz. 11) je mogoče prilagoditi za vzdrževanje določene razlike v tlaku. Ta funkcija omogoča ventilu, da usmerja večji ali manjši



Slika 2 : Hidravlična shema preizkuševališča za umetno dodajanje obrabnih delcev

ši pretok olja skozi filter, kar zagotavlja večjo ali manjšo čistost. Tako lahko del olja zaobide filter, kar vodi do nižje čistote olja. Postopek testiranja vključuje nastavitve obremenitvenega tlaka sistema (dva tlačna omejitelna - varnostna ventila) na do 220

bar. Hidravlično olje v vseh treh preskusnih napravah je bilo na začetku filtrirano, da smo dosegli stopnje čistosti 16/15/13 po ISO 4406. Med preizkusi smo temperaturo dosledno spremljali in vzdrževali v območju $63 \pm 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$.



Slika 3 : Zaznavanje okvare zobniške črpalke

Čistočo ocenjujemo oz. določamo z ročnim odvzemom vzorcev olja s prekrmljenjem krogelnega 3/2-potnega ventila (slika 2, poz. 5) preko ventila za razbremenitev tlaka (slika 2, poz. 6.1) in z meritvami na merilnem priključku tik za protipovratnim ventilom poz. 3. Vsak cikel traja 0,5 sekunde. Med ciklom se aktivira levi elektromagnet v 4/3-potnem ventilu, da se doseže vzporedni položaj krmilnega bata. Po tem se vklopi desni elektromagnet, ki prekrmlji krmilni bat v križni položaj.

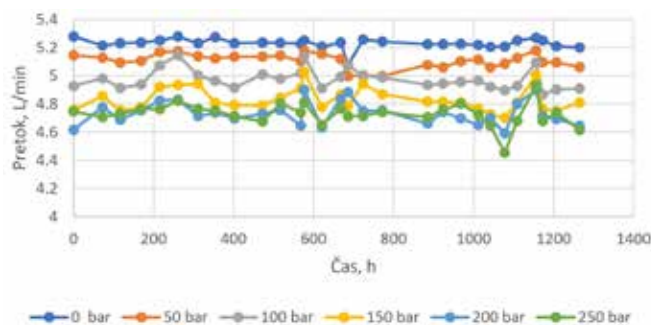
Dodatne meritve smo izvajali s termografsko kamero, s katero smo merili toplote površine črpalk. Na *sliki 3* je razvidna okvara hidravlične črpalke, testirane s testnim prahom. Ta črpalka proizvaja največ toplote.

3 Rezultati

V treh enotah hidravličnega preizkuševališča, kjer smo trajnostno testirali zobniške črpalke z aluminijastimi ohišji, so bili izvedeni trije testi (istočasno testiranje treh enakih črpalk); eden brez *dodane* kontaminacije (ena črpalka), eden z namenskim dodajanjem obrabnih delcev (ena črpalka) in eden z dodajanjem testnega prahu (ena črpalka).

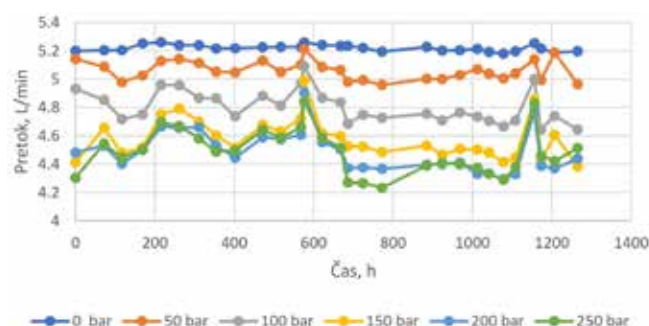
3.1 Testiranje brez dodane kontaminacije

Najprej je bila testirana zobniška črpalka s hidravličnim oljem brez dodatno vnesene kontaminacije, torej olje čistoče 20/18/15 po ISO 4406. Največji izmerjeni pretok je bil seveda pri tlaku 0 bar, kjer črpalka ni bila obremenjena. V povprečju je znašal 5,3 L/min. Zaradi ponovljivosti preizkusa smo merili pretoke na treh različnih črpalkah hkrati brez dodatno vnesene kontaminacije. Pretoki črpalke 1 se gibljejo od 5,3 L/min pri 0 bar do najnižjega 4,5 L/min pri 250 bar. Večje obrabe pri tej črpalci ni zaznati (*slika 4*).



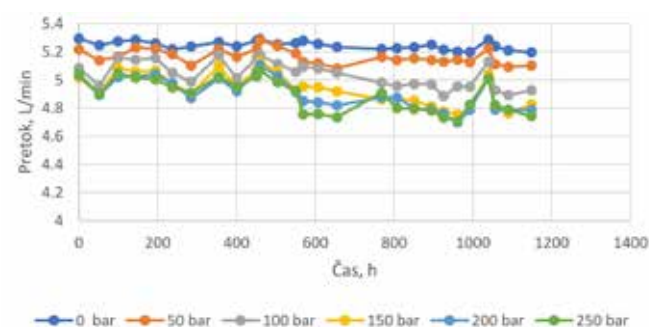
Slika 4 : Pretok črpalke 1, testirane brez dodatno vnesene kontaminacije

Pri črpalci 2 opazimo po 686 h obratovanja pri tlaku 250 bar manjši upad pretoka s 4,5 L/min na 4,2 L/min, kar verjetno pomeni manjšo obrabo črpalke (*slika 5*). Pretok se precej spreminja.



Slika 5 : Pretok črpalke 2, testirane brez dodajanja kontaminanta

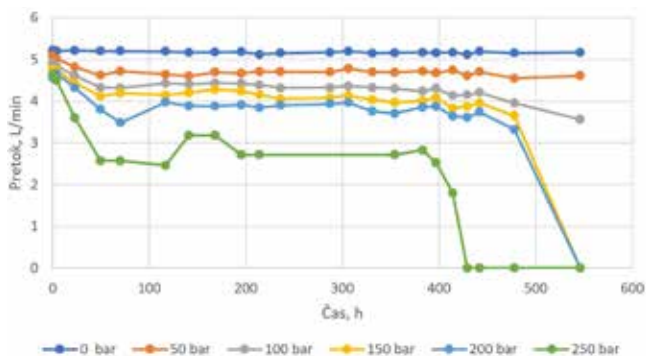
Pri črpalci 3 opažamo zelo visoke volumetrične izkoristke, saj pretoki pri 250 bar tlaka dosegajo 4,9 L/min do 551 h delovanja. V nadaljevanju pade pretok na 4,7 L/min, kar je še vedno največji pretok izmed vseh treh črpalk, testiranih pri čistoči olja 20/18/15 po ISO 4406.



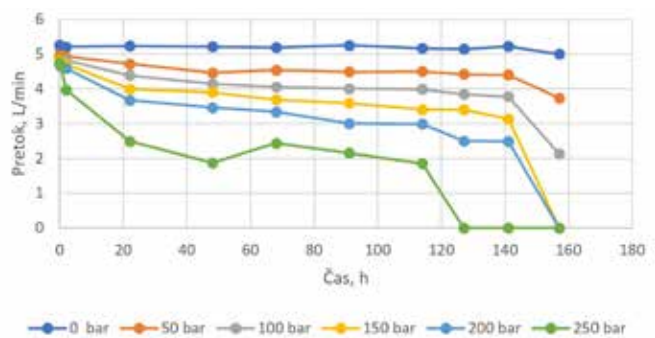
Slika 6 : Pretok črpalke 3, testirane brez dodajanja kontaminanta

3.2 Testi z obrabnimi delci

Zobniška črpalka, testirana z obrabnimi delci, je vzdržala 546 h (*slika 7*). Na začetku testa smo v 13



Slika 7 : Pretoki črpalke, testirane z obrabnimi delci pri koncentraciji 0,387 g/L in čistoči olja 22/21/20 po ISO 4406



Slika 8 : Pretoki črpalke s testnim prahom pri koncentraciji 0,012 g/L in čistoči olja 22/21/19 po ISO 4406

L hidravličnega olja dodali 5,04 g obrabnih delcev, tako da je bila koncentracija obrabnih delcev in olja 0,387 g/L. Na začetku preizkusa so bili pretoki podobni kot pri zobniški črpalki, testirani brez dodane kontaminacije. Zobniška črpalka, testirana z obrabnimi delci, je imela pretok 5,2 L/min pri tlaku 0 bar. Pri tlaku 50 bar je bil pretok 5,1 L/min, pri 150 bar 4,9 L/min, pri 200 bar 4,6 L/min in pri 250 bar 4,6 L/min. Po 546 urah testiranja je pretok padel na 5,2 L/min pri 0 bar, pri 50 bar je bil pretok 4,6 L/min, pri 100 bar je bil pretok 3,5 L/min in pri 150 bar in več je bil pretok 0 L/min. Čistost olja med testom je bila 22/21/20 po ISO 4406. Pretoki niso popolnoma konstantni, kot je zapisano.

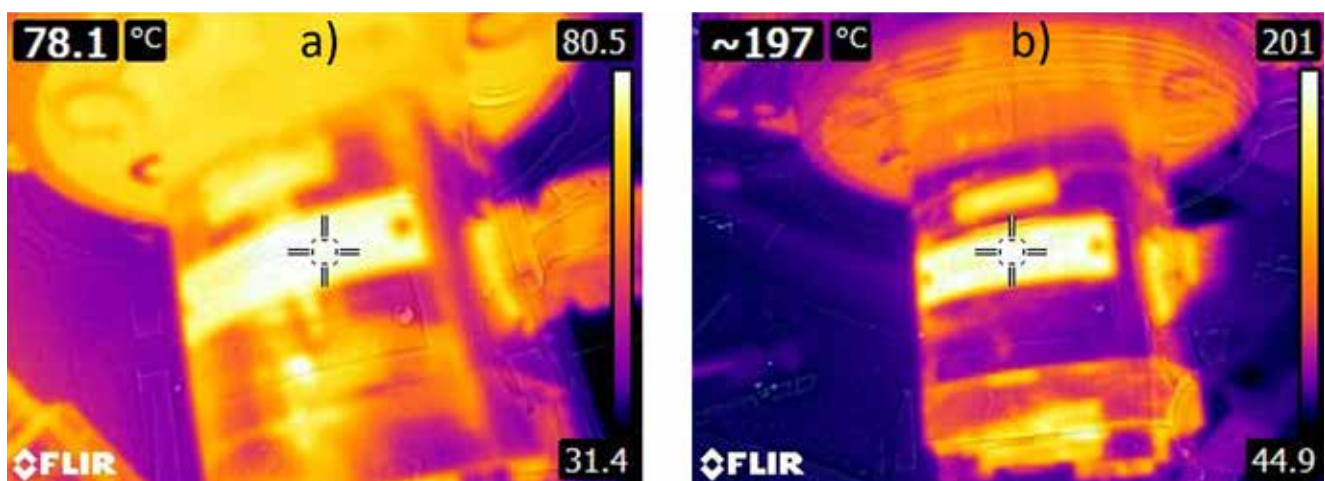
3.3 Testi s testnim prahom

Zobniška črpalka, testirana s testnim prahom, je delovala 157 ur pri tlaku 250 bar (slika 8). Na začetku testa smo dodali 0,16 g testnega prahu in tako dosegli koncentracijo testnega prahu in olja 0,012 g/L (slika 8). Na začetku testa je bil pretok pri 0 bar 5,3 L/min. Pri tlaku 50 bar je bil pretok 5,0 L/min, pri 100 bar 4,8 L/min, pri 150 bar 4,7 L/min, pri 200 bar 4,6 L/min in pri 250 bar 4,6 L/min. Po 157 urah

testiranja so se pretoki znižali na 5,0 L/min pri 0 bar, 3,7 L/min pri 50 bar in 2,1 L/min pri 100 bar. Pri višjih tlakih pretokov ni bilo več moč izmeriti, ker so bili nični. Čistost olja med testom je bila 22/21/19 po ISO 4406.

3.4 Temperatura ohišja črpalke

Na sliki 9a je prikazana s termokamero izmerjena temperatura ohišja črpalke med obratovanjem. V povprečju je znašala 78 °C. Olje v takem primeru kroži po celotnem sistemu in se ohlaja v hladilniku, ki na ta način vzdržuje delovno temperaturo sistema. Nasprotno slika 9b kaže obrabljeno črpalko na koncu njene uporabne dobe. Temperatura ohišja je dosegla 197 °C kljub ustreznemu delovanju oljnega hladilnika. Črpalka v tem primeru ni bila več zmožna prečrpavati olja. Omenjena situacija je posledica lokalnih izgub, ki so se pojavile znotraj črpalke med tesnilnimi režami. Ko se reže med elementi, ki tesnijo, zaradi obrabe povečajo, nastane večje notranje puščanje, kar povzroči lokalne tlačne izgube in s tem povezano izrazitejše lokalno segrevanje olja in posledično tudi zmanjšanje njegove viskoznosti. Zmanjšanje viskoznosti privede do še večje-



Slika 9 : Temperatura ohišja zobniške črpalke med (a) obratovanjem in (b) na koncu njene uporabne dobe

ga notranjega puščanja in segrevanja. Segrevanje povzroči neenakomerno raztezanje ohišja črpalke (aluminijeva zlitina) in zobnikov (ogljikovo jeklo), saj ima aluminij temperaturni koeficient dolžinskega raztezka 21 do 24 $\mu\text{m/K}$, jeklo pa skoraj za polovico manjšega (12 $\mu\text{m/K}$). Povečanje rež in znižanje viskoznosti ter povečanje notranjega puščanja rezultira v popolnem upadu iztoka iz črpalke. Zaradi izrazitega zmanjšanja iztoka olja na tlačni strani črpalke ta ne teče več po sistemu do hladilnika, ampak zastaja znotraj črpalke. Količina olja, ki se trenutno nahaja v črpalki, se tako segreje do mnogo višjih temperatur, kot so sicer pri normalnem obratovanju sistema (slika 9b).

