

Fakulteta za
strojništvo z novo
raziskovalno opremo

Uporabe inženirskih
polimerov v hidravliki

Adsorpcijsko
shranjevanje toplote

Vzpostavitev
trajnostne
proizvodnje



SISTEMSKE REŠITVE ZA INDUSTRIJSKE STROJE

*Celoviti hidravlični transmissijski pogoni:
predelava odpadov, lesna industrija, premogovništvo, ladijski vitli, elektrarne, tekoči trakovi ...*

OD PROJEKTIRANJA DO ZAGONA

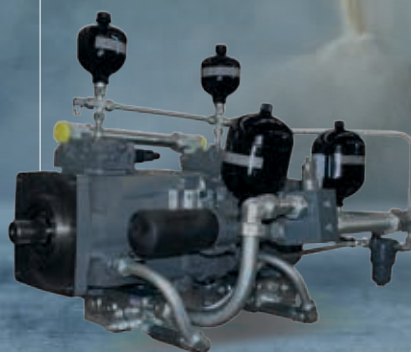
Pogonski
sklopi



Motorji za
industrijske aplikacije



Črpalke za HPD



Črpalke



Ventili



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



FS

UNIVERZA
V LJUBLJANI Fakulteta
za strojništvo

FESTO

POCLAIN
Hydraulics

Parker

la&co

ROCKWELL



PODKRIŽNIK



SEAL & TRADE d.o.o.

ppt commerce

OPL

hpe
www.hpe.si info@hpe.si

OMEGA AIR
more than air

ZAVORNE REŠITVE

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

VSESTRANSKOST / VARNOST / ENOSTAVNOST UPORABE / ERGONOMIJA



Ventil za delavno zavoro



Ventil za parkirno zavoro



Ventil za polnjenje akumulatorja



Zavorni ventil za dvolinijski zavorni sistem – traktor



NOVO



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

www.poclain-hydraulics.com



ENERGIJA, VIR VSEGA ŽIVEGA



Energija je v vsakdanjem življenju in še posebno na področju strojništva ter tehnike izjemnega pomena. V zadnjih letih je ta beseda zelo pogosto uporabljena v različnih kontekstih. Brez energije praktično ni nobenega življenja.

Spominjam se profesorja, ki je pred več desetletij vedno govoril, da imamo na zemlji, pod njo in okoli nje na pretek energije. Govoril je o sončni energiji, energiji vetra, energiji rek in potokov, toplotni energiji morja, plimi in oseki, razliki temperatur na površini morja in v globini, toplotni energiji zemlje, ki je v njeni notranjosti, o jedrski energiji in še o kakšni. Verjetno je imel prav že takrat in to velja tudi danes.

Danes praktično vse te energije že s pridom izkoriščamo. Težava je v tem, da so izkoristki pridobivanja teh energij zelo nizki in da mnogi procesi pridobivanja energije motijo ali škodijo naravi, človeku ali nekomu tretjemu.

Po številnih mnenjih in tudi v praksi se kaže, da je jedrska energija zelo varna, zanesljiva in prijazna okolju.

Od odkritja jedrske energije pa vse do danes so povsod po svetu velike razprave o varnosti in zanesljivosti uporabe te vrste energije. Prav zanimivo, kako se države v Evropi odločajo za uporabo jedrske energije. Poznamo odločitev prejšnje in sedanje nemške vlade o neuporabi jedrske energije in o zaprtju jedrskih reaktorjev za proizvodnjo električne energije. Številni gospodarstveniki navajajo, da je nemško gospodarstvo v tem času v krizi prav zaradi te odločitve. Po drugi strani pa je francoska ministrica za energetski prehod letos januarja napovedala graditev 14 novih jedrskih elektrarn v njihovi državi. To pomeni, da jih bodo čez čas imeli 73. Tudi njihov predsednik Macron je napovedal podaljšanje uporabne dobe že obstoječim elektrarnam. Podobno ravna Švedska vlada, ki je prav tako letos januarja odločila, da bo do leta 2045 zgradila 10 novih jedrskih reaktorjev za proizvodnjo električne energije. Na Finskem so lani aprila priključili na omrežje največji jedrski reaktor v Evropi. Reaktor z močjo 1600 megavatov bo po predvidevanjih deloval 60 let in bo pokrival približno 14 odstotkov potrebe te države po električni energiji. Lansko jesen so na Poljskem začeli graditi prvo jedrsko elektrarno v tej državi. Trenutno v svetu deluje okoli 500 jedrskih reaktorjev. Na novo se jih gradi 50.

Kaj pa pri nas? Pri nas je napovedan referendum o graditvi Neka 2. Ali lahko državljani odločamo o tako pomembni in povsem visoko strokovni odločitvi?

Mislím, da ne.

V Sloveniji imamo Nek1, ki obratuje brez večjih težav že skoraj petdeset let. To pomeni, da to elektrarno upravljata že najmanj dve ali celo več generaciji strokovnjakov. Vsi ti strokovnjaki so se šolali doma in v tujini, sodelujejo s številnimi mednarodnimi organizacijami s področja jedrske energije, odgovorni in podvrženi so številnim mednarodnim in domačim standardom in nadzorom. Vsi ti domači strokovnjaki imajo stike z možnimi in renomiranimi dobavitelji opreme za jedrske reaktorje s celotnega sveta. Prav gotovo poznajo stroške gradnje, čas izgradnje in vse drugo. Zakaj se v javnosti ne slišijo? Slišijo pa se naši politiki, ki nimajo dovolj znanja, samo jamrajo, zavlačujejo z odgovornostjo, zavlačujejo dogovarjanje z dobavitelji in kot kaže, naša vlada zanemarja in podcenjuje naše jedrske strokovnjake.

Zakaj se naši izkušeni strokovnjaki s tega področja ne pojavijo v javnih medijih in ljudem vse to razložijo. Predvsem, kako varno deluje NEK1 že več desetletij, kaj vse morajo postoriti za varno delovanje, kako se morajo stalno izobraževati, koliko je nadzora neodvisnih in mednarodnih institucij itd.

Po drugi strani pa se lahko najde nekdo ali neka nevladna organizacija ali celo vladna, kar je pri nas normalno, ki bi začela propagando proti novi jedrski elektrarni v Krškem. V svetu obstajajo številne televizijske oddaje, v katerih so zbrane praktično vse nesreče zaradi uporabe jedrske energije, tendenciozno so opisane, prikazane in pretirano enostransko obrazložene. Če bi samo eno takšno oddajo prikazali na naši televiziji, bi bil rezultat referenduma prav gotovo proti gradnji Neka2.

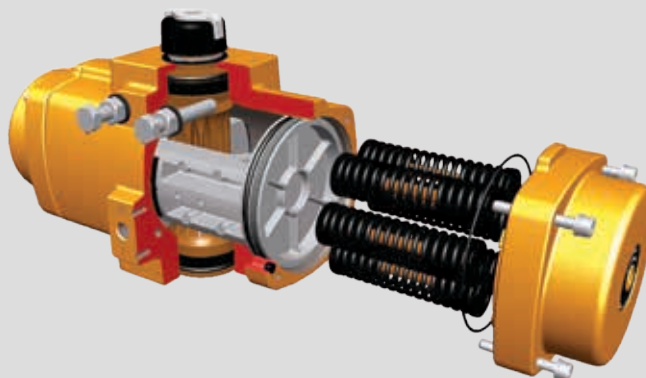
Lahko se zgodi podobno kot z reko Muro. Ko so začele nevladne organizacije biti bitko proti gradnji elektrarn, so jo zelo hitro dobile. Nič jim ne pomeni, da imajo Avstrijci na reku Muri prek 30 (trideset) elektrarn, pri nas pa niti ene. Številni strokovnjaki trdijo, da bi s sodelovanjem države, lokalnega okolja, tamkajšnjih kmetov, okoljevarstvenikov, ribičev, športnikov in mogoče še koga lahko prišlo do sporazuma, v katerem bi se zajele in upoštevale vse potrebe prej naštetih deležnikov. Strokovnjaki pravijo, da bi s pametnim dogovorom o reki Muri vsi prej naštetih deležniki pridobili in nič izgubili.

Verjetno je vsem znano, da v Sloveniji potrebe po električni energiji ne bomo rešili s sončnimi paneli ali z vetrnimi elektrarnami. Torej: odločitev je na dlani in ni težka!

Janez Tušek



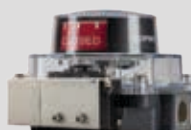
EL Matic™



BETTIS™



FISHER®



Dantorque

HYTORK®

Shafer®

ppt commerce

HIDRAVLIKA IN PROCESNA TEHNIKA
PRODAJA • PROJEKTIRANJE • SERVIS

PPT commerce, d.o.o.

Celovška cesta 334, 1210 Ljubljana – Šentvid

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

e-mail: info@ppt-commerce.si

www.ppt-commerce.si

| DOGODKI • POROČILA • VESTI

15. Industrijski forum IRT	198
----------------------------------	-----

| PREDSTAVITEV

Neža Markelj Bogataj

Nova raziskovalna oprema za prebojne raziskave in še bolj poglobljeno sodelovanje z gospodarstvom – 6. del	202
--	-----

Petra Pintar, Marko Šimic, Niko Herakovič

INNO2MARE – Pilotni projekti za krepitev zmogljivosti in znanstvene odličnosti slovenskih in hrvaških inovacijskih ekosistemov	206
--	-----

| NOVICE • ZANIMIVOSTI 209

| HIDRAVLIČNE KOMPONENTE

Ana Trajkovski, Nejc Novak, Jan Pustavrh, Mitjan Kalin, Franc Majdič

Prednost uporabe inženirskih polimerov za trajnostne hidravlične komponente	226
---	-----

| TRAJNOSTNA PROIZVODNJA

Matevž Resman, Marko Šimic, Mihael Debevec, Niko Herakovič

Ključni koraki za vzpostavitev trajnostne proizvodnje	234
---	-----

| TOPLOTNA TEHNIKA

Karin Žibert, Uroš Stritih

Pregled tehnologij za adsorpcijsko shranjevanje toplote	240
---	-----

| AKTUALNO IZ INDUSTRIJE

Sistemi aluminijastih profilov (ELESA+GANTER)	249
Vakuumska črpalka piSAFE® sedaj deluje še varneje (INOTEH)	250
Samostojni hidravlični aktuatorji (La & Co.)	251

| NOVOSTI NA TRGU

Nove prisesne gume BXP ESD za prijemanje občutljivih izdelkov (INOTEH)	252
Spletno orodje OVM Pro 3D za konfiguriranje, simulacijo in optimiziranje vakuumskih prijemalnih sistemov (INOTEH)	253

| PODJETJA PREDSTAVLJAJO

Dvižni sistemi za velike obremenitve (HENNLICH)	254
Izvajanje pregledov kakovosti stisnjenega zraka v skladu s standardom ISO 8573-1 (OMEGA AIR)	256

15. INDUSTRIJSKI FORUM IRT v ZNAMENJU NAPOVEDI HČERINSKEGA DOGODKA – INDUSTRIJSKEGA FORUMA ADRIA ZADRU

Na forumu poudarili dodano vrednost in razvojni preboj

Industrijski forum IRT, ki ga že 15 let prireja naša revija, je tudi letos minil v znamenju bogate izmenjave izkušenj in znanja ter poudaril pomen povezovanja in podpornega okolja. Forum je 10. in 11. junija obiskalo več kot 400 predstavnikov stroke iz Slovenije in tujine, ki jih je predsednik organizacijskega odbora Darko Svetak razveselil z novico, da bo slovenski dogodek dobil tudi svojo hčerinsko različico Industrijski forum ADRIA, ki bo prvič organiziran septembra 2025 v Zadru na Hrvaškem.



Marko Lotrič, predsednik Državnega sveta Republike Slovenije: »Tehnično znanje in inovacije so in bodo predstavljali osnovo za tehnološko umeščanje Slovencev v evropski in svetovni prostor.«

Častni gost foruma je bil predsednik Državnega sveta Republike Slovenije Marko Lotrič, ki je v nagovoru izrazil zaskrbljenost glede poslovnega okolja v Sloveniji. Pozval je k tesnejšemu sodelovanju med gospodarstvom, izobraževalnim sistemom in zakonodajalci. »Izboljšati moramo konkurenčnost gospodarstva, ..., inženirsko znanje pa je jedro, okrog katerega to konkurenčnost gradimo,« je poudaril Lotrič. Že tradicionalno je Industrijski forum inovacij, ra-

zvoja in tehnologij vsebinsko razdeljen na dva dneva: prvi forumski dan se posveča splošnejšim tematikam, medtem ko je drugi dan v celoti posvečen strokovnim vsebinam. Tokrat se je v štirih dvoranaх zvrstilo kar petdeset predavanj, ki jih je pripravilo več kot 80 avtorjev. Pri številki 50 se je ustavilo tudi število podjetij, ki so sodelovala na razstavi in predstavila najnovejše tehnološke rešitve za industrijska podjetja.



Okrogla miza – 15. Industrijski forum IRT

Darko Svetak je uvodoma napovedal, da se prihodnje leto slovenskemu Industrijskemu forumu pridružuje še en dogodek, in sicer **Industrijski forum ADRIA**, ki bo potekal septembra 2025 v Zadru in je namenjen zlasti partnerjem iz Hrvaške, Bosne in okoliških regij. Preliminarne prijave že sprejemamo.

Inženirka leta 2023 Ljupka Vrteva: »Kaj je to strah?«

Kot častna gostja foruma je nastopila tudi Ljupka Vrteva, inženirka leta 2023. »Lepo je biti inženirka, in sicer zaradi tega, ker lahko razmišljaš s svojo glavo,« je dejala Vrteva. Z udeleženci je delila svojo pot, ki jo je iz glasbene – umetniške – družine vodila v svet inženirstva in iz Makedonije v »njeno Slovenijo«, kjer je dobila možnost inženirske izobrazbe in zaposlitve.

Vrteva je opozorila industrijska podjetja, ki zaposlujejo mlade inženirje, naj namenijo več pozornosti vključevanju mladih kadrov v delo podjetja. »Poleg vključevanja je mladim zelo pomembno tudi spoštovanje njihovega znanja, le od delodajalca pa je odvisno, kako uspešno bo to znanje uspel črpati. Zavedajte se, da današnji mladi ne ločujejo med službo in zasebnim življenjem, ampak hočejo tudi na delovnem mestu imeti prijatelje ter pristne medosebne odnose,« je poudarila Vrteva.

O izjemnem pomenu podpornega okolja v podjetjih je govorila tudi Edita Krajnović, direktorica podjetja Mediade. »Odliv talentov iz Slovenije je še vedno večji kot priliv in če ne bomo uspeli zadržati inženirskih talentov, ne bomo imeli nikogar, ki bi uporabljal sodobne tehnologije,« je poudarila in opozorila, da je to tesno povezano s slabimi rezultati glede konkurenčnosti Slovenije.

Pri razvoju (inženirskih) talentov pa je Krajnović poudarila, da nadarjenost in talent nista eno in isto, saj se talent lahko razvije šele ob ustrezni podpori in v prav takem okolju. Opozorila je na večje vključevanje mladih v delovno okolje, zlasti generacije Z, ki brez podpore ne deluje dobro. A ne gre le za učinkovito delovanje zaposlenih, pač pa so organizacijska kultura, način vedenja ter odnosi v podjetju najpomembnejši dejavniki za dvig inovativnosti zaposlenih.

Ekonomski kazalniki kažejo, da Evropska unija pospešeno izgublja globalni tržni delež in da Slovenija na lestvici svetovne konkurenčnosti vse bolj pada. Poslovno okolje se v Sloveniji poslabšuje. Na lestvici svetovne konkurenčnosti, ki jo je objavil švicarski Inštitut za menedžment IMD, je Slovenija v letu 2023 zdrsnila za štiri mesta, po indeksu ekonomske svobode v Sloveniji, ki ga upravlja ameriška fundacija Heritage, pa smo nazadovali za sedem mest. Dodana vrednost v Sloveniji znaša 50.000 evrov na zaposlenega, za razvojni preboj pa bi jo bilo potrebno po nekaterih ocenah vsaj podvojiti.

Podvojiti bi morali dodano vrednost

Ena izmed poti za doseganje večje dodane vrednosti, ki je po oceni strokovnjakov v Sloveniji občutno prenizka, je ravno inovativnost. Predsednik združenja Manager in direktor Hidrie Holding Iztok Seljak je v svojem nastopu opozoril, da Slovenija nujno potrebuje razvojni preboj, zato so se v Združenju Manager poglobljeno lotili razumevanja problema in se vprašali, zakaj nam v preteklosti ta preboj še ni uspel.

Pomembno je, da učinkovito povemo, v čem smo drugačni

Svoj pogled na to, kako razvoj zablesti šele na trgu in s tem ustvari novo vrednost, so na okrogli mizi, ki jo je vodila Petra Kovič, delili Iztok Seljak, Hidria Holding in Združenje Manager, Špela Jernejc, Procesni inženiring, Tomaž Berginc, Eti, Jernej Čopi, Ensol360, ter Maruša Grah, B2B središče in Društvo za marketing Slovenije VIRS.

Strinjali so se, da je za uspešen preboj na trgu poleg inovativnega izdelka pomembno tudi to, kako podjetje komunicira svojo zgodbo oziroma zgodbo izdelka, kajti niso vsi na trgu najbolj prepoznavni izdelki tudi najboljši izdelki. Izpostavili so, da se je na prihodnost potrebno skrbno pripraviti tudi s spremljanjem megatrendov.

Opozorili so, da je za dodano vrednost ključnega pomena marketing, za uspešen marketinški nastop pa je potrebno povezati vse ključne deležnike (od odločevalcev do proizvodnje in marketinškega oddelka). V proces proizvodnje vrednosti morajo biti vpleteni vsi.

Pogosto kupec ni tudi uporabnik izdelka. Poudarili so, da prodaja v segmentu B2B vse pogostejše poteka na povabilo, kar pomembno spreminja prodajni proces, in ob tem opozorili, da se ta praviloma še vedno začne na spletu.

Ugotovili so, da imamo v Sloveniji veliko pomanjkanje samozavesti, kar vodi v premajhno ambicioznost. To pa posledično pomeni preizkušeno dodano vrednost na zaposlenega. Zato so v Združenju Manager ustvarili razvojno-prebojno misijo in jo poimenovali **Podvig**. Cilj omenjene misije, ki jo sestavlja 27 projektov, je spremeniti slovenski miselni sistem. Med projekti je Seljak posebej izpostavil štiri.

Prvi projekt je krepitev samozavesti, ki bo spodbujal perspektivne mlade voditelje z vsakoletno šolo voditeljstva in samozavesti. Na področju ambicioznosti, ki je drugi projekt, nameravajo v Združenju Manager aplicirati najboljši sistem za podporo startup podjetjem, v sodelovanju z ministrstvom za gospodarstvo pa spremeniti zakonodajo tako, da bo ta bolj podpirala startupe. Tretje področje je odgovornost, ki skozi osebne zgodbe uspešnih podjetnikov (in njihovih napak) poudarja prevzemanje osebne odgovornosti. Četrty projekt je spodbujanje sodelovanja in povezovanja. Seljak je poudaril, da mora s spremembo miselnega sistema vsak začeti pri sebi, pri čemer je ključno, da izstopimo iz cone udobja.

Izbrali tržno najbolj obetavno študentsko inovacijo

Na 15. Industrijskem forumu so tokrat znova izbirali študentsko inovacijo z največjim tržnim potencialom. Na razpis se je prijavilo pet inovativnih študentov oziroma študentskih timov, ki so se potegovali za sredstva in podporo v okviru projekta EIT Manufacturing.



Avtorja inovacije AIR IT UP Tim Guzelj in Vid Nemec s Francijem Pušavcem (na desni), ki jima je v imenu EIT Manufacturing predal finančno nagrado.

Strokovna komisija je z denarnimi nagradami nagradila tri ideje. Boj za zmago je bil precej tesen in razlike v točkovanju so bile majhne, a nazadnje je zmaga vseeno pripadla inovativni ideji AIR IT UP, sistem za optimizacijo tlaka, ki sta jo predstavila Vid Nemec in Tim Guzelj s Fakultete za strojništvo UL. Gre za napravo, ki lahko vse štiri pnevmatike napolni naenkrat, prihrani čas in je povezana z aplikacijo na mobilnem telefonu.

Drugouvrščena je bila ideja Filipa Ljevarja s Fakultete za strojništvo UM, ki je predstavil inovativni petosni primež, na tretje mesto pa se je uvrstil Vid Gostiša s 3D natisnjenim lokalnim rekuperatorjem s protitočnim izmenjevalcem.

Drugi forumski dan so se zvrstila strokovna predavanja

Drugi forumski dan je bil že tradicionalno v znamenju strokovnih predavanj s področij robotika in obdelovalne tehnologije; digitalizacija in orodjarstvo; nekovine ter 3D-tisk kovin in inovativne tehnologije naknadne obdelave.

Med vrsto zanimivih vsebin opozorimo na delavnice, namenjene strokovnjakom iz podjetij za aditivno tehnologijo oziroma 3D-tisk kovin. Poleg osnovnih konceptov, obetov in izzivov te tehnologije so govorili tudi o izbiri materialov in tehnologij, predstavili so primere dobre prakse ter razvoj novih materialov. Med drugim so namenili pozornost naprednim rešitvam za obdelavo s tehnologijama plazemskega elektrolitskega poliranja (PeP) in plazemskega poliranja z elektrolitskim curkom (Jet-EPP). Poudarili so njihov okolju prijazen in učinkovit proces, ki združuje čiščenje, odstranjevanje nevarnih robov in poliranje v enem koraku. Delavnice so vodili strokovnjaki iz Laboratorija za alternativne tehnologije in Laboratorija za sinergetiko Fakultete za strojništvo UL skupaj s strateškimi partnerji.

Tanja Bricelj
Foto: Alen Milavec



 Celjski sejem

Mednarodni industrijski sejem

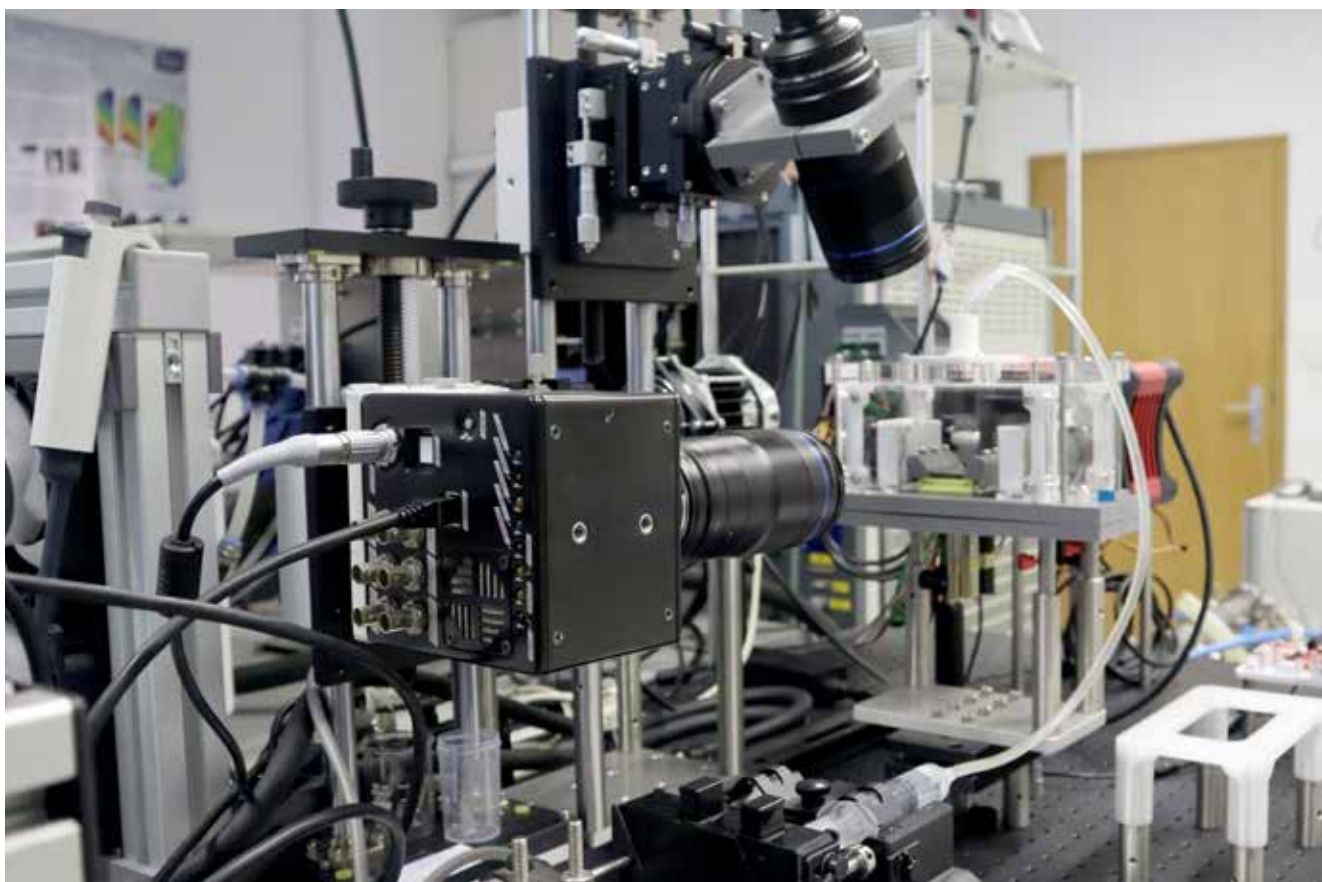
8.-11. APRIL 2025



NOVA RAZISKOVALNA OPREMA ZA PREBOJNE RAZISKAVE IN ŠE BOLJ POGLOBLJENO SODELOVANJE Z GOSPODARSTVOM – 6. DEL

Neža Markelj Bogataj

V tokratnem delu je v nadaljevanju bolj podrobno predstavljena najmodernejša raziskovalna oprema UL, Fakultete za strojništvo, ki zajema: procesni sistem za spremljanje prenosa toplote in snovi z visoko krajevno in časovno resolucijo, FT-104 Femto-Indenter z dodatki, elektronsko-optični analitski sistem za karakterizacijo pikosekundnih laserskih pulzov ter optični analitski sistem za meritve površin v vakuumu. Ta oprema bo bistveno prispevala k razvoju in krepitvi znanstvenih raziskav ter tesnemu sodelovanju z industrijskimi partnerji, hkrati pa bo fakulteti omogočala pomembno vlogo v domačih in mednarodnih raziskovalnih projektih.



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

Slika 1: Procesni sistem za spremljanje prenosa toplote in snovi z visoko krajevno in časovno resolucijo (Foto: Arhiv FS)

Procesni sistem za spremljanje prenosa toplote in snovi z visoko krajevno in časovno resolucijo

Sistem vključuje hitro kamero z InGaAs senzorjem, sposobno snemati v bližnjem infrardečem spektru (900–1700 nm) pri hitrosti do 9,99 kHz, in zajemalnik signalov z 24-bitno ločljivostjo AD- pretvorbe. Kamera je nameščena na mikroskop za opazovanje pojavov na milimetrski skali. Procesni parametri, kot sta tlak in temperatura, se spremljajo z visokofrekvenčnimi senzorji, medtem ko plinski kromatograf in FTIR-spektrometer omogočata analizo produktov.

Glavna prednost te opreme je izredno visoka hitrost zajema podatkov, kar omogoča sinhronizacijo podsistemov znotraj 1 mikrosekunde. To je še posebej pomembno pri opazovanju hitrih pojavov, kot je mehurčkasto vrenje, ki je eno glavnih raziskovalnih področij Laboratorija za toplotno tehniko (LTT).

Nova oprema bo zagotovila prebojna znanja na področju prenosa toplote, kar bo omogočilo razvoj naprednih tehnologij za hlajenje mikroelektronskih sistemov, jedrskih palic, integriranih vezij in drugih aplikacij, kjer je učinkovito hlajenje ključnega pomena. Pridobljeni eksperimentalni podatki bodo omogočili razjasnitev osnovnih mehanizmov pri prenosu toplote ter prispevali k razvoju novih tehnologij in izboljšanih sistemov za prenos toplote.

FT-I04 Femto-Indenter z dodatki

Femto-Indenter FT-I04 je napreden nanomehanski testni sistem za kvantifikacijo mehanskih in tribo-loških lastnosti materialov na mikro- in nanomehanskem nivoju, s čimer postavlja nove standarde v raziskovanju materialov. Nanoindenter temelji na patentirani tehnologiji FemtoTools Micro-Electro-Mechanical System (MEMS), ki je znana po svoji neprimerljivi ločljivosti, ponovljivosti in dinamični stabilnosti.

Naprava je optimizirana za mehansko testiranje širokega spektra materialov, vključno s kovinami, keramiko, tankimi filmi in prevlekami, pa tudi metamateriali. Femto-Indenter FT-I04 omogoča testiranje prask in kvantifikacijo stopnje obrabe materialov ter merjenje koeficienta trenja, kar je ključno za raziskave v tribologiji.

Podatke, pridobljene s femto-indenterjem, bodo v laboratoriju LATOP uporabili za presojo vpliva različnih vrst površinskih obdelav, kot so toplotne obdelave, laserske obdelave, površinsko utrjevanje, oplašanje in napanje, na lastnosti materiala. Pregled mikrostrukture z uporabo mehanskega mapinga bo omogočil prilagoditev parametrov toplotne obdelave in oplemenitenja površin ter drugih mehanskih postopkov obdelave kovinskih materialov. Tako bodo lahko bistveno izboljšali kakovost znanstvenega in pedagoškega dela.



Slika 2 : Napreden nanomehanski sistem Femto-Indenter FT-I04 (Foto: Arhiv FS)

Elektronsko-optični analitski sistem za karakterizacijo pikosekundnih laserskih pulzov

Elektronsko-optični analitski sistem je ključen tako za razvoj aplikacij laserskih virov s tipičnim trajanjem laserskega pulza v pikosekundnem območju kot tudi za daljše pulze. Sistem omogoča natančno karakterizacijo optičnega pulza ter zajem električnih signalov, potrebnih za generiranje pulzov.



Slika 3 : Optični analitski sistem za meritve površin v vakuumu (Foto: Arhiv FS)

Dnevi STROJNIŠTVA

Tehniški muzej Slovenije
24.-27. 9. 2024



Sistem sestavlja več vrhunskih komponent, ki skupaj tvorijo funkcionalno celoto:

- ▶ napreden ultraširokopasovni osciloskop, ki omogoča natančno in ponovljivo beleženje kratkih, pulznih električnih signalov;
- ▶ optični detektorji, ki omogočajo različne vhodne sklopitve svetlobe, tako z neposredno sklopitvijo iz okolice kot tudi po enorodovnem (single mode) in večrodovnem (multi mode) vlaknu;
- ▶ signalni generator in sistem za merjenje diferencialnih signalov;
- ▶ NIR-kamera (near-infrared) in translacijska mišica za natančno merjenje in analizo prostorskih lastnosti laserskega snopa.

