

VENTIL

ISSN 1318 - 7279

Letnik 30 / 2024 / 5 / Oktober

Hibridne tehnologije
in zeleni prehod

Vodno-hidravlični
proporcionalni potni
ventili

Sinhronski stroji z
notranjimi trajnimi
magneti

Agilne in zelene
pametne tovarne

EMERSON
Process Management

BETTIS™

BIFFI

Field

FISHER
Dantorque

HYTORK
Shafer®



EL Matic™



PPT commerce, d.o.o., Celovška cesta 334, 1210 Ljubljana – Šentvid
tel. 01/ 514 23 54, fax 01/ 514 23 55, gsm 041 639 008
e-mail: info@ppt-commerce.si, www.ppt-commerce.si

ppt commerce

HIDRAVLIKA IN PROCESNA TEHNIKA
PRODAJA • PROJEKTIRANJE • SERVIS

FS
UNIVERZA
V LJUBLJANI | Fakulteta
za strojništvo

FESTO

POCLAIN
Hydraulics

OPL

la&co
Sinergija premikanja. Hidravlika. Pnevmatika. Linearna tehnika.

micromat



SEAL & TRADE d.o.o.

ppt commerce

Parker

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



VENTIL ODMEVNE KOMORE



Morda veste, kdo sta Julien Alfred in Thea LaFond? Osebi, pri nas znani ali manj znani, vsekakor pa izločeni iz dosega lokalnih medijev, ki bi objavljali njune dosežke, saj so za nas morda nepomembni in irelevantni. Kot da smo zaprti v komoro omejenih informacij, kjer nam mediji s širokim izborom vsebin sicer širijo znanje in vplivajo na oblikovanje osebnih mnenj, pa so vendarle ta odvisna od naših interesov ter pričakovanj, katere vrste informacij od medijev pričakujemo in si jih želimo slišati.

Medij bo torej dosegel bralca samo, če bo vsebina vsaj približno sodila v njegov mnenjski in interesni okvir. Pri današnji zasičenosti medijskega prostora se namreč bralci enostavno izognemo tistim, ki nas ne zanimajo, in spremljamo samo medije po našem okusu. Posamezniki smo pogosto ujetniki družbenega koncepta homofilije, ki predstavlja našo težnjo, da se povezujemo z ljudmi, ki so nam podobni po določenih lastnostih, kot so prepričanja, vrednote, zanimanja ali socialni status. Putnam v svoji knjigi »Bowling Alone: The Collapse and Revival of American Community« opozarja, da širjenje medijev, tudi tradicionalnih, ki so se razvili v smeri specifičnih interesov, omejuje socialno povezanost v skupnosti in služijo samo še za potrjevanje svojih pogledov. S pojavom in širitvijo spleta pa se je pojavil še prej nesluten informacijski in mnenjski kaos, ki sta ga Marshall Van Alstyne in Erik Brynjolfsson poimenovala kar kiber balkanizacija. Oblikovalo se je namreč veliko število izoliranih skupnosti enako mislečih posameznikov, ki jih združujejo teorije zarot, sovraštvo do določenih skupnosti, militantnost in podobno. Sociologi zdaj prav te

pojave navajajo kot pglavitne vzroke za polarizacijo v družbi, netolerantnost in konfliktnost na načine, ki jih v zgodovini še ni bilo.

Revija Ventil je znanstveno-strokovna revija, ki v večini privlači tehnično podkovane bralce. Poleg informiranja o dosežkih podjetij in inštitucij znanja ter njihovem sodelovanju Ventil po svoji vlogi tudi soustvarja t. i. odmevno komoro (echo chamber) na področju tehnike, ki predstavlja medijski prostor podobno mislečih ljudi in sorodnih idej. Čeprav predstavniki tehničnega kadra zavzemamo celoten spekter karakterjev in ideoloških nians, razmišljamo pri določenih odzivih in načinu reševanja problemov podobno. Kot je to po eni strani pozitivno pri nadaljnjem širjenju znanja in izkustev, se pri čezmerni širitvi istih stališč po naši odmevni komori, kjer uživamo ob poslušanju "odmevov" somišljenikov, to izkaže za škodljivo. Svoja razmišljanja tako namreč dojemamo kot edino veljavne principe, ki poganjajo svet. Vsaka odmevna komora bi zato morala imeti ventil, preko katerega bi prostor idej prezračili ter omogočili posameznikom v njih spoznavati, da obstajajo še druge skupnosti in drugačni principi.

