

VENTIL

02
2026

Industrijska olja in maziva

PREDSTAVLJAMO

Nova raziskovalna oprema
UL FS

DIGITALNI DVOJČKI

Energijski digitalni dvojčki
kosovne proizvodne linije

PAMETNI IZDELOVALNI SISTEMI

Tokovne simulacije
hidrostatičnih strojev

HIDRAVLIČNE TOKOVNE SIMULACIJE

Umetna inteligenca v
pametnih izdelovalnih
sistemih



OLMA
www.olma.si



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





Evolucija Ventila

Pozoren bralec je morda že ob prvem listanju nove številke Ventila opazil, da revija tokrat deluje nekoliko drugače. Spremembe v grafični podobi so zadržane, a premišljene. Sledijo sodobnejšim oblikovalskim pristopom, predvsem pa omogočajo večjo fleksibilnost pri predstavitvi vsebin. Pri tem smo se zavestno izognili radikalnim posegom, deloma zato, ker vsaka sprememba razdeli mnenja, predvsem pa iz spoštovanja do tradicije, ki jo revija gradi že več kot tri desetletja.

Ventil je skozi svojo zgodovino nastajal kot skupno delo strokovne skupnosti. Ustanovila sta ga Slovensko društvo za fluidno tehniko in Združenje kovinske industrije pri Gospodarski zbornici Slovenije, njegovo uredniško podobo pa so dolga leta oblikovali sodelavci Fakultete za strojništvo Univerze v Ljubljani. Posebno mesto v tem razvoju ima Laboratorij za strego, montažo in pnevmatiko LASIM, ki je pomembno prispeval k razširitvi vsebin na področja avtomatizacije in mehatronike. Današnja podoba revije je zato rezultat postopnega razvoja, ki ga je soustvarjalo več generacij in prav vsem gre iskrena zahvala.

Ventil ni le prostor strokovne izmenjave,
temveč prostor srečevanja prihodnjih
sodelavcev.

V zadnjih letih se vse jasneje kaže, da zanimanje za objavljanje presega prvotno začrtane vsebinske okvire. Prispevki vse pogosteje posegajo na širša področja naprednega inženirstva in sodobnih tehnologij, ob tem pa se postopoma širi tudi krog bralcev, ki v takšnih vsebinah prepoznajo njihovo vrednost. Ta razširjenost se ni zgodila načrtno, temveč se je oblikovala kot naraven odziv na dogajanje v stroki, industriji in širšem prostoru znanja. V tem se hkrati odpira tudi širše razumevanje vsebin, ki jih Ventil danes spremlja.

Tak razvoj ni ločen od širšega okolja. Slovenija se ponaša z vrhunskimi dosežki na področju znanosti in z močno industrijsko tradicijo, vendar povezava med obema pogosto ostaja neizkoriščena. Ta vrzel, znana kot »dolina smrti inovacij« oziroma »TRL 3–6 gap«, označuje prehod med idejno rešitvijo in njeno dejansko uporabo. Prav v tej fazi številne obetavne rešitve zastanejo, kar potrjujejo tudi evropske analize in podatki za Slovenijo. Premoščanje te vrzeli zato postaja skupna naloga raziskovalnega in gospodarskega prostora.

V tem prostoru Ventil vidi svojo vlogo že od vsega začetka. Revija ostaja prostor srečevanja, kjer raziskovalci predstavljajo rešitve z aplikativnim potencialom, podjetja pa svoje razvojne izzive in dosežke. Posebno vrednost imajo prispevki, ki nastajajo v sodelovanju, saj neposredno kažejo, da je prenos znanja mogoč in smiseln. Ob tem Ventil ostaja zvest slovenskemu jeziku kot nosilcu strokovne identitete.

Tokratne grafične spremembe so predvsem zunanji odraz širšega premisleka o vlogi revije. Z vključevanjem novih sodelavcev ter oblikovanjem strokovnih teles, ki povezujejo raziskovalno in industrijsko okolje, želimo ustvariti prostor, ki bo še bolj odprt, odziven in vsebinsko raznolik. Pomemben korak v tej smeri je tudi uvedba odprtega dostopa, s katerim so prispevki dostopnejši in vidnejši širši strokovni javnosti.

Danes Ventil presega okvir enega samega okolja in povezuje raziskovalne ustanove, podjetja in širšo strokovno javnost. Med njegovimi bralci so tudi študenti, bodoči inženirji, ki šele vstopajo na trg dela in iščejo okolja, v katerih bodo razvijali svoje znanje. V tem smislu Ventil ni le prostor strokovne izmenjave, temveč tudi prostor srečevanja prihodnjih sodelavcev. Za podjetja to pomeni priložnost, da svojo dejavnost, vrednote in razvojno usmeritev približajo generacijam, ki bodo to okolje soustvarjale v prihodnje.

Miroslav Halilovič

© Avtorji 2025. CC-BY 4.0

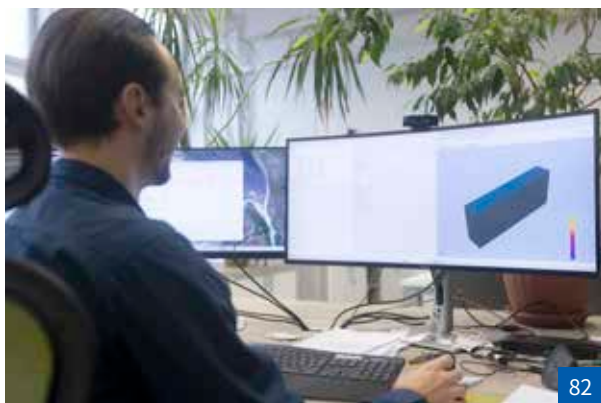
VENTILOV UTRIP

DOGODKI

- 74 Fakulteta za strojništvo UL uspešno gostila Slovenske vesoljske dneve 2026
- 76 Petnajsta mednarodna fluidnotehnična konferenca v Aachnu
- 80 Strokovna ekskurzija Slovenskega društva za fluidno tehniko

PREDSTAVLJAMO

- 82 Nova raziskovalna oprema za prebojne raziskave in še bolj poglobljeno sodelovanje z gospodarstvom – 3. del



82

- 86 V osrčju proizvodnje standardiziranih in normiranih delov: Otto Ganter GmbH & Co. KG



86

- 90 Pogled v popolnoma avtomatizirano skladišče polizdelkov podjetja Eles



90

NOVICE IN ZANIMIVOSTI

- 91 Grafenski nanogrelnik za tvorbo širokopasovnega ultrazvoka odpira nove možnosti v medicini
- 92 Pametnejše površine za lahke strojne komponente
- 94 Dvofotonovo 3d-tiskanje funkcionalnih mikrostruktur znotraj živih celic

BIONIKA

- 96 Inovativne aplikacije bionike v industrijski avtomatizaciji



96

ZNANSTVENI PRISPEVKI

DIGITALNI DVOJČKI

- Miha Glavan, Rok Struna, Vinko Longar, Dejan Gradišar
- 98 Razvoj energijskih digitalnih dvojčkov kosovne proizvodne linije

STROKOVNI PRISPEVKI

PAMETNI IZDELOVALNI SISTEMI

- Denis Jankovič, Miha Pipan, Niko Herakovič
- 106 Strojno učenje in umetna inteligenca v pametnih izdelovalnih sistemih

HIDRAVLIČNE TOKOVNE SIMULACIJE

- Anže Čelik
- 112 Pomembnost uporabe naprednih lastnosti tekočin v tokovnih simulacijah hidrostatičnih strojev – 1. del

USEDLINE – LAKASTE OBLOGE

- Milan Kambič
- 116 Spremljanje in preprečevanje nevarnosti tvorjenja usedlin in lakastih oblog

IZ INDUSTRIJE

AKTUALNO V INDUSTRIJI

ELESA+GANTER

120 Učinkovito zapiranje

HIWIN

121 Večosni sistemi s servopogoni in brezkrtačnimi servomotorji

INOTEH

122 CAPTRON: Samodejna kalibracija središčne točke orodja (TCP)

La & Co.

123 Optimizacija industrijskega pihanja

TU-VAL

124 Ventili za vodikove aplikacije – zanesljive rešitve za zahtevne pogoje

MIEL Elektronika

125 Merilnik moči KM-PMBN-EIP

NOVOSTI NA TRGU

HAWE Hidravlika

126 Visokotlačni hidravlični ventil za regulacijo pretoka podjetja HAWE Hydraulik postavlja nove standarde

INOTEH

127 PIAB: Vakuumska črpalka piCLASSIC™ Neo



127

POCLAIN Hydraulics

128 Podjetje Poclain širi ponudbo kompaktnih goseničnih nakladalnikov z novim motorjem MT10



128

SMC Industrijska avtomatika

129 Vakuumska prijemala SMC serije ZGP/ZGS

PODJETJA PREDSTAVLJAJO

GIA-S

130 Elektromagnetni ventil SAMSON tip 3913

HENNLICH

132 SKF Lincoln črpalka za mazanje serije CLP Basic / CLP Basic Plus



132

OMEGA AIR

134 Samooskrba z dušikom (N2) v paketnih enotah



134

MIEL Elektronika

138 VHV5 vgradni verifikator



138

»Vesoljski sektor išče ljudi, kot ste vi« – Fakulteta za strojništvo UL uspešno gostila Slovenske vesoljske dneve 2026

Fakulteta za strojništvo UL je v začetku marca gostila enega osrednjih dogodkov Slovenskih vesoljskih dni 2026, ki jih pripravlja Ministrstvo za gospodarstvo, turizem in šport v sodelovanju z Evropsko vesoljsko agencijo (ESA), Slovensko vesoljsko pisarno ter slovenskimi univerzami. Predavalnica V/8 je privabila številne študente, raziskovalce in mlade strokovnjake, ki razmišljajo o karieri v evropskem vesoljskem sektorju.



Z leve: Katja Pustovrh, vodja Oddelka za gospodarske zadeve in komuniciranje na Fakulteti za strojništvo, prof. dr. Jernej Klemenc, dekan Fakultete za strojništvo, Joost Vanreusel, vodja programa pri ESA Academy, Suzana Papež Skubic, Slovenska vesoljska agencija in Matevž Frangež, državni sekretar na Ministrstvu za gospodarstvo, turizem in šport.

Udeleženci so se seznanili z usposabljanji, pripravništvu, poletnimi šolami in študentskimi projekti programa ESA Academy, z možnostmi sofinanciranja doktorskega študija, z raziskovalnimi dosežki slovenskih univerz ter s kariernimi priložnostmi v rastočem vesoljskem sektorju.

Državni sekretar Matevž Frangež je v nagovoru poudaril, da Slovenski vesoljski dnevi mladim odpirajo ključne priložnosti



Vanreusel je udeležence nagovoril z besedami:

»Vesoljski sektor išče ljudi, kot ste vi.« S tem je poudaril, da evropski vesoljski sektor aktivno išče novo generacijo talentov. Grover pa je podal konkretne informacije, uporabne povezave ter napotke za vključitev v program. Oba sta predstavila tudi prijavní postopek, pričakovanja ESA in praktične nasvete za uspešno prijavo.

v hitro razvijajoči se panogi: »Slovenski vesoljski dnevi so izjemna priložnost, da se mladi seznanijo z izobraževalnimi, raziskovalnimi in kariernimi možnostmi v vesoljskem sektorju ter se odločijo za prvi korak v tej smeri. Prav mladi so tisti, ki bodo s svojo radovednostjo, znanjem in pogumom soustvarjali prihodnost slovenskega vesoljskega sektorja ter krepili vlogo Slovenije v globalnem raziskovalnem prostoru.«

Poudarek na mladih talentih in njihovem potencialu je tesno povezan z vizijo Fakultete za strojništvo UL. Dekan prof. dr. Jernej Klemenc je izpostavil: »Naši projekti dokazujejo, da je strojništvo precej širše, kot si ga običajno predstavljamo. Razvijamo rešitve za delovanje v mikrogravitaciji in ekstremnih pogojih – od večrobotskih sistemov za raziskovanje Luninega površja do naprednih tehnologij za spremljanje zdravja astronautov. Naš cilj je znanje sistematično pretvarjati v tehnologije, ki Slovenijo utrjujejo kot prepoznavnega in zanesljivega partnerja v evropskem vesoljskem prostoru.«

Sledil je del programa, ki sta ga zasnovali Evropska vesoljska agencija in Slovenska vesoljska pisarna. Program ESA Academy sta predstavila Joost Vanreusel, vodja programa, in Jai Grover, znanstveni koordinator pri ESA, ki se je dogodku pridružil preko videopovezave.



Z leve: doc. dr. Andreja Malus, doc. dr. Janez Urevc, izr. prof. dr. Rok Vrabič in Žan Boček.

Program ESA Academy

Aktualne možnosti za mlade so objavljene na spletni strani ESA Academy. Med trenutno odprtimi priložnostmi je štiridnevna delavnica o vzporednem inženirstvu, namenjena študentom inženirskih ali fizikalnih smeri iz držav članic ESA. Potekala bo v centru ESEC Galaxia v Belgiji, ESA pa udeležencem krije nastanitev, prehrano in povračilo potnih stroškov do 350 evrov.



Obisk nekdanje astronautke NASE Sunita Williams na Fakulteti za strojništvo UL.

Na dogodku so bili predstavljeni trije ključni razvojni projekti, ki nastajajo v sodelovanju raziskovalnih ekip Fakultete za strojništvo UL. Izr. prof. dr. Rok Vrabič vodi razvoj inteligentnega večrobotskega sistema, namenjenega raziskovanju Luninega površja. Doktorski študent Žan Boček je predstavil projekt Cave 0g, ki preučuje dinamiko tekočin in pojave kavitacije v breztežnosti. Doc. dr. Janez Urevc pa vodi razvoj naprednega sistema za zgodnje zaznavanje tromboze pri astronautih v mikrogravitacijskih pogojih.

Dogodek je izpostavil tudi raziskovalno odličnost Fakultete za strojništvo UL.

www.fs.uni-lj.si

© Avtorji 2026. CC-BY 4.0

POLETNI RAZISKOVALNI TABOR ZA DIJAKE



RAZISKUJ IN POGANJAJ PRIHODNOST

29. JUNIJ - 3. JULIJ 2026





1 Dvorana Eurogress – pred začetkom vabljenega predavanja dr. Haacka

Petnajsta mednarodna fluidnotehnična konferenca v Aachnu

Franc Majdič

Aachen je najbolj zahodno ležeče veliko mesto v Nemčiji. Leži ob meji z Belgijo in Nizozemsko v zvezni deželi Severno Porenje-Vestfalija. V Aachnu živi preko 250 tisoč prebivalcev. Krajevna naselitev sega v prvo stoletje. Področje je znano po toplih vrelih. Prvo zdraviliško naselje je bilo rimsko, imenovano Aquisgranum. Aachen je največjo zgodovinsko vlogo dosegel v času Karla Velikega, ki ga je izbral za glavno rezidenco. Mesto je postalo simbol zibelke Evrope, saj je bilo politično, kulturno in versko središče karolinškega sveta.

Med 9. in 11. marcem 2026 je v aachenskem kongresnem centru Eurogress potekala že 15. mednarodna fluidnotehnična konferenca z naslovom Omogočitev tehnologij prihodnosti.

Konferenca se je udeležilo 470 udeležencev iz 26 držav: največ (65 %) jih je bilo iz Nemčije, sledile so Kitajska (7 %), Italija

(4 %), Avstrija in Švica (po 3 %) in nato ostale države. Slovenija je s šestimi udeleženci predstavljala 1,3-odstotni delež.

Na konferenci je bilo predstavljenih 115 prispevkov, ki so pokrivali sledeča področja: izkoristki komponent (24 %), tribologija in tekočine (14 %), mobilne aplikacije (14 %), sistemi in energijski management (12 %), digitalna transformacija (9 %), inteligentno krmiljenje (7 %), pnevmatika (6 %), prihodnje tehnologije in posebne aplikacije (6 %), industrijske aplikacije (3 %), umetna inteligenca (3 %) in neto nič emisij (2 %).

Prvi dan, v ponedeljek, 9. marca 2026, je kot običajno potekal simpozij. Vse zbrane je uvodno pozdravila voditeljica

Izr. prof. dr. Franc Majdič, univ. dipl. inž., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo

© Avtorji 2026. CC-BY 4.0

konference prof. dr. Katharina Schmitz. Sledilo je uvodno predavanje prof. dr. Yanga Huayonga z ene najstarejših in najprestižnejših fakultet za strojništvo na Kitajskem. Omenjena fakulteta spada pod Univerzo Zhejiang, ki je v enem od tehnološko najnaprednejših kitajskih mest: v enajst milijonskem mestu Hangzhou na vzhodnem delu Kitajske. Uvodni predavatelj akademik prof. dr. Yang Huayong je eden od globalno najvplivnejših strokovnjakov za fluidno tehniko. Predstavil je zanimiv prispevek z naslovom Razvoj inšpekcijskih in nadomestnih robotov za izkopna orodja stroja za vrtnanje predorov. Prvi dan so se po uvodnem pozdravu in predavanju vsi prisotni razdelili po treh predavalnicah. V treh sekcijah je bilo zatem predstavljenih 51 zanimivih predavanj.

Konferenca se je uradno začela drugi dan, v torek, 10. marca 2026, v največji dvorani kongresnega centra, imenovani Evropa. Številne zbrane je prijazno pozdravila vodja konference direktorica IFAS-a in prodekanja Fakultete za strojništvo na RWTH prof. dr. Katharina Schmitz. Sledil je uvodni pozdrav podžupana mesta Aachen dr. Ralfa Ottna. Toplo nas je pozdravil tudi dekan aachenske Fakultete za strojništvo prof. dr. Wolfgang Schröder. Povedal je, da je aachenska Fakulteta za strojništvo ena izmed največjih v Evropi. Vpisanih imajo preko 7.100 študentov, vsako leto jih na novo vpišejo preko 2.200. Zaposlenih je 61 rednih profesorjev, od katerih vsak vodi svoj laboratorij oz. inštitut. Univerza RWTH v Aachnu ima povprečno vpisanih 45.000 študentov. Povedal je, da je fluidna tehnika ena izmed prepoznavnejših študijskih smeri tamkajšnje univerze.

Kot običajno je tudi na tej konferenci namestnik glavnega direktorja za področje fluidne tehnike pri Združenju nemških proizvajalcev strojev in naprav (VDMA) dr. Christian Geis predstavil zanimive statistične podatke: v letu 2025 je Nemčija prodala za 256 milijard EUR izdelkov s področja strojništva, od tega za 5,3 milijarde s področja hidravlike in 3 milijarde s področja pnevmatike. V lanskem letu je bila zaznana 4-odstotna rast na področju strojništva in zmanjšanje proizvodnje za 3 % na področju hidravlike in za 2 % na področju pnevmatike. Za letošnje leto napoveduje 3 % rast za hidravliko in 3 % za pnevmatiko. Največja trenutna povpraševanja zaznavajo s področja tehnologije za manipulacijo, premikanje in transport materiala, orodij za stroje, hidravlike, gradbene mehanizacije in procesne opreme.

Za vse udeležence konference je sledil paket treh predavanj o raziskavah in razvoju fluidne tehnike na Kitajskem, v Ameriki in Evropi. Raziskovalno-razvojna področja na Kitajskem je predstavil akademik prof. dr. Yang Huayong. Glavni poudarki njihovih raziskav so na področjih hidravličnih črpalk, radialnih batnih motorjev, hidravličnih ventilov, hidravličnih valjev, elektro-hidravličnih aktuatorjev (EHA) in pametnih mobilnih strojev. Na podlagi obširne predstavitve lahko sklepamo, da so raziskave, razvoj in proizvodnja na Kitajskem na zelo visokem nivoju in da so med vodilnimi na svetu.

Drugo predavanje je imel prof. dr. Andrea Vacca, vodja enega izmed največjih ameriških inštitutov, ki se ukvarja s fluidno tehniko (MAHA), z univerze Purdue. Dr. Vacca je predstavil deset vidnejših inštitutov v Severni Ameriki: Center za kompaktno in učinkovito hidravliko z Univerze v Minnesoti, Inštitut za hidravliko na Univerzi v Milwaukeeuju, raziskave

hidravlike na Univerzi Missouri, na Državni univerzi Iowa ter na kanadski Univerzi Manitoba, na kanadski Univerzi McMaster ter na kanadski Univerzi Saskatchewan, Jugozahodni raziskovalni inštitut (SwRI) in njegov Hidravlični raziskovalni center MAHA.

Tretje predavanje je izvedel prof. dr. Marcus Geimer z Inštituta za mobilne delovne stroje z nemške univerze v Karlsruheju, ki je predstavil raziskave hidravlike na področju Evrope. Prikazal je mega evropske trende, ki so povezani z ljudmi, zdravjem, okoljem in resursi, ekonomijo, tehnologijo in inovacijami ter politiko. Omenil je ključna raziskovalna področja, kot so sistemi, krmiljenje, komponente in oblaki podatkov.

Sledili sta dve vabljeni predavanji. Prvo z naslovom Umetna inteligenca v hidravliki je predstavil dr. Steffen Haack iz podjetja Bosch Rexroth AG (*slika 1*). Poudaril je pomembnost uporabe in velike možnosti za napredek na tem področju. Drugo vabljeno predavanje za naslovom Digitalni dvojčki in umetna inteligenca v hidravliki – izboljšanje sistemov s povezavo realnega in virtualnega sveta je predstavila vodja konference prof. dr. Katharina Schmitz (*slika 2*).

Drugi dan se je v kongresnem centru zaključil s skupnim motivacijskim predavanjem strokovnjaka za digitalno transformacijo g. Harald Schirmerja za naslovom Učenje v hudobnem svetu.

Zvečer smo se vsi udeleženci zbrali še na gala večerji v mestni hiši (Rathaus), kjer so zaposleni IFAS-a poleg prijetnega druženja in okusne hrane pripravili še zabaven program na temo fluidne tehnike.

Med odmori na konferenci smo si lahko ogledali razstavní prostor z enajstimi razstavljalci s področja fluidne tehnike.

Tretji dan je bilo v treh dvoranah vzporedno izvedenih 47 zanimivih predavanj. Konferenca se je zaključila v popoldanskih urah, v sredo, 11. marca 2026, v največji dvorani Eurogress, kjer je sklepane misli in statistične podatke predstavila voditeljica prof. dr. Katharina Schmitz. Podelila je tudi dve nagradi, eno za najboljši prispevek in eno za najboljšo predstavitev. Na koncu je prof. dr. Jürgen Weber povabil na 16. mednarodno



Vabljeno predavanje prof. dr. Katharine Schmitz



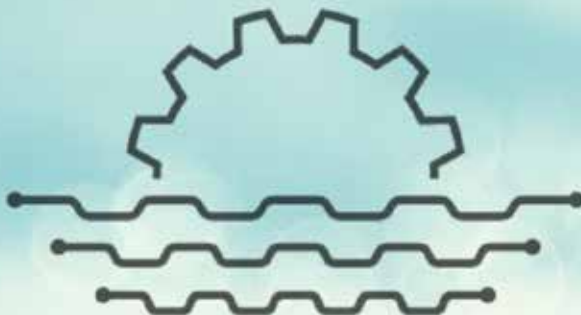
Ogled Inštituta za fluidnotehnične pogone (IFAS)

konferenco fluidne tehnike (IFK), ki bo med 14. in 16. marcem 2028 v vzhodnonemškem mestu Dresden.

Po uradnem zaključku konference je v večernih urah sledil še ogled laboratorija IFAS s pogostitvijo in prijetnim druženjem (slika 3).

V okviru Laboratorija za fluidno tehniko (LFT) smo se aktivno udeležili mednarodne konference v Aachnu. Na konferenci smo predstavili tri znanstvene prispevke (2,6 % od vseh predstavljenih), ki naslavlajo aktualne izzive sodobne hidravlike. Prvi prispevek je predstavila dr. Ana Trajkovski z naslovom Vrednotenje drsnih lastnosti selektivnega lasersko staljenega maragenskega jekla v primerjavi z aluminijevimi zlitinami v vodi in hidravličnem olju. Drugo predavanje je izvedel dr. Nejc Novak z naslovom Inovativen pristop k čiščenju in nadzoru čistoče novo izdelanih hidravličnih sklopov. Jan Bartolj pa je prikazal rezultate raziskave z naslovom 3D natisnjeni polimeri in keramični krmilni bati kot alternativa jeklu za hidravlične ventile. Udeležba na 15. konferenci IFK 2026 ponovno potrjuje aktivno vlogo LFT pri razvoju novih tehnologij in našo zavezanost k vrhunskim raziskavam na področju fluidne tehnike.

3



POLETNA ŠOLA STROJNIŠTVA

25. - 28. AVGUST 2026

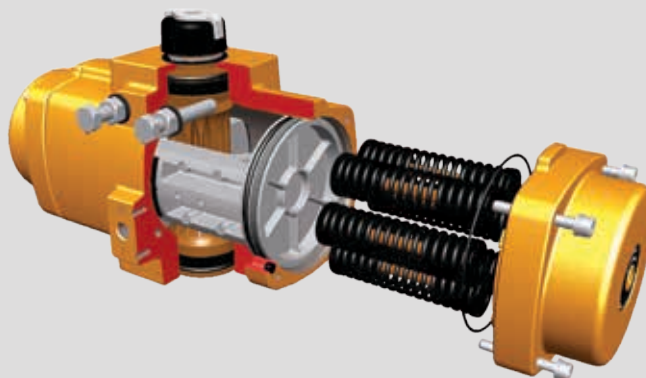





EMERSON[™]
 Process Management



EL Matic[™]



Field



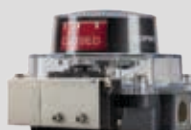
BETTIS[™]



 **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

Ko se vrhunska proizvodnja avtodomov sreča z visokotehnološko avtomobilsko industrijo

Nejc Novak, Franc Majdič

Člani Slovenskega društva za fluidno tehniko (SDFT) so 4. marca 2026 izvedli strokovno ekskurzijo v podjetji *Adria Mobil in TPV Automotive*, kjer so se seznanili z vrhunskimi dosežki in prebojnimi tehnologijami, ki zaznamujejo slovensko predelovalno industrijo z visoko dodano vrednostjo. *Adria Mobil* kot eden vodilnih evropskih proizvajalcev avtodomov že več desetletij izstopa po inovativnosti in kakovosti, medtem ko *TPV Automotive* sodi med ključne razvojne dobavitelje avtomobilski industriji, specializirane za visokotehnološke rešitve v segmentu električnih vozil, jeklenih in aluminijastih konstrukcij ter naprednih pametnih tovarniških procesov [1, 2].

Ekskurzijo je vodil predsednik društva izr. prof. Franc Majdič, udeležilo pa se je okoli trideset članov. Kot je poudaril eden izmed udeležencev, je ravno članstvo v društvu tisto, kar omogoča dostop do tovrstnih ogledov – posameznik ali podjetje samostojno do takšnih obratov pogosto skoraj ne more priti. Ta dodana vrednost skupnosti je postala rdeča nit celotnega dneva.

Adria Mobil – od lesnega polizdelka do popolnega avtodoma

Najprej smo se člani SDFT zbrali v avli podjetja *Adria Mobil*, kjer nas je pozdravilo prijazno osebje in nas najprej pospremiло v predavalnico (slika 1). Tam so nam predstavili zgodovino delovanja podjetja, ki že od leta 1965 ustvarja vrhunska počitniška vozila in s svojo dolgoročno prisotnostjo ter inovacijami ohranja izjemno prepoznavnost na evropskem trgu [3]. *Adria Mobil* je ena izmed vodilnih blagovnih znamk v panogi karavaninga. Prejeli so številne evropske nagrade in priznanja (npr. German design award, reddot winner, nemške in britanske nagrade, ...). Podjetje je do sedaj izdelalo in prodalo preko 15.900 enot avtodomov, počitniških prikolic, vanov in mobilnih hišic. Imajo 2.000 zaposlenih, ki delujejo na skupaj skoraj 47.000 m² proizvodnih površin. V 30 državah imajo preko 500 prodajnih mest.

Sledil je podroben ogled proizvodnje. Najprej so si udeleženci ogledali karoserijo avtodoma in osnovne sklope, vključno z motorjem na podvozih, kar je omogočilo vpogled v začetne faze nastajanja teh velikih potovalnih vozil. Pot nas je nato vodila skozi razstavnih hodnik, kjer je predstavljena celotna zgo-



Predstavitve podjetja *Adria Mobil* v njihovi predavalnici

dovina razvoja *Adrie* – od prve prikolice *Adria 375* (leto 1965) do sodobnih, tehnološko izpoljenih modelov *Coral*, *Matrix*, *Sonic* in *Supersonic*.

Zelo zanimiv del ogleda je bil obisk skladišča, kjer so predstavili unikaten sistem internih oznak, s katerim v vsakem trenutku natančno vedo, kateri del sodi kam. Ta digitalizirana sledljivost je ključna pri serijski proizvodnji premičnih bivanjskih enot, ki vsebujejo stotine elementov.

Posebej poučen je bil ogled skladišča lesnih polizdelkov, kjer *Adria* nadzira vlažnost lesa z vlažilci, da prepreči raztezanje in posledične montažne težave. Udeleženci so si nato ogledali tudi prerez stene avtodoma, ki je sestavljena iz plasti pene, zunanje pločevine in notranjih ojačitev za pritrditev opreme. Takšna večplastna konstrukcija izboljšuje izolativnost in mehansko stabilnost vozila, kar je ključno v vseh klimatskih razmerah, s katerimi se avtodomi srečujejo na poti.

Eden izmed vrhuncev obiska je bila predstavitve proizvodnje avtodoma *Sonic* – od osnovne karoserije do končne montaže.

Dr. Nejc Novak, mag., izr. prof. dr. Franc Majdič, univ. dipl. inž., oba Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo

© Avtorji 2026. CC-BY 4.0

Udeleženci so opazovali tudi preizkus tesnosti, ki poteka v posebni komori s pršilci, skozi katere vozilo simulira močan dež. Sledi še končni nadzor kakovosti, ki lahko traja tudi do 24 ur. Pri tem je bilo posebej izpostavljeno, da sta proizvodnja in kakovost popolnoma ločeni organizacijski enoti, kar zagotavlja nepristranskost nadzora.

Zelo zanimiv je tudi robotiziran nanos lepilne mase na okenske okvirje, pri katerem robotska natančnost omogoča ponovljive rezultate, medtem ko delavci ročno izvedejo končno vgradnjo. Člani društva so si ogledali tudi premično montažno linijo prikolic, ki se premika približno 10 metrov na pol ure. Delo poteka neprekinjeno, saj sta vzpostavljeni dve ekipi, med katerima je polurni zamik za malico, s čimer zagotovijo popolni potek dela brez prekinitev.

TPV Automotive – ko se jeklo uči pameti

Člani SDFT smo nadaljevali ogled v bližnji tovarni TPV Automotive (PE Velika Loka), ki je del ene izmed najpomembnejših razvojno-proizvodnih skupin na področju avtomobilskih komponent v Sloveniji. TPV je znan po razvoju aluminijastih struktur, visoko trdnostnih jeklenih delov in komponent za osebna, tovorna in električna vozila, hkrati pa v svoje procese integrira tudi pamente tovarniške tehnologije in napredne merilne sisteme [2].

Direktor podjetja nam je predstavil proizvodnjo, kjer smo si najprej ogledali različne proizvodne celice. Zanimiv je bil ogled avtomatizirane robotske celice za varjenje kovinskih izdelkov, namenjenih avtomobilskim kljukam. Postopek vključuje natančne robotske gibe, stalno spremljanje temperature in kakovosti vara ter beleženje parametrov vsakega izdelanega kosa.

Sledila je predstavitev ene najbolj impresivnih tehnoloških linij v podjetju – popolnoma avtomatizirane linije za varjenje, lasersko triangulacijo, preoblikovanje in sortiranje kovinskih kosov. Ta linija uporablja kombinacijo senzorike, računalniške obdelave podatkov in strojnega vida, s čimer nadzira celoten proces in avtomatsko izloča morebitne odklone. Udeleženci so lahko spremljali tudi nadzorne programe in grafične poglede na merilne parametre, ki jih sistem sproti shranjuje za vsak izdelek posebej.

Zelo zanimiva je bila tudi večstopenjska linija za krivljenje kvadratnih profilov, ki vključuje prebijanje lukenj, lasersko graviranje in končno meritev. Vse faze potekajo avtomatizirano z minimalnimi ročnimi posegi, zato je izkoristek proizvodov izjemno stabilen in zanesljiv.

Ogled se je nadaljeval na oddelku prašnega barvanja (slika 2), kjer so prikazali celoten postopek: razmaščevanje, pripravo površine, nanos prašne barve in utrjevanje. Pri tem je bilo poudarjeno, da so med naročniki nekateri najbolj prepoznavni proizvajalci avtomobilov, ki zahtevajo brezhibno kakovost.

Člani SDFT smo si ogledali še skladiščne prostore, kjer logistika igra ključno vlogo za pravočasno dobavo komponent, ter laboratorij za merjenje kakovosti, kjer preverjajo ustreznost geometrije, trdnosti in površinske zaščite.



Ogled proizvodnje TPV Automotive v Veliki Loki

Ogled podjetja TPV Automotive v Veliki Loki se je zaključil z zahvalo gostiteljem in sproščenim pogovorom z direktorjem in odgovorno osebo za korporativno komuniciranje in marketing.

Slovensko društvo za fluidno tehniko je druženje zaključilo v kavarni, kjer je izvedlo še svoj občni zbor.

Sklepna misel

Strokovna ekskurzija v Adria Mobil in TPV Automotive je članom društva SDFT ponudila celovit vpogled v dve izmed najuspešnejših in tehnološko najnaprednejših proizvodnih panog v Sloveniji. Od robotike in napredne avtomatizacije do inteligentnih logističnih sistemov in neodvisnih shem kakovosti – obe podjetji dokazujeta, da lahko slovenska industrija odlično konkurira na globalni ravni.

Za člane društva pa je bila izkušnja dragocena tudi s povsem človeškega vidika: kot je poudaril eden od udeležencev, prav skupnost društva omogoča dostop do znanja in izkušenj, ki jih posameznik sam težko pridobi. To je tudi bistvo strokovnih ekskurzij – povezovanje, razumevanje tehnologij v praksi in širjenje strokovnih obzorij.

V imenu Slovenskega društva za fluidno tehniko se avtorja iskreno zahvaljujema za gostoljubnost podjetju Adria Mobil iz Novega mesta in TPV Automotive iz Velike Loke! Vsem želimo veliko nadaljnjih uspehov!

Viri

- [1] Caravan: Caravan center Ljubljana, zadnjič ogledano: 20. 03. 2026, vir: caravan.si.
- [2] CompanyWall: Največja baza poslovnih podatkov v Sloveniji, zadnjič ogledano 20. 03. 2026, vir: companywall.si.
- [3] Adria Mobil: Življenje polno odkritij, zadnjič ogledano 20. 03. 2026, vir: adria-mobil.com.

Nova raziskovalna oprema za prebojne raziskave – 3. del

Helena Grahek

V nadaljevanju predstavljamo najnovejše posodobitve raziskovalne infrastrukture na Fakulteti za strojništvo UL, ki pomembno širijo možnosti eksperimentalnega dela in podatkovno podprtih raziskav. Nove pridobitve nadgrajujejo obstoječo infrastrukturo ter omogočajo natančnejše meritve, naprednejšo analitiko in zanesljivejše preverjanje raziskovalnih modelov. Izpostavljamo ključne novosti v laboratorijih, ki dodatno utrjujejo raziskovalno odličnost fakultete in podpirajo razvoj naprednih inženirskih rešitev.

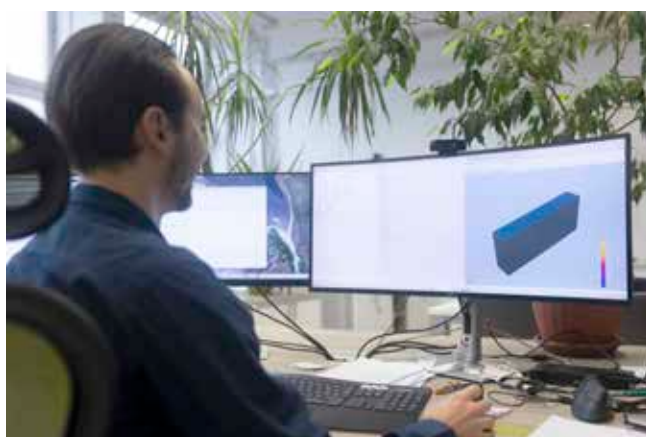
Thermo-Calc: nova programska oprema za hitrejši razvoj jekel in aluminijevih zlitin

Laboratorij za dinamiko fluidov in termodinamiko (LFDT) je raziskovalno infrastrukturo nadgradil z novo programsko opremo Thermo-Calc. Gre za eno vodilnih orodij za računalniško modeliranje snovnih lastnosti in strukture vsečestavinskih kovinskih materialov, s katerim lahko raziskovalci natančno napovedujejo, kako se, na primer, jekla in aluminijeve zlitine obnašajo med izdelavo in predelavo. Orodje, poleg programa JMatPro, ki je že na voljo v LFDT, predstavlja enega bistvenih elementov za informatizacijo metalurških procesov.

Thermo-Calc omogoča izdelavo faznih diagramov in izračune sestave faz poljubno kompleksnih kovinskih materialov. Poleg ravnovesnih izračunov podpira tudi neravnovesne scenarije, ki so bližje realnim proizvodnim razmeram, na primer pri različnih načinih ulivanja. Tako je mogoče izračunati temperaturo strjevanja, širino strjevalnega območja ter pojave, kot so mikroizcejanje ali povečana nagnjenost k napakam pri vročem preoblikovanju.

Poleg tega programska oprema omogoča izračun številnih lastnosti, ki so pomembne za razvoj novih materialov in načrtovanje procesov – na primer entalpije, gostote, toplotne prevodnosti ter tudi nekaterih mehanskih in elastičnih lastnosti, kot sta trdota in Youngov modul. Modul DICTRA omogoča simulacije difuzijskih procesov (npr. prenos elementov v fazah in med fazami), kar je ključno pri razumevanju mikrostrukturnih sprememb. Razvojni vmesnik SDK TQ-Interface omogoča povezovanje baz podatkov Thermo-Calc z lastno razvito programsko kodo, ki temelji na naprednih numeričnih metodah in je namenjena modeliranju celotne procesne poti izdelave aluminijevih zlitin in jekel.