Celoten sistem omogoča popolno analizo pikosekundnih laserskih virov, kar omogoča Laboratoriju za fotoniko in laserske sisteme (FOLAS) raziskovalno-razvojno delo na najvišjem mednarodnem nivoju in aktivno sodelovanje v domačih in mednarodnih projektih.

Optični analitski sistem za meritve površin v vakuumu

Pridobljena oprema je namenjena razvoju naprednih aplikacij laserskih virov na področju obdelave materialov s poudarkom na obdelavi površin. Ključna prednost sistema je možnost meritev vzorcev v vakuumu, kar preprečuje razvoj površinskih oksidov ali drugo kontaminacijo vzorcev, s čimer je zagotovljen popoln nadzor nad procesom od obdelave do analize površine.

Sistem sestavljajo tri glavne komponente:

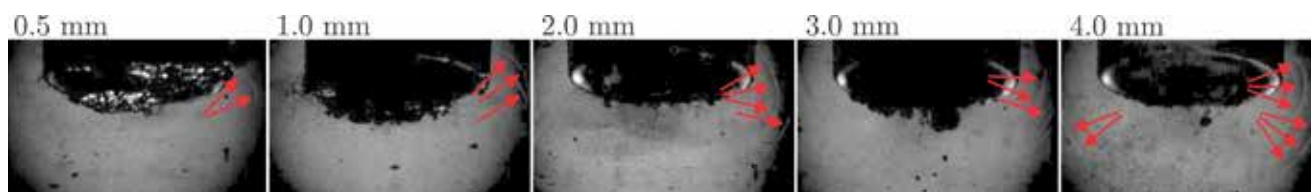
- ▶ 3D laserski konfokalni mikroskop, ki omogoča zajem površinskih lastnosti z izjemno natančnostjo 1 nm v vertikalni smeri in ločljivostjo 140 nm v lateralnih smereh;
- ▶ vakuumska črpalka visoke zmogljivosti za vzdrževanje nizkih tlakov znotraj komore za vzorce. To zagotavlja stabilne pogoje za natančne meritve brez kontaminacije vzorcev;
- ▶ računalniški sistem.

Laserske tehnologije, razvite z uporabo tega sistema, so zelene, saj ne obrabljajo orodja, ne porabljajo kemikalij in ne ustvarjajo odpadkov, kar prispeva k varstvu okolja. Sistem se povezuje z obstoječo laboratorijsko opremo Laboratorija FOLAS, kar omogoča nadaljnje vrhunske raziskave in uspešno prihodnje delovanje.

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

VPRAŠLJIVOST STANDARDIZIRANEGA TESTA KAVITACIJSKE EROZIJE

Člani Laboratorija za vodne in turbinske stroje (LVTS) so natančno in vsestransko proučili standardiziran test kavitacijske erozije ASTM G32 in v raziskavi izpostavili njegove pomanjkljivosti. Rezultati so objavljeni v priznani reviji Ultrasonics Sonochemistry (IF: 8,7).



Kavitacijski oblaki pri različnih odmikih med sondo in vzorcem. S puščicami so označeni udarni valovi, ki jih je možno zaznati s pomočjo hitre kamere.

Kavitacija, uparjanje in posledični hiter kolaps mehurčkov zaradi spremembe lokalnega tlaka lahko vodijo do kavitacijske erozije, ki je ena izmed najresnejših težav, s katerimi se spopadajo inženirji hidravličnih strojev (turbine, črpalke, propelerji ...). Pri testiranju materialov se inženirji običajno zanašajo na standardizirane postopke, med katerimi najpogosteje uporabijo vibracijski test ASTM G32. Vendar se je v preteklosti že večkrat izkazalo, da se napovedi tega testa ne ujemajo s poškodbami, ki nastanejo med delovanjem strojev. Razlog je do sedaj ostal neznan.

Pri izvedbi standardizirane meritve s testom ASTM G32 je vzorec materiala izpostavljen kavitaciji. Ta je vzbuja s pomočjo ultrazvočne sonde, ki mora biti

od vzorca oddaljena 0,5 mm. V študiji so raziskovalci s pomočjo kamere, ki snema več kot milijon slik v sekundi, spremljali kavitacijo v reži med sondo in vzorcem. Pokazali so, da imajo mehurčki v tanki reži (<1 mm) dvodimenzionalno (cilindrično) obliko in se vedejo drugače kot tisti v večjih režah. Posledično so njihov kolaps, izsevani udarni val in erozijski učinek manj agresivni.

Gre za prvi dokaz, da se dinamika mehurčkov v tanki reži, ki je predpisana s standardom, bistveno razlikuje od tiste, ki jo imajo prosti mehurčki v strojih, kar povzroča dvom in pomisleke o veljavnosti testa ASTM G32.

www.fs.uni-lj.si

Zanesljiv partner vaše proizvodnje



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>



OLMA
www.olma.si

INNO2MARE – PILOTNI PROJEKTI ZA KREPITEV ZMOGLJIVOSTI IN ZNANSTVENE ODLIČNOSTI SLOVENSКИH IN HRVAŠKIH INOVACIJSKIH EKOSISTEMOV

Petra Pintar, Marko Šimic, Niko Herakovič

Laboratorij *LASIM* na *Fakulteti za strojništvo Univerze v Ljubljani* deluje kot koordinator projekta INNO2MARE, katerega cilj je okrepiti zmogljivosti za odličnost zahodnoslovenskega in jadransko-hrvaškega inovacijskega ekosistema skozi nabor skupaj oblikovanih in izvedenih akcij, ki bodo podpirale digitalni in zeleni prehod pomorske ter z njo povezane industrije. Projekt se izvaja v sodelovanju z Univerzo na Reki, Univerzo v Antwerpnu in 16 partnerji, ki prihajajo iz Slovenije, Hrvaške in Belgije in pokrivajo vse štiri ključne deležnike: akademijo oziroma znanost, industrijo, vladne in nevladne organizacije.

Osrednji del projekta predstavljajo trije pilotni projekti, ki obravnavajo nekatere ključne izzive, povezane z naprednimi pristopi izobraževanja in usposabljanja v virtualnem okolju, s pomorsko varnostjo za avtonomnost plovil s podporo umetne inteligence ter z učinkovitostjo rabe in upravljanja alternativnih virov energije za proizvodnjo s podporo digitalnih dvojčkov.

Cilji projekta INNO2MARE so razviti skupno strategijo raziskav in inovacij za krepitev odličnosti pomorskih inovacijskih ekosistemov in prispevati k vrzeli v znanju na področju pomorskih raziskav in inovacij s sooblikovanjem ter skupnim izvajanjem treh pilotnih projektov: (1) *Izboljšan VR-model ladijske strojnice za požarno evakuacijo*, (2) *Digitalni dvojček z umetno inteligenco za trajnostno in učinkovito upravljanje z energijo za potrebe proizvodnje in* (3) *Tehnologije za avtonomno vodena plovila s podporo umetne inteligence (AI)*.

Namen **Pilotnega projekta 1**, ki ga izvaja Pomorska fakulteta z Reke (PFRI), je izboljšati VR-model ladijske strojnice za požarno evakuacijo ter s tem izboljšati požarno varnost v pomorskem prometu in digitalizirati proces pomorskega izobraževanja in

usposabljanja (MET – Maritime Education and Training), kar bo omogočilo njegovo izvajanje na kraju samem in na spletu ter bo zagotovilo izboljšano, bolj realistično in varnejše okolje za usposabljanje kadra za gašenje požarov na ladijskem krovu.

Projekt obravnava virtualno resničnost (VR) za razvoj varnejšega delovnega okolja, kjer je izboljšan VR-model požarne evakuacije ladijske strojnice osredotočen na razvoj izboljšane VR-modela širjenja požara v ladijski strojnici, ki je prikazan na *sliki 1*.

Predlagani model temelji na raziskavah, podprtih z dokazi, kar pomeni, da se širjenje požara najprej



Slika 1 : VR-model širjenja požara

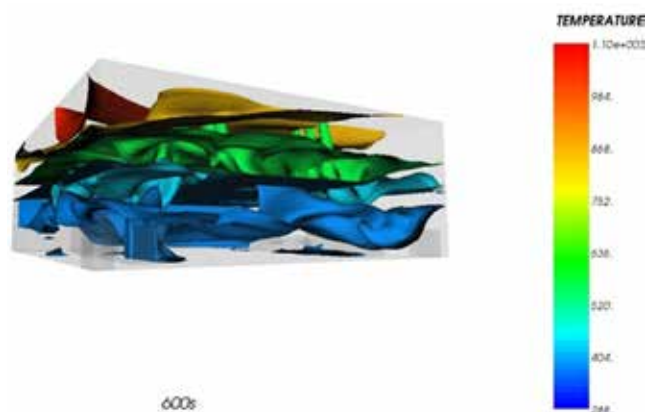
Petra Pintar, doc. dr. Marko Šimic, univ. dipl. inž., prof. dr. Niko Herakovič, univ. dipl. inž., vsi Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo

modelira z uporabo računalniške dinamike tekočin (CFD – Computer Fluid Dynamics), rezultati pa se nato prenesejo v virtualno okolje (VR – Virtual Reality). Dobljeni rezultati lahko pripomorejo k vzpostavitvi izboljšanega VR-okolja, k izboljšanju MET ter varnosti in zaščite v pomorski industriji z uporabo digitalnih tehnologij. Poleg tega bo primerjava rezultatov z osnovnim modelom VR predstavljala velik potencial za prihodnje raziskave in inovacije.

Rezultati raziskave bodo podpora obstoječi rešitvi in vrzeli v raziskavah, saj bo razvit osnovni VR-model ladijske strojnice in CFD-model širjenja ognja (prikaz na *sliki 2*) ter izboljšan popolnoma funkcionalen in preizkušen VR-simulator požarne evakuacije, katerega cilj je zagotoviti funkcionalni VR-model širjenja požara v ladijski strojnici. Planirana je stopnja tehnološke zrelosti TRL4/TRL5, kar pomeni, da je tehnologija razvita in preizkušena najprej v laboratorijskem in nato še v realnem okolju.

Pilotni projekt 2 ima namen razviti in implementirati rešitve digitalnih dvojčkov s podporo umetne inteligence. Ti bodo omogočali učinkovito in varno upravljanje energije, pridobljene iz sončne elektrarne ali drugih alternativnih virov, in energije iz električnega omrežja za potrebe proizvodnje, tudi v ladjedelnicah ali logistiki v pristaniščih.

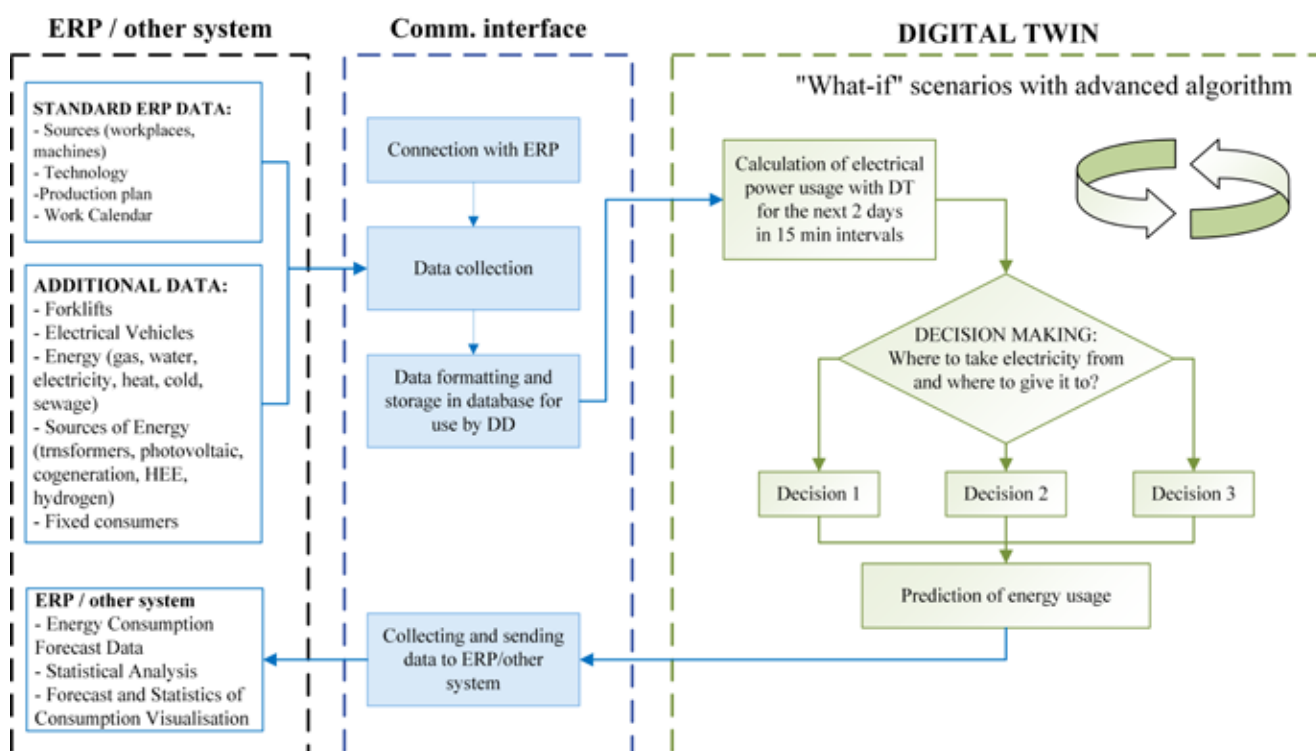
Seznam vhodnih parametrov za samogradnjo digitalnega dvojčka je nastal na delavnicah med podjetjema ISKRA d. o. o. in DIGITEH d. o. o., kjer je



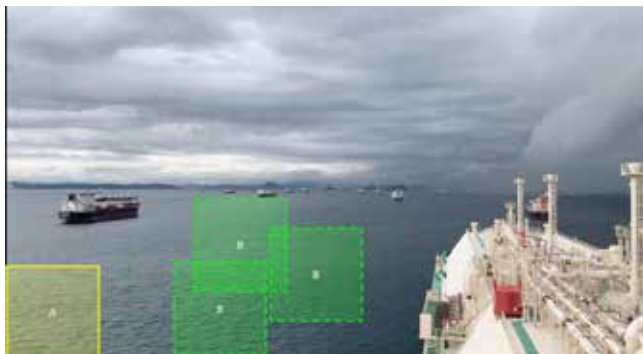
Slika 2 : CFD-model, prikaz širjenja ognja

bilo odločeno, kateri so proizvajalci energije in kateri souporabniki ter kakšna vrsta energije se bode si proizvede ali porabi. *Slika 3* predstavlja tri glavne stebre vhodnih parametrov za digitalni dvojček.

Simulacijski model je bil zasnovan na podlagi realnih podatkov iz proizvodnje, ki jih je posredovalo podjetje ISKRA d. o. o. Model je samograden in prilagodljiv ter omogoča analizo porabe energije in energetskih skokov (periode povečane in zmanjšane rabe energije). Na podlagi zbranih podatkov o porabi in proizvodnji električne energije in delovnih nalogih v istem časovnem obdobju je bil možen prvi pregled porabe energije v odvisnosti od proizvodnje.



Slika 3 : Blokovni diagram delujočega koncepta digitalnega dvojčka (Digital Twin)



Slika 4 : Nabor podatkov: SeaState-LL (rumeni okvir z oznako A) ter zeleni okvirji z oznako B predstavljajo nekatere možne lokacije objektov – SeaState-R (zeleni okvir).

Trenutno se izvajajo aktivnosti razvoja napovednih AI-algoritmov za analizo porabe energije, razvoja algoritmov za upravljanje z energijo, izvedbe dvo-smerne povezave med realno proizvodnjo in digitalnim dvojčkom ter testiranje in validacija že razvitih osnovnih algoritmov.

Cilj INNO2MARE in tudi pilotnega projekta 2 je spodbujanje sodelovanja med znanostjo in novimi industrijskimi partnerji v pomorski industriji ter spodbujanje razvoja in prenosa novih tehnologij in procesov v industrijska okolja. Na ta način lahko odkrivamo in se soočamo z novimi izzivi, spodbudimo večjo učinkovitost in trajnost pomorske industrije in logistike.

Pilotni projekt 3, ki ga izvajata Fakulteta za strojništvo z Reke (RITEH) in Fakulteta za informatiko in digitalne tehnologije Univerze na Reki, se ukvarja z uporabo tehnologij in razvojem metod za avtonomno upravljanje plovil s podporo umetne inteligence (AI). Raziskovalno delo obsega izdelavo modela za samodejno zaznavanje manjših objektov na morju in oceanu ter stanja morja glede na višino valov. Natančna ocena in napoved stanja morja omogočata izogibanje območjem s slabimi vremenskimi razmerami, kar je pomembno za varnost plovbe in energetske učinkovitost pomorskega prometa ter zmanjšanje porabe energije za plovbo.

Fakulteta za strojništvo z Reke (RITEH) in Fakulteta za informatiko in digitalne tehnologije Univerze na Reki se predvsem posvečata uporabi računalniškega vida in metod globokega učenja, na podlagi katerih skušata prepoznati kompleksne vzorce na slikah in videu, posnetih s stacionarno kamero z ladijskega mostu. Zbrane slike se uporabljajo za urjenje modelov globokih nevronske mreže, za interpretacijo slike in samodejno prepoznavanje stanja morja v realnem času po Beaufortovi lestvici. Isti princip se uporablja za zaznavanje manjših objektov na morju, kot so boje, vodni skuterji in druga manjša plovila. Dobljeni rezultati dokazujejo izjemno uporabnost pristopa, ki ga je mogoče integrirati in dopolnjevati s tradicio-

nalnimi metodami ter izboljšati varnost in učinkovitost vseh pomorskih operacij.

Slika 4 prikazuje primer lokalno izbrane slike, njeno velikost in lokacijo, vključeni v nabor podatkov – SeaState-LL (rumeni okvir z oznako A). Zeleni okvirji z oznako B predstavljajo nekatere možne lokacije objektov, vključenih v nabor podatkov – SeaState-R, torej prilagoditev vhodnih podatkov in nastavitvev modela za doseganje boljših rezultatov prepoznavanja ocene stanja morja. Ker je v realnosti težko zagotoviti potrebno število primerov posnetih slik različnih stanj, se za učenje modelov ustvarijo sintetične slike, ki lahko simulirajo mnoga stanja morske gladine in različne primere pritrditve kamer.

Drugi pristop uporablja neobdelane podatke o časovnem nizu nagiba ladje kot vhod v AT-NN (nevronska mreža, ki temelji na pozornosti) za oceno stanja morja. S temi metodami je možna prilagoditev vhodnih podatkov in nastavitvev modela za doseganje boljših rezultatov prepoznavanja ocene stanja morja.

Rezultati te raziskave imajo veliko vlogo pri razvoju avtonomnih plovil (DSS – Dynamic Shipping Services). Le popolnoma avtonomno plovilo, katerega sistem se na podlagi pridobljenih informacij odloča sam, brez človeške posadke, mora imeti vgrajene čim bolj napredne merilnike in razvite metode. S pomočjo modela računalniškega vida za detekcijo majhnih objektov in opisa stanja morja ter z razvitimi merilnimi tehnikami bo mogoče v realnem času v slabih vremenskih razmerah zagotoviti nemoteno in varno plovbo.

Oba inovacijska ekosistema, tako slovenski kot hrvaški, bosta imela velike koristi od izmenjave najboljših praks flamskega ekosistema, enega najbolj razvitih pomorskih inovacijskih ekosistemov na svetu. INNO2MARE bo na ta način prispeval k zmanjšanju inovacijskega razkoraka v Evropi na področju pomorstva s sistematičnim povezovanjem inovacijskih akterjev znotraj in med ekosistemi ter ustvarjanjem sinergij pri načrtovanju in izvajanju naložb v raziskave in inovacije, s čimer se bo razvila prava inovacijska kultura.



**Funded by
the European Union**



www.inno2mare.eu

PODJETJE Elesa+Ganter JE PREJELO NAGRADO GOOD DESIGN® AWARD ZA INOVATIVNI ROČAJ M.2000-SWM

Ročaji podjetja Elesa+Ganter M.2000-SWM s funkcijo monostabilnega stikala in signalno LED-osvetlitvijo so prejeli prestižno nagrado Good Design® Award ustanove The Chicago Athenaeum: Museum of Architecture and Design. Nagrada potrjuje zavezanost podjetja sodobnemu oblikovanju in inovativnim tehničnim rešitvam.



Družina vakuumskih prijemalnih komponent in elementov

Nagrada Good Design® so začeli podeljevati leta 1950 v Chicagu. Nagrada je namenjena izdelkom in vodenim podjetjem v panogi, ki so pomembno prispevali k nadaljnjemu razvoju oblikovanja in izdelave. Cilj je osveščanje o sodobnem oblikovanju in nagrajevanje tistih, ki so na svetovnem trgu s svojimi inovativnimi rešitvami postavili nove temelje.

Tudi nagrajeni ročaji M.2000-SWM so sedaj del te »družine«.

Ročaji združujejo funkcionalnost, ergonomijo in moderno oblikovanje. Uporabljajo se predvsem na strojih in zaščitnih sistemih. Ročaji M.2000-SWM v en izdelek združujejo več funkcij za zagotavljanje optimalne zmogljivosti in varnosti.

Ročaji M.2000-SWM zaradi kompaktne oblike in ergonomskega ovalnega preseka zagotavljajo varen in udoben oprijem, tudi če uporabnik nosi delovne rokavice. Poleg svoje funkcije kot ročaj en sam izdelek združuje še funkciji večbarvne signalne lučke in stikalne omarice z delovnimi ali izklopnimi kontakti. Standardna različica je na voljo s plastičnim priključkom ali kablom UL.

Letošnja nagrada za ročaj M.2000-SWM German Design Award ob Leap Awards 2022, IF Design Award in ADI Design Index 2023 potrjuje našo zavezanost k ustvarjanju inovativnih rešitev.

Samo z nenehnim razvojem izdelkov lahko ugodimo spreminjajočim se tehničnim zahtevam naših strank.

Več informacij o standardnih in standardiziranih delih Elesa+Ganter najdete na: elesa-ganter.si.

Vir:

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

elesa+Ganter 

POSVET

AVTOMATIZACIJA STREGE IN MONTAŽE 2024 - ASM '24

06. decembra 2024

na Gospodarski zbornici Slovenije v Ljubljani

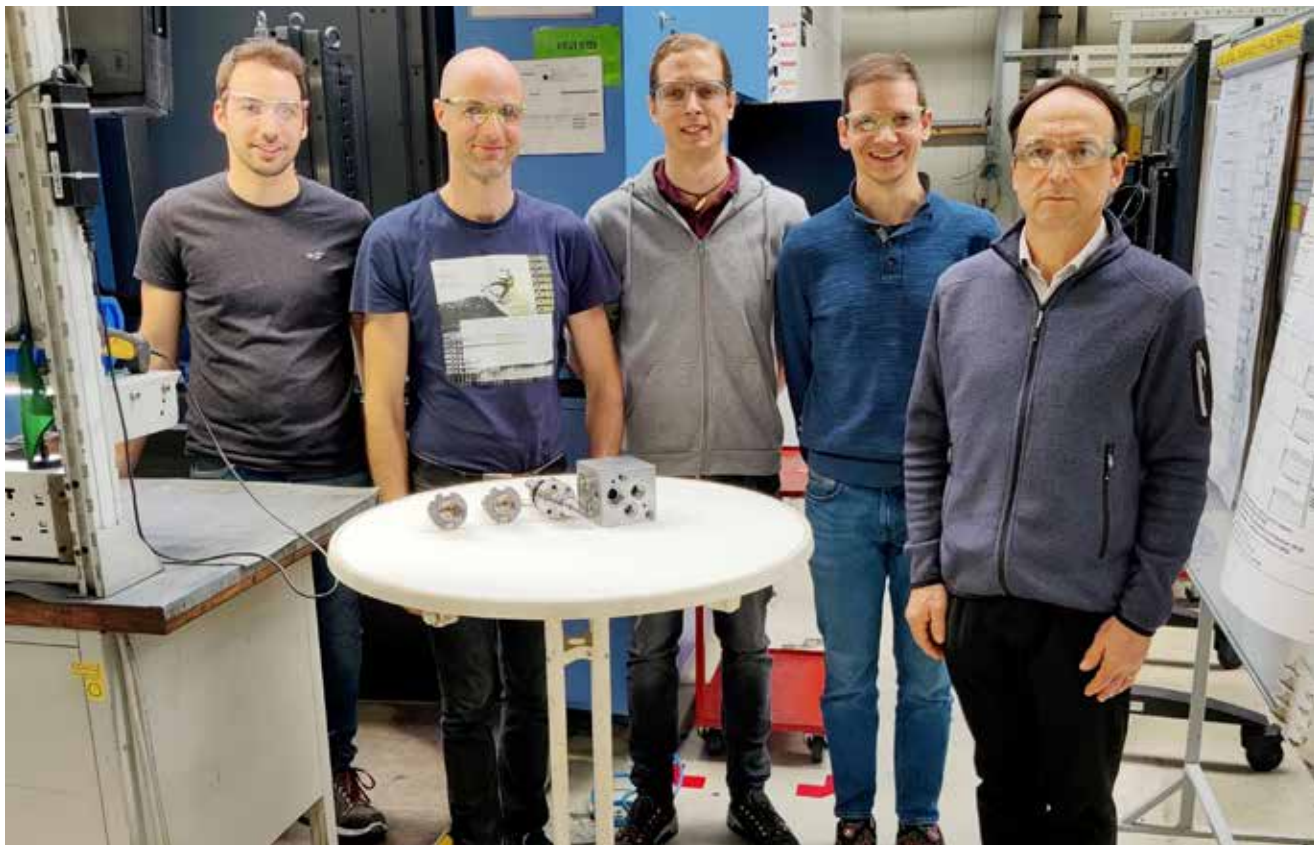
aktualne novice o posvetu so na voljo na www.posvet-asm.si

ŽIROVSKI POCLAIN HYDRAULICS S SREBRNIM REGIJSKIM PRIZNANJEM GZS ZA TRAJNOSTNO PROCESNO INOVACIJO

Gospodarska zbornica Slovenije v sodelovanju z regionalnimi zbornicami vsako leto podeli najvišja regijska in nacionalna priznanja za inovacije slovenskih podjetij, ki tvorijo gibalno trajnostnega razvoja našega gospodarstva ter ob pospeševanju podjetništva pomembno prispevajo tudi k promociji slovenske inovativnosti na tujih tržiščih. Rdeča nit letošnjega inovacijskega izziva, ki mu je v razpisu sledila tudi GZS – Regionalna zbornica Gorenjska, nosi naziv Izbrali smo trajnost, med dobitniki priznanj pa je tudi letos žirovski Poclain Hydraulics, ki je razvil inovativen tehnološki postopek obdelave hidravličnega zavornega ventila za kmetijske in gradbene stroje, ki se uporabljajo po vsem svetu.



Slika 1: Ekipo inovatorjev iz žirovskega podjetja Poclain Hydraulics (od leve proti desni): vodja oddelka razvoja zavornih ventilov Marko Žust, samostojni procesni tehnolog Gašper Oblak, študent Tim Božič, samostojni procesni tehnolog Martin Novak, vodja tehnologije MBU Primož Kavčič in samostojni montažni tehnolog Matej Gerkman (Foto: arhiv PH)



Slika 2 : Nagradjeni Poclainovi inovatorji: Tim Božič, Martin Novak, Gašper Oblak, Matej Gerkman in Marko Žust (Foto: arhiv PH)

GZS je februarja letos povabila kandidate k prijavi inovacij, ki so jih prvič vpeljali na trg ali uporabili v svojem proizvodnem procesu v času od 1. januarja 2022 do 31. marca 2024. Prijavitelji se pri GZS tako v prvem krogu potegujejo za nagrado na regijskem, zatem pa še na nacionalnem nivoju. Posamezne projekte iz petih kategorij (produktne, procesne, trženjske, organizacijske in družbene inovacije) najprej oceni 13 regionalnih komisij, v drugem krogu pa inovativne rešitve točkuje še nacionalna komisija. Na letošnjem 22. Dnevu inovativnosti, ki bo potekal na Brdu pri Kranju 10. septembra, bodo tako med najbolje ocenjenimi kandidati razglasili še štiri nacionalna priznanja GZS za najboljše inovacije. Glavna nacionalna partnerja projekta sta Ministrstvo za gospodarstvo, turizem in šport ter Javna agencija Spirit Slovenija.

30. maja letos so tako skladno s kriteriji odličnosti, učinkovitosti ter uspešne uporabe v praksi v okviru GZS – Regionalne zbornice Gorenjska – med 16 prijavljenimi inovacijskimi projekti podelili 7 zlatih, 4 srebrne in 5 bronastih priznanj, pri katerih je sodelovalo preko 100 inovatorjev. Poclain Hydraulics iz Žirov, ki je v svetu prepoznan kot kompetenčni center za razvoj, trženje in proizvodnjo hidravličnih ventilov, je za svojo letošnjo prijavljeno rešitev optimizacije procesa in inovativno izboljšavo načina obdelave ohišja zavornega ventila prejel srebrno priznanje GZS za inovacije.

Vodja tehnologije MBU Primož Kavčič kot koordinator ekipe pojasnjuje, da gre za inovacijo, ki uspešno naslavlja problematiko ročnega honanja ter z njim povezano obremenjevanje okolja in ogrožanje zdravja delavca operaterja: »Če je lani Poclain Hydraulics prejel zlato priznanje za hidravlični ventil HCC-200 za upravljanje pomožnega pogona na kmetijskih kombajnih, smo letos z ekipo razvojnikov in tehnologov temu dodali še srebrno priznanje za procesno inovacijo s poudarkom na trajnosti. Kot družbeno odgovoren delodajalec smo se v zadnjih dveh letih intenzivno ukvarjali z izboljšavo delovnih mest za naše operaterje. Poseben izziv za nas je predstavljalo ročno honanje, ki od delavca zahteva hkrati veliko fizičnega napora in natančnosti. Pri ročnem honanju se uporablja tudi posebno olje, ki vsebuje določene kemikalije in posledično predstavlja dodatno tveganje. Z odpravo ročnega honanja smo zdaj z novimi in sodobnimi orodji občutno pospešili procese izdelave zavornih ventilov za kmetijsko mehanizacijo, po katerih se povpraševanje v zadnjih letih eksponentno povečuje. Dosežek je za nas izjemnega pomena, saj bomo zmanjšali kompleksnost našega dela in hkrati povečali konkurenčnost, to tehnologijo pa koristno uporabili tudi pri drugih aplikacijah.«

Kot proizvajalec zavornih ventilov razvojno usmerjeni žirovski Poclain Hydraulics stremi k trajnostnim oblikam proizvodnje, še zlasti v primerih, ko dolo-



Sliki 3 in 4 : Ročno honanje in Radovan Markovič, ki v proizvodnji ventilov obvladuje procese honanja. (Foto: arhiv PH)

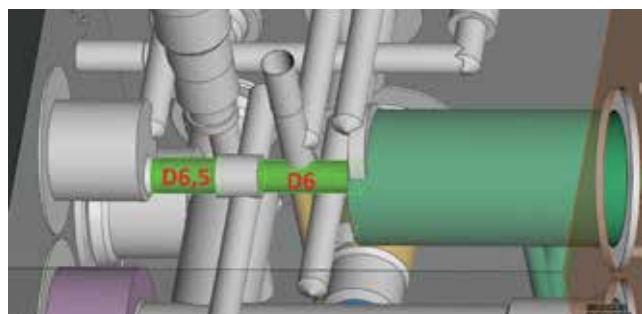
čen postopek oziroma operacija lahko predstavlja tveganje tako za delavca kot za okolje. Največje tveganje je predstavljala operacija ročnega honanja. Da bi to operacijo avtomatizirali, so se že pred časom povezali z glavnimi proizvajalci strojev za honanje, vendar so bili vsi testi neuspešni. V zadnjih dveh letih je steklo uspešno sodelovanje s češkim proizvajalcem rezilnega orodja, ki izdeluje specialno orodje za doseganje finih končnih obdelav. Z vpeljavo novega orodja so se lahko izognili tvegani operaciji ročnega honanja in vpeljali bolj trajnostno obliko proizvodnje. S tem sta se izboljšali tudi stabilnost procesa in sama kakovost obdelave ohišja zavornega ventila, ki z zmanjšanjem deleža izmeta za Poclain Hydraulics hkrati pomeni tudi zmanjšanje zastojev in znižanje stroškov obdelave, kar je za tak tip izdelkov, kjer je na trgu močna konkurenca, velik dosežek.