Ustvarjanju odmevnih komor je močno podvrženo poročanje v športu in s tem povezano navijaštvo. Medijska odmevnost olimpijskih uspehov Andreje Leški, Tonija Vodiška in Janje Garnbret pri nas navdajajo s ponosom tudi tiste, ki še pravil njihovih športov ne poznajo prav dobro, kaj šele, da bi doumeli neizmeren trud športnikov. A takšen ponos ne seže čez meje države, saj uspehe naših športnikov zunaj zaznajo samo tisti, ki jih določen šport zares zanima; v času olimpijade sem bil v ZDA in v ameriških medijih uspehi naših junakov niso bili izpostavljeni, ker imajo pač svoje. V ameriški športni odmevni komori je bilo namreč takšnih uspehov kar 126, zaradi česar so bili bolj kot na individualne uspehe svojih športnikov ponosni na to, da so zbrali več kolajn kot Kitajci. Izjema je bila telovadka Simone Biles s štirimi kolajnami; ljubitelji količinskega vrednotenja bi dejali, da je škoda,

da za športno plezanje ne podeljujejo posebej medalj za balvane in težavnost, saj bi bila v tem primeru Janja z dvema kolajnama samo dvakrat slabša od Simone in ne štirikrat slabša, kot je sedaj.

Slednje sklepanje nazorno pokaže na to, kako krivično in žaljivo je lahko podajanje mnenj o področjih, na katera se ne spoznamo. Ne le v športu, tudi v tehniki in drugih družbenih področjih določen dosežek ni sam po sebi nič manj vreden samo zato, ker morda na drugi strani sveta obstaja soroden pomemben dosežek. Revija Ventil s svojim obveščanjem lahko predstavlja vlogo ventila naše odmevne komore in s tem pripomore k večjemu razumevanju družbenih področij in njihovega medsebojnemu spoštovanju.

Bralec bi najbrž domneval, da na začetku omenjeni osebi navajamo v reviji Ventil zaradi zaslug za tehnično inovacijo ali znanstveni dosežek. V resnici pa sta Julien Alfred in Thea LaFond atletinji iz Svete Lucije in Dominike, ki sta v Parizu v teku in troskoku osvojili prvi olimpijski medalji v zgodovini – in to kar zlata – za svoji karibski državici, veliki kot Prekmurje. Vsaka skupnost ima svoje junake, na katere je lahko upravičeno ponosna, in majhnosti te skupnosti ne zmanjšuje vrednosti njihovih dosežkov. Ventil daje priložnost predstavitvi rezultatov aplikativnih raziskav na univerzah in inštitutih ter raziskovalno-razvojnih dosežkov v industriji, ki svoje izdelke uveljavlja v neizprosni konkurenci svetovnega trga. Novo uredništvo revije bo spodbujalo trend širitve aktualnih vsebin in tehničnih področij, ki se je vzpostavil že pod dolgoletnim urednikovanjem prof. Tuška, s čimer bomo skušali doseči širši krog bralcev, ki bodo spremljali dosežke podjetij, razvidne iz njihovih izdelkov. Pri tem bodo spoštovanja vredne tudi novosti majhnih podjetij in raziskovalnih skupin, saj bogatijo zakladnico tehničnih znanj z nišnimi rešitvami. Bralci Ventila pa predstavljajo skupnost, ki bo dosežke z zanimanjem spremljala in bila nanje upravičeno ponosna.