Oprema se uporablja za poglobljeno razumevanje obnašanja kovinskih materialov, za izračun snovnih lastnosti ter za razla-



Thermo-Calc: nova programska oprema za hitrejši razvoj jekel in aluminijevih zlitin (Foto: Laboratorij LFDT)

go eksperimentalnih rezultatov. Posebej uporabna je za simulacijo procesov, kot so različni tipi ulivanja, vročega in hladnega valjanja in toplotne obdelave. To omogoča napovedovanje razvoja mikrostrukture med različnimi procesnimi koraki in s tem povezanih snovnih lastnosti končnih izdelkov ter pri razvoju novih visokokvalitetnih izdelkov.

Thermo-Calc je na voljo vsem raziskovalnim skupinam na UL FS, največ pa se uporablja v LFDT pri projektih za slovensko in globalno metalurško industrijo. Program predstavlja pomembno osnovo za prihodnje raziskave in razvoj, kjer napredno numerično modeliranje materialov in procesov postaja vse pomembnejše.

Orodje bomo uporabili tudi v pedagoškem procesu. Študenti lahko pri projektnih nalogah z brezplačno demo različico spoznajo moderne pristope k simulacijam snovnih lastnosti zlitin in njihovih sprememb med termomehanskim procesiranjem, s čimer se raziskovalno znanje neposredno prenaša v izobraževanje.

Simulacije napovedi obnašanja zlitin med termomehanskim procesiranjem pomenijo manj ugibanja pri načrtovanju procesov ter orodje za razvoj novih materialov in procesov. Posebno obetavno področje raziskav, ki ga omogoča kombinacija programa Thermo-Calc z lastnimi simulacijami strjevanja, je av-

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

© Avtorji 2026. CC-BY 4.0

tomatska optimizacija procesnih parametrov ter avtomatsko iskanje novih zlitin s specifičnimi lastnostmi.



Simulirano lunarno preizkuševališče START (Foto: Laboratorij LAMPA)

Simulirano lunarno okolje za testiranje avtonomnih robotskih vozil (START)

Raziskovanje delovanja robotov v lunarnem okolju je v Laboratoriju za mehatroniko, proizvodne sisteme in avtomatizacijo (LAMPA) podprto z namenskim preizkuševališčem START, ki omogoča preizkušanje avtonomnih mobilnih robotov in večrobotovskih sistemov v realističnih simuliranih razmerah, primerljivih s tistimi na Luni.

Jedro sistema je zaprto preizkuševališče s simulantom finega lunarnega peska, izdelanim iz primarno mletega bazalta. Po mehanskih lastnostih in granulaciji je material primerljiv tistemu, ki se uporablja na preizkuševališču LUNA Evropske vesoljske agencije in DLR v Kölnu. Na razgibanem peščenem terenu je mogoče preizkušati robote manjših dimenzij (do približno 50 cm širine) pri naklonih do 30°, na progi širine 75 cm in dolžine 1,5 m.



a) Baterijska ciklerja Arbin RBT in LBT za natančne, ponovljive in digitalno sledljive teste delovanja, staranja in diagnostike baterijskih celic (Foto: Laboratorij LICeM); b) Večconska temperaturna komora MZTC z osmimi neodvisnimi predali za sočasno testiranje baterijskih celic pri različnih temperaturah (Foto: Laboratorij LICeM)

Za natančno spremljanje gibanja je v preizkuševališče vgrajen optični sledilni sistem OptiTrack z 12 kamerami Prime X13, ki omogoča zajem lege s frekvenco do 240 meritev na sekundo in s podmilimetrsko natančnostjo. Tako je mogoče izvajati ponovljive in primerljive meritve mobilnosti, zdrsov in stabilnosti ter razvijati in validirati algoritme za avtonomno delovanje in sodelovanje več robotov, kjer je natančna koordinacija celotne flote ključnega pomena.

Infrastruktura START podpira raziskave na področjih teramehanike, mobilnosti malih robotov in večrobotovskih sodelovalnih sistemov. Hkrati pomembno dopolnjuje pedagoški proces, saj študenti opremo uporabljajo pri diplomskih in magistrskih nalogah ter tako pridobivajo neposredne izkušnje z vrhunsko eksperimentalno infrastrukturo in realnimi raziskovalnimi izzivi.

Oprema je vključena v delo raziskovalne skupine P2 0270 zlasti v okviru projekta RMAP, kjer skupaj z mednarodnimi partnerji razvijamo programske sisteme za lunarna mikroroverja. Preizkuševališče obenem predstavlja pomembno izhodišče za prihodnje projekte v okviru Evropske vesoljske agencije (ESA) ter krepi vpetost fakultete v evropski vesoljski raziskovalni prostor.

S to infrastrukturo se Fakulteta za strojništvo UL uveljavlja kot ena ključnih raziskovalnih ustanov za razvoj vesoljske robotike v regiji. START ni le laboratorijska oprema, temveč strateška platforma za raziskave, izobraževanje in sodelovanje v programih, kjer bodo avtonomni roboti igrali osrednjo vlogo.

Digitalni vpogled v srce baterij

V Laboratoriju za motorje z notranjim zgorevanjem in elektromobilnost LICeM smo raziskovalno infrastrukturo nadgradili s celovitim sistemom za preizkušanje in karakterizacijo baterijskih celic proizvajalca Arbin Instruments. Sistem združuje dva baterijska ciklerja (RBT in LBT) in večconsko temperaturno komoro ter omogoča ponovljive, primerljive in digitalno sledljive meritve – od osnovnega določanja kapacitete do naprednih testov staranja in diagnostike.

Arbinova ciklerja omogočata natančno polnjenje in praznjenje baterijskih celic različnih kemij (Li ion, LFP, Na ion, NiMH



...) ter izvajanje dinamičnih obremenitvenih profilov, ki posnemajo realne obratovalne razmere. Cikler RBT je namenjen visokim tokom (do 100 A) in je posebej primeren za validacijo celic za vozila in visokoenergijske aplikacije, medtem ko LBT s številnimi kanali in visoko ločljivostjo omogoča zelo občutljivo spremljanje sprememb pri nizkih tokovih. Sistem omogoča hiter zajem podatkov (do 2000 Hz) in njihovo shranjevanje v SQL podatkovno bazo, kar podpira razvoj napredne diagnostike, prognostike in opazovalcev stanja baterij.

Ključni del sistema je veččonska temperaturna komora MZTC z osmimi hermetično ločenimi, temperaturno neodvisnimi predali. Ta omogoča sočasno izvajanje testov pri različnih temperaturah (približno od $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$) brez medsebojnega vpliva med celicami, kar bistveno pospeši parametrične študije vpliva temperature na delovanje, staranje in varnost baterij. Komora je izdelana iz nerjavnega jekla in vključuje varnostne elemente za obvladovanje tveganj pri testiranju.

Nova oprema predstavlja pomemben del raziskovalne infrastrukture UL FS v mednarodnih projektih, kot so HiVEP, FASTEST, InnoBMS, NEXTBMS, NEXTCELL in drugi. V projektu HiVEP je sistem ključen za elektrokemijsko karakterizacijo celic in razvoj modelov za napredna virtualna zaznavala. Širše omogoča razvoj digitalnih dvojčkov baterijskih sistemov, modelno prediktivnega vodenja in povezovanje s HiL-okolji.

Visoka merilna natančnost, možnost meritev pri več temperaturah, regenerativno praznjenje in kakovostna podatkovna podpora postavljajo LICeM ob bok primerljivim evropskim laboratorijem ter omogočajo hitrejši prenos raziskovalnih spoznanj v prakso. Oprema bo postopno vključena tudi v pedagoški proces, kar bo študentom omogočilo neposreden stik z industrijsko relevantnimi metodami testiranja baterijskih sistemov.

Toplota pod drobnogledom: nova oprema za učinkovitejše hlajenje in ogrevanje

V Laboratoriju za hlajenje in daljinsko energetiko (LAHDE) smo raziskovalno infrastrukturo nadgradili s sistemom za karakterizacijo mikro toplotnih procesov, ki povezuje natančne meritve toplotnih lastnosti materialov in mikroskopsko analizo površin. Sistem sestavljajo merilnik toplotne prevodnosti Thermtest THW-L1 (metoda prehodne vroče žice), kodirani raziskovalni mikroskop ZEISS AxioScope 5 in stereomikroskop ZEISS Stemi 305 na Boom stavivu. Skupaj omogočajo celovit vpogled v prenos toplote – od lastnosti tekočin, past in fazno-spremembnih materialov (PCM) do mikrostrukture, površin in kontaktov, kjer v realnih napravah pogosto nastanejo največje izgube.

Merilnik Thermtest THW-L1 je namenjen toplotni karakterizaciji tekočin, PCM-materialov, past in prahov. Določa toplotno prevodnost, toplotno difuzivnost in specifično toploto ter sledi standardu ASTM D7896-19. Njegova glavna prednost je hitrost merjenja, saj se preizkus izvede v približno eni sekundi, kar zmanjšuje vpliv konvekcije in poveča zanesljivost rezultatov. Instrument deluje v temperaturnem območju od -40 do $200\text{ }^{\circ}\text{C}$, meri tudi pri tlakih do 20 bar in zahteva majhen volu-



Sistem za karakterizacijo mikro toplotnih procesov: Thermtest THW-L1 ter mikroskopa ZEISS AxioScope 5 in ZEISS Stemi 305 (Foto: laboratorij LAHDE)

men vzorca (okoli 20 mL). Tako je primeren tudi za razvojne materiale, kjer so količine omejene, pridobljeni podatki pa so neposredno uporabni pri pripravi numeričnih modelov, njihovi eksperimentalni validaciji in razvoju prototipov.

Mikroskopski del sistema dopolnjuje meritve z natančnim vpogledom v površine in strukture, ki odločilno vplivajo na prenos toplote. ZEISS AxioScope 5 omogoča opazovanje in dokumentiranje vzorcev v odbiti svetlobi (svetlo in temno polje) ter z uporabo polarizacije in dodatnih kontrastnih tehnik. Kodirane komponente in programske okolje ZEN omogočajo ponovljivo pozicioniranje ter združevanje več posnetkov v eno visokoločljivostno sliko, kar je zelo uporabno pri primerjavah stanja materialov pred in po termičnih obremenitvah ter pri razlagi povezave med mikrostrukturno in toplotnim obnašanjem. ZEISS Stemi 305 omogoča hiter stereopregled pri manjših povečavah; polarizirana osvetlitev zmanjšuje odbleske na odbojnih površinah, 4K-kamera pa olajša dokumentiranje in prikaz slike ali videa v živo. To je posebej koristno pri pregledu prototipov, pripravi vzorcev ter preverjanju finih kontaktov, kjer kakovost stika močno vpliva na zanesljivost meritev in učinkovitost prenosa toplote.

Nova oprema podpira raziskave in razvoj na področjih alternativnih tehnologij hlajenja in toplotnih črpalk (kalorične in napredne termoelektrične tehnologije), razvoja elementov za toplotno upravljanje (npr. toplotna stikala, diode, regulatorji), mikro parnokompresijskih sistemov ter hlajenja mikro- in močnostne elektronike. Sistem se uporablja v več projektih, med drugim ARIS J2-60048, Heat4Energy (Horizon), Greentech

(NextGenerationEU), DIODIFY (bilateralni projekt Slovenija-Francija) in Cool BatMan (M-ERA.NET). Kot konkreten primer v projektu Greentech preiskujemo uporabo PCM-materialov v gospodinjskem hladilniku: z merilnikom eksperimentalno določimo njihove realne toplotne lastnosti, nato pa jih vključimo v numerične modele, s čimer povečamo točnost simulacij in izboljšamo osnovo za optimizacijo zasnove prototipov.

Oprema ima pomembno vlogo tudi v pedagoškem procesu. Merilnik ThermoTest THW-L1 se uporablja za prikaz metode prehodne vroče žice študentom, mikroskopa pa sta uporabna pri laboratorijskih demonstracijah in praktičnih vajah, kjer študenti poleg teorije spoznajo še realne materialne in geometrijske dejavnike prenosa toplote. Z notranjim dostopom do napredne metrologije in mikroskopskega vpogleda v površinske strukture fakulteta krepi možnost izvajanja ambicioznejših raziskav, hitrejše validacije numeričnih modelov ter razvoja in preverjanja prototipov v dobro nadzorovanih pogojih. To izboljšuje ponovljivost in verodostojnost rezultatov, skrajšuje razvojne cikle ter krepi sodelovanje z industrijo in mednarodnimi partnerji.

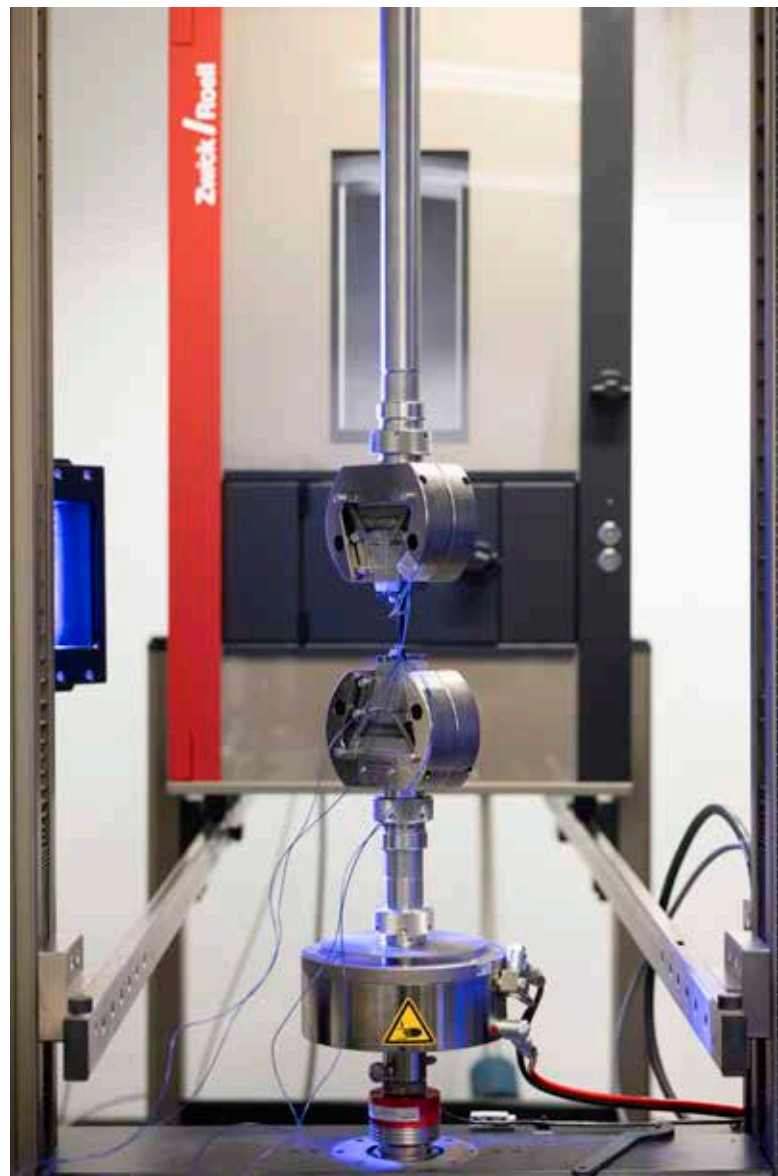
Napredni sistem za testiranje pametnih materialov in kompozitov

V okviru posodobitve raziskovalne infrastrukture je Laboratorij za eksperimentalno mehaniko (LEM), ki deluje v okviru Katedre za mehaniko trdnin in reologijo materialov (KM-TRM), pridobil napredni modularni in integrativni merilni sistem za multifunkcijsko analizo pametnih materialov in njihovih kompozitov. Pametni materiali so ključni za inovacije in razvoj naprednih tehnologij, saj z dodatki ali polnili omogočajo prilagajanje funkcionalnih lastnosti glede na končne zahteve.

Univerzalno preizkuševališče omogoča celovito vrednotenje materialov, ki lahko vključujejo osnovne funkcionalnosti (npr. ojačitev, termokemično stabilnost, električno prevodnost) ali napredne lastnosti (npr. piezo- in termoobčutljivost, biomimetičnost, samoobnovljivost) ter druge funkcijske potenciale. To odpira možnosti za prebojne rešitve na področjih transporta, elektronike, medicine in drugih sektorjev. Sistem je hkrati usklajen z aktualnimi raziskovalnimi usmeritvami in prednostnimi nalogami ter relevantnimi politikami v EU in širše.

Z mehanskega vidika sistem omogoča meritve sil v območju od 100 N do 10 kN z 0,1 % natančnostjo nazivnih vrednosti. V sklop opreme sodi tudi brezkontaktni videoekstenziometer, ki z uporabo laserske interferometrije in digitalne korelacije slik omogoča natančno merjenje pomikov in deformacij s submikronsko natančnostjo (0,1 μm). Takšna videoanaliza omogoča tudi vrednotenje samocelitve biomimetičnih materialov.

Okoljske pogoje zagotavlja sklopljena temperaturna komora, ki omogoča meritve v širokem temperaturnem območju od -80 do 360 °C z natančnostjo 0,1 °C. Nanjo je mogoče priključiti tudi generator vlage, ki omogoča nadzor relativne vlažnosti od 0 do 100 % RH z natančnostjo 0,1 % RH. Za



Napredni sistem za testiranje pametnih materialov in kompozitov (Foto: Laboratorij LEM)

vrednotenje funkcionalnosti pametnih materialov so ključne tudi sklopljene elektronske komponente (elektrometer, LCR-meter in druge), ki omogočajo fizikalno karakterizacijo električne prevodnosti, piezoelektričnih in termoobčutljivih lastnosti, elektromagnetne zaščite ter drugih funkcionalnih lastnosti materialov.

Pridobljena oprema predstavlja pomembno orodje tudi v pedagoškem procesu, saj v okviru laboratorijskih vaj omogoča celovito karakterizacijo in analizo različnih naprednih materialov. Poleg tega nudi vrhunsko podporo pri doseganju ciljev v nacionalnih in mednarodnih projektih ter pri sodelovanju s strateškimi industrijskimi partnerji (BSH, Hella, Danfoss, Krka, Lek ...) in domačimi ter tujimi raziskovalnimi institucijami (Inštitut Jožef Stefan, Kemijski inštitut, Luksemburški inštitut za znanost in tehnologijo, Leibnizov inštitut za nove materiale ...).

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



Sedež podjetja Otto Ganter GmbH & Co. KG, Furtwangen, Nemčija

V osrčju proizvodnje standardiziranih in normiranih delov: Pogled v zakulisje Otto Ganter GmbH & Co. KG

Elesa+Ganter je vodilno mednarodno skupno prodajno podjetje, ki združuje dva strokovnjaka na področju standardiziranih in normiranih delov: podjetje Elesa iz Italije, znano po svojem strokovnem znanju na področju visokokakovostnih plastičnih komponent, in podjetje Ganter iz Nemčije, družinsko vodeno tradicionalno podjetje na področju preciznih standardiziranih delov. Skupaj imata eno največjih in najboljšejših ponudb standardiziranih in normiranih delov, kar je zvesto njihovemu sloganu: »Dve podjetji. En svet standardiziranih elementov.«

Podjetje Elesa+Ganter podpira stranke preko svetovne mreže podružnic in distribucijskih partnerjev z izkušnjami, ki jih prinašajo več kot 50 let vodilnega položaja na trgu, nad 1100 sodelavcev po vsem svetu in več kot 100.000 standardiziranih delov na zalogi. Tesno sodelovanje s sedežema podjetja v Italiji in Nemčiji zagotavlja vrhunsko tehnično svetovanje in hitro

dostavo. Elesa+Ganter ima hčerinske družbe v Avstriji, Španiji, Indiji, Poljski, Kitajski, Turčiji, na Nizozemskem in Češkem.

Mesto Furtwangen leži v osrčju Schwarzwalda, v regiji, znani po rokodelskih mojstrovinah in mehanski preciznosti. Ta idilična regija, obdana z gozdovi in hribi, ima dolgo tradicijo v

tehnologiji in proizvodnji. Konec 19. stoletja je eden od pionirjev na tem področju – po imenu Otto Ganter – prav tam ustanovil majhno delavnico za strojne dele. To je postavilo temelje za podjetje, katerega izdelki se danes prodajajo in uporabljajo po vsem svetu.

Skozi svojo zgodovino si je podjetje Ganter ustvarilo ime predvsem s precizno izdelanimi zaskočnimi sorniki, majhnimi mehanskimi komponentami, ki se uporabljajo za zaklepanje in pritrjevanje gibljivih delov. Poleg tega podjetje izdeluje standardizirane dele za ročno upravljanje, kot so ročaji, pritiski vijaki, vpenjalne in napenjalne ročice ter stikalni elementi. Ti normirani deli predstavljajo jedro palete izdelkov podjetja Ganter in se prodajajo pod imenom »Ganter Norm«, kar pomeni normirane dele za strojno industrijo najvišje kakovosti.

Standardizirani in normirani deli podjetja Elesa+Ganter so bistveni za tehnike in konstruktorje in se uporabljajo v številnih panogah – od strojništva, avtomatizacije in elektronike do medicinskih pripomočkov, embalaže, proizvodnje hrane in farmacevtskih izdelkov ter mnogih drugih področij.



Krogelne ročice GN 10

Pri podjetju Elesa+Ganter gre tehnično znanje z roko v roki s sodobnimi tehnologijami in proizvodnimi metodami. Podjetje nenehno širi svojo ponudbo izdelkov, medtem ko izdelke le zelo redko umika iz asortimana. To strankam daje

zagotovilo, da je mogoče tudi komponente z izjemno dolgo življenjsko dobo preprosto zamenjati po mnogih letih. Posebej nazoren primer: prvi katalog podjetja Ganter je bil izdan leta 1912. V njem je bila krogelna ročica GN 10. Ta normirani del je še danes v prodaji, le z manjšimi vizualnimi spremembami.

Od široke palete do visokozmogljivih rešitev

Sčasoma se je podjetje Ganter s sodelovanjem z italijanskim podjetjem Elesa razvilo v enega vodilnih svetovnih dobaviteljev standardiziranih in normiranih delov z več kot 100.000 izdelki v svoji ponudbi za strojogradnjo in številne druge industrijske aplikacije. Te komponente so na voljo v izvedbah iz različnega materiala, da izpolnjujejo vse tehnične zahteve: od tradicionalnega jekla in aluminija do nerjavečega jekla, odpornega proti koroziji, in visokozmogljivih umetnih mas. Portfelj podjetja Elesa+Ganter je razdeljen na 23 skupin izdelkov in 14 linij izdelkov High Performing. Linije izdelkov High Performing ponujajo posebne rešitve, kot so INOX (plemenito jeklo), Hygienic Design, rešitve, kot so INOX (nerjaveče jeklo), higienska zasnova, supertehnopolimer, ESD kompatibilni elementi in eksplozijsko varne komponente za zaščito pred vžigom.

Normirani deli podjetja Elesa+Ganter se uporabljajo v praktično vseh panogah – od strojogradnje in avtomatizacije do živilske in medicinske tehnologije ter še veliko več. Z več kot 130 patenti in več kot 128 mednarodnimi nagradami za oblikovanje je podjetje Elesa+Ganter vedno znova dokazalo, da je vodilno na področju inovacij na svojem področju. Normirane

dele še posebej cenijo proizvajalci investicijskega blaga, strojev in proizvodnih obratov. Zahvaljujoč mednarodnim standardom je večina komponent modularnih in jih je zato mogoče enostavno integrirati v obstoječe konstrukcije.

Pomembna inovacija je zaskočni sornik: normirani del, ki ga je razvilo podjetje Ganter in omogoča preprosto in natančno blokiranje premičnih delov v položaju. Zaskočni sornik je sestavljen iz vzmeti in zaskočnega zatiča, ki se premakne v izvrtino ali zarezo takoj, ko spustite gumb. To zagotavlja zanesljivo in ponovljivo pritrditev delov.

Trenutni tiskani katalog obsega več kot 2000 strani in se nenehno posodablja. Vzporedno s tem se Elesa+Ganter močno osredotoča na digitalne storitve: spletno mesto ponuja brezplačne visokokakovostne 2D- in 3D-CAD-podatke. Sodobne spletne trgovine ponujajo intuitivno izbiro izdelkov, priročne načine plačila in storitve, specifične za posamezne države.

Furtwangen: osrčje inovacij in proizvodnje

Sedež podjetja Ganter v Furtwangu v Nemčiji je bil vedno srce podjetja. Prav tako bo ostalo osrednje središče za razvoj, proizvodnjo in logistiko. Glavni obrat se razprostira na površini 25.000 m² in igra pomembno vlogo pri zagotavljanju razpoložljivosti normiranih delov po vsem svetu.

Obrat združuje dva pomembna temelja: visoko avtomatiziran logistični center in najsodobnejše proizvodne obrate. Vsak dan se iz Furtwangena pošlje več kot 1000 paketov strankam po vsem svetu. Na strani proizvodnje ima podjetje Ganter zelo močan strojni park, ki obsega več kot 200 sistemov in strojev, 30 robotov in približno 50 kratkih in dolgih stružnic na vseh lokacijah. Vse to omogoča učinkovito in prilagodljivo proizvodnjo normiranih delov, ki jih je mogoče hitro razposlati po vsem svetu, kjerkoli jih potrebujejo.

Z rastjo podjetja se je znatno povečalo tudi število zaposlenih v Furtwangu. Podjetje Ganter trenutno zaposluje 550 ljudi. Poleg glavne tovarne je tudi druga proizvodna lokacija v Rheinhausenu blizu Freiburga. Sedež podjetja v Furtwangu je in bo ostal srce razvoja in proizvodnje. Je sedež podjetja in rojstni kraj vseh inovacij.

V proizvodnem procesu

»Videli bomo različne dele proizvodnega procesa – od surovin do končnega izdelka,« pove Alexander Kellner, vodja ekipe za mednarodno prodajo, na začetku ogleda sedeža podjetja Ganter. In prav ima. Začnemo s skladiščem, kjer se surovine skladiščijo, preden se nadalje predelajo. Surovine se razrežejo na ustrezne velikosti, nato pa gredo skozi različne korake obdelave: skozi avtomatizirane preše in robotske podajalnike, tako da se postopoma ustvari normirani del.

Od tam gremo mimo logističnih in montažnih območij, kjer manjše serije še vedno sestavljajo ročno, medtem ko so velika naročila popolnoma avtomatizirana. Končna faza proizvodnje je površinska obdelava. V velikem obratu za prašno barvanje se površinski premazi nanašajo v skladu s specifikacijami



Sodobna proizvodnja in logistika

strank. Čeprav je tehnično mogoča široka paleta barv, ostaja črna daleč najbolj priljubljena barva. Številnim komponentam daje njihov značilni videz, še preden so zapakirane in odposlane.

V podjetju Ganter proizvodnja združuje sodobno avtomatizacijo s specializiranim ročnim delom. Majhna naročila z nekaj ducati kosov so običajno montirana ročno. Velike količine se proizvajajo popolnoma avtomatsko. To vključuje vse korake proizvodnje in montaže. Zahvaljujoč naprednim tehnologijam je mogoče ekonomično proizvajati tudi majhne proizvodne serije.

Če standardna rešitev ne ustreza zahtevam stranke, Eles+Ganter ponuja rešitve po meri. To vključuje posebne oblike, velikosti, navoje, barve, površine in tudi blagovno znamko z logotipom stranke. Mogoče je izdelati tudi normirane dele po meri, izdelane na podlagi tehničnih risb stranke, ki so običajno prav tako stroškovno učinkoviti. To stranki omogoča popolno fleksibilnost in zanesljivo dobavo potrebnih delov.

Prihodnja rast – trajnostna in regionalna

Podjetje Ganter nenehno posodablja svoje obrate. To sega od širitve proizvodnih in skladiščnih zmogljivosti do vlaganja v hitrejše in učinkovitejše tehnologije ter rasti tako v lokalnem kot v globalnem smislu. Stavbe podjetja v Furtwangenu so bile že večkrat razširjene, da bi zadostile naraščajočemu povpraševanju. In še vedno je prostor za rast. Območje okoli doline še vedno ponuja številne možnosti za prihodnjo širitev.

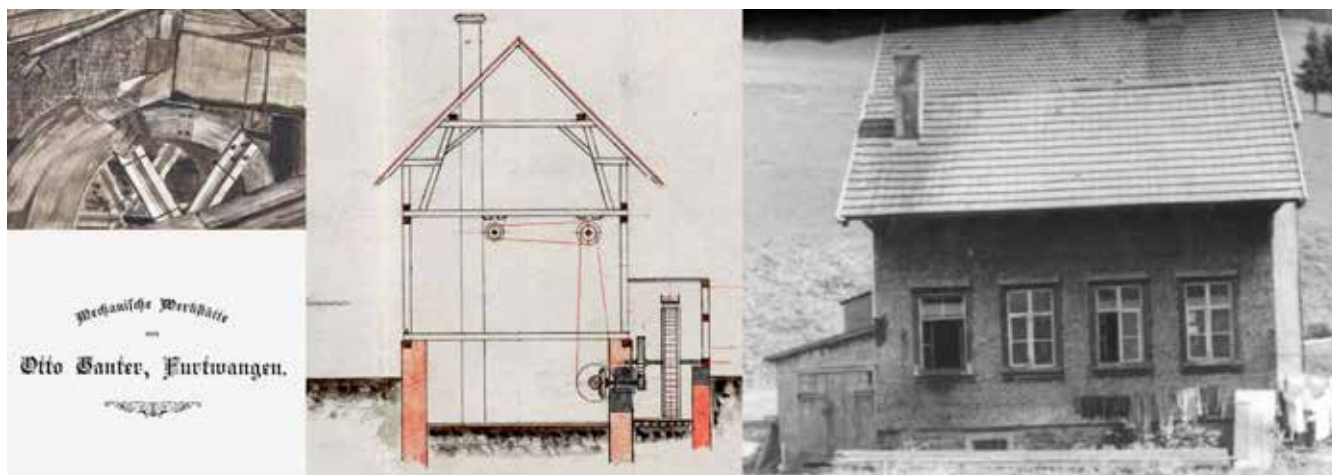
Vendar podjetje Ganter ne vlaga le v stavbe in stroje. Podjetje prevzema odgovornost tudi za svoje zaposlene. »Čeprav je bilo v zadnjih letih vse več avtomatizacije, še noben zaposleni ni izgubil službe,« pravi Axel Weber, vodja trženja na lokaciji. »Vedno smo našli načine, kako znanje in kvalifikacije uporabiti na drugih področjih.«

Tesne vezi podjetja Ganter z regijo so razvidne tudi v tem, kako podjetje spodbuja in podpira zaposlene in mlade talente. Podjetje Ganter ima v Furtwangenu lasten center za usposabljanje in izobraževanje vajencev in mladih tehnikov. Ena najstarejših proizvodnih hal je bila preurejena v sodoben center za praktično usposabljanje in interno dodatno izobraževanje. Z aktivnim usposabljanjem novih strokovnjakov Ganter pomaga pri odpravljanju regionalnega pomanjkanja strokovnjakov in hkrati zagotavlja lastno prihodnost.

Poslovni model za dolgoročno stabilnost

Poslovni model podjetja Ganter temelji na štirih močnih stebrih: na nenehnem razvoju izdelkov, lastni proizvodnji, neposredni prodaji in celoviti storitvi za stranke. Ta pristop podjetju omogoča popoln nadzor nad kakovostjo in razpoložljivostjo izdelkov. Prav tako zagotavlja fleksibilnost in omogoča podjetju Ganter hitro odzivanje na spreminjajoče se tržne razmere. Ker se normirani deli uporabljajo v številnih različnih panogah, podjetje Ganter ostaja stabilno in odporno tudi v času gospodarske negotovosti.

Normirani deli igrajo pomembno vlogo v strojogradnji in strojništvu. Njihova visoka stopnja standardizacije omogoča upo-



Zgodovina podjetja Ganter

rabo v različnih aplikacijah, praktično neomejena življenjska doba pa zagotavlja dolgoročno razpoložljivost. Zaradi velikih proizvodnih količin lahko Elesa+Ganter te komponente ponudi po konkurenčnih cenah. To podpirajo velike zaloge, hitri dobavni roki in vedno enako visoka kakovost.

Mejniki v zgodovini podjetja Ganter

1894 – Otto Ganter ustanovi tovarno standardnih delov Otto Ganter v Furtwangenu. V tem času je bilo mesto središče urarske industrije in finomehanike – idealno okolje za ustanovitev podjetja za normirane dele.

1912 – Objavljen je prvi katalog standardiziranih delov, znan pod imenom »Ganterjev standard«, ki je postavil temelj standardiziranih normiranih delov – in to pet let pred uvedbo nemškega standarda DIN.

1971 – Sklenjeno je strateško partnerstvo z italijanskim podjetjem Elesa (Monza). Medtem ko se Ganter specializira za kovinske dele, Elesa prispeva svoje strokovno znanje na področju normiranih delov iz plastike. Tako je nastala paleta izdelkov, ki

se medsebojno dopolnjujejo.

1977 – Ponudba izdelkov se razširi z vključitvijo plastičnih delov podjetja Elesa.

2002 – Ustanovljeno je bilo podjetje Elesa+Ganter Austria GmbH kot prva skupna hčerinska družba.

2015 – Na lokaciji Furtwangen je bilo odprto novo avtomatizirano visokoregalno skladišče za povečanje logistične zmogljivosti in učinkovitosti.

2021 – V Furtwangenu je zgrajena sodobna proizvodna hala, s čimer so se proizvodne zmogljivosti še povečale.

Danes – Ganter, družinsko podjetje v rokah že četrte generacije, se je razvilo v enega vodilnih svetovnih dobaviteljev standardnih delov za stroje in obrate. Tako nadaljuje 125-letno tradicijo. Podjetje ima 15 podružnic in oskrbuje stranke v več kot 70 državah preko močne globalne prodajne mreže.

<https://www.elesa-ganter.si/sl/svn>

© Avtorji 2026. CC-BY 4.0

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



Pogled v popolnoma avtomatizirano skladišče polizdelkov podjetja Elesa

ELESA+GANTER je globalno tržno podjetje, ki sta ga ustanovili podjetji Elesa S. p. A. (Monza, Milano, Italija) in Otto Ganter GmbH & Co. KG (Furtwangen, Nemčija).



Že več kot 50 let podjetji tesno sodelujeta in združujeta svoje strokovno znanje, da bi ustvarili sinergije ter razvili najboljše paleto standardiziranih delov na svetu. Te odlikujejo predvsem zanesljivost, odlično delovanje in prepoznavna zasnova.

ELESA+GANTER je sinonim za kakovost, inovacije in storitve.

Elesa, italijansko matično podjetje

Tehnološke inovacije so bile vedno gonilna sila rasti podjetja Elesa. Ta neprekinjen proces že dolgo krepi učinkovitost, kakovost in produktivnost proizvodnih procesov podjetja. Poleg močnih proizvodnih zmogljivosti je Elesa investirala tudi v inovativno logistiko, da bi še izboljšala svojo ponudbo storitev. Z najnovejšo nadgradnjo podjetje stopa še korak dlje: svoj proizvodni obrat v Monzi širi z drugim avtomatiziranim skladiščem, ki strankam omogoča še hitrejšo, natančnejšo in bolj prilagodljivo oskrbo.

Naložba v prihodnost: novo avtomatizirano skladišče za polizdelke

Novo avtomatizirano skladišče, ki že nekaj mesecev deluje na sedežu podjetja v Monzi, predstavlja osrednji del Elesinega logističnega sistema. Z velikimi dimenzijami (9,5 metra širine, 7 metrov višine in 70 metrov dolžine) ter začetno skladiščno zmogljivostjo 29.000 vsebnikov, ki jo je mogoče razširiti na do 43.000, je bil objekt zasnovan tako, da zadosti naraščajočemu povpraševanju in absorbira proizvodne konice.

Objekt je opremljen z najsodobnejšo tehnologijo, sistem pa zagotavlja optimiziran nadzor nad pretokom materiala, popol-

noma prilagojen montažnemu oddelku. Komponente se izberejo, sestavijo v komplete in dostavijo neposredno na delovna mesta. To zagotavlja neprekinjeno delovanje in povečuje učinkovitost proizvodnje.

Avtomatizacija in varnost v službi kakovosti

Obrat je popolnoma avtomatiziran in opremljen s tremi komisionirnimi postajami (razširljivimi na štiri) ter šestimi posebnimi sortirnimi stroji, ki oskrbujejo linije za dodelavo. Ta zelo napredna avtomatizacija preprečuje človeške napake in zagotavlja visoko natančnost pri upravljanju zalog in postopkih komisiranja. Ti potekajo na ergonomskih in varnih delovnih mestih.

Poseben poudarek je namenjen tudi protipožarni zaščiti. Skladišče je opremljeno s sistemom za zaznavanje dima in avtomatskim sistemom za gašenje požarov. Skupaj zagotavljata maksimalno varnost za zaposlene in shranjeno blago.

Hitrejša in bolj prilagojena storitev za stranke

Ta naložba, ki dopolnjuje avtomatizirano skladišče končnih izdelkov, uspešno delujoče že več let, še dodatno krepi sposobnost podjetja za hitro in pravočasno izpolnjevanje naročil. Optimizirani logistični procesi zagotavljajo pravočasno izpolnitev naročil hčerinskih družb, distributerjev in neposrednih strank.