4 Diskusija in zaključek

Zobniška črpalka 1, testirana brez kontaminacije, ima v povprečju visok volumetrični izkoristek, in sicer 100 % pri 0 bar, 98 % pri 50 bar, 92 % pri 100 bar, 90 % pri 200 bar in 90 % pri 250 bar. Ti izkoristki se med preizkusom bistveno ne spremenijo, medtem ko se pretoki zobniških črpalk, testiranih z dodatnimi obrabnimi delci, izjemno zmanjšajo. V 49,5 h delovanja se izkoristek testirane zobniške črpalke z obrabnimi delci zmanjša s 100 % na 99 % pri 0 bar, s 97 % na 88 % pri 50 bar, s 94 % na 82 % pri 100 bar, z 91 % na 79 % pri 150 bar, s 87 % na 73 % pri 200 bar in z 88 % na 49 % pri 250 bar. V primerjavi z zobniško črpalko, testirano s testnim prahom, je po 48 h delovanja izkoristek pri 0 bar padel s 100 % na 99 %, s 94 % na 85 % pri 50 bar, z 91 % na 79 % pri 100 bar in z 91 % na 74 % pri 150 bar, z 90 % na 66 % pri 200 bar in z 90 % na 35 % pri 250 bar. Sklepamo lahko, da bolj kot je zobniška črpalka obrabljena, večje so razlike med izkoristki pri višjem tlaku. Razlog za ta pojav je večje notranje puščanje med obrabljenimi drsnimi/tesnilnimi površinami hidravličnih elementov; v tem primeru med ohišjem in zobniki ter zobniki in bočnim delom ležajev. Zobniška črpalka, testirana z obrabnimi delci, je odpovedala po 546 urah, zobniška črpalka, testirana s testnim prahom, pa po 157 urah. Pri analizi volumetričnega izkoristka po približno 49 urah delovanja obeh črpalk je pri tlaku 100 bar (obrabni delci 79 %, testni prah 79 %) in 250 barih (obrabni delci 49 %, testni prah 35 %) mogoče opaziti, da se je črpalka, testirana s testnim prahom, nekoliko bolj obrabila. Obraba se je torej v črpalki hitreje povečevala pri testiranju s testnim prahom, zato je odpovedala za 389 h prej kot črpalka, testirana z dodanimi obrabnimi delci.

Ravno obraba in nesorazmerno raztezanje ohišja in zobnikov privedeta do povečanega notranjega puščanja med elementi v črpalki. Pri visokih tlakih se povečajo lokalne izgube, ki še dodatno segrevajo olje in zmanjšajo viskoznost, hkrati pa segrevanje povečuje reže zaradi raztezanja, kar rezultira

v prenehanju opravljanja funkcije črpalke. Dodatni hladilni kanali znotraj ohišja bi preprečevali izdatno raztezanje, hkrati pa bi posredno lokalno ohlajali olje na kritičnih tesnilnih mestih in s tem zniževali notranje puščanje in čim bolj ohranjali volumetrični izkoristek. Z obrabno obstojnimi materiali in materiali z enakim razteznostnim koeficientom bi pripomogli k razvoju bolj vzdržljivih zobniških črpalk in večjemu izkoristku sistema.

Literatura

- [1] V. Tič, T. Tašner, and D. Lovrec, "Enhanced lubricant management to reduce costs and minimise environmental impact," *Energy*, vol. 77, pp. 108–116, 2014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.05.030>.
- [2] T. Mang and W. Dresel, *Lubricants and lubrication*. John Wiley & Sons, 2007.
- [3] V. Tič and D. Lovrec, "On-line condition monitoring and evaluation of remaining useful lifetimes for mineral hydraulic and turbine oils. 2017. doi: 10.18690/978-961-286-130-8.
- [4] D. Lovrec in M. Kambič, *Hidravlične tekočine in njihova nega*. Fakulteta za strojništvo, 2007.
- [5] Y. Zhang, Y. Liu, Z. Wang, Y. Tao, L. Yang, and Y. Li, "Prediction of Oil Contamination in Aviation Hydraulic System and Active Leakage Strategy," in *2022 IEEE 17th Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA)*, 2022, pp. 578–583. doi: 10.1109/ICIEA54703.2022.10006227.
- [6] F. Ng, J. A. Harding, and J. Glass, "Improving hydraulic excavator performance through in line hydraulic oil contamination monitoring," *Mech Syst Signal Process*, vol. 83, pp. 176–193, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2016.06.006>.
- [7] A. K. S. Jardine, D. Lin, and D. Banjevic, "A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance," *Mech Syst Signal Process*, vol. 20, no. 7, pp. 1483–1510, 2006, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2005.09.012>.
- [8] E. Zio and G. Peloni, "Particle filtering prognostic estimation of the remaining useful life of nonlinear components," *Reliab Eng Syst Saf*, vol. 96, no. 3, pp. 403–409, 2011, doi: <https://doi.org/10.1016/j.res.2010.08.009>.
- [9] R. H. Frith and W. Scott, "Control of solids contamination in hydraulic systems — an overview," *Wear*, vol. 165, no. 1, pp. 69–74, 1993, doi: [https://doi.org/10.1016/0043-1648\(93\)90374-U](https://doi.org/10.1016/0043-1648(93)90374-U).
- [10] P. J. Esteves, V. Seriacopi, M. C. S. de Macêdo, R. M. Souza, and C. Scandian, "Combined effect of abrasive particle size distribution and

- ball material on the wear coefficient in micro-scale abrasive wear tests,” *Wear*, vol. 476, p. 203639, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.wear.2021.203639>.
- [11] R. I. Trezona, D. N. Allsopp, and I. M. Hutchings, “Transitions between two-body and three-body abrasive wear: influence of test conditions in the microscale abrasive wear test,” *Wear*, vol. 225–229, pp. 205–214, 1999, doi: [https://doi.org/10.1016/S0043-1648\(98\)00358-5](https://doi.org/10.1016/S0043-1648(98)00358-5).
- [12] S. Osterland, L. Müller, J. Weber, A. Moosavi, and D. Krah, “Numerical Prediction and Experimental Investigation of Cavitation Erosion of Hydraulic Components Using HFC.” [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/349053183>
- [13] R. A. Fletcher and D. S. Bright, “Shape Factors of ISO 12103-A3 (Medium Test Dust),” *Filtration + Separation*, vol. 37, no. 9, pp. 48–56, 2000, doi: [https://doi.org/10.1016/S0015-1882\(00\)80200-1](https://doi.org/10.1016/S0015-1882(00)80200-1).
- [14] N. Novak, A. Trajkovski, M. Polajnar, M. Kalin, and F. Majdič, “Wear of hydraulic pump with real particles and medium test dust,” *Wear*, vol. 532–533, p. 205101, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.wear.2023.205101>.
- [15] N. Novak, A. Trajkovski, M. Kalin, and F. Majdič, “Degradation of Hydraulic System due to Wear Particles or Medium Test Dust,” *Applied Sciences*, vol. 13, no. 13, 2023, doi: [10.3390/app13137777](https://doi.org/10.3390/app13137777).
- [16] K. Zhang, J. Yao, and T. Jiang, “Degradation assessment and life prediction of electro-hydraulic servo valve under erosion wear,” *Eng Fail Anal*, vol. 36, pp. 284–300, 2014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2013.10.017>.
- [17] C. Wang, W. Jiang, Y. Yue, and S. Zhang, “Research on Prediction Method of Gear Pump Remaining Useful Life Based on DCAE and Bi-LSTM,” *Symmetry (Basel)*, vol. 14, no. 6, 2022, doi: [10.3390/sym14061111](https://doi.org/10.3390/sym14061111).
- [18] G. Ranganathan, T. Hillson Samuel Raj, and P. V Mohan Ram, “Wear characterisation of small PM rotors and oil pump bearings,” *Tribol Int*, vol. 37, no. 1, pp. 1–9, 2004, doi: [https://doi.org/10.1016/S0301-679X\(03\)00109-9](https://doi.org/10.1016/S0301-679X(03)00109-9).
- [19] R. Frith, “A model of gear pump wear due to solids contamination,” PhD, Queensland University of Technology, Brisbane, 1994.
- [20] M. Rundo, “Models for Flow Rate Simulation in Gear Pumps: A Review,” *Energies (Basel)*, vol. 10, no. 9, 2017, doi: [10.3390/en10091261](https://doi.org/10.3390/en10091261).
- [21] P. Casoli, F. Scolari, M. Rundo, A. Lettini, and M. Rigosi, “CFD Analyses of Textured Surfaces for Tribological Improvements in Hydraulic Pumps,” *Energies (Basel)*, vol. 13, no. 21, 2020, doi: [10.3390/en13215799](https://doi.org/10.3390/en13215799).
- [22] A. Malvasi, R. Squarcini, G. Armenio, and A. Brömmel, “Design Process of an Electric Powered Oil Pump,” *Auto Tech Review*, vol. 3, no. 3, pp. 36–39, 2014, doi: [10.1365/s40112-014-0571-4](https://doi.org/10.1365/s40112-014-0571-4).
- [23] Ł. Stawiński, A. Kosucki, M. Cebulak, A. Górski, and M. Grala, “Investigation of the influence of hydraulic oil temperature on the variable-speed pump performance,” *Eksploracja i Niezawodność - Maintenance and Reliability*, vol. 24, pp. 289–296, Nov. 2022, doi: [10.17531/ein.2022.2.10](https://doi.org/10.17531/ein.2022.2.10).
- [24] P. Michael, H. Khalid, and T. Wanke, “An Investigation of External Gear Pump Efficiency and Stribeck Values,” *SAE Technical Papers*, vol. 8, Nov. 2012, doi: [10.4271/2012-01-2041](https://doi.org/10.4271/2012-01-2041).

Long-term experiments with hydraulic gear pumps

Abstract:

Hydraulic systems are increasingly present in all segments of our production chains, such as agriculture, construction, transport and various industries. Pumps are mostly the key components of any hydraulic system. With the newly developed gear pump testing device, sustainability tests are performed on five gear pumps simultaneously, as shown in Figure 1. One pump is tested with medium test dust, one with actual filter-extracted wear particles, and the last three simulate a real hydraulic system with cleanliness of oil 20/19/17 according to ISO 4406. The flow rates and thus the volumetric efficiencies decrease as the pump wears, as shown in Figures 7 and 8. Monitoring the casing temperature with thermography camera (Figures 3 and 9) of the running and worn pump shows increasing internal leakage and decreasing efficiency. The results of this research contribute to the sustainable development of hydraulic gear pumps and improving the efficiency of entire hydraulic systems.

Keywords:

gear pump, oil cleanliness, wear particles, test dust, volumetric efficiency

Hidravlična olja

srce hidravličnih sistemov



OLMA
www.olma.si

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



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

AVTOMATIZACIJA TEHNOLOŠKIH PROCESOV Z UPORABO NAPREDNIH SIMULACIJSKIH ORODIJ V PROCESNI INDUSTRIJI

Jure Erjavec

Izvleček:

Članek obravnava uporabo naprednih simulacijskih orodij v procesni industriji za avtomatizacijo tehnoloških procesov. V uvodu poudarja hitro digitalizacijo in vlogo simulacij pri tem razvoju. Simulacijska orodja so zdaj ključni del avtomatizacije, omogočajo optimizacijo procesov ter ohranjajo strokovno znanje. Simulacije ponujajo vizualno razumevanje in zmanjšujejo čas vzpostavitve sistemov. Poudarja namen uporabe simulacij, kot so optimizacija proizvodnje, odločanje, načrtovanje procesov in učinkovito usposabljanje kadra.

Osrednji del članka se posveča simulacijskemu okolju SIMIT podjetja Siemens, ki se uporablja za optimizacijo razvoja in delovanja avtomatiziranih sistemov. SIMIT omogoča simulacijo procesov v realnem času ter zagotavlja napredne funkcionalnosti za testiranje in preverjanje delovanja sistema pred dejansko implementacijo.

Praktičen primer uporabe SIMIT-a je opisan v kontekstu migracije sistema v proizvodnji. Predstavljeni so ključni izzivi, kot so menjava recepturnega sistema in kratek čas ustavitve proizvodnje. Simulacijsko okolje omogoča izvedbo temeljitih testov, vključno s testiranjem Factory Acceptance Test (FAT), kar prispeva k zanesljivosti in kakovosti sistema.

V zaključku članka je poudarjeno, kako simulacije postajajo ključno orodje za integratorje in končne stranke, saj omogočajo preizkus in izboljšanje sistemov brez tveganja za dejansko proizvodnjo. Sodelovanje s simulacijskim okoljem lahko prinese številne koristi, vključno z identifikacijo napak, izobraževanjem kadra ter temeljitim preverjanjem delovanja sistema pred implementacijo v realno proizvodno okolje.