Martin Novak, samostojni procesni tehnolog za CNC-obdelavo, to procesno inovacijo utemljuje kot eno ključnih pri izpolnjevanju trajnostnih ciljev podjetja Poclain Hydraulics, ki v proizvodnjo ventilov prinaša še vrsto drugih prednosti: »Naš uspeh pri inovaciji, ki se nanaša na razvoj tehnologije obdelave ohišja hidravličnega zavornega ventila, je za vse nas in tudi za naše kupce izjemnega pomena. Ne le da smo zmanjšali obremenitve za naše visoko usposobljene operaterje in zagotovili nižjo porabo energijskih virov, pač pa smo hkrati izboljšali tudi kakovost obdelave, kar bistveno vpliva na samo funkcijo zavornega ventila.« Zavorne ventile iz Žirov veliki svetovni proizvajalci vgrajujejo v svoje kmetijske stroje, zato je njihova kakovost izjemno pomembna, saj je od tega odvisno tudi varno upravljanje stroja, še dodaja No-

vak in pojasnjuje: »V primeru, da glavna hidravlična črpalka odpove, imajo naši zavorni ventili varnostno funkcijo, ki operaterju stroja omogoča minimalno 10 dodatnih poskusov uspešnega zaviranja. Omenjena varnostna funkcija se krmili preko posebne batne izvrtine, ki se je doslej honala ročno, zdaj pa smo razvili bolj trajnosten proces obdelave. Na ta način smo se izognili zahtevnemu in dolgotrajnemu postopku ročnega honanja, pri katerem je operater rokoval s 6 do 7 kilogramov težkim izdelkom in bil pri tem izpostavljen še olju za honanje, ki lahko povzroča draženje in vnetje kože. Hkrati smo lahko opustili tudi operacijo pranja, ki je zaradi prepojenosti izdelka z oljem za honanje in posledično s kemikalijami predstavljala dodatno tveganje za okolje. Optimizacija operacije, ki smo jo dosegli s pomočjo inovativnega rezilnega orodja, se je zdaj povsem preselila na naš CNC obdelovalni center. Z novim orodjem dosegamo tudi krajši obdelovalni cikel, tako da smo zdaj z novim postopkom obdelave hitrejši, kakovostnejši in bolj trajnostni, s tem pa tudi bolj konkurenčni na svetovnem trgu.«

Izkušeni operater Radovan Markovič je nad nagrado inovacijo več kot navdušen: »Ukinitve ročnega honanja je ena najbolj pozitivnih sprememb, ki sem jih pri svojem delu do zdaj doživel.«

V razvoj obdelave batne izvrtine je bila vključena multidisciplinarna skupina strokovnjakov, ki se je poglobila v problematiko avtomatizacije procesov. Med njimi so bili inženirji tehnologij iz oddelka proizvodne tehnologije in tehnološkega oddelka za montažo ter inženirji iz razvojnega in iz oddelka kakovosti. Za razvoj obdelave na CNC obdelovalnem centru je bil pristojen samostojni proizvodni tehnolog Martin Novak. V podjetju so spremljali tudi vpliv novega tehnološkega postopka na montažo zavornega ventila, analizo pa je izvedel samostojni montažni tehnolog Matej Gerkman, ki je opozoril, da je bil doslej največji delež vseh zastojev pri montaži zavornih ventilov posledica slabše obdelave batne izvrtine. Procesnemu tehnologu Gašperju Oblaku, ki pokriva procese honanja in brušenja, je asistiral tudi Tim Božič, ki je kot študent spoznaval nove tehnologije in vestno zbiral podatke, ki so bili podlaga za kasnejše analize.



Slika 5 : Stopenjska batna izvrtina D6-6.5 (Foto: arhiv PH)



Slika 6-8 : Obdelava v CNC obdelovalnem centru in set novih orodij za avtomatsko obdelavo batnih izvrtin
(Foto: arhiv PH)

Končne funkcijske teste so izvedli v razvojnem oddelku za zavorne ventile, ki ga vodi Marko Žust: »Če smo bili doslej v proizvodnji priča zamudnim procesom, ki so nam onemogočali povečevanje kapacitet za proizvodnjo zavornih ventilov, smo z novimi procesi in inovativnimi rešitvami zdaj to uspešno premostili. Naše operaterje smo razbremenili težkega ročnega dela pri honanju, saj doslej za tako precizno obdelavo na tržišču še ni bilo ustreznih rešitev. Dodatno smo pri validaciji s postopkom izdelave še izboljšali določene karakteristike in funkcije ventila, kar je bil tudi naš cilj. Danes lahko svojim kupcem zagotovimo, da jim lahko brez tveganj ali zastojev zagotovimo želeno količino izdelkov glede na njihovo povečano povpraševanje na rastočem tržišču.«

V podjetju Poclain Hydraulics bodo s svojim tehnološkim znanjem tudi v prihodnje za trg razvijali in proizvajali visoko integrirana ohišja, s katerimi bodo še nadalje širili svoj portfelj izdelkov in jih tudi v bodoče dobavljali največjim in najbolj zahtevnim kupcem na svetovnem trgu.

Inovativno žirovsko podjetje Poclain Hydraulics, ki ima skoraj 300 zaposlenih, 95 odstotkov svojih prihodkov ustvari z izvozno dejavnostjo in uspešno vstopa na nove trge k največjim svetovnim igralcem. Danes je v svetu med najbolj prepoznavnimi na področju ventilov za hidravlične pogone mobilnih delovnih strojev ter med vodilnimi pri proizvodnji hidravličnih ventilov za zavore. Njihov celoten proizvodni program zajema ventile za zaprte in odprte tokokroge, ventile za zavore ter

hidravlične naprave za transmisijske pogone industrijskih strojev. Svoje proizvodne procese stalno izboljšuje ter uvaja rešitve industrije 4.0. Skladno s politiko skupine Poclain in z razvojem ključnih znanj stremijo k boljši učinkovitosti, odličnosti poslovanja in vrhunski kakovosti izdelkov. Tovarna v Žireh, ki je po številu zaposlenih tretja največja med desetimi tovarnami v mednarodni skupini Poclain, je danes pomemben kompetenčni center za hidravlične ventile in hidravlične naprave znotraj skupine Poclain, obenem pa tudi tehnološki center za avtomatske preizkuševalne naprave hidravličnih sestavin.

Skupina Poclain, ki ima sedež v Verberierju v Franciji, za trg razvija in proizvaja visokozmogljive hidravlične sestavine in sisteme, večinoma za hidravlične hidrostatične pogone. Sem sodijo hidravlični motorji in črpalke, hidravlični ventili, naprave, celotni sistemi ter z njimi povezana elektronika. Skupina posluje na treh kontinentih v 20 državah in z 2.500 zaposlenimi letno ustvari za približno 400 milijonov evrov prihodkov. Tehnološko dovršene, energijsko varčne in okolju prijazne izdelke skupina Poclain trži preko več kot 20 lastnih prodajnih enot ter 180 distributerjev po vsem svetu. Hidravlične sestavine in sistemi, ki jih razvijajo v Žireh, tako omogočajo nemoteno obratovanje številnih industrijskih delovnih strojev, zlasti v dejavnosti gradbeništva, kmetijstva, rudarstva, luškega, ladijskega in drugega transporta.

Miša Hrovat
agencija Maga, misa@maga.si



FAKULTETA ZA FARMACIJO IN FAKULTETA ZA STROJNIŠTVO UNIVERZE V LJUBLJANI PRIDOBILI GRADBENO DOVOLJENJE ZA NOVOGRADNJI

Fakulteta za farmacijo (UL FFA) in Fakulteta za strojništvo Univerze v Ljubljani (UL FS) sta pridobili gradbeno dovoljenje za novogradnji. Nova objekta bosta zgrajena na območju Kampusu Brdo, kjer že domujejo Biotehniška fakulteta (UL BF), Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo (UL FKKT) ter Fakulteta za računalništvo in informatiko Univerze v Ljubljani (UL FRI). Pridobljeno integralno gradbeno dovoljenje je pomemben korak k pričetku gradnje obeh fakultet, ki ga pričakujemo v letu 2025.



Nova stavba UL Fakultete za strojništvo (Foto: Sadar+Vuga)

Fakulteti, ki sta trenutno v prostorih na Aškerčevi cesti, zaradi premajhnih in neustreznih prostorov ne moreta več izvajati svojega poslanstva in zagotoviti ustreznega preskoka na pedagoškem in raziskovalnem področju, ki ga od njiju zahteva družba za enakovredno vključevanje v mednarodne tokove. Študenti in raziskovalci obeh fakultet bodo v novem okolju, oblikovanem v skladu z najsodobnejšimi smernicami, deležni številnih novih možnosti, ki bodo pozitivno vplivale na njihove študijske in raziskovalne dosežke.

Univerza v Ljubljani trenutno že gradi del kampusu Medicinske fakultete Univerze v Ljubljani na Vrazovem trgu ter novo stavbo Veterinarske fakultete. »Z izgradnjo Fakultete za farmacijo ter Fakultete za

strojništvo bomo predvidoma do leta 2030 uredili najbolj pereče prostorske težave članic Univerze v Ljubljani,« pravi rektor Univerze v Ljubljani prof. dr. Gregor Majdič in dodaja: »Novi stavbi bosta fakultetama omogočili izpolnjevanje družbenega poslanstva in Strategije razvoja Univerze v Ljubljani, s čimer bosta lahko zagotovili bistveno širši nabor pedagoških, raziskovalnih, razvojnih, inovacijskih aktivnosti obeh fakultet tudi na področju zelenega in digitalnega prehoda ter s tem prispevali k dobrobiti slovenskih državljanov ter splošnemu razvoju stroke in slovenske družbe.«

UL FFA ima danes več kot 1500 študentov in skoraj 200 zaposlenih. Leta 2000 so s prizidkom na sedanji lokaciji omilili prostorsko stisko, a je danes

prav tako na več lokacijah, tudi najetih, ki ne zadoščajo pedagoškim in raziskovalnim potrebam fakultete ter države. Z novogradnjo se zagotavlja zlasti zadostna razpoložljivost vseh vrst laboratorijev in predavalnic, ki bodo omogočali kakovostno izobraževanje študentov. Potreba po njihovih kadrih je že zdaj velika, v prihodnjih letih pa se bo še povečevala zaradi že začelih širitev aktivnosti farmacevtskih podjetij v Sloveniji.

»Na Fakulteti za farmacijo Univerze v Ljubljani usposabljam magistre farmacije za opravljanje njihovega poslanstva v lekarniški dejavnosti, strokovnjake za delo laboratorijski medicini in kozmetologiji ter v globalno kompetitivnem okolju v farmacevtske industrije. S kombinacijo znanstvenih pristopov in inovativnih poučevalnih orodij prispevamo k ustvarjanju in razširjanju znanja z namenom človeškega blagostanja in zdravega staranja. Nova stavba bo znatno pripomogla k doseganju teh ciljev. Dolgo načrtovan projekt novogradenj potrebuje 'le' še obljubljena finančna sredstva,« se je mnenju pridružil dekan UL FFA prof. dr. Rok Dreu.

Obstoječi prostori UL FS so bili zgrajeni leta 1972, ko je fakulteto obiskovalo 600 študentov, zaposlenih pa je bilo okoli 150 ljudi. Danes fakulteto obiskuje več kot 1500 študentov, zaposlenih pa je več kot

430. Da je prostorska stiska res huda, priča dejstvo, da fakulteta že desetletja domuje na petih lokacijah. Te pa po večini niso več primerne za današnje pedagoško in raziskovalno delo. Trenutno ima fakulteta na razpolago 13.200 kvadratnih metrov površin, na novi lokaciji bo prostora več kot dvakrat toliko.

»Gospodarski razvoj v RS je usodno odvisen od znanja in prebojnih inovacijskih tehnologij, ki jih razvijamo na UL FS in se s tem prebijamo med vodilne nosilce razvoja in izobraževanja v regiji in širše v mednarodnem prostoru. To je tudi zaveza, ki smo jo dali slovenskemu gospodarstvu in družbi ter s tem pridobili sofinanciranje iz Programa evropske kohezijske politike 2021-2027,« je povedal prof. dr. Mihael Sekavčnik, dekan UL FS.

Arhitekturna zasnova obeh novih stavb upošteva skokovit napredek strojništva in farmacije v zadnjem obdobju, zagotavlja pogoje za razvoj izjemno širokega nabora strokovnih področij, predvsem pa je nastala na podlagi razmisleka, kaj fakulteti počneta na svojih področjih delovanja za doseganje globalne konkurenčnosti gospodarstva in slovenske družbe.

www.fs.uni-lj.si

RAZVIT IN IZDELAN V SLOVENIJI

YASKAWA

GP20

GLAVNE PREDNOSTI

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

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



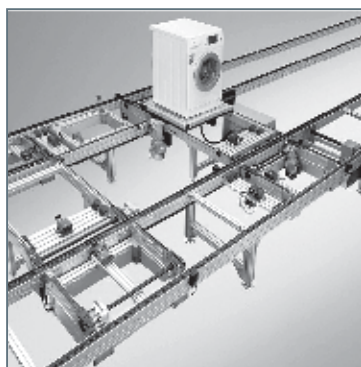
Controlled by
YRC1000

Rexroth
ORGATEX®

LEANPRODUCTS®



BOSCH



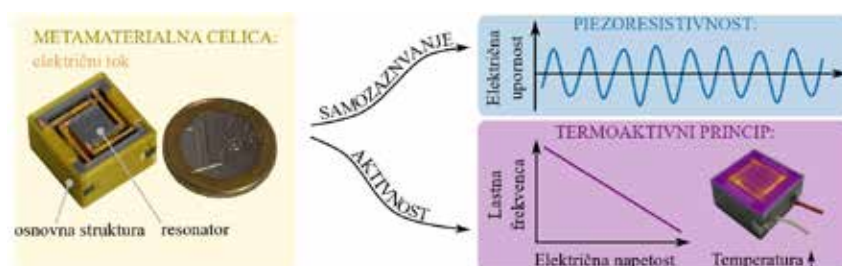
OPL
automation

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

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

AKTIVNA SAMOZAZNAVNA METAMATERIALNA CELICA, 3D NATISNJENA V ENEM PROCESU

Raziskovalci Laboratorija za dinamiko strojev in konstrukcij Fakultete za strojništvo Univerze v Ljubljani so predstavili metodo za 3D-tiskanje aktivne metamaterialne celice, ki se lahko prilagaja dinamičnim obremenitvam. Njihovo delo je bilo objavljeno v znanstveni reviji International Journal of Mechanical Sciences (IF = 7.1).



Princip delovanja pametne metamaterialne celice, 3D natisnjene v enem procesu

Metamateriali so geometrijsko zasnovane strukture z efektivnimi materialnimi lastnostmi, ki jih v naravi običajno ne najdemo. Sestavljeni so iz osnovnih gradnikov oziroma celic, ki se v strukturi periodično ponavljajo. Lokalno resonirajoči metamateriali se pogosto uporabljajo v različnih aplikacijah, kot sta zmanjševanje vibracij v letalski industriji in izboljšanje zvočne izolacije v gradbeništvu ter avtomobilski industriji.

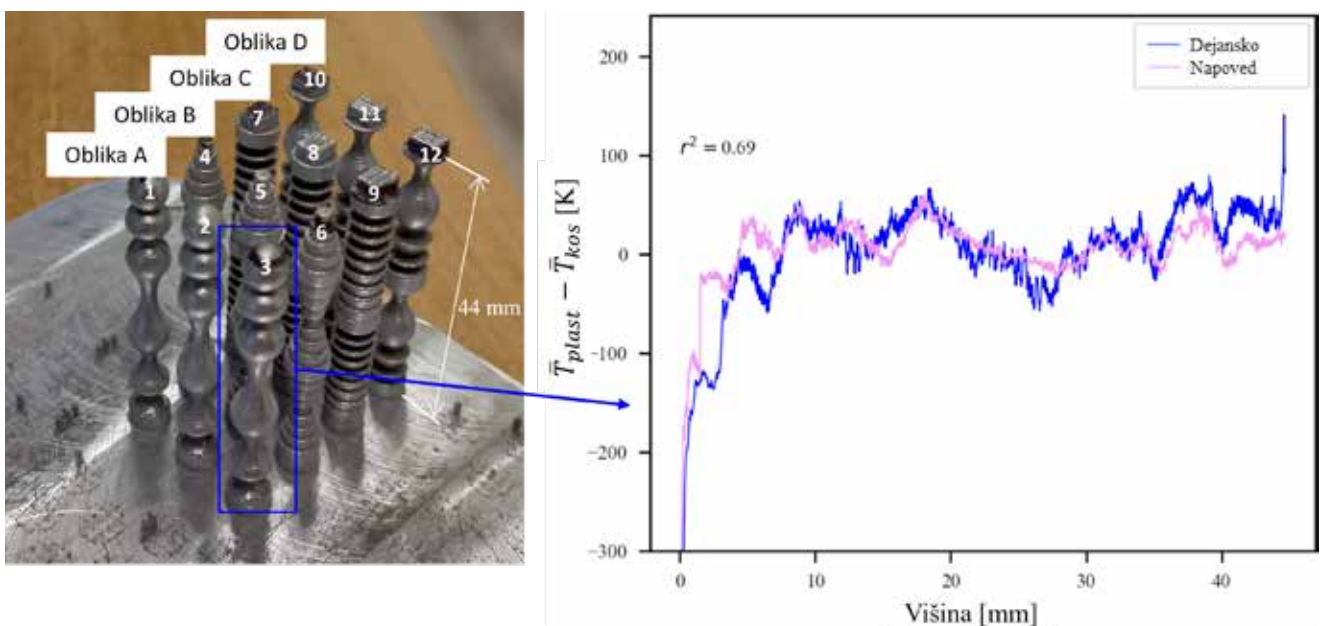
Raziskovalci laboratorija LADISK so razvili metamaterialno celico, ki je s pomočjo lokalnih resonatorjev sposobna dušiti mehanska nihanja v ozkem frekvenčnem območju. Celica je sestavljena iz osnovne strukture in resonatorja, vsebuje pa tudi 3D natisnjene prevodne poti. Preko segrevanja prevodnih poti z električnim tokom so raziskovalci opazovali spreminjanje togosti resonatorja, kar je posledično privedlo do sprememb frekvenčnega območja dušenja vibracij. Merjenje temperature je bilo mogoče zaradi spremembe kvazistatičnega dela električne upornosti prevodnih poti, vzbujevalno frekvenco oziroma obremenitev metamateriala pa so v študiji zaznavali preko dinamičnega dela električne upornosti. Z omenjenimi funkcionalnostmi je metamaterialna celica sposobna zaznavati okoliške obremenitve in se jim prilagoditi s spremembo frekvenčnega pasu dušenja vibracij.

V primerjavi s predhodnimi raziskavami je predstavljena metamaterialna celica v celoti natisnjena v enem procesu z uporabo termoplastične ekstruzije materiala, hkrati pa omogoča zaznavanje obremenitev, merjenje temperature in spreminjanje frekvenčnega območja dušenja vibracij. Aktivni metamateriali, sestavljeni iz predstavljenih celic, imajo potencialno uporabo na področjih, kjer želimo nižati raven vibracij in obenem spreminjati frekvenčno vsebnost mehanskega nihanja s časom.

www.fs.uni-lj.si

UPORABA UMETNE INTELIGENCE ZA NAPOVEDOVANJE VARIACIJ PROCESNIH POGOJEV PRI SELEKTIVNEM LASERSKEM TALJENJU

Doc. dr. Dominik Kozjek, raziskovalec Laboratorija za mehatroniko, proizvodne sisteme in avtomatizacijo (LAMPA) Fakultete za strojništvo UL, je v sodelovanju z raziskovalci Univerze Northwestern University (Illinois, ZDA), z raziskovalnim laboratorijem ameriške vojske in podjetjem DMG MORI Advanced Solutions razvil novo metodo napovedovanja variacij temperature bazena taline pri procesu selektivnega laserskega taljenja kovinskega prahu.



Primer napovedi spreminjanja temperature bazena taline pri procesu selektivnega laserskega taljenja. Napovedane razlike povprečnih temperatur bazena taline so na desnem grafu označene z roza, z modro so pa označene dejanske vrednosti izmerjene z dvobarvnim koaksialnim pirometrom.

Proces selektivnega laserskega taljenja kovinskega prahu se v industriji uporablja za izdelavo geometrijsko kompleksnih kovinskih delov visokih zmogljivosti, kot na primer medicinskih vsadkov, delov motorja in strukturnih elementov letal. Ta izdelovalni proces je okolju prijazen, saj ga odlikujejo manjša poraba materiala za isto funkcionalnost izdelanih kosov, krajše dobavne verige in zmožnost visokega prilagajanja izdelkov. Kljub vsemu pa je zaradi oteženega napovedovanja in nadzora pogojev samega postopka taljenja, ki vplivajo na kakovost izdelanih kosov, oteženo kvalificiranje in certificiranje procesa. Posledično je zaradi tega oteženo tudi pridobivanje potrebnih dovoljenj za široko uporabo teh metod v medicini, avtomobilski in vojaški industriji ter na ostalih potencialnih področjih uporabe tega procesa za izdelavo var-

nostno kritičnih komponent. Metode, s katerimi lahko predvidevamo in nadzorujemo spremembe v pogojih procesa, so tako ključnega pomena za nadaljnji napredek procesa selektivnega laserskega taljenja kovinskega prahu.

V objavljeni študiji so raziskovalci vpeljali uporabo umetne inteligence za napovedovanje variacij povprečne temperature bazena taline. Variiranje so predvideli na podlagi učenja napovednega modela umetne inteligence na preteklih koaksialnih meritvah sprememb temperature bazena taline. Metoda upošteva tudi dele, ki so v procesu tiskanja v okolici opazovanega dela (običajno se v eni gradnji 3D-tiska pri tem procesu skupaj natisne več kosov), ki, kot je prikazano v rezultatih študije, pomembno vplivajo na variacije pogojev procesa pri opazovanem delu.

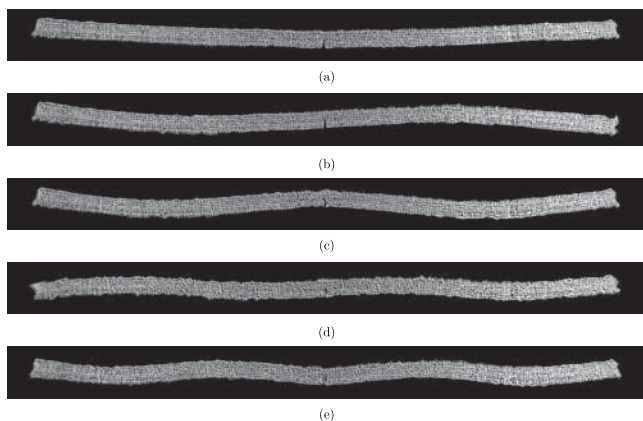
Prednost predlagane metode je predvsem njena učinkovitost. Izkazalo se je, da že z majhnim naborem učnih podatkov in nekajminutnim procesiranjem na običajnem osebem računalniku lahko pridobimo uporabne napovedi variacij povprečne temperature bazena taline. Pomembna prednost predlagane metode je tudi ta, da je metoda sposobna predvideti profile variacij temperature bazena taline za nove geometrije delov, ki jih model za napovedovanje prej v postopku učenja ni videl. Metoda predvidi variacijo temperatur samo z uporabo vhodnih podatkov stroja in preteklih meritev temperatur bazena taline, ki pripadajo delom različnih geometrij, kot je geometrija opazovanega dela.

Rezultati raziskave so bili objavljeni v Additive Manufacturing (IF: 11.0), ki se uvršča med najboljše znanstvene revije na področju strojnega inženirstva. Z razvojem te nove metode predvidevanja variacij povprečne temperature bazena taline smo tako korak bližje k zagotavljanju zanesljivosti in kakovosti procesa selektivnega laserskega taljenja kovinskega prahu za izdelavo varnostno kritičnih delov.

www.fs.uni-lj.si

POVEČAN PRIKAZ LASTNIH OBLIK NA POSNETKIH, PRIDOBMLJENIH S HITRO KAMERO

Raziskovalci Laboratorija za dinamiko strojev in konstrukcij (LADISK) so razvili novo metodo za prikazovanje povečanih lastnih oblik, zajetih s pomočjo hitre kamere. Rezultati raziskave so objavljeni v reviji Mechanical Systems and Signal Processing (IF: 7,9).



Strukture pri visokih frekvencah nihajo z majhnimi amplitudami, posledično pa so pogosto zakrite pod visokim pragom šuma, ki je značilen za metode za identifikacijo pomikov na podlagi digitalnih slik.

Cilj metod povečave gibanja (ang. motion magnification) je na podlagi obdelave digitalnih videoposnetkov prikazati drobno gibanje, ki ni zaznavno s prostim očesom. Trenutno najpogostejše uporabljene metode povečave gibanja temeljijo na prostorsko-časovnem pasovnem filtriranju digitalnih videoposnetkov. Na področju strukturne dinamike se metode povečave gibanja uporabljajo za prikaz

in analizo odziva struktur na dinamsko vzbujanje. Če metodo apliciramo na posnetke, ki smo jih zajeli s hitro kamero, lahko tako analiziramo visokofrekvenčna nihanja.

V predstavljenem delu avtorji raziskujejo možnost povečave gibanja na podlagi eksperimentalne modalne analize. Odziv strukture na dinamsko vzbujanje so avtorji merili z metodo poenostavljenega optičnega toka na podlagi gradienta intenzitete. V kombinaciji s sočasno referenčno meritvijo s pospeškomerom so nato izvedli hibridno modalno analizo, ki omogoča identifikacijo strukturne dinamike v področju, kjer so pomiki manjši od enega slikovnega elementa ter zakriti s šumom. Identificiranje lastne oblike strukture predstavljajo goste polje pomikov, na podlagi katerega so v zadnjem koraku izvedli popačenje slike strukture.

V eksperimentalnem delu so raziskovalci na primeru upogibnih nihanj jeklenega nosilca in s pomočjo predlagane metode dosegli faktor povečave do približno 40-tisočkrat. V primerjavi z obstoječimi metodami so tako prodrli za en velikostni razred globlje v šum. Poleg tega pa je predlagani pristop tudi numerično bistveno manj zahteven.

www.fs.uni-lj.si

CELOVIT PREGLED PLAZEMSKEGA ELEKTROLITSKEGA POLIRANJA (PeP)

Izr. prof. dr. Joško Valentinčič je skupaj z raziskovalci Laboratorija za alternativne tehnologije LAT in v sodelovanju z raziskovalci Tehnične univerze Bergakademie Freiberg objavil članek, v katerem obravnavajo uporabo plazemskega elektrolitskega poliranja (PeP) za naknadno obdelavo kovinskih 3D natisnjenih izdelkov. Članek je bil objavljen v reviji Virtual and Physical Prototyping (IF = 10.6).



Brez naknadne obdelave (No post processing)	Peskano (Sandblasted) 20 min	Peskano (Sandblasted) 30 min	Peskano (Sandblasted) 10 min + PeP 5 min	Samo (Only) PeP 70 min
Sa = 19.8 µm	Sa = 6.4 µm	Sa = 5.7 µm	Sa = 5.8 µm	Sa = 2.6 µm

Demonstracijski izdelek narejen v okviru projekta SEAMAC s tehnologijo spajanja slojev praškastega materiala z laserskim žarkom (angl. Laser beam powder bed fusion - PBF-LB) in naknadno obdelan s peskanjem, plazemskim elektrolitskim poliranjem (PeP) in obojim. Podana je tudi dosežena hrupavost površine Sa.

Aditivne tehnologije se vedno pogosteje uporabljajo za izdelavo kovinskih komponent, saj omogočajo učinkovito prilagajanje oblik v kratkem času ter manjšo porabo materiala, vendar pa slabša kvaliteta površine natisnjenih delov omejuje njihovo neposredno industrijsko uporabo. Naraščajoče povpraševanje po naknadni obdelavi kovinskih delov, proizvedenih z aditivnimi tehnologijami, tako postavlja v ospredje potencial tehnologije PeP kot okolju prijazne in učinkovite metode poliranja.