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.si

© Avtorji 2026. CC-BY 4.0

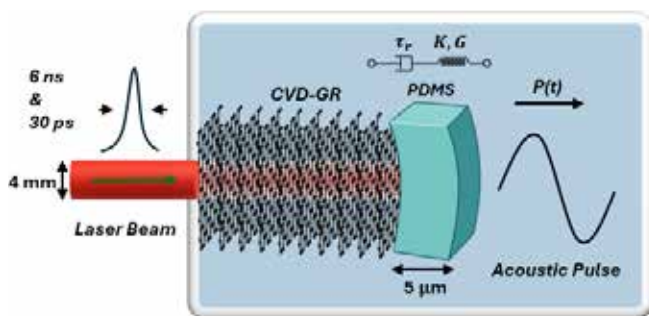
Grafenski nanogrelnik za tvorbo širokopasovnega ultrazvoka odpira nove možnosti v medicini

Raziskovalci Laboratorija za lasersko tehniko (LASTEH) na Univerzi v Ljubljani so v sodelovanju z Institutom »Jožef Stefan«, Univerzo v Coimabri in inštitutom CNR-NANOTEC (Italija) razvili napravo na osnovi grafena, ki kratke laserske bliske pretvarja v visokofrekvenčni ultrazvok.

Zmanjšanje števila atomskih plasti grafena z deset na pet razširi frekvenčni spekter fotoakustičnega vala, kar omogoča nadzor akustičnih pojavov na nanometrijski ravni ter podpira natančnejše slikanje in bolj usmerjeno terapevtsko uporabo ultrazvoka. Raziskava je potekala v okviru slovenskega nacionalnega projekta 2D-UltraS in evropskega projekta Laserlab-Europe.

Fotoakustična (PA) tehnologija pretvarja kratke laserske bliske v ultrazvok. Raziskava, objavljena v reviji Photoacoustics, kaže, da grafen, izdelan s kemijskim napajanjem iz plinske faze (CVD), v kombinaciji s pikosekundnim laserskim vzbujanjem presega omejitve klasičnega fotoakustičnega generiranja ter omogoča širokopasovni visokofrekvenčni ultrazvok.

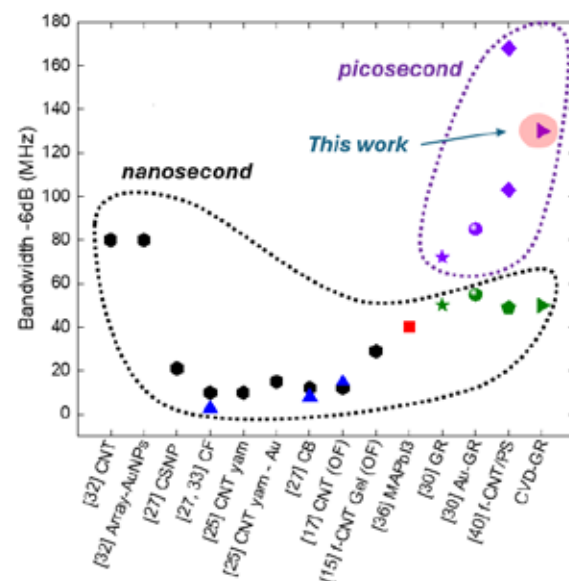
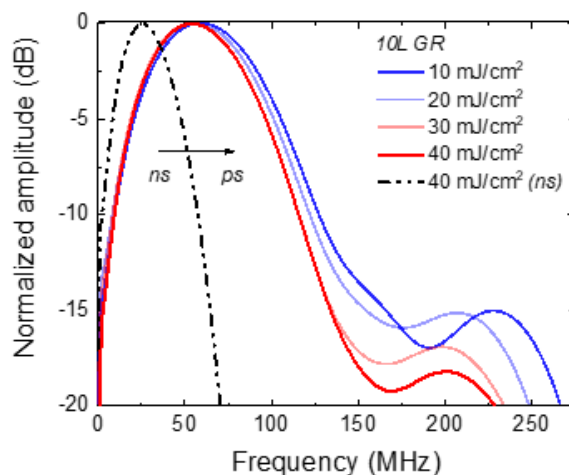
Raziskovalci so večplastni CVD-grafen proučili teoretično in eksperimentalno. Plast za plastjo so ga prenesli na stekleno podlago ter prevlekli s plastjo polidimetilsiloksana (PDMS). Da bi bolje razumeli nastanek fotoakustičnega vala na nanometrijski ravni, so razvili mezoskopski model na osnovi kontinuumskega pristopa, ki povezuje toplotne, mehanske in akustične pojave.



Shematski prikaz termoelastičnega nastanka akustičnega vala

Pri vzbujanju s pikosekundnimi bliski sta izpolnjena pogoja toplotnega in napetostnega omejevanja, zato nastane krajši in intenzivnejši tlačni val. Naprava z desetimi plastmi CVD-grafena je ustvarila ultrazvok s pasovno širino 110 MHz (pri -6 dB), ki se razširi do 250 MHz (pri -20 dB), kar presega zmogljivosti nanosekundnega vzbujanja. Pri svetlobni poti dolžine 3,4 mm so raziskovalci izmerili tlak 1 MPa.

»Grafen, izdelan s CVD-postopkom na ravni celotne rezine, zagotavlja nadzorovan in enakomeren toplotni stik za pretvorbo svetlobe v zvok. Ob vzbujanju s pikosekundnimi laserskimi bliski takšna zasnova omogoča višje frekvence ultrazvoka in učinkovitejše ustvarjanje akustičnih valov. S prilagajanjem števila plasti grafena se spreminja Kapitzova upornost, kar vpliva na prenos toplote in temperaturno dinamiko na stiku materialov ter posledično oblikuje profil fotoakustičnega vala. Tako smo



Fourierjeva analiza fotoakustičnega signala (zgornji prikaz) in primerjava z dosedanjimi najboljšimi PDMS kompozitnimi strukturami (spodnji prikaz)

pri ravni -6 dB dosegli razširitev frekvenčnega spektra do 140 MHz,« poudarjajo avtorji.

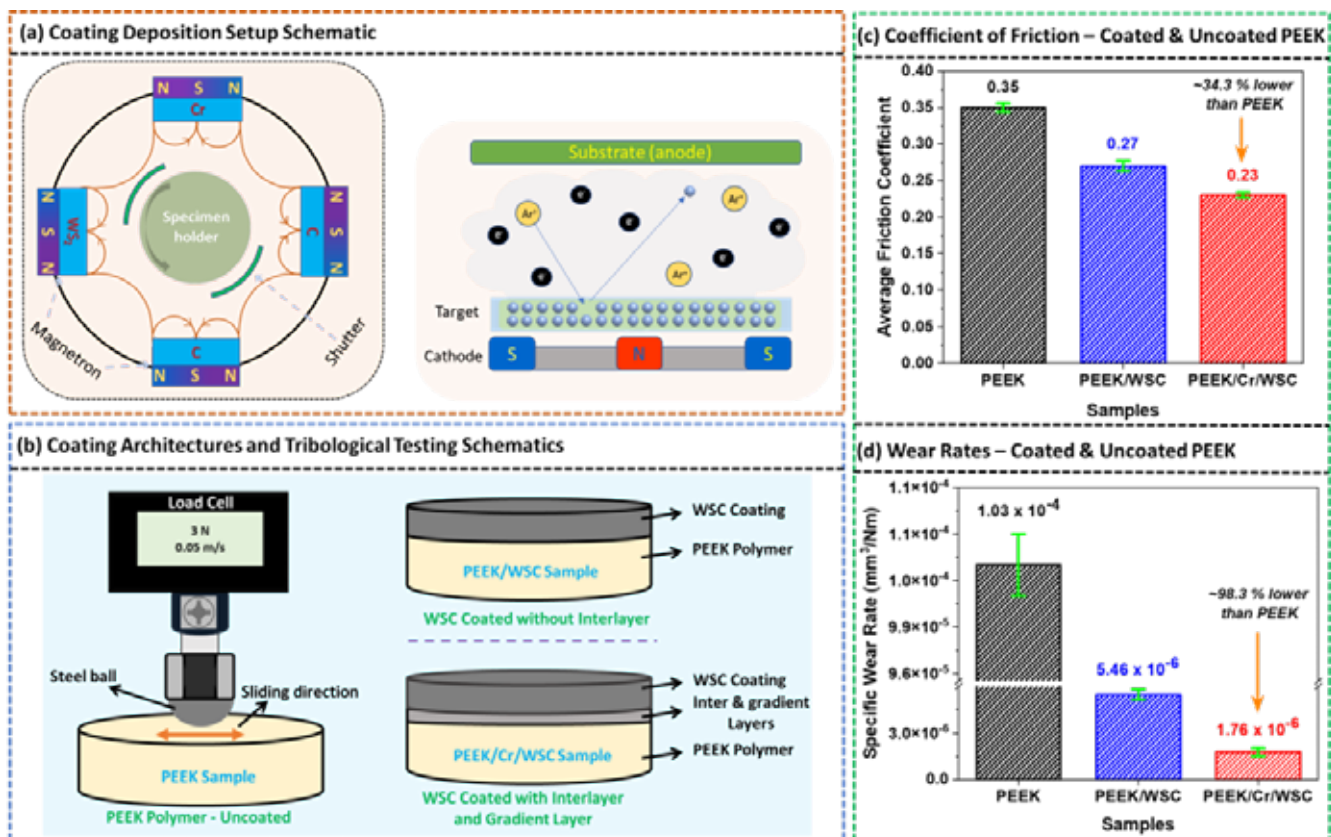
Ker lahko CVD-grafen izdelamo na ravni celotne rezine in ga prilagodimo različnim oblikam, je tehnologija primerna za ultravisokoločljivo slikanje, natančne terapevtske posege, nevromodulacijo ter napredne optoakustične aplikacije.

www.fs.uni-lj.si

© Avtorji 2026. CC-BY 4.0

Pametnejše površine za lahke strojne komponente: raziskovalci z naprednimi nanoprevlekami izboljšali vzdržljivost polimerov

Raziskovalci iz Laboratorija za tribologijo in nanotehnologijo površin (TINT) so razvili nov pristop h konstruiranju kontaktov z nanoprevlekami, ki bistveno izboljša vzdržljivost visoko zmogljivih polimernih komponent. Študija, objavljena v znanstveni reviji *Tribology International* (IF 6,9), prikazuje, kako lahko napredni premazi s trdnimi mazivi občutno zmanjšajo trenje in obrabo pri polimeru polietereeterketon (PEEK), enem najpogosteje uporabljenih inženirskih polimerov.



Pregled eksperimentalnega pristopa za izboljšanje vzdržljivosti in triboloških lastnosti polimera PEEK z uporabo premazov iz ogljikom legiranega volframovega disulfida (WSC). (a) Shematski prikaz sistema za magnetronsko naprševanje, ki prikazuje razporeditev tarč WS_2 , ogljika in kroma okoli vrtečega se nosilca vzorcev za sintezo premazov ter koncept postopka DC magnetronskega naprševanja. Pri tem ioni Ar^+ v plazmi bombardirajo tarčo, iz nje izbijajo atome, ki se nato odlagajo na podlago in tvorijo WSC-premaz.

(b) Konfiguracija recipročnega drsnega preskusa in arhitekture premazov, obravnavane v raziskavi: neprevlečen PEEK, PEEK z nanosom WSC brez vmesne plasti (PEEK/WSC), PEEK z nanosom WSC v vmesno plastjo Cr in gradientno plastjo (PEEK/Cr/WSC).

(c-d) Povzetek tribološke učinkovitosti in vzdržljivosti, ki prikazuje zmanjšanje koeficienta trenja in specifične stopnje obrabe pri optimizirani arhitekturi premaza ter s tem izboljšano vzdržljivost prevlečene polimerne površine.

PEEK se vse pogosteje uporablja v zahtevnih aplikacijah, kot so avtomobilski sistemi, letalske komponente in biomedicinske naprave, saj ima odlično razmerje med trdnostjo in maso, visoko kemijsko stabilnost ter dobro toplotno odpornost. Kadar pa je material izpostavljen drsnemu kontaktu v mehanskih sistemih, se pogosto pojavita relativno visoko trenje in ome-

jena odpornost proti obrabi, kar omejuje njegovo uporabo pri večjih obremenitvah.

Raziskovalna skupina je ta izziv rešila z nanosom nanostrukturiranih prevlek na osnovi ogljika, legiranih z volfram disulfidom na površino PEEK. Prevleke so nanесли s postopkom

magnetronskega naprševanja. Struktura prevlek je bila skrbno optimizirana in je vključevala tudi vmesne plasti za izboljšanje oprijema, kar omogoča, da prevleka ostane stabilna tudi med drsnim kontaktom. Na ta način so na površini polimera ustvarili trajno plast z nizkim trenjem.

Tribološki preizkusi so pokazali izjemne izboljšave. Prevečene površine so imele do 34 % nižji koeficient trenja in več kot 98 % manjšo obrabo v primerjavi z neprevlečenim PEEK. Izboljšano delovanje je povezano z nastankom stabilne tribokemijske plasti, ki se med drsenjem oblikuje na površini, ščiti polimer in omogoča gibanje z nižjim trenjem med kontaktnimi površinami.

»Napredne nanostrukturirane prevleke lahko bistveno spremenijo obnašanje polimerov v mehanskih sistemih,« je pove-

dal dr. Talha Bin Yaqub, vodilni avtor raziskave. Prof. dr. Mitjan Kalin, vodja raziskave, poudarja, da bi lahko takšne strategije površinskega inženirstva v prihodnosti omogočile, da polimeri, kot je PEEK, nadomestijo težje kovinske komponente v strojih.

Rezultati raziskave kažejo na praktično izvedljivo pot za uporabo nanostrukturiranih prevlek kot trdnih maziv na polimernih komponentah. Takšne rešitve bi se lahko uporabljale v polimernih zobnikih, ležajih in drugih drsnih elementih v energetsko učinkovitih transportnih sistemih ter industrijskih komponentah.

www.fs.uni-lj.si

© Avtorji 2026. CC-BY 4.0

MOTOMAN NEXT

YASKAWA

AI vodeni roboti: NOVA DOBA

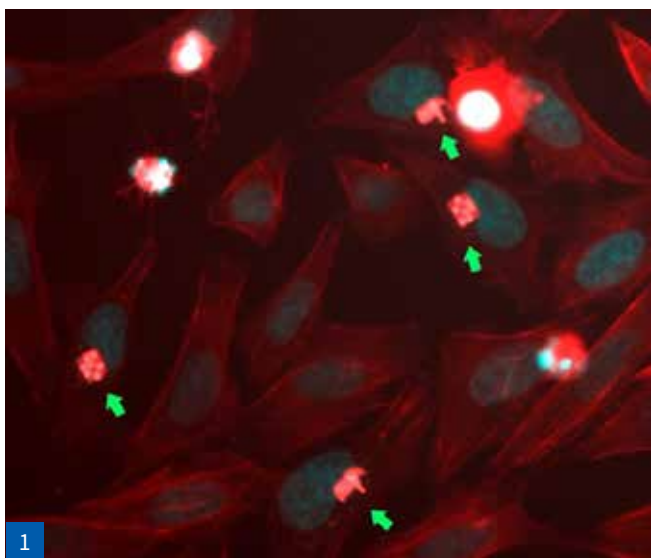
Prilagodljivi roboti s pomočjo umetne inteligence (AI) z uporabo senzorjev in kamer zaznavajo okolico, se prilagodijo in z uporabo lastnih veščin samostojno opravljajo naloge.



YASKAWA Slovenija d.o.o. • T: +386 (0)1 83 72 410 • YSL-info@yaskawa.eu • www.yaskawa.si

Dvofotonovo 3d-tiskanje funkcionalnih mikrostruktur znotraj živih celic

Raziskovalci dr. Maruša Mur, Aljaž Kavčič, dr. Uroš Jagodič, dr. Rok Podlipec in izr. prof. dr. Matjaž Humar z Odseka za fiziko trdne snovi Instituta »Jožef Stefan« so uspeli tridimenzionalno natisniti mikroskopske strukture neposredno znotraj živih človeških celic. V celice so vbrizgali kapljice biokompatibilnega svetlobno občutljivega materiala za tiskanje, ga osvetlili in na ta način polimerizirali. S to metodo je ekipa natisnila različne strukture: od geometrijskih vzorcev do mikrolaserjev in celo majhnega slona, vse znotraj živih človeških celic. S preoblikovanjem živih celic v miniatura okolja za 3D-tiskanje to delo premika meje možnega na stičišču biologije, fizike in inženirstva ter ponuja močno novo orodje za raziskovanje delovanja življenja od znotraj navzven. Raziskava je bila objavljena v prestižni reviji *Advanced Materials*.



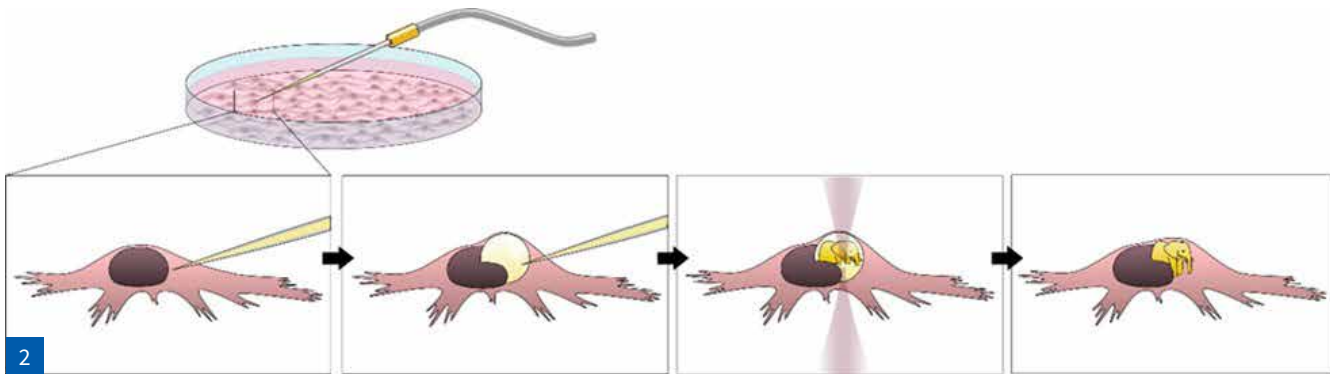
1
Fluorescenčna slika celic, ki vsebujejo 3D tiskane strukture. Rdeča barva – aktinski filamenti in 3D tiskane strukture cian barva – celična jedra.

V zadnjem desetletju je 3D-tiskanje postalo nepogrešljivo orodje v vsakdanjem življenju ter v številnih industrijah in znanstvenih področjih. Od hrane do celotnih stavb, od elektronike do biotiskanih tkiv – skoraj vse je mogoče natisniti 3D.

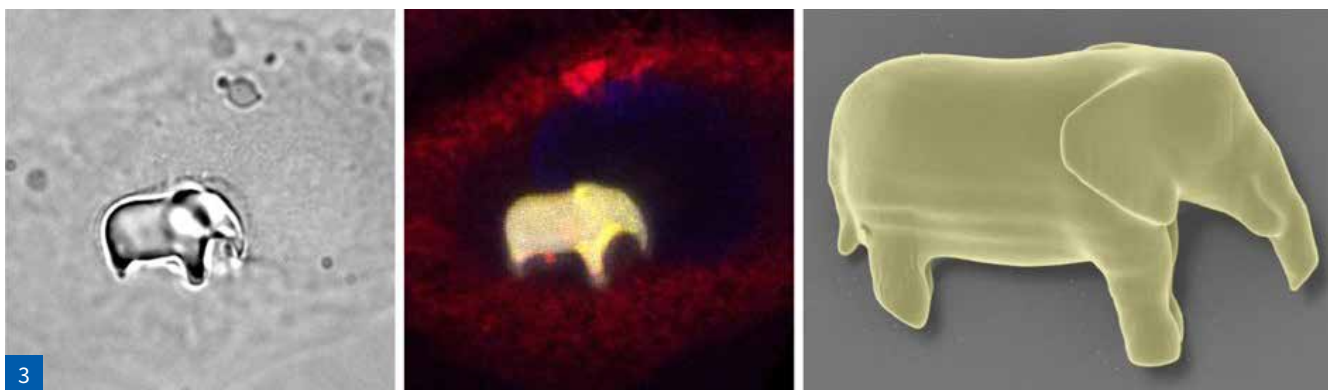
Zdaj so znanstveniki premagali še eno oviro, saj jim je uspelo 3D-tiskanje mikroskopskih struktur neposredno znotraj živih človeških celic. To so dosegli s kombinacijo dveh naprednih tehnik. Najprej so v celico vbrizgali kapljico biokompatibilnega svetlobno občutljivega materiala. Nato so z močno fokusiranim laserskim snopom selektivno osvetlili material za tiskanje in ga polimerizirali. Z gibanjem laserskega žarka v treh dimenzijah je mogoče »risati« kompleksne strukture poljubnih oblik z ločljivostjo pod mikrometrom. S to metodo je ekipa natisnila različne strukture: od geometrijskih vzorcev do mikrolaserjev in celo majhnih slonov, vse znotraj živih človeških celic. Zanimivo je, da je veliko celic preživel proces, nadaljevalo normalno migracijo in se celo delilo, pri čemer je struktura prešla v eno od hčerinskih celic.

Tiskanje struktur znotraj celic odpira povsem nove možnosti za biologijo in medicino. V prihodnosti bi znanstveniki lahko te objekte uporabili za mehansko interakcijo s celičnimi organeli, za označevanje posameznih celic in njihovo sledenje skozi čas ali za gradnjo majhnih senzorjev, s katerimi bi bilo mogoče zaznavati mehanske ali kemične odzive celic direktno v njihovi notranjosti.

Ta pristop raziskovalcem omogoča fizično oblikovanje notranjosti celic. Z uporabo živih celic kot miniaturnih okolij za 3D-tiskanje to delo premika meje možnega na stičišču biologije, fizike in inženirstva ter ponuja močno novo orodje za raziskovanje delovanja življenja od znotraj navzven.



2
Shematski prikaz postopka 3D-tiskanja znotraj živih celic. Igla predre celično membrano in vbrizga tekoči polimerni material. Nato se material selektivno osvetli s fokusiranim laserskim žarkom, kar povzroči polimerizacijo.



Struktura slona. Levi: Slika strukture slona znotraj celice, posneta z optičnim mikroskopom. Srednji: Konfokalna slika iste celice (rdeča – celična membrana, modra – celično jedro, rumena – 3D-tiskana struktura). Desni: Slika 3D-tiskane strukture, posneta z vrstičnim elektronskim mikroskopom (SEM).

Polona Strnad, IJS, Odnosi z javnostmi

© Avtorji 2026. CC-BY 4.0

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

Inovativne aplikacije bionike v industrijski avtomatizaciji

Janez Škrlec

Danes je uspešen razvoj industrijske avtomatizacije odvisen od številnih dejavnikov, še pa zlasti od naprednih tehnologij in inovacij. Pomemben prispevek k temu razvoju v zadnjih nekaj letih prispeva tudi bionika.

Njen razvoj na tem področju je tesno povezan z integracijo eksoskeletov, posebnih protez za prilagodljivo funkcionalnost, haptičnih tehnologij, rasti razvoja telerobotike v proizvodnji (daljinsko upravljanje robotskih sistemov), genetskih algoritmov in drugih najsodobnejših tehnologij, ki povzročajo pravo revolucijo. Prilagodljive funkcijske proteze so novost, ker so zasnovane in izdelane tako, da uporabniku omogočajo doseganje višjih ravni usposobljenosti in zmogljivosti pri specifičnih dejavnostih, kjer tradicionalne tehnologije ne delujejo dovolj dobro. Operaterji robotov pogosto intuitivno upravljajo robotske roke. Napredek vodi k izboljšani učinkovitosti, varnosti in sodelovanju med ljudmi in stroji. Industrije že s pridom izkoriščajo nosljivo tehnologijo, fuzijo senzorjev, bionični in biomedicinski inženiring, vmesnike možgani-računalniki, vmesnike človek-stroj, nevromorfno računalništvo, ki je osredotočeno tudi na avtonomne robote, mehko robotiko, kognitivno robotiko, nevromodulacijo in protetične okončine, da bi dosegle izjemno raven inovacij in produktivnosti. Ta razvoj in napredek danes odlično izpostavlja Plant Automation Technology kot globalna platforma industrijske avtomatizacije.

Eksoskeleti in funkcijska protetika za izboljšano delovanje

Eksoskeleti so v ospredju revolucije industrijskih delovnih okolij in ponujajo premik paradigme pri izboljšanju človeških zmogljivosti. Najnovejši eksoskeleti niso le mehanske ali robotske obleke; utelešajo sinergijo najsodobnejšega bionskega in biomedicinskega inženiringa in napredne nosljive tehnologije. Z zapletenimi mehanizmi fuzije senzorjev se brezhibno integrirajo s človeškim telesom in ustvarjajo simbiotski odnos med človekom in strojem. Jedro teh eksoskeletov je v njihovi prilagodljivosti, zahvaljujoč sofisticiranim genetskim algoritmom, ki optimizirajo delovanje glede na individualne potrebe in naloge. Ta raven personalizacije sega na področje vmesnikov možgani-računalnik, kjer se uporabniki nameni z neprimerljivo natančnostjo prevajajo v dejanja. Pri tem vmesniku človek-stroj ne gre le za nadzor, temveč za sinergijo, kjer se meje med biološko in umetno inteligenco brišejo. V osnovi



Bionika omogoča razvoj zahtevnih protetičnih in robotskih sistemov.

(Slika preoblikoval Janez Škrlec)

teh napredkov je razvoj nevromorfnega računalništva, osredotočenega na spomin (tudi memristorski), ki omogoča eksoskeletom učenje, prilagajanje in predvidevanje uporabnikovih gibov v realnem času. Ta kognitivni preskok presega tradicionalno robotiko in zajema koncepte, kot sta mehka in kognitivna robotika, kjer stroji posnemajo ne le fizičnost, temveč tudi kognitivne procese ljudi. Poleg tega eksoskeleti utirajo pot avtonomni pomoči, saj se avtonomni roboti brezhibno integrirajo v delovne procese, zagotavljajo podporo in izboljšujejo človeške zmogljivosti. Ta fuzija nevromodulacije in robotike ni le za funkcionalnost, temveč opolnomočenje, obnavljanje mobilnosti in neodvisnosti z naprednimi protetičnimi okončinami, ki na novo opredeljujejo, kaj pomeni biti človek v dobi tehnološke konvergence. Vključevanje funkcijske protetike v industrijsko avtomatizacijo postavlja v ospredje prilagodljivo funkcionalnost. Napredne protetične okončine, opremljene s tehnologijo fuzije senzorjev, ki lahko natančno posnemajo človeške gibe, kar zagotavlja spretnost in natančnost pri proizvodnih nalogah. To čudo bionskega inženirstva izboljšuje kakovost in natančnost delovanja. Integracija protetike omogoča prilagodljiva in odzivna dejanja znotraj avtomatiziranih

Janez Škrlec, inž., Razvojno raziskovalna dejavnost, Zgornja Polskava

© Avtorji 2026. CC-BY 4.0

sistemov. Tehnike fuzije senzorjev v protetičnih okončinah omogočajo povratne informacije v realnem času, kar izboljšuje nadzor in koordinacijo v kompleksnih proizvodnih okoljih. Ta sinergija med bionskim in biomedicinskim inženiringom in industrijsko avtomatizacijo utira pot inovativnim rešitvam v interakciji med človekom in strojem.

Vse večja vloga genskih algoritmov

Genetski algoritmi igrajo ključno vlogo pri optimizaciji delovanja funkcijske proteze, prilagajanju uporabniškim preferencam in razvijajočim se potrebam. Ta nosljiva tehnologija revolucionira ergonomijo delovnega mesta z brezhibno integracijo protetičnih zmogljivosti z obstoječimi ogradjami avtomatizacije. Poleg tega vmesniki možgani-računalnik izboljšujejo komunikacijo med ljudmi in stroji, kar omogoča intuitivno upravljanje avtonomnih robotov in kognitivnih robotskih sistemov. Nevromorfno računalništvo, osredotočeno na spomin, še dodatno izpopolnjuje protetične zmogljivosti, kar omogoča prilagodljivo učenje in odločanje, ki se zaveda celotnega tehnološkega konteksta. V bistvu konvergenca funkcijske protetike z industrijsko avtomatizacijo spodbuja učinkovitost, natančnost in varnost v proizvodnih procesih. Ta sinergijski pristop izkorišča polni potencial bionskega napredka in oblikuje prihodnost, kjer je prilagodljiva funkcionalnost brezhibno integrirana v tkivo avtomatiziranih industrij. Na področju industrijske avtomatizacije predstavlja združitev genskih algoritmov in algoritmov strojnega učenja kot preobrat nove paradigme. Ti sofisticirani algoritmi delujejo skupaj pri optimizaciji procesov, pri čemer izkoriščajo analitiko podatkov za povečanje učinkovitosti in stroškovne učinkovitosti. Genetski algoritmi delujejo kot evolucijska orodja, ki interaktivno izboljšujejo rešitve na podlagi meril ustreznosti. V kombinaciji s strojnimi učenjem ustvarjajo močan okvir za optimizacijo procesov. Z analizo ogromnih količin podatkov ti algoritmi odkrivajo skrite vzorce in korelacije, kar vodi do odločitev, ki temeljijo na podatkih in izboljšujejo učinkovitost in produktivnost.

Novi tehnološki pristopi in učinkovitejši sistemi

V ospredju avtonomnih robotov in mehke robotike spominsko-centrično nevromorfno računalništvo revolucionarno spreminja področje industrijske avtomatizacije. Ti sistemi, ki jih navdihujejo nevronske memristorske mreže, strojem dajejo kognitivne sposobnosti, s čimer bistveno spremenijo njihovo funkcionalnost in prilagodljivost nalog. Spominsko-centrično nevromorfno računalništvo posnema arhitekturo in funkcionalnost človeških možganov, kar robotom omogoča učenje iz izkušenj, prilagajanje spreminjajočim se okoljem in razumevanje kontekstualnih odtenkov. Ta sinaptična plastičnost omogoča hitro reševanje problemov in odločanje v dinamičnih delovnih okoljih. Na področju industrijske avtomatizacije nevromorfno računalništvo dvigne robotsko inteligenco na doslej nevidene ravni. Avtonomni roboti, opremljeni z nevromorfnimi zmogljivostmi, kažejo izboljšano senzorično zaznavanje in vedenjsko prilagodljivost, kar jim omogoča navigacijo po kompleksnih okoljih in natančno ter učinkovito izvajanje nalog. Poleg tega imajo mehki robotski sistemi ogromne koristi od spominsko-centričnega nevromorfnega računalništva.

Ti fleksibilni, prilagodljivi stroji izkoriščajo nevronske- navdihnjene algoritme za izvajanje občutljivih manipulacij in interakcij v sodelovalnih delovnih prostorih, kar zagotavlja varno in učinkovito interakcijo med človekom in robotom. Konvergenca spominsko-centričnega nevromorfnega računalništva z avtonomnimi roboti in mehko robotiko pomeni pomemben korak naprej v tehnologijah avtomatizacije. Ta sinergistična integracija odpira nove možnosti za kognitivno robotiko in utira pot inteligentnim sistemom, ki brezhibno združujejo človeške zmogljivosti z mehansko učinkovitostjo. V praksi lahko kognitivna robotika, opremljena z zmožnostmi nevromodulacije, razume kontekstualne namige, predvidi dejanja in samostojno sprejema premišljene odločitve. Ta pristop, osredotočen na človeka, ne le poveča učinkovitost in produktivnost, temveč tudi izboljša varnost na delovnem mestu s spodbujanjem sodelovalnih in harmoničnih interakcij med človekom in robotom. Sinergija med kognitivno robotiko in tehnologijami nevromodulacije predstavlja paradigmatični premik v avtomatizaciji, kjer roboti niso več zgolj orodja, temveč inteligentni partnerji pri sodelovanju delovne sile. Ta združitev človeških in strojnih zmogljivosti postavlja temelje za inovativne rešitve, ki brišejo meje med robotsko avtomatizacijo in človeškim strokovnim znanjem.

Kako pomembna postaja vloga bionike?

Integracija bionike v industrijsko avtomatizacijo predstavlja pomemben preskok k preoblikovanju tradicionalnih delovnih procesov v dinamične, prilagodljive in inteligentne sisteme. Eksoskeleti in funkcijske proteze na novo opredeljujejo interakcijo med človekom in strojem ter izboljšujejo zmogljivosti delavcev in ergonomijo. Genetski algoritmi in nevromorfno računalništvo spodbujajo učinkovitost in varnost, kar robotom omogoča natančno in zanesljivo učenje, prilagajanje in opravljanje nalog. Nosljiva tehnologija in združevanje senzorjev omogočata zbiranje in analizo podatkov v realnem času, kar spodbuja kontekstualno zavedanje in informirano odločanje. Sodelovanje bionskega inženiringa s tehnologijami avtomatizacije ustvarja inovativne rešitve, ki dajejo prednost zdravju, varnosti in učinkovitosti. Vmesniki možgani-računalnik in vmesniki človek-stroj poenostavljajo komunikacijo in interakcijo med ljudmi in stroji ter optimizirajo potek dela in izvajanje nalog. Kognitivna robotika in nevromodulacijske tehnologije omogočajo robotom, da razumejo človeške namere in se inteligentno odzivajo, kar povečuje produktivnost in kakovost v proizvodnih okoljih. Sprejemanje teh tehnoloških napredkov je nujno za organizacije, ki si prizadevajo ostati konkurenčne v dobi pametne proizvodnje in robotskih inovacij. Z uporabo eksoskeletov, funkcijskih protez, genskih algoritmov in nevromorfnega računalništva lahko podjetja ustvarjajo nove ravni učinkovitosti, varnosti in produktivnosti, kar spodbuja napredek in uspeh v vse bolj zahtevnih industrijskih okoljih.



Razvoj energijskih digitalnih dvojčkov kosovne proizvodne linije

Miha Glavan, Rok Struna, Vinko Longar, Dejan Gradišar

Izvleček:

Prispevek obravnava razvoj energetskih digitalnih dvojčkov za kosovne proizvodne procese z namenom izboljšanja upravljanja porabe energije. Zaradi naraščajoče cenovne nestabilnosti energentov in zahtev po zelenem prehodu postaja natančno napovedovanje porabe energije ključno za konkurenčnost podjetij. Predstavljen je podatkovno gnan pristop, ki združuje diskretno dogodkovno modeliranje proizvodnega procesa s statističnim opisom ponovljivih profilov porabe posameznih operacij. Najprej se na podlagi meritev identificirajo prototipi porabe za posamezne operacije, nato pa se s pomočjo stohastičnih Petrijevih mrež modelira potek proizvodnje. Z uporabo Monte Carlo simulacij je mogoče napovedati skupno porabo energije ter ovrednotiti njeno variabilnost. Pristop je bil demonstriran na demonstracijski proizvodni liniji LabTop, kjer rezultati kažejo dobro ujemanje med napovedano in dejansko porabo energije. Razviti model omogoča časovno odvisno napoved porabe za različne proizvodne plane ter podpira optimizacijo razporejanja proizvodnje. Energetski digitalni dvojčki tako predstavljajo pomembno orodje za zmanjševanje koničnih obremenitev, izboljšanje energetske učinkovitosti, zaznavanje anomalij ter podporo trajnostnemu in prilagodljivemu upravljanju industrijskih procesov.

Ključne besede:

energetski digitalni dvojček, proizvodni procesi, kosovna proizvodnja, napovedovanje porabe energije, diskretno dogodkovno modeliranje, stohastične Petrijeve mreže, Monte Carlo simulacija, upravljanje energije, optimizacija proizvodnje, industrijska energetika

1 Uvod

Cenovna nestabilnost energentov in težnja po zelenem prehodu postavljata v ospredje energetski vidik proizvodnega obratovanja, ki s tem postaja vedno bolj pomemben dejavnik konkurenčnosti in stabilnosti delovanja podjetja [1][2]. Podjetja se srečujejo s pritiski po zmanjšanju emisij toplogrednih plinov, izboljšanju učinkovitosti energetskih virov in integraciji obnovljivih virov energije v proizvodna okolja [3]. V ta namen se izvaja elektrifikacija procesov, uvajajo se energetske učinkovite tehnologije ter celovite rešitve za nadzor in upravljanje porabe energentov, ki podpirajo nove koncepte, kot sta odziv na povpraševanje in napovedovanje porabe.

V tem kontekstu postane natančno kratkoročno napovedovanje porabe energije ključnega pomena za zagotavljanje operativne stabilnosti in ekonomske učinkovitosti [4]. To je še posebej izrazito v razmerah, ko imamo spremenljivo oskrbo z energijo in možnosti uporabe dinamičnih proizvodnih urnikov [5][6].

V tem prispevku je predstavljen pristop za razvoj energetskih

digitalnih dvojčkov ponovljivih proizvodnih procesov. Pristop združuje diskretno dogodkovno modeliranje operacij procesa in statistični opis ponovljivosti porabe posameznih operacij. Za modeliranje se uporabljajo procesne meritve porabe in indikatorji delovanja posameznih operacij. Pristop je primeren za modeliranje porabe ponovljivih procesov, kot je kosovna industrija. Na zgodovinskih podatkih temelječ model pa je nato mogoče uporabiti za napovedovanje in napredno upravljanje porabe energije procesa.

Prispevek je strukturiran na naslednji način. V naslednjem poglavju so predstavljeni osnovni koncepti energetskih digitalnih dvojčkov proizvodnih procesov in načini njihove uporabe. V tretjem poglavju je predstavljen predlagan pristop za razvoj modelov energetskega digitalnega dvojčka na podlagi zgodovinskih podatkov primerov proizvodnega obratovanja. V četrtem poglavju je na primeru proizvodnega procesa LabTop prikazan primer razvoja modela. Peto poglavje poda končne zaključke in možnosti prenosa predstavljenega pristopa na druge primere ter predstavi možnosti praktične uporabe razvitega energetskega digitalnega dvojčka.

2 Energetsko upravljanje proizvodnih procesov

Energija je pomemben dejavnik stroškov v proizvodnji. Vključevanje energije v načrtovanje in nadzor proizvodnje omogoča boljše razporejanje proizvodnih nalog, zmanjšanje izgub v mirovanju/pripravljenosti in nižji odjem energije. V ta namen se vedno bolj uporablja simulacija proizvodnje in porabe, kar je tudi namen energetskih digitalnih dvojčkov.