Ključne besede:

simulacijska orodja, digitalni dvojček, Siemens SIMIT, optimizacija proizvodnje, učinkovito usposabljanje kadra.

1 Uvod

V zadnjih letih smo priča izjemnemu napredku v industriji, kjer se pojmi, kot so digitalizacija, industrija 4.0, internet stvari (IoT) in pametne tovarne, vse pogostejše pojavljajo v strokovnih razpravah. Poudariti velja, da so del tega hitrega tehnološkega razvoja tudi simulacijska orodja. Del digitalizacije so namreč prav ta orodja, ki postajajo ključni sestavni del tako za integratorje kot tudi za končne stranke v procesni industriji. Simulacijske platforme, ki so nekoč predstavlja-

le zgolj reprezentacije kompleksnih procesov na sejmih, so zdaj nepogrešljiv del avtomatizacije in postajajo osrednji del vsakdanjih orodij. Ta premik od statičnih predstavitev k dejanskemu vključevanju simulacij v delovne procese odpira številne priložnosti za optimizacijo procesov in ohranjanje strokovnega znanja. Posledično se čas vzpostavitve sistema zmanjšuje, kar pripomore k učinkovitejšemu delovanju industrijskih procesov. Simulacije tako omogočajo ne le vizualno razumevanje kompleksnih sistemov, ampak tudi konkretno zmanjšanje časa pri zagonu, kar ima pomembne posledice za industrijsko avtomatizacijo. Del nenehnega razvoja v smeri digitalizacije so prav simulacije in njihova orodja, ki igrajo ključno vlogo pri oblikovanju prihodnosti industrijskih procesov.

Jure Erjavec, univ. dipl. inž., Kolektor Sisteh,
d. o. o., Ljubljana – Črnuče

2 Simulacija in njihova orodja

Simulacija je proces, ki predstavlja povezavo med modelom in računalnikom. To vključuje ustvarjanje digitalnih dvojčkov realnih sistemov s pomočjo programske opreme, kar omogoča virtualno testiranje in preverjanje delovanja brez potrebe po fizičnih prototipih. Simulacijska orodja predstavljajo programske pakete, ki omogočajo virtualno uvajanje strojev brez potrebe po resničnem prototipu. Različna simulacijska orodja izpolnjujejo različne namene, vendar se pogosto delijo na dve glavni kategoriji glede na njihovo funkcionalnost: tista, ki omogočajo dinamične procese, ter simulatorje, namenjene izvajanju programov, izdelanih v programabilnih logičnih krmilnikih (PLC). Simulatorji za izvajanje PLC-programov so bolj osredotočeni na preverjanje in testiranje programske logike, ki jo uporabljajo. Ti simulatorji omogočajo programerjem preizkus krmilniških programov v virtualnem okolju brez dejanskega vpliva na fizične procese. Simulacijska orodja za dinamične procese so usmerjena v simulacijo kompleksnih industrijskih sistemov v realnem času. Ta orodja omogočajo modeliranje interakcij med različnimi komponentami avtomatiziranih sistemov, vključno s senzorji, aktuatorji in nadzornimi algoritmi.

3 Namen uporabe simulacij in simulacijskega orodja

Namen uporabe simulacij in simulacijskih orodij v procesni industriji je ključen pri digitalizaciji proizvodnih procesov ter igra pomembno vlogo pri ustvarjanju digitalnega dvojčka proizvodnje – virtualnega modela fizičnega procesa ali sistema, ki natančno odraža delovanje v realnem času. Simulacijska orodja omogočajo izdelavo in vzdrževanje takšnih digitalnih dvojčkov, kar omogoča podrobno spremljanje in analizo proizvodnje na virtualni ravni.

Ključna prednost uporabe simulacij je možnost optimizacije proizvodnje. S pomočjo natančnega modeliranja različnih scenarijev in parametrov simulacijska orodja identificirajo potencialne izboljšave ter učinkovitejše strategije delovanja, kar pripomore k zmanjšanju odpadkov, povečanju izkoristka virov ter optimizaciji časovnih in stroškovnih faktorjev v proizvodnji.

Digitalni dvojčki, ki jih omogočajo simulacije, olajšajo sprejemanje odločitev in načrtovanje procesov. Podjetja lahko preizkušajo različne možnosti brez tveganja za dejansko proizvodnjo, kar omogoča boljše strategije in hitrejšo prilagajanje spremembam na trgu ali notranjim zahtevam, s čimer se povečujeta prilagodljivost in konkurenčnost proizvodnih podjetij.

Poleg tega simulacije omogočajo učinkovito usposabljanje kadra. S sposobnostjo simuliranja realnih

proizvodnih situacij zaposleni pridobivajo praktične izkušnje v varnem virtualnem okolju, kar vodi k povečanju strokovnosti in zmanjšanju napak v dejanski proizvodnji.

Integracija simulacijskih orodij v proizvodne procese omogoča, da postane digitalizacija ključno orodje za doseganje optimizacije, učinkovitosti ter konkurenčnosti v sodobni procesni industriji.

Poudarek na ključni vlogi digitalnih dvojčkov v procesni industriji omogoča tehnologom izboljšanje delovanja sistemov v simulacijskem procesu, ne da bi ogrozili dejansko proizvodnjo. Napake je mogoče simulirati brez tveganja za ljudi in stroje, kar omogoča vzporedno izboljševanje sistemov in pri naša številne prednosti, zlasti pri usposabljanju kadra, kjer se soočamo s pomanjkanjem usposobljene delovne sile ter staranjem operaterjev.

Digitalni dvojčki omogočajo tehnologom preizkušanje in izboljševanje delovanja sistema v simulacijskem okolju brez tveganja za proizvodnjo, kar omogoča hitrejšo prilagajanje procesov, zmanjšuje tveganja in povečuje prilagodljivost proizvodnih sistemov.

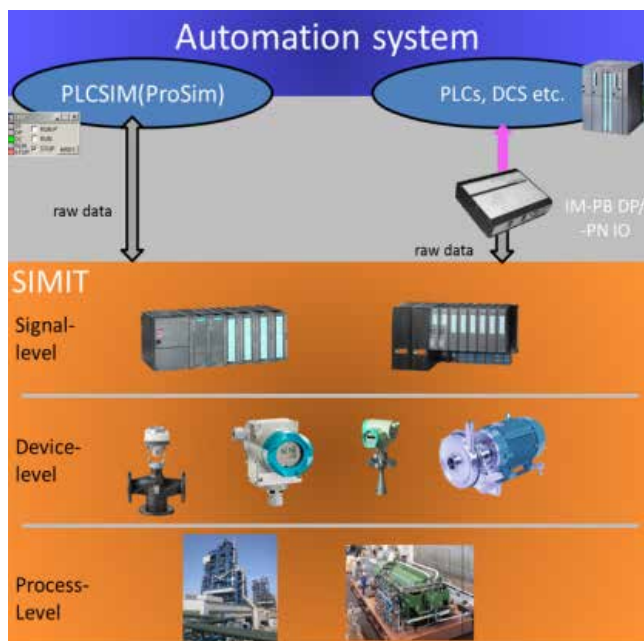
Pri usposabljanju kadra, kjer se soočamo s težavami zaradi premalo usposobljene delovne sile in staranja operaterjev, se digitalni dvojčki izkažejo kot ključno orodje za optimizacijo časa, namenjenega usposabljanju. Z njihovo pomočjo novo osebje pridobiva praktične izkušnje v virtualnem okolju, kar vodi do hitrega in ciljno usmerjenega usposabljanja, ključnega v luči naraščajočih potreb po delovni sili in hitrem uvajanju novih tehnologij.

Vzporedno izboljševanje sistemov in učinkovito usposabljanje kadra postavljata digitalne dvojčke v središče sodobne procesne industrije, kjer prispevajo k trajnostnemu razvoju in optimizaciji operativnih procesov.

4 Simulacijsko okolje SIMIT

V industriji avtomatizacije, kjer prevladuje podjetje Siemens, se njihovo simulacijsko okolje Simit izkaže kot ključno orodje za optimizacijo razvoja in delovanja avtomatiziranih sistemov. Ponuja napredne funkcionalnosti, ki omogočajo inženirjem natančno simulacijo in testiranje, še preden se avtomatizirani procesi dejansko implementirajo.

Centralna značilnost orodja Siemens Simit je sposobnost simulacije procesov v realnem času. Ta lastnost omogoča inženirjem, da podrobno preverijo dinamiko in odziv avtomatiziranih sistemov v virtualnem okolju, kar znatno zmanjšuje možnost napak v fazi dejanske implementacije. Mogoče je testiranje z uporabo strojne opreme ali emulatorja, znana kot »software in the loop«. To omogoča prilago-



Slika 1 : Potek simulacije na Simit okolju

godljivo testiranje in preverjanje delovanja sistema v različnih scenarijih.

Pohvali se lahko z obsežnim naborem knjižnic komponent za različne procese:

- ▶ FLOWNET – simulacije procesov vodne pare, tekočine s konstantno gostoto/toploto,

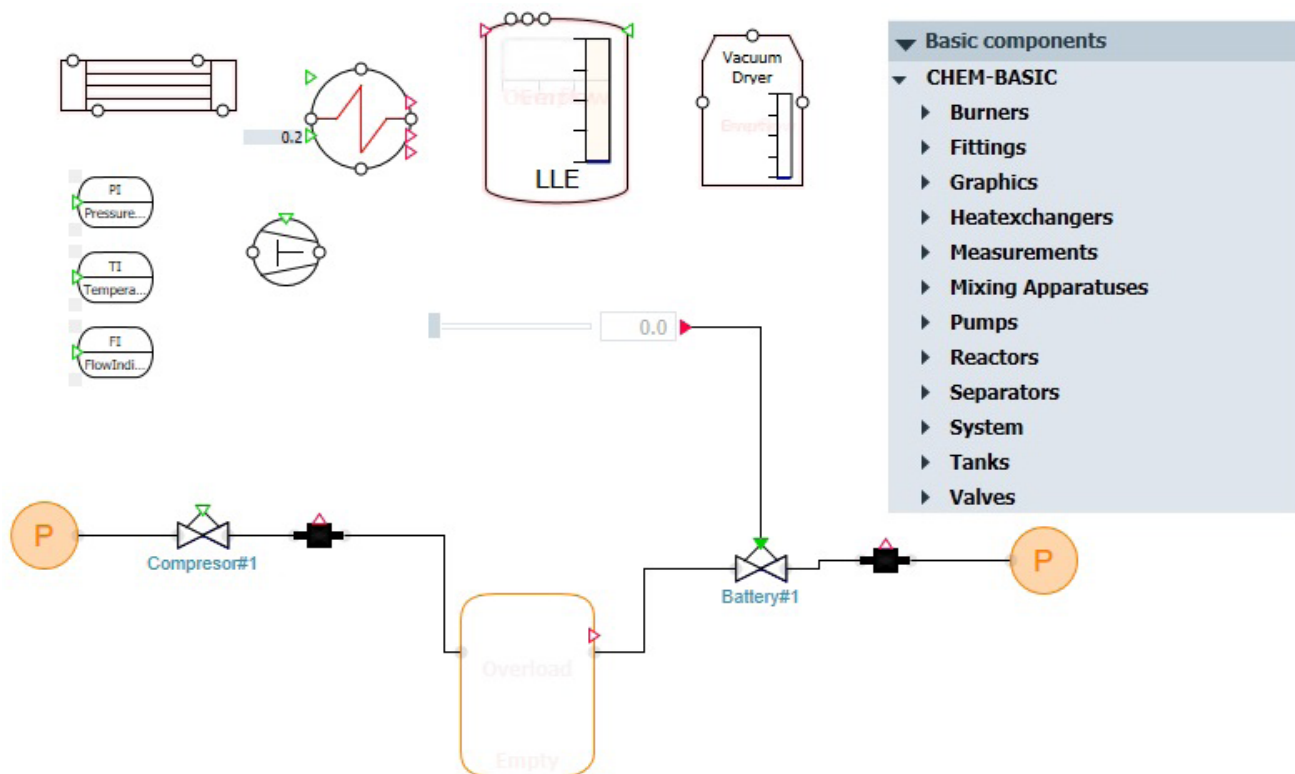
- ▶ CONTEC – transportne povezave, tirnice, RFID, ...,
- ▶ CHEM BASIC – simulacije procesov različnih reakcij, destilacij, absorpcij,
- ▶ SOLUTION WATER LIBRARY – dodatek h knjižnici FLOWNET, simulacija proizvodnje sladke vode, reverzne osmoze in cevovodov

Z uporabniku prijaznim vmesnikom in premišljenim dizajnom Siemens Simit omogoča enostavno upravljanje, kar prispeva k hitrejšemu razvoju avtomatiziranih sistemov. Dodatna prednost je 3D-vizualizacija, ki omogoča boljši vpogled v delovanje sistemov, še posebej koristno pri kompleksnih postopkih.

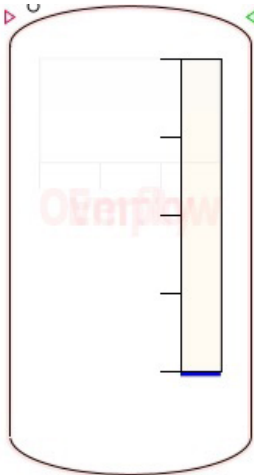
Na Simit okolje se je možno povezati preko več povezav (Couplings):

- ▶ SIMIT Unit,
- ▶ Virtual Controller (PCS 7),
- ▶ PLCSIM Advanced,
- ▶ PLCSIM,
- ▶ OPC DA Server,
- ▶ OPC DA Client,
- ▶ OPC UA Client,
- ▶ Shared Memory,
- ▶ PRODAVE.