V preteklih letih je bilo razvitih veliko tehnik naknadne obdelave, kot so lasersko poliranje, kemijsko in elektrokemijsko poliranje, mehansko poliranje, elektroerozija idr. V članku je predstavljena relativno nova tehnologija za naknadno obdelavo 3D natisnjenih kovinskih komponent – PeP, ki omogoča doseganje gladkih in sijočih površin kovinskih 3D natisnjenih izdelkov na učinkovit in trajosten način. Pri tej metodi površinske obdelave kovin je odstranjevanje materiala doseženo s kombinacijo elektrokemičnih in plazemskih reakcij. V primerjavi z do sedaj uporabljenimi konvencionalnimi metodami poliranja je metoda PeP hitrejša in cenejša in povzroča manjše mehanske obremenitve obdelovancev, kar je še posebej pomembno pri obdelavi površin 3D natisnjenih izdelkov. Bistvena prednost metode je tudi v tem, da se izognemo uporabi tra-

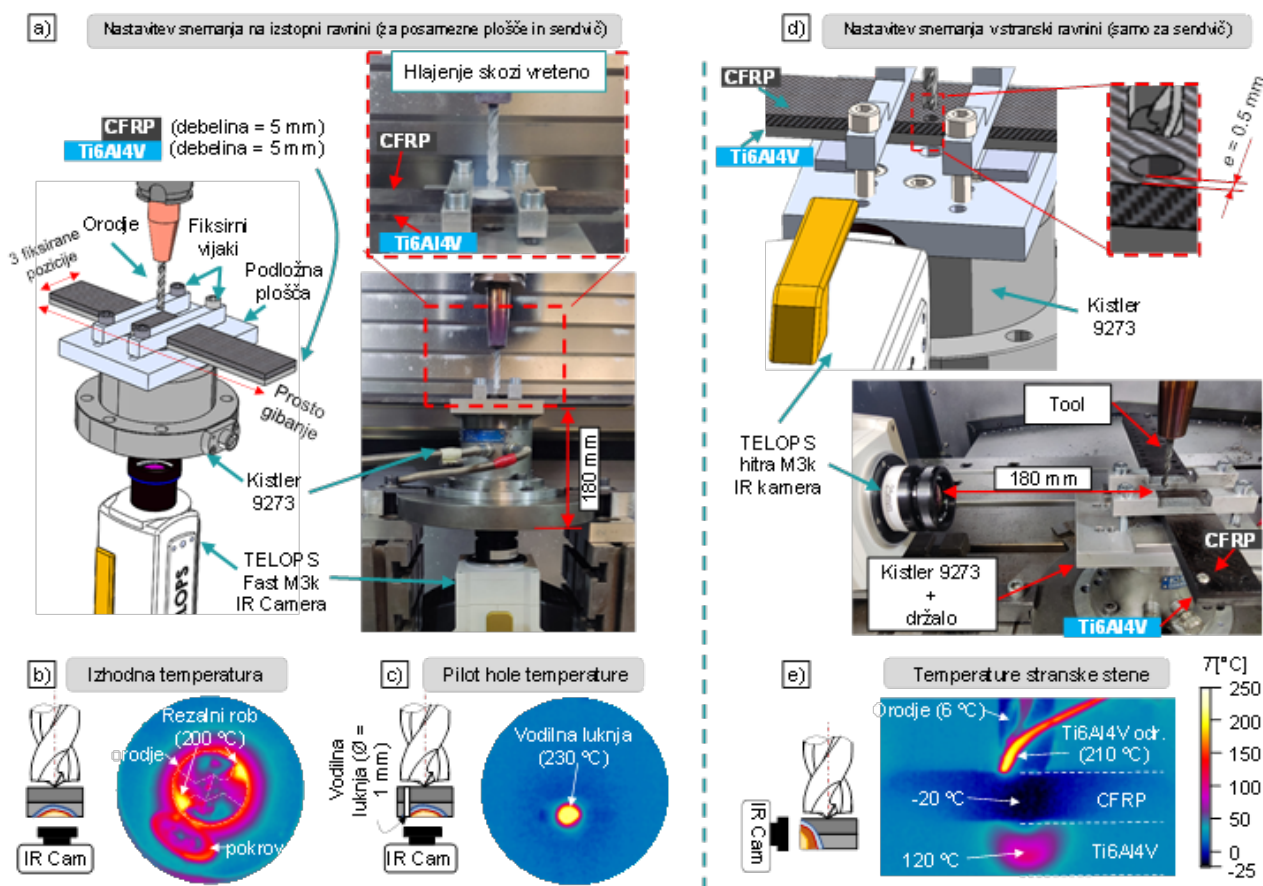
dicionalnih elektrolitov, kot sta žveplena kislina in fosforna kislina, ki sta nevarni tako pri uporabi kot tudi kasneje pri transportu ali odstranjevanju. Namesto teh se pri obdelavi uporabljajo vodni elektroliti z nizko koncentracijo nevtrálnih soli, ki so okolju bolj prijazni in tudi cenejši.

Avtorji v članku predstavijo raziskovalne dosežke na tem področju, preučene materiale, uporabo tehnologij za posebne oblike 3D natisnjenih izdelkov, kot so mrežne strukture, in izzive, ki jih bo v prihodnosti potrebno še nasloviti. Avtorji predstavijo možnosti uporabe PeP, vključno z možnostmi avtomatizacije, standardizacije in numeričnega modeliranja za širjenje uporabnosti tehnologije PeP. Izpostavljen je tudi pomen te tehnologije pri izboljšanju 3D natisnjenih izdelkov v različnih industrijskih panogah in zagotavljanju trajnostne rešitve za boljše kakovost površin.

Potencial PeP za naknadno obdelavo kovinskih komponent je ogromen, vendar ostaja razmeroma premalo raziskan. Z osredotočenimi raziskavami in hkratnim sodelovanjem z industrijo lahko PeP postane vodilna metoda za doseganje visokokakovostnih kovinskih komponent.

KAKO DOVAJANJE TEKOČEGA OGLJIKOVEGA DIOKSIDA IN MAZIVA VPLIVA NA KAKOVOST VRTANJA SENDVIČ STRUKTUR CFRP/Ti6Al4V

Raziskovalci Laboratorija za odrezavanje (LABOD) so izvedli eksperimentalno študijo na področju vrtanja z dovajanjem ogljikovega dioksida (CO_2), katere glavni cilj je bila določitev vpliva tehnologije na toplotne obremenitve, kakovost in produktivnost vrtnja. Rezultati študije so objavljeni v priznani reviji Composite Structures (IF: 6.2).



Eksperimentalni sistem analize toplotnih razmer pri vrtanju v CFRP/Ti6Al4V sendvič strukturi

Z ogljikovimi vlakni ojačani polimeri v kombinaciji s titanovo zlitino (t. i. sendvič struktura CFRP/Ti6Al4V) se zaradi odličnega razmerja med težo in trdnostjo ter dobrih korozijskih lastnosti uporabljajo v letalski industriji za strukturne elemente. Vendar te iste lastnosti materiala predstavljajo izziv pri izdelavi lukenj, ki ga ni mogoče rešiti s suho obdelavo ali uporabo običajnih hladilno-mazalnih tekočin za obdelavo kovin na vodni osnovi (oljne emulzije), saj te povzročajo razgradnjo kompozita. Poleg tega je zaradi okoljskih in zdravstvenih pomislekov potrebno raziskati alternativne rešitve za hlajenje in mazanje.

V tej študiji so raziskovalci z orodjem za vrtanje dovajali nadzorovano mešanico tekočega ogljikovega dioksida (LCO_2) in minimalne količine maziva (MQL). Učinek različnih pretokov LCO_2 in MQL je bil povezan z rezalnimi silami, temperaturami v rezalni coni in več cenilkami kakovosti izvrtine. Rezultati so pokazali, da pretoki pomembno vplivajo na opazovane karakteristike in da dovajanje LCO_2 skupaj z MQL izboljša kakovost in produktivnost vrtnja v sendvič strukturi CFRP/Ti6Al4V, tudi v primerjavi z uveljavljenimi oljnimi emulzijami.

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

INDUSTRIJSKI
FORUM **IRT** 2025

FORUM ZNANJA IN IZKUŠENJ

Predstavitev strokovnih prispevkov
Strokovna razstava
Aktualna okrogla miza
Podelitev priznanja TARAS

Dogodek je namenjen predstavitvi dosežkov in novosti iz industrije, inovacij in inovativnih rešitev iz industrije in za industrijo, primerov prenosa znanja in izkušenj iz industrije v industrijo, uporabe novih zamisli, zasnov, metod tehnologij in orodij v industrijskem okolju, resničnega stanja v industriji ter njenih zahtev in potreb, uspešnih aplikativnih projektov raziskovalnih organizacij, inštitutov in univerz, izvedenih v industrijskem okolju, ter primerov prenosa uporabnega znanja iz znanstveno-raziskovalnega okolja v industrijo.



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

Portorož, 9. in 10. junij 2025

Dodatne informacije: Industrijski forum IRT,
Motnica 7 A, 1236 Trzin | tel.: 01 5800 884
faks: 01 5800 803 | e-pošta: info@forum-irt.si

www.forum-irt.si

NOVA OPREMA ZA PREIZKUŠANJE MERILNIKOV HITROSTI

V zadnjih dneh smo na Uradu RS za meroslovje prejeli več vprašanj v zvezi z modrim vozilom Opel Astra na ljubljanski in trzinski obvoznici z vidno belo številčnico na steklu prtljažnega prostora.



Slika 1: Vozilo »tarča«, lokalna cesta Mengeš-Trzin

V tem primeru gre za službeno vozilo Urada RS za meroslovje in se uporablja kot vozilo »tarča« v postopkih odobritve tipa merilnikov hitrosti v cestnem prometu.

Vozilo smo v tem primeru uporabili za tarčo merilnika hitrosti nove generacije, ki omogoča meritve hitrosti vozil ostalih udeležencev v prometu iz vozila v gibanju (npr. policijskega oziroma redarskega vozila). Tovrstne meritve se imenujejo meritve iz premične točke, ker je potrebno upoštevati in izmeriti hitrosti vozila, kjer je merilnik hitrosti vgrajen. Slednje pomeni, da moramo v postopku odobritve tipa preskusiti večje število prometnih situacij kot pri običajnih merilnikih hitrosti, ki so nameščeni fiksno v ohišja ob voznih pasovih oziroma nad cestiščem. Zanimajo nas, kako sistem meri na cestah z dvema ali več pasovi, v urbanih okoljih, v ovinkih, rondojih, tunelih, pod nadvozi ter podobno.

Preskuse lahko naredimo samo v živo v dejanskem prometu. Obe vozili – vozilo »tarča« in vozilo z »merilnikom« – seveda v tem primeru strogo upošte-

vata cestnoprometne predpise in omejitve hitrosti. Vse meritve pa so narejene z zmanjšanim pragom proženja, da jih lahko zajamemo za dokazovanje ustreznosti merilnika hitrosti.

Urad izvaja podobne preskuse že od leta 2021. V juniju letošnjega leta smo obstoječi sistem v vozilu »tarča« nadgradili s prikazovalnikom hitrosti, ki omogoča prikazovanje trenutne hitrosti vozila »tarča« na zadnjem steklu. Sedaj lahko zelo hitro ocenimo delovanje in največje dopustne pogreške na podlagi ogleda dokazne fotografije, na kateri je izmerjena hitrost iz merilnika hitrosti in prikaza hitrosti iz prikazovalnika hitrosti opazovanega vozila »tarče« v različnih situacijah. Slednje omogoča hiter pregled nekaj 100 meritev hitrosti vozila »tarče« na dan.

Vozilo »tarča« je opremljeno z zmogljivim sistemom za telemetrijo vozil RaceLogic VBOX III, ki lahko izredno natančno določi trenutno hitrost vozila na podlagi Dopplerjevega pojava na GNSS-signalu. Sistem za telemetrijo z zadnjo nadgradnjo



Vizualna primerjava rezultatov

Prikazovalnik
"hitrosti"

Vozilo "tarča"

Meritev hitrosti

Ostali udeleženci
v prometu

Prometna situacija na AC

Vozilo z vgrajenim "merilnikom" v gibanju

Slika 2 : Primer delovanja merjenja iz premične točke in preskušanja na terenu s prikazovalnikom

lahko prikazuje tudi trenutno hitrost vozila »tarče«, ki je vidna skozi zadnje steklo našega vozila.

Urad RS za meroslovje se zaveda pomena prometne varnosti ter hitrosti kot enega največjih dejavnikov pri nesrečah s smrtnim izidom. Zato na Uradu RS za meroslovje nenehno vlagamo v razvoj postopkov za ugotavljanje skladnosti, da bi lahko omogočili uporabo moderne opreme za nadzor hitrosti policiji, občinskim redarstvom in vojaški policiji.

Prvi sistem za merjenje hitrosti iz premične točke je Urad RS za meroslovje odobril v oktobru 2023

in ga trenutno po naših informacijah uporabljajo v nekaterih občinskih redarstvih. Glavna prednost sistemov za merjenje hitrosti iz premične točke v primerjavi na primer z obstoječimi sistemi Provida je, da je hitrost posameznega vozila izmerjena v trenutku ne glede na smer gibanja vozila in da ni potrebno zasledovati vozila z enako hitrostjo na določeni razdalji. Slednje znatno prispeva k prometni varnosti v času meritve hitrosti.

Mag. Roman Flegar
Urad RS za meroslovje

REVILJA ZA FLUIDNO TEHNIKO, AVTOMATIZACIJO IN MEHATRONIKO
VENTIL


strojninstvo.com
križišče strojnikov

IMPERATIV DIGITALNE TRANSFORMACIJE V POSTDIGITALNI DOBI

Janez Škrlec

Besedna zveza »postdigitalno« se dandanes že pogosto uporablja. Guardian piše: »Dobrodošli v postdigitalnem svetu, vznemirljiva vrnitev v civiliziranost.« Ad Age govori o tem, kako postdigitalna doba prinaša lastnosti spleta v resnični svet. Deloitte sprašuje: »Postdigitalna doba: ali je vaše podjetje na to pripravljeno?« In Jefferies izjavlja: »Zagotovo smo vstopili v postdigitalno dobo.« Včasih smo govorili o življenju na spletu in zunaj njega. Toda vedno bolj ustvarjamo brezhibne poti med obema, ustvarjamo popoln življenjski slog, ki ga tehnologija obogati in omogoči, namesto da bi ga zajela.



Postdigitalna doba bo prinesla nove spremembe na področju uporabe tehnologij in oblikovanja industrij in novih poslovnih modelov.

Razvoj digitalne dobe je odprl vpogled v drastične spremembe, polne priložnosti in izzivov za podjetja in industrijo po vsem svetu. Ko prestopamo prag postdigitalne dobe, v kateri so digitalne zmogljivosti postale temeljno pričakovanje in ne samo konkurenčna prednost, postane imperativ digitalne preobrazbe vedno bolj kritičen. Vendar pri tej preobrazbi ne gre le za izkoriščanje tehnologije; gre za ponovno odkrivanje poslovnih modelov, preoblikovanje izkušenj strank in redefiniranje same organizacijske strukture. Konkurenčna prednost in trajna rast v tem novem obdobju ne bosta povezani le s sprejemanjem digitalnih tehnologij, temveč s tem, kako uspešno in učinkovito se te tehnologije uporabljajo za omogočanje poslovnih strategij in ciljev. Podjetja, ki želijo uspevati v tem neizprosnem konkurenčnem svetu, morajo gledati dlje od zgolj digitalizacije in si morajo prizadevati za resnično celo-

vito digitalno preobrazbo. Ni več skrivnost, da so v svetu vedno bolj pomembne tehnologije NBIC in DARQ, da se industrija spreminja skozi oblikovanje tehnoloških potencialov in novih potreb v industrijo 5.0 in družbo 5.0. Vedno bolj intenzivno se v vse procese vključujejo umetna inteligenca (UI), uporaba bioničnih algoritmov (rojeva inteligenca), razvoj memristorskih vezij na poti naprednih možganskih vmesnikov in pot v biodigitalno konvergenco (kot načinom združitve naravnega in umetnega) ter razvoje bioničnih sistemov, preoblikovanje industrijske avtomatizacije s tehnologijo, ki jo navdihuje narava, razvoj amorfnega in kvantnega računalništva ter oblikovanje novih industrij in poslovnih modelov, kot so bionska podjetja, predstavljena po BCG (Boston Consulting Group).

Vizionarske napovedi in razumevanje postdigitalne dobe

Postdigitalna doba označuje obdobje, v katerem bodo digitalne tehnologije in zmogljivosti postale sestavni, temeljni vidik podjetij in ne samo dodatna konkurenčna prednost. V tej dobi se je digitalna transformacija premaknila iz neobvezne strateške prednosti v osnovno zahtevo za preživetje in rast. Toda tisto, kar ločuje podjetja od drugih, je več kot zgolj sprejetje digitalnih orodij, temveč inovativna, namenska in individualizirana uporaba teh orodij za zagotavljanje edinstvenih vrednostnih ponudb, vrhunske uporabniške izkušnje in učinkovitih operativnih zmogljivosti. Ključne značilnosti postdigitalne dobe vključujejo razširjenost nastajajočih tehnologij DARQ in NBIC, umetne inteligence, razširjene in obogatene resničnosti in kvantnega računalništva, amorfnega računalništva in drugega. Vse te novodobne tehnologije ekstremno poganjajo inovacije brez primere in povzročajo zahteve za nove poslovne modele, izdelke in storitve. Druga značilnost postdigitalne dobe je globlje razumevanje potrošnikov in zagotavljanje visoko personalizirane

Janez Škrlec, inž., Uredništvo revije Ventil

ranih izkušenj na zahtevo. To zahteva razvoj delovne sile in razvoj novih sklopov spretnosti in kompetenc s poudarkom na vlaganje v talente in v odnose, ki temeljijo na bistveno večjem zaupanju kot doslej. Poleg tega je varnostna integracija znotraj ekosistemov postala še veliko bolj pomembna. Uspeh v postdigitalni dobi bo zahteval obvladovanje nastajajočih tehnologij in dajanje prednosti zaupanju in odgovornim inovacijam. Pomen digitalne transformacije v postdigitalni dobi je v njenem potencialu za drastično izboljšanje operativne učinkovitosti, izboljšanje izkušenj strank in spodbujanje kulture inovacij. Podjetjem omogoča, da skrajšajo čas za trženje, poenostavijo procese, vključijo povratne informacije uporabnikov in spodbujajo kulturo odprtosti za strateško pomembne spremembe.

Imperativ digitalne preobrazbe

Pomena digitalne preobrazbe v današnjem poslovnem okolju ni mogoče preceniti. Postalo je nujno ne le za ohranjanje konkurenčnosti, temveč tudi za spodbujanje rasti in pripravljenosti na prihodnost. Vendar pa pot digitalne preobrazbe presega le uvažanje novih tehnologij ali zbiranje podatkov. Vključuje nastanek organizacije, ki temelji na podatkih in uporablja digitalna orodja za zagotavljanje izboljšane učinkovitosti in vrednosti. Digitalna transformacija zahteva več kot vlaganje v tehnologijo; zahteva naložbe v ljudi, procese in kulturo. Pet ključnih komponent poganja uspešno digitalno preobrazbo: ljudje, podatki, vpogledi, sodelovanje in inovacije. Prvič: ljudje so osrednjega pomena za razumevanje potrošnikov, strank in zaposlenih, saj prispevajo k procesu transformacije. Drugič: podatki omogočajo skaliranje znanja in pridobivanje dragocenih vpogledov, ki spodbujajo odločanje. Tretjič: spoznanja, pridobljena z analizo podatkov, so osnova za strateške ukrepe in naložbe. Četrto: vključitev v človeško vključevanje, spretnosti, procese in upravljanje sprememb je ključnega pomena za izvajanje ukrepov, ki temeljijo na vpogledih. Nenazadnje je spodbujanje kulture inovacij ključnega pomena za nenehno izboljševanje in krepitev napovedne moči in vrednosti vpogledov. Vodenje igra ključno vlogo pri digitalni preobrazbi. Za uspešno upravljanje organizacij morajo vodje razumeti štiri stebre digitalne preobrazbe – dvig informacijske tehnologije, digitalizacijo ope-

racij, digitalno trženje in nove podvige – ter izbrati ustrezno izhodišče glede na kontekst, potrebe in digitalno zrelost podjetja. Imeti morajo tudi prave ljudi, vire in ključne kazalnike uspešnosti (KPI), da lahko vodijo uspešne pobude za digitalno preobrazbo. Digitalna preobrazba je bistvena za vsako podjetje, da ostane konkurenčno in si zagotovi trajno rast. Zahteva celovit pristop, ki zajema tehnologijo, ljudi, procese in kulturo ter jasno razumevanje konteksta in potreb organizacije. V postdigitalni dobi digitalna preobrazba ne bo le možnost, temveč imperativ za trajno rast in konkurenčno prednost. Ker se organizacije nenehno prilagajajo spreminjajočim se tehnologijam in tržni dinamiki, je bistvo digitalne transformacije v njenem potencialu za revolucijo poslovnih modelov, racionalizacijo poslovanja, izboljšanje uporabniške izkušnje in spodbujanje kulture inovacij. Prihodnost digitalne transformacije bo verjetno vključevala večjo uporabo umetne inteligence, podatkovne analitike in storitev v oblaku s povečanim poudarkom na agilnosti, osredotočenosti na stranke in trajnostni rasti.

Izzivi tudi za Stičišče znanosti in gospodarstva

Ni naključje, da mi v okviru Stičišča znanosti in gospodarstva kot projekta MVZI dajemo največji poudarek inovacijam, digitalizaciji, bioniki, novim tehnologijam in industrijskemu razvoju. Letos bomo šli s predstavitvami in inovacijami še dlje. Predstavljen bo 3D digitalni dvojček GreenTwin, ki je inovativna 3D-platforma, zasnovana za vodje in zaposlene. Omogoča napredno vizualizacijo, spremljanje in nadzor celotnega proizvodnega procesa ali obrata v realnem času s podatki o rabi energije, CO₂-odtisu ipd., ne glede na lokacijo uporabnika, kar izboljša sprejemanje odločitev in operativno učinkovitost. GreenTwin se ponaša s številnimi prilagojenimi rešitvami, ki naslavlja specifične izzive v proizvodnji in drugih panogah s posebnim poudarkom na 3D-vizualizaciji. GreenTwin je zasnovan za širok spekter aplikacij, od proizvodnje in transporta vse do zdravstva. S tem orodjem lahko učinkovito nadziramo in upravljamo sredstva, od posameznih strojev do celotnih podjetij, kar omogoča optimizacijo delovanja in konkurenčno prednost v dinamičnem poslovnem okolju.

POSVET

AVTOMATIZACIJA STREGE IN MONTAŽE 2024 - ASM '24

06. decembra 2024

na Gospodarski zbornici Slovenije v Ljubljani

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

PREDNOST UPORABE INŽENIRSKIH POLIMEROV ZA TRAJNOSTNE HIDRAVLICNE KOMPONENTE

Ana Trajkovski, Nejc Novak, Jan Pustavrh, Mitjan Kalin, Franc Majdič

Izvleček:

Inženirski polimeri so dokazali, da imajo zelo obetavne tribološke lastnosti in uspešno sledijo visoko zmogljivim termoplastom. V naših raziskavah smo preizkušali in analizirali polioksimetilen (POM) za zelo zahtevne delovne pogoje hidravličnih vklopno-izklopnih ventilov. Testirali smo čisti POM in POM, ojačan s 30 % ogljikovih vlaken (POM CF30), v standardnem mineralnem hidravličnem olju ISO VG 46, raztopini glicerola in vode in demineralizirani vodi pri sobni ter povišani temperaturi.

Rezultati so pokazali zelo nizek koeficient trenja (od 0,027 do 0,033) in specifične obrabe ($\sim 10^{-7}$ mm³/Nm) v mešanici glicerola in vode, primerljivo z vrednostmi, izmerjenimi v hidravličnem olju, in nižjo od izmerjenih v vodi (koeficient trenja $\sim 0,14$, specifična obraba $\sim 10^{-6}$ mm³/Nm) pri sobni temperaturi. Pri povišani temperaturi se koeficient trenja v hidravličnem olju in raztopini glicerol-voda nekoliko poveča, v vodi pa zmanjša in vrednosti postanejo primerljive za vsa maziva. Na podlagi rezultatov sta tako polioksimetilen kot mešanica glicerola in vode lahko dobra alternativa za standardno hidravlično olje in jeklene tribološke pare, kar vodi do odličnih triboloških lastnosti ob zmanjšanju mase komponent.

Ključne besede:

polimer, polioksimetilen, glicerol, voda, hidravlično olje, trenje, obraba, hidravlika

1 Uvod

Hidravlični sistemi so široko uporabljani tehniški sistemi v industriji. Omogočajo velike sile, togost in dobro vzdržljivost uporabe. Eden izmed glavnih izzivov trajnostne hidravlike je povečati učinkovitost hidravličnih komponent. To je pogosto privedlo do razvoja novih komponent ali uporabe novih materialov in tehnologij mazanja [1]. V zadnjem desetletju so bile izvedene številne študije o triboloških lastnostih različnih naprednih polimernih kompozitov [2, 3]. Njihove tribološke lastnosti je mogoče izboljšati z različnimi funkcionalnimi polnili. Tako bi jim lahko podaljšali uporabno dobo ali dodatno zmanjšali trenje in obrabo ter izboljšali odziv pri večjih obremenitvah, drsnih hitrostih, tlakih ali temperaturah [10]. Polimeri so se izkazali kot odlična alternativa klasičnim komponentam iz jekla v različnih industrijskih aplikacijah za zobnike, črpalke, hidravlične valje, tesnila, ležaje itd. [4–7]. V primerjavi s tradicionalno uporabljaj-

nimi jeklenimi zlitinami je razmerje med trdnostjo in gostoto ojačanih polimernih kompozitov do 13,5-krat večje od jekla [8]. Uporaba polimerov in polimernih kompozitov z nizko specifično težo in visoko trdnostjo namesto kovin za izdelavo različnih fluidnih pogonskih elementov in komponent ima velik potencial za zmanjšanje teže komponent in izgub energije. V nedavni študiji je bil izdelan prototip hidravličnega valja iz kompozitne strukture s 57 % nižjo težo, medtem ko je ohranil enako zmogljivost kot običajni kovinski hidravlični valj [7]. Raziskave kažejo, da bi lahko uporaba omejenih inovativnih materialov in rešitev v 15 letih zmanjšala izgubo energije zaradi trenja in obrabe za približno 40 % [2].

Od ultravisoko zmogljivih polimerov do dostopnih polimerov se mehanske lastnosti spreminjajo v nasprotju s ceno polimera (lastnosti reprezentativnih polimerov iz posameznih skupin so primerjane z nerjavnim jeklom AISI 440 C [2, 9–11] v preglednici 1). Elementi, narejeni iz naprednih kompozitov, delujejo z različnimi mazivi, kot so hidravlična olja, voda, emulzije, nano- in ionske tekočine [12, 13]. Najbolj pogosto je raziskan visoko zmogljivi PEEK (polyetheretherketone) z različnimi dodatki (ogljikova vlakna, steklena vlakna, grafit, polytetrafluoroethylene – PTFE itn ...) v suhem, olju in vodi. Po lastnostih in ceni mu sledijo tudi visoko zmogljivi

Dr. Ana Trajkovski, univ. dipl. inž., **Nejc Novak**, mag., **Jan Pustavrh**, mag., **prof. dr. Mitjan Kalin**, univ. dipl. inž., **izr. prof. dr. Franc Majdič**, univ. dipl. inž., vsi Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo

Preglednica 1 : Mehanske lastnosti polimerov v primerjavi z jeklom

Material	Gostota ρ [g/cm ³]	Modul elastičnosti E [GPa]	Natezna trdnost Rm [MPa]	Trdota [HV]
Nerjaveče jeklo AISI 440-C	7,67	200	760–1960	~695
Ultravisoko zmogljivi (PEEK)	~1,32	~4,2–8,1	~110	do 250
Visoko zmogljivi (PPS)	~1,43	~3,3–4,4	~75	do 220
Inženirski (POM, UHMWPE, PA)	~1,13–1,5	~1,7–3,3	~40–80	do 120
Dostopni (PE, PTFE)	~2,18	~0,5	~10	do 100

(polyphenylenesulphide) PPS in njegovi kompoziti [14–19]. Polioksimetilen (POM) je eden izmed inženirskih polimerov »srednjega razreda«, katerega cena je do 10-krat nižja v primerjavi z ultravisoko zmogljivimi polimeri. Ima majhno specifično težo in nizko absorpcijo vode ter dobre tribološke lastnosti. Zato je eden najpogostejše uporabljenih inženirskih polimerov [4, 10]. Uspešno lahko sledi zmogljivosti PPS (polifenilensulfida) in PEEK (polietereterketona), kadar se uporablja za gerotor motorje ali celo sledi učinkovitosti klasičnega kovinskega varnostnega ventila [5]. V naši nedavni študiji je POM, ojačan z ogljikovimi vlakni, dal primerljive rezultate s štirimi različnimi visoko zmogljivimi polimernimi kompoziti v čistem glicerolu in vodi [20].

Mineralno hidravlično olje je običajno uporabljano mazivo oziroma pogonski medij za hidravlične stroje in naprave. Velika slabost trenutno še vedno najbolj razširjene oljne hidravlike pa je nevarnost onesnaževanja okolja pri naključnem izteku olja, ki ga ni mogoče kontrolirati, niti uporabljenega olja efektivno ponovno uporabiti ali skladiščiti. Zato danes postajajo zelena maziva obvezna v ladijskih in gozdarskih strojih in so zaželena v različnih vrstah mobilnih strojev in še dalje v industriji [21]. Okolju prilagojena maziva, kot so rastlinska olja, sintetični estri, polialfaoleini, poliglikoli in voda, kažejo nizko toksičnost ter odlično biološko razgradljivost [22]. Najstarejši odgovor na vprašanje o trajnostnih mazivih je uporaba čiste vode ali vode z različnimi dodatki, ki lahko popravijo izjemno nizek koeficient trenja viskoznosti vode in težave s korozijo [23, 24]. Vendar pa je razpoložljivost hidravličnih komponent za vodno hidravliko omejena zlasti zaradi zelo nizke viskoznosti vode (100-krat nižja v primerjavi s tradicionalnimi mineralnimi baznimi olji) in potrebe po korozivni odpornosti uporabljenih materialov [23]. To pa močno omejuje in povečuje ceno uporabe vodne hidravlike. Trenutni stroški komponent iz nerjavnega jekla od 3- do 4-krat presegajo ceno standardnih oljnih hidravličnih komponent [5, 13]. Glicerol je še ena zanimiva biokompatibilna alternativa, ki je glavni stranski produkt pri proizvodnji biodizla [25]. Čeprav ima dobre mehanske in tribološke lastnosti, ima tudi skoraj 20-krat večjo viskoznost v primerjavi s tradicionalnimi mineralnimi baznimi olji [26]. Tako vi-

soka viskoznost ni posebej zaželena, ker so večje izgube energije zaradi potrebe po več energije za premagovanje debelejšega mazalnega filma. To ima za posledico degradacijo maziva in morebitno zgodnjo odpoved elementov oziroma komponent ali sistema. Vendar pa se glicerol odlično raztopi v vodi in tako je visoko zmrzišče glicerola [27, 28], debelino filma in viskoznost mogoče nadzorovati z ustrežno količino vode. Doslej so bile študije osredotočene predvsem na uporabo vodnih raztopin glicerola v običajnih kontaktih jeklo-jeklo. Le nekaj študij obravnava sočasno uporabo polimernih kompozitov in glicerola ali podobnih zelenih maziv [20, 29]. V naši nedavni študiji smo primerjali pet različnih polimernih kompozitov [20]. Glicerol se je izkazal kot odlično mazivo, zlasti za tri polimere z višjo trdoto.

Namen te študije je analizirati tribološke lastnosti komercialno dostopnega čistega POM-a in POM-a, ojačanega s 30 % ogljikovimi vlakni (POM CF30), v drsnem paru polimer-jeklo v standardnem mineralnem hidravličnem olju ISO VG 46, demineralizirani vodi ter raztopini glicerola in vode. Primerjali in analizirali bomo njihove tribološke lastnosti pri različnih delovnih temperaturah (sobni in povišani), kot se pričakuje v hidravličnih aplikacijah.

2 Materiali in metode

2.1 Preizkušanci

Za tribološke teste tipa »kroglica-disk« smo pripravili vzorce čistega POM-a in POM-a, ojačanega s 30 % ogljikovih vlaken (POM CF30). Polimerne vzorce smo izrezali iz komercialno dostopne palice s premerom 30 mm na debelino 6 mm. Vzorce smo polirali v več korakih z avtomatsko napravo za poliranje in pripravo vzorcev (RotoPol-21, RotoForce-3) do končne hrapavosti $R_a = 0,1 \mu\text{m}$. Kroglica, uporabljena tekom recipročnega tribološkega testiranja, je bila standardna kaljena ležajna kroglica premera 25 mm, izdelana iz nerjavnega jekla AISI 440-C. Pred vsakim testom smo polimerne vzorce, kroglico, prijemala ter banjico očistili z medicinskim bencinom, etanolom in posušili v toku zraka.