Dr. Miha Glavan, univ. dipl. inž., Institut Jožef Stefan,
Rok Struna, inž., Rudolfovo – Znanstveno in tehnološko
središče Novo mesto, Vinko Longar, mag. inž., Rudolfovo –
Znanstveno in tehnološko središče Novo mesto, dr. Dejan
Gradišar, univ. dipl. inž., Institut Jožef Stefan



© The Authors 2026. CC-BY 4.0

<https://doi.org/10.5545/Ventil-32-2026-2.20>

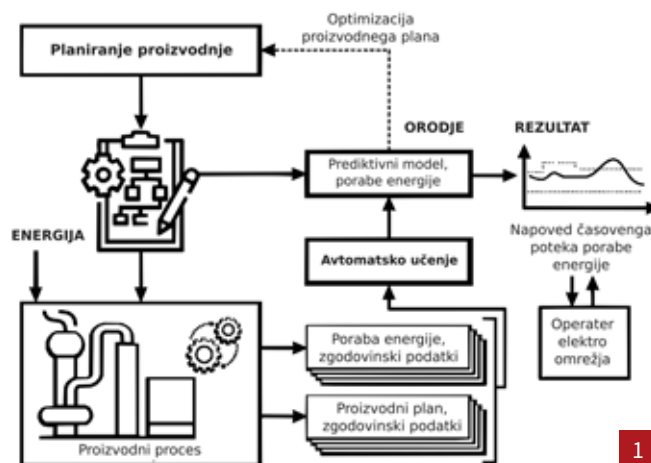
2.1 Energetski digitalni dvojčki proizvodnih procesov

Energetski digitalni dvojčki proizvodne opreme so virtualni modeli strojev in proizvodnih linij, ki se osredotočajo predvsem na to, kako se energija porablja med proizvodnjo [7]. Namesto da bi simulirali proizvodni proces, ti dvojčki v realnem času spremljajo in napovedujejo predvsem porabo energije, pri čemer se tipično osredotočajo na porabo glavnih procesnih energentov, kot so električna energija, plin, stisnjen zrak, toplota.

Energetski digitalni dvojčki spremljajo ključne proizvodne parametre, kot so moč sistema, temperature procesa, tlak (za sisteme zrak/plin), stanja stroja (prosti tek, zagon, polna obremenitev), ter druge procesne parametre, ki pomembno vplivajo na porabo procesa. Pri tem je potrebno ustrezno vzorčenje ključnih veličin procesa, ki morajo biti v skladu z dejansko dinamiko procesa. Na podlagi procesnih meritev in razumevanja procesa je mogoče razviti energetski model proizvodnega procesa, ki povezuje stanje procesa ter lastnosti izdelka z dejansko potrebo po energiji. Za razvoj modela se lahko opiše fizika stroja/procesa (npr. [8][9]) ali pa se za opis porabe procesa uporabijo pristopi strojnega učenja, ki se učijo na podlagi zgodovinskih primerov obratovanja (npr. [10][11]).

2.2 Uporabna vrednost energetskih digitalnih dvojčkov

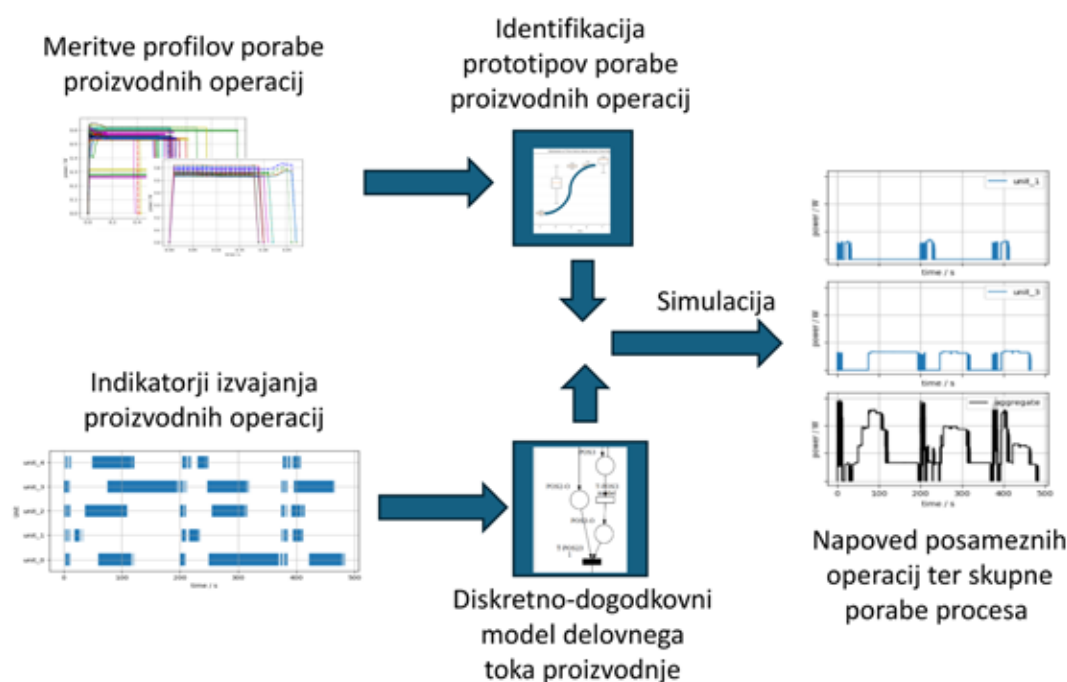
Z napovedovanjem energetskih potreb na ravni posameznih strojev ali proizvodnih linij lahko podjetje optimizira razporejanje proizvodnih nalog, kot to konceptualno prikazuje *slika 1*. Energijsko in stroškovno učinkovito planiranje ter razvrščanje (npr. [12],[13]) lahko pomagata pri optimizaciji energije



Koncept upravljanja proizvodnega plana z namenom optimizacije [17]

(zmanjševanje mrtvega časa naprav), omogočata zmanjšanje konične obremenitve in uskladitev procesne aktivnosti z obdobji nižjih stroškov energije ali večjo razpoložljivostjo obnovljivih virov energije. Poleg tega kratkoročno napovedovanje podpira odločanje v realnem času, kar omogoča prilagodljive mehanizme upravljanja, ki se odzivajo tako na notranje razmere kot na zunanje signale iz omrežja. Uvajanje napovednih energetskih modelov bo tako v prihodnje postalo pomemben dejavnik, ki omogoča trajnostne in odporne industrijske procese. Stroškovni prihranki takšnih pristopov so seveda močno odvisni od narave procesa, cen energijskih virov in njihovih omejitev. V literaturi zasledimo različne scenarije uporabe in prihrankov od 2 pa vse do 20 % [14–16].

Energetski digitalni dvojčki pa omogočajo tudi druge načine uporabe, kot so: (i) identifikacija neracionalne porabe energije (npr. poraba energije v prostem teku v primerjavi z aktivno porabo energije), (ii) upravljanje učinkovitosti procesa (model



2

Pristop za razvoj energetskega digitalnega dvojčka z združevanjem prototipov porabe operacij in diskretno-dogodkovnega modela proizvodnje

učinkovitosti v različnih obratovalnih pogojih in nastavitvah hitrosti, temperatur ali velikosti serij ter iskanje ustrezne optimizacije procesnih parametrov), (iii) izboljšanje vzdrževanja (energijske anomalije pogosto signalizirajo težave, kot so obraba ali nepravilno delovanje).

3 Pristop za identifikacijo energetskega digitalnega dvojčka procesa ponovljivih operacij

Kadar proizvodni proces izkazuje veliko ponovljivost operacij za posamezen izdelek, je za razvoj modela smiselno uporabiti podatkovno gnani pristop. Primeri takšnih ponovljivih procesov z velikim številom ponovitev so predvsem kosovna industrija in šaržni procesi s konstantnimi proizvodnimi recepti.

V tem prispevku je predlagan pristop za razvoj energetskega digitalnega dvojčka, kot je shematično predstavljen na *sliki 2*. V prvem koraku je potrebno z uporabo podatkovne analitike identificirati prototipne profile porabe posameznih operacij. Po drugi strani pa je potrebno opisati tudi sosledje in trajanje operacij, potrebnih za izvedbo vseh proizvodnih nalog. V ta namen je predlagana uporaba diskretno-dogodkovnega modeliranja procesnih operacij. Z uporabo Monte Carlo simulacijske tehnike generiramo več realizacij proizvodnega procesa, pri čemer se naključno vzorčijo trajanja operacij na podlagi identificiranih porazdelitev v diskretno-dogodkovnem modelu ter variacije prototipnih profilov porabe. Za vsako realizacijo izračunamo časovni profil skupne porabe energije. S tem se približamo celotnemu spektru možnih izidov proizvodnega procesa in s tem povezanih energetske potreb, kar omogoča oceno pričakovane vrednosti porabe, njene variance in verjetnosti različnih izidov.

Končna napoved porabe energije temelji na združitvi modela delovnega toka proizvodnje in modelov porabe posameznih operacij. Za vsako realizacijo proizvodnega procesa, generirano z diskretno-dogodkovnim modelom, posameznim izvedbam operacij pripišemo ustrezne prototipne profile porabe. Skupni časovni profil porabe energije nato dobimo s časovnim seštevanjem teh profilov, pri čemer se upošteva njihovo morebitno prekrivanje zaradi sočasnega izvajanja operacij.

Za razvoj takšnega modela je potrebno zagotoviti primere preteklega delovanja procesa, pri čemer so potrebne sledeče meritve: (i) meritve moči za vsak posamezen proizvodni korak (stroj ali proizvodna celica), (ii) stanje procesa (stanje zaustavitve, proces v mirovanju ali obdelovalni proces) in (iii) sledljivost tipa obdelovanih izdelkov ali drugih parametrov, ki

ključno vplivajo na nivo ter profil energijske porabe (npr. uporabljen CNC-program).

3.1 Identifikacija prototipov porabe posameznih proizvodnih operacij

Za razvoj modela porabe posamezne operacije je potrebno zbrati reprezentativne meritve časovnega profila porabe energije. Kot je prikazano na *sliki 3*, se iz časovno urejenih meritev porabe za posamezno operacijo identificira poraba, vezana na dejansko proizvodno aktivnost. S tem se izloči obratovanje v ustaljenem stanju, za katero lahko pogosto predpostavimo, da obratuje s konstantno močjo.

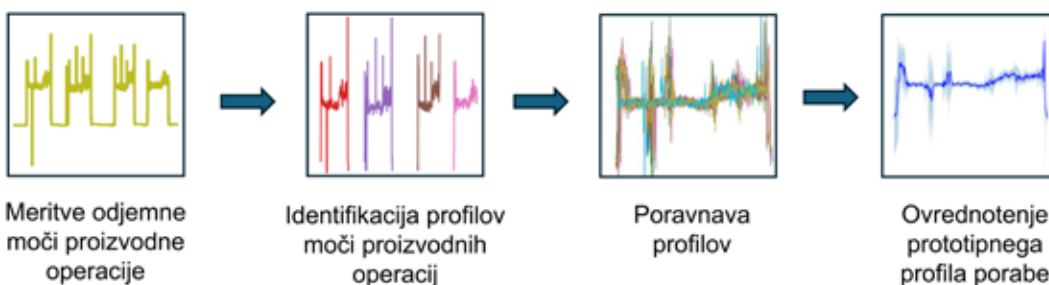
V naslednjem koraku na podlagi upoštevanja časovnih indikatorjev začetka in konca obratovalnih operacij celoten profil razdelimo na več ponovljivih sekvenc profilov porabe za izdelavo izdelkov. Zaradi pričakovanih deviacij v izvedbi proizvodnih operacij neposredna primerjava med tako urejenimi signali ni ustrezna. Zato v zadnjem koraku z uporabo iterativnega algoritma ERAL [18] (angl. *Error in Alignment*) poravnamo posamezne profile porabe glede na karakteristične deviacije v porabi. ERAL-metoda preverja različne zamike signalov, s čimer se ocenjuje usklajenost signalov glede na poravnavo. S tem zagotovimo popolno ujemanje signalov, kar izboljšuje sledeče korake modeliranja procesne ponovljivosti.

Na podlagi poravnanih profilov porabe nato statistično opišemo pričakovano deviacijo profila porabe. Za vsako časovno točko profila ocenimo parametre normalne porazdelitve (pričakovano vrednost in varianco) na podlagi poravnanih meritev. S tem definiramo časovno odvisen stohastični opis porabe posamezne operacije.

3.2 Model delovnega toka proizvodnje

Delovni tok proizvodnje definira sosledje in medsebojno odvisnost proizvodnih operacij, skozi katere potuje izdelek. Za njegov opis smo uporabili diskretno-dogodkovno modeliranje na osnovi stohastičnih Petrijevih mrež (angl. *Stochastic Petri nets*, SPN) [19], ki predstavljajo uveljavljen formalizem za modeliranje in analizo diskretno-dogodkovnih sistemov.

SPN so matematični in grafični formalizem, ki se uporablja za analizo sistemov, za katere so značilne sočasnost, sinhronizacija in naključnost. Uporaba Petrijevih mrež za modeliranje proizvodnih sistemov je dobro uveljavljena v literaturi, zlasti za analizo diskretno-dogodkovnih procesov, izkoriščenosti vi-



3

Koraki za definiranje prototipa porabe za posamezno proizvodno operacijo

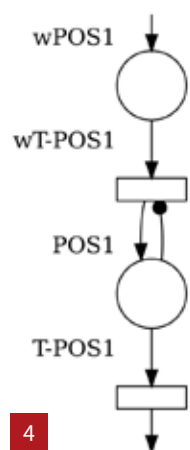
rov ter sinhronizacije operacij [20]. SPN razširjajo klasične Petrijeve mreže z vključitvijo časovne dimenzije, kjer so prehodi opremljeni z naključnimi časi proženja. SPN lahko formalno opišemo kot:

$$SPN=(P, T, I, O, M_0, \lambda) \quad (1)$$

kjer P predstavlja množico mest, T množico prehodov, I in O vhodno in izhodno incidenčno funkcijo, M_0 začetno označitev mreže ter λ parametre porazdelitev časov proženja prehodov. Mesta predstavljajo stanja sistema oziroma razpoložljivost virov, žetoni označujejo prisotnost entitet (izdelkov), prehodi pa modelirajo dogodke, kot so začetek ali zaključek proizvodne operacije.

Izbira SPN je primerna za modeliranje kosovne proizvodnje, saj omogoča predstavitev omejenih proizvodnih virov, sočasnega izvajanja operacij ter njihove sinhronizacije. Uporaba verjetnostnih porazdelitev časov prehodov omogoča tudi opis variabilnosti trajanja operacij, ki neposredno vpliva na časovno porazdelitev porabe energije.

Za opis kosovne proizvodnje smo celoten proizvodni proces razdelili na posamezne proizvodne operacije oz. delovne postaje. Primer osnovnega modela za predstavitev ene proizvodne celice je predstavljen na *sliki 4*. Predstavljeni formalizem prikazuje delovno celico s čakalno vrsto (stanje wPOS1) ter stanjem proizvodnega obratovanja (stanje POS1). Model po potrebi vključuje tudi inhibitorne povezave, ki omogočajo dodatno omejevanje proženja prehodov. Inhibitor stanja preprečuje sočasno obdelavo več izdelkov, s čimer se formalizira zasedenost proizvodnega vira (obdelava samo enega izdelka naenkrat). Glede na lastnosti dejanskega proizvodnega procesa in načina izvedbe operacij se osnovni model proizvodne celice lahko ustrezno prilagodi.



4 Primer modela ene proizvodne celice s čakalno vrsto in virom za obdelavo enega izdelka naenkrat

Na podlagi zgodovinskih primerov obratovalnih podatkov se statistično ovrednotijo časi prehodov (wT-POS1 – čas priprave na izdelavo, T-POS1 – čas izdelave), ki so uporabljeni kot parametri stohastičnih prehodov v modelu. Tako definiran model omogoča generiranje realizacij proizvodnega procesa, ki jih lahko uporabimo v Monte Carlo simulacijah za oceno porazdelitve skupne porabe energije in njene variabilnosti. Na podlagi večkratnih simulacij tako pridobimo porazdelitev možnih energijskih odzivov sistema, iz katere lahko ovrednotimo pričakovano porabo, variabilnost ter konične obremenitve.

4 Primer razvoja energetskega digitalnega dvojčka proizvodne linije LabTop

Predlagani pristop za razvoj energetskega digitalnega dvojčka je bil testiran na demonstracijski proizvodni liniji. Koraki razvoja in validacije digitalnega dvojčka so predstavljeni v naslednjih podpoglavjih.

4.1 Demonstracijska proizvodna linija LabTop

LabTOP proizvodna linija (*slika 5*) predstavlja fleksibilno in avtomatizirano okolje za izdelavo osnovnih izdelkov v več variacijah, kar omogoča preučevanje različnih proizvodnih scenarijev. Linija je zasnovana kot sistem, ki podpira integracijo različnih industrijskih komponent ter prilagodljivo konfiguracijo procesov. Vgrajeni sistemi za zajem podatkov omogočajo spremljanje širokega nabora signalov in meritev, vključno z energetskimi, procesnimi in operativnimi parametri. Razvojno okolje omogoča testiranje in validacijo algoritmov ter digitalnih rešitev, saj zagotavlja realistično, a hkrati nadzorovano platformo za eksperimentiranje z različnimi pristopi upravljanja in optimizacije proizvodnje.

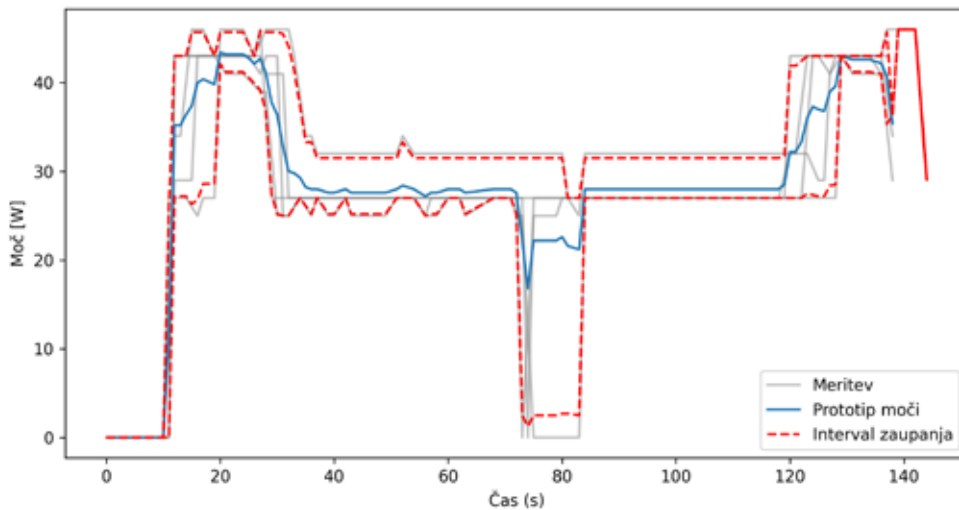
V okviru demonstracije pristopa so bile opravljene meritve med izdelavo produkta namizne ure, sestavljene iz dveh polizdelkov, z možnostjo različnih variacij obdelave. Proizvodni proces je bil zasnovan kot zaporedje avtomatiziranih operacij, ki vključujejo skladiščenje (POS0 SKLADISCE), lasersko graviranje (POS1 LASER), CNC-obdelavo (POS2 ROBOT CNC, POS3 CNC), ročno sestavo (POS4 ROCNO), vizualno kontrolo (POS5 STROJNI VID) ter etiketiranje (POS6 ETIKETIRANJE). Polizdelki so bili najprej avtomatsko naloženi na transportne palete, nato pa so prehajali skozi posamezne obdelovalne celice, kjer so se izvajali prilagojeni programi glede na varianto izdelka. Po mehanski in laserski obdelavi sta bila oba polizdelka na ročnem delovnem mestu sestavljena v končni izdelek. Sledili sta še kontrola kakovosti z uporabo sistema strojnega vida ter zaključna obdelava. Transport palet med celicami je potekal avtomatizirano, pri čemer je bila zagotovljena tudi krožna logistika praznih in polnih palet.



5 Proizvodna linija LabTop

4.2 Identifikacija prototipov porabe proizvodnih operacij

Za namene demonstracije pristopa je bilo izvedeno eksperimentalno delovanje proizvodne linije, kjer so bili izdelani različni primerki končnega izdelka. Med delovanjem proizvodne linije je nadzorni sistem beležil ključne dogodke linije in ele-



6

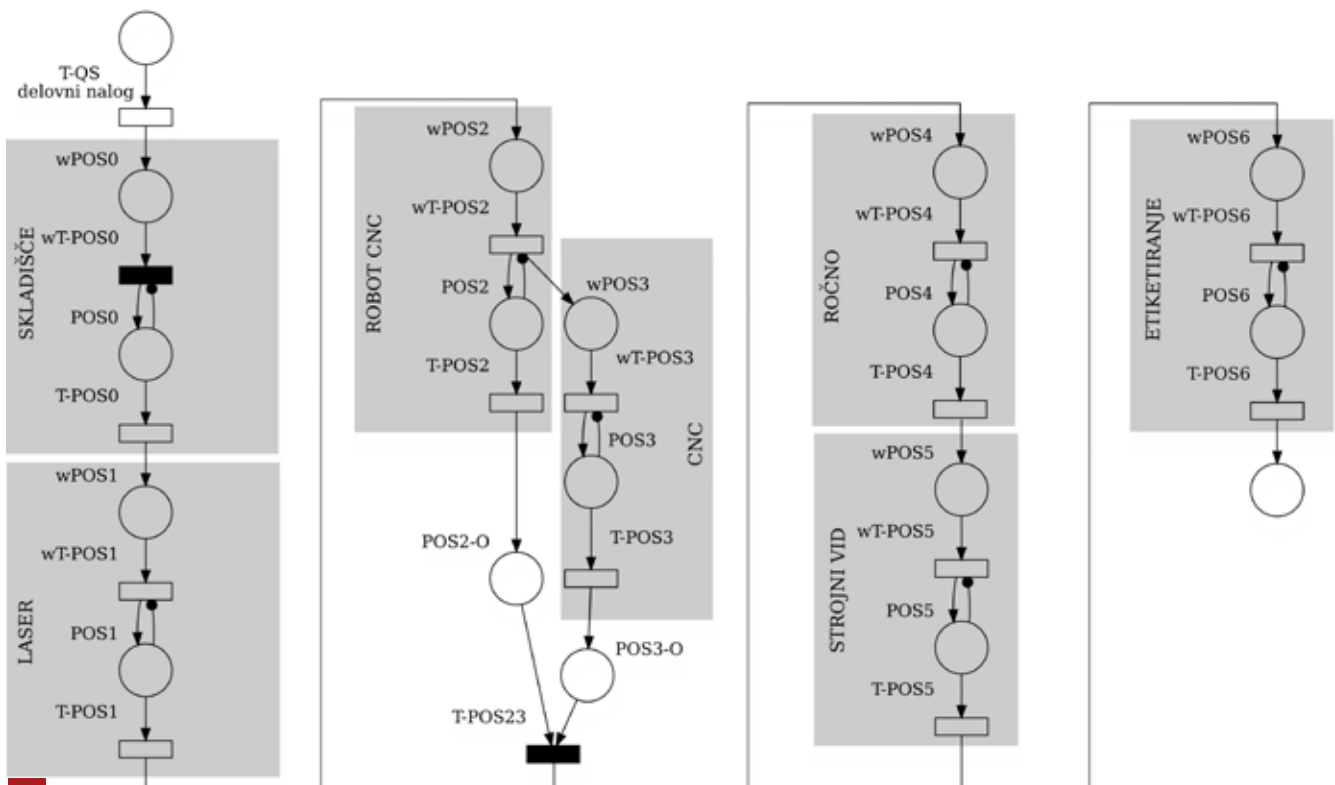
Ovrednoten prototip in varianca porabe za proizvodno operacijo POS1 LASER

ktrični tok po posameznih proizvodnih postajah. Pri tem se je električna poraba merila preko protokola OPC-UA z vzorčnim časom 1 s.

Na podlagi indikatorjev proizvodnih operacij in sprotnih meritev moči na posameznih delovnih postajah smo z uporabo postopka, opisanega v poglavju 3.1, identificirali prototipne profile porabe moči proizvodnje in njihovo variabilnost. Primer identificiranega profila porabe za proizvodno operacijo POS1 LASER je prikazan na *sliki 6*. Na zgornjem delu slike je prikazan statistični popis prototipa moči. Vidimo, da je operacija dobro ponovljiva in da so iz meritev zaznana zgolj manjša odstopanja v porabi. Podoben postopek smo izvedli še za preostale proizvodne postaje.

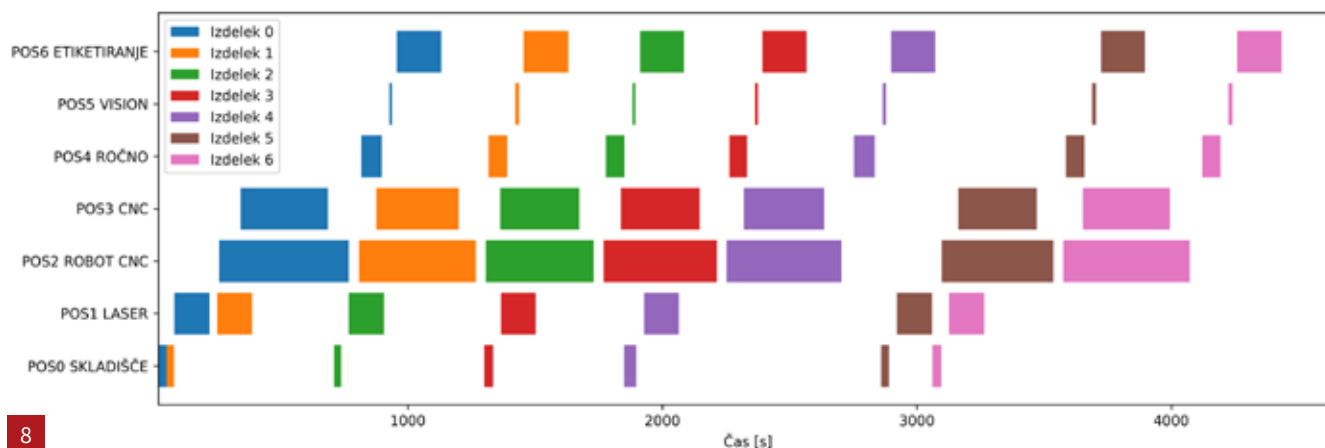
4.3 Diskretno-dogodkovni model proizvodnje

V naslednjem koraku definiramo diskretno-dogodkovni model proizvodnje v obliki stohastičnih Petrijevih mrež z uporabo orodja PySPN [21]. Proizvodni proces predstavimo kot sosledje vseh proizvodnih operacij, pri čemer upoštevamo dejanske lastnosti proizvodnje. V obravnavani proizvodni liniji imamo tako čakalne vrste pred vsako izmed proizvodnih celic (tekoči trak) in omejitev obdelave enega izdelka naenkrat. Operacije si sledijo v sosledju izdelave, razen operacij POS2 ROBOT CNC in POS3 CNC, ki tečeta vzporedno, saj robot poslužuje CNC-stroj. Tako opisan proizvodni proces je formalno predstavljen na *sliki 7*.



7

Diskretno-dogodkovni model LabTop proizvodnih operacij



8

Gantogram izvedbe proizvodnih operacij za enega izmed simuliranih potekov proizvodnje sedmih izdelkov

Na podlagi zgodovinskih podatkov pa je potrebno ovrednotiti tudi stohastično naravo procesa. Na podlagi analize dejanskih izmerjenih časov izvajanja operacij smo ovrednotili statistične lastnosti trajanja posameznih operacij in časov od sprostitve proizvodnega vira do začetka obdelave (mrtvi časi). Pri tem predpostavimo normalno porazdelitev časov prehodov, kar predstavlja aproksimacijo dejanske variabilnosti procesa. S tem korakom smo pridobili celoten model v obliki stohastičnih Petrijevih mrež, ki omogoča simulacijo sosledja stanj sistema in oceno pričakovanih časov zadrževanja v posameznih stanjih.

4.4 Validacija razvitega energetskega digitalnega dvojčka

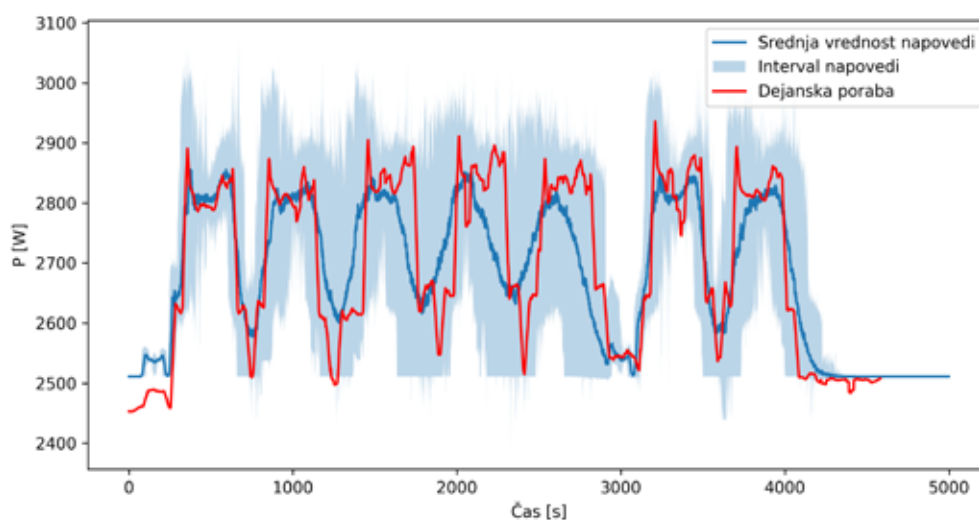
Razvit model, ki združuje diskretno dogodkovno naravo procesa in ponovljivost energetskih potreb proizvodnih operacij, lahko uporabimo za simuliranje dejanskih potreb porabe energije za poljuben proizvodni plan. *Slika 8* predstavlja eno izmed možnih izvedb proizvodnega plana za proizvodnjo sedmih različnih izdelkov.

Vsak simulacijski rezultat poleg proizvodnega urnika proizvodnih stanj generira tudi pričakovano porabo po proizvodnih

operacijah ter celotni skupni profil porabe procesa. Seveda pa zaradi stohastične narave procesa in tudi modela vsaka simulacija predstavlja zgolj eno možno realizacijo proizvodne operacije. Z uporabo Monte Carlo simulacije procesa lahko z večjim številom ponovitev ovrednotimo variabilnost porabe v določenem časovnem trenutku. *Slika 9* prikazuje združen rezultat stotih simulacij za izvedbo enakega proizvodnega plana izdelave sedmih izdelkov. Poleg srednje pričakovane vrednosti energetske porabe je prikazan tudi interval napovedi, ki podaja informacijo o pričakovani variabilnosti porabe. Z rdečo barvo pa je označena dejanska poraba, izmerjena na proizvodnem procesu za enak proizvodni plan. Rezultati kažejo, da se simulirana napoved dobro ujema z variabilnostjo, zajeto z razvitim napovednim modelom, kar potrjuje ustreznost predlaganega pristopa za modeliranje in napovedovanje energetskih potreb proizvodnega procesa.

5 Zaključek

Predstavljeni pristop predstavlja enostaven in učinkovit način formalizacije energetskih lastnosti proizvodnega procesa v obliki podatkovno gnanega energetskega digitalnega dvojčka, ki združuje model poteka proizvodnje in statistični opis porabe posameznih operacij. Uporabljeni pristop izkorišča pono-



9

Primerjava simulacijske napovedi (100 simulacijskih tekov) z dejansko porabo procesa

vljivost proizvodnega procesa in možnost učenja na podlagi zgodovinskih obratovalnih podatkov. Pristop je neodvisen od opazovanega energenta in ga je mogoče brez večjih prilagoditev preslikati tudi na druge procese ter energente (npr. odjem komprimiranega zraka).

Na primeru proizvodnega procesa LabTop je bil prikazan razvoj energetskega digitalnega dvojčka proizvodne linije. Razviti model omogoča časovno odvisno napoved gibanja porabe za poljuben proizvodni nalog, kjer se upoštevajo identificirana variabilnost proizvodnih časov, variacija moči porabe ter omejenost razpoložljivosti proizvodnih virov.

Samo obvladovanje napovedi porabe električne energije diskretnih proizvodnih procesov pa seveda ne omogoča neposrednega zmanjševanja in optimizacije porabljene energije. Natančne napovedi imajo pomembno vlogo predvsem pri pametnem razvrščanju za namene zmanjševanja stroškov, vezanih na energijo, sploh takrat, kadar so energetske viri omejeni in vezani na dinamične cene. Praktična uporaba tako razvitih energetskih digitalnih dvojčkov omogoča razvoj novih pristopov za aktivno upravljanje z energijo preko aktivne prilagoditve proizvodnih urnikov, kot je to prikazano na sliki 1. S tem je mogoče obravnavati probleme omejene razpoložljivosti virov energije, dinamično ceno energentov ter problematiko zmanjševanja tokovnih konic pri vzporednem delovanju več proizvodnih linij. Z iterativno optimizacijo in simulacijo različnih scenarijev je tako mogoče ovrednotiti in poiskati najbolj primeren proizvodni urnik glede na naročila ter energetske omejitve ali izboljšati interno upravljanje z energijo (npr. predhodno shranjevanje energije) [12–16].

Demonstrirani primer je sicer enostaven in služi predvsem za prikaz pristopa, a že na tej ravni omogoča vpogled v potencial tovrstnih modelov. Praktična vrednost bi se še bolj izrazito pokazala, če bi se ukvarjali z naslednjimi primeri: (i) s proizvodnjo z različnimi produkti na isti liniji, (ii) z več vzporednimi proizvodnimi linijami ali (iii) pri procesih z bolj izrazitimi energetskimi porabniki. V takšnih razmerah raziskave poročajo o možnih stroškovnih prihrankih od 2 do 20 % [14–16], kar kaže na znaten ekonomski potencial opisanega pristopa.

Drug način uporabe energetskih modelov proizvodnje pa predstavlja področje naprednega spremljanja proizvodnih operacij. Z vzporednim napovedovanjem pričakovane energetske porabe in primerjavo z dejansko izmerjeno porabo je mogoče v realnem času zaznavati odstopanja v času izvajanja posameznih operacij ali pa spremembe v njihovem energetskem odtisu.

Odpri raziskovalni podatki: Raziskovalni podatki, ki podpirajo ugotovitve tega članka, so odprto dostopni v repozitoriju Zenodo: <https://doi.org/10.5281/zenodo.19401806> [22]

Viri

[1] B. van Mathiesen, R. M. Johannsen, K. Kermeli, W. Crijns-Graus, H. Lund, I. Ridjan Skov, The green transition of industry – An introduction to IndustryPLAN, *Smart Energy*, Volume 11, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.segy.2023.100111>.

- [2] K. Luchkov, G. Chipriyanova, M. Chipriyanov, Industry 5.0 and Green Transition-Challenges and Opportunities for Business and Society. In: El Khatib, M., Alzoubi, H.M., Angelova, Y. (uredniki) *Sustainable Innovation for Engineering Management (SIEM)*, *Advances in Science, Technology & Innovation*. Springer, 2024, https://doi.org/10.1007/978-3-031-89889-1_1.
- [3] G. May, I. Barletta, B. Stahl, M. Taisch, Energy management in production: A novel method to develop key performance indicators for improving energy efficiency. *Applied Energy*, 149, 46–61, 2015, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.03.065>.
- [4] Y. Hu, Y. Man, Energy consumption and carbon emissions forecasting for industrial processes: Status, challenges and perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113405>.
- [5] O. Ogorodnyk, E. Sølvsberg, R. Eleftheriadis, Digital Twin and Demand Response – Sustainable Tools for Quality and Energy Consumption Optimization in Manufacturing, *Procedia CIRP*, Volume 138, 2026, <https://doi.org/10.1016/j.procir.2026.01.152>.
- [6] K. Biel, C. H. Glock, Systematic literature review of decision support models for energy-efficient production planning, *Computers & Industrial Engineering*, 2016, Volume 101, <https://doi.org/10.1016/j.cie.2016.08.021>.
- [7] A. Billey, T. Wuest, Energy digital Twins in smart manufacturing Systems: A literature review, *Manufacturing Letters*, 2023, Volume 35, <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2023.08.047>.
- [8] M. Glavan, D. Gradišar, S. Invitto, I. Humar, Đ. Juričić, C. Pianese, D. Vrančić, Cost optimisation of supermarket refrigeration system with hybrid model, *Applied thermal engineering*, 2016, vol. 103, 10.1016/j.applthermaleng.2016.03.177.
- [9] M. Rutnik, B. Pregelj, D. J. Jovan, G. Dolanc, Modelling, optimization and control of hydrogen-based power supply system for residential buildings. *Energy conversion and management*, 2026, vol. 355, 10.1016/j.enconman.2026.121244.
- [10] D. Gradišar, M. Glavan, G. Kmet, Napovedovanje energetske porabe proizvodnih procesov s pomočjo podatkovne analitike. V: MUŠKINJA, Nenad (ur.), ROTOVNIK, Milan (ur.), BRATINA, Božidar (ur.). *Zbornik štirinajste konference Avtomatizacija v industriji in gospodarstvu: 3. april 2025 Maribor, Slovenija*. Ljubljana: Društvo avtomatikov Slovenije, str. 14–21, 2025, https://aig.si/25/zbornik/clanki/Gradisar_Dejan.pdf.
- [11] M. Brillinger, M. Wuwer, M. Hadi, F. Haas, Energy prediction for CNC machining with machine learning. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2021.07.014>.
- [12] Sun, M., Cai, Z., Yang, C. et al. Digital twin for energy-efficient integrated process planning and scheduling. *Int J Adv Manuf Technol* 127, 3819–3837 (2023). <https://doi.org/10.1007/s00170-023-11755-w>
- [13] Shao, Z., Li, W., Tan, Y., & Otto, K. (2024). A systematic energy-aware scheduling framework for manufacturing factories integrated with renewables. *International Journal of Production Research*, 62, 7644 – 7659. <https://doi.org/10.1080/00207543.2024.2323067>.
- [14] Yu-Chung Tsao, Vo-Van Thanh, Feng-Jang Hwang, Energy-efficient single-machine scheduling problem with

- controllable job processing times under differential electricity pricing, *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 161, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104902>.
- [15] X. Gong, T. De Pessemer, W. Joseph and L. Martens, "A power data driven energy-cost-aware production scheduling method for sustainable manufacturing at the unit process level," 2016 IEEE 21st International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), Berlin, Germany, 2016, pp. 1–8, doi: 10.1109/ETFA.2016.7733716.
- [16] Dominik Leherbauer, Julia Schulz, Alexander Egyed, Peter Hehenberger, Demand-side management in less energy-intensive industries: A systematic mapping study, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 212, 2025, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.115315>.
- [17] DIGITOP, Digitalna transformacija robotiziranih tovarnih prihodnosti, 2026, <https://digitop.info/>.
- [18] Ž. Stržinar, I. Škrjanc, B. Pregelj, Evolving interval-based time series clustering for streaming industrial data, *Evolving systems*, vol. 16, article no. 82, str. 1–17, 2025, 10.1007/s12530-025-09713-w.
- [19] B. Falko, P. S. Kritzinger, *Stochastic Petri Nets – An Introduction to the Theory*, 2. izdaja, Braunschweig, Germany: Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft, 2002.
- [20] D. Gradišar, G. Mušič. Production-process modelling based on production-management data: a Petri-net approach. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 20(8), 794–810, 2007. <https://doi.org/10.1080/09511920601103064>
- [21] J. Friederich, A. Khodadadi, S. Lazarova Molnar, PySPN: a Python library for stochastic Petri net modeling, simulation, and event log generation. *SIMULATION*, 102(1): 59–73, 2026, <https://doi.org/10.1177/00375497251343625>.
- [22] M. Glavan, D. Gradišar, R. Struna, V. Longar, "Energy consumption dataset from LabTOP production line". Zenodo, Apr. 03, 2026. doi: 10.5281/zenodo.19401806.