Povezave so odvisne od tega, ali simuliramo z dejanskimi krmilniki (Simit Unit), emulatorji oziroma standardnimi komunikacijami. Simulacija brez strojne opreme (PLC-ja in IO- komponent) oz. z emulatorjem poteka na treh nivojih: signali (signal level), naprave (device level) in proces (process level) [1].



Slika 2 : Knjižnica in nekaj primerov objektov



StorageTankLiquid#1		
General	Name	Value
Input	PressureOutside	[bar] 1.0
Output	LevelInit	[%] 3.0
Parameter	TemperatureInit	[°C] 20.0
Additional parameter	PressureInit	[bar] 1.0
State	InitEvaporationPart	[%] 0.0
	InitHeatcapacityLiquid	[kJ/kgK] 4.18
	Density	[kg/m³] 997.337
	RemainderGasPercent	[%] 5.0
	RemainderLiquidPercent	[m³] 0.5
	geoHeight	[m] 0.0
	zeta	[[-]] 0.05

Slika 3 : Objekt v knjižnici s parametri

Na signalnem nivoju uporabimo enega od emulatorjev: Virtual controller (VC) za PCS7-sisteme, PLCSIM Advanced za PLC-je serije 1500 in PLCSIM za PLC-je serije 300 ali 400. Emulatorji predstavljajo izmenjavo podatkov med PLC-ji in Simitom. Tu je možno izvajati enostavne teste na I/O-signalih in npr. izključiti napake na komunikaciji.

Na nivoju naprav je omogočena simulacija naprave na komunikaciji PROFIBUS ali PROFINET. To so lahko frekvenčni, tehtalni moduli, hitri števcji, pretokomerilci in podobno. Te simulacijske naprave lahko simuliramo tudi z realnim PLC-jem in komunikacijskim modulom.

Na procesni ravni Simit omogoča implementacijo procesa s knjižnicami. FLOWNET je že v osnovnem paketu, ostale je potrebno dokupiti. Knjižnice omogočajo preverjanje veljavnosti fizikalnih spremenljivk, kot so tlak, temperatura, pretok in specifična entalpija. Siemens prav tako nudi že izvedene rešitve (SIMIT solution libraries) za različne industrije, kot so industrija hrane in pijače, zdravil, vodika, elektrarne itd.

Precej teh knjižnic in pripravljenih rešitev je plačljivih, zato velja omeniti orodje Component Type Editor (CTE), ki ponuja visoko stopnjo prilagodljivosti. Razvijate lahko svoje komponente ali razširjate obstoječe na vseh nivojih simulacij Simit-a.

Ena od uporabnih funkcij SIMIT-a je kreiranje simulacijskih potekov na podlagi shem P & ID (Process and Instrumentation Diagram). Tu se cevne povezave s komponentami (tekočine, plin) v odvisnosti od temperature, pretoka ali tlaka združijo z objektom (npr. reaktorjem ali izmenjevalcem).

Posameznemu objektu se nastavijo parametri, s katerimi približamo virtualni objekt realnemu. Nastavitev parametrov posameznemu objektu v knjižnici zahteva znanje tehnologa specialista, ki se pogosto razlikuje od splošnega znanja avtomatikov ali pro-

gramerjev. Razlog za to je, da tehnolog specialist pogloblja razumevanje specifičnih procesov, materialov, inženirskih sistemov ter industrijskih aplikacij, ki jih simulira ali avtomatizira.

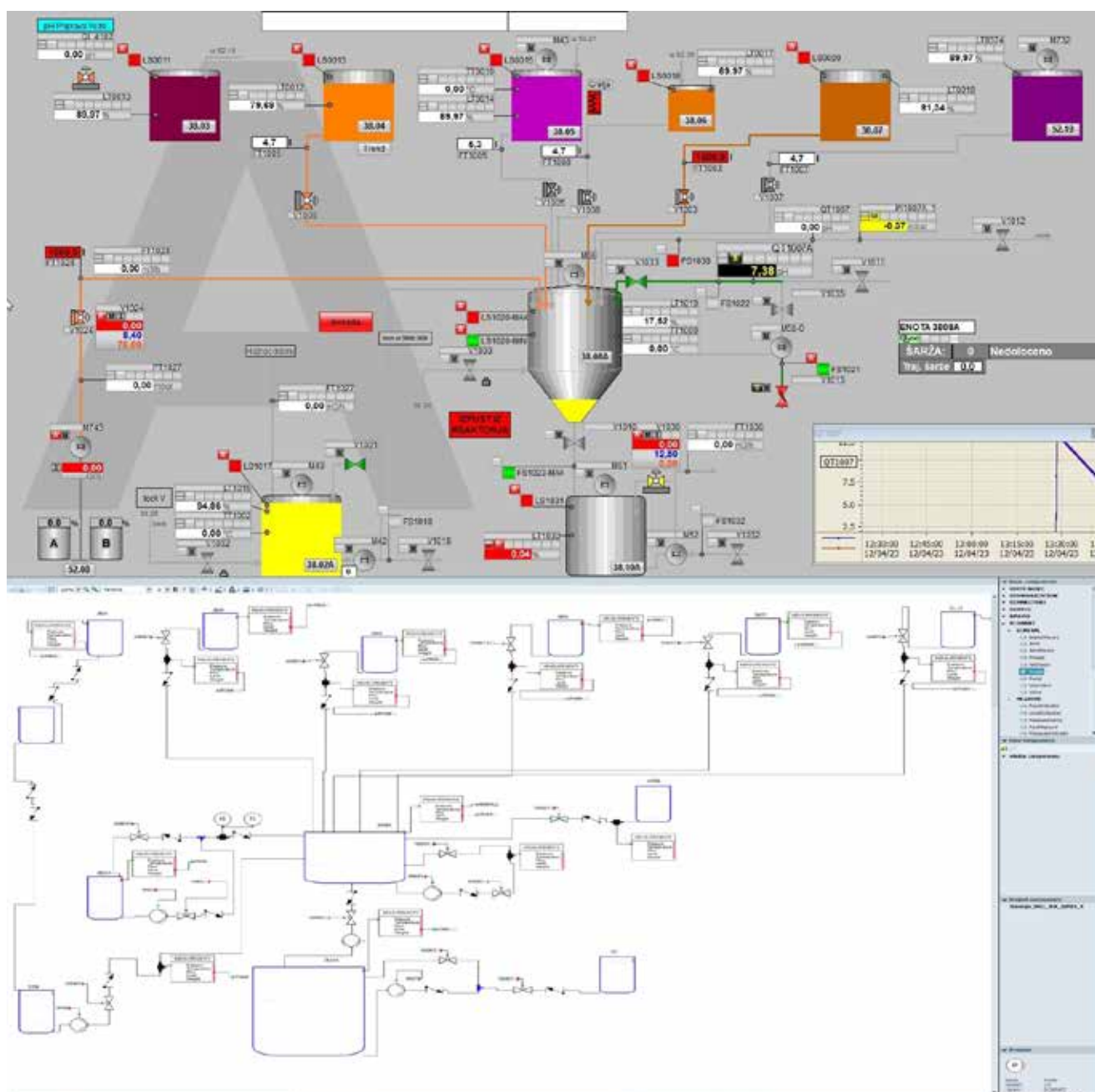
5 Uporaba v praksi – simulacija šaržnega procesa

Stranka si je kot cilj postavila migracijo sistema, kar vključuje nadgradnjo na najnovejšo verzijo. Sistem je temeljil na Siemensovem PCS7-sistemu starejše verzije, poleg nadgradnje pa je bilo potrebno uporabiti še APL-knjižnice (Advanced Process Library), ki omogočajo boljši nadzor, sledljivost in upravljanje proizvodnih enot. Ena izmed zahtev naročnika je bila tudi izvedba testiranja Factory Acceptance Test (FAT) na simulacijskem okolju.

Prvi ključni izziv je bil prehod »custom« recepturnega sistema na popolnoma nov sistem, imenovan Simatic Batch proizvajalca Siemens. Izbira je logična, saj je bila oprema krmilnega nivoja istega proizvajalca. Obenem dobijo »tipski« recepturni sistem, saj je prejšnji sistem predstavljal številne omejitve in ni omogočal razširitve za prihodnje potrebe.

Drugi ključni izziv je bil zelo kratek čas ustavitve proizvodnje za vzpostavitev sistema z novim recepturnim sistemom. Sistem je bil ključen za celotno proizvodnjo, ni pa bilo na voljo vzporednega sistema za začasno vzpostavitev proizvodnje. Za doseganje tega cilja smo morali vzpostaviti sistem v nekaj urah, kar je predstavljalo zahtevno nalogo, saj je bil vsak trenutek ustavitve proizvodnje kritičen.

Po migraciji PCS7-sistema je sledila izdelava SIMIT simulacijskega okolja z virtual controller emulatorjem. Izvedba na nivoju signalov in naprav je razmeroma hitra, na procesnem nivoju pa je za realno simulacijo potrebnega več časa, saj je treba nastaviti čim bolj realne parametre objektov iz knjižnic, ki jih uporabimo.



Slika 4 : Sistem na SCADI in njegov virtualna izvedba v SIMIT

Po uspešni izdelavi simulacijskega okolja je bilo mogoče izvajati teste vseh postopkov in sekvenc, kar vključuje tudi vse teste OQ (Operational Qualification). Simulacijsko okolje je omogočilo temeljito preverjanje delovanja sistema po izvedeni nadgradnji.

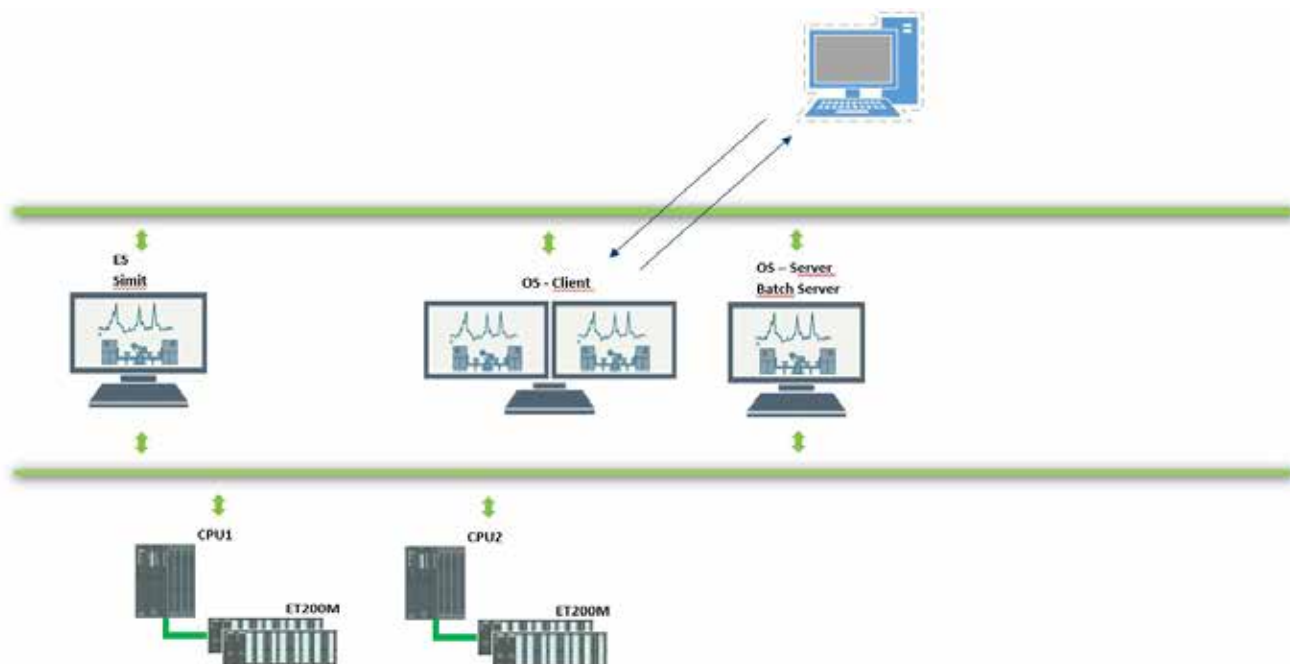
V tem okviru so bili izvedeni operativni testi, ki so pokrivali vse ključne operacije in funkcije sistema. To je vključevalo testiranje delovanja posameznih enot, komunikacijskih povezav, procesnih kontrol in drugih ključnih funkcionalnosti. S tem sta bili zagotovljeni kakovost in zanesljivost sistema v simuliranem, nadzorovanem okolju.

Opremo z digitalnim dvojčkom smo postavili v pisarni in stranki omogočili daljinski dostop.

Z vzpostavitvijo daljinskega dostopa smo se usmerili v sodelovanje s tehnologom, ki se je osredotočil na recepturni sistem, temelječ na standardu S88. To je zahtevalo skupno delo pri definiranju procesnih enot, kjer smo natančno opredelili posamezne faze in korake v proizvodnem procesu ter določili tudi parametre posameznim fazam.

Poleg tega smo se osredotočili na validacijo vseh izdelanih receptov. Ta korak je bil ključen za preverjanje, ali vsi recepti delujejo v skladu s pričakovanji in specifikacijami in ustrezno odražajo procese v proizvodnji.