Preglednica 2 : Lastnosti uporabljenih maziv

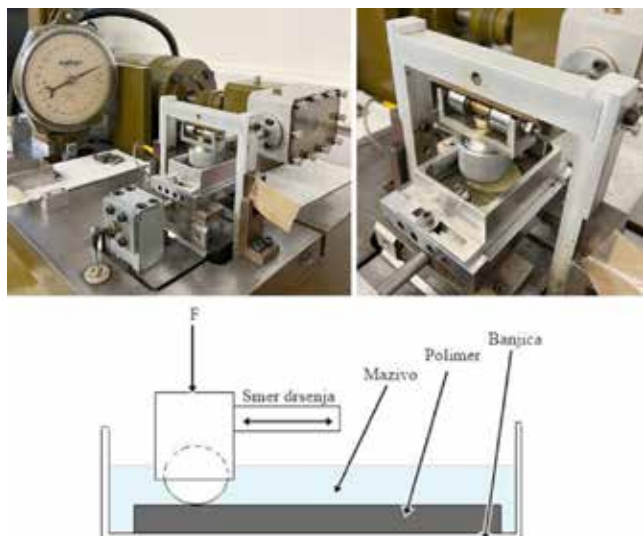
Mazivo	Kinematična viskoznost [mm ² /s] pri 25 °C	Kinematična viskoznost [mm ² /s] pri 80 °C	Gostota [g/cm ³] pri 25 °C	Gostota [g/cm ³] pri 80 °C
ISO VG 46	100	9	0,86	0,85
40 % glicerola in 60 % vode (G + V)	11,59	2,19	1,17	1,12
Demineralizirana voda (V)	0,89	0,36	0,99	0,97

2.2 Mazivo

V študiji smo uporabili tri različna maziva. Prvo mazivo je bilo komercialno dostopno, najpogosteje uporabljeno mineralno hidravlično olje ISO VG 46. Drugo mazivo je bila mešanica glicerola in vode. Na podlagi naših predhodnih študij smo dokazali, da z dodajanjem do 40 % vode v mešanici glicerola in vode ohranimo dobre mazalne lastnosti čistega glicerola [30]. Za pripravo maziva mešanice 40 % glicerola in 60 % vode (G + V) smo uporabili komercialno dostopen redestilirani glicerol z vsebnostjo glicerola $\geq 99,5$ %. Kot tretje referenčno mazivo je bila uporabljena demineralizirana voda (V). Lastnosti izbranih maziv so bile določene z avtomatskim viskozimetrom SVM 3001 (Anton-Paar). Lastnosti so predstavljene v preglednici 2.

2.3 Tribološki testi

Tribološke teste smo izvajali na visokofrekvenčnem tribometru Cameron-Plint TE 77 (slika 1). Med preskusom jeklena ležajna kroglica recipročno drsi po polimerni plošči v obliki diska. Povprečna hitrost drsenja je bila nastavljena na 0,2 m/s (frekvenca 40 Hz) z dolžino giba 2,4 mm. Normalna obremenitev je bila nastavljena na 50 N (največji Hertzov tlak pa med 90 MPa in 150 MPa). Pred vsakim preizkusom



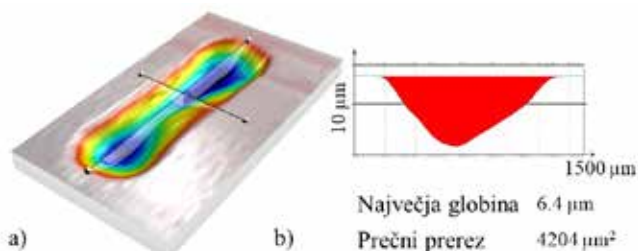
Slika 1 : Tribološko preizkuševališče

smo vzorce polimera v celoti potopili v izbrano mazivo. Vzorec je bil postavljen v banjico z mazivom, pod katero pa je bil grelni element za nadzor in ohranjanje konstantne temperature med preskusom (pri povišani temperaturi 80 °C). Posebna pozornost je bila namenjena vzdrževanju konstantne ravni maziva med testom, tako da je bil tribološki par vedno popolnoma potopljen v izbrano mazivo. Po vsakem preizkusu je bilo na kroglici označeno kontaktno drsno območje.

Med preizkusi se je samodejno beležila trenutna vrednost koeficienta trenja. Vsak test je trajal 90 minut oziroma 216.000 ciklov, in sicer na podlagi preliminarne testov, ki so pokazali, da se v tem času doseže stabilna vrednost koeficienta trenja. Vsako meritev smo ponovili trikrat, za primerjalno analizo pa smo uporabili povprečno vrednost ustaljenega koeficienta trenja.

2.4 Analiza obrabne površine

Volumen obrabe polimernih diskov je bil izračunan iz dimenzij obrabnih sledi, ki so bile po triboloških testih izmerjene s 3D digitalnim mikroskopom z dodatnim nanotočkovnim konfokalnim profilometrom Hirox HRX-01 & NPS. Za vsako kaloto smo določili 3D-profil, iz katerega smo s programsko opremo Mountain Map odčitali dimenzije obrabne kalote in karakteristične prereze na več značilnih mestih vzdolž profila obrabne sledi [20]. Postopek je prikazan na sliki 2. Digitalni mikroskop je omogočil tudi določitev oblike in dimenzij površinskih filmov na jekleni kroglici.



Slika 2 : Postopek za analizo obrabe s 3D digitalnim mikroskopom: a) 3D-profil obrabljenega volumna, b) merjenje površine prečnega prereza na določenem mestu

3 Rezultati

3.1 Trenje

Potek koeficienta trenja pri posameznih materialnih parih med opravljenimi meritvami je prikazan na *sliki 3* in *sliki 4*. Pri mazanju z mineralnim oljem ISO VG 46 in ločeno mazano z mešanico glicerola in vode (G + V) koeficient trenja doseže stabilno vrednost zelo hitro, v prvih 100 sekundah testa ne glede na temperaturo. Krivulje, izmerjene za POM, sledijo vrednostim, izmerjenim za ojačani POM CF30.

Koeficient trenja, izmerjen v vodi, narašča v prvih 1000 sekundah za POM in približno 3000 sekundah za ojačani POM CF30. Izmerjene vrednosti za ojačani POM CF30 so precej višje in nestabilne v primerjavi s čistim POM, še bolj pa v primerjavi z meritvami pri drugih dveh mazivih; vse troje pri sobni temperaturi.

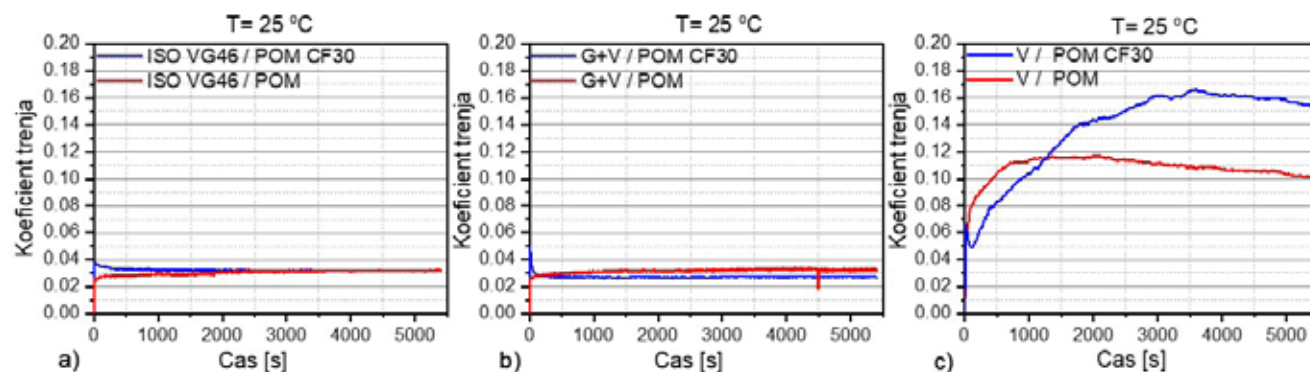
Glede na rezultate meritev mešanica G + V omogoča dober mazalni film, primerljiv s hidravličnim oljem, in sicer na sobni in povišani temperaturi. Povečanje izmerjenega povprečnega koeficienta trenja, opaženo v vodi, kaže, da voda ni učinkovito ločila kontaktnih površin polimernih ploščic in jeklene kroglice. Fluktuacije, opažene v primeru POM

CF30, kažejo, da ojačitve vnašajo dodatne nestabilnosti v opazovanih pogojih obrabe.

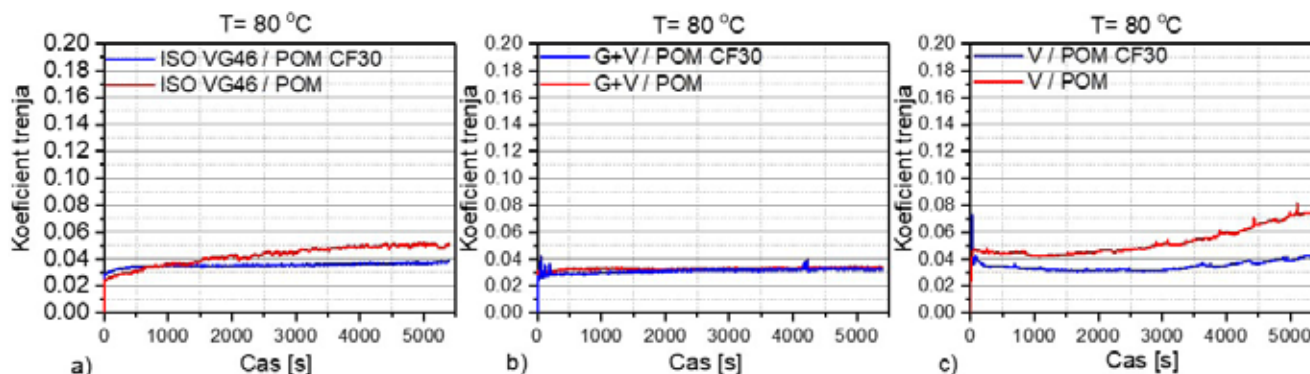
Povprečne vrednosti ustaljenega koeficienta v olju ISO VG 46, raztopini glicerola in vode G + V ter demineralizirani vodi so prikazane na *sliki 5*. Rezultati so pokazali primerljive in nizke vrednosti koeficienta trenja 0,033 in 0,027 v primeru POM CF30 oziroma 0,031 in 0,032 v primeru POM v olju in raztopini G + V pri sobni temperaturi (*slika 5a*). Izmerjene vrednosti koeficienta trenja so v vodi pri sobni temperaturi do 6-krat višje za POM CF30 oziroma 3,5-krat višje za POM (*slika 5a*) v primerjavi z izmerjenimi v olju in raztopini G + V.

S *sliki 5b* je tudi razvidno, da so izmerjene vrednosti koeficientov trenja v vseh mazivih primerljive pri višji temperaturi. Za ojačani POM CF30 pride do manjšega zvišanja (10 %) v olju in raztopini G + V ter do značilnega znižanja v vodi (4-krat) v primerjavi z meritvami na sobni temperaturi. V primeru POM se koeficient trenja nekoliko poveča pri višji temperaturi v olju (približno 50 %), v raztopini nekoliko zniža (10 %) ter značilno zniža v vodi (2-krat) v primerjavi z meritvami na sobni temperaturi.

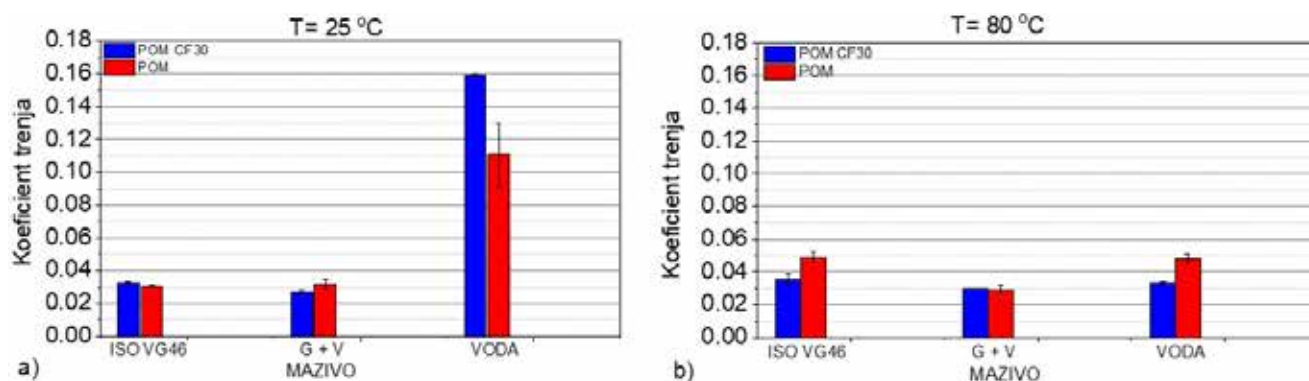
Najnižji koeficient trenja je izmerjen v raztopini G + V na obeh temperaturah za čisti POM in ojačani POM CF30.



Slika 3 : Krivulje poteka koeficienta trenja kot funkcija časa drsenja v tribološkem kontaktu, mazano z: a) oljem ISO VG46; b) raztopino glicerola in vode (G + V); c) demineralizirano vodo (V); vse troje pri sobni temperaturi



Slika 4 : Krivulje poteka koeficienta trenja kot funkcija časa drsenja v tribološkem kontaktu, mazano z: a) oljem ISO VG 46; b) raztopino glicerola in vode (G + V); c) demineralizirano vodo (V); vse troje pri povišani temperaturi (80 °C)



Slika 5 : Koeficient trenja polimera v olju ISO VG46, raztopini glicerola in vode (G + V) in demineralizirani vodi a) pri sobni temperaturi; b) povišani temperaturi

3.2 Obraba

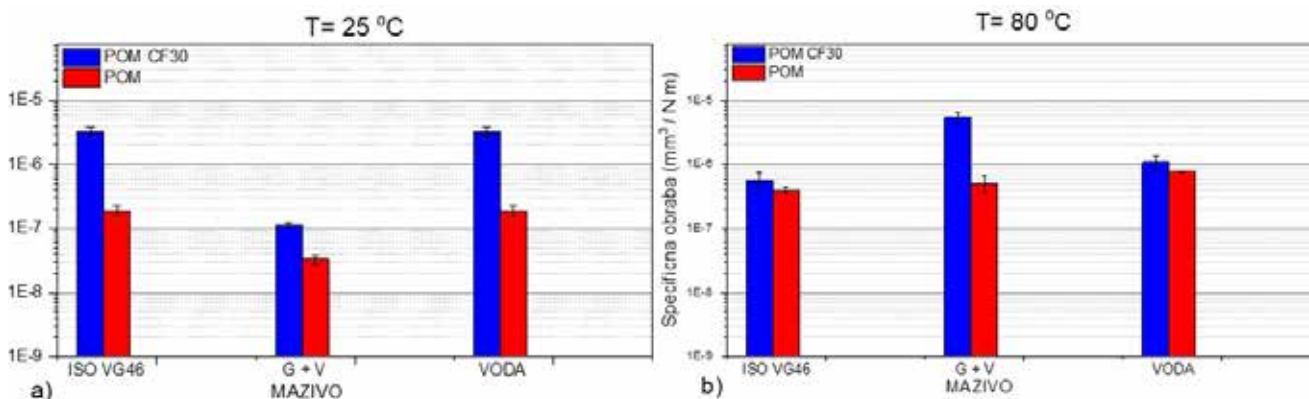
Na podlagi izmerjenih dimenzij obrabnih kalot vzdolž 3D-profila polimernih vzorcev smo izračunali specifično obrabo v primeru uporabe hidravličnega olja ISO VG 46, raztopine G + V in demineralizirane vode kot maziva. Rezultati so prikazani na sliki 6.

Specifična obraba je tako kot koeficient trenja primerljiva pri uporabi hidravličnega olja ISO VG 46 in raztopini G + V. Večina vrednosti za POM CF30 je v področju 10^{-7} mm³/Nm za mazivi ISO VG 46 in G + V pri sobni temperaturi. Za čisti POM je obraba nekoliko nižja, in sicer v področju približno 3×10^{-8} mm³/Nm prav tako pri sobni temperaturi. Specifična obraba pri obeh mazivih (ISO VG 46 in G + V) je nižja od izmerjene v vodi ($\sim 3 \times 10^{-6}$ mm³/Nm za ojačani POM CF30 ter $\sim 1 \times 10^{-7}$ mm³/Nm za čisti POM) pri sobni temperaturi.

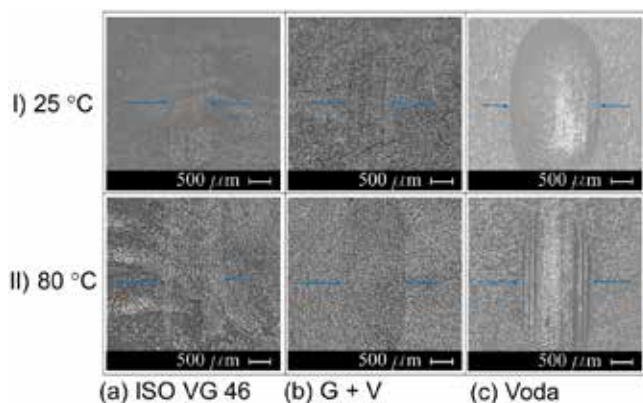
Specifična obraba se je v hidravličnem olju (ISO VG 46) in raztopini G + V pri povišani temperaturi (T = 80 °C) znatno povečala in postala primerljiva s specifično obrabo, izmerjeno v vodi (reda velikosti $\sim 10^{-6}$ mm³/Nm).

3.3 Površinska analiza

Izbrane obrabljene kalote polimernih vzorcev so predstavljene na slikah 7 in 8, narejenih z digitalnim mikroskopom. Kalota ojačanega POM CF30 je podobna po obliki in velikosti (širina ~ 900 μm, dolžina ~ 3500 μm) v olju ISO VG 46 (slika 7 I a) in raztopini G + V (slika 7 I b). Obrabna sled je pri povišani temperaturi le približno 2-krat širša (širina ~ 1400 μm) (slika 7 II a in b). Mehanizmi obrabe v olju in mešanici G + V so podobni, maziva tvorijo dovolj debel film za ločevanje površin v stikih. Najožja obrabna sled je opažena pri olju pri sobni temperaturi (~ 936 μm, slika 7 I a). Obrabna sled ni bistveno širša v mešanici glicerola in vode (~ 8 % povečanje) pri sobni temperaturi, čeprav so opazne raze vzdolž smeri drsenja, zlasti na sredini obrabne brazgotine (slika 7 I b). V primeru demineralizirane vode pri sobni temperaturi se poveča širina obrabne kalote ($\sim 2,5$ -kratno povečanje) kot tudi število in intenzivnost raz (slika 7 I c). Pri povišani temperaturi (T = 80 °C) sta obrabljena površina v povprečju za 50 % širši pri približno enaki dolžini (slika 7 II a in b) v olju in raztopini G + V. Čeprav raze v vodi postanejo intenzivnejše, se širina obrabne kalote bistveno ne spremeni (slika 7 II c).



Slika 6 : Specifična obraba polimera v olju ISO VG46, raztopini glicerola in vode (G + V) ter demineralizirani vodi a) pri sobni temperaturi; b) pri povišani temperaturi



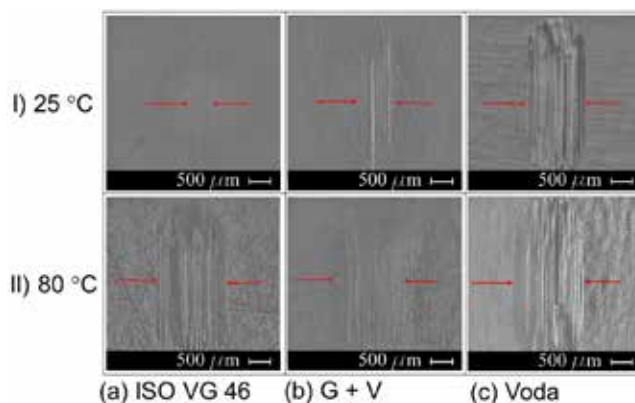
Slika 7 : Obrabne kalote ojačanega POM CF30 v a) olju ISO VG46, b) raztopini glicerola in vode (G + V); c) demineralizirani vodi I) pri sobni temperaturi; II) pri povišani temperaturi

Obrabna kalota POM (slika 8) je zelo podobna po obliki in velikosti ojačenemu POM CF30. Dolžina obrabne sledi (~3300 µm) je podobna pri vseh mazivih in pri vseh testiranih pogojih. Najočja obrabna sled je bila opažena v olju pri sobni temperaturi (~823 µm, slika 8 I a). Obrabna sled ni bistveno širša v raztopini G + V pri sobni temperaturi, čeprav so tudi tukaj opazne raze vzdolž smeri drsenja (slika 8 I b). V primeru čiste vode pri sobni temperaturi se je širina obrabe koloteka povečala (~66,5 % povečanje). Število in intenzivnost raz sta bistveno večja (slika 8 I c). Pri povišani temperaturi ni pomembne razlike v širini obrabne sledi med različnimi uporabljenimi mazivi (~1600 µm, slika 8 II a-c). Vendar so raze vzdolž smeri drsenja manj globoke in intenzivne v raztopini G + V (slika 8 II b), v primerjavi z oljem (slika 8 II a) ali demineralizirano vodo (slika 8 II c). To se ujema z najmanjšo specifično obrabo v raztopini G + V pri povišani temperaturi in relativno majhnimi razlikami, izmerjenimi med mazivi.

4 Zaključek

V tej študiji smo analizirali prednost uporabe cenovno dostopnega inženirskega čistega polimera POM v primerjavi s polimerom, ojačanim z ogljikovimi vlakni (POM CF30). Preizkusi so bili opravljeni v hidravličnem olju ISO VG 46, raztopini glicerola in vode (G + V) kot zelenega maziva ter v demineralizirani vodi kot najbolj razširjenem zelenem bazičnem mazivu. Preizkusi so bili izvedeni s parametri (hitrost, drsna pot, obremenitev, temperatura), ki ustrezajo drsnim vklopno-izklopnim ventilom in glede na omejitve eksperimentalne opreme.

V tej študiji smo preizkusili glicerol kot alternativo mazivo. Glicerol ima zelo visoko viskoznost, ki je nezaželena za hidravlične aplikacije, a jo je v vodni raztopini relativno lahko nadzorovati. V naših dosedanjih raziskavah smo preizkusili različne vo-



Slika 8 : Obrabne kalote POM v a) olju ISO VG46, b) raztopini glicerola in vode (G + V); c) demineralizirani vodi I) pri sobni temperaturi; II) pri povišani temperaturi

dne raztopine glicerola in našli ugodno razmerje za ohranjanje dobrih mazalnih lastnosti [30].

Rezultati študije kažejo nizke vrednosti koeficienta trenja POM CF30, ko se mešanica G + V uporablja kot mazivo, pri sobni temperaturi in povišani temperaturi. Vrednosti koeficienta trenja so bile podobne v raztopini G + V in v hidravličnem olju ISO VG 46. Pri sobni temperaturi je bil koeficient trenja v vodi do 6-krat višji kot v olju in raztopini G + V. Pri povišani temperaturi pa razlika ni bila očitna, čeprav je bila najmanjša vrednost izmerjena v raztopini G + V (0,03). Tudi specifična stopnja obrabe je bila nižja v raztopini G + V in hidravličnem olju, zlasti pri sobni temperaturi (~10⁻⁷ mm³/Nm). Pri primerjavi raztopine G + V in hidravličnega olja z vodo kot mazivom smo izmerili za red velikosti večjo specifično stopnjo obrabe. Pri višjih temperaturah se je razlika med mazivi zmanjšala. Polarnost maziva in združljivost s testiranim polimerom je zelo pomemben vidik pri analizah. Absorpcija maziva lahko povzroči povečanje dejanske kontaktne površine, kar je posledica plastične deformacije polimera in zmanjšanja modula elastičnosti [31]. Zato je treba podrobneje raziskati interakcijo med polimerom in mazivi, zlasti pri različnih režimih obremenitve.

V primerjavi z meritvami čistega POM smo opazili podoben trend pri izmerjenih koeficientih trenja (vpliv vode kot maziva, vpliv višje temperature), vendar so bile na splošno izmerjene višje vrednosti koeficienta trenja za čisti POM kot za ojačani POM CF30. Nasprotno pa so bile opažene nižje vrednosti specifične obrabe za čisti POM v primerjavi z ojačanim POM CF30. Ta učinek je verjetno posledica dejstva, da v primeru ojačanega POM CF30 ogljikova vlakna nosijo večino obremenitve, hkrati pa stanjšanje ogljikovih vlaken povzroča poškodbo matrike POM CF30 in posledično višjo obrabo [20]. Vendar pa je za podrobnejšo razpravo o razliki potrebna nadaljnja elementarna ali spektroskopska analiza obrabnih površin.

Uporaba inženirskih polimerov bi potencialno omogočila lažje hidravlične komponente z odličnimi tribološkimi lastnostmi. Poleg tega bi v kombinaciji z novim tehnologijam 3D-tiska polimerov lahko razmeroma hitro prišli do izdelave in preizkusa novih prototipov. V naši nedavni študiji smo tribološko primerjali pet različnih polimernih kompozitov [20]. Med opazovanimi kompoziti je POM, ojačan s 30 % ogljikovih vlaken, uspešno sledil visoko zmogljivim PEEK-kompozitom. Na podlagi trenutnih meritev inženirski polimer POM kaže odlične tribološke rezultate tako v hidravličnem olju kot v raztopini G + V in ga je mogoče obravnavati kot potencialni material za hidravlične aplikacije, kjer se pričakujeta nizka obremenitev in visoka frekvenca.

Viri

- [1] Deaconescu T, Deaconescu A. Experimental Research on Polymer-Based Coaxial Sealing Systems of Hydraulic Cylinders for Small Displacement Velocities. *Polymers* 2022, Vol 14, Page 290 2022;14:290. <https://doi.org/10.3390/POLYM14020290>.
- [2] Friedrich K. Polymer composites for tribological applications. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research* 2018;1:3-39. <https://doi.org/10.1016/J.AIEPR.2018.05.001>.
- [3] Kurdi A, Chang L. Recent Advances in High Performance Polymers—Tribological Aspects. *Lubricants* 2019, Vol 7, Page 2 2018;7:2. <https://doi.org/10.3390/LUBRICANTS7010002>.
- [4] Matkovič S, Pogačnik A, Kalin M. Wear-coefficient analyses for polymer-gear life-time predictions: A critical appraisal of methodologies. *Wear* 2021;480-481:203944. <https://doi.org/10.1016/J.WEAR.2021.203944>.
- [5] Stryczek J, Banaś M, Krawczyk J, Marciniak L, Stryczek P. The Fluid Power Elements and Systems Made of Plastics. *Procedia Eng* 2017;176:600-9. <https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2017.02.303>.
- [6] Marciniak L, Banaś M, Stryczek J. The Design and Theoretical and Experimental Study of the Plastic Hydraulic Valves. 9th FPNI PhD Symposium on Fluid Power, FPNI 2016 2016. <https://doi.org/10.1115/FPNI2016-1511>.
- [7] Li Y, Shang Y, Wan X, Jiao Z, Yu T. Design and experiment on light weight hydraulic cylinder made of carbon fiber reinforced polymer. *Compos Struct* 2022;291:115564. <https://doi.org/10.1016/J.COMPSTRUCT.2022.115564>.
- [8] Ellasswad M, Tayba A, Abdellatif A, Alfayad S, Khalil K. Development of lightweight hydraulic cylinder for humanoid robots applications. <https://doi.org/10.1177/0954406217731794>.
- [9] Panin S V., Alexenko VO, Buslovich DG. High Performance Polymer Composites: A Role of Transfer Films in Ensuring Tribological Properties—A Review†. *Polymers (Basel)* 2022;14:975. <https://doi.org/10.3390/POLYM14050975/S1>.
- [10] Siddiqui MSN, Pogacnik A, Kalin M. Influence of load, sliding speed and heat-sink volume on the tribological behaviour of polyoxymethylene (POM) sliding against steel. *Tribol Int* 2023;178:108029. <https://doi.org/10.1016/J.TRIBOINT.2022.108029>.
- [11] tribology-abc 2023. <https://www.tribology-abc.com/> (accessed August 3, 2023).
- [12] Lovrec D, Kalb R, Tič V. Ionic Hydraulic Fluids and Seal-Material Compatibility. *Applied Sciences* 2024;14:2187. <https://doi.org/10.3390/app14052187>.
- [13] Krawczyk J, Sobczyk A, Styczek J, Walczak P. Tests of New Methods of Manufacturing Elements for Water Hydraulics. *Materials Research Proceedings* 5, 2018, p. 200-5. <https://doi.org/10.21741/9781945291814-35>.
- [14] Yamamoto Y, Hashimoto M. Friction and wear of water lubricated PEEK and PPS sliding contacts. *Wear* 2004;257:181-9. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2003.12.004>.
- [15] Yamamoto Y, Hashimoto M. Friction and wear of water lubricated PEEK and PPS sliding contacts: Part 2. Composites with carbon or glass fibre. *Wear* 2004;257:181-9. <https://doi.org/10.1016/J.WEAR.2003.12.004>.
- [16] Jain A, Somberg J, Emami N. Development and Characterization of Multi-Scale Carbon Reinforced PPS Composites for Tribological Applications. *Lubricants* 2019;7:34. <https://doi.org/10.3390/lubricants7040034>.
- [17] Xu H, Feng Z, Chen J, Zhou H. Tribological behavior of the carbon fiber reinforced polyphenylene sulfide (PPS) composite coating under dry sliding and water lubrication. *Materials Science and Engineering: A* 2006;416:66-73. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2005.09.094>.
- [18] Zhang D, Qi H, Zhao F, Zhang G, Wang T, Wang Q. Tribological performance of PPS composites under diesel lubrication conditions. *Tribol Int* 2017;115:338-47. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2017.05.040>.
- [19] Golchin A, Friedrich K, Noll A, Prakash B. Tribological behavior of carbon-filled PPS composites in water lubricated contacts. *Wear* 2015;328-329:456-63. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2015.03.012>.
- [20] Trajkovski A, Novak N, Pustavrh J, Kalin M, Majdič F. Performance of Polymer Com-

- posites Lubricated with Glycerol and Water as Green Lubricants. *Applied Sciences* 2023;13:7413. <https://doi.org/10.3390/AP13137413>.
- [21] Deuster S, Schmitz K, Widomski K, Barnat-Hunek D, Musz-Pomorska A. Bio-Based Hydraulic Fluids and the Influence of Hydraulic Oil Viscosity on the Efficiency of Mobile Machinery Academic Editors: Marcin 2021. <https://doi.org/10.3390/su13147570>.
- [22] Hernández-Sierra MT, Bravo-Sánchez MG, Báez JE, Aguilera-Camacho LD, Santos García-Miranda J, Moreno KJ. Improvement Effect of Green Lubricants on the Tribological and Mechanical Performance of 4140 Steel n.d. <https://doi.org/10.3390/app9224896>.
- [23] Strmčnik E, Majdič F. Comparison of leakage level in water and oil hydraulics. *Advances in Mechanical Engineering* 2017;9:2017. <https://doi.org/10.1177/1687814017737723>.
- [24] Jeng Y-R, Tsai P-C, Chang C-M, Hsu K-F. materials Tribological Properties of Oil-in-Water Emulsion with Carbon Nanocapsule Additives n.d. <https://doi.org/10.3390/ma13245762>.
- [25] Zhang T, Liu C, Gu Y, Jérôme F. Glycerol in energy transportation: a state-of-the-art review. *Green Chemistry* 2021;23:7865–89. <https://doi.org/10.1039/D1GC02597J>.
- [26] Chen Z, Liu Y, Zhang S, Luo J. Controllable superlubricity of glycerol solution via environment humidity. *Langmuir* 2013;29:11924–30. <https://doi.org/10.1021/LA402422H>.
- [27] Liu C, Qiao Y, Lv B, Zhang T, Rao Z. Glycerol based binary solvent: Thermal properties study and its application in nanofluids. *International Communications in Heat and Mass Transfer* 2020;112:104491. <https://doi.org/10.1016/J.ICHEATMASSTRANSFER.2020.104491>.
- [28] Trejo González JA, Longinotti MP, Corti HR. The Viscosity of Glycerol–Water Mixtures Including the Supercooled Region. *J Chem Eng Data* 2011;56:1397–406. <https://doi.org/10.1021/JE101164Q>.
- [29] Somberg J, Saravanan P, Vadivel HS, Berglund K, Shi Y, Ukonsaari J, et al. Tribological characterisation of polymer composites for hydropower bearings: Experimentally developed versus commercial materials. *Tribol Int* 2021;162:107101. <https://doi.org/10.1016/J.TRIBOINT.2021.107101>.
- [30] Trajkovski A, Matković S, Novak N, Nadeem I, Kalin M, Majdič F. Glycerol aqueous solutions for the enhanced tribological behaviour of polymer composites sliding against steel. *Tribol Int* 2024;192:109173. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2023.109173>.
- [31] Habchi W, Matta C, Joly-Pottuz L, De Barros MI, Martin JM, Vergne P. Full film, boundary lubrication and tribochemistry in steel circular contacts lubricated with glycerol. *Tribol Lett* 2011;42:351–8. <https://doi.org/10.1007/S11249-011-9778-6/FIGURES/6>.