Development of Energy-Consumption Digital Twins for a Discrete Production Lines

Abstract:

The paper addresses the development of energy digital twins for discrete manufacturing processes with the aim of improving energy consumption management. Due to increasing price volatility of energy sources and the demands of the green transition, accurate energy consumption forecasting is becoming crucial for maintaining companies' competitiveness. A data-driven approach is presented that combines discrete-event modelling of the production process with a statistical description of repeatable energy consumption profiles of individual operations. First, consumption prototypes for individual operations are identified based on measurements, and then the production flow is modelled using stochastic Petri nets. By applying Monte Carlo simulations, it is possible to predict total energy consumption and evaluate its variability. The approach was demonstrated on the LabTop demonstration production line, where the results show a good match between predicted and actual energy consumption. The developed model enables time-dependent forecasting of consumption for different production plans and supports the optimization of production scheduling. Energy digital twins thus represent an important tool for reducing peak loads, improving energy efficiency, detecting anomalies, and supporting sustainable and adaptive management of industrial processes.

Keywords:

energy digital twin, production processes, discrete manufacturing, energy consumption forecasting, discrete-event modelling, stochastic Petri nets, Monte Carlo simulation, energy management, production optimization, industrial energy systems

Zahvala

Delo je bilo izvedeno v sklopu nacionalnega raziskovalnega programa Sistemi in vodenje (P2-0001), ki ga financira ARIS, ter projekta DIGITOP (TN-06-0106), ki ga sofinancirata Republika Slovenija, Ministrstvo za visoko šolstvo znanost in inovacije, Javna agencija za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije ter Evropska unija – NextGenerationEU.

POSVET

AVTOMATIZACIJA STREGE IN MONTAŽE 2026 - ASM '26

03. decembra 2026
na Gospodarski zbornici Slovenije v Ljubljani



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

Strojno učenje in umetna inteligenca v pametnih izdelovalnih sistemih

Denis Jankovič, Miha Pipan, Niko Herakovič

Izvleček:

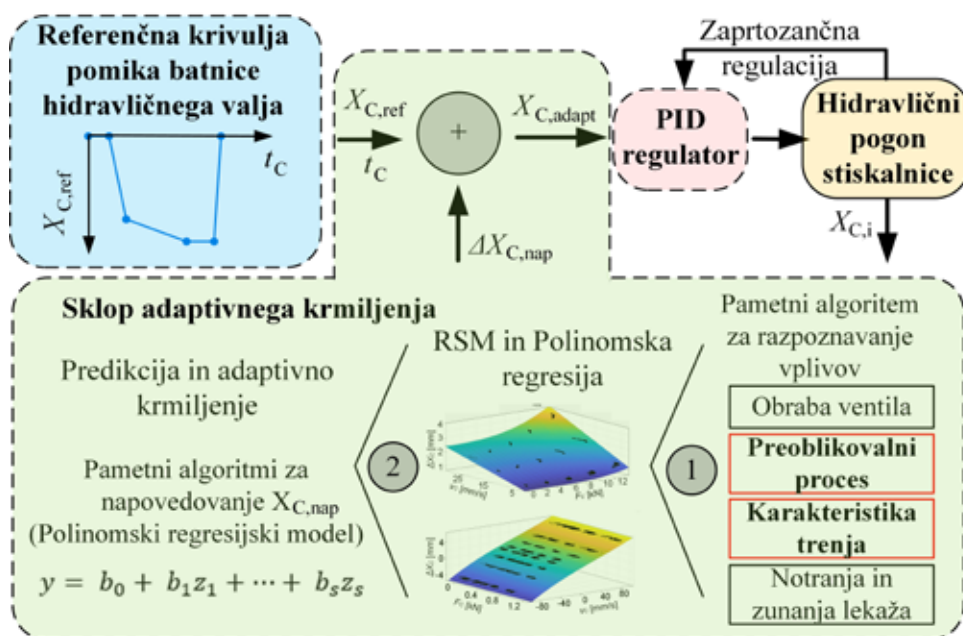
Umetna inteligenca (UI) in strojno učenje vse bolj poganjata razvoj sodobnih izdelovalnih sistemov, pri katerih je zanesljivo delovanje neposredno povezano z natančnim poznavanjem trenutnega stanja strojev. V prispevku je predstavljena praktična uporaba teh pristopov na primeru hidravlične stiskalnice pri upogibanja pločevine. Na osnovi tega primera je bil razvit napredni krmilni sistem, ki združuje zajem procesnih podatkov v realnem času in uporabo regresijskih modelov za spremljanje obratovalnih parametrov stiskalnice v različnih delovnih režimih. Eksperimentalni del je bil zasnovan tako, da obsega širok spekter scenarijev z variabilnimi obremenitvami, hitrostmi hidravličnega valja ter nadzorovano simulacijo trenja v vodilih valja. Z uporabo petih ključnih procesnih parametrov je bila izvedena primerjalna analiza več pristopov strojnega učenja, pri čemer so linearna regresija, metoda podpornih vektorjev in Gaussovo regresijsko modeliranje imeli najvišjo natančnost napovedi ($R^2 > 0,99$). Rezultati so pokazali, da enostavnejši modeli omogočajo hitrejšo učenje in učinkovitejše napovedovanje. Razviti pristop omogoča sprotno zaznavanje odstopanj v delovanju, zmanjšanje napake odziva hidravličnega valja do 95 % ter predstavlja osnovo za uvedbo adaptivnega krmiljenja v realnem času.

Ključne besede:

umetna inteligenca, strojno učenje, hidravlični sistem, ekspertni sistem, digitalni dvojček

1 Uvod

V zadnjem desetletju je mogoče opaziti premik industrije v smeri prehoda na podatkovno podprte, inteligentne in adaptivne sisteme. Medtem ko je koncept industrije 4.0 usmerjen predvsem v digitalizacijo, avtomatizacijo in integracijo naprav v internet stvari, koncept industrije 5.0 uveljavlja bolj tesno sodelovanje med človekom in strojem, visoko stopnjo personalizacije ter trajnostni pristop k proizvodnim procesom. Poglavitna naloga sodobnih izdelovalnih sistemov tako postaja sposobnost nadzornih sistemov po natančnem razumevanju stanja procesov in strojev, kar je ključnega pomena za robustno delovanje, prediktivno vzdrževanje, dolgoročno zanesljivost in nenazadnje čim višjo kvaliteto izdelkov. To lahko dosežemo z integracijo ekspertnih sistemov (slika 1). Hi-



Primer ekspertnega sistema za krmiljenje hidravlične stiskalnice [1]

1

dravlične stiskalnice predstavljajo enega izmed sistemov, ki združujejo nelinearne dinamike, kompleksne interakcije med komponentami ter občutljivost na zunanje motnje, kot so trenje, dinamične obremenitve in variabilnost procesa preoblikovanja. Raziskovalci so v predhodnih raziskavah ugotovili, da tradicionalni regulacijski pristopi, zasnovani na PID-krmiljenju, pogosto ne zmorejo kompenzirati hitrih prehodnih pojavov, materialnih nelinearnosti in sprememb triboloških lastnosti, kar vodi do opazne napake položaja oziroma odziva hidravličnega valja ΔX_c [1].

Dr. Denis Jankovič, mag., doc. dr. Miha Pipan, univ. dipl. inž., prof. dr. Niko Herakovič, univ. dipl. inž., vsi Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo

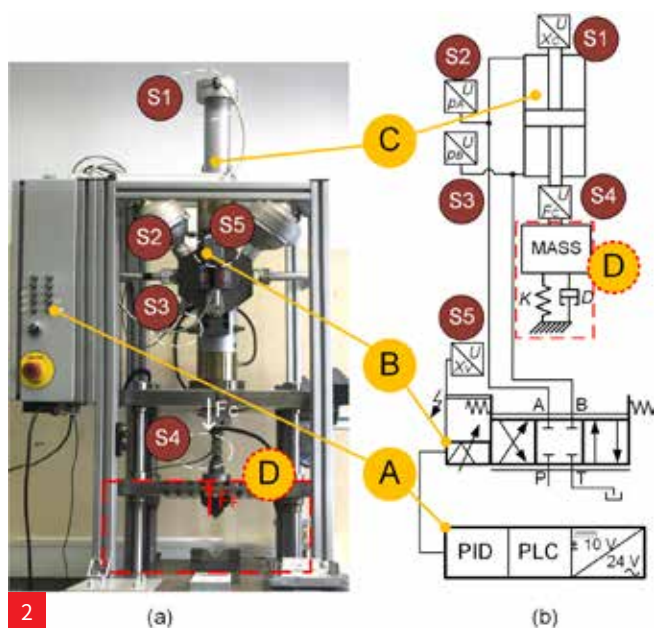
© The Authors 2026. CC-BY 4.0
<https://doi.org/10.5545/Ventil-32-2026-2.21>

V sklopu naše raziskave smo razvili celovit podatkovno gnan pristop, ki združuje pridobivanje podatkov iz realnega sistema, njihovo časovno in statistično obdelavo ter uporabo regresijskih modelov strojnega učenja za napoved napake odziva valja v različnih delovnih pogojih. Osrednji cilj je bil natančno opisati odnos med petimi ključnimi vhodnimi veličinami (razlika tlakov v komori hidravličnega valja Δp , pritiski sili hidravličnega valja F_c , pomiku krmilnega drsnika hidravličnega venila X_v , hitrosti gibanja batnice hidravličnega valja v_c , odstopanje med referenčno in izmerjeno vrednostjo pomika batnice hidravličnega valja ΔX_c) ter odzivom hidravličnega sistema. Posebej nas je zanimalo, v kolikšni meri so kompleksnejši modeli (kot je Gaussovo regresijsko modeliranje) boljši od enostavnejših modelov, kot so linearna regresija ali metoda podpornih vektorjev, ter kako se razmerje med natančnostjo in časom učenja odraža pri praktični uporabi v realnem sistemu.

2 Eksperimentalno okolje

Hidravlična stiskalnica je kot mehatronski sistem, ki združuje hidravlične, mehanske, senzorske in krmilne elemente, kot je prikazano na *sliki 2*. Preizkuševališče je razdeljeno na štiri glavna vozlišča. Vozlišče A predstavlja krmilno enoto, ki vključuje PID-krmilnik, MOOG-servoojačevalnik G122-829A, krmilnik Beckhoff CX 9020, pripadajoče Beckhoff module ter napajalnik. Vozlišče B predstavlja proporcionalni hidravlični ventil MOOG D663, ki je neposredno krmiljen z linearnim pogonskim motorjem s permanentnim magnetom in omogoča pretok olja 5 l/min pri tlačnem padcu 70 bar. Vozlišče C obsega hidravlični valj Hanchen s premerom bata 30 mm in premerom ohišja 45 mm, opremljen z integriranim vodilnim sistemom Servoseal ter z nazivnim delovnim tlakom 200 bar. Vozlišče D predstavlja mehanski sistem, ki vključuje upogibno orodje in konstrukciji okvir hidravlične stiskalnice.

Sistem je opremljen z merilniki tlaka v obeh valjnih komorah, merilnikom sile, LVDT-senzorjem ventilske odprtosti ter merilnikom pomika valja. Vsi merilni podatki se zajemajo s frekven-



2 Hidravlična stiskalnica s štirimi vozlišči [2]

co 100 Hz preko Beckhoff krmilnika, kar omogoča visoko časovno ločljivost izmerjenih vrednosti.

Proces oblikovanja pločevine poteka v štirih fazah, ki imajo različen vpliv na dinamiko hidravličnega pogona. Najprej valj med hitrim približevalnim gibom doseže delovno območje z visoko hitrostjo. V fazi upogibanja pride do prehoda preoblikovanega preizkušanca iz elastičnega v plastično območje deformacije, kar povzroči hiter porast sile ter izrazito spremembo tlakov v zgornji in spodnji komori hidravličnega valja. Faza zadrževanja predstavlja stabilno, kvazistacionarno stanje, medtem ko zadnja faza (hitri povratni gib) ponovno obremeni ventil in povzroča hitre prehodne pojave. V raziskavi smo sistematično spreminjali intenziteto sile preoblikovanja, hitrost valja ter pogoje trenja preoblikovalnega procesa. Stopnjo obremenjenosti stiskalnice smo prilagajali z intenziteto preoblikovanja, in sicer smo s širino preizkušancev (10–40 mm) generirali preoblikovalne sile med 3,2 kN in 13 kN. Hitrost valja smo spreminjali med 5 in 90 mm/s. Stribeckovo trenje smo simulirali s sistemom škripčevja z dodatnim uporom, generiranim prek škripčnega mehanizma, ki omogoča natančno posnemanje trenja med vodili valja in konstrukcijo stiskalnice, skladno z ugotovitvami iz preteklih raziskav, objavljenih v prispisku [2].

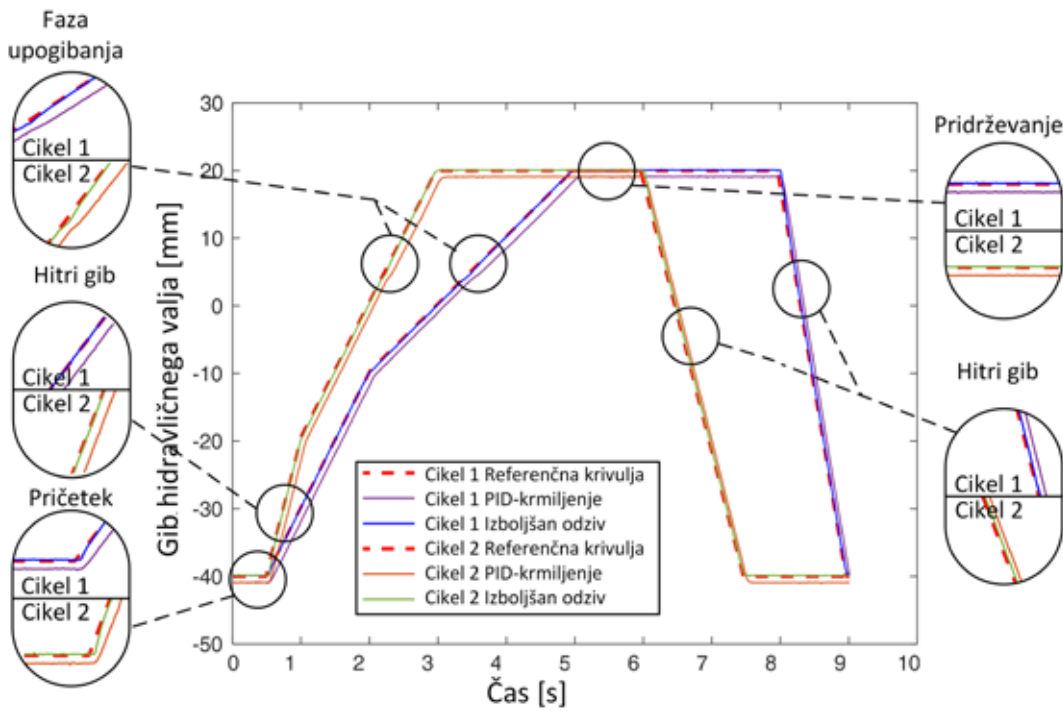
3 Priprava in analiza podatkov

Za pripravo in kasnejšo obdelavo podatkov smo uporabili holistični merilni sistem HSFS (angl. *Holistic Sensing Framework System*), ki omogoča združevanje meritev različnih senzorjev in veličin v uniformno podatkovno strukturo [1]. Podatki vključujejo hidravlični pomik, hitrost, tlak, odprtost ventila in silo, potrebno za preoblikovanje, kar omogoča poglobljeno analizo vzrokov in posledic, kot je predstavljeno na *sliki 3*. Po zajemu podatkov smo izvedli okensko razdelitev časovnih nizov, kjer smo izločili nestabilne prehodne intervale, zlasti ob kontaktnem udarcu med orodjem in pločevino. S tem smo zagotovili, da regresijski modeli učijo predvsem stabilna območja, v katerih imajo za nas podatki največ informacij o realnem stanju komponente.

Normalizacija podatkov med vrednostjo 0 in 1 je bila ključna za izenačitev vpliva posameznih veličin, saj imajo sile, tlaki in pomiki različne velikostne faktorje in vplive, kar bi povzročilo neuravnoteženo učenje modelov. Celoten nabor baze podatkov obsega približno 300.000 podatkovnih točk, razdeljenih med eksperimentalne in simulacijske sete podatkov. Simulacijski podatkovni seti so namenjeni za validacijo podobnosti med matematičnim modelom in realnim sistemom, kar je skladno s pristopom simulacijsko podprtega učenja, predstavljenega v članku Jankovič et al. (2024) [1].

4 Regresijski modeli in metodologija strojnega učenja

Za napoved napake odziva valja ΔX_c smo uporabili pet tipov regresijskih modelov: linearna regresija, metoda podpornih vektorjev, Gaussovo regresijsko modeliranje, odločitvena drevesa in nevronske mreže. Vsak od modelov uporablja iste vhodne spremenljivke, razporejene v petnajst različnih kombi-



4

Področja opazovanja za verifikacijo ekspertnega sistema

Na *sliki 4* sta predstavljena preoblikovalna cikla 1 in 2, kjer so upoštevani različni pogoji (hitrosti gibanja hidravličnega valja, povečanje napake pomika hidravličnega valja ΔX_c in intenzitete preoblikovalnega procesa). Iz obeh ciklov je razvidno večje odstopanje med odzivom hidravličnega pogona z vključenim PID-krmiljenjem od referenčne (pričakovane) vrednosti v primerjavi z izboljšanim odzivom, kjer je odstopanje napake odziva hidravličnega valja ΔX_c znatno manjše. Predstavljeni rezultati izboljšane odziva prikazujejo učinkovitost uporabe ekspertnega sistema, v katerem je integriran model napovedovanja na konceptu linearne regresije sposoben adaptivno izboljšati napako odziva

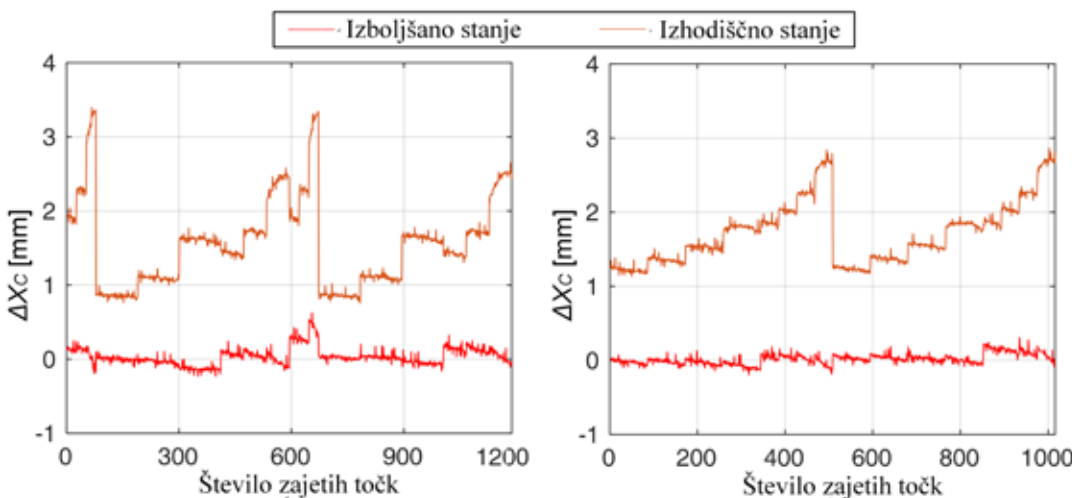
Rezultati potrjujejo, da lahko uporaba umetne inteligence pomembno izboljša robustnost, odzivnost in natančnost hidravličnih stiskalnic. Na *sliki 5* je prikazan odziv hidravličnega pogona pri adaptivnem krmiljenju, ki temelji na regresijskem modelu po metodi linearne regresije, vključenem v ekspertni sistem. Model v realnem času napoveduje napako odziva hi-

dravličnega valja ΔX_c in na tej osnovi v zaprtostančni optimizaciji prilagaja krmilni signal hidravličnega ventila.

V fazi upogibanja se maksimalna napaka pomika hidravličnega valja ΔX_c zmanjša s 3,3 mm na manj kot 0,2 mm, kar predstavlja zmanjšanje napake v povprečju za 94 %. Podobno zmanjšanje napake je doseženo tudi v fazi zadrževanja in fazi hitrih gibov. *Slika 5* tako predstavlja eksperimentalno potrditev učinkovitosti linearne regresijskega modela v adaptivni krmilni zanki v realnem času trajanja eksperimenta.

6 Razprava

Podatkovno gnani pristopi in UI omogočajo natančnejše zaznavanje subtilnih sprememb trenja, variabilnosti sile preoblikovanja ter ventilnih karakteristik, kar je pri uporabi klasičnega PID-krmiljenja težko izvedljivo, saj tradicionalni regulatorji temeljijo na linearnem odzivu in ne zaznajo zgodnjih odsto-



5

Rezultati adaptivnega krmiljenja v realnem času

panj v nelinearnem obnašanju sistema. Uporaba naprednih regresijskih modelov omogoča, da so ti vplivi prepoznani in uspešno korigirani že v začetnih fazah, ko so odstopanja še majhna in običajno neopazna.

Posebej pomembna je tudi ugotovitev, da uporaba metod umetne inteligence in strojnega učenja omogoča bistveno zmanjšanje napake odziva hidravličnega valja v realnem času. Pri integraciji izbranih modelov v simulacijsko-krmilno zanko smo napako odziva hidravličnega pogona stiskalnice ΔX_c zmanjšali za do 95 %, kar potrjujejo rezultati v fazi upogibanja, fazi zadrževanja in fazi hitrih gibov [1].

Razvoj digitalnega dvojčka, ki temelji na Gaussovem regresijskem modeliranju ali metodi podpornih vektorjev, dodatno razširi možnosti spremljanja, saj omogoča sprotno primerjavo referenčnih in dejanskih gibov valja ter identifikacijo odstopanj, ki so lahko zgodnji znak degradacije komponent ali bližajoče se napake. Digitalni dvojček lahko z visoko stopnjo zanesljivosti nakaže verjetnost prihodnjih odstopanj, kar omogoča boljše odločanje pri prediktivnem vzdrževanju in zmanjša potrebo po reakcijskem popraviljanju. S tem UI ne izboljšuje le trenutne regulacije, temveč vzpostavlja temelj za dolgoročno stabilnost in izboljšavo delovanja hidravličnih stiskalnic.

7 Zaključek

Z raziskavo smo potrdili, da sta umetna inteligenca in strojno učenje osrednja tehnološka temelja pametnih izdelovalnih sistemov. V kontekstu hidravličnih stiskalnic, kjer delujejo nelinearne dinamike, hitro spreminjajoče se obremenitve in izraziti tribološki vplivi, UI omogoča bistveno boljše razumevanje stanja sistema kot tradicionalne regulacijske metode. S pomočjo podatkovno gnanih regresijskih modelov je mogoče natančno napovedati odziv valja, zaznavati odstopanja in izboljšati pri-

lagodljivost procesa. Dosežene izboljšave, ki presegajo 90 % zmanjšanja napake odziva v primerjavi s klasičnimi krmilnimi pristopi, potrjujejo, da UI ne deluje zgolj kot dopolnilo, temveč se uporablja za zagotavljanje natančnega napovedovanja in stabilnosti hidravličnih procesov.

Integracija strojnega učenja z digitalnimi dvojčki, naprednimi senzorji in sodobnimi komunikacijskimi tehnologijami odpira pot avtonomnim sistemom, ki so se sposobni učiti iz podatkov, predvidevati motnje ter izboljševati svoje delovanje v realnem času. Takšni sistemi predstavljajo jedro koncepta industrije 4.0 in 5.0, kjer postajajo inteligentno odločanje, robustnost in trajnost ključni elementi konkurenčnosti.

Tako lahko zaključimo, da UI pospešuje razvoj pametnih izdelovalnih sistemov in tudi preoblikuje način, kako ti sistemi delujejo, se nadzirajo in odzivajo na spremembe. S tem postavlja temelje za nove generacije proizvodnje, kjer avtonomija, natančnost in podatkovna podprtost postanejo standard sodobnega industrijskega okolja.

Viri in literatura

- [1] Jankovič, D., Šimic, M., Herakovič, N. (2024). A data-driven simulation and Gaussian process regression model for hydraulic press condition diagnosis. *Advanced Engineering Informatics*.
- [2] Jankovič, D., Šimic, M., Herakovič, N. (2023). Cause-and-effect analysis and simulation-based learning in hydraulic systems. *Elsevier dataset excerpts*.
- [3] Jankovič, D., Šimic, M., Herakovič, N. (2024). A comparative study of machine learning regression models for production systems condition monitoring. *Advances in Production Engineering & Management* 19(1), 78–92.

Machine Learning and Artificial Intelligence in Smart Manufacturing Systems

Abstract:

Artificial intelligence and machine learning are increasingly shaping the development of modern smart manufacturing systems, where reliable and efficient operation is strongly dependent on accurate awareness of machine states and process conditions. In this paper, the practical applicability of data-driven methods is demonstrated through a representative case study of a hydraulic press used in sheet metal bending operations. Based on this system, a comprehensive monitoring and analysis framework was developed, combining systematic process data acquisition with regression-based machine learning models to enable advanced insight into press behavior under diverse operating regimes.

The experimental investigation covers a wide range of scenarios, including varying forming forces, hydraulic cylinder velocities, and controlled simulation of friction effects in the cylinder guide system. Five key process parameters were identified as dominant inputs and used for a comparative evaluation of several regression approaches. The results show that linear regression, Support Vector Machines, and Gaussian Process Regression achieve superior predictive performance, with coefficients of determination exceeding $R^2 = 0,99$ across all evaluated operating phases. At the same time, the analysis confirms that simpler models offer significant advantages in terms of training time and computational efficiency, which is particularly important for real-time industrial applications.

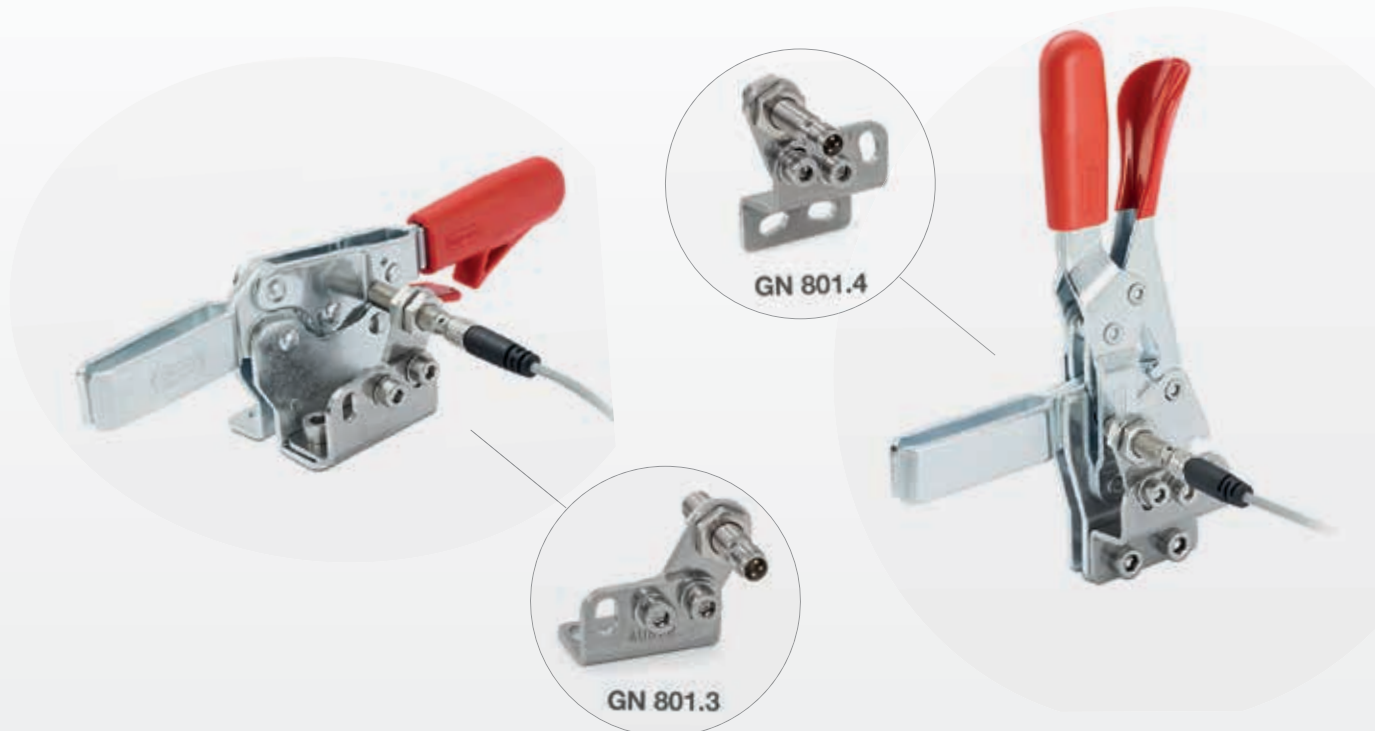
The proposed approach enables continuous detection of operational deviations, achieves up to a 95% reduction in hydraulic cylinder response error, and establishes a solid foundation for real-time adaptive control strategies. By integrating machine learning models into the control and monitoring architecture, the presented methodology contributes to increased robustness, responsiveness, and transparency of hydraulic forming systems. As such, it supports the development of intelligent, data-driven manufacturing solutions aligned with the principles and objectives of Industry 4.0 and Industry 5.0.

Keywords:

Artificial intelligence, Machine learning, Hydraulic systems, Expert systems, Digital twin

Natančna pritrnitev in zanesljivi podatki

pametno, preprosto, varno



Držala senzorjev GN 801.3 in GN 801.4 iz podjetja Elesa+Ganter omogočajo preprosto in varno nadziranje položaja vpenjanja hitrih vpenjalnikov. Ne potrebujejo dodatnih izvrtin in jih je mogoče hitro namestiti na obeh straneh, tako vodoravno kot navpično. Držala senzorjev so združljiva s senzorji s standardnim navojem M8 in so na voljo tudi kot celovita enota, vključno s senzorjem. Takoj ko hitri vpenjalnik doseže končni vpenjalni položaj, je to prikazano z visokim signalom in diodo LED. Tako je zagotovljena varna pritrnitev, zanesljivost procesa v avtomatiziranem okolju pa se izboljša.



oglejte si videoposnetek



ELESA + GANTER je internacionalno skupno podjetje, ustanovljeno z namenom ponudbe najširše palete standardnih strojnih elementov za industrijo. Izredno zanesljivi izdelki, edinstvenega dizajna predstavljajo kodeks kakovosti ELESA + GANTER.

Pomembnost uporabe naprednih lastnosti tekočin v tokovnih simulacijah hidrostatičnih strojev - 1. del

Anže Čelik

Izvleček:

Hidrostatični stroji so naprave, ki prenašajo energijo s pomočjo tlaka tekočine, najpogosteje olja ali vode. Delujejo na principu hidrostatike (Pascalov zakon).

Simulacija takšnih strojev še vedno zahteva visoko usposobljene inženirje, uporabo naprednih simulacijskih orodij in napreden simulacijski pristop kljub razpoložljivosti sodobnih simulacijskih orodij z dobro prilagojenim grafičnim uporabniškim vmesnikom in numeričnimi tehnikami.

Prispevek predstavlja dejavnosti in napredek pri simulaciji aksialne batne črpalke. Čeprav te stroje podjetje Poclain načrtuje in proizvaja že desetletja, še vedno obstajajo področja, ki niso podrobno raziskana.

Napredek pri simulaciji se nanaša predvsem na uporabo zapletenega kinematičnega gibanja strojnih delov, naprednih fizikalnih lastnosti tekočin in tudi tehnik mreženja ter numeričnih algoritmov.

V tem članku se osredotočeno na modeliranje naprednih lastnosti tekočin (stisljivost, kavitacija). Numerični pristop je izveden s pomočjo računalniške dinamike tekočin (CFD) v okolju Siemens Simcenter Star-CCM+. Napovedovanje kavitacije je možno z implementacijo obstoječega »polnega modela kavitacije«.

Ključne besede:

hidravlični radialni batni motor, hidravlična aksialna batna črpalka, CFD-simulacija, kavitacija, batna komora, nagibna plošča

1 Uvod

Hidrostatični stroji prenašajo energijo s pomočjo tlaka tekočine, najpogosteje olja ali vode (pri čemer tekočina miruje ali pa se premika relativno počasi). Delujejo na principu hidrostati-ke, kjer se največkrat predpostavlja nestisljivost tekočine, zato lahko takšen stroj učinkovito (tj. brez večjih izgub) pretvarja hidravlično energijo v mehansko energijo.

Hidrostatični stroji temeljijo na Pascalovem zakonu: tlak, ki deluje na tekočino v zaprtem sistemu, se prenaša enakomerno v vse smeri. To pomeni, da se lahko z majhno silo na manjši površini ustvari velika sila na večji površini.

Tipični predstavniki hidrostatičnih naprav so hidravlična črpal-ka (slika 1 – levo), hidravlični motor, hidravlični cilinder, hi-dravlična stiskalnica, zavorni sistem v avtomobilu idr.



1

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



© The Authors 2026. CC-BY 4.0

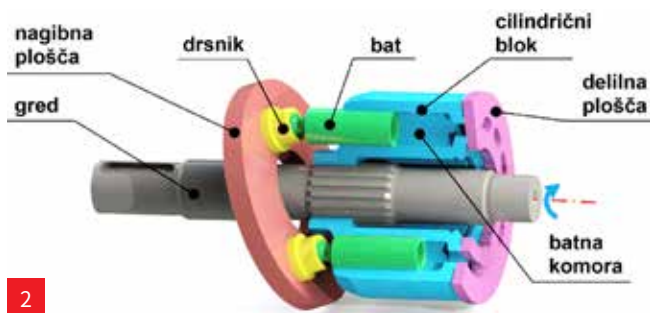
<https://doi.org/10.5545/Ventil-32-2026-2.22>

Primer hidrostatične naprave (levo – hidravlična črpalka) in hidrodinamične naprave (desno – vodna turbina) [1 Vir: Poclain]

Za primerjavo: *hidrodinamični stroji* so naprave, ki prenašajo energijo med tekočino (najpogosteje vodo ali oljem) in mehanskimi deli – običajno z vrtenjem. Temeljijo na gibanju tekočine in spremembi njenega impulza ali hitrosti. Tipični predstavniki hidrodinamičnih naprav so vodne turbine (*slika 1* – desno), hidrodinamične črpalke, hidrodinamične sklopke idr.

1.1 Aksialna batna črpalka

Aksialna batna črpalka je vrsta hidrostatičnega stroja, ki uporablja niz batov, razporejenih v obodni smeri znotraj cilindričnega bloka (ali rotorja, *slika 2*). Ti bati se premikajo v smeri, vzporedni z osjo vrtenja cilindričnega bloka. Aksialna batna črpalka obstaja kot črpalka s konstantno (konstantnim pretokom) ali s spremenljivo iztisinino (naklonski kot nagibne plošče se lahko spreminja, s čimer se spreminja gib batov in s tem prilagaja pretok).

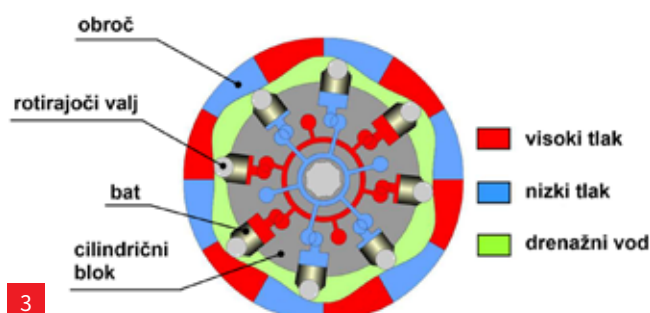


Rotirajoči sestavni deli aksialne batne črpalke [4]

1.2 Hidravlični radialni batni motor

Hidravlični radialni batni motor (*slika 3*) je vrsta hidrostatičnega stroja, ki pretvarja energijo tekočine pod tlakom (hidravlično energijo) v vrtenje (mehansko energijo). Deluje podobno kot radialni batni motor z notranjim zgorevanjem, le da namesto eksplozije goriva bate poganja hidravlično olje pod tlakom.