V tem konkretnem primeru izpostavljamo številne prednosti uporabe simulacij v procesu nadgra-



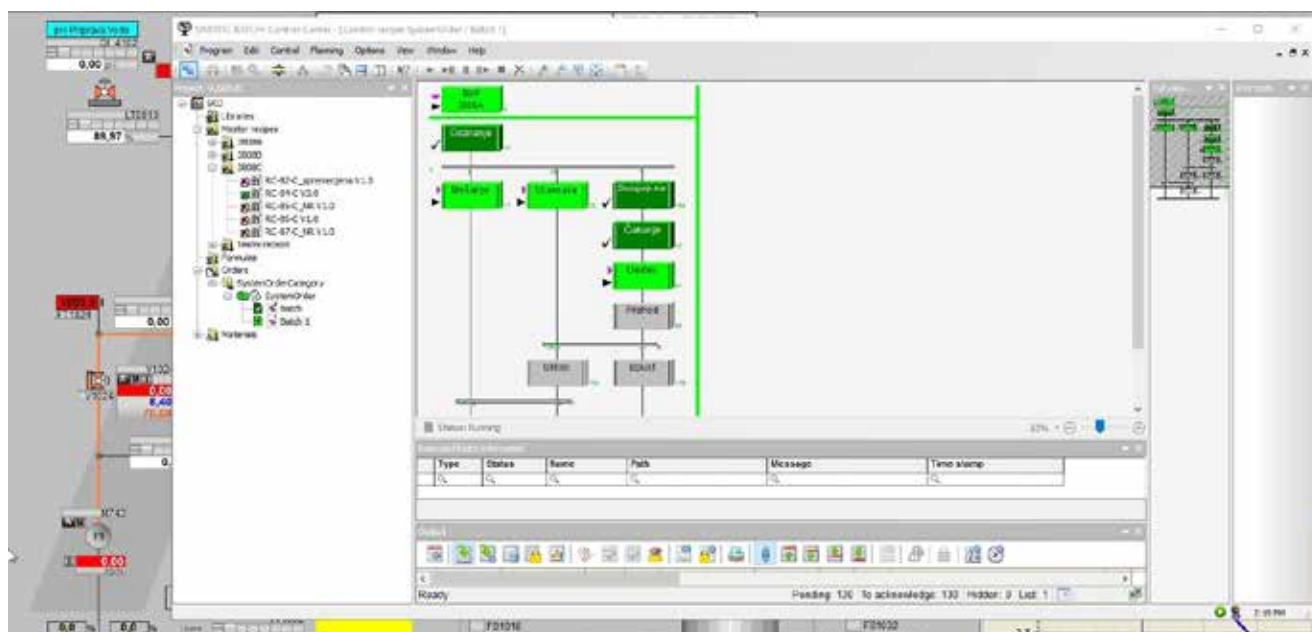
Slika 5 : Daljinski dostop do digitalnega dvojčka

dnje in migracije sistema. Simulacije se izkažejo kot ključno orodje, ki omogoča širok nabor koristi za različne dele projekta. Kot prvo: že sam integrator ima možnost testirati morebitne napake v PLC-programu v simuliranem okolju. To omogoča identifikacijo in odpravo morebitnih programskih pomanjkljivosti, še preden sistem zaživi v dejanskem proizvodnem okolju. S tem pristopom se povečujeta zanesljivost in učinkovitost integracije, saj se težave lahko odpravijo že v zgodnji fazi.

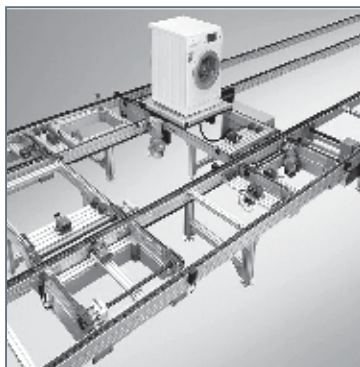
Pri stranki se izvede kvaliteten Factory Acceptance

Test (FAT). Simulacijsko okolje omogoča natančno in temeljito preverjanje delovanja sistema, vključno z vsemi novimi funkcionalnostmi. To pomeni, da se lahko identificirajo morebitne pomanjkljivosti ali odstopanja od zahtev naročnika, kar omogoča njihovo takojšnjo odpravo.

Poleg tega simulacije služijo kot učinkovito orodje za izobraževanje. Tehnologi imajo priložnost, da se naučijo kreiranja receptur na novem sistemu, operaterji pa se lahko v simuliranem okolju naučijo uporabljati nov sistem.



Slika 6 : Preizkus recepta v simulacijskem okolju

Rexroth**ORGATEX®****LEANPRODUCTS®****BOSCH****OPL**
automationOPL avtomatizacija, d.o.o.
Dobrave 2
SI-1236 Trzin, SlovenijaTel. +386 (0) 1 560 22 40
Tel. +386 (0) 1 560 22 41
Mobil. +386 (0) 41 667 999
E-mail: info@opl.si
www.opl.si

6 Zaključek

Članek je osvetlil ključno vlogo naprednih simulacijskih orodij s poudarkom na Siemensovem simulacijskem okolju SIMIT pri avtomatizaciji tehnoloških procesov v procesni industriji. Digitalni dvojčki, ustvarjeni s pomočjo simulacij, postajajo ključno orodje za optimizacijo, učinkovitost in konkurenčnost avtomatizacije v sodobni industriji.

Prednosti uporabe simulacij so jasno izpostavljene, saj omogočajo optimizacijo proizvodnje, hitro prilagajanje spremembam ter zmanjšanje tveganj in stroškov v proizvodnih procesih. Siemens SIMIT se je izkazal kot napredno simulacijsko okolje, ki inženirjem omogoča natančno preverjanje dinamike avtomatiziranih sistemov v virtualnem okolju, kar znatno zmanjšuje možnost napak pri dejanski implementaciji.

Praktičen primer migracije sistema v proizvodnji je ponazoril, kako simulacije omogočajo identifikacijo in odpravo morebitnih težav že v zgodnji fazi, preden sistem zaživi v realnem okolju. S tem se povečuje zanesljivost integracije, hkrati pa simulacije služijo kot učinkovito orodje za izobraževanje kadra.

Skupaj z digitalnimi dvojčki postajajo simulacijska orodja ključna za trajnostni razvoj in optimizacijo operativnih procesov v procesni industriji. V luči naraščajočih izzivov in potreb po inovacijah postaja uporaba simulacij nepogrešljiva v vsakdanjem delovanju podjetij, ki stremijo k učinkovitosti, zanesljivosti in trajnostnemu razvoju.

Viri

- [1] SIMIT Getting Started
109746485_PCS7_SIMIT_V71_GS_DOCU_en.pdf (siemens.com)

Automation of Technological Processes Using Advanced Simulation Tools in the Process Industry

Abstract:

This article explores the use of advanced simulation tools in the process industry to automate technological processes. The introduction emphasizes the rapid digitization and the role of simulations in this development. Simulation tools have become a crucial part of automation, enabling process optimization and preserving expertise. The article focuses on the Siemens SIMIT simulation environment, detailing its features for system development and operation optimization. A practical case study highlights the challenges and benefits of using SIMIT in a production system migration, emphasizing its role in thorough testing, including Factory Acceptance Tests (FAT). The conclusion underscores how simulations have become essential for integrators and end-users, offering risk-free system testing, error identification, staff training, and comprehensive performance verification before real-world implementation.

Keywords:

simulation tools, digital twins, Siemens SIMIT, production optimization, effective staff training



**Vesel božič in
uspešno novo leto 2024**

**Merry Christmas and
a Happy New Year 2024**

ČISTI ZAPAHI

Če se umazanija nabira v minimalnih količinah in obstaja možnost čiščenja na lokaciji, se skrajša potreben čas čiščenja in zmanjša potreba po čistilnih sredstvih. Poleg tega se zviša produktivnost in delovna varnost v proizvodnih obratih. Z zapahi GN 1150 Hygienic Design podjetje Elesa+Ganter podpira koncept čiščenja Clean in Place za stroje in naprave, na kratko CIP.



Tudi v panogah, kjer tradicionalno ni treba upoštevati visokih higienskih standardov, se uveljavlja koncept Clean in Place, torej čiščenje montiranih in vgrajenih komponent. Preprost izračun namreč pravi, da se tam, kjer je čiščenje naprav, priprav ali strojev hitrejše in preprostejše, znižajo tudi proizvodni stroški. S tem v mislih podjetje Elesa+Ganter stalno nadgrajuje svoj nabor standardnih elementov Hygienic Design (HD).

Najmlajši standard HD GN 1150 predstavlja polzaporico iz nerjavnega jekla s specialnimi tesnili, ki so skladna s FDA iz EPDM in TPU. Z izvedbo tesnil na zapahih ni mrtvih kotov, kjer bi se lahko nabirala

umazanija. Pri obračanju zapaha za 90 stopinj se z naletnim naklonom ustvari napetost, ki lopute, line, vrata ali pokrove zanesljivo pritisne ob nasprotno stran (okvir ali glavni del). Trenutno se obrat izvaja z običajnim dvotočkovnim ključem iz modre plastike, ki je dobavljiv kot dodatna oprema pod standardom GN 1151. Druge možnosti so še v razvoju.

Standard GN 1150 je razdeljen na dve izvedbi: pri izvedbi Higiiena od spredaj (Fronthygiene - FH) je na aktivacijski strani uporabljen standard HD, na notranji strani pa je izvedba skladna z običajnimi zahtevami. To se lahko uporablja na primer v električnih omaricah, ki morajo higienske zahteve izpolnjevati le na zunanji strani. Izvedba Popolna higiena (Vollhygiene - VH) pa z dodatnimi tesnili tudi na strani zapaha zagotavlja kakovost HD.

Po standardu DIN EN 60529 obe različici zagotavljata stopnjo zaščite IP 66, torej ščitita pred vdorom prahu in močnim brizganjem vode iz vseh kotov.

Oba standardna elementa imata s svojo premišljeno zasnovo še posebej dolgo življenjsko dobo. Na zahtevo lahko tesnila dobavimo tudi v drugih materialih, kar omogoča prilagoditev na medije, ki so specifični za potrebe proizvodnje.

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



INŽENIRKA LETA
2023

IZBOR INŽENIRKE LETA 2023

16. januar 2024

Cankarjev dom, Ljubljana

v sodelovanju s

SIEMENS

soorganizatorja



ROTACIJSKE ENOTE DEUBLIN

Rotacijske enote podjetja Deublin, ki je vodilni proizvajalec rotacijskih enot za prenos tekočin iz stacionarnega vira v vrtljive dele naprav, od sedaj na voljo pri podjetju INOTEH d. o. o.

Rotacijska enota je mehanska naprava, ki omogoča prenos tekočine pod tlakom iz stacionarnega vira v vrtljive dele naprav, kot so valji, cilindri, mize, vretena, ali pogone za ogrevanje, hlajenje ali prenos hidravlične moči.

Na podlagi večdesetletnih izkušenj pri izvajanju zahtevnih aplikacij rotacijskih enot je Deublin razvil tudi električne drsne obroče (slip rings), ki omogočajo delovanje v zahtevnih okoljih. Dolgotrajna teh-

nologija drsnih obročev zagotavlja stalno in zanesljivo delovanje brez potrebe po vzdrževanju.

Vsi Deublinovi proizvodi so 100 % testirani, preden so ponujeni strankam, izdelani pa so s pomočjo naj-sodobnejših proizvodnih procesov.

Področja uporabe rotacijskih enot Deublin:

- ▶ orodjarska industrija,
- ▶ vetrna in vodna energija,
- ▶ polprevodniki,
- ▶ olje & plin,
- ▶ proizvodnja kartona,
- ▶ grafična industrija,
- ▶ plastičnopredelovalna industrija,
- ▶ jeklarska industrija.



Vir:

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

PNEVMATSKE IN MEHANSKE EKSPANZIJSKE GREDI ZA PAPIRNO INDUSTRIJO VORWALD

Podjetje Vorwald je bilo ustanovljeno leta 1920 kot globalno podjetje, usmerjeno predvsem v obdelavo lesa, kasneje pa se je specializiralo za razvoj ekspanzijskih elementov za industrijo papirja, predelave plastičnih mas in aluminija (pnevmatske, mehanske ekspanzijske gredi, itd...). Leta 1997 je bil Vorwald integriran v skupino Neuenhauser Group, ki je s pomočjo sodobnih obdelovalnih in procesnih zmogljivosti pripomogla k razširitvi palete izdelkov.

Pnevmatske ekspanzijske gredi

Podjetje izdeluje pnevmatske ekspanzijske gredi v serijah A, 403, L, MB in 409, ki se uporabljajo na vseh področjih industrije predelave papirja ali plastike. Ekspanzijske gredi so izjemno robustne odlikuje pa jih majhna masa in enostavna konstrukcija po modularnem principu. To omogoča nezahtevno menjavo letev gredi in hitra popravila.



Mehanske ekspanzijske gredi

Mehanske ekspanzijske gredi Vorwald so primerne še posebej za visoke zahteve pri navijanju. V skladu z visokimi standardi kakovosti podjetja Vorwaldove so mehanske gredi za odrezke podvržene temeljitim pregledom in jih je mogoče po potrebi popraviti z rezervnimi deli, tudi po več letih.