Aadvantages of using engineering polymers for green (efficient) and sustainable hydraulic components

Abstract:

Engineering polymers have proven to have very promising tribological properties and successfully follow high-performance thermoplastics. In our research, we tested and analyzed polyoxymethylene (POM) for the very demanding operating conditions of hydraulic on/off valves. We tested POM and POM reinforced with 30 % carbon fiber (PO CF30) in standard ISO VG46 hydraulic oil, glycerol-water mixture and demineralized water at room and elevated temperatures.

The results showed a very low coefficient of friction ($\sim 0.027 - 0.033$) and specific wear ($\sim 10^{-7} \text{ mm}^3/\text{Nm}$) in the mixture of glycerol and water, comparable to the values measured in standard hydraulic oil and lower than those measured in water (coefficient of friction ~ 0.14 , specific wear $\sim 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{Nm}$), at room temperature. At elevated temperature, the coefficient of friction in hydraulic oil and glycerol-water mixture increased slightly, while in water decreased, measured values become comparable for all lubricants. The specific wear rate increased significantly in the hydraulic oil and glycerol-in-water mixture at elevated temperature and the values became comparable to the specific wear rates measured in water. Based on the results, both polyoxymethylene and glycerol-water mixture can be good and sustainable alternatives for standard hydraulic oil and steel tribological pairs, leading to excellent tribological properties with a significant reduction in component mass.

Keywords:

polymer, polyoxymethylene, glycerol, water, hydraulic oil, friction, wear, hydraulics

KLJUČNI KORAKI ZA VZPOSTAVITEV TRAJNOSTNE PROIZVODNJE

Matevž Resman, Marko Šimic, Mihael Debevec, Niko Herakovič

Izvleček:

Sodobna industrijska podjetja morajo zaradi globalnih in evropskih predpisov ter prehoda na trajnostne prakse prilagoditi svoje delovanje ciljem trajnostnega razvoja. Ti cilji vključujejo doseganje ciljev »20 20 20« – 20 % manjša poraba energije, 20 % večja energetska učinkovitost in 20 % več obnovljivih virov. Trajnostna proizvodnja je celovit pristop, ki zajema oceno izdelkov in procesov z namenom izboljšanja energetske učinkovitosti, uporabe obnovljivih virov in zmanjšanja odpadkov. Dosežemo jo s procesi, ki ne onesnažujejo okolja, varčujejo z energijo in naravnimi viri, so varni za delavce in družbo ter ekonomsko upravičeni. Trajnostna proizvodnja omogoča podjetjem doseganje okoljskih in poslovnih koristi ter prispeva k dolgoročni trajnosti.

Ključne besede:

trajnostna proizvodnja, energetska učinkovitost, obnovljivi viri, družbena odgovornost, spremljanje in poročanje

1 Uvod

V današnjem industrijskem okolju proizvodni obrati obsegajo različne sisteme, namenjene izdelavi delov in izdelkov s procesi, kot so strega in montaža, varjenje, strojna obdelava, rezanje in drugi. Ker se svet usmerja k trajnostnim praksam zaradi globalnih in evropskih predpisov, se morajo podjetja pripraviti na ta prehod. Ključni trajnostni cilji vključujejo doseganje ničelnih emisij ogljika, zmanjšanje vplivov podnebnih sprememb in doseganje ciljev »20 20 20«. To pomeni 20-odstotno zmanjšanje porabe energije, 20-odstotno povečanje energetske učinkovitosti in 20-odstotno uporabo obnovljive energije. Poleg tega obstaja cilj zmanjšati emisije toplogrednih plinov za 40 % v primerjavi z ravnmi iz leta 1990 in čim bolj povečati uporabo obnovljive energije, hkrati pa zmanjšati skupno porabo energije za več kot 30 %. Trajnostna proizvodnja vključuje ocenjevanje tako izdelkov kot uporabljenih procesov s ciljem izboljšanja energetske učinkovitosti, uporabe obnovljivih virov in zmanjšanja odpadkov. Ta celovit pristop zahteva postavljanje jasnih, merljivih trajnostnih ciljev, vključevanje deležnikov, izboljšanje učinkovitosti virov ter stalno spremljanje in poročanje za doseganje dolgoročnih okoljskih in poslovnih koristi [1].

Dr. Matevž Resman, Doc. dr. **Marko Šimic**, univ. dipl. inž., **doc. dr. Mihael Debevec**, univ. dipl. inž., **prof. dr. Niko Herakovič**, univ. dipl. inž., vsi Univerza v Ljubljana, Fakulteta za strojništvo

2 Kaj je trajnostna proizvodnja?

Trajnost v proizvodnji ([2], [3]) se nanaša na ustvarjanje blaga in storitev z uporabo procesov in sistemov, ki ne onesnažujejo, varčujejo z energijo in naravnimi viri, so ekonomsko upravičeni, varni za delavce, skupnosti in potrošnike ter družbeno koristni. Cilj je zadovoljiti sedanje potrebe, ne da bi pri tem ogrozili sposobnost prihodnjih generacij, da zadovoljijo svoje potrebe. Ta koncept zajema različna načela in prakse, namenjene uravnoteženju gospodarske rasti, okoljskega zavedanja (*slika 1*) in socialne pravičnosti.



Slika 1 : Ali lahko s trajnostno proizvodnjo ohranimo okolje?

3 Koraki za implementacijo trajnostne proizvodnje

V nadaljevanju je navedenih in na kratko predstavljenih petnajst osnovnih korakov, prikazanih na *sliki 2*, ki jih strokovnjaki navajajo kot ključne pri trajnostnem prehodu ([4], [5] in [6]).



Slika 2 : Zaporedje korakov za implementacijo trajnostne proizvodnje

Korak 1: Razumevanje trajnostne proizvodnje

Trajnostna proizvodnja vključuje dve glavni vprašanji: sam izdelek in postopek proizvodnje izdelka. Pri tem se je potrebno zavedati, da vseh izdelkov ni mogoče obravnavati kot trajnostnih. Poleg samega proizvoda pa so pomembni tudi proizvodni procesi. Izdelke lahko izdelujemo na različne načine. Energetska učinkovitost je eden od kazalnikov trajnostnega procesa.

Korak 2: Ocenjevanje in postavljanje ciljev je razdeljeno na dve skupini, to sta celovito ocenjevanje in določanje jasnih in merljivih trajnostnih ciljev.

Celovito ocenjevanje vključuje zbiranje podatkov, ocenjevanje vplivov na okolje, učinkovitost virov, skladnost s predpisi in vključevanje vseh deležnikov. Zelo pomembno je zbiranje podatkov na vseh ravneh proizvodnih procesov. To vključuje porabo energije, porabo vode, vložke surovin, emisije, na-

stajanje odpadkov in vse druge ustrezne meritve. Prav tako je pomemben vpliv na okolje, ki vključuje izračun ogljičnega, vodnega in ekološkega od-tisa, povezanih z izdelki ali storitvami. Upoštevati je potrebno vpliv ne samo znotraj vaše organizacije, temveč tudi v celotni dobavni verigi. Na zeleno transformacijo podjetij vplivajo tudi učinkovitost virov, skladnost z okoljskimi predpisi in vključevanje vseh deležnikov v podjetju.

Pri postavitvi jasnih in merljivih ciljev trajnosti je potrebno upoštevati več ciljev. Ti morajo biti natančno specificirani, merljivi, dosegljivi in ustrezni z vseh vidikov. Za učinkovito spremljanje napredka je potrebno določiti časovnico z mejniki.

Korak 3: Vključevanje deležnikov

Zelo pomembno je tudi vključevanje ključnih deležnikov, vključno z zaposlenimi, dobavitelji, strankami in lokalno skupnostjo, v proces načrtovanja trajnosti. Za vključitev zaposlenih v ta proces je ključno vzpostaviti participativne delavnice in redne sestanke, kjer lahko delijo svoje ideje in mnenja. Dobavitelje je smiselno vključiti preko partnerskih sodelovanj, kjer se skupaj določajo trajnostni cilji in standardi. Stranke je mogoče vključiti z anketami, fokusnimi skupinami in platformami za povratne informacije, da se razume njihove trajnostne preference in pričakovanja. Lokalno skupnost je pomembno vključiti z javnimi posveti, sodelovanjem v lokalnih projektih in podporo iniciativam, ki spodbujajo trajnostni razvoj. S celostnim pristopom, ki povezuje vse deležnike, se lahko oblikujejo bolj učinkovite in vključujoče trajnostne strategije.

Korak 4: Učinkovitost virov

V tem koraku je ključno ugotoviti področja, kjer je mogoče izboljšati učinkovitost virov z različnih zornih kotov. To vključuje tehnologije, sisteme, procese, energijo sistemov, porabo vode in surovin ter zmanjšanje odpadkov. Korak vključuje identifikacijo in vpeljavo tehnologij in primerov dobrih praks, ki zmanjšujejo porabo virov in minimizirajo nastajanje odpadkov ter izboljšajo energetske učinkovitost sistemov.

Korak 5: Trajnostni materiali in viri

Ocena trajnosti materialov, ki se uporabljajo v proizvodnih procesih, je ključnega pomena za zagotavljanje okoljske odgovornosti in dolgoročne vzdržnosti podjetja. Ocena vključuje trenutne materiale in njihove lastnosti, življenjski cikel izdelka, prikazanega na *sliki 3*, obravnava uporabo recikliranih in obnovljivih materialov ter poudarja pomembnost izbire dobaviteljev, ki upoštevajo trajnostne prakse in etične standarde.



Slika 3 : Življenjski cikel trajnostnih materialov [7]

Korak 6: Upravljanje z energijo

Upošteвайте predvideno porabo energije vaše nove proizvodnje – strateški načrt porabe energije. Povpraševanje po električni energiji pogosto ni usklajeno z oskrbo z električno energijo iz obnovljivih virov in zahteva dodatne napore za resnično integracijo. Če povpraševanje po električni energiji proizvodnega obrata v določenem trenutku presega trenutno oskrbo z električno energijo iz razpoložljivih obnovljivih virov, mora preostalo povpraševanje po električni energiji pokriti električno omrežje.

Pomembna je implementacija energetsko učinkovitih tehnologij in praks, kot so digitalizacija proizvodnje, vpeljava digitalnih dvojčkov proizvodnih sistemov in procesov, uporaba LED-osvetlitve, nadgradnja sistemov ogrevanja, prezračevanja in klimatizacije ter optimizacija proizvodnih sistemov in opreme.

Prav tako je pomembna vključitev obnovljivih virov energije za potrebe proizvodnje, kot sta sončna ali vetrna energija.

Korak 7: Zmanjšanje odpadkov in recikliranje

Celovit načrt zmanjševanja odpadkov je bistvenega pomena za učinkovito ravnanje z odpadki, ohranjanje virov in varovanje okolja. Načrt vključuje podrobne strategije za recikliranje, kompostiranje in pravilno odlaganje nevarnih materialov skupaj s spodbujanjem oblikovanja izdelka, ki zmanjšuje količino odpadkov med samo proizvodnjo in v celotnem življenjskem ciklu izdelka.

Korak 8: Upravljanje voda

Poraba vode v proizvodnih procesih se močno razlikuje v različnih panogah – od proizvodnje in kmetijstva do rudarstva in proizvodnje energije. Ocenjevanje porabe vode vključuje ovrednotenje vsakega koraka proizvodnega procesa, da se ugotovi, kje se voda uporablja, koliko se je porabi in možnost zmanjšanja ali odprave te porabe.

Korak 9: Usposabljanje in vključevanje zaposlenih

Usposabljanje zaposlenih o trajnostnih praksah je ključni korak k ustvarjanju trajnostne kulture v organizaciji. S tem, ko zaposlene opremimo z znanjem in veščinami, potrebnimi za izvajanje trajnostnih praks, lahko bistveno prispevamo k zmanjšanju okoljskega odtisa podjetja in k večji družbeni odgovornosti.

Korak 10: Ocena življenjskega cikla (LCA)

Izvajanje ocene življenjskega cikla (Life Cycle Assessment – LCA) je celovit pristop k ocenjevanju



Slika 4 : Cikel uspešnega upravljanja z vodami [8]

vplivov na okolje, povezanih z vsemi stopnjami življenjske dobe izdelka – od pridobivanja surovin do predelave materialov, proizvodnje, distribucije, uporabe, popravila in vzdrževanja ter odlaganja ali recikliranja. Vpogledi, pridobljeni z LCA, lahko pomembno prispevajo k odločitvam v zvezi z zasnovo izdelka, izbiro materialov, proizvodnimi sistemi in integracijo novih tehnologij.

Korak 11: Certifikati in standardi

Pridobitev ustreznih trajnostnih certifikatov in upoštevane trajnostnih standardov in smernic, specifičnih za industrijo, sta ključna koraka za podjetja, ki želijo dokazati svojo zavezanost trajnostni proizvodnji. Ti certifikati in standardi ne le potrjujejo prizadevanja podjetja, ampak zagotavljajo tudi številne prednosti, od izboljšane operativne učinkovitosti do povečanega ugleda blagovne znamke in povečane konkurenčnosti na trgu.

Korak 12: Spremljanje in poročanje

Izvajanje sistemov za stalno spremljanje ključnih meritev trajnosti in napredka pri doseganju ciljev vključuje več ključnih korakov za zagotavljanje učinkovitosti in preglednosti.

Korak 13: Stalno izboljševanje

Redno pregledovanje in revidiranje trajnostnih ciljev in strategij je ključnega pomena za organizacije, ki želijo izboljšati svojo okoljsko učinkovitost in družbeno odgovornost. Ta stalen proces zagotavlja, da se podjetja prilagajajo spreminjajočim se okoliščinam, vključno s povratnimi informacijami zainteresiranih strani, napredkom v tehnologiji in posodobitvami okoljskih predpisov.

Korak 14: Sodelovanje in partnerstva

Sodelovanje s kolegi iz industrije, nevladnimi organizacijami in vladnimi agencijami je ključno za informiranje o najboljših praksah in zakonskih spremembah ter za izboljšanje prizadevanj za trajnost. Partnerstva lahko prinesejo številne koristi, vključno z izmenjavo znanja, virov in izkušenj, ki so ključne pri učinkovitem odzivanju na izzive trajnosti.

Korak 15: Komunikacija in trženje

Učinkovito obveščanje strank in javnosti o trajnostnih pobudah je ključnega pomena za gradnjo zaupanja, krepitev ugleda in spodbujanje širšega sprejemanja trajnostnih praks.

4 Zaključek

Da podjetja v svojih proizvodnih procesih postanejo in ostanejo trajnostno usmerjena, se morajo držati več načel. Prvo je razumevanje, da trajnost ne zajema samo izdelka, temveč tudi proizvodni proces. Naslednja so ocenjevanje, postavljanje ciljev

ter zbiranje podatkov o okoljskih vplivih in učinkovitosti virov. Prav tako je pomembno vključevanje vseh deležnikov v podjetju in obenem stalno upoštevane usmeritev za čim večjo učinkovitost virov in uporabo trajnostnih materialov. Prav tako so ključni dejavniki pri trajnostni proizvodnji upravljanje z energijo, zmanjševanje odpadkov, upravljanje z vodami in usposabljanje zaposlenih.

Podjetje, ki se odloči za trajnostno preobrazbo v proizvodnji, pridobi boljšo prepoznavnost med potrošniki in partnerji, kar lahko poveča konkurenčno prednost. Prav tako zmanjšuje operativne stroške z učinkovitejšo rabo virov in energije ter zmanjšanjem odpadkov. Dolgoročno se podjetje tudi bolje prilagaja zakonskim zahtevam in tržnim trendom.

5 Možnosti sodelovanja pri projektu

Celotni proces trajnostne transformacije podjetij je predstavljen in obravnavan v projektu STAGE – Sustainable transition to the agile and green, ki ga je pridobila Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo (laboratorij LASIM). Če se želite nadalje izobraževati na področju trajnosti, se lahko brezplačno registrirate na spletni strani projekta <https://stage-partners.eu/> ali s skeniranjem objavljene QR-kode, prikazane na *sliki 5*.

V naslednjih številkah revije Ventil bodo sledile predstavitev še nekaterih tematik, ki pomembno prispevajo k trajnostni transformaciji podjetij.



Slika 5 : QR-koda za brezplačno registracijo na platformo STAGE

Viri

- [1] EU achieves 20-20-20 climate targets, 55 % emissions cut by 2030 reachable with more efforts and policies, (<https://www.eea.europa.eu/highlights/eu-achieves-20-20-20>), dostop: 08. 07. 2024.
- [2] What is Sustainable Manufacturing?, (<https://safetyculture.com/topics/sustainable-manufacturing/>), dostop: 10. 07. 2024.
- [3] Sustainable production – How to achieve it? | iPoint-systems, (<https://www.ifu.com/sustainable-production/>), dostop: 10. 07. 2024.
- [4] 15 First Steps For Building A Sustainable Organization, (<https://www.forbes.com/sites/forbescoachescouncil/2021/02/22/15-first-steps-for-building-a-sustainable-organization/>), dostop: 08. 07. 2024.
- [5] Six Key Factors for Achieving Sustainable Manufacturing, (<https://www.foundrymag.com>).

- com/opinion/article/21924600/six-key-factors-for-achieving-sustainable-manufacturing), dostop: 10. 07. 2024.
- [6] Key Factors For Achieving Sustainable Manufacturing: A Comprehensive Guide, (<https://news.lineview.com/key-factors-for-achieving-sustainable-manufacturing-a-comprehensive-guide>), dostop: 08. 07. 2024.
- [7] OECD lists three steps for sustainable raw materials policy, (<https://www.euractiv.com/section/science-policy/news/oecd-lists-three-steps-for-sustainable-raw-materials-policy/>), dostop: 15. 07. 2024.
- [8] LIFE HIDAQUA za pitno vodo v slovenski Istri » Hidria, (<https://www.hidria.com/assets/gallery/FOTO-Life-Hidaqua-4-screen.JPG>), dostop: 15. 07. 2024.

Key steps for establishing sustainable production

Abstract:

In a modern industrial environment, manufacturing facilities include various systems and processes, such as assembly, welding, machining and cutting, which are used to produce parts and finished products. With the world's transition to sustainable practices, encouraged by global and European regulations, companies need to align their operations to achieve sustainable development goals. These goals include reducing carbon emissions to zero, reducing the impact of climate change and achieving the »20 20 20« targets - a 20 percent reduction in energy consumption, a 20 percent increase in energy efficiency and a 20 percent use of renewable energy. In addition, the companies aim to reduce greenhouse gas emissions by 40% compared to 1990 levels, maximize the use of renewable energy sources and reduce overall energy consumption by more than 30%.

Sustainable production is a comprehensive approach that includes evaluating both the products and the processes used with the aim of improving energy efficiency, using renewable resources and reducing waste. This concept encompasses the production of goods and services using processes and systems that do not pollute the environment, conserve energy and natural resources, are economically viable, safe for workers, communities and consumers, and socially beneficial. Sustainable production aims to meet the needs of the present generation without compromising the ability of future generations to meet their own needs.

Sustainable production requires a comprehensive approach that includes several steps to make organizations more sustainable. Understanding sustainability as a holistic concept, assessing impacts, setting goals, engaging stakeholders, improving resource efficiency, using sustainable materials, managing energy and water, reducing waste, training employees, life cycle assessment, obtaining certification, monitoring and reporting, continuous improvement, collaboration and effective communication are key elements for achieving sustainable production. These practices enable companies to achieve environmental and business benefits while contributing to social responsibility and long-term sustainability.

Key words:

Sustainable Production; Energy Efficiency; Renewable Resources; Social Responsibility; Monitoring and Reporting

Zahvala za sofinanciranje

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

Acknowledgments

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

Vakuumski standardni deli

New



Za več informacij

preprosto skenirajte

Vakuumski priseski, držala za vakuumske priseske in dodatna oprema za samodejno in varno delo z izdelki različnih oblik, velikosti in površinskih lastnosti.

- Premer: od najmanjših izvedb premera 4 mm do 125 mm
- Oblike: okrogle, ploske, eliptične, z mehom ali z več mehovi
- Material: 5 različnih vrst (odporno na olje, naravni kavčuk, rumeni naravni kavčuk, silikon in nitrilni kavčuk) za premikanje izdelkov s površino iz kovine, stekla, umetne mase, keramike in lesa pri najrazličnejših uporabah in v najrazličnejših panogah.



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.

elesa-ganter.si   



**DESIGNED
FOR ENGINEERING**

PREGLED TEHNOLOGIJ ZA ADSORPCIJSKO SHRANJEVANJE TOPLOTE

Karin Žibert, Uroš Stritih

Izvleček:

Sedanje energetske politike se osredotočajo na prehod s fosilnih goriv na obnovljive vire energije, katerih glavna pomanjkljivost je njihova nestalnost. Za reševanje tega izziva se razvijajo sezonski hranilniki toplote, ki omogočajo shranjevanje in uporabo toplote skozi daljše obdobje, običajno več mesecev ali celotno sezono. Ti hranilniki prispevajo k učinkovitejši rabi energije za ogrevanje in hlajenje. V članku so predstavljene različne vrste sezonskih hranilnikov toplote, vključno z latentnimi, senzibilnimi in termo-kemičnimi hranilniki. Prav tako smo predstavili osnovni pregled praktične uporabe adsorpcijskega shranjevanja toplote za ogrevanje in hlajenje stavb ter druge gospodinske aplikacije.

Ključne besede:

adsorpcija, desorpcija, aplikacije adsorpcijskega shranjevanja toplote, sezonsko shranjevanje toplote, termo-kemični hranilniki toplote, obnovljivi viri energije

1 Uvod

Svetovne emisije CO₂, povezane z energijo, so se leta 2017 povečale za 1,4 % in dosegle zgodovinsko najvišjo vrednost 32,5 Gt. [1]. Da bi se učinkovito soočili z izzivom energetske krize in onesnaževanja, je potrebno razviti in razširiti napredne tehnologije za povečanje oskrbe z energijo in učinkovito uporabo obnovljivih virov energije. Ena od najbolj obetavnih tehnologij v razvoju je shranjevanje toplote, saj omogoča shranjevanje razpoložljive energije za kasnejšo uporabo [2]. Razvoj tehnologije shranjevanja toplote je ključnega pomena za spopadanje z degradacijo okolja in energetske krize. Uporaba obnovljivih virov energije prinaša nove izzive, kot sta njihova nestalnost in nestabilnost. Da bi dosegli učinkovit in neprekinjen dotok energije, se vlagajo intenzivna raziskovalna prizadevanja v številne vrste sistemov za izboljšanje naše tehnološke zmogljivosti za shranjevanje toplotne energije [3].

Za shranjevanje sončne energije se razvijajo sorpcijske tehnologije. Te so postale zelo aktualne v zadnjih nekaj letih, saj imajo visoko energijsko gostoto in zmožnost sezonskega shranjevanja toplo-

te. Sorpcijski hranilniki bazirajo na principu termo-kemičnega procesa shranjevanja energije. Velik napredek na področju razvoja sorpcijskih naprav potrjuje, da je tehnologija trajnostna opcija za shranjevanje solarne termalne energije, še posebej za dolgoročne aplikacije [4].

2 Tehnologije za shranjevanje toplote

2.1 Senzibilni hranilniki toplote

Shranjevanje senzibilne toplote dosegamo tako, da povečujemo (segrevamo) ali zmanjšujemo (hladimo) temperaturo medija hranilnika. Segrevanje (ali hlajenje) povečuje (ali zmanjšuje) entalpijo medija v hranilniku toplote. Pri nestisljivem shranjevalnem mediju je količina shranjene (ali odvzete) energije v sistemu (ali iz njega) odvisna od specifične toplote (c v J/kgK) medija, temperaturne razlike (ΔT) in mase shranjevalnega medija (m v kg). Celotno spremembo energije sistema lahko opredelimo na naslednji način:

Senzibilno segrevanje:

$$\Delta E = \int_{h_A}^{h_B} m \, dh = m (h_B - h_A) \quad (1)$$

oziroma:

$$\Delta E = \int_{T_A}^{T_B} m c \, dT = m c (T_B - T_A) \quad (2)$$

Karin Žibert, dipl. inž., izr. prof. dr. Uroš Stritih,
univ. dipl. inž., oba Univerza v Ljubljani, Fakulteta
za strojništvo

In za senzibilno ohlajanje:

$$\Delta E = \int_{h_B}^{h_A} m dh = m (h_A - h_B) \quad (3)$$

oziroma:

$$\Delta E = \int_{T_B}^{T_A} m c dT = m c (T_A - T_B) \quad (4)$$

Kot je razvidno iz enačb, je v takem hranilniku toplote, skupna količina energije, ki je shranjena v sistemu, odvisna od spremembe temperature, prostornine shranjevalnega medija, njegove gostote ter specifične toplote. Količina energije je neposredno sorazmerna s spremembo temperature medija. Če povečamo temperaturno razliko, lahko posledično shranimo več energije. Povečanje temperature samega shranjevanja pa vodi do termičnih izgub, zato je izolacija v teh sistemih zelo pomembna. Zgornje enačbe veljajo ob naslednjih predpostavkah:

- ▶ specifična toplota snovi mora ostati konstantna v obravnavanem temperaturnem območju;
- ▶ snov mora biti homogena;
- ▶ med procesom prenosa toplote ne sme priti do fazne spremembe snovi;
- ▶ sistem, v katerem poteka prenos toplote, mora biti izoliran oz. zaprt, da ne izgublja toplote v okolico; opazujemo neposredni prenos toplote, kjer ne upoštevamo posebnih pogojev, ki bi lahko vplivali na učinkovitost prenosa toplote.

Zaželeno je, da ima medij za shranjevanje visoko specifično toplotno kapaciteto, da je dolgoročno stabilen tudi pri večjem številu ponavljajočih se toplotnih ciklov in da je zdravju neškodljiv. Seveda je pomemben tudi ekonomski vidik celotnega sistema – želimo, da je medij, kar se da poceni. Visoka volumetrična toplotna kapaciteta zmanjša zahtevano prostornino hranilnika in posledično stroške naložbe. Druga dobra stran zmanjšanja prostornine hranilnika je ta, da preprečimo toplotne interakcije med hranilnikom in okolico – tako imamo manj toplotnih izgub.

Polnjenje in praznjenje takih hranilnikov toplote je omejeno. Ključno vlogo ima tako prav hitrost prenosa toplote. Na hitrost prenosa toplote vplivata:

- ▶ toplotna interakcija med medijem za shranjevanje in tekočino za prenos toplote,
- ▶ toplotna prevodnost medija za shranjevanje.

Kot shranjevalni medij lahko uporabimo različne vrste tekočin (tj. staljene soli, voda, olje) ali trdnih snovi (tj. kamnine ali kovine) [5].

2.2 Latentni hranilniki toplote

Shranjevanje toplotne energije z latentno toploto temelji na sproščanju (strjevanju) ali absorpciji (ta-

ljenju) toplotne energije, ko pride do fazne spremembe medija. Zaradi znatnega prostorninskega raztezanja med fazno spremembo iz tekočega v plinasto so za takšno uporabo potrebni trdnostno ojačani skladiščni rezervoarji. Najpogostejše uporabljamo fazne spremembe iz trdnega v tekoče ali obratno. V nasprotju s senzibilnim shranjevanjem toplote pride tu do fazne spremembe. Temperatura shranjevalnega medija ostane na ravni temperature fazne spremembe, dokler medij ne absorbira določene količine toplotne energije. Fazno spremembo dosežemo, ko se notranja energija medija poveča za vrednost latentne toplote taljenja. Z nadaljnjim dovajanjem toplote mediju za shranjevanje se njegova temperatura poveča v obliki senzibilne toplote [5].

Segrevanje:

$$\Delta E = \int_{h_A}^{h_B} m dh = m (h_B - h_A) \quad (5)$$

oziroma:

$$\Delta E = \int_{T_A}^{T_m} (m c)_S dT + m h_{sf} + \int_{T_m}^{T_B} (m c)_L dT \quad (6)$$

Prvi in zadnji člen predstavljata senzibilno toploto, srednji člen pa latentno toploto, potrebno za taljenje.

In za senzibilno ohlajanje:

$$\Delta E = \int_{h_B}^{h_A} m dh = m (h_A - h_B) \quad (7)$$

oziroma:

$$\Delta E = \int_{T_B}^{T_m} (m c)_L dT + m h_{sf} + \int_{T_m}^{T_A} (m c)_S dT \quad (8)$$

Indeks S predstavlja *solid* – trdno stanje, indeks L pa *liquid* – tekoče stanje.