Naprava je sestavljena iz batov, ki so razporejeni krožno (radialno) okrog rotirajoče osi, cilindričnega bloka (ali rotorja), ohišja, obroča s posebno obliko drsne površine (angl. *cam*), ležajne enote, gredi in usmerjevalnika toka (angl. *valving*) [7].



Sestavni deli radialnega batnega motorja [7 Vir: Poclain]

2 Fizikalne lastnosti tekočine

Hidrostatični stroji so kompleksni izdelki – ne le z vidika komponent, temveč tudi z vidika fizike. V takšnih strojih se pojavlja več različnih fizikalnih pojavov: od mehanike trdnih snovi (npr. napetosti v materialu, tribologija, trdota in trdnost materialov ...) do mehanike tekočin (npr. lastnosti tekočin, turbulenca, kavitacija ...) in drugih.

Vključevanje teh pojavov v fizikalne modele pomeni združiti znanje z različnih fizikalnih področij.

Za potrebe te raziskave je v nadaljevanju predstavljen eden od zahtevnejših fizikalnih pojavov – pojav kavitacije.

2.1 Splošno o kavitaciji

Kavitacija je pojav, pri katerem se v tekočini (npr. v vodi) zaradi padca tlaka začnejo tvoriti majhni mehurčki pare ali plina. Ko se tlak ponovno poveča, se mehurčki nenadoma sesedejo (kolapsirajo oz. implodirajo), pri čemer se sprosti veliko energije (*slika 4*) [6].

Ključna ideja: kavitacija ni posledica temperature, ampak tlaka.



Kavitacija kot posledica lokalnega znižanja tlaka [9]

Obstajata dve glavni vrsti (hidrodinamične) kavitacije: parna in plinska. Parna kavitacija je proces, pri katerem mehurček raste zaradi pretvarjanja tekočine v paro; ta pojav nastopi, ko lokalni tlak pade pod uparjalni tlak tekočine.

Plinska kavitacija pa je difuzijski proces, ki nastopi, kadar lokalni tlak pade pod nasičeni tlak nekondenzirajočega plina, raztopljenega v tekočini.

Fizikalni model kavitacijskega mehurčka

Tipični fizikalni model za posamezen (kavitacijski) mehurček je prikazan na *sliki 5*.



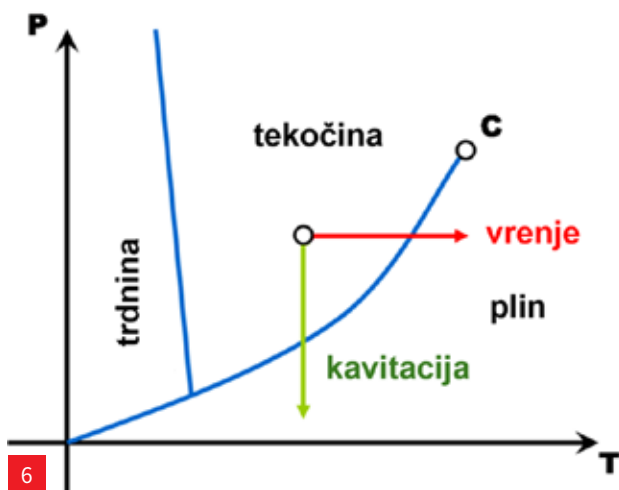
Kolaps posameznega kavitacijskega mehurčka [14]

V večini primerov je kavitacija nezaželen pojav, saj povzroča znatno poslabšanje zmogljivosti (npr. zmanjšuje masni pretok, znižuje efektivno sesalno višino v črpalkah, povzroča asimetrijo obremenitev, vibracije in hrup). Kavitacija povzroča tudi fizične/mehanske poškodbe naprave zaradi udarcev mehurčkov ob površine (skrajno desna faza na *sliki 5*), kar lahko sčasoma vpliva na (ne)uporabnost naprave ali stroja.

Kavitacija je zelo kompleksen pojav in njegove podrobnosti so še vedno predmet intenzivnih raziskav. V zadnjem desetletju je bil dosežen velik napredek pri razumevanju kolapsa posameznega kavitacijskega mehurčka (predvsem zaradi naprednih in poglobljenih vizualnih preiskav) [10], [11], [12], [13].

2.2 Razlika med vrenjem in kavitacijo

Vrenje je fazni prehod pri konstantnem tlaku in spremenljivi temperaturi; kavitacija pa je nasprotno fazni prehod pri konstantni temperaturi in spremenljivem tlaku (*slika 6*).



Razlika med vrenjem in kavitacijo (Vir: Poclairn)

V osnovi sta tako kavitacija kot vrenje procesa izparevanja in kondenzacije med tekočo in plinasto fazo. Vendar pa so mehanizmi, ki sprožijo fazne spremembe, različni. Kavitacija je pretežno posledica mehanskih učinkov, torej nenadnih sprememb tlaka v tekočinskih sistemih. Vrenje pa je posledica toplotnih učinkov, ki zvišajo tlak uparjanja tekočine nad njen lokalni okoliški tlak, kar povzroči prehod iz tekoče v plinasto fazo [5].

3 Zaključek

Hidrostatični stroji se široko uporabljajo na različnih inženirskih področjih. Takšni stroji pogosto delujejo v zahtevnem okolju in ekstremnih pogojih. Podrobno razumevanje njihovega delovanja je ključno za ustrezno (robustno) načrtovanje, napoved življenjske dobe in nenazadnje za zadovoljstvo uporabnikov.

Načrtovanje, podprto s simulacijami, lahko bistveno skrajša razvojni cikel (zmanjša število iteracij), zmanjša potrebo po

eksperimentalnih raziskavah in pospeši čas prihoda na trg. Vendar pa simulacije takšnih strojev zahtevajo napredno znanje numeričnega modeliranja. Čeprav so ti stroji na trgu že desetletja, še vedno obstaja pomanjkanje njihovega poglobljenega razumevanja.

V nadaljevanju te študije (prispevek v naslednji številki te revije) bo uporabljen numerični pristop s pomočjo računske dinamike tekočin (CFD) v okolju Siemens Simcenter Star-CCM+. Kavitacija bo vključena v programsko kodo z namenom ocene potencialnih območij kavitacije.

Viri in literatura

- [1] Have.com: Displacement machine (displacement unit). Dostopano 20. 3. 2026, <https://www.hawe.com/fluid-lexicon/displacement-machine-displacement-unit/>.
- [2] Have.com: Positive displacement principle. Dostopano 16. 3. 2026, <https://www.hawe.com/fluid-lexicon/positive-displacement-principle/>.
- [3] Slideshare: Positive displacement machines. Dostopano 16. 3. 2026, <https://www.slideshare.net/slideshow/positive-displacement-machines/54614510#1>.
- [4] Researchgate.net: Typical structure of axial piston pump. Dostopano 18. 3. 2026, https://www.researchgate.net/figure/Typical-structure-of-axial-piston-pump_fig1_333125657.
- [5] Ptc.com: Physics of cavitation. Dostopano 17. 3. 2026, https://support.ptc.com/help/creo/creo_pma/r11.0/usascii/index.html#page/simulate/cfd/Physics_5.html#.
- [6] Ptc.com: Cavitation-Introduction. Dostopano 20. 3. 2026, https://support.ptc.com/help/creo/creo_pma/r11.0/usascii/index.html#page/simulate/cfd/Introduction_7.html#.
- [7] Youtube: Poclairn Hydraulics Motor Technology. Dostopano 19. 3. 2026, <https://www.youtube.com/watch?v=G5qd-HxNuNM>.
- [8] ChatGPT: različne poizvedbe. Dostopano 20. 3. 2026, <https://chatgpt.com/>.
- [9] Tribonet.org: Cavitation: 2026 Key Advantages for Mass Transfer and Surface Treatment. Dostopano 16. 3. 2026, <https://www.tribonet.org/wiki/cavitation/>.
- [10] Arnes.si: Kavitacija – pot od njenega preprečevanja do njene uporabe za uničevanje virusov in bakterij. Dostopano 16. 3. 2026, <https://video.arnes.si/watch/h2ps9y5mjfh5>.
- [11] Youtube: Webinar #7: Prof. dr. Matevž Dular – Cavitation – the phenomenon of bubbles. Dostopano 23. 3. 2026, <https://www.youtube.com/watch?v=umYNj6BCszs>.
- [12] Youtube: Cavitation: let's tame the destructive power of bubbles, Matevž Dular, TEDxLjubljana. Dostopano 16. 3. 2026, <https://www.youtube.com/watch?v=sH5uTW0sc2U>.
- [13] Youtube: What is micro dieseling? Is it the same as cavitation?. Dostopano 20. 3. 2026, <https://www.youtube.com/watch?v=V9l6eV3Rs9g>.
- [14] Dynamox.net: Cavitation in industrial pumps: understand this phenomenon. Dostopano 20. 3. 2026, <https://dynamox.net/en/blog/cavitation-in-industrial-pumps-understand-this-phenomenon>.

Development of Energy-Consumption Digital Twins for a Discrete Production Lines

Abstract:

Hydrostatic machines are devices that transfer power using pressurized hydraulic fluid within a closed circuit, relying on positive displacement pumps and motors. They convert mechanical energy into fluid pressure and back into mechanical torque. Simulation of such machines still requires highly skilled engineers, use of advanced simulation tools and advanced simulation approach ... despite the availability of modern simulation tools with well suited graphical user interface (GUI) and numerical techniques.

The paper presents recent activities and progress on simulation of hydrostatic machines – in particular, the axial piston pump and the radial hydraulic motor. Despite that these machines have been designed and produced by Poclair for decades, there are still (design) features and phenomena not being investigated in detail or never being simulated.

The simulation advancements mainly refer to the application of complicated kinematic motion, fluid properties, physics to consider as well as mesh and numerical algorithm techniques. In this paper, the focus is given on modelling of advanced fluid properties (e.g. compressibility, cavitation etc.). Fluid with such advanced properties is used in fluid flow simulation.

Numerical approach has been performed by means of computational fluid dynamic (CFD) within the environment of Siemens Simcenter Star-CCM+. The anticipation of cavitation has been possible by implementation of existing »full cavitation model«.

Keywords:

radial hydraulic motor, axial piston pump, CFD simulation, cavitation, piston chamber, swash plate

POSVET

AVTOMATIZACIJA STREGE IN MONTAŽE 2026 - ASM '26

03. decembra 2026
na Gospodarski zbornici Slovenije v Ljubljani



SCAN ME

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

POLETNI RAZISKOVALNI TABOR ZA DIJAKE



RAZISKUJ IN POGANJAJ PRIHODNOST

29. JUNIJ - 3. JULIJ 2026





Spremljanje in preprečevanje nevarnosti tvorjenja usedlin in lakastih oblog

Milan Kambič

Izvleček:

Lakaste obloge (angl. varnish) predstavljajo enega ključnih, a pogosto spregledanih vzrokov za zmanjšano zanesljivost sodobnih hidravličnih in mazalnih sistemov. Njihova problematika se ne kaže v nenadnih okvarah, temveč v postopnem poslabševanju delovanja, ki lahko vodi v zatikanje ventilov, zmanjšano učinkovitost regulacijskih elementov in nepredvidene izpade opreme. Nastanek lakastih oblog je povezan s kompleksnimi mehanizmi kemijske in fizikalne degradacije maziva, pri čemer klasični parametri analize olja pogosto ne zaznajo zgodnjih faz tega pojava.

Prispevek obravnava mehanizme nastajanja lakastih oblog, omejitve rutinske analize olja ter sodobne diagnostične pristope za spremljanje potenciala nastanka laka s poudarkom na preventivnem upravljanju mazalnih sistemov.

Ključne besede:

lakaste obloge, oksidacija, MPC, hidravlični sistem, maziva

1 Uvod

Lakaste obloge (angl. varnish) predstavljajo enega najzahtevnejših in hkrati pogosto spregledanih izzivov pri obratovanju sodobnih hidravličnih in mazalnih sistemov. Njihova problematika ni povezana z nenadnimi, spektakularnimi okvarami, temveč z dolgoročnim in postopnim poslabševanjem delovanja, ki se lahko več mesecev ali celo let razvija brez očitnih opozorilnih znakov. Posledice se praviloma pokažejo šele v obliki zatikanja ventilov, nestabilnega delovanja regulacijskih elementov, zmanjšane učinkovitosti prenosa toplote ali nepredvidenih izpadov opreme, ki imajo lahko visoke neposredne in posredne stroške.

Številne študije in industrijske analize potrjujejo, da je pojav lakastih oblog tesno povezan s procesi oksidacije, toplotne degradacije baznega olja in postopnega izčrpanja aditivov. Posebno problematično je dejstvo, da do teh procesov pogosto prihaja tudi v sistemih, kjer so klasični parametri analize olja – kot so kislinsko število (TAN), viskoznost ali FT-IR oksidacija – še vedno znotraj sprejemljivih mej [1], [2]. To ustvarja lažen občutek varnosti in prispeva k temu, da se tveganje za nastanek laka podcenjuje.

2 Nastanek lakastih oblog in njihov fizikalno-kemijski značaj

Lakaste obloge so polarni, submikronski produkti degradacije maziva, ki se lahko pojavljajo v dveh oblikah: kot topni lak,

raztopljen v olju, ali kot netopni depoziti, izločeni na kovinskih površinah. Njihov nastanek je rezultat kombinacije več mehanizmov, med katerimi imajo ključno vlogo termooksidativna razgradnja baznega olja, razpad antioksidantov in drugih funkcionalnih aditivov, lokalne vroče točke v sistemu, mikrodizel učinek (implozije zračnih mehurčkov) ter elektrostatične razelektritve v filtrih in cevovodih.

Prisotnost zraka in vode dodatno pospešuje degradacijske procese. Zrak deluje kot vir kisika in sprožilec mikrodizel učinka, voda pa zmanjšuje topnost polarnih produktov ter katalizira oksidacijo [2], [3], [4].

Posebnost laka je njegova termodinamična občutljivost. Pri višjih temperaturah se lahko polarni degradacijski produkti ponovno raztopijo v olju, medtem ko se pri nižjih temperaturah ali ob spremembi obratovalnih pogojev izločijo na površinah. To pomeni, da prisotnost laka ni zgolj funkcija kemijskega stanja olja, temveč tudi trenutnih obratovalnih razmer, kar dodatno otežuje diagnostiko [2].

Cikel tvorjenja lakastih usedlin prikazuje *slika 1*. Med uporabo se olja kemično razgradijo na nepovraten način, pri čemer nastane topni lak, ki se kopiči v olju (1. korak). Ko se topni lak kopiči v olju, to sčasoma doseže točko nasičenosti. Po tej točki bo vsaka dodatna količina, ki nastane, netopna. Nadaljnja razgradnja nasičenega olja povzroči netopne delce laka (2. korak). Ti delci se sčasoma aglomerirajo in tvorijo usedline (3. korak) [5].

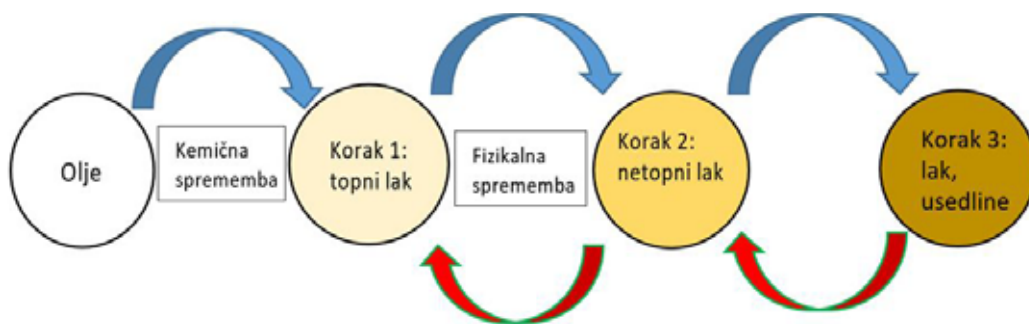
Fazne spremembe med topnim in netopnim lakom so fizikalne narave, zato so reverzibilne. Ker so ravni laka odvisne od temperature, je mogoče po nanosu laka pogoje spremeniti tako, da se ravnovesje pozitivno premakne in se nanosi vrnejo v raztopljeno stanje. Ta sposobnost spreminjanja ravnovesja je ključna za popolno odstranitev laka in zmanjšanje tveganj, povezanih z njim [5].

Dr. Milan Kambič, univ. dipl. inž., Olma d. o. o., Ljubljana



© The Authors 2026. CC-BY 4.0

<https://doi.org/10.5545/Ventil-32-2026-2.23>



1

Cikel tvorjenja lakastih usedlin (Vir: [5])

3 Vpliv lakastih oblog na delovanje opreme

Lak lahko vpliva na delovanje opreme na več načinov [6], [7]. Lakaste obloge vplivajo na zanesljivost sistema na več ravneh. Poleg pospešene razgradnje olja zmanjšujejo zračnosti v ventilih, tuljavah in ležajih, kar vodi v povečano trenje in zatikanje mehanskih komponent. Zaradi svoje polarne narave privlačijo druge onesnaževalce, s čimer pospešujejo obrabo strojnih delov in povečujejo obremenitev filtracijskih sistemov.

Poleg mehanskih težav imajo lakaste obloge tudi izrazit toplotni vpliv. Zmanjšujejo učinkovitost toplotnih izmenjevalnikov, kar vodi v višje obratovalne temperature, te pa dodatno pospešujejo degradacijske procese v olju. Tako nastane začarani krog, v katerem se tveganje za nastanek laka s časom še povečuje [6], [7].

4 Omejitve klasične analize olja

Oksidacija je glavni dolgoročni mehanizem degradacije maziv. Z napredovanjem oksidacije se bazno olje in aditivi razgrajujejo v polarne produkte, ki povečujejo nagnjenost k nastanku laka in mulja. Hitrost oksidacije je neposredno povezana s temperaturo, prisotnostjo zraka, vode in katalitičnih kovin [3].

V praksi se pogosto srečujemo s primeri, kjer so rezultati rutinske analize olja stabilni, kljub temu pa so na kritičnih komponentah že vidne lakaste obloge (slika 2). Takšni primeri jasno kažejo, da oksidacija ni edini mehanizem degradacije. Toplotna degradacija, ki lahko poteka tudi brez prisotnosti kisika, proizvaja polarne produkte, ki prispevajo k nastanku laka, ne da bi se to nujno odrazilo v povišani vrednosti TAN ali značilnih vrhovih FT-IR [1].

To jasno kaže, da standardni analitski parametri ne odražajo topnosti polarnih degradacijskih produktov in da je lahko olje blizu kritične točke nasičenosti, še preden so klasični kazalniki degradacije povišani [1].

Zato se zanašanje izključno na klasične analitske parametre pogosto izkaže za nezadostno. Ključno sporočilo za prakso je, da lahko lak nastaja tudi v sistemih, ki so z vidika standardnih analiz videti »zdravi«.

5 Diagnostika potenciala nastanka laka

Za oceno tveganja nastanka lakastih oblog se je v industriji uveljavila metoda membranske kolorimetrije (MPC, ASTM

D7843). MPC ne meri količine že izločenega laka, temveč potencial olja za tvorbo laka, saj zajame tako topne kot netopne polarne produkte [8].

Rezultat je izražen kot ΔE (barvna razlika glede na čisto membrano). Kritična napaka v praksi je obravnava MPC kot absolutne meje (npr. $\Delta E < 15 =$ varno). V resnici sta olji z MPC 14 in MPC 16 praktično enako tvegani, če trend narašča. MPC ni konkretna številka. Pove nam, kakšna sta potencialna nevarnost in tveganje za nastanek laka. Višja, kot je vrednost MPC, večje je tveganje za drago okvaro, povezano z lakom. Ne smemo misliti, da delovanje pod mejo $\Delta E < 15$ pomeni, da smo popolnoma varni. Pomembno je torej poudariti, da MPC ni absolutna meja varnosti. Treba je spremljati trend vrednosti ΔE , saj je dinamika naraščanja pogosto pomembnejša od same številčne vrednosti.

Delujmo proaktivno. Z ustrežno opremo odstranimo topne in netopne produkte razgradnje, kontaminante in lak. Olje naj bo čim bolj čisto in nenasičeno. Na ta način lahko ohranimo vrednosti MPC čim bližje ničli. Navsezadnje skoraj ničelne vrednosti MPC pomenijo skoraj ničelno tveganje [8].

Raziskave so pokazale, da spremljanje zgolj netopnega laka ni zadostno, saj ne zazna zgodnje faze nasičenja olja s topnim lakom, ki je predhodnik depozitov [9]. Spremljanje MPC v trendu omogoča zgodnje zaznavanje naraščajočega deleža topnega laka, kar je ključno za preventivno ukrepanje. Raziskave in industrijska praksa kažejo, da se večina težav z lakom razvije v fazi, ko je olje še vizualno in analitsko »sprejemljivo«, a že kemijsko nestabilno [4], [8], [9].



2

Lakaste obloge v ležaju (Vir: [5])

6 Strategije preprečevanja in obvladovanja

Najbolj učinkovit pristop ni naknadna sanacija sistema po nastanku lakastih oblog, temveč preventivno upravljanje degradacijskih procesov v olju. To izvajamo na naslednje načine [7], [9], [2], [6]:

- ▶ stalno spremljanje vrednosti MPC (topni in netopni produkti),
- ▶ nadzor vsebnosti vode,
- ▶ preprečevanje previsokega deleža zraka v olju (pomen hitrosti izločanja zraka iz olja),
- ▶ učinkovito toplotno upravljanje (odprava vročih točk),
- ▶ izbira baznih olj in aditivov z visoko oksidacijsko stabilnostjo,
- ▶ uporaba namenskih sistemov za odstranjevanje laka (elektrostatični filtri, ionske smole, globinski filtri – glede na stanje laka),
- ▶ načrtovanje menjav olja na podlagi stanja, ne koledarja.

Učinkovito obvladovanje lakastih oblog torej zahteva prehod od reaktivnega k preventivnemu upravljanju mazalnega sistema. Lakaste obloge niso posledica posameznega dejavnika, temveč rezultat kombinacije kemijske degradacije maziva, obratovalnih pogojev in zasnove sistema.

Klasični parametri analize olja pogosto ne zaznajo zgodnjih faz nastajanja laka, zato je nujno dopolniti nadzor s ciljno diagnostiko, kot sta membranska kolorimetrija (MPC) in spremljanje stanja antioksidantov. Posebej pomembno je spremljanje trendov, saj topni lak predstavlja zgodnji kazalnik nasičenja maziva s produkti degradacije.

Na hitrost nastajanja lakastih oblog pomembno vplivajo obratovalni pogoji. Vzdrževanje stabilne temperature, preprečevanje lokalnih pregrevanj ter preprečevanje vnosa in zadrževanja zraka v olju zmanjšujejo tveganje za mikrodizel učinek in pospešeno razgradnjo olja. Enako pomembno je spremljanje vsebnosti vode, ki deluje kot katalizator oksidacijskih procesov in zmanjšuje topnost produktov degradacije.

Kadar se lak že pojavlja, morajo sanacijski ukrepi temeljiti na dejanskem stanju laka. Odstranjevanje zgolj netopnih delcev pogosto ne odpravi vzroka, zato je treba tehnologije sanacije prilagoditi razmerju med topnim in netopnim lakom. Dolgoročno pa ima ključno vlogo pravilna izbira maziva z ustrezno oksidacijsko stabilnostjo in primerno formulacijo aditivov.

Celovit, diagnostično podprt pristop omogoča stabilnejše delovanje sistema, podaljšanje uporabne dobe olja in zmanjšanje tveganja za nepredvidene izpade.

Monitoring and prevention of the risk of deposit and varnish formation

Abstract:

Varnish deposits represent one of the key, yet often overlooked, causes of reduced reliability in modern hydraulic and lubrication systems. Their impact does not manifest as sudden failures, but rather as a gradual degradation of performance, which can lead to valve sticking, reduced efficiency of control components, and unplanned equipment downtime. The formation of varnish is associated with complex mechanisms of chemical and physical lubricant degradation, while conventional oil analysis parameters often fail to detect the early stages of this phenomenon.

This paper discusses the mechanisms of varnish formation, the limitations of routine oil analysis, and modern diagnostic approaches for monitoring varnish potential, with an emphasis on preventive management of lubrication systems.

Keywords:

varnish deposits, oxidation, MPC, hydraulic system, lubricants

7 Zaključek

Lakaste obloge so sistemska težava, ki odraža ravnovesje med kemijsko stabilnostjo maziva in obratovalnimi pogoji sistema. Njihova prisotnost ni naključna, temveč logična posledica degradacijskih procesov, ki jih klasična analiza olja pogosto ne zazna pravočasno. Razumevanje mehanizmov nastanka laka, uporaba ustreznih diagnostičnih metod in preventivno upravljanje mazalnega sistema so ključni elementi za dolgoročno zanesljivo obratovanje hidravličnih in mazalnih sistemov.

Viri

- [1] „Causes of darkening hydraulic fluid,“ Noria Corporation [elektronski]. Available: <https://www.machinerylubrication.com/Read/29148/darkening-hydraulic-fluid>. [Poskus dostopa 9. 1. 2026.]
- [2] A. Sitton in T. Sirisithichote, „The varnish Issue: Strategies for successful monitoring and acceptable levels,“ Focuslab [elektronski]. Available: <https://www.machinerylubrication.com/Read/29768/varnish-levels-monitoring>. [Poskus dostopa 9. 1. 2026.]
- [3] „How the oxidation rate affects oil change frequency,“ Noria Corporation [elektronski]. Available: <https://www.machinerylubrication.com/Articles/Print/31454>. [Poskus dostopa 9. 1. 2026.]
- [4] G. E. Totten, Handbook of lubrication and tribology, 2. izd., Boca Raton: CRC Press, 2006, p. 1224.
- [5] H. J. Molla, „Resolving varnish challenges using soluble varnish removal technology,“ Saudi Aramco [elektronski]. Available: <https://www.machinerylubrication.com/Read/32423/using-soluble-varnish-removal-technology>. [Poskus dostopa 9. 1. 2026.]
- [6] OpenAI, „ChatGPT (različica-5.2),“ 2026 [elektronski]. Available: <https://openai.com>. [Poskus dostopa 8. 1. 2026.]
- [7] F. d. S. Ramos, „Lubricant varnish: How to detect, prevent and fight this silent enemy“ [elektronski]. Available: <https://precisionlubrication.com/articles/lubricant-varnish/>. [Poskus dostopa 12. 1. 2026.]
- [8] P. Dufresne, „MPC varnish testing: It’s not just about the number,“ EPT Clean Oil [elektronski]. Available: <https://www.machinerylubrication.com/Read/32026/mpc-varnish-testing>. [Poskus dostopa 9. 1. 2026.]
- [9] „Soluble and insoluble varnish test methods for trending varnish buildup in mineral turbine oil,“ Noria Corporation [elektronski]. Available: <https://www.machinerylubrication.com/Articles/Print/32319>. [Poskus dostopa 9. 1. 2026.]

Smo pooblaščen in ekskluzivni zastopnik ter strateški partner podjetja OMRON. Že več kot 35 let dobavljamo našim strankam v industriji najnovejšo tehnologijo in napredne rešitve na področju industrijske avtomatizacije, robotizacije in digitalizacije proizvodnje.



Svojim partnerjem in uporabnikom ponujamo preko 200.000 elementov za avtomatizacijo, svetovanja, načrtovanja ali izvedbo celovitih rešitev, ki omogočajo rast produktivnosti, optimizacijo proizvodnih procesov ter večjo konkurenčnost na globalnem trgu.

MIEL® - Zanesljiv partner za pametno, povezano in učinkovito industrijo.

Sistemi za avtomatizacijo

Industrijski računalniki
Programirljivi krmilniki PLC
Distribuirane I/O enote
Rešitve za oddaljeni dostop

Pogoni in krmilja

Servo sistemi
Frekvenčni pretvorniki
Krmilniki gibanja

Robotika

Podajalniki sestavnih delov
Kolaborativni roboti
Mobilni roboti
Industrijski roboti

Varnost v avtomatizaciji

Varnostne svetlobne zaveso
Varnostna stikala
Varnostni krmilni sistemi
2D laserski skenerji LiDAR

Krmilne in nadzorne komponente

Napajalniki
Temperaturni regulatorji
Časovniki
Števci
Nadzor energije in stanja veličin

Senzorika

Fotoelektrični, induktivni, mehanski,
merilni senzori
Senzorji za oznake in barve
Senzorji z optičnimi vlakni in
ojačevalniki

Strojni vid

Industrijske kamere
Vision senzori
Pametne kamere
Napredni sistemi strojnega vida

Sledljivost v proizvodnji

Sistemi za identifikacijo in verifikacijo
Čitalniki 1D/2D/QR kode
Laserski označevalniki

Preklopna tehnika

Elektromehanski, polprevodniški
in merilni releji
Stikala in tipkala
Terminalni bloki

Signalizacija

Signalni stolpiči
Zvočni alarmi
Signalne luči

IoT in mrežne komunikacije

Usmerjevalniki
Modemi
Stikala in pretvorniki

Programska oprema

CX-One
Sysmac studio
Fleet Management AMR

Naše strokovno znanje, dolgoletne izkušnje in sodelovanje z globalnimi partnerji zagotavljajo zanesljive in inovativne rešitve, ki so prilagojene zahtevam sodobne avtomatizacije v različnih branžah – od strojogradnje, avtomobilske, elektro in prehranske industrije, do farmacije, energetike in infrastrukture.

Učinkovito zapiranje

Kroglični zaskočniki in magnetna zapirala so enostavni, a zelo učinkoviti pridržalni elementi.

Pogosto so prav majhni sestavni deli tisti, ki odločilno vplivajo na zasnovo in uporabnost izdelka. Sem nedvomno sodijo kroglični zaskočniki in magnetna zapirala, ki – čeprav skoraj neopazni – lahko bistveno izboljšajo kakovost strojev, priprav ali instalacij. To še posebej velja tam, kjer morajo lopute, pokrovi ali vrata omogočiti hiter dostop, hkrati pa ostati zanesljivo zaprti.

To zahtevo je mogoče izpolniti na zelo eleganten in prostorsko varčen način z uporabo krogličnih zaskočnikov serije GN 4490. Zadrževalni element, pritrjen na premični del, se pri zapiranju natančno ujame med dve vzmeteni kroglici, pri čemer nastane zadržalna sila, ki deluje hkrati zaradi oblike in trenja. Odvisno od velikosti in zasnove se držalne sile gibljejo med 25 in 150 N. Položaj obeh delov je zelo prilagodljiv: lahko je vodoraven ali navpičen, dostop pa je mogoč od spredaj ali s strani. Kroglični zaskočniki so na voljo v različnih izvedbah ter z različnimi možnostmi pritrditve, tako z navojem ali z ugreznjenimi izvrtinami.

Če okolje namestitve ne omogoča zelenega pozicioniranja, na primer pri montaži na aluminijaste profile, je to težavo mogoče enostavno rešiti z montažnimi ploščami za ohišja kroglic GN 4490.1 ali z montažnimi ploščami za zadrževalne elemente GN 4490.2.

Kroglični zaskočniki sicer izvirajo iz pohišvenega sektorja, kjer se uporabljajo za zaklepanje majhnih vratc. Čeprav je načelo delovanja enako, so standardni elementi Eles+Ganter zasnovani povsem na novo, saj industrijska uporaba zahteva veliko višjo kakovost, robustnost in prilagodljivost montaže. Kroglični zaskočniki, ki so na voljo v štirih velikostih, so sestavljeni iz ohišja iz cinkove tlačne litine s kroglicami iz plemenitega jekla ali iz ohišja iz plemenitega jekla, odpornega proti koroziji, in keramičnih kroglic.

Kot alternativa mehanskemu zaklepanju so na voljo magnetna zapirala Eles+Ganter GN 4470. So univerzalno uporabna, kompaktna in lažje kompenzirajo tolerance med montažo (v primerjavi s krogličnimi zaskočniki). Močni neodimovi magne-



ti so nameščeni v ohišju iz cinkove tlačne litine s prevleko iz umetne mase in prekriti s plastjo gume – to zmanjšuje hrup pri zapiranju in preprečuje, da bi kovina udarjala ob kovino. Magnetni elementi so pritrjeni s pomočjo vzdolžne ali prehodne luknje. Magnet je usmerjen navzgor ali vstran, kar v kombinaciji z ustreznimi omejitnimi ploščicami omogoča skoraj neomejene možnosti montaže. Pocinkane omejitne ploščice so uporabne tudi takrat, ko so lopute ali vrata izdelana iz nemagnetnih materialov. Izdelek GN 4470 je primeren tudi kot zapiralo za drsna vrata. Interakcijo med magnetnimi elementi in omejitnimi ploščicami je mogoče vizualizirati in konfigurirati s 3D-predstavitvijo v spletni trgovini Eles+Ganter.

Vir:

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

© Avtorji 2026. CC-BY 4.0

Študentska tehniška konferenca

Na Fakulteti za strojništvo, Univerze v Ljubljani bo dne 10. 09. 2026 ob 9. uri organizirana Študentska tehniška konferenca »ŠTe-Kam«, na kateri bodo študentje prve in druge stopnje ter mladi raziskovalci tehnike in drugih študijskih smeri ter dijaki zaključnih letnikov predstavili rezultate svojega raziskovalnega dela.

Gre za že tradicionalno, dvanajsto študentsko tehniško konferenco. V lanskem letu je bilo predstavljenih in v zborniku izdanih 42 prispevkov, ki so pokrivali od tehničnih do ne tehničnih področij, tako slovenskih kot tujih fakultet. Med udeleženci so bili dijaki in študenti iz Gimnazije Bežigrad, Gimnazije Jesenice ter s trinajstih fakultet Univerze v Ljubljani in Univerze v Mariboru. Med njimi so Fakulteta za strojništvo (UL in UM), Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko (UM), Fakulteta za elektrotehniko (UL), Fakulteta za računalništvo in informatiko (UL), Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo (UL), Fakulteta za matematiko in

fiziko (UL), Biotehniška fakulteta (UL), Medicinska fakulteta (UL), Pedagoška fakulteta (UL), Filozofska fakulteta (UL) ter Ekonomska fakulteta (UL). Mednarodno dimenzijo dogodku sta dodali Tehniška univerza v Münchnu in Institut "Jožef Stefan". Tematike prispevkov so bile zelo raznolike, kar je dalo konferenci poseben pridih, saj so študentje in raziskovalci videli možnosti interdisciplinarnega povezovanja različnih tem in področij med seboj.

Tudi v letu 2026, bodo vsi sprejeti prispevki objavljeni v zborniku, ki bo zaveden v COBISS-u.

Posebej bo nagrajena tudi najboljša predstavitev na konferenci. Več informacij najdete na spletni strani: <https://www.fs.uni-lj.si/studij/raziskovalna-dejavnost-studentov/studentska-tehniska-konferenca-stekam/>

Organizacijski odbor:

doc. dr. Tomaž Berlec, univ. dipl. inž. str.
Izr. prof.dr. Miha Brojan, univ. dipl. inž. str.
as. dr. Boštjan Drobnič, univ. dipl. inž. str.

© Avtorji 2026. CC-BY 4.0

HIWIN celovite rešitve: večosni sistemi s servopogoni in brezkrtačnimi servomotorji

V industrijski avtomatizaciji so natančnost, zanesljivost in celovita integracija mehanike, elektronike in krmiljenja gibanja ključni elementi. HIWIN tem zahtevam odgovarja s celovito tehnološko ponudbo, ki združuje visoko zmogljive linearne osi, servopogone in brezkrtačne servomotorje.

Serijske linearne osi KHX s posebej zasnovanimi aluminijastimi profili predstavljajo jedro mehanske platforme, medtem ko servopogoni serije E1 in brezkrtačni servomotorji EM1 sistem dopolnjujejo z naprednimi krmilnimi rešitvami in visoko dinamično zmogljivostjo.

Celovit ekosistem za sodobno industrijsko avtomatizacijo

Integracija linearnih osi, servopogonov in brezkrtačnih servomotorjev predstavlja eno ključnih prednosti ponudbe podjetja HIWIN Italia. Zmožnost zasnove celotnega sistema omogoča proizvajalcem strojev in sistemskim integratorjem razvoj natančnih in stabilnih rešitev ob zmanjšanem času namestitve. S serijo KHX in servopogoni E1 v kombinaciji z brezkrtačnimi servomotorji EM1 HIWIN ponuja usklajen in napreden ekosistem za sodobne industrijske aplikacije, ki zagotavlja zanesljivost in visoko zmogljivost tudi v najzahtevnejših pogojih.

Linearne osi KHX: modularnost za večosne in portalne sisteme
Serijske linearne osi KHX predstavljajo najvišjo raven modularnosti na področju linearnega gibanja. Zasnovane so za kartezične sisteme in portalne konfiguracije ter omogočajo izdelavo prilagojenih večosnih rešitev, ki se popolnoma ujemajo z zahtevami strank. Linearne osi z visoko nosilnimi vodili ter prenosom navora preko jermena ali krogličnega navojnega vretena omogočajo visoke pospeške, hitrosti in dinamične sile, hkrati pa zagotavljajo odlično togost in natančnost. Zahvaljujoč HIWIN-ovemu orodju za dimenzioniranje in spletnemu konfiguratorju je izbira najprimernejše osi ali večosnega sistema za posamezno aplikacijo preprosta in intuitivna.

Linearne osi KHM: hitrost, natančnost in vsestranskost

Osi KHM združujejo kompaktno zasnovo z visoko zmogljivostjo. Različica KHM-B z zobatim jermenom izstopa po visoki dinamiki, dolgih hodih ter lahkem in izjemno togem aluminijastem profilu. Različica KHM-S s krogličnim navojnim vretenom zagotavlja natančne in gladke premike v kombinaciji z visokimi dinamičnimi silami.

Tehnologija SynchMotion™ vsem osem serije KHX zagotavlja nizko raven hrupa, tekoče gibanje in dolgo življenjsko dobo. Z opcijskim jeklenim pokrovom sta obe različici primerni tudi za industrijska okolja z nižjo stopnjo čistoče.