Mehanske raztezne gredi, ki zahtevajo malo vzdrževanja, izdelujejo v petih serijah, o katerih bodo z veseljem posredovali dodatne informacije.

Vir:

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

PIAB RAZVIJAJOČA SE AVTOMATIZACIJA

Povečajte prilagodljivost rokovanja s predmeti s Piabovim prijemalom piCOBOT®L in njegovim menjalnikom orodij.



Slika 1 : Piabovo prijemalo piCOBOT®L

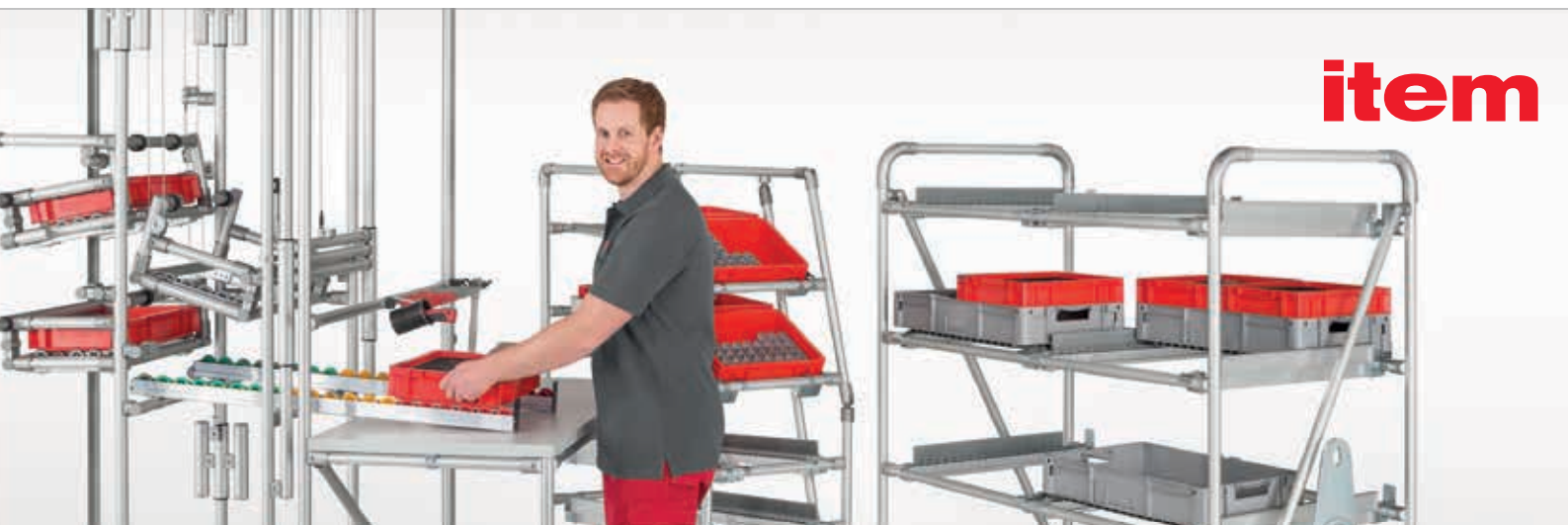
Element piCOBOT®L se lahko uporablja kot samostojna enota ali pa je opremljen s samodejnim izmenjevalnikom orodja in priklopno postajo za več aplikacij, kar omogoča hitro in enostavno zamenjavo samega prijemala: naj bo to prisesek, penasto prijemalo ali mehko prijemalo. Na ta način se lahko odpravijo izpadi, s čimer se zmanjšajo stroški ponovnega opremljanja linije.

Element piCOBOT®L je plug & play, enostaven za namestitev in ponuja visoko vakuumsko zmogljivost z minimalno porabo stisnjenega zraka. Z dvizžno zmogljivostjo 16 kg in nizko skupno višino 125 mm je primeren tudi za prenašanje velikih in težkih predmetov.

Vakuumska enota piCOBOT®L, razvita za potrebe strank, ki delajo s koboti in majhnimi industrijskimi roboti, je primerna za e-trgovino, logistiko, skladiščenje in hitre pakirne aplikacije.

Vir:

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



Vitka proizvodnja.

item. Your ideas are worth it.®

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

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

NOVA SERIJA G2RV-ST INDUSTRIJSKIH ELEKTROMECHANSKIH 6-MILIMETRSKIH RELEJEV

Najnovejša serija OMRON industrijskih relejev G2RV-ST omogoča proizvajalcem strojev in izdelovalcem krmilnih plošč idealno rešitev za sestavo kompaktnih elektrokrmilnih plošč.

G2RV-ST - ključne lastnosti

industrijski 6mm rele

Vodniki do 2,5mm²
Velika odprtina z naklonom za enostavno vstavljanje

Močna struktura ohišja

Večji kontakti
Odličen stik

Robustni DIN nosilec - drsni

Varnostni vzvod

- Zaščita nenamenskega vklopa releja
- Barvna oznaka napetosti tuljave
Rdeča: AC, Modra: DC, Bela: AC/DC

LED indikator
Izboljšana vidljivost

LED / mehanska zastavica
Preverjanje stanja

Posebni modeli
Pozlačeni kontakti

Rele G2RV-ST je primeren za splošne namene, predvsem tam, kjer imamo omejitve prostora, kjer je potrebno večje število relejev in preklapljanje tokovno manjših bremen, kot so elektromehanski ventili, navitja kontaktorjev ter drugi manjši aktuatorji. Pogosto jih zasledimo v ploščah za krmiljenje sistemov kot vmesniško enoto za krmilnik (PLC). Specifikacije releja:

- ▶ 60-odstotni prihranek prostora - širina le 6,2 mm,
- ▶ 60 % manj potrebnega časa za ožičenje zaradi tehnologije Push-In Plus,
- ▶ maksimalna možna obremenitev kontaktov do 6 A,
- ▶ standardno opremljeno navitje za absorpcijo prenapetosti,
- ▶ možnost zaklepa testnega stikala,
- ▶ večja površina kontaktov za boljši stik,
- ▶ večja priključnica vodnikov z naklonom omogoča enostavno vstavljanje vodnikov od AWG 14 do 2,5 mm²,
- ▶ enostavno vzdrževanje z izboljšano vidljivostjo

LED-indikatorjev ter mehanske zastavice,

- ▶ enostavna identifikacija napetosti navitja z barvno označbo → rdeča: AC, modra: DC, bela: AC/DC,
- ▶ prenovljeni povezovalni mostiči so enostavnejši za uporabo in omogočajo fizični občutek ustreznega kontakta v podnožju.

Vir:

MIEL d. o. o., Industrijska avtomatizacija, Ulica svežih idej 4A, 3320 Velenje, tel.: +386 3 777 70 00, faks: +386 3 777 70 01, internet: www.miel.si, e-pošta: info@miel.si

MIEL®

OMRON
www.miel.si

CENOVNO UGODNI MODULI ROBOLINK® ZA UČINKOVITO AVTOMATIZACIJO V PROIZVODNJI

Klemen Šobak

Robolink® podjetja igus je modularni sistem robotskih komponent, ki omogoča hitro in enostavno izdelavo prilagodljivih robotskih sistemov. Sistem vključuje lahke in vzdržljive komponente, kot so rotacijski členki, motorji, krmilniki in senzorji. Moduli ne potrebujejo mazanja in vzdrževanja ter so osnova za stroškovno učinkovit način zagotavljanja večje učinkovitosti v proizvodnji. Robolink® je cenovno ugodna in enostavna rešitev za avtomatizacijo montaže, pakiranja in v drugih procesih, ki zahtevajo prilagodljive robotske sisteme. Uporabniki lahko sestavijo lastne robotske rešitve brez potrebe po specializiranem znanju programiranja ali inženiringa.

Modularni sistem Robolink®

Osnovna ideja je bila dati razvijalcem, laboratorijem in integratorjem avtomatiziranih sistemov dostop do modularnega sistema rotacijskih členkov in drugih komponent, ki bi omogočali izdelavo individualno prilagojenih robotov in jih bo mogoče uporabiti v čim več primerih aplikacij z najnižjimi stroški in v ustrezni tehnologiji ter bo cenovno primeren še posebno za manjša podjetja. Pri tem so robotski členki in komponente narejene s tribološkimi polimeri igus in ne potrebujejo mazanja ter vzdrževanja. Moduli Robolink® omogočajo uporabniku, da individualno sestavi sistem, ki ga sestavljajo sklopi različnih menjalnikov, motorjev in povezovalnih elementov (slika 1).

Po zaslugi mnogih kombinacij različnih modulov uporabnik tako dobi sistem, ki ga lahko uporablja za širok nabor najrazličnejših nalog. Mogoče je enostavno avtomatizirati ponavljajoča se in utrujajoča opravila, ki se večinoma opravljajo ročno. Stroškovno učinkovito je mogoče avtomatizirati operacije prijemanja, obračanja, vrtenja in nameščanja ter vračanja predmetov v njihov prvotni položaj – še posebej v primeru preproste naloge vzemi in odloži (angl. pick-and-place). Vse to pa je dosegljivo le za del cene klasičnega industrijskega robota, kar omogoča tudi boljšo in učinkovitejšo izrabo virov.

Sistem je dopolnjen z računalniškim programom za krmiljenje ter z spletnim programom za konfiguriranje robotov.

Klemen Šobak, Hennlich, d. o. o., Kranj



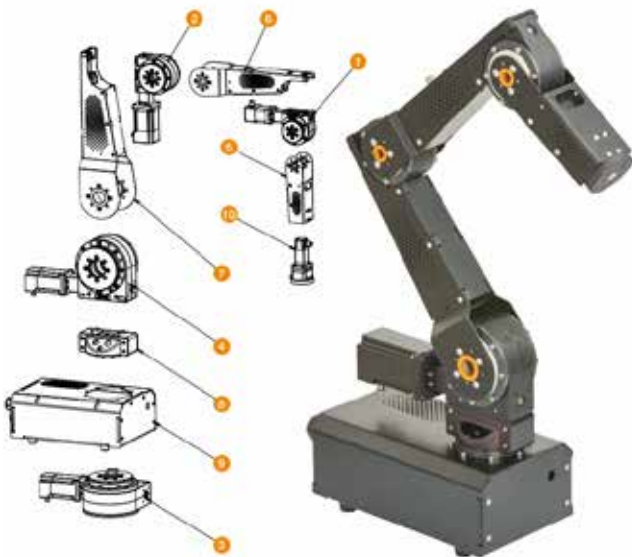
Slika 1 : Modularni sistem Robolink®

Moduli Robolink®

Osnovne komponente modularnega sistema so (slika 2):

- ▶ rotacijski členki RL-D s polžastim gonilom v treh vgradnih velikostih s trenutno osmimi predstavni razmerji kot standard,
- ▶ rotacijski členek RL-S s harmoničnim reduktorjem v dveh velikostih,
- ▶ večje število motorjev za pritrditev neposredno na reduktor,
- ▶ zunanji inkrementalni kompletni enkoder za nadzor položaja členka in referenciranje,
- ▶ povezovalni moduli RL-C ali RL-Q za gradnjo robotov.

roboLink® | RL-C 5 DOF



Slika 2 : Standardni členkasti robot Robolink® s petimi prostostnimi stopnjami (1 - RL-D-20, 2 - RL-D-30, 3 in 4 - RL-D-50, 5, 6, 7, 8, vezni členi različnih dolžin in oblik, 9 - osnova 50, 10 - RL-S-17)

Uporabnik pri konfiguriranju robota lahko izbira med členki različnih velikosti s polžastim (RL-D) in harmoničnim reduktorjem (RL-S). Standardna izvedba člena RL-D vključuje polžasti prenos, kjer polž vprijet v plastični zobnik iz igusovih triboloških polimerov (slika 3). Pri izvedbi RL-S so gibljivi elementi prav tako iz triboloških materialov, ki ne potrebujejo mazanja.

Členki RL-D se izdelujejo v treh velikostih (RL-D-20, RL-D-30, RL-D-50) in se razlikujejo v premeru gredi, dimenzijah in prestavnem razmerju. Tudi členki RL-S se izdelujejo v treh velikostih in izvedbah z



Slika 3 : Eksplozijska risba člena RL-D

različnim prestavnim razmerjem ter izhodnim torzijskim momentom. Primer uporabe posameznih členkov je prikazan na sliki 2.