Celotna sprememba notranje energije torej vključuje dve obliki energije: senzibilno in latentno toploto. Zgornje enačbe veljajo ob naslednjih predpostavkah:

- ▶ latentna toplota h mora ostati konstantna med celotnim procesom faznega prehoda;
- ▶ sistem, v katerem poteka prenos toplote, mora biti izoliran oz. zaprt, da ne izgublja toplote v okolico;
- ▶ opazujemo neposredni prenos toplote, kjer ne upoštevamo posebnih pogojev, ki bi lahko vplivali na učinkovitost prenosa toplote;
- ▶ med faznim prehodom se temperatura snovi ne sme spremeniti.

Latentna toplota je običajno veliko večja od senzibilne. Hranilnik latentne toplote ima v primerjavi s hranilnikom senzibilne toplote večjo gostoto hranjenja energije v manjši prostornini. S pomočjo PCM (*phase changing materials*) je mogoče shraniti razmeroma veliko količino toplote v ozkem temperaturnem območju brez znatne volumnske spremembe [5].

Komponente hranilnika latentne toplote:

- ▶ PCM: je medij za shranjevanje toplote, ki ima zmožnost fazne spremembe. Temperaturo faznega prehoda je potrebno izbrati glede na temperaturno območje delovanja toplotne aplikacije.
- ▶ HTF (*heat transfer fluid*): je sekundarni material, ki prenaša toploto med virom in PCM. Delovni pogoji in pot tekočine bistveno vplivajo na učinkovitost sistema.
- ▶ Posode: PCM-ji so zaprti v toge ali elastične posode, da se prepreči morebitno uhajanje tekočega PCM. Biti morajo ustrezno oblikovane, da se zagotovi boljši prenos toplote med PCM in HTF [5].

2.2.1 PCM

Te snovi so najpomembnejši deli samega sistema. Imeti morajo lastnosti, ki zagotavljajo čim višjo stopnjo shranjevanja energije. Prav tako morajo zagotavljati toplotno stabilnost pri dolgotrajnem cikličnem delovanju. Pri izbiri PCM je potrebno upoštevati toplotne, fizikalne in kemijske lastnosti ter ekonomske dejavnike. V smislu termičnih lastnosti izbiramo materiale, ki imajo primerno oziramo aplikativno temperaturno območje spreminjanja faze. Izbiramo materiale z veliko toplotno fuzijo, z visoko specifično toploto ter veliko prevodnostjo v obeh fazah (tako tekoči kot tudi trdni). Izbiramo materiale, ki imajo veliko gostoto, dosegaajo pa le majhne spremembe volumna, ko prehajajo iz ene faze v drugo. S kemičnega vidika izbiramo materiale, ki so kemično stabilni. Prav tako pozorno preverimo kompatibilnost med kemijsko zasnovo PCM-ja in materiala, ki je uporabljen za konstruiranje samega hranilnika. Izberemo takšen material, ki ima popolnoma reverzibilne fazne spremembe. Materiali morajo biti nestrupeni in nevnetljivi [5].

Tabela 2 : Pregled adsorbatov [9]

	Temperatura strjevanja [°C]	Entalpija uparjanja pri 25 °C [kJ/kg]	Specifična toplota v tekoči fazi [kJ/kgK]	Gostota [kg/m ³]
Voda	0	2435,1	4,19	1000
Amonijak	-78	1166,1	4,59	681
Metanol	-97	1186,3	2,54	791
Etanol	-114	922,8	2,45	789

2.3 Termo-kemični hranilniki toplote

Termo-kemično shranjevanje energije je obetavna tehnika, ki omogoča premostitev nekaterih ovir, ki jih imajo latentni in senzibilni hranilniki toplote. V primerjavi s senzibilnim shranjevanjem toplote lahko s termo-kemičnimi hranilniki shranimo kar do 10-krat več toplote. V teh sistemih se za shranjevanje toplote uporabljajo kemične reakcije in kemična sorpcija [5].

Pod izraz termo-kemično shranjevanje toplote običajno uvrščamo sorpcijske toplotne procese za shranjevanje toplote. Sorpcijo lahko opredelimo kot pojav vezave plina s snovjo v trdni ali tekoči fazi. Razlikujemo med adsorpcijo in absorpcijo. Izraz absorpcija se uporablja, kadar molekule snovi v plinski fazi vstopijo v tekočino ali trdno snov in ji tako spremenijo njeno sestavo. Adsorpcija je opredeljena kot vezava plina na površino trdnega ali poroznega materiala. V *tabeli 1* so predstavljeni različni načini shranjevanja toplote [6].

Tabela 1 : Primeri kemičnega in termo-kemičnega shranjevanja toplote [6]

Kemično shranjevanje	Termo-kemično shranjevanje	
Elektromagnetno	Adsorpcija	Absorpcija
Elektrokemično	Fizikalno	Kemično

Za razliko od latentnih in senzibilnih hranilnikov termo-kemični hranilniki toplote ne potrebujejo toplotne izolacije, saj je energija shranjena v obliki kemičnega potenciala. Proces adsorpcije je ekso-termen, kar pomeni, da se energija sprošča. Obratno je desorpcija endotermni proces, kar pomeni, da je za njeno izvajanje potrebno dovajati energijo oz. toploto. Adsorpcijski hranilniki toplote imajo visoko energijsko gostoto, zanemarljive toplotne izgube, uporabljati pa jih je moč v neprekinjenem ciklu za shranjevanje toplotne energije [7].

2.3.1 Adsorbati

Kot adsorbat se najpogosteje uporablja voda, saj ima dobre termodinamične lastnosti. Na prvem mestu ni škodljiva za okolje, poleg tega pa ima do-

bro entalpijo uparjanja in veliko specifično toploto. Slabost vode je, da je pod 0 °C neuporabna, saj zmrzne. V takih primerih namesto vode uporabimo amonijak, etanol ali metanol. Z njimi je potrebno previdno ravnati, saj so z izjemo etanola toksični. V tabeli 2 so predstavljeni različni adsorbati in njihove značilnosti [8].

2.3.2 Adsorbenti

Adsorbenti so sredstva ali snovi, ki fizikalno na svojo površino vežejo mnoge kemijske spojine. Adsorbirane snovi lahko z ustreznimi kemijskimi spojinami in reakcijami odstranimo s površine adsorbata. V splošnem naj bi imeli adsorbenti naslednje lastnosti:

- ▶ visoko abrazivno odpornost,
- ▶ visoko termično stabilnost,
- ▶ majhne premere por, kar rezultira v večji površini za adsorpcijo,
- ▶ distinktivno strukturo pore, ki omogoča hiter transport plinov in pare.

Temperaturi polnjenja in praznjenja morata biti v izbranem območju delovanja za določene aplikacije.

Poznamo trdne in tekoče sorpcijske materiale. Slednji so že uveljavljeni. Primer sorpcijskega sistema s tekočino je absorpcijski hladilni sistem z amonijakom [10].

2.3.3 Delovanje adsorpcijskega hranilnika toplote

Adsorpcija je eksotermni proces, kar pomeni, da se energija sprošča. Desorpcija je endotermni proces, v katerem se energija porablja. V primeru adsorpcijskega shranjevanja toplote je energija shranjena v obliki kemičnega potenciala. Sam proces shranjevanja je sestavljen iz treh delov:

- ▶ Faza polnjenja: Ta poteka, ko je na razpolago visokotemperaturni vir (recimo v poletnem času, ko sončni kolektorji absorbirajo sončno radiacijo). Visokotemperaturni vir se vodi v desorber, kjer segreje adsorbent. To povzroči desorpcijo adsorbata, saj je desorpcija endotermni proces, za katerega potrebujemo energijo. Produkt desorpcije je vodna para, ki nadaljuje svojo pot v kondenzator, kjer kondenzira, nato pa jo shranimo v hranilniku za vodo.
- ▶ Faza shranjevanja: Ventil med adsorberjem in uparjalnikom/kondenzatorjem je zaprt. V tem primeru shranjujemo energijo brez toplotnih izgub. Adsorbat in adsorbent sta ločena.
- ▶ Faza praznjenja: Ta poteka v času, ko nimamo na razpolago visokotemperaturnega vira (recimo v zimskem času, ko potrebujemo

toploto za ogrevanje stanovanja). Ventil med adsorberjem in uparjalnikom se odpre. Voda iz hranilnika nadaljuje svojo pot s pomočjo črpalke v uparjalnik, kjer se s pomočjo nizkotemperaturnega vira upari. Ko pride do adsorberja, se ta adsorbira na adsorbent. Pri tem dobimo energijo – koristno toploto – saj je adsorpcija eksotermna reakcija.

Voda je lahko shranjena v sistemu – zaprt sistem – ali pa pride iz zunanjega zraka – odprt sistem. Pri odprtem sistemu je voda že v plinasti obliki, zato toplota, ki se sprost pri adsorpciji, vključuje tako prispevek vezave na adsorbent kot tudi kondenzacijsko entalpijo. V zaprtem sistemu se voda navadno hrani v tekoči obliki, saj bi za plinasto potrebovali veliko večji volumen hranilnika. Ker se voda večinoma hrani v tekoči obliki, pa izgubimo prispevek kondenzacijske entalpije, saj se porabi za izparjevanje vode [3], [11].

Odprti sistem

V fazi desorpcije – polnjenja – se reaktor segreje, saj dovajamo zrak, ki je predhodno segret. V reaktorju se tako zaradi dodane toplote/energije adsorbat (voda) upari (desorbira) iz adsorbenta. Zrak se nekoliko ohladi in navlaži ter zapusti posodo.

Q_{inp} (pogonska toplota) = količina toplote, ki jo je potrebno dovesti, da poteka desorpcija.

Q_{outk} (kondenzacijska toplota) = ustvarjena toplota pri kondenzaciji.

V fazi adsorpcije – praznjenja: navlažen in ohlajen zrak vodimo v reaktor, kjer je adsorbent. Tam poteka adsorpcija in tako dobimo uporabno toploto. Zrak se segreje in zapusti reaktor vroč in suh.

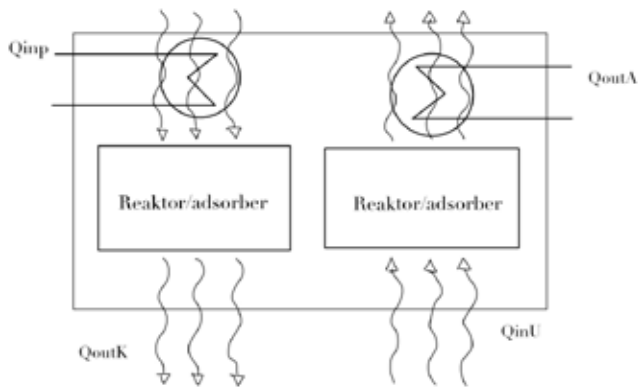
Q_{outa} (adsorpcijska toplota) = toplota, proizvedena med procesom adsorpcije, koristna toplota.

Q_{inu} (toplota, potrebna za uparjanje) = nizkotemperaturna toplota, potrebna za uparjanje.

V primeru odprtega sistema nimamo kondenzatorja ali uparjalnika, prav tako prenosnik toplote ni integriran v reaktor. Prednosti odprtega cikla sta:

- ▶ manj sestavnih delov,
- ▶ sistem deluje pri atmosferskem tlaku.

Pomanjkljivost odprtega sistema je ta, da med ogrevalno sezono potrebujemo vir toplotnega in vlažnega zraka. Prav tako je potrebno zagotoviti varnostne zahteve sorbata, ki mora biti nestrupen. Velik pretok sorbata povzroča velik padec tlaka. Na sliki 1 je shematsko prikazan primer odprtega adsorpcijskega sistema [10].



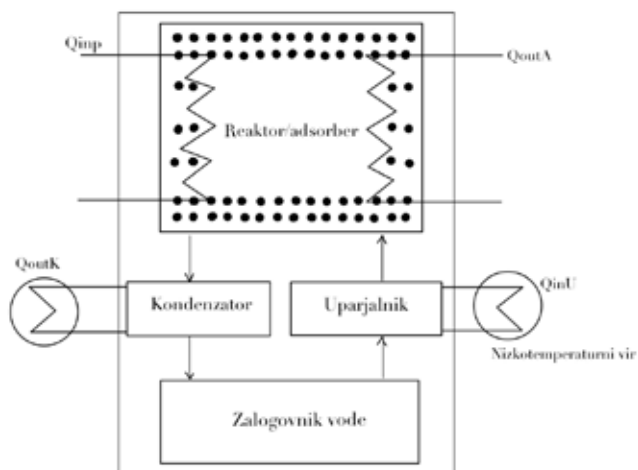
Slika 1 : Odprti adsorpcijski sistem [12]

Zaprti sistem

V primeru zaprtega sistema je prenosnik toplote vgrajen oz. integriran v sam reaktor/adsorber. Ti sistemi navadno delujejo pri nizkem tlaku – delovni tlak medija, ki se adsorbira, lahko prilagajamo. V zaprtih sistemih lahko uporabimo komponente, ki jih ni v ozračju ali pa so škodljive okolju [10].

Faza desorpcije – polnjenje hranilnika: Prenosnik toplote, ki je integriran v reaktor, segrejemo. Ko ta doseže določeno temperaturo, poteka desorpcija. To pomeni, da se voda (vodna para – adsorbat) loči od adsorbenta (trdna snov, zeolit, silikagel, ..). Pri tem smo porabili energijo. Para potuje do kondenzatorja, v katerem kondenzira (to dosežemo z odvajanjem toplote), in nadaljuje svojo pot do hranilnika vode. Toplota, ki je produkt kondenzacije vlage iz zraka, je običajno odpadna, lahko pa se uporabi kot nizkotemperaturni vir. Energijo imamo shranjeno po koncu desorpcije, ko sta adsorbent in adsorbat ločena oziroma takrat, ko se adsorbent osuši.

Faza adsorpcije – praznjenje hranilnika: Shranjena voda iz hranilnika nadaljuje svojo pot v uparjalnik, kjer potrebujemo nizkotemperaturni vir, da se voda



Slika 2 : Zaprta adsorpcijski sistem [12]

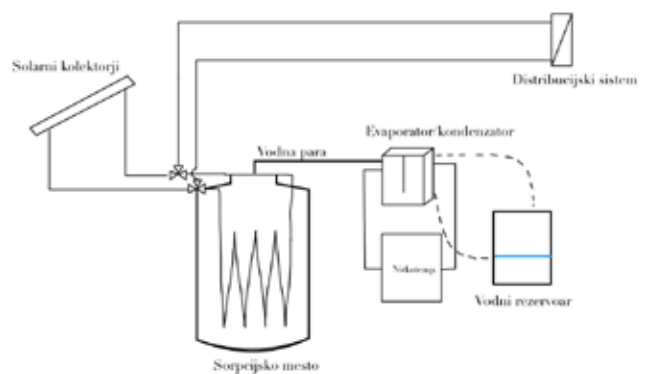
upari. Voda v plinasti obliki potuje do reaktorja, kjer poteka adsorpcija vodne pare na adsorbent. Ker je to eksotermni proces, tako dobivamo koristno toploto. Ko se adsorbent nasiti z vodno paro, se proces konča. Treba je ponovno izvesti polnjenje oz. proces desorpcije. Na sliki 2 je shematsko prikazan primer zaprtega adsorpcijskega sistema [10].

3 Uporaba adsorpcijskih sistemov v praksi

3.1 V zgradbah

3.1.1 Sezonsko shranjevanje za stavbe

Projektne partnerji AEE INTEC, GREENoneTec, IWT TU Graz, Odörfer, Somitsch in STM Meitz so sodelovali pri razvoju termo-kemičnega sistema za shranjevanje energije za eno družinsko hišo. S toploto sončnega kolektorja se sorpcijski material v reaktorju posuši. Sproščena para nadaljuje svojo pot v kondenzator, kjer kondenzira. Voda teče v rezervoar za vodo – ta se ločeno shranjuje. Ko potrebujejo toploto, se voda iz vodnega rezervoarja prečrpa v prenosnik toplote, ki v tem primeru deluje tudi kot uparjalnik. Para teče po parnem kanalu v reaktor in se adsorbira na material. Zaradi termo-kemične reakcije se sprosti toplota, ki se odvzame in dostavi v distribucijski sistem. Za ta sistem so uporabili kot adsorbent zeolit 13XBF in kot adsorbat vodo. Pomanjkljivost sistema pa je, da material za učinkovito regeneracijo običajno potrebuje visoke desorpcijske temperature (nad 200 °C). Na sliki 3 je shematsko prikazan sistem, ki so ga uporabili pri tem projektu [13].



Slika 3 : Shematski prikaz sezonskega shranjevanja toplote v praksi [13]

3.1.2 Projekt HYDES

V okviru projekta HYDES so razvili zaprt adsorpcijski sistem s silikagelom in vodo kot delovnim parom. Sistem vključuje več shranjevalnih enot, povezanih s sončnimi kolektorji. Vsaka shranjevalna enota ima

absorber z vgrajenim prenosnikom toplote, ki je prek ventila povezan s kombiniranim uparjalnikom/kondenzatorjem. Sončni kolektorji zagotavljajo tako visokotemperaturno toploto za desorpcijo kot nizkotemperaturno toploto za izhlapevanje. V hišo so namestili prototip z dvema sorpcijskima hranilnikoma za preučevanje učinkovitosti takšne zasnove. Hranilnik ima skupno prostornino $1,25 \text{ m}^3$, od tega je $1,1 \text{ m}^3$ silikagela, in je povezan s sončnimi kolektorji s površino $20,4 \text{ m}^2$. Dva odvodnika toplote služita za kondenzacijo. Empirično določena gostota energije shranjevanja sistema je bila približno 20 % nižja od teoretične vrednosti (123 kWh/m^3 v primerjavi s pričakovanimi 150 kWh/m^3).

V nadaljnjem projektu HYDES, imenovanem MO-DESTORE, so izdelali prototip druge generacije. Za izboljšanje učinkovitosti so združili reaktor in kondenzator/uparjalnik v enotno ohišje, kar je omogočilo bolj kompaktno zasnovo. Reaktor vključuje spiralni prenosnik toplote z osrednjim kanalom za difuzijo pare. Namesto postavitve uparjalnika na dno rezervoarja so v tem prototipu prečrpali le majhno količino vode, kar je znatno izboljšalo prenos toplote. Prostornina prototipa je 350 litrov, reaktor pa vsebuje približno 200 kg silikagela. Eksperimentalni rezultati niso bili zadovoljivi, zato so avtorji poskusa dvojico silikagel-voda označili kot neprimeren delovni par za shranjevanje sončne energije v stavbah [6].

3.1.3 Adsorpcijski sistem z uporabo zeolita 4A

Inštitut za termodinamiko in toplotno tehniko (ITW) na Univerzi v Stuttgartu je v okviru projekta Monosorp sodeloval pri razvoju adsorpcijskega sistema za shranjevanje energije z uporabo zeolita 4A kot adsorbenta. Ta sistem je preprost in prilagodljiv v primerjavi z drugimi obstoječimi sistemi. Vroči zrak iz sončnega kolektorja pri temperaturi od 180 do 190 °C povzroči desorpcijo vodne pare iz zeolita 4A, kar shrani energijo v obliki kemičnega potenciala. Gostota energije za ta sistem znaša 160 kWh/m^3 . Med adsorpcijo pridobljeno energijo uporabijo za ogrevanje stavbe.

V okviru nadaljnjega projekta SolSpaces so vzpostavili nov sistem za sončno ogrevanje, ki vključuje adsorpcijski hranilnik za sezonsko shranjevanje z uporabo zeolita 13X. Sistem je podoben projektu Monosorp, vendar uporablja zračne sončne kolektorje, kar odpravi potrebo po prenosniku toplote voda-zrak. Zasnova reaktorja vključuje pakiran sloj zeolitnih kroglic, hranilnik pa je razdeljen na segmente za boljšo toplotno učinkovitost. Prototip so zgradili v stavbi s površino 43 m^2 . Napolnjen je s $4,3 \text{ m}^3$ zeolitnih zrn (premera 2 mm) in ima zmogljivost shranjevanja toplote približno 700 kWh . Hranilnik je razdeljen na štiri kvadrante, vsak kvadrant pa na šest segmentov. Nizka poraba električne

energije ventilatorjev (le 20 W) je rezultat majhnega padca tlaka in masnega pretoka 90 kg/h . Pretok skozi dva segmenta je homogen, proces polnjenja in praznjenja pa poteka hkrati v obeh segmentih [6].

3.1.5 Pomivalni stroji

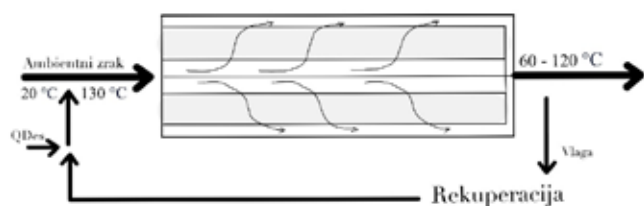
Podjetji ZAE Bayern in Bosch Siemens Hausgeräte v Nemčiji sta v pomivalni stroj implementirali adsorpcijski ogrevalni sistem. Cilj je zmanjšati energetske obremenitve ogrevalnih procesov pri temperaturah okoli 50 °C do 60 °C . Pri 60 °C poteka sušenje posode z vročim suhim zrakom, ki nastane kot produkt adsorpcije. Zrak, ki se navlaži med pomivanjem posode, se uporabi za adsorpcijo. Adsorpcija kot eksotermni proces poveča temperaturo zraka in ga hkrati osuši. V sistemu, ki združuje pomivalni stroj in adsorpcijsko tehnologijo, se poraba energije zmanjša za 23 % v primerjavi z običajnim pomivalnim strojem. Ta inovacija prikazuje, kako lahko adsorpcijska tehnologija učinkovito izboljša obstoječe procese za boljše shranjevanje in rabo energije [14].

3.1.6 Mobilno sorpcijsko shranjevanje toplote

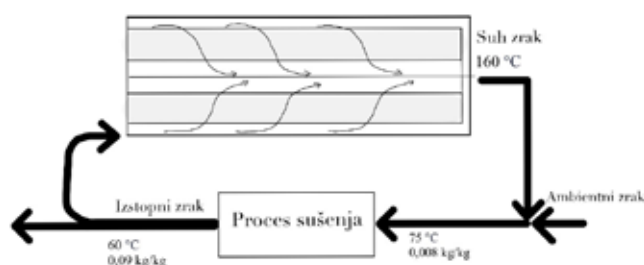
Kadar priključitev na cevovod ni stroškovno upravičena, se lahko za izkoriščanje industrijske odpadne toplote uporabi mobilni sistem za shranjevanje energije z zeolitom. Raziskovalci so zgradili demonstracijski obrat, ki uporablja ekstrakcijsko paro iz sežigalnice odpadkov za polnjenje hranilnika. Vroči zrak s temperaturo 130 °C segreva polnilno postajo, oddaljeno 7 km. Reaktor vsebuje 14 ton zeolita in uporablja izpušne pline s temperaturo 60 °C in vlažnostjo $0,09 \text{ kg/kg}$. Sistem dosega skladiščno zmogljivost $2,3 \text{ MWh}$ in prihrani 616 kg ogljikovega dioksida na cikel. Maksimalno izhodno moč omejuje neenakomerna porazdelitev skozi plast zeolita, proizvodni stroški pa se zmanjšajo na 73 EUR/MWh.

Uporaba industrijske odpadne toplote za oskrbo z energijo na oddaljenih lokacijah izboljšuje energetsko učinkovitost. ZAE Bayern in partner GmbH sta začela projekt za razvoj in izdelavo prototipa mobilnega hranilnika, ki temelji na odprtem sorpcijskem sistemu z zeolitom kot adsorbentom. Za vir toplote so uporabili obrat s sežigalnico odpadkov, kjer so izvedli industrijski postopek sušenja. Obrat je deloval več kot eno leto, projekt pa je pokazal praktično uporabnost mobilnega shranjevanja toplote in določil stroške na MWh [15].

Za testiranje sistema v realnih razmerah so zgradili obrat z dvema hranilnikoma. Vir toplote za polnjenje je ekstrakcijska para turbine sežigalnice odpadkov, ki s prenosnikom toplote para/zrak segreva okoliški zrak na 130 °C . Za boljšo energetsko učinkovitost so uporabili sistem za rekuperacijo toplote s prenosnikom toplote zrak/zrak s križnim tokom, kar prihrani približno 1 MWh na cikel [15].



Slika 4 : Shema mobilnega sorpcijskega shranjevanja toplote [15]



Slika 5 : Shema mobilnega sorpcijskega shranjevanja toplote [15]

Pri praznjenju pretok zraka skozi hranilnik spremeni smer glede na polnjenje, kar zmanjšuje toplotne izgube zaradi izolacijskega učinka plasti reaktorja. Hranilnik zeolita deluje kot varčevalnik goriva in podpira plinski gorilnik pri sušenju. Shematski prikaz uporabljenega sorpcijskega sistema je prikazan na slikah 4 in 5.

Delovanje hranilnikov so spremljali eno leto. Razgradnjo zeolita so preverjali s tehtanjem hranilnika po vsakem ciklu, določili porabo vode in zapolnjenost reaktorja. V programu MATLAB so izdelali model za idealizirano polnjenje, ki upošteva prenos toplote in mase [15].

3.1.7 Modularni sistem za sezonsko shranjevanje toplote

TNO je razvil in zgradil modularni sistem za sezonsko shranjevanje, ki uporablja zeolit 5A in vodo. Sistem sestavljata dve ločeni enoti: reaktor za shranjevanje toplote in enota za uparjanje/kondenziranje. Povezani sta z visokotemperaturnim in nizkotemperaturnim virom toplote. Reaktor vsebuje vzporedno razporejene rebraste prenosnike toplote, nameščene skupaj z zeolitom v posodi iz nerjavnega jekla. Enota za uparjanje/kondenziranje je sestavljena iz kombinacije bakrenega rebra, ki je povezano z bakreno spiralo in delovnim materialom s površino toplotne izmenjave $1,4 \text{ m}^2$. Prototip so napolnili z 41 kg zeolita, kar ustreza zmogljivosti shranjevanja 3 kWh. Električni grelnik z močjo 12 kW je služil kot visokotemperaturni vir. Rezultati preizkusa so dosegli pričakovano največjo zalogo toplote 4 kWh, toplotno moč med 0,7 in 1,6 kW, vendar je bila energijska gostota sistema približno 73 % nižja od teoretične gostote materiala (22 proti 83 kWh/m³) [6].

3.2 Zunaj zgradb

3.2.1 Samohladilni sod piva

Samohladilni sod piva, prikazan na sliki 6, deluje po načelu zaprtih sorpcijskih sistemov. Med adsorpcijo se v uparjalniku, ki je nameščen v spodnjem delu sodčka in je v stiku s pivom, proizvaja hlad. Ko odpremo ventil, voda v uparjalniku izhlapi in začne hladiti. Toplota izhlapevanja se odvzame pivu, kar ga ohladi. Postopek lahko ustavimo in ponovno zaženemo z zapiranjem in odpiranjem ventila. Hkrati se adsorber na zunanji strani sodčka segreje zaradi sproščene adsorpcijske toplote, njegova temperatura pa lahko doseže več kot 80 °C [14].

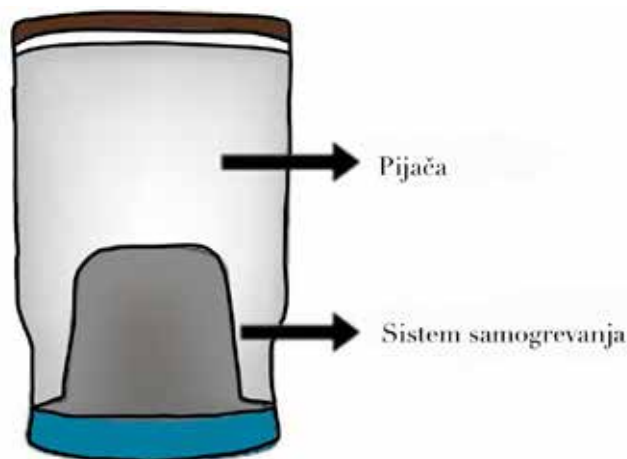


Slika 6 : Samohladilni sod piva [14]

3.2.2 Posoda za kavo

Posoda za kavo, prikazana na sliki 7, je sestavljena iz dveh predelov. V prvem sta obarvana voda in kalcijev oksid, v drugem pa 200 mL pijače. Predela sta ločena in se nikoli neposredno ne stikata. Ko pritisnemo na dno posode, se aluminijasta folija v notranjosti pretrga in omogoči stik vode s kalcijevim oksidom, kar sproži eksotermno reakcijo in ustvarjanje toplote. Ta toplota se nato prenaša na pijačo preko pločevine, ki ločuje oba predela. Temperatura pijače se v treh minutah dvigne za 42 °C nad temperaturo okolice.

Kalcijev oksid (CaO), znan tudi kot gašeno apno, je bela trdna snov, ki se pogosto uporablja v gradbeništvu. Pri reakciji kalcijevega oksida z vodo nastane kalcijev hidroksid, pri čemer se sprosti veliko energije v obliki toplote [16], [14].



Slika 7 : Grelna posoda za kavo [14]

3.3 Eksperimentalni testni sistem za adsorpcijsko ogrevanje prostorov

Avtor U. Mlakar s sodelavci je izvedel dva eksperimenta, s katerima so primerjali zeolit 13X in zeolit NaYBKF. Raziskava preučuje uporabo različnih zeolitnih materialov za adsorpcijsko ogrevanje prostorov in analizira njihovo učinkovitost pri shranjevanju energije v stavbah. V prvem poskusu so ugotovili, da zeolit NaYBKF doseže nižjo najvišjo temperaturo, vendar ima boljšo sposobnost adsorbiranja vode kot zeolit 13X, ko kot delovni par uporabijo vlažen zrak. Sposobnost sprejemanja vode pri zeolitu 13X se lahko izboljša z višjo začetno temperaturo vodne pare, vendar najvišja temperatura med fazo adsorpcije ostane nižja. Zeolit 13X z vodno paro kot delovnim medijem doseže najvišjo temperaturo 120 °C, medtem ko njegova sposobnost sprejemanja vode znaša 0,27 kg vode na kg adsorbenta. Kljub temu zeolit NaYBKF doseže višjo najvišjo temperaturo pri nižji začetni temperaturi vodne pare kot zeolit 13X [17].

3.4 Primerjava vrednosti gostote shranjene energije

V tabeli 3 so predstavljene vrednosti gostote shranjene energije za primere, ki so navedeni v poglavju 2.1. Tabela 4 primerja povprečne vrednosti gostote shranjene energije med termo-kemičnimi hranilniki, latentnimi in senzibilnimi.