Linearne osi KHT: visoka togost in integrirano dvojno vodilo

Serijske linearne osi KHT so zasnovane za aplikacije, ki zahtevajo visoko torzijsko togost in zanesljivo obvladovanje konzolnih bremen. Konstrukcija z integriranimi dvojnimi vodiloma zagotavlja visoko stabilnost in natančnost tudi v zahtevnih konfiguracijah. Različica KHT-B z zobatim jermenom omogoča visoke hitrosti, medtem ko je različica KHT-S s krogličnim navojnim vretenom idealna za aplikacije, ki zahtevajo mikrometrsko natančnost in visoke dinamične sile. Opcijski jekleni pokrov dodatno zagotavlja zanesljivo delovanje tudi v industrijskih okoljih, obremenjenih s prahom in drugimi delci.



Pogoni serije E1 in servomotorji: inteligentno krmiljenje gibanja z visoko zmogljivostjo

Nova serija pogonov E1 podjetja HIWIN predstavlja pomemben korak naprej pri krmiljenju gibanja. Univerzalna zasnova omogoča krmiljenje AC servomotorjev, linearnih motorjev in navornih motorjev ter ponuja visoko prilagodljivost. Funkcija Tuneless omogoča delovanje tudi pri spremenljivih obremenitvah brez zapletenih nastavitvev, medtem ko samodejna inicialna namestitvev zagotavlja visoko zmogljivost že ob prvem zagonu. Pogon vključuje tudi portalno (gantry) funkcijo za visoko natančno sinhronizacijo vzporednih osi ter podpira protokola EtherCAT in Profinet, kar omogoča enostavno prilagajanje sistemskim zahtevam. Hiter dinamični odziv, PWM modulacijska frekvenca do 16 kHz in maksimalni tokovi do 85 A naredijo ta pogon idealen za hitre in visoko natančne aplikacije.

Brezkrtačni servomotorji dopolnjujejo HIWIN-ov sistem za avtomatizacijo z zmogljivo in kompaktno rešitvijo, optimizirano za uporabo s servopogoni E1. V primerjavi s prejšnjo serijo motorji EM1 ponujajo višje hitrosti, večjo ločljivost enkoderjev in bolj kompaktno dimenzije. Ponudba motorjev je na voljo v razponu moči od 50 W do 2 kW. Motorji dosegajo največje hitrosti 6.000 vrt/min in so opremljeni z absolutnimi enkoderji do 23 bitov, kar odpravlja potrebo po referenciranju (homing). Motorji so dobavljivi z dodatnimi možnostmi, kot so zavorni mehanizem, zaščita IP67 in utorna gred, kar omogoča prilagoditev motorjev širokemu spektru aplikacijskih zahtev.

Vir:

HIWIN s.r.l. Via Pitagora, 4, 20861 Brugherio MB, Italy, Tel: 00386 31 365 717, www.hiwin.si, simon.sinkovec@hiwin.si

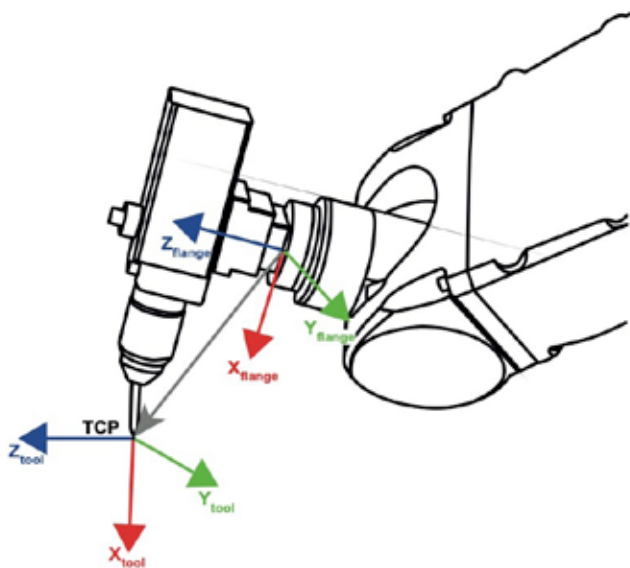
© Avtorji 2026. CC-BY 4.0

CAPTRON: Samodejna kalibracija središčne točke orodja (TCP)

V številnih robotskih aplikacijah, kot sta doziranje ali varjenje, se geometrija orodja zaradi obrabe ali deformacij nenehno spreminja. Ker takšni procesi zahtevajo izredno visoko natančnost, je potrebno redno preverjanje in kalibriranje središčne točke orodja (angl. Tool Center Point – TCP). Postopek je potrebno izvesti po menjavi orodja, vsakem vzdrževanju, na začetku delovne izmene ali celo po vsakem procesnem ciklu.

Kaj je TCP

TCP je definiran glede na prirobnico robota (glej *slika 1*) in vpliva na lokacijo koordinatnega sistema orodja, ki se uporablja pri programiranju robotskih aplikacij. TCP orodja se lahko vnese neposredno numerično ali pa se izmeri s kalibracijsko meto-



Koordinatni sistem orodja (TCP) glede na koordinatni sistem prirobnice robota



Senzorji za merjenje TCP

do in nato avtomatsko naloži v robotski krmilnik. Ko se orodje in TCP spremenita, je sprememba avtomatično upoštevana v vseh robotskih programih gibanja, kjer se to orodje uporablja.

Samodejna rekalkulacija z laserskimi senzorji za merjenje TCP (glej *slika 2*) omogoča, da sistem neprekinjeno vzdržuje natančnost brez potrebe po ročnih posegih. S tem zmanjšamo zastoje, količino izmeta in dodelav ter povečamo kakovost končnih izdelkov.

Laserska kalibracija TCP

CAPTRON-ova tehnologija merjenja TCP za industrijske robote omogoča visokonatančno kalibracijo robotskega orodja s ponovljivostjo 0,01 mm ter zanesljivo zaznavo tako kovinskih in nekovinskih materialov.



O proizvajalcu CAPTRON

Več kot 30 let izkušenj uvršča podjetje CAPTRON med najbolj priznane proizvajalce in inovatorje na področju kapacitivnega merjenja nivoja. CAPTRON izdeluje vse senzorje za merjenje TCP-ja po meri in specifičnih zahtevah strank, pri čemer vedno zagotavlja vrhunsko kakovost.

Vir:

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

© Avtorji 2026. CC-BY 4.0

Optimizacija industrijskega pihanja

Industrijsko pihanje je ključna tehnologija proizvodnih procesov, ki pogosto povzroča visoko porabo energije. Zato je pri integraciji te tehnologije ključno sodelovanje s strokovnjaki, ki zagotavljajo tehnično in ekonomsko učinkovite rešitve.



Zračni nož za izpihovanje češkega podjetja MOS TECHNIK

Nudimo celovite rešitve na področju industrijskega pihanja: dobavo zračnih šob in nožev, integracijo v proizvodnjo, izbiro pnevmatskih komponent in po potrebi razvijemo naprave

po meri naročnika. Naše napredne šobe omogočajo usmerjen zračni tok, večjo učinkovitost in manjšo porabo zraka.

Kljub navidezni preprostosti je pihanje pogosto neučinkovito, če ni pravilno načrtovano. Rešitve, pripravljene brez strokovnega znanja, pogosto vodijo v prekomerno rabo energije. Zato se pri vsakem projektu osredotočamo tudi na ekonomsko upravičenost in hitro povrnitev investicije.

Pri načrtovanju aplikacij uporabljamo napredno matematično modeliranje pretoka zraka, kar omogoča optimalno razmerje med zmogljivostjo in porabo. Rezultat so učinkovitejši procesi, nižji stroški in boljša produktivnost.

Naše storitve vključujejo:

- ▶ izbor in dobavo šob,
- ▶ zasnovno pihalnih sistemov,
- ▶ razvoj naprav po meri,
- ▶ optimizacijo obstoječih rešitev.

Zakaj izbrati nas?

- ▶ izkušena ekipa strokovnjakov,
- ▶ širok nabor rešitev,
- ▶ prihranki pri porabi zraka,
- ▶ celovita podpora pri integraciji.

Vir:

La & Co. inženiring, proizvodnja, trgovina, d. o. o., Limbuška cesta 2, 2341 Limbuš, m: +386 (0) 41 958 347, t: +386 (0) 2 42 92 677, @: mitja.kozel@la-co.si, www.la-co.si

© Avtorji 2026. CC-BY 4.0



Sinergija premikanja. Hidravlika. Pnevmatika. Linearna tehnika.



rexroth
A Bosch Company

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

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



30
LET

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

Ventili za vodikove aplikacije – zanesljive rešitve za zahtevne pogoje

Vodik postaja eden ključnih energentov prihodnosti, njegova uporaba pa prinaša s seboj številne tehnične izzive. Zaradi izjemno majhne velikosti molekule je zagotavljanje tesnosti zelo zahtevno, obenem pa materiali trpijo zaradi pojava vodikove krhkosti. Zato morajo biti vse komponente v sistemu, še posebej ventili, zasnovane in izdelane z najvišjo stopnjo zanesljivosti, robustnosti in odpornosti materialov.

V podjetju TU-VAL d. o. o. se zavedamo zahtev, ki jih prinašajo vodikove tehnologije, zato v sodelovanju s priznanimi partnerji ponujamo napredne rešitve ventilov, prilagojene zahtevnim vodikovim aplikacijam.



FMX-5: Kompaktni koaksialni ventil z visokim pretokom in pilotnim krmiljenjem za učinkovito integracijo v vodikove aplikacije.

Ključne zahteve v vodikovih sistemih

Ventili v vodikovih aplikacijah morajo zagotavljati:

- ▶ absolutno tesnost,
- ▶ odpornost na izjemno visoke tlake (tudi do 1000 bar),
- ▶ varno, zanesljivo in hitro preklapljanje,
- ▶ dolgo življenjsko dobo tudi v najbolj zahtevnih pogojih.

Zaradi navedenih zahtev se v vodikovih sistemih vse pogosteje uporabljajo koaksialni ventili, ki s svojo konstrukcijo omogočajo tlačno uravnoteženo delovanje in niso občutljivi na la-
stnosti medija.

Uporaba v praksi

Ventili za vodik se danes uporabljajo v številnih aplikacijah:

- ▶ sistemih za elektrolizo vodika,
- ▶ infrastrukturi za polnilne postaje (H₂),
- ▶ industrijskih procesih (npr. kemična industrija),
- ▶ energetskih sistemih za shranjevanje energije.

V praksi to vključuje konkretne rešitve, kot so:

- ▶ uporaba ventilov tipa FMX 2.0 v sistemih elektrolize, kjer kompaktna zasnova in visok pretok omogočata učinkovito regulacijo plinov in enostavno integracijo v sisteme,
- ▶ uporaba ventilov KX1000 v visokotlačnih aplikacijah, kot so vodikove polnilne postaje, kjer je zahtevano zanesljivo delovanje pri tlakih do 1000 bar,
- ▶ integracija ventilov v procesne linije kemične industrije, kjer je ključna popolna tesnost zaradi eksplozijsko nevarnega okolja,
- ▶ uporaba v sistemih Power-to-Gas, kjer ventili omogočajo varno krmiljenje pretoka pri shranjevanju energije v obliki vodika.

Z razvojem vodikovih tehnologij se povečuje tudi potreba po komponentah, ki omogočajo modularnost, enostavno integracijo in dolgo življenjsko dobo.



KX1000: Visokotlačni koaksialni ventil za visokotlačne aplikacije do 1000 bar, zasnovan za varno in zanesljivo uporabo v vodikovih sistemih.

Vir:

TU-VAL, d. o. o., Breznikova ulica 26, 1230 Domžale, Tel: + 386 1 729 37 80, Mobi: +386 31 679 965, www.tu-val.si, g. Marko Levstek

© Avtorji 2026. CC-BY 4.0

FLUIDNA TEHNIKA • NAPREDNO INŽENIRSTVO IN TEHNOLOGIJE
VENTIL

Merilnik moči KM-PMBN-EIP

Spremljanje porabe električne energije v realnem času:

- ▶ meritev večjega števila tokokrogov,
- ▶ visoka natančnost: IEC razred 0,5S,
- ▶ Ethernet komunikacija,
- ▶ nazivna vhodna napetost 480 V,
- ▶ najozji model v industriji – le 38 mm, montaža na DIN-letev.

Značilnosti:

Skrajša čas konfiguriranja.

Nepravilno ožičenje in napačne nastavitve lahko povzročijo veliko nezaželenih predelav pri zasnovi sistema. Merilnik moči KM-PM lahko namestijo tudi uporabniki brez strokovnega znanja z uporabo intuitivnega uporabniškega vmesnika, ki omogoča hitro in učinkovito integracijo.

Skrajša postopek nameščanja.

Enostavno nameščanje preko grafičnega vmesnika, korak za korakom. Prav tako je mogoče zaznati napačno ožičenje, kar preprečuje ponovne postopke ožičenja.

Opremljen je z Ethernetom kot standardnim komunikacijskim vmesnikom – brez potrebe po komunikacijskih pretvornikih,

kar zmanjšuje potrebo po dodatnem ožičenju.

Združljiv z Ethernet industrijskimi komunikacijskimi protokoli (EtherNet/IP™, ModbusTCP), kar izboljšuje povezljivost z industrijsko opremo in uporabniškimi orodji.

Zmanjšuje čas instalacije v elektro krmilnih omarah.

Lahko se namesti tudi v majhne prostore obstoječih elektro omar. Vitko ohišje ima integrirano povezljivost preko EtherNet/IP™ komunikacijskega protokola. Zaradi kompaktne zasnove je primerno za vgradnjo v ozke vrzeli tako pri enojnih kot tudi pri več tokokrogih.

Programska oprema Condition Monitoring Configuration Tool

Preprosto orodje v treh korakih omogoča konfiguracijo širokega nabora naprav za spremljanje delovanja motorjev, temperatur, izolacije, grelnikov in energije. Uporabljati ga je mogoče brez posebnih znanj, tako dodatna usposabljanja niso potrebna.

Vir:

MIEL d. o. o., Industrijska avtomatizacija OMRON,
Ulica svežih idej 4A, 3320 Velenje,
tel.: +386 3 77 77 000 /006, e: info@miel.si, s: www.miel.si

© Avtorji 2026. CC-BY 4.0





FS
UNIVERZA
V LJUBLJANI | Fakulteta
za strojništvo



POLETNA ŠOLA STROJNIŠTVA

25. - 28. AVGUST 2026



Visokotlačni hidravlični ventil za regulacijo pretoka podjetja HAWE Hydraulik postavlja nove standarde

Ventil za regulacijo pretoka tipa CQ-P-DW razširja ponudbo izdelkov za visokotlačne aplikacije podjetja HAWE Hydraulik, ker je:

- ▶ zasnovan za delovne tlake do 700 barov,
- ▶ ročno nastavljiv tudi pri visokem tlaku in
- ▶ navdušuje z visoko zanesljivostjo, natančnim krmiljenjem in robustno konstrukcijo.

Specialisti podjetja za visokotlačno hidravliko z novim ventilom nadalje širijo svoj prodajni program.

Ventil je bil razvit posebej za uporabo v visokotlačnih hidravličnih sistemih, ki se uporabljajo v strojništvu, hidravličnih orodjih, gradbeništvu, preskusnih napravah in energetski industriji. Gre za nastavljiv dušilni ventil v kombinaciji s kompenzatorjem tlaka, ki ohranja nastavljeni pretok konstanten ne glede na obremenitev in viskoznost. To omogoča zelo natančno krmiljenje hitrosti hidravličnih porabnikov. Rezultat je enakomerno gibanje cilindrov in stabilno vrtenje motorjev, kar zagotavlja zanesljivo delovanje tudi pri spreminjajočih se obremenitvah.

Dodatna specialna lastnost ventila je, da ga je mogoče nastavljati tudi takrat, ko je pod tlakom. Vse različice so na voljo v različnih izvedbah glede lastnosti odpiranja in območja natančnega krmiljenja. Pri razvoju je bila posebna pozornost namenjena varnosti in vzdržljivosti. Visokokakovostni materiali, ozke proizvodne tolerance in obsežni postopki testiranja zagotavljajo dolgo življenjsko dobo tudi v ekstremnih delovnih pogojih. Poleg tega zasnova ventila za vgradnjo v razdelilnik omogoča enostavno vključitev v obstoječe hidravlične sisteme ter prilagodljivo namestitev na krmilnih blokih.



Ventil za regulacijo pretoka tipa CQ-P-DW deluje neodvisno od obremenitve in viskoznosti ter je primeren za visokotlačno hidravliko do 700 barov.

Program podjetja HAWE vključuje tudi druge vijačne dušilne ventile (kartušne) z delovnim območjem do tlaka 700 barov ter tlačne in potne ventile v različnih visokotlačnih izvedbah.

»S tem ventilom odgovarjamo na vse večje zahteve naših strank po visoko zmogljivih in hkrati ekonomičnih visokotlačnih rešitvah. Ventil združuje inovativno tehnologijo s praktično uporabnostjo in tako ponuja resnično dodano vrednost,« pravi Andreas Nocker, specialist za visokotlačno hidravliko pri podjetju HAWE. »Sistematično širimo naš obstoječi program izdelkov in smo tako zanesljiv ponudnik rešitev na področju visokotlačne hidravlike.«

Vir:

HAWE Hidravlika, d. o. o., Ob Dragi 7, 3220 Štore, tel.: +386 3 8888 120, e-mail: k.les@hawe.si, internet: www.hawe.si

© Avtorji 2026. CC-BY 4.0



PIAB: Vakuumska črpalka piCLASSIC™ Neo

Zmogljiva, učinkovita in prilagodljiva vakuumska črpalka na pogon s stisnjenim zrakom, zasnovana za potrebe sodobne industrije.



Primer uporabe vakuumske črpalke piCLASSIC™ Neo

piCLASSIC™ Neo predstavlja naslednji korak v razvoju vakuumskih črpalk, saj temelji na Piabovi inovativni večstopenjski tehnologiji COAX®, ki zagotavlja zanesljivo delovanje v širokem spektru industrijskih aplikacij. Kompaktna zasnova in modularna konfiguracija omogočata visoko prilagodljivost, prilagodljivo vgradnjo in uporabniku prijazno vzdrževanje. piCLASSIC™ Neo je zasnovana za zanesljivo in trajnostno naravnano proizvodnjo v skladu z načeli ekološkega oblikovanja, medtem ko dodatne funkcije za varčevanje z energijo zagotavljajo učinkovito delovanje in zmanjšano porabo stisnjenega zraka.

Različice

piCLASSIC™ Neo: standardna različica, pri kateri so vsi priključki dostopni z iste strani, dodatni priključek za stisnjen zrak pa je nameščen na strani in je dostopen med montažo.

piCLASSIC™ Neo Inline: izpušni priključek je nameščen nasproti vakuumskega, kar omogoča poravnano (*angl. inline*) montažo na aluminijaste konstrukcijske profile. Zaradi takšne zasnove je črpalka posebej primerna za EOAT (End-of-Arm-Tooling) in robotske aplikacije.

Hitra namestitvev, enostavno vzdrževanje

piCLASSIC™ Neo je zasnovana za hitro servisiranje in dolgotrajno zanesljivost. Ključne komponente so zaradi modularne zasnove enostavno dostopne, kar poenostavlja vzdrževanje, zmanjšuje izpade in zagotavlja nemoteno delovanje procesov.

Povzetek lastnosti:

- ▶ vsestranska vakuumska zmogljivost za širok spekter aplikacij,
- ▶ modularna zasnova za enostavno integracijo in prilagodljivost,
- ▶ uporabniku prijazno vzdrževanje in fleksibilna montaža,
- ▶ kompaktna zasnova za vgradnjo v prostorsko omejene aplikacije,
- ▶ energetsko učinkovito delovanje z izbirnimi funkcijami za varčevanje z energijo.

Vir:

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

© Avtorji 2026. CC-BY 4.0



Vitka proizvodnja.

item. Your ideas are worth it.®

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

INOTEH

www.inoteh.si

A BIBUS GROUP COMPANY

Inoteh d.o.o. K železnici 7 2345 Bistrica ob Dravi

Podjetje Poclain širi ponudbo kompaktnih goseničnih nakladalnikov z novim motorjem MT10

Z naraščajočim povpraševanjem po kompaktnih goseničnih nakladalnikih (CTL angl. Compact Track Loader) podjetje Poclain predstavlja svoj tretji namensko razviti pogonski motor za gosenice – MT10.

Motor vključuje ekskluzivno Poclainovo tesnilo, ki omogoča delovanje brez vzdrževanja tudi v zelo zahtevnih pogojih, kakršni so pri pogonu gosenic.

Ključne tehnične značilnosti:

- ▶ patentirano tesnilo »duo-cone« za delovanje brez vzdrževanja,
- ▶ notranje neprekinjeno izmenjevanje fluida (angl. flushing) za nadzor temperature,
- ▶ preprečuje pregrevanje hidrostatičnega prenosa,
- ▶ omogoča stalno delovanje pri največji zmogljivosti (brez izgube moči).

Kompaktni gosenični nakladalniki imajo pogosto težave s pregrevanjem zaradi svoje zasnove, kar vodi do zmanjšane zmogljivosti. Motor MT to težavo učinkovito reši.

Razvoj in uporaba

Motor MT je bil razvit leta 2020 in je prestal obsežna laboratorijska ter terenska testiranja, kar potrjuje njegovo primernost za zahtevne pogoje dela.

Model MT10 je namenjen največjim CTL-strojem (z maso nad 4.535 kg oz. 10.000 lb).

Novi motor MT 10



Dopolnitev serije MT

Serija MT zdaj vključuje tri velikostne razrede:

- ▶ MT02 – 398 cm³/obrat,
- ▶ MT07 – 920 cm³/obrat,
- ▶ MT10 – 1.400 cm³/obrat.

Motor MT07 je že v serijski proizvodnji, medtem ko sta MT02 in MT10 trenutno na voljo za poskusno testiranje pri strankah.

Glavne prednosti serije MT:

- ▶ visoka gostota moči,
- ▶ dvostopenjsko razmerje hitrosti (1,5) za delo in vožnjo,
- ▶ visoka nosilnost ležajev,
- ▶ uravnotežena in težiščno optimizirana zasnova (bližina težišča),
- ▶ kompaktna oblika,
- ▶ enaka zmogljivost v obe smeri (naprej in nazaj),
- ▶ zmogljiva zavora (do 100 dinamičnih zaviranj),
- ▶ enotna komponenta za levo in desno stran,
- ▶ možnost aksialnih ali radialnih priključkov.



Kompaktni gosenični nakladalnik

Zaključek

Z novo serijo MT lahko proizvajalci strojev (OEM) ponudijo visoko zmogljive, zanesljive in praktično brezvzdrževalne pogonske rešitve, ki izboljšajo konkurenčnost njihovih kompaktnih goseničnih nakladalnikov.

Vir:

Poclain Hydraulics, d. o. o., Industrijska ulica 2, 4226 Žiri, tel.: +386 (0)4 51 59 202, info-slovenia@poclain.com, g. Anže Čelik; Poclain Expands Compact Track Loader Offering with New MT10 Motor (Poclain)

© Avtorji 2026. CC-BY 4.0

Vakuumska prijemala SMC serije ZGP/ZGS

Optimalna rešitev za paletizacijo in depaletizacijo v pakirni industriji

V sodobnih pakirnih linijah, kjer se dimenzije in oblike izdelkov nenehno spreminjajo, klasična vakuumska prijemala hitro dosežejo svoje meje. Seriji ZGS/ZGP podjetja SMC predstavljata napredno rešitev, ki združuje fleksibilnost, zanesljivost in enostavno integracijo v enoten sistem.

Serija ZGS uporablja penasto prijemalno površino, ki omogoča zanesljivo prijemanje različnih kartonov brez potrebe po prilaganju ali menjavi prijemala. Poleg same prijemalne površine prijemalo predstavlja celovito rešitev, ki združuje vse ključne komponente vakuumskega sistema v kompaktni enoti.

Sistem vključuje:

- ▶ *penasto prijemalo*, ki se prilagaja obliki in površini izdelka ter omogoča stabilen prijem tudi pri neravnih ali poroznih materialih (kartonih);
- ▶ *vakuumske ejektorje*, ki generirajo potreben vakuum neposredno na prijemalu in omogočajo hiter odziv sistema;
- ▶ *ventile za vklop/izklop vakuuma*, ki zagotavljajo natančen nadzor nad procesom prijema in odlaganja;
- ▶ *vakuumska stikala (senzorje)* za nadzor stanja vakuuma in zanesljivo detekcijo uspešnosti prijema.

Takšna integrirana zasnova omogoča hitro vgradnjo, zmanjšuje potrebo po dodatnih komponentah ter povečuje zanesljivost in učinkovitost celotnega sistema.

Dodatna prednost: fleksibilnost prijemalne površine

Pomembna prednost serije ZGS/ZGP je možnost izbire med penastim prijemalom in klasičnimi vakuumskimi priseskami, ki so med seboj zamenljivi. Takšna zasnova omogoča hitro prilagoditev prijemala glede na specifične zahteve aplikacije.



ZGS manipulacija embalaže z robotom



Vakuumska prijemala SMC serije ZGP/ZGS

Dodatna prednost: zanesljiv prijem v vseh smereh

Serija ZGS/ZGP vključuje vgrajene nepovratne ventile, ki omogočajo vzdrževanje vakuuma tudi v primeru delnega puščanja na posameznih območjih prijemalne površine. To zagotavlja stabilen oprijem tudi pri nepopolnem kontaktu ali poroznih materialih.

Zaradi te lastnosti je serija ZGP primerna tako za horizontalno kot vertikalno manipulacijo škatel, kar bistveno razširi možnosti uporabe v pakirnih procesih. Stabilnejši prijem pomeni manj neuspešnih ciklov, manj zastojev linije in posledično večjo razpoložljivost sistema.

Za optimalno prilagoditev aplikaciji omogočamo tudi testiranje v realnih pogojih, s čimer zagotovimo pravilno dimenzioniranje in zanesljivo delovanje sistema že pred implementacijo.

Penasta prijemalna površina serije ZGP zagotavlja vsestranskost in zanesljiv prijem tudi v najzahtevnejših aplikacijah (tako v pakirni kot tudi v drugih industrijah), zato je serija ZGP idealna izbira za podjetja, ki želijo povečati produktivnost, zmanjšati zastoje in izboljšati svoje avtomatizirane procese.

Vir:

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

© Avtorji 2026. CC-BY 4.0

FLUIDNA TEHNIKA • NAPREDNO INŽENIRSTVO IN TEHNOLOGIJE
VENTIL

Elektromagnetni ventil SAMSON tip 3913

Primož Živkovič

Elektromagnetni ventil SAMSON tipa 3913 je direktno delujoč 2/2 ventil za preklopno krmiljenje pretoka tekočin in plinov. Zasnovan je za industrijsko uporabo in se odlikuje po dobri notranji geometriji, nizkih tlačnih izgubah ter zanesljivem delovanju tudi v zahtevnih procesnih aplikacijah. Primeren je za sisteme, kjer so pomembni stabilno delovanje, ponovljiv odziv in možnost enostavnega izpiranja sistema.

1 Konstrukcija in delovanje

Ventil SAMSON 3913 je direktno delujoč elektromagnetni ventil z dvema položajema (odprt ali zaprt). Elektromagnetna tuljava ob napajanju aktivira batnico, ki dvigne tesnilni element s sedeža ventila in omogoči pretok medija. Ventil je v osnovi normalno zaprt (NC), kar pomeni, da v odsotnosti električnega signala ostane zaprt in ne prepušča medija.

Pretok skozi ventil je aksialno usmerjen, zato medij prehaja skozi ventil z minimalnimi spremembami smeri. Takšna zasnova zmanjšuje turbulenco in tlačne izgube v primerjavi s klasičnimi izvedbami z izrazitimi zavoji toka medija. Konstrukcija brez mrtvih kotov preprečuje zadrževanje medija in omogoča učinkovito izpiranje sistema.

2 Tehnična zasnova in materiali

Ventil SAMSON 3913 je na voljo v več tehničnih izvedbah, ki omogočajo prilagoditev različnim industrijskim procesom:

- ▶ **ohišje ventila:** nerjaveče jeklo ali medenina, odvisno od izvedbe in zahtev aplikacije;
- ▶ **tesnila:** EPDM ali FKM glede na vrsto medija in temperaturno območje;
- ▶ **elektromagnetna tuljava:** različne izvedbe z različno izolacijo (npr. PA6 pri tipu 6 in PET pri tipu 7), z odpornostjo na povišane temperature do 155 °C oziroma 180 °C;
- ▶ **stopnja zaščite:** IP50 brez konektorja, IP65 z nameščenim konektorjem (višje stopnje zaščite so na voljo po naročilu);
- ▶ **delovni tlak:** do 90 bar pri izvedbi iz nerjavečega jekla in do 42 bar pri medeninasti izvedbi;
- ▶ **odzivni čas:** zelo kratek, primeren tudi za hitre preklopne ali dozirne aplikacije.

Ventil lahko vgradimo v poljubnem položaju. Zaradi robustne mehanske zasnove omogoča zelo veliko število preklpov; pri določenih izvedbah, kjer je medij zrak, je mogoče doseči več kot milijon ciklov.

Primož Živkovič, GIA-S, d. o. o., Grosuplje

© Avtorji 2026. CC-BY 4.0



Elektromagnetni ventil SAMSON tip 3913

3 Prednosti in ključne lastnosti

Odlične hidravlične lastnosti

Aksialna pot pretoka in zmanjšano število sprememb smeri toka medija pomenita manjšo turbulenco in nižje tlačne izgube v primerjavi s klasičnimi elektromagnetnimi ventili.

Možnost učinkovitega izpiranja sistema

Zaradi odsotnosti zadrževalnih con se ventil dobro obnese v procesih, kjer je potrebno redno izpiranje ali menjava medijev, na primer v prehrabni in farmacevtski industriji.

Nizka poraba energije

Optimizirana zasnova elektromagnetne tuljave omogoča nizko porabo električne energije in zagotavlja zanesljivo magnetno aktivacijo.

Dolga življenjska doba

Uporaba kakovostnih materialov in enostaven mehanizem gibanja zagotavljata dolgo obratovalno dobo tudi pri pogostem preklapljanju in višjih tlakih.

4 Področja uporabe

Elektromagnetni ventil SAMSON tipa 3913 je zasnovan za uporabo v različnih industrijskih aplikacijah, kot so:

- ▶ avtomatizirani procesni sistemi,
- ▶ pnevmatski in hidravlični sistemi,

Tehnični pregled

Lastnost	Opis
Tip ventila	3913-6, 3913-7, direktno delujoč elektromagnetni ventil 2/2
Delovanje	normalno zaprt (NC)
Maks. diferenčni tlak	do 90 bar (odvisno od izvedbe)
Napetosti	12, 24, 115 V DC; 12, 24, 48, 230 V AC
Moč tuljave	1,3 / 7,5 / 10 / 20,5 W (glede na konfiguracijo)
Temperatura okolice	-20 °C do +50 °C
Material ohišja	nerjaveče jeklo ali medenina
Stopnja zaščite	IP65 z ustreznim konektorjem
Mediji	voda, plini, olja, pijače itd.

- ▶ doziranje tekočin in plinov,
- ▶ procesi v živilski, farmacevtski in drugih industrijah z višji zahtevami glede izpiranja in zanesljivosti.

5 Različice in konfiguracije

Ventil SAMSON 3913 je na voljo v več izvedbah, med katerimi sta najpogostejši oznaki 3913-6 in 3913-7. Oznaki se nanašata predvsem na različne izvedbe tuljav, materiale in temperaturne razrede, kar vpliva na obratovalne pogoje in področje uporabe ventila.

Zastopnik za Slovenijo



GIA-S industrijska oprema d.o.o.
Industrijska cesta 1K,
1290 Grosuplje
www.gia.si
gia@gia.si
+386 1 7865 300



PREDSTAVLJAMO IN NAPOVEDUJEMO

INDUSTRIJSKI FORUM
IRTADRIA26

Strokovni dogodek za industrijo

Industrijski forum IRT ADRIA je dvodnevni strokovni dogodek, ki ustvarja prostor za izmenjavo informacij, znanj, idej in pogledov na dosežke industrijske panoge. Industrijski forum ima v Sloveniji več kot 15 letno tradicijo, medtem ko se je dogodek na Hrvaškem uveljavil z letom 2025 in pokriva širše področje zahodnega Balkana.

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

Dogodek bogati razstava visokotehnoloških podjetij, ki obiskovalcem foruma predstavljajo svoje najnovejše dosežke, napredne tehnologije, razvojne rešitve in inovacije.



 **RAZSTAVA**
 **POSLOVNI DEL**
 **STROKOVNA PREDAVANJA**
 **RAZISKOVALCI**

14. in 15. 9. 2026
Zadar, Hrvaška • Hotel KOLOVARE

Prihodnost je tukaj.

Industrijski forum IRT
Ulica Ivce Sudnika 7, 10430 Samobor, Hrvaška
tel.: +385 98 409 690
info@forum-irtadria.com

Glavna pokrovitelja: **ABB**
 Pokrovitelja: **HSTec** (Brand of the CHIRON Group), **iscnf** (Member IMC Group)
 Medijski partner: **LIDER**
 Partnerji: **B BRAVARIA**, **AHK** (Hrvatsko-Krški Industrijsko-Metalski inženjerski inštitut), **AC SERBIA** (Advanced Cluster), **Vojvodina Metal Cluster**, **INTERA** (technology park)

WWW.FORUM-IRTADRIA.COM

SKF Lincoln črpalka za mazanje serije CLP Basic / CLP Basic Plus

Nejc Šega

Nova serija črpalk SKF Lincoln (CLP) je prva iz nove generacije SKF eLube in deluje v majhnih progresivnih sistemih mazanja v mobilnih in industrijskih aplikacijah.



1

Lahka in za uporabo enostavna črpalka izstopa s svojo kompaktno zasnovo, zanesljivim delovanjem in visoko funkcionalnostjo v mobilnih ter industrijskih aplikacijah.

Lahka in za uporabo enostavna črpalka izstopa s svojo kompaktno zasnovo in izjemno funkcionalnostjo za uporabo v mobilnih in industrijskih aplikacijah. Za doseganje kompatibilnosti s specifičnimi zahtevami posameznih aplikacij je bila črpalka dodatno prilagojena ter opremljena z razširjenimi električnimi in nadzornimi funkcijami.

Vsi modeli črpalk SKF Lincoln Compact serije CLP so primerni za aplikacije nanosa maziva in opremljeni s sledilnim pokrovom za zagotavljanje neprekinjenega pretoka masti. Črpalke so za ponovno polnjenje opremljene s standardnim lahko dostopnim tipom mazalke.

- ▶ Uporabljeni sta lahko največ dva črpalna elementa.
- ▶ Polnilni priključek s standardnim polnilnim nastavkom.
- ▶ Gumb za ročno mazanje za začetek dodatnega cikla mazanja.
- ▶ Standardni črpalni element K6 zagotavlja do 3 cm² maza na minuto.

Progresivna črpalka Lincoln Compact serije CLP ima različne možnosti nadzora glede na izbrano različico. Funkcija

različice CLP Basic Plus ima integriran nadzor nivoja praznjenja, ki obvesti uporabnika, preden se črpalka popolnoma izprazni.

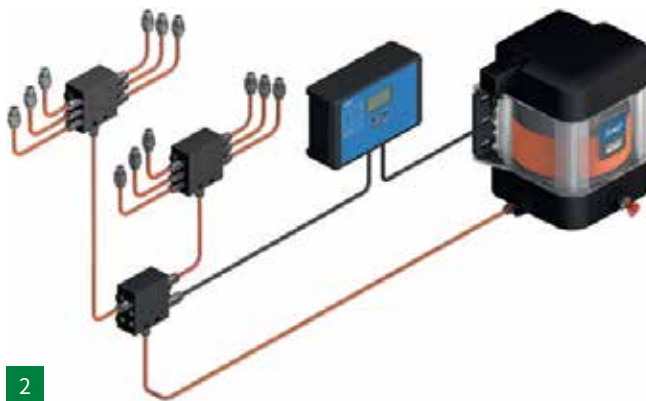
Obe različici tako Basic kot Basic Plus sta lahko krmiljeni preko zunanjega krmilnika ali krmilnega sistema stroja. Basic Plus različica za mobilne aplikacije vključuje gumb za ročno mazanje, ki izvede zagon dodatnega cikla mazanja. Ta funkcija omogoča hitro preverjanje pravilnosti delovanja sistema.

Skupne glavne značilnosti:

- ▶ mazivo: masti NLGI 0 do 2,
- ▶ enolitrski rezervoar,
- ▶ polnjenje od spodaj z mazalko,
- ▶ vizualni nadzor,
- ▶ sledilni pokrov,
- ▶ nadzor preko zunanjega krmilnika mazanja ali krmilnega sistema stroja,
- ▶ črpalni element K6, nameščen na desni strani, zagotavlja doziranje do 3 cm³/min.

Lastnosti glede na model*:

- ▶ napajanje 12 / 24 V DC,
- ▶ dodatno električno spremljanje praznega nivoja,
- ▶ gumb za dodatno ročno mazanje,



2

Primer postavitve progresivnega sistema s črpalko Lincoln Compact CLP Basic, SSV-razdelilci in krmilnikom LMC301

Nejc Šega, Hennlich, d. o. o., Kranj

© Avtorji 2026. CC-BY 4.0

CLP Basic

CLP Basic Plus



3

Obe različici črpalk za mazanje sta lahko krmiljeni preko zunanjega krmilnika ali preko krmilnega sistema stroja.

- ▶ električni priključki na levi strani:
 - ▶ bajonetni vtič, 7-polni, A-kodiran (napajanje, signal in ročno mazanje),
 - ▶ bajonetni vtič, 4-polni, A-kodiran (napajanje),
 - ▶ kvadratni vtič, A-kodiran (napajalnik),
- ▶ električni priključek na desni strani:
 - ▶ M12 × 1,4 pol, A-kodiran (izhod).

* Preverite opis posameznega modela.

Vnaprej določeni modeli olajšajo naročanje in skrajšajo dobavni rok

Najlažji in najhitrejši način za naročilo novih kompaktnih črpalk za mazanje (serije CLP) je izbira vnaprej pripravljenih paketov. Z naročilom vnaprej določenega standardnega modela dobite popolnoma opremljeno črpalko, posebej konfigurirano za mobilno ali industrijsko uporabo. Ti paketi izpolnjujejo vse standardne zahteve teh aplikacij.