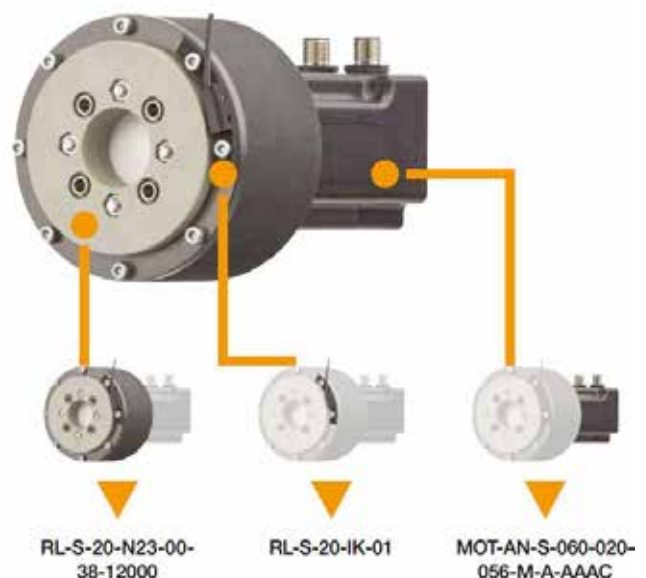
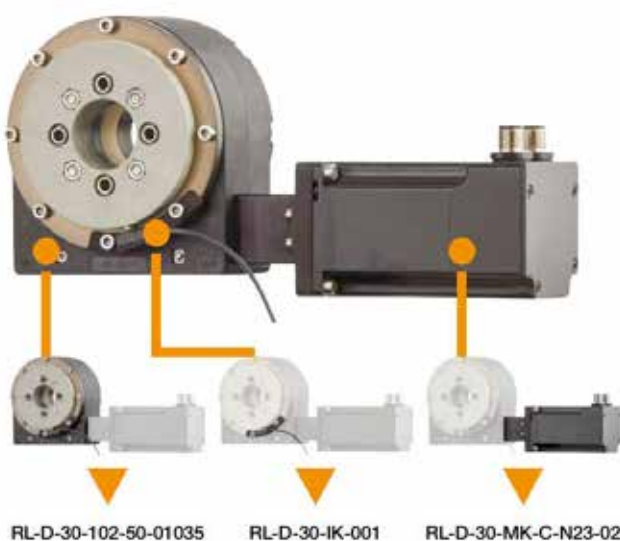
Za pogon je mogoče izbirati med igusovimi koračnimi ter DC-motorji in ali pa motorji drugih proizvajalcev [1].

Modularni sistem Robolink® vključuje še bazni del, na katerega je nameščen robot in se lahko pritrdi na podlago, kakor tudi povezovalne elemente, na katere so pritrjeni členki robota (slika 2).

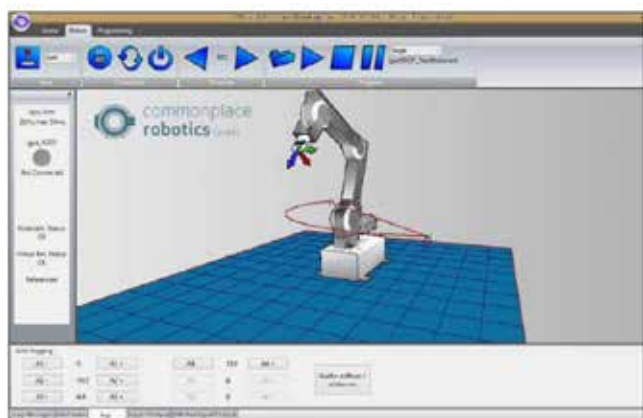
Na roko robota je mogoče dodati še merilnik sil in momentov, različna orodja, prstna in vakuumška prijemala in drugo.

Uporabnik lahko izbira med že sestavljenimi in pripravljenimi roboti z dvema do petimi prostostnimi stopnjami ali posameznimi moduli. Zahvaljujoč modularnosti uporabnik lahko dograjuje in prilagaja že pripravljene robote ali zgradi robotski sistem sam glede na svoje potrebe.

Ker so vse komponente roboLink dobavljive tudi kot posamezni sklopi, jih je mogoče kombinirati na več načinov: med seboj, s posebnimi komponentami ali s kompleti drylin E za portalne robote. Večsna ro-



Slika 4 : Enoti RL-D in RL-S, ki vključujeta pogonski motor, omejevalnik zasuka in enkoder [1]



Slika 5 : Krmilna enota program Commonplace Robotics Robolink® za programiranje robotskega sistema [1]

botska roka se na primer lahko pomika po linearni osi drylin E brez mazanja, povezovalni elementi robolink D pa povezujejo posamezne sklope robotske roke med seboj.

Krmilje in programiranje

Stroškovno učinkovite in individualno prilagodljive robote sistema Robolink igusa je mogoče dopolniti z različnimi koncepti krmiljenja. Ena izmed takih rešitev je cenovno ugodna krmilna enota podjetja Commonplace Robotics GmbH, ki je posebej zasnovana za delo z robolinkom D in je opremljena s programsko opremo, ki je preprosta za uporabo (slika 5). S pomočjo programske opreme so posamezni pomiki robota prikazani na zaslonu in jih je mogoče programirati in nadzorovati na preprosto razumljiv način. To krmilno enoto je mogoče vgraditi v bazni del členkastega robota Robolink®.

Spletno orodje za hitro konfiguracijo robota robolink

Robolink Designer poenostavi konfiguracijo cenovno ugodnega robota. To spletno orodje uporablja intuitivni uporabniški vmesnik, s katerim je možno popolnoma individualno oblikovanje robotske roke – od prve osi do končnega orodja. Med drugim omogoča vizualni prikaz pomikov, ki jih izvajajo gibljivi sklopi robota. Po zaključeni konfiguraciji se izpiše seznam delov, povpraševanje pa je poslano

neposredno podjetju igus. Programska oprema se lahko uporablja tudi na tablici.

Uspešne aplikacije

Zmagovalec projekta cenovno ugodne robotike, katerega pobudnik je bilo podjetje igus, je dokaz, da robolink resnično prihrani čas in denar. Pri projektu podjetja MLC-Engineering je v optičnem merilnem sistemu uporabljena členkasta roka robolink. Ko je izdelek končan, ga 5-osni robot prestavi iz proizvodnega stroja do optične merilne naprave. Izdelek nato znotraj merilnega območja večkrat prestavi, da preveri vse relevantne dimenzije. Naprava vse izmerjene vrednosti pošlje posebej za ta namen razvitemu kontrolnemu sistemu, ki oceni, ali so izmerjene vrednosti »dobre« ali »slabe«. Na podlagi te ocene robot izdelek prestavi ali na tekoči trak ali pa v škatlo za odpadke. Avtomatizacija manjših nalog ima tako na koncu velik učinek: zaposleni se lahko posvetijo pomembnejšim nalogam, prav tako lahko implementirajo krajše časovne cikle. Na koncu prihranijo 76 % časa.



Slika 6 : Večosni robot robolink in portalni robot drylin z ujemajočo se krmilno enoto sta glavni komponenti stroja, ki ga v podjetju igus uporabljajo za sestavljanje energijskih verig.

Večosni robot robolink in portalni robot drylin z ujemajočo se krmilno enoto sta glavni komponenti stroja, ki ga v podjetju igus uporabljajo za sestavljanje energijskih verig (slika 5). Dve izmenični namizni enoti postavi komponente v montažno celico, roka z dviznim ali vakuumskim prijemalom robolink RL-DC pa pravilno poravnava člene verige. Linearna vrtljiva prijemalna enota nato poskrbi, da so členi e-verige v avtomatiziranem stroju za sestavljanje postavljeni na prave pozicije. Ko je e-veriga sestavljena, jo prestavijo v škatlo. »Na tem primeru iz podjetja igus vidimo, kako lahko uporabniki enostavno in cenovno ugodno poenostavijo svoje procese,« razloži Martin Raak, produktni vodja za

robolink. »Večosni robot robolink omogoča avtomatizacijo procesov s posebej dokupljeno cenovno ugodno kontrolno enoto že za 5.000 €, pri portalnih robotih je avtomatizacija dosegljiva že od 3.000 € naprej.« Ta naložba se največkrat povrne v obdobju od štirih do sedmih mesecev, odvisno od uporabljenega krmilnega sistema.

Večosni roboti robolink in portalni roboti skupaj sestavljajo e-verige v igusovi tovarni v Kölnu – naložba se uporabniku povrne v roku 4–7 mesecev.

Vir:

Podjetje igus GmbH



VISOKO FLEKSIBILNI KABLI IGUS

- » Fleksibilni in torzijsko odporni kabli
- » Ethernet, optika, signalni, krmilni, servo, ...
- » S konektorji ali brez
- » Do 36 mesecev garancije



www.hennlich.si

HENNLICH d.o.o., Ul. Mirka Vadnova 13, 4000 Kranj / Pokličite nas: 041 386 035



OGLAŠEVALCI

- | | |
|---|---|
| ▶ FESTO, d. o. o., Trzin.....349, 412 | ▶ OPL AVTOMATIZACIJA, d. o. o, Trzin 349 |
| ▶ HENNLICH, d. o. o., Kranj..... 407 | ▶ PARKER HANNIFIN (podružnica v N. M.), |
| ▶ HPE, d. o. o., Ljubljana..... 349 | Novo mesto..... 349 |
| ▶ ICM, d. o. o., Vojnik369, 411 | ▶ POCLAIN HYDRAULICS, d. o. o, Žiri..... 349, 350 |
| ▶ INOTEH, d. o. o., Bistrica ob Dravi 402 | ▶ PPT COMMERCE, d. o. o., Ljubljana349, 352 |
| ▶ JAKŠA, d. o. o., Ljubljana391 | ▶ PROFIDTP, d. o. o., Škofljica.....383, 400 |
| ▶ La & Co., d. o. o., Limbuš..... 349 | ▶ STROJNISTVO.COM, Ljubljana367 |
| ▶ MIEL Elektronika, d. o. o., Velenje..... 349 | ▶ UL, Fakulteta za strojništvo369, 399 |
| ▶ OLMA, d. o. o., Ljubljana.....391 | ▶ YASKAWA, d. o. o., Ribnica 374 |
| ▶ OMEGA AIR, d. o. o., Ljubljana..... 349, 410 | |

IZVAJANJE PREGLEDOV KAKOVOSTI STISNJENEGA ZRAKA V SKLADU S STANDARDOM ISO 8573-1

Stisnjen zrak je eden najpogostejših in tudi eden najdražjih energentov v industriji. Kakovostni in energetske učinkoviti kompresorji so vsekakor pomembni elementi sistema stisnjenega zraka, vendar brez ustrezne priprave zraka in merilne opreme ni mogoče zagotoviti kakovostnega in učinkovitega stisnjenega zraka. Stabilna kakovost izdelkov, optimizacija procesa in prihranki energije so le nekateri razlogi, zakaj je potrebno izvajati preglede in meritve v sistemih stisnjenega zraka in tehničnih plinov.

Zahtevana kakovost stisnjenega zraka se vedno pojavi zaradi določenega proizvodnega procesa ali aplikacije. Če želimo kakovosten in cenovno ugoden energent, je potrebno investirati v kakovosten in energijsko varčen kompresor ter zagotoviti ustrezno pripravo stisnjenega zraka s filtracijo in sušenjem.

Izvajanje pregledov kakovosti stisnjenega zraka je bistvenega pomena za zagotavljanje kakovosti proizvodov, ne glede na panogo proizvodnega obrata. Stisnjen zrak, ki se uporablja v proizvodnem procesu, lahko vsebuje nečistoče, kot so voda, olje in trdni delci, ki lahko negativno vplivajo na kakovost končnega izdelka. Glede na specifične zahteve posameznega proizvodnega procesa je vsebnost nečistoč potrebno znižati na ustrezno koncentracijo.

V postopku pregleda merimo in spremljamo vse naslednje kontaminante:

1. merjenje trdnih delcev: $0,1 < d \leq 0,5 \mu\text{m}$; $0,5 < d \leq 1,0 \mu\text{m}$; $1,0 < d \leq 5,0 \mu\text{m}$,
2. merjenje točke rosišča: $-100 / +20 \text{ }^{\circ}\text{C}$,
3. merjenje oljnih aerosolov: $0,003\text{--}10,000 \text{ mg/m}^3$.

Izvedba pregleda kakovosti stisnjenega zraka po ISO 8573-1

Osnova ustrezne kakovosti stisnjenega zraka je razred 1.2.1 po standardu ISO 8573-1, s katerim se izognemo poškodbam na izdelkih in kontaminaciji zračnega cevovoda. Kakršnokoli odstopanje ima lahko za posledico visoke finančne kazni, kontami-

RAZRED	TRDNI DELCI			VLAŽNOST IN TEKOČA VODA		OLJE	
	Maksimalno število delcev na kubični meter kot funkcija velikosti delcev, $d^{(2)}$			Tlačna točka rosišča		Koncentracija olja ⁽²⁾ (tekočina, aerosoli in pare)	
	$0,1 \mu\text{m} < d \leq 0,5 \mu\text{m}$	$0,5 \mu\text{m} < d \leq 1,0 \mu\text{m}$	$1,0 \mu\text{m} < d \leq 5,0 \mu\text{m}$	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{F}$	mg/m^3	ppm/w/w
0	Določeno z opremo uporabnika ali dobavitelja in stroške od razreda 1						
1	≤ 20.000	≤ 400	≤ 10	≤ -70	-94	$\leq 0,01$	$\leq 0,008$
2	≤ 400.000	≤ 6.000	≤ 100	≤ -40	-40	$\leq 0,1$	$\leq 0,08$
3	Ni določeno	≤ 90.000	≤ 1.000	≤ -20	-4	≤ 1	$\leq 0,8$
4	Ni določeno	Ni določeno	≤ 10.000	$\leq +3$	38	≤ 5	≤ 4
5	Ni določeno	Ni določeno	≤ 100.000	$\leq +7$	45	Ni določeno	Ni določeno
6				$\leq \pm 10$	50		
	Masna koncentracija ⁽²⁾ - C_p			Vsebnost tekoče vode ⁽²⁾ - C_w			
	mg/m^3			g/m^3			
6	$0 < C_p \leq 5$					Ni določeno	Ni določeno
7	$5 < C_p \leq 10$			$C_w \leq 0,5$		Ni določeno	Ni določeno
8	Ni določeno			$0,5 \leq C_w \leq 5$		Ni določeno	Ni določeno
9	Ni določeno					Ni določeno	Ni določeno
X	$C_p > 10$					> 5	> 4

⁽¹⁾ Za kvalifikacijo v določeni razred, morata biti navedena točna velikost in število delcev.