V laboratorijskih pogojih adsorpcijske snovi dosežajo višjo teoretično zmogljivost, vendar je te pogoje v praksi težko pustvariti. Poleg tega se snovi po več ciklih pogosto degradirajo, kar zmanjšuje njihovo učinkovitost. Med procesi adsorpcije in desorpcije prihaja tudi do toplotnih izgub, ki zmanjšujejo zmogljivost sistema za shranjevanje energije, zato je razvidno, da v praktičnih aplikacijah in prototipih ne dosegamo potencialov, ki jih napo-

Tabela 3 : Primerjava vrednosti gostote shranjene energije

Primer aplikacije v praksi oz. prototipa	Gostota energije, shranjene v sistem [kWh/m ³]
Projekt Hydes	123
Adsorpcijski sistem z uporabo zeolita 4A	160
Modularni sistem za sezonsko shranjevanje toplote	22

Tabela 4 : Primerjava povprečne vrednosti gostote shranjene energije termo-kemičnega, latentnega in senzibilnega hranilnika toplote

Način shranjevanja energije	Gostota energije, shranjene v sistem za energijsko učinkovito hišo (1800 kWh) [kWh/m ³]
Senzibilno	27,8
Latentno	83,3–138,8
Termo-kemično	277,8

veduje literatura. Z izboljšanjem adsorpcijskih materialov in izboljšanjem prenosa toplote in snovi boljše izkoriščamo potencial te metode shranjevanja energije.

4 Zaključek

Članek predstavlja pregled tehnologij za adsorpcijsko shranjevanje toplote s poudarkom na uporabi v stavbah. Adsorpcijski hranilniki toplotne energije imajo številne prednosti in možnosti uporabe, vendar so trenutno še vedno na ravni laboratorijskih prototipov in poskusnih obratov. Najuspešnejši adsorbenti za shranjevanje toplote, ki jih navaja literatura, vključujejo zeolite 13X in aktivirane hibride aluminijevega oksida, impregnirane s kalcijevim kloridom, ter aktivirani aluminijev oksid z dodatkom alkalij. Ti zagotavljajo energijsko učinkovitost od 226 do 309 kWh/m³ za adsorpcijo vode [7]. Četudi je adsorpcijsko shranjevanje energije danes tehnično izvedljivo, pa je relativno težko dokazati in argumentirati njegovo ekonomsko upravičenost. Z razvojem materialov, ki bodo imeli večjo energijsko gostoto in optimizacijo procesov prenosa toplote in snovi v tovrstnih sistemih, se ta tehnologija razvija v smer, kjer upravičeno pričakujemo njeno vedno večjo praktično uporabnost in ekonomske prednosti.

Viri

- [1] K. Kant, A. Shukla, D. M. J. Smeulders, and C. C. M. Rindt, "Analysis and optimization of the

- closed-adsorption heat storage bed performance,” *J. Energy Storage*, vol. 32, p. 101896, Dec. 2020, doi: 10.1016/j.est.2020.101896.
- [2] H. O. Helaly, M. M. Awad, I. I. El-Sharkawy, and A. M. Hamed, “Theoretical and experimental investigation of the performance of adsorption heat storage system,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 147, pp. 10–28, Jan. 2019, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2018.10.059.
- [3] W. Hua, H. Yan, X. Zhang, X. Xu, L. Zhang, and Y. Shi, “Review of salt hydrates-based thermochemical adsorption thermal storage technologies,” *J. Energy Storage*, vol. 56, p. 106158, Dec. 2022, doi: 10.1016/j.est.2022.106158.
- [4] University of Ljubljana, Faculty of Mechanical Engineering, Laboratory for Heating, Sanitary and Solar Technology & Air-conditioning, Ljubljana, Slovenia and U. Stritih, “Analysis of Adsorption Thermal Storage Device for Solar Energy Storage,” *Int. J. Green Technol.*, vol. 3, no. 1, pp. 23–34, Feb. 2018, doi: 10.30634/2414-2077.2017.03.3.
- [5] I. Dincer and M. A. Ekan, Heat Storage: A Unique Solution For Energy Systems. in *Green Energy and Technology*. Cham: Springer International Publishing, 2018. doi: 10.1007/978-3-319-91893-8.
- [6] G. Krese, R. Koželj, V. Butala, and U. Stritih, “Thermochemical seasonal solar energy storage for heating and cooling of buildings,” *Energy Build.*, vol. 164, pp. 239–253, Apr. 2018, doi: 10.1016/j.enbuild.2017.12.057.
- [7] D. Lefebvre and F. H. Tezel, “A review of energy storage technologies with a focus on adsorption thermal energy storage processes for heating applications,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 67, pp. 116–125, Jan. 2017, doi: 10.1016/j.rser.2016.08.019.
- [8] Y. I. Aristov, “Dynamics of adsorptive heat conversion systems: Review of basics and recent advances,” *Energy*, vol. 205, p. 117998, Aug. 2020, doi: 10.1016/j.energy.2020.117998.
- [9] A. Ristic, F. Fischer, A. Hauer, and N. Zabukovec Logar, “Improved performance of binder-free zeolite Y for low-temperature sorption heat storage,” *J. Mater. Chem. A*, vol. 6, May 2018, doi: 10.1039/C8TA00827B.
- [10] A. Fopah Lele, A Thermochemical Heat Storage System for Households. in *Springer Theses*. Cham: Springer International Publishing, 2016. doi: 10.1007/978-3-319-41228-3.
- [11] J. Varlec, “Simuliranje adsorpcije vode v mikroporoznih aluminofosfatih : doktorska disertacija,” thesis, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, 2017. Accessed: Jul. 24, 2024. [Online]. Available: <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=97426>
- [12] Y. Artioli, “Adsorption,” in *Encyclopedia of Ecology*, 2008, pp. 60–65. doi: 10.1016/B978-008045405-4.00252-4.
- [13] K. Kant and R. Pitchumani, “Advances and opportunities in thermochemical heat storage systems for buildings applications,” *Appl. Energy*, vol. 321, p. 119299, Sep. 2022, doi: 10.1016/j.apenergy.2022.119299.
- [14] H. Ö. Paksoy, Ed., Thermal Energy Storage for Sustainable Energy Consumption, vol. 234. in *NATO Science Series*, vol. 234. Dordrecht: Springer Netherlands, 2007. doi: 10.1007/978-1-4020-5290-3.
- [15] A. Krönauer, E. Lävemann, S. Brückner, and A. Hauer, “Mobile Sorption Heat Storage in Industrial Waste Heat Recovery,” *Energy Procedia*, vol. 73, pp. 272–280, Jun. 2015, doi: 10.1016/j.egypro.2015.07.688.
- [16] S. Vasta et al., “Adsorption Heat Storage: State-of-the-Art and Future Perspectives,” *Nanomaterials*, vol. 8, no. 7, p. 522, Jul. 2018, doi: 10.3390/nano8070522.
- [17] U. Mlakar, R. Koželj, A. Ristić, and U. Stritih, “Experimental testing system for adsorption space heating,” in *Strojniški vestnik*, 2024, pp. 107–115. doi: 10.5545/sv-jme.2023.788.

Overview of adsorption thermal storage technologies

Abstract:

Current energy policies focus on transitioning from fossil fuels to renewable energy sources, whose main drawback is their intermittency. To address this challenge, seasonal thermal storage systems are being developed, enabling the storage and use of heat over extended periods, typically several months or even an entire season. These storage systems contribute to more efficient energy use for heating and cooling. The article presents various types of seasonal thermal storage systems, including latent, sensible, and thermo-chemical storage. Additionally, we provide an overview of the practical application of adsorption heat storage for building heating and cooling, as well as other household applications.

Keywords:

adsorption, desorption, applications of adsorptive heat storage, seasonal heat storage, thermochemical heat storage systems, renewable energy sources

SISTEMI ALUMINIJASTIH PROFILOV Elesa+Ganter

Podjetje Elesa+Ganter že dolgo časa ponuja široko paleto dodatne opreme, ki je potrebna za izdelavo strojev, sistemov ali delovnih postaj s standardnimi profilnimi sistemi. Zdaj so v svoj program dodali tudi aluminijaste profile s pripadajočimi povezovalnimi elementi, ki so zasnovani tako, da so prijazni do uporabnika.

Sistemi aluminijasti profili so izdelani iz anodiziranih in ekstrudiranih profilov, katerih dimenzije in lastnosti ustrezajo že dolgo uveljavljenim sistemom Bosch in Item. Izdelani so v težkih in lahkih različicah z različnimi preseki, dimenzijami in razporeditvami utorov.

Podjetje Elesa+Ganter ima že dolgo v svoji ponudbi številne elemente za individualno uporabo profilnih sistemov po meri. Sem spadajo različni kotniki, drsniki bloki in drugi elementi, kot so na primer tudi ročaji, tečaji, držala za plošče in izravnalne noge.

Sedaj so dodali še profile za posebne tehnologije povezovanja, kot so pokrivni in robni profili, končni pokrovi, zglobovi in talne plošče. S to dopolnitvijo je mogoče pripraviti stroje, sisteme ali delovne postaje v celoti izdelati s komponentami podjetja Elesa+Ganter. Tako naknadna naročila pri drugih dobaviteljih niso več potrebna in zato je nabava enostavnejša.

Podjetje Elesa+Ganter sedaj namerno odstopa od dosedanje prakse, ko so uporabnikom nudili le profile dolžine šestih metrov, saj je mogoče naročiti profile v vseh prerezech in tudi v dolžinah dveh ali treh metrov – v praktičnih pakiranjih. To prinaša več prednosti, prvič: pošiljanje je mogoče s storitvami hitrih paketnih dostavnih služb, drugič: pri individualnem rezanju na dolžino je manipulacija lažja in tretjič: profili, ki jih trenutno ne potrebujete, ne potrebujejo posebnega prostora za skladiščenje v podjetju.

Podjetje Elesa+Ganter na svojem spletnem mestu objavlja podrobna navodila, ki prikazujejo, kako je



Paleta profilov in drugih veznih elementov

mogoče nove elemente iz programa Elesa+Ganter strokovno namestiti in opraviti vsa potrebna zaključna dela. Kmalu pa bo dostop do znanja še posebej olajšan z enostavnimi video navodili.

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



icm

IFAM - INTRONIKA-ROBOTICS

11.-13.2.2025

Ljubljana

www.icm.si

VAKUUMSKA ČRPALKA piSAFE®

SEDAJ DELUJE ŠE VARNEJE

Vakuumska črpalka piSAFE® proizvajalca PIAB z izboljšanimi varnostnimi funkcijami je že nekaj let zelo cenjena, predvsem tam, kje se zahteva zanesljivo in varno prijetanje. Čeprav je vakuumška črpalka zdaj nadgrajena z dodatnimi funkcijami (kot npr. funkcija varčevanje s komprimiranim zrakom, funkcija kontroliranega izpusta itd.), njena zanesljivost in varnost ostajata enaki.



Vakuumska črpalka piSAFE®

Od predstavitve leta 2021 je vakuumški ejektor piSAFE® očitna izbira za stabilen proizvodni proces, kje je potrebna izjemno visoka stopnja varnosti prijetanja. Ključna komponenta je vakuumški varnostni ventil, ki ves čas vzdržuje ustrezno raven vakuuma v COAX® v vakuumških ejektorjih.

Vakuumska črpalka piSAFE® je še posebej cenjena v zahtevnih avtomobilskih aplikacijah, kot je sestavljanje stekla in karoserije, kjer bi neustrezno prijetanje lahko povzročilo zastoje in s tem prekinitev proizvodnje.

Značilne funkcije vakuumških črpalk piSAFE®:

- ▶ Štiri izvedbe vakuumških črpalk z različnimi stopnjami funkcionalnosti.
- ▶ Lahka zasnova, ki zagotavlja visoko hitrost cikla in minimalno obrabo robota.
- ▶ Vakuumški varnostni nepovratni ventil (check valve) z odprtino za zaznavanje vakuuma, ki zadržuje nivo vakuuma v zaprtih aplikacijah tudi v primeru izpada sistema ali električne energije.
- ▶ Modularna zasnova zagotavlja hitro povezavo s popolno prilagoditvijo ciljnim aplikacijam ter enostavno vzdrževanje v decentraliziranih vakuumških sistemih.
- ▶ Izdelek je popolnoma brez silikona.

Vir:

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

OGLAŠEVALCI

- | | |
|--|---|
| ▶ CELJSKI SEJEM, d. d., Celje 201 | ▶ OPL AVTOMATIZACIJA, d. o. o, Trzin193, 216 |
| ▶ ELESAGANTER GmbH, Brunn am Gebirge, Austria239 | ▶ PODKRIŽNIK, d. o. o., Nazarje193 |
| ▶ FESTO, d. o. o., Trzin 193, 260 | ▶ PARKER HANNIFIN (podružnica v N. M.), Novo mesto193 |
| ▶ HENNLICH, d. o. o., Kranj254 | ▶ POCLAIN HYDRAULICS, d. o. o, Žiri193, 194 |
| ▶ HPE, d. o. o., Ljubljana193 | ▶ PPT COMMERCE, d. o. o., Ljubljana193, 196 |
| ▶ ICM, d. o. o., Vojnik249, 259 | ▶ PROFIDTP, d. o. o., Škofljica 221, 255 |
| ▶ INOTEH, d. o. o., Bistrica ob Dravi252 | ▶ SEAL & TRADE, d. o. o., Maribor193 |
| ▶ JAKŠA, d. o. o., Ljubljana221 | ▶ STROJNISTVO.COM, Ljubljana223 |
| ▶ La & Co., d. o. o., Limbuš193, 251 | ▶ UL, Fakulteta za strojništvo204, 209 |
| ▶ OLMA, d. o. o., Ljubljana 205 | ▶ YASKAWA, d. o. o., Ribnica215 |
| ▶ OMEGA AIR, d. o. o., Ljubljana193, 257 | |

SAMOSTOJNI HIDRAVLIČNI AKTUATORJI

Samostojni hidravlični aktuatorji Bosch Rexroth so zasnovani tako, da omogočajo najvišjo dodano vrednost v celotnem življenjskem ciklu – s svojo kompaktno zasnovo, s popolnoma električnim krmiljenjem in odprtimi vmesniki, z energijsko učinkovitim ter tihim delovanjem zagotavljajo dolgo življenjsko dobo z malo vzdrževanja.



Primer uporabe samostojnega hidravličnega aktuatorja

Samostojni aktuatorji postanejo izdelek, ki ga je enostavno konfigurirati, je enostaven za uporabo in zahteva malo vzdrževanja, z integriranim nadzornim sistemom ter razširitvenim modulom je mogoča integracija varnostnih funkcij. Puščanje v pogon je preprosto s pomočjo uporabe brezplačne programske opreme IndraWorks.

V razredu moči do 6,2 kW CytoMotion izkorišča prednosti samostojnih aktuatorjev za številne nove aplikacije. Standardizirani vmesniki omogočajo priključitev običajnih frekvenčnih pretvornikov in krmilnih enot. Preko integriranih tlačnih senzorjev je mogoče preprosto spremljanje procesne sile in notranjih parametrov.

za stranke in sektorje, s pomočjo modularnega sistema servohidravličnih osi SHA. Samostojni aktuatorji, sestavljeni s standardnimi moduli, združujejo servopogon s spremenljivo hitrostjo s krmilnim blokom, hidravličnim cilindrom, varnostnimi ventili in senzorji. Prav tako so na voljo individualne rešitve za specialne aplikacije naročnika, tudi za aplikacije, kjer je potrebna večja moč. Zahvaljujoč široki paleti električnih in hidravličnih serijskih komponent so servohidravlične osi SHA prilagodljive glede moči in delovanja.

Vir:

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

Zahvaljujoč modularni rešitvi CytoForce »plug and produce«

Podjetje Bosch Rexroth učinkovito ustvarja rešitve, specifične



Sinergija premikanja. Hidravlika. Pnevmatika. Linearna tehnika.



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

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





Že 25 let vam ponujamo vrhunsko tehniko in prave strokovnjake, za vaše zahteve na področju hidravlike, pnevmatike in linearne tehnike.

NOVE PRISESNE GUME BXP ESD ZA PRIJEMANJE OBČUTLJIVIH IZDELKOV

Nova serija modularnih prisesnih gum BXP ESD, ki je bila razvita za prijetanje občutljivih komponent v baterijah, gorivnih celicah in elektroniki, varuje pred negativnimi učinki elektrostatične razelektritve med rokovanjem. »Ponosni smo, da lahko ponudimo to uporabno inovacijo našim avtomobilskim strankam v času, ko je njihov sektor v razcvetu,« pravi Anders Falk, avtomobilski produkti vodja pri Piab Vacuum Automation Division.



Prisesne gume BXP ESD

Elektrostatična razelektritev (ESD) – nenaden pretok nakopičene električne energije med dvema predmetoma – je negativen stranski učinek v številnih proizvodnih procesih. Poleg tega, da je ESD nevarnost za delavce, lahko povzroči poškodbe občutljivih komponent baterije ali elektronike, kar na koncu vpliva na napake v delovanju ali okvare.

Te težave se običajno rešujejo z uporabo zunanje antistatične opreme, povezane z notranjostjo tovarne in stroji. Ti dodatki na koncu vodijo do višjih stroškov in vzdrževanja, lahko pa jih je tudi težko uporabiti v že tako tesnih prostorih. Prav tako lahko omejujejo gibanje strojev.

Da bi strankam pomagali pri premagovanju teh težav, je PIAB razvil novo serijo prisesnih gum, v katere je vgrajena zaščitna tehnologija ESD.

Ne glede na izbrano velikost nova sesalna guma BXP ESD pokriva območje površinskega upora od 10^6 do $10^9 \Omega$ (ohm) od točke do tal, kar zagotavlja varnost in celovitost baterij, gorivnih celic in elektronskih komponent pri kakršnem koli ravnanju. Razpon je testiral in odobril neodvisni inštitut.

Poleg antistatičnih lastnosti je material ESD DURA-FLEX fleksibilen in vzdržljiv, saj združuje elastičnost gume in odpornost proti obrabi poliuretana. Pred montažo je vsaka sesalna guma združena s posebnim prevodnim priključkom, ki je v skladu z uveljavljenimi zahtevami ESD. Namestitev je kljub temu izvedena na enako preprost način kot pri standardnih prisesnih gumah.

Vir:

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



item

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

SPLETNO ORODJE OVM Pro 3D ZA KONFIGURIRANJE, SIMULACIJO IN OPTIMIZIRANJE VAKUUMSKIH PRIJEMALNIH SISTEMOV

PIAB – uveljavljen proizvajalec vakuumске tehnologije je lansiral svoje težko pričakovano vrhunsko spletno orodje OVM Pro 3D, ki je namenjeno oblikovanju konfiguracije, simulaciji in optimiziranju vakuumskih prijemalnih sistemov.



Odkar je PIAB prevzel vodilni položaj v inženiringu vakuumске avtomatizacije, je podjetje iskalo načine za poenostavitev procesa načrtovanja vakuumskih sistemov za svoje stranke po vsem svetu. Optimal Vacuum Management Professional – OVM Pro 3D – izkorišča napredno 3D-modeliranje in simulacijo za poenostavitev procesa načrtovanja vakuumskih sistemov na spletu, omogoča povečanje učinkovitosti in tudi znatno zmanjšanje stroškov.

Programska oprema OVM Pro 3D je na voljo v odprti obliki na piab.com in vključuje številne funkcije, ki omogočajo podroben vpogled v delovanje in so v podporo uporabniku.

Za programsko opremo OVM Pro 3D je značilna:

- **Popolna zasnova:** Po prijavi se postopek zasnove osredotoča na uporabnikovo podjetje in potrebe v procesu ter ponuja popolno integracijo obsežne ponudbe vakuumskih ejektorskih črpalk, priseskov, prijemal, nastavkov in dodatkov.

OVM Pro 3D vključuje:

- **Natančna navodila:** Podrobna navodila so zagotovljena v celotnem procesu načrtovanja, vključno z opisi in tehničnimi podatki, kot so dejanski razponi stisnjenega zraka za izbrane ejektorje in optimalni tlaki.
- **Graf dvilne sile:** Ta funkcija prikazuje skupne horizontalne in vertikalne sile v celotnem ciklu

z ločenimi podatki o zmogljivosti za priseske, pri čemer so poudarjene najnižje in najvišje vrednosti.

- **Vizualizacijo porabe energije in moči:** Aplikacija vizualizira porabo energije kompresorja, kar uporabnikom pomaga razumeti in dimenzionirati velikost in zmogljivost potrebnega kompresorja. Prikazana je tudi ocenjena dnevna (8-urna izmena) poraba električne energije kompresorja za podporo razpravam o stroških energije.
- **Določanje dolžine cevi:** Uporabniki lahko neposredno urejajo dolžine cevi, ki so označene z "Z" in zaklenjene, da ohranijo svojo dolžino, tudi če se komponente premaknejo.
- **Številne izvedene aplikacije:** Kot je na primer aplikacija za valoviti karton. Ta funkcija vključuje čarovnika po korakih za definiranje kartona, uporabljenega v škatli iz valovitega kartona, ki posnema dejanske parametre puščanja in preskuse nivoja vakuum. Uporabniki lahko natančno nastavijo kakovost tesnjenja kartona, ki zagotavlja natančno dimenzioniranje vakuumskega sistema za kartonske škatle.

Več informacij o orodju OVM Pro 3D in ostalih produktih PIAB dobite pri podjetju INOTEH.

Vir:

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

DVIŽNI SISTEMI ZA VELIKE OBREMENITVE

Podjetje Hennlich ima v svoji ponudbi sisteme za nastavitve višine nemškega proizvajalca Suspa GmbH. Elektromehanski dvigni sistem Movotec SMS (Spindle Motor System) omogoča neprekinjeno, popolnoma električno in prostorsko varčno nastavitve višine za delovne postaje v proizvodnji, laboratorijske pulte itd.



Slika 1 : Movotec SMS-I-40x80



Slika 2 : Movotec SMS-B-45x90

Movotec SMS je sistem, pri katerem se dvigni elementi pritrdijo na obstoječe mize, pulte ipd. Izdelujejo jih v dveh različicah – Movotec SMS-I-40x80 in Movotec SMS-B-45x90 (*slika 1* in *slika 2*). Nosilnost je do 150 kg na dvigni element. Oba sistema sta dobavljiva s hodi 150, 200, 300 ali 400 mm.

Dvigná sistema Movotec SMS-I-40x80 in Movotec SMS-B-45x90 sta kompaktna elektromehanska sistema za nastavitve višine in sta edinstvena na trgu. Dvigni sistemi so integrirani v aluminijaste montažne profile dveh dimenzij in tako še posebej prijazni uporabnikom. S standardnimi dimenzijami 45 x 90 mm in 40 x 80 mm so sistemi združljivi s številnimi profili in pritrdilnimi sistemi, ki so na trgu.

Movotec SMS (Spindle Motor System) dvigni sistem ima širok spekter uporabe: v industriji za delovne mize, transportne in montažne linije, laboratorijske pulte, v strojearhitekturi itd. (*slika 3*).

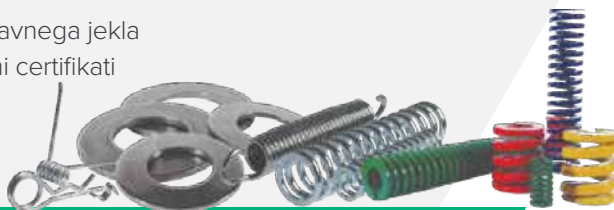
Montažni profili so kompaktni, stabilni in robustni kljub zunanjim dimenzijam le 40 x 80 mm ali 45 x 90 mm. Podobni dvigni sistemi, ki so na trgu, lahko pri vgradnji zavzamejo dvakrat več prostora.

Oba profila z integriranim dvignim sistemom SMS sta na voljo z različnimi hodi in višinami. Pri najmanjšem hodu 150 mm je višina profila 510 mm v zloženem položaju in 660 mm v iztegnjenem položaju. Največji možni hod je 400 mm, pri katerem je



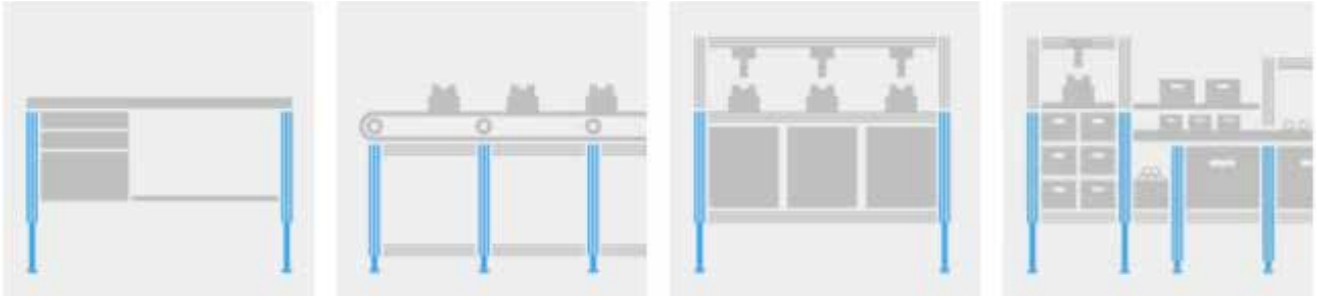
STANDARDNE VZMETI

- » Vrhunska kakovost iz vzmetnega ali nerjavnega jekla
- » Vzmeti po potrebi opremimo z ustreznimi certifikati
- » Vzmeti vam lahko izdelamo tudi po meri
- » Na zalogi več kot 1000 dimenzij



www.hennlich.si

HENNlich d.o.o., Ul. Mirka Vadvna 13, 4000 Kranj / Pokličite nas: 04 532 06 06



Slika 3 : Primeri uporabe

minimalna višina v zloženem stanju 760 mm, iztegnjena dolžina pa 1160 mm.

Izdelka Movotec SMS-I-40x80 in Movotec SMS-B-45x90 se ponašata z odličnimi zmogljivostmi. Integriran sistem dviganja SMS omogoča premikanje do obremenitve 150 kg/dvižni element in delo pri dveh različnih hitrostih. Pri polni obremenitvi

(150 kg/dvižni element) se dvižni drog premika s hitrostjo 8 mm/sekundo. V skladu s tem se pri polovični obremenitvi (75 kg/dvižni element) giblje z dvakratno hitrostjo oz. 16 mm/sekundo.

Petra Goljat, Hennlich, d. o. o., Kranj
goljat@hennlich.si



SPLAČA SE BITI NAROČNIK



ZA SAMO 50€ DOBITE:

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



ZA SAMO 20€ DOBITE:

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



Revija v
hrvaškem
jeziku

DIGITALNA NAROČNINA



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

BUTIK IRT3000



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

NAROČITE SE!



051 322 442



info@irt3000.si



www.irt3000.si/narocilo-revije

WWW.IRT3000.COM

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

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

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

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

V postopku pregleda merimo in spremljamo vse naslednje kontaminante:

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

Izvedba pregleda kakovosti stisnjenega zraka po ISO 8573-1

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

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

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

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

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



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

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

Metoda merjenja za zagotavljanje visoke kakovosti stisnjene-ga zraka

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

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

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

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

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

www.omega-air.si



OMEGA AIR
more than air

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

RAZPON TLAKOV

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



Air

MEDIJI

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



Air



N₂



H₂



He



Air



O₂



8-Air



CNG



CO₂

© Ventil 30(2024)4. Tiskano v Sloveniji. Vse pravice pridržane.
© Ventil 30(2024)4. Printed in Slovenia. All rights reserved.

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

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

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

Volume Letnik 30
Year Letnica 2024
Number Številka 4

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

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

Znanstveno-strokovni svet:

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

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

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

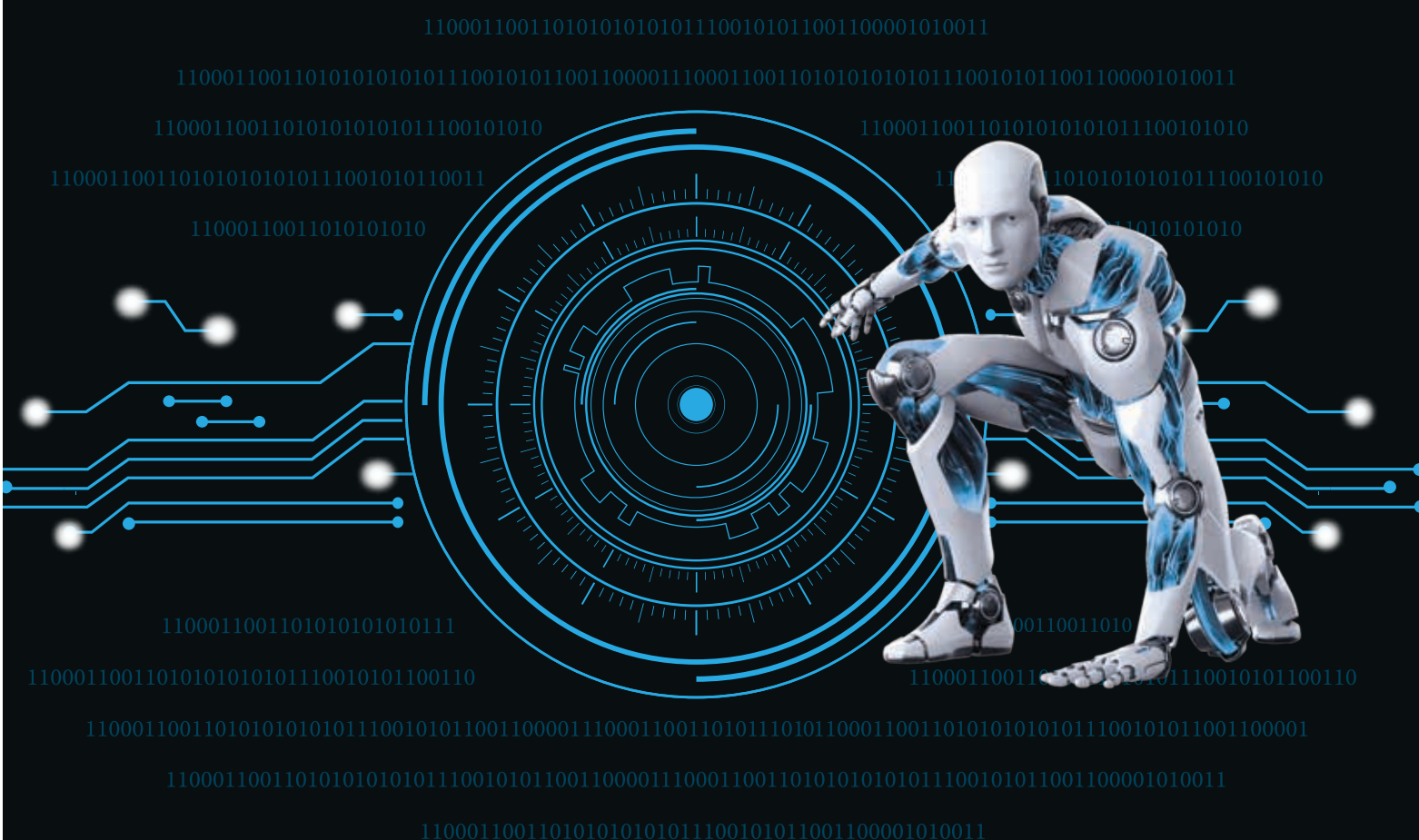
Naklada: 1.000 izvodov
Cena: 5,00 EUR – letna naročnina 30,00 EUR

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

IFAM-INTRONIKA-ROBOTICS

11.-13. 2. 2025

Ljubljana





FESTO

Preprosto: del rešitve

Festo ★ osnovni program

Prednosti na prvi pogled:

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

Osnovni program za avtomatizacijo

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

Poenostavite svojo nabavo -
Samo poiščite modro zvezdo!



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