MAGNETNE ČRPALKE SCHMITT

- » Rešitev za agresivne tekočine.
- » ATEX izvedba (EX II2G Ex h IIB T4).
- » Za temperature medija do 150 °C.
- » Tlačna višina do 88 m.
- » Obložena s PFA.



www.hennlich.si

HENNLICH d.o.o., Ul. Mirka Vadnova 13, 4000 Kranj / Pokličite nas: 04 532 06 03

Samooskrba z dušikom (N₂) v paketnih enotah: pot do znatnih prihrankov

Uporaba dušika (N₂) je ključna za številne procese v jeklarski, kemični, farmacevtski, živilski industriji in na drugih področjih. Uporabniki dušik pogosto kupujejo od zunanjih dobaviteljev, vendar pa se v zadnjih letih vedno več podjetij odloča za investicije v paketne enote za samooskrbo z dušikom. To prinaša številne prednosti zlasti z vidika stroškovne učinkovitosti in energetske optimizacije.



1

Kontejnerska izvedba postaje generatorja dušika

Paketne enote za samooskrbo z dušikom

Paketne enote za samooskrbo z dušikom so zasnovane za lastno proizvodnjo dušika na mestu uporabe. To omogoča, da se podjetja izognejo nakupom dušika od dobaviteljev in hkrati zmanjšajo stroške transporta in skladiščenja. Te enote običajno temeljijo na tehnologiji separacije dušika iz zraka s pomočjo adsorpcije s separacijo plinov (PSA), ki omogočajo hitro in učinkovito proizvodnjo dušika na mestu uporabe.

Prednosti samooskrbe z dušikom:

1. Znatni prihranki na dolgi rok

Glavna prednost uporabe paketnih enot za samooskrbo z dušikom je zmanjšanje stroškov nakupa in transporta dušika. Podjetja, ki se zanašajo na zunanje dobavitelje, namreč pogosto plačujejo visoke stroške za nakup dušika in dostavo na lokacijo. S sistemom samooskrbe so ti stroški bistveno nižji.

2. Visoka prilagodljivost in fleksibilnost

Paketne enote za samooskrbo so zasnovane tako, da lahko prilagodijo proizvodnjo dušika potrebam uporabnika. To pomeni, da podjetje lahko proizvaja natanko toliko dušika, kot ga potrebuje, in zmanjša možnost nepotrebnih zalog ali odvečnega dušika, ki bi ga bilo treba hraniti. Poleg tega ob zalogi dušika zaradi termične ekspanzije prihaja tudi do uhajanja dela dušika skozi varnostni ventil.

3. Povečana energetska učinkovitost

Sodobna zasnova paketnih enot omogoča optimizacijo energetske porabe. Te enote pogosto vključujejo sisteme za rekurperacijo toplote. Te omogočajo, da se odpadna toplota, ki nastane med procesom, ponovno uporabi v proizvodnji, s čimer se še dodatno zmanjšajo stroški energije.

4. Okoljski vidik

Proizvodnja dušika na mestu uporabe zmanjša potrebo po transportu in skladiščenju večje zaloge plinov, kar pomeni manjšo emisijo toplogrednih plinov in manjše tveganje za morebitne ekološke nesreče.

Tehnološke rešitve in napredek

Napredek na področju tehnologij za proizvodnjo dušika v paketnih enotah je omogočil, da so te postale dostopne širšemu spektru podjetij, tudi manjšim in srednje velikim. Izboljšave tehnologije PSA so privedle do večje zanesljivosti, nižje potrebe po vzdrževanju in daljši življenjski dobi teh sistemov. S pomočjo sodobnih senzorjev, naprednih krmilnikov in uporabe avtomatizacije pa lahko podjetja natančno spremljajo porabo dušika, energetske porabo in stanje sistema, kar omogoča nadaljnje povečanje učinkovitosti in s tem zmanjševanje stroškov.

Primer iz prakse – podjetje v prehrabni industriji

Podjetje, ki se ukvarja s prehrano, uporablja večje količine dušika predvsem za inertizacijo in hlajenje v proizvodnih procesih. Do nedavnega so bili vezani na zunanjega dobavitelja za dobavo dušika, kar je pomenilo, da so plačevali za transport, skladiščenje in dobavo plina na lokacijo. Stroški so se zaradi potrebe po natančni in stalni oskrbi z dušikom stalno povečevali, zlasti v obdobjih povečanega povpraševanja.

Implementacija paketne enote za samooskrbo z dušikom

Po analizi stroškov in potrebščin so se odločili za investicijo v lastno paketno PSA-enoto za proizvodnjo dušika neposredno na lokaciji. Namestitev sistema je vključevala namestitev kompresorjev, filtrirnih enot in PSA-enote, ki je omogočila ločevanje dušika iz zraka in njegovo shranjevanje za takojšnjo uporabo.

Rezultati

1. Znižanje stroškov dobave

Pred uvedbo sistema samooskrbe je podjetje mesečno plačevalo približno 50.000 EUR za oskrbo z dušikom iz zunanjega vira. Po implementaciji paketne enote so se ti stroški zmanjšali za približno 70 % na cca 15.000 EUR, saj so potrebovali te energijo za delovanje sistema.

2. Znižanje stroškov skladiščenja in transporta

Pred tem so morali hraniti velike količine dušika v rezervoarjih, kar je prineslo dodatne stroške za skladiščenje in varnostne

ukrepe. S paketno enoto so te stroške povsem odpravili, saj je bila proizvodnja prilagojena potrebam podjetja, brez potrebe po skladiščenju večjih količin dušika.

3. Fleksibilnost in optimizacija

Z uporabo sistema za samooskrbo je podjetje pridobilo večjo fleksibilnost. Proizvodnjo dušika lahko prilagodijo v realnem času glede na trenutno povpraševanje. To je pomembno pri hitro spreminjajočih se potrebah proizvodnje.

4. Energetska učinkovitost

Paketna enota vključuje sisteme za rekuperacijo toplote in energetske učinkovite komponente, kar je zmanjšalo skupno porabo energije v proizvodnem procesu in pripomoglo k dodatnemu zmanjšanju stroškov.

Skupni prihranki:

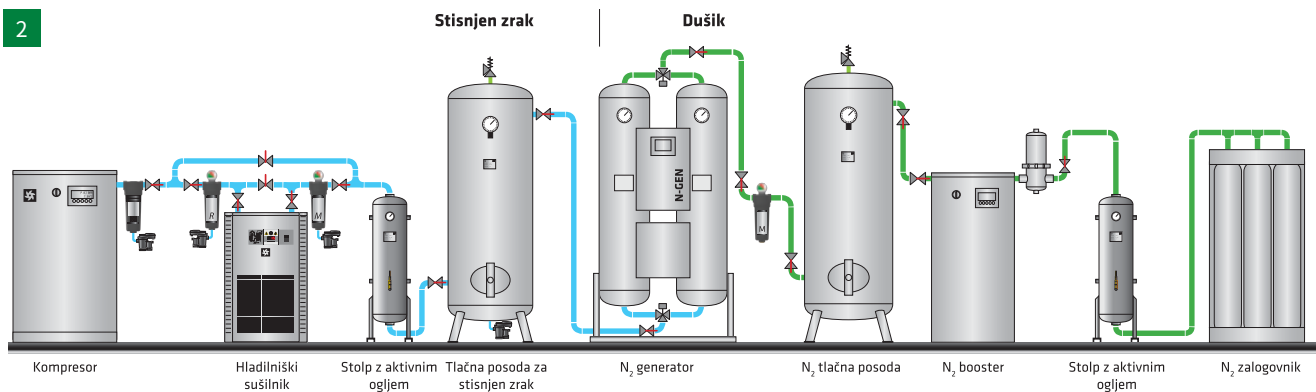
V prvih 9 mesecih po implementaciji so skupni prihranki znašali približno 140.000 EUR. Prihranki so bili doseženi predvsem z zmanjševanjem stroškov nakupa, transporta in skladiščenja dušika. Ugodno je vplivala tudi optimizacija energetske porabe. Podjetje je tako že v prvem letu povrnilo začetno investicijo v sistem in začelo uživati v dolgoročnih prihrankih.

Sklep

Ta primer jasno prikazuje, kako lahko investicija v paketne enote za samooskrbo z dušikom vodi do znatnih finančnih prihrankov, večje fleksibilnosti in energetske učinkovitosti. Poleg tega lahko podjetje zmanjša svojo odvisnost od zunanjih dobaviteljev in pridobi večjo neodvisnost ter zanesljivost pri zagotavljanju dušika za proizvodni proces.

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

2



Shema paketne PSA-enote za proizvodnjo dušika

3



Različne variante izvedb postaje generatorja dušika

Paketne enote za samooskrbo z dušikom torej predstavljajo učinkovito in stroškovno ugodno rešitev za podjetja, ki želijo optimizirati svojo oskrbo z dušikom. Z zmanjšanjem stroškov transporta, izboljšanjem energetske učinkovitosti in večjo prilagodljivostjo lahko podjetja dosežejo pomembne prihranke in hkrati prispevajo k zmanjšanju negativnega vpliva na okolje. Tehnologija PSA pa se vse bolj uveljavlja kot ključna za zmanj-

šanje stroškov in povečanje trajnosti v številnih industrijah. Za podjetja, ki se odločajo za implementacijo samooskrbe z dušikom, je to dolgoročna naložba, ki ne prinaša samo finančnih koristi, temveč tudi prednosti na področju energetske učinkovitosti in okoljskega vpliva.

www.omega-air.si

© Avtorji 2026. CC-BY 4.0

Oglaševalci

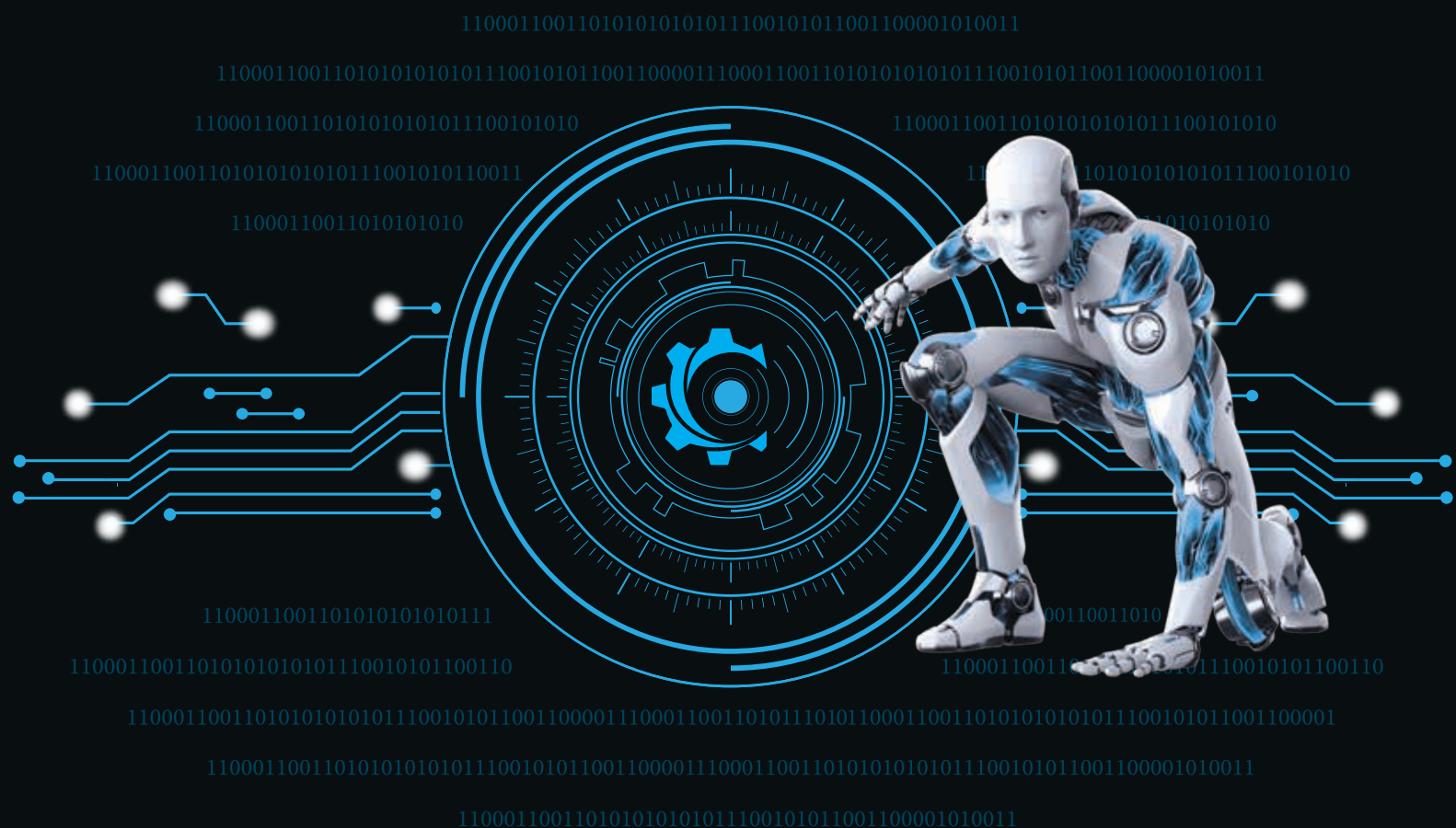
DAX, d. o. o., Trbovlje	143	OLMA, d. o. o., Ljubljana	69
ELESA+GANter GmbH, Brunn am Gebirge, Austria	111	OMEGA AIR, d. o. o., Ljubljana	69, 135
GIA-S, d. o. o., Grosuplje	69	POCLAIN HYDRAULICS, d. o. o., Žiri	69, 70
HENNLICH, d. o. o., Kranj	133	PPT COMMERCE, d. o. o., Ljubljana	69, 79
HPE, d. o. o., Ljubljana	69	PROFIDTP, d. o. o., Škofljica	131, 140, 144
ICM, d. o. o., Griže	89, 137	SEAL & TRADE, d. o. o., Maribor	69
INGVAR, d. o. o., Ljubljana		STROJNISTVO.COM, Ljubljana	126
INOTEH, d. o. o., Bistrica ob Dravi	127	TU-VAL, d. o. o., Domžale	69
JAKŠA, d. o. o., Ljubljana	95	UL, Fakulteta za strojništvo	75, 78, 105
La & Co., d. o. o., Limbuš	69, 123	YASKAWA, d. o. o., Ribnica	93
MIEL Elektronika, Velenje	69, 118		



IFAM INTRONIKA ROBOTICS MTE

26.-28. 1. 2027

Ljubljana



VHV5 vgradni verifikator

VHV5 vgradni verifikator omogoča hitro preverjanje 1D, 2D in DPM kod v realnem času, neposredno na vaši proizvodni liniji. V skladu s standardi ISO/IEC 15415, 15416 in TR 29158 zagotavlja, da je vsaka natisnjena koda skenirana, skladna in sledljiva, kar vam omogoča zmanjšati proizvodno tveganje in zagotoviti globalne standarde kakovosti.

ISO-skladen vgradni verifikator 1D, 2D in DPM kod v realnem času

- ▶ ISO/IEC 15415, ISO/IEC 15416 in TR 29158 skladnost
- ▶ Linijsko preverjanje črtnih kod v realnem času 1D, 2D in DPM.
- ▶ Podpira kodo 128, podatkovno matriko Data Matrix, QR kodo in DPM.
- ▶ Izredno visoka hitrost pregleda do 1000 kod na minuto.
- ▶ Enostavna nastavitve z avtomatskim kalibracijskim čarovnikom in OMRON WebLink vmesnikom.
- ▶ Kompaktna zasnova za enostavno integracijo s PLC-ji.



Izboljšana berljivost kod z nizkim kontrastom DPM

Kotna osvetlitev poudari majhne razlike v gostoti tiska in teksturi ozadja, zaradi česar je koda z nizkim kontrastom lažje preveriti kot pri standardni osvetlitvi.

Optimizirano za DPM kodo

Nagnjena koaksialna osvetlitev je izredno uporabna za aplikacije DPM z nepravilnostmi na površini, saj zagotavlja enakomerno osvetlitev pod velikim kotom, ki izboljša jasnost in kontrast oznak, hkrati pa ohranja mikro značilnosti.

Kompaktna in prilagodljiva integracija

Nagnjena osvetlitev omogoča manjši vgradni prostor kot tradicionalna kupolasta ali razpršena osvetlitev, kar poenostavi integracijo v omejena ali več-linijska produkcijska okolja.



Značilnosti

Preverjanje na podlagi standardov, ki jim lahko zaupate

VHV5 vgradni verifikator je zasnovan tako, da podpira najpomembnejše globalne standarde za preverjanje črtnih kod, kar zagotavlja, da so vaše koda skladne, kakovostne in pripravljene za dobavno verigo.

- ▶ ISO/IEC 15416 preverja kakovost tiska 1D črtnih kod, kot sta Koda 128 in UPC, z analizo jasnosti tiska in napak.
- ▶ ISO/IEC 15415 ocenjuje 2D koda, kot so podatkovna matrika in QR koda, tako da preverja velikost in jasnost.
- ▶ ISO/IEC TR 29158 uporablja klasifikacijo za koda, označene neposredno na delih, z uporabo laserja, igličnega označevalnika ali brizgalnega tiskalnika, kar se vse uporablja v industrijskih aplikacijah.

S skladnostjo z navedenimi standardi VHV5 zagotavlja dosledne in zanesljive rezultate preverjanja v celotnem proizvodnem okolju.

Tehnične prednosti nagnjene koaksialne osvetlitve za linijsko preverjanje črtnih kod

Povečan kontrast na odsevnih površinah

Nagnjena koaksialna osvetlitev zmanjša zrcalni blesk na sijočih ali odsevnih površinah, kar izboljša zaznavanje robov in natančnost ocene kakovosti 1D in 2D koda.

Napredna tehnologija »Unwarp transformacije« za natančno kompenzacijo aksialne popačenosti

OMRON VHV5 uporablja napredno tehnologijo »unwarp transformacije« za digitalno izravnavo črtnih kod, zajetih na poševnih ali ukrivljenih površinah, s čimer popravi popačenja, da se mreža modulov natančno ujema z geometrijo koda.

Zakaj je to pomembno?

Aksialna neenakomernost je ključni parameter ocenjevanja za 2D koda, kot je Data Matrix, ki meri, kako enakomerno so moduli razporejeni, in če koda gledamo pod kotom, lahko ta razmik popačimo in znižamo oceno.

Z uporabo Unwarp transformacije se popačenje mreže popravi tako, da odraža pravo obliko koda, aksialno popačenje se kompenzira, kar zagotovi natančnejšo oceno kakovosti in s tem preprečuje napake zaznave, preverjanje pa ostaja zanesljivo pri ukrivljenih ali poševnih kodah, kar je še posebej dragoceno v aplikacijah z omejenim prostorom v farmacevtski industriji, industriji medicinskih pripomočkov in elektronski industriji, kjer se uporablja nagnjena koaksialna osvetlitev.

Korekcija ravnega polja za dosledno in natančno preverjanje črtnih kod

Natančno preverjanje črtnih kod zahteva zadostno kakovost slike v celotnem vidnem polju, zato OMRON VHV5 uporablja napredno korekcijo ravnega polja (angl. Flat Field Correction).

- FFC), da ohranja enakomerno osvetlitev in odzivnost pikslov ter preprečuje napake pri barvni korekciji.

Kako procesira:

Korekcija ravnega polja kompenzira osvetlitev in popačenje objektiva, ki povzročajo senčenje robov, s čimer preprečuje, da spremembe svetlosti ne bi vplivale na glavne parametre preverjanja ključa, kot so kontrast, kakovost robov in modulacija, zlasti pri necentraliziranih črtnih kodah.

Kako pomaga:

Integrirana osvetlitev zagotavlja enakomerno osvetljenost po celotnem vidnem kotu, preprečuje napačno barvno korekcijo zaradi svetlobnih artefaktov in zagotavlja stabilno, ponovljivo preverjanje za vsako kodo na različnih velikostih nalepk, materialih in položajih. S korekcijo ravnega polja (FFC) naš VHV5 zagotavlja, da je vsaka koda, ne glede na to, kje se pojavi vidnem polju verifikatorja, ocenjena pod enaki pogoji.

Poenostavljena kalibracija z navodili korak za korakom

VHV5 ima intuitiven kalibracijski čarovnik, ki vas vodi skozi tristopenjski postopek nastavitve verifikatorja za zagotovitev optimalne učinkovitosti preverjanja v kateremkoli okolju.

- ▶ *Nastavitev kalibracije:* Vnesite vrednosti kalibracijskih kartic in prilagodite tip osvetlitve, kot in valovno dolžino.
- ▶ *Kalibracija odbojnosti:* Samodejno optimizira osvetlitev, ojačitev in fokus za različne materiale.
- ▶ *Kalibracija delov:* Nastavitve natančno prilagodite z uporabo pravega proizvodnega dela za dosledne rezultate.

S poravnavo križca na zaslonu, avtomatiziranimi povratnimi informacijami in jasnimi kazalniki uspeha čarovnik poenostavi sicer napredno nastavitve za vse uporabnike, prihrani čas in poveča zaupanje.

Vgrajeno GS1 preverjanje sintakse za zagotavljanje skladnosti z AI

OMRON VHV5 presega standarde ISO z vgrajenim GS1 preverjanjem sintakse, ki analizira kodirane podatke, preverja identifikatorje aplikacij (AI), formate in dolžine glede na standarde GS1 ter zajame napake pri oblikovanju, preden kode dosežejo stranke ali regulatorje.

Ključne prednosti:

- ▶ Samodejno zaznavanje napak GS1 podatkovne strukture za preprečevanje napak pri oblikovanju.
- ▶ Zagotavlja celovitost podatkov in skladnost z zakonodajo, idealno za farmacijo, industrijo medicinskih pripomočkov in ostalo.
- ▶ Zmanjšuje draga vračila in zamude pri dobavi.
- ▶ Možna brezhibna integracija z ISO ocenjevanjem.
- ▶ Podpira razvoj GS1 standardov in zagotavlja dolgoročno skladnost.

Uporaba

VHV5 linijsko preverjanje nalepk za hitre polnilne linije

V hitrih proizvodnih okoljih OMRON VHV5 omogoča zanesljivo in v realnem času izvedeno preverjanje črtnih kod na premikajočih, ukrivljenih plastičnih posodah, kar podpira sledljivost, skladnost in preprečevanje odpoklica.



Ključne funkcije aplikacije:

- ▶ *Hitroserijsko linijsko preverjanje v realnem času* preverja 1D in 2D črtne kode brez upočasnitve linije.
- ▶ *ISO/IEC 15416 in 15415* za zagotavljanje preglednosti in skladnosti dobavne verige.
- ▶ *Kompaktna zasnova* omogoča preprosto vgradnjo v obstoječe transportne sisteme.
- ▶ *Avtomatizirana kalibracija* uporablja vgrajen čarovnik za optimizacijo jasnega in doslednega zajema slike.
- ▶ *WebLink grafični vmesnik*, za spremljanje in odpravljanje težav z vsake naprave, brez potrebe po namestitvi programske opreme.
- ▶ *Zaznavanje napak* s poročanjem za odkrivanje nepravilno poravnavo kod in zmanjševanje ponovnega procesiranja.

VHV5 linijsko preverjanje DPM na kovinskih komponentah

OMRON VHV5 zagotavlja natančno preverjanje DPM podatkovne matrice na ulitih in obdelanih kovinskih delih za avtomobilsko in težko industrijo.



Ključne funkcije aplikacije:

- ▶ *Preverjanje kode DPM na kovinskih površinah* izdelanih z jedkanjem in s kovanjem, z nizkim kontrastom.
- ▶ *Skladnost s TR 29158 (AIM DPM)* za zanesljivo ocenjevanje kod na neoznačenih površinah.
- ▶ *Nagnjena koaksialna osvetlitev (TCL)*, ki zmanjšuje bleščanje za natančno barvno korekcijo.
- ▶ *»Unwarp transformacija«* za kompenzacijo površinskega popačenja izboljša aksialne poprčenja in natančnosti analiza kod.
- ▶ *Kompaktna oblika*, ki se lahko namesti v tudi v ozkih prostorih in je idealna za avtomatizirane linije.
- ▶ *Brez dotikanja in zaustavitve proizvodnih linij* s preverjanjem vsakega izdelka v gibanju, brez upočasnitve proizvodnje.
- ▶ *Popolna sledljivost in revizijsko beleženje* za ustvarjanje podrobnih poročil.

VHV5 linijsko preverjanje sledljivosti baterij in elektronike EV

VHV5 omogoča zanesljivo linijsko preverjanje 2D Data Matrix kode na kovinskih in reflektivnih baterijskih celicah, kar zagotavlja skladnost z zahtevami po sledljivosti in zmanjšuje tveganje za kasnejše težave s kakovostjo izdelkov.

Ključne funkcije aplikacije:

- ▶ *Natančno preverjanje kovinskih površin* za preverjanje 2D kod na kovinskih ohišjih baterij in drugih odsevnih delih.
- ▶ *TR 29158 (AIM DPM) podpora za ocenjevanje*, ki zagotavlja zanesljivo oceno kakovosti za neposredne ocene delov (DPM).
- ▶ *Dizajnirana za delovanje v realnem času*, idealne za hitre in avtomatizirane proizvodne linije sestavljanja baterij.
- ▶ *Nagnjena koaksialna osvetlitev*, ki zmanjšuje bleščanje in zrcalni odboj
- ▶ *Kompaktna oblika*, ki se zlahka prilega med transportne trakove ali v ohišja strojev.
- ▶ *Zaznavanje napak pred končno montažo* za zgodnje odkrivanje neberljivih kod ali slabe kakovosti kod.



- ▶ *Spletna konfiguracija (WebLink)*, ki omogoča hitro namestitev, brez dodatne namestitve programske opreme.

Vir:

MIEL d.o.o., Industrijska Avtomatizacija OMRON,
Ulica svežih idej 4A, 3320 Velenje,
t: +386 3 77 77 000 /006, e: info@miel.si, s: www.miel.si

© Avtorji 2026. CC-BY 4.0



SPLAČA SE BITI NAROČNIK



ZA SAMO 50€ DOBITE:

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



Revija v
hrvaškem
jeziku

ZA SAMO 20€ DOBITE:

- celoletno naročnino na revijo IRT3000 (4 številke)
- strokovne vsebine na več kot 200 straneh
- vsakih 14 dni e-novice IRT3000 na osebni elektronski naslov
- možnost ugodnejšega nakupa strokovne literature
- vsak novi naročnik prejme majico in ovratni trak

DIGITALNA NAROČNINA



Na voljo tudi naročnina na digitalno različico revije za uporabo v **BRSKALNIKU** in **NA MOBILNIH NAPRAVAH**

BUTIK IRT3000



Naša ekskluzivna spletna trgovina kakovostnih izdelkov s prepoznavnim dizajnom vaše priljubljene revije za inovacije, razvoj in tehnologije.

NAROČITE SE!

☎ 051 322 442

✉ info@irt3000.si

🌐 www.irt3000.si/narocilo-revije

WWW.IRT3000.COM

Revija za fluidno tehniko, napredno inženirstvo in tehnologije
 Journal of Fluid Technics, Advanced Engineering and Technologies

Ustanovitelj:

Slovensko društvo za fluidno tehniko
 Gospodarska zbornica Slovenije - Združenje kovinske industrije

Izdajatelj in uredništvo:

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo
 Uredništvo revije VENTIL
 Aškerčeva 6, POB 394, 1000 Ljubljana
 Telefon: +(0)1 47 71 704
 E-mail: ventil@fs.uni-lj.si
 Internet: <http://www.revija-ventil.si>

Glavni in odgovorni urednik: izr. prof. dr. Miroslav Halilovič

Pomočnik urednika: izr. prof. dr. Franc Majdič

Tehnični urednik: Roman Putrih

Lektoriranje: Marjeta Humar, prof., Andrea Potočnik

Oblikovanje naslovnice: Pavle Jovanovski, Ljubljana

Prelom in priprava za tisk: Grafex agencija | tiskarna, Izlake

Tisk: Schwarz Print d. o. o., Ljubljana

Marketing in distribucija: Roman Putrih, UL, Fakulteta za strojništvo

© Avtor(ji) 2026. CC-BY 4.0 / © The Authors 2026. CC-BY 4.0

REVIJA JE V ODPRTEM DOSTOPU.



Znanstveni članki v reviji Ventil so recenzirani.

Revija Ventil je indeksirana v podatkovni bazi DOAJ.

ISSN: 2630-4090 (on line) / 1318-7279

UDK: 62-82 + 62-85 + 62-31 / -33 + 681.523 (497.12)

Letnik / Letnica / Številka 32 / 2026 / 2

Naklada: 800 izvodov. Izhaja šestkrat letno.

Cena: 5,00 EUR – letna naročnina 30,00 EUR

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

Na podlagi 25. člena Zakona o davku na dodano vrednost spada revija med izdelke, za katere se plačuje 5-odstotni davek na dodano vrednost.

Uredniški odbor (Editorial Board)

- ▶ prof. dr. Marko Hočevar, UL, Fakulteta za strojništvo
- ▶ prof. dr. Matija Jezeršek, UL, Fakulteta za strojništvo
- ▶ izr. prof. dr. Jože Kutin, UL, Fakulteta za strojništvo
- ▶ izr. prof. Jurij Prezelj, UL, Fakulteta za strojništvo
- ▶ prof. dr. Franci Pušavec, UL, Fakulteta za strojništvo
- ▶ doc. Lidija Slemenik Perše, UL, Fakulteta za strojništvo
- ▶ izr. prof. dr. Marko Šimic, UL, Fakulteta za strojništvo
- ▶ izr. prof. dr. Rok Vrabič, UL, Fakulteta za strojništvo
- ▶ izr. prof. dr. Nikola Vukašinović, UL, Fakulteta za strojništvo
- ▶ izr. prof. dr. Matevž Zupančič, UL, Fakulteta za strojništvo

Recenzentski odbor (Editorial Review Board)

- ▶ prof. dr. Ivan Bajsič, UL, Fakulteta za strojništvo (upokojen)
- ▶ doc. dr. Tomaž Berlec, UL, Fakulteta za strojništvo
- ▶ doc. dr. Gorazd Karer, UL, Fakulteta za elektrotehniko
- ▶ izr. prof. dr. Damjan Klobčar, UL, Fakulteta za strojništvo
- ▶ izr. prof. Vito Tič, UM, Fakulteta za strojništvo

Znanstveno strokovni svet (Scientific and Technical Advisory Board)

- ▶ dr. Uroš Bohinc, Zavod za gradbeništvo Slovenije
- ▶ dr. Gregor Dolanc, Inštitut Jožef Stefan, Ljubljana
- ▶ prof. dr. Niko Herakovič, UL, Fakulteta za strojništvo
- ▶ prof. dr. Matjaž Hriberšek, UM, Fakulteta za strojništvo
- ▶ doc. dr. Matej Huš, Kemijski inštitut, Ljubljana
- ▶ prof. dr. Roman Kamnik, UL, Fakulteta za elektrotehniko
- ▶ prof. dr. Darko Lovrec, UM, Fakulteta za strojništvo
- ▶ dr. Bojan Podgornik, Inštitut za kovinske materiale in tehnologije, Ljubljana
- ▶ prof. dr. Jožef Ritonja, UM, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko
- ▶ Janez Škrlec, inž., Razvojno raziskovalna dejavnost, Zg. Poljskava

Mednarodni znanstveni svet (International Scientific Advisory Board)

- ▶ izr. prof. dr. Sam Coppeters, KU Leuven, Belgium
- ▶ prof. dr. Alexander Czinki, Technische Hochschule Aschaffenburg, Germany
- ▶ prof. dr. Tatiana Minav, Tampere University, Finland
- ▶ prof. dr. Hubertus Murrenhoff, RWTH Aachen, Germany
- ▶ prof. dr. Katharina Schmitz, RWTH Aachen, Germany
- ▶ prof. dr. Željko Šitum, University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, Croatia
- ▶ prof. dr. Hironao Yamada, Gifu University, Japan

Industrijski svet (Industry Advisory Board)

- ▶ mag. Aleš Bizjak, Gospodarska zbornica Slovenije, Združenje kovinske industrije
- ▶ mag. Anže Čelik, Poclairn Hydraulics, d. o. o., Žiri
- ▶ Sandi Grobelnik, Uniforest, d. o. o., Prebold
- ▶ Sava Ignjatović, PPT Commerce, d. o. o., Ljubljana-Šentvid
- ▶ dr. Milan Kambič, OLMA, d. o. o., Ljubljana
- ▶ Aleksandra Klemenc, Inotech, d. o. o., Bistrica ob Dravi
- ▶ Darko Koritnik, DAX, d. o. o., Trbovlje
- ▶ dr. Hubert Kosler, Yaskawa, d. o. o., Ribnica
- ▶ Andrej Lešnjak, Q Techna, d. o. o., Ljubljana
- ▶ Andrej Rotovnik, MIEL Elektronika, d. o. o., Velenje
- ▶ Enej Saksida, OPL, d. o. o., Trzin
- ▶ Edvard Sojer, Omega Air, d. o. o., Ljubljana
- ▶ Matej Tomšič, Hennlich, d. o. o., Kranj

Častni odbor (Honorary Board)

- ▶ prof. dr. Jože Duhovnik, UL, Fakulteta za strojništvo (upokojen)
- ▶ mag. Milan Kopač, Poclairn Hydraulics, d. o. o., Žiri (upokojen)
- ▶ izr. prof. dr. Dragica Noe, UL, Fakulteta za strojništvo (upokojena)
- ▶ Bogdan Opaškar (upokojen)
- ▶ dr. Jože Pezdarnik, UL, Fakulteta za strojništvo (upokojen)
- ▶ g. Valter Saksida, OPL, d.o.o., Trzin
- ▶ mag. Anton Stušek (in memoriam), UL, Fakulteta za strojništvo
- ▶ prof. dr. Janez Tušek, TKC, d. o. o., Ljubljana

Nekdanji uredniki

- ▶ mag. Anton Stušek
- ▶ prof. dr. Niko Herakovič
- ▶ doc. dr. Tomaž Perme
- ▶ izr. prof. dr. Dragica Noe
- ▶ prof. dr. Janez Tušek

Nekdanji pomočniki urednika

- ▶ mag. Anton Stušek
- ▶ izr. prof. dr. Miroslav Halilovič

V naslednji številki 3/2026 - junij

Ventilov utrip

Ventil na obisku - UNIFOREST d. o. o.

Ustanovitelj in dolgoletni direktor podjetja UNIFOREST, d. o. o., Drago Pintar je prejel Nagrado Gospodarske zbornice Slovenije (GZS) za izjemne gospodarske in podjetniške dosežke. Priznanje, podeljeno marca 2026, potrjuje več-desetletni razvoj podjetja iz lokalne pobude v mednarodno uveljavljene ga proizvajalca gozdarske mehanizacije, sinonima kakovosti, varnosti in tehnične odličnosti.



Nova raziskovalna oprema za prebojne raziskave – 4. del

V naslednji številki bomo predstavili novo, prebojno raziskovalno opremo Fakultete za strojništvo UL. Nadgradnje na področju 3D tiskanja kovin, superračunalnika ter napredne digitalizacije slik bistveno povečujejo zmogljivosti obstoječe infrastrukture in odpirajo dodatne razsežnosti sodobnega raziskovanja — pomemben korak k nadaljnji tehnološki in raziskovalni odličnosti fakultete.



10. prebojnih tehnologij, ki bodo zaznamovale industrijo po letu 2030



Znanstveni in strokovni članki

Marko Šimic, Niko Herakovič

Novi pristopi, tehnologije in trendi v proizvodnih pnevmatskih sistemih in procesih

Anže Čelik

Pomembnost uporabe naprednih lastnosti tekočin v tokovnih simulacijah hidrostatičnih strojev (2. del)

Franc Majdič

Namenska ali univerzalna hidravlična olja?

Iz industrije

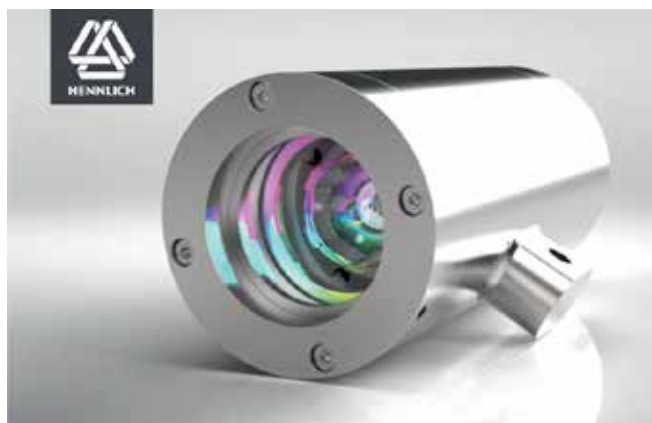
Aktualno v industriji

Novosti na trgu

Podjetja predstavljajo

Hennlich, d. o. o.

Inteligentna osvetlitev procesov z LED svetilko Lumistar



GIA-S

Generator nasičene pare SAMSON tip 7110



www.dax.si

EPSON
EXCEED YOUR VISION

**VSE V DOSEGU.
TUDI CENA.**



T3 SCARA

400 mm 3 kg

KONTROLER V BAZI ROBOTA RAZVOJNO OKOLJE RC+7

INDUSTRIJSKI FORUM **IRT** 2026

NEPOGREŠLJIV VIR INFORMACIJ ZA STROKO

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

FORUM ZNANJA IN IZKUŠENJ

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



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



Portorož, 8. in 9. junij 2026

www.forum-irt.si

Glavna pokrovitelj



Pokrovitelji



EMUS



SMART
COM

spanflug



YASKAWA

Razvojna partnera



Vsebinski partner



INDUSTRIJSKI FORUM **IRT**
forum-irt.si

Dodatne informacije: Industrijski forum IRT, Motnica 7 A, 1236 Trzin | tel.: +386 51 322 442
e-naslov: info@forum-irt.si | www.forum-irt.si | Organizator dogodka: PROFIDTP, d. o. o., Gradišče VI 4, 1291 Škofljica
Organizacijski vodja dogodka: Darko Švetak, darko.svetak@forum-irt.si