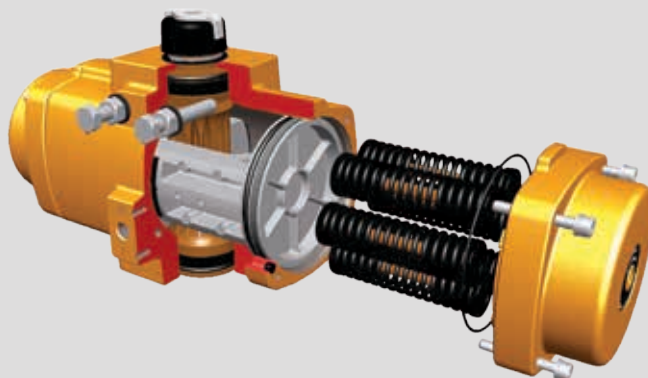
Miroslav Halilović




EMERSON™
Process Management



EL Matic™



Field



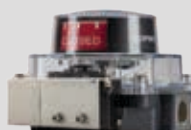
BETTIS™



 **BIFFI**



FISHER®



Dantorque

HYTORK®

Shafer®

ppt commerce

HIDRAVLIKA IN PROCESNA TEHNIKA
PRODAJA • PROJEKTIRANJE • SERVIS

PPT commerce, d.o.o.

Celovška cesta 334, 1210 Ljubljana – Šentvid

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

e-mail: info@ppt-commerce.si

www.ppt-commerce.si

DOGODKI • POROČILA • VESTI	266
PREDSTAVITEV	
Neža Markelj Bogataj	
Greentech: Hibridne tehnologije za tovarne prihodnosti in zeleni prehod	276
Aleš Dajčman	
Okolju prijazna filtracija vode v olimpijski vasi	278
NOVICE • ZANIMIVOSTI	280
HIDRAVLICNE KOMPONENTE	
Žan Spačal, Franc Majdič, Mitjan Kalin, Ana Trajkovski	
Trajnostni testi 3D natisnjenih vodno-hidravličnih proporcionalnih potnih ventilov	296
VODENJE SINHRONSKIH STROJEV	
Jernej Černelič, Martin Petrun	
Izvedba strategije vodenja za zmanjšanje izgub v sinhronskih strojih z notranjimi trajnimi magneti ...	306
TRAJNOSTNA PROIZVODNJA	
Matevž Resman, Mihael Debevec, Marko Šimic, Niko Herakovič	
Agilne in zelene pametne tovarne: Metodologija za načrtovanje	312
AKTUALNO IZ INDUSTRIJE	
Enotno oblikovanje: Tečaji, zapahi in držala za ploske elemente (ELESA+GANTER)	318
HMI senzorske tipke za prehrambeno industrijo (INOTEH)	319
NOVOSTI NA TRGU	
Cilindrični zatiči, puše za pozicioniranje in narebričeni vijaki s šesterorobo glavo (ELESA+GANTER)	320
AVENTICS – serija XV-Compact (La & Co.)	321
PODJETJA PREDSTAVLJAJO	
Rotorska črpalka, narejena iz PTFE ohišja, za uporabo v kemičnih industriji (HENNLICH)	322
Učinkoviti sistemi rekuperacije toplote za kompresorje zraka – AIRWATT (OMEGA AIR)	324

ZAKLJUČILI SMO 11. POLETNO ŠOLO STROJNIŠTVA: MLADI INŽENIRJI NA POTI K POKLICEM PRIHODNOSTI

Na Fakulteti za strojništvo Univerze v Ljubljani smo uspešno zaključili 11. Poletno šolo strojništva, ki je tudi letos navduševala mlade za poklice prihodnosti. Poletna šola je potekala med 27. in 30. avgustom, dogodka pa se je udeležilo 85 učenk in učencev osnovnih šol z vse Slovenije, ki so zadnje počitniške dneve preživel na 11 inovativnih delavnicah.



Utrinek iz 11. Poletne šole strojništva

Delavnice so vključevale 3D tiskanje izdelkov, izdelavo enostavnega jadralnega letala, CNC izdelavo silikonskih kalupov za čokoladne praline, High Performance Computing (HPC), izdelavo mini vetrne elektrarne, prenosne vremenske postaje ter toplotnega pogonskega stroja. Sami so izdelali tudi glasbila s strunami, naredili promocijske izdelke z laserjem ter se zabavali z mobilnimi roboti in pametnimi solarnimi rožicami.