⁽²⁾ Pri referenčnih pogojih: temperatura zraka $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$, absolutni tlak zraka 100 kPa (1 bar), relativni tlak vodne pare 0.

Slika 1 : Razredi kakovosti stisnjenega zraka po ISO 8573-1



Slika 2 : Osnovna oprema za izvajanje pregledov kakovosti stisnjene-ga zraka

nacijo izdelkov (prehranska in kemična industrija, farmacija ipd.) ter potencialne okvare na pnevmatskih pogonih obratovalnih strojev.

Metoda merjenja za zagotavljanje visoke kakovosti stisnjene-ga zraka

Izvajalec pregleda kakovosti stisnjene-ga zraka OMEGA AIR d. o. o. Ljubljana uporablja najsodobnejšo merilno opremo za spremljanje kakovosti stisnjene-ga zraka: senzor oljnih aerosolov OS 120, laserski števec trdnih delcev OS 130 in prenosni merilnik točke rosišča OS 520. Za pridobitev točnih podatkov o vsebnosti oljnih hlapov in trdnih delcev v sistemu stisnjene-ga zraka se uporabljata senzor oljnih hlapov OS 120 in laserski števec trdnih delcev OS 130. Če se ugotovijo odstopanja izmerjenih vrednosti, je osebje vzdrževanja takoj obveščeno o kritični točki, kar jim omogoči hitro ukrepanje – izoliranje težave, naj gre bodisi za puščanje olja v zračnem kompresorju ali nasičenost filtracijskega sistema.

S prenosnim merilnikom OS 520 merimo in nadzorujemo učinkovitost delovanja sušenja stisnjene-ga zraka, torej hladilniških in adsorpcijskih sušilnikov.

Prenos izmerjenih odčitkov poteka preko zapisovalnika podatkov na uporabniški PC, kjer se kreira tedensko, mesečno ali letno poročilo.

Merjenje pomeni poznavanje dejanske zmogljivosti sistema in nadzorovanje različnih obratovalnih parametrov (tlaka, pretoka, moči, točke rosišča, vsebnosti trdnih delcev, vsebnosti oljnih delcev, ...)

Z doslednim spremljanjem sistema stisnjene-ga zraka zagotavljamo zanesljivo delovanje obratovalnih strojev v tovarni z minimalno možnostjo okvar ali zastojev. Pomembno je tudi, da hkrati vzdržujemo visok nivo kakovosti izdelkov v proizvodnem obratu.

www.omega-air.si



OMEGA AIR
more than air

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

RAZPON TLAKOV

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



Air

MEDIJI

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



Air



N₂



H₂



He



Air



O₂



8-Air



CNG



CO₂

© Ventil 29(2023)6. Tiskano v Sloveniji. Vse pravice pridržane.
 © Ventil 29(2023)6. Printed in Slovenia. All rights reserved.

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

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

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

Volume **Letnik** 29
 Year **Letnica** 2023
 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: prof. dr. Janez Tušek
Pomočnik urednika: izr. prof. dr. Miroslav Halilović
Tehnični urednik: Roman Putrih

Znanstveno-strokovni svet:

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

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

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

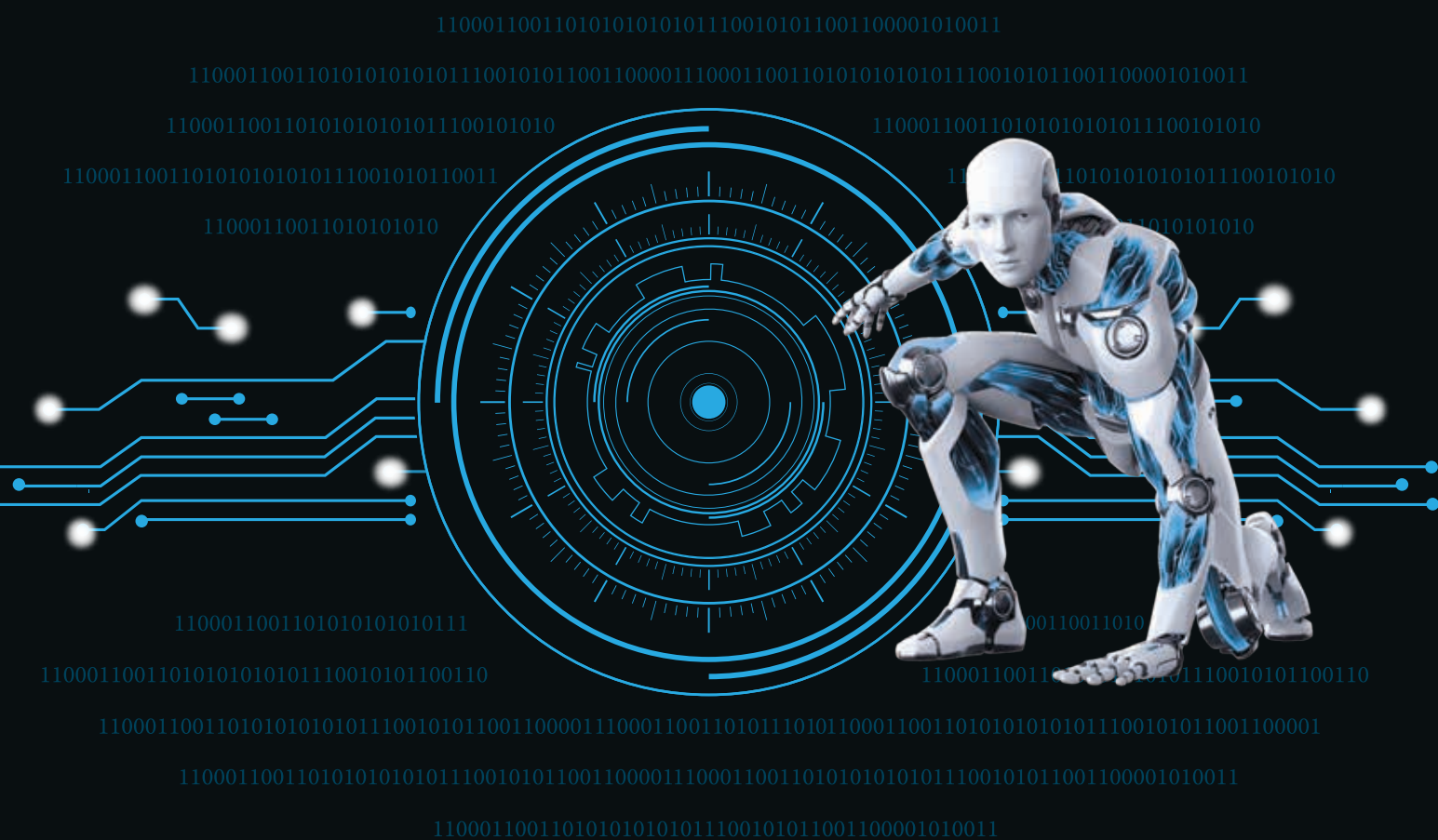
Naklada: 1.000 izvodov
Cena: 5,00 EUR – letna naročnina 30,00 EUR

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

IFAM-INTRONIKA-ROBOTICS

13.-15. februar 2024

Ljubljana



Večosni robot robolink in portalni robot drylin z ujemajočo se krmilno enoto sta glavni komponenti stroja, ki ga v podjetju igus uporabljajo za sestavljanje energijskih verig (slika 5). Dve izmenični namizni enoti postavita komponente v montažno celico, roka z dviznim ali vakuumskim prijemalom robolink RL-DC pa pravilno poravna člene verige. Linearna vrtljiva prijemalna enota nato poskrbi, da so členi e-verige v avtomatiziranem stroju za sestavljanje postavljeni na prave pozicije. Ko je e-veriga sestavljena, jo prestavijo v škatlo. »Na tem primeru iz podjetja igus vidimo, kako lahko uporabniki enostavno in cenovno ugodno poenostavijo svoje procese,« razloži Martin Raak, produktni vodja za

robolink. »Večosni robot robolink omogoča avtomatizacijo procesov s posebej dokupljeno cenovno ugodno kontrolno enoto že za 5.000 €, pri portalnih robotih je avtomatizacija dosegljiva že od 3.000 € naprej.« Ta naložba se največkrat povrne v obdobju od štirih do sedmih mesecev, odvisno od uporabljenega krmilnega sistema.

Večosni roboti robolink in portalni roboti skupaj sestavljajo e-verige v igusovi tovarni v Kölnu – naložba se uporabniku povrne v roku 4–7 mesecev.

Vir:

Podjetje igus GmbH



VISOKO FLEKSIBILNI KABLI IGUS

- » Fleksibilni in torzijsko odporni kabli
- » Ethernet, optika, signalni, krmilni, servo, ...
- » S konektorji ali brez
- » Do 36 mesecev garancije



www.hennlich.si

HENNLICH d.o.o., Ul. Mirka Vadnova 13, 4000 Kranj / Pokličite nas: 041 386 035



OGLAŠEVALCI

- | | |
|---|---|
| ▶ FESTO, d. o. o., Trzin.....349, 412 | ▶ OPL AVTOMATIZACIJA, d. o. o, Trzin 349 |
| ▶ HENNLICH, d. o. o., Kranj..... 407 | ▶ PARKER HANNIFIN (podružnica v N. M.), |
| ▶ HPE, d. o. o., Ljubljana..... 349 | Novo mesto..... 349 |
| ▶ ICM, d. o. o., Vojnik369, 411 | ▶ POCLAIN HYDRAULICS, d. o. o, Žiri..... 349, 350 |
| ▶ INOTEH, d. o. o., Bistrica ob Dravi 402 | ▶ PPT COMMERCE, d. o. o., Ljubljana349, 352 |
| ▶ JAKŠA, d. o. o., Ljubljana391 | ▶ PROFIDTP, d. o. o., Škofljica.....383, 400 |
| ▶ La & Co., d. o. o., Limbuš..... 349 | ▶ STROJNISTVO.COM, Ljubljana367 |
| ▶ MIEL Elektronika, d. o. o., Velenje..... 349 | ▶ UL, Fakulteta za strojništvo369, 399 |
| ▶ OLMA, d. o. o., Ljubljana.....391 | ▶ YASKAWA, d. o. o., Ribnica 374 |
| ▶ OMEGA AIR, d. o. o., Ljubljana..... 349, 410 | |



FESTO

Preprosto: del rešitve

Festo ★ osnovni program

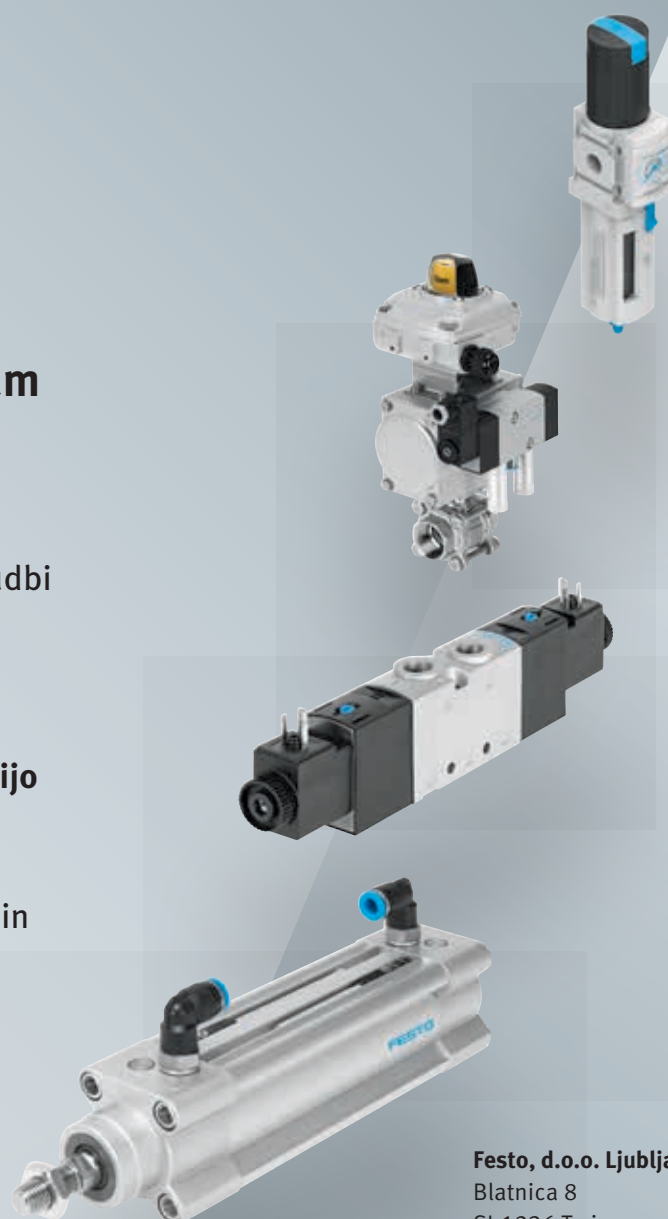
Prednosti na prvi pogled:

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

Osnovni program za avtomatizacijo

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

Poenostavite svojo nabavo -
Samo poiščite modro zvezdo!



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