Vsaka delavnica je bila zasnovana tako, da je udeležencem omogočila kombinacijo teoretičnega znanja in praktičnih izkušenj. Udeleženci so tako skozi proces ustvarjanja, od zasnove do izdelave končnega proizvoda, spoznali kompleksnost in raznolikost strojništva.

Fakulteta za strojništvo z organizacijo takšnih dogodkov mladim odpira vrata v svet strojništva kot perspektivne karijerne poti, zlasti v času, ko so tehnološke in zelene rešitve zelo pomembne za prihodnost. Poletna šola strojništva, ki jo podpirata Zveza za tehnično kulturo Slovenije in EIT Manufacturing Hub Slovenia FS na UL, je pomemben del našega prizadevanja za spodbujanje zanimanja za tehnične poklice, ki bodo igrali osrednjo vlogo pri oblikovanju prihodnosti.

Z navdušenjem pričakujemo, da bodo prav ti mladi, ki so letos sodelovali v Poletni šoli strojništva, postali vodilni inženirji prihodnosti in bodo s svojimi inovacijami in znanjem prispevali k bolj trajnostni in tehnološko napredni družbi.

www.fs.uni-lj.si,
Foto: IFP, d.o.o.

ZAKLJUČILA SE JE 10. ŠTUDENTSKA TEHNIŠKA KONFERENCA “ŠTeKAM”

Na Fakulteti za strojništvo Univerze v Ljubljani je letos potekala že deseta študentska tehniška konferenca “ŠTeKam”.



Udeleženci in organizatorji 10. Konference ŠteKam

Konference “ŠTeKam” so se letos udeležili dijaki in študentje iz dveh gimnazij, petnajst fakultet (od tega dve tuji fakulteti) in enega inštituta: iz Gimnazije Bežigrad, Gimnazije Želimlje, UL Akademije za glasbo, UL Ekonomske fakultete, UL Fakultete za elektrotehniko, UL Fakultete za gradbeništvo in geodezijo, UL Fakultete za matematiko in fiziko, UL Fakultete za računalništvo in informatiko, UL Fakultete za strojništvo, UL Naravoslovnotehniške fakultete, UL Pedagoške fakultete, UPR Fakultete za vede o zdravju, Tehnične univerze v Münchenu, univerze Economica and Business Economics, Amsterdam in Inštitut Jožef Stefan.

Na ŠTeKam je prispelo 34 prispevkov, predstavljenih je bilo 25. Konferenca je bila razdeljena na dve sekciji. Udeleženci so po koncu predstavitev glasovali za najboljši prispevek v vsaki sekciji in izbrali:

1. Sekcija 1 – Alen Planinšec: Na piezoelektričnem zaznavalu temelječa 3D natisnjena naprava za uravnoteženje togih rotorjev

2. Sekcija 2 – Filip Umer, Miha Brojan: Velike deformacije pri upogibu ribiške palice

Vsi prispevki bodo objavljeni v konferenčnem zborniku in vpisani v sistem Cobiss pod tipologijo Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci. Študenti in dijaki bodo lahko sodelovanje na konferenci uveljavljali kot izjemen dosežek, kar je eden izmed pogojev za pridobitev Zoisove štipendije. Z vpisom članka v Cobiss bodo vsi udeleženci pridobili uradno dostopno referenco o znanstvenem raziskovanju.

Nad organizacijo konference že od vsega začetka bdi uredniški odbor v sestavi: doc. dr. Tomaž Berlec, izr. prof. dr. Miha Brojan in doc. dr. Boštjan Drobnič.

Vsem udeležencem konference iskreno čestitamo!

Prihodnje leto, 4. septembra 2025, bo potekala 11. Študentska tehniška konferenca ŠTeKam.

www.fs.uni-lj.si

IZJEMNO USPEŠNO STIČIŠČE ZNANOSTI IN GOSPODARSTVA NA MOS 2024

V okviru 56. Mednarodnega sejma obrti in podjetništva v Celju, ki je potekal od 18. do 22. septembra, je bilo tudi letos na ogled »Stičišče znanosti in gospodarstva« kot projekt Ministrstva za visoko šolstvo, znanost in inovacije.



Stičišče znanosti in gospodarstva – utrip

Na enem mestu so bile predstavljene vrhunske tehnologije, inovacije in izdelki z različnih področij, kot so mehatronika, avtomatika, robotika, profesionalna elektronika, energetika, informacijska tehnologija, bionika, nanotehnologija, vesoljske tehnologije in drugo. Vsako leto je Stičišče deležno velikega zanimanja obiskovalcev in obiskovalcev, predvsem študentov in študentov ter dijakov in dijakov.

Predstavitve, ki jo v okviru Ministrstva za visoko šolstvo, znanost in inovacije že nekaj let vodi Janez Škrlec, je bila letos usmerjena tudi v digitalizacijo, digitalne transformacije, nove poslovne modele in Industrijo 4.0, prihajajočo Industrijo 5.0 in Družbo 5.0. Prvič sta sodelovala ARIS - Javna agencija za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije, in IZUM - Inštitut informacijskih znanosti Maribor, skupno pa več kot 20 sodelujočih institucij in podjetij. Predstavljenih je bilo več kot 50 inovacij.

Stičišče znanosti in gospodarstva je priložnost za promocijo dosežkov slovenske znanosti in za intenzivnejše sodelovanje med znanstveno in gospodarsko sfero, na ogled pa ponuja tudi primere dobre prakse dosedanjega sodelovanja. Letos je zajemalo predstavitve novih tehnologij, novih tehnoloških procesov, visokotehnoloških inovacij ter novodobnih poklicev in sodobnih izobraževalnih programov. Usmerjeno je bilo predvsem na področje mikro-, bio- in nanotehnologij, bionike, ter vesoljskih tehnologij. Svoje delo in znanstvena dognanja so predstavile poglobljene slovenske raziskovalne in izobraževalne institucije ter visokotehnološka podjetja.

Stičišče znanosti in gospodarstva je na MOS 2024 prejelo kar tri priznanja. Zlato priznanje Celjskega sejma Ministrstvo za visoko šolstvo, znanost in inovacije po zaslugi inovacije bionske glave kot tehnološke platforme Janez Škrleca. Srebrno priznanje Celjskega sejma je prejela Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informa-



Utrinek s podelitve priznanj

tiko. Posebno priznanje za bionsko glavo kot inovacijo in tehnološko platformo pa je Janezu Škrlecju podelila še Mestna občina Celje.

Na Stičišču znanosti in gospodarstva so sodelovali: FERi Univerza v Mariboru, FE Univerze v Ljubljani, Kemijski inštitut, Inštitut Jožef Stefan, visoka strokovna šola za bioniko na Ptuj, Znanstveno sre-

dišče Rudolfovo, SIS EGIZ, CO Namaste in Nanocenter, SRIP zdravje in medicina, visokotehnološka podjetja: Skylabs, Inea, PS iz Logatca, Miel, Dobre rešitve, Makro Team, Green Twin, IRT 3000, Tovarna leta (Finance) in številni drugi.

Ministrstva za visoko šolstvo, znanost in inovacije
Republike Slovenije

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

ANTONOVİ DNEVI V ŽIREH

Še kako velja rek, da je človek (ali pa narod), ki se ne zaveda svojih korenin, obsojen na propad. K temu mišljenju sta nas, med drugimi, spodbujala že pesnik France Prešeren in bl. Anton Martin Slomšek.



Slika 1: Jutranji klepet ob kavi ter nagovor direktorja podjetja (g. Petr Sobola)

Letos mineva 75 let, odkar je naše podjetje pognalo korenine (nekoč Kladivar, danes Poclain Hydraulics d.o.o.). V spomin in hvaležnost vsem, ki so soustvarjali zgodovino našega podjetja, smo letos prvič organizirali t. i. Antonove dneve. Gre za dogodek, ki poleg omenjene zgodovinske note vključuje še socialni (medsebojno druženje) in tehnični vidik (simpozij). Zaobjema pa vse, ki smo tako ali drugače povezani s hidravliko v Sloveniji – letos v okviru Slovenskega Društva za Fluidno Tehniko oz. SDFT.

Čeprav poimenovanje dogodka prvotno izhaja po imenu človeka, ki je bil (med drugimi) »gonilna sila« hidravlike na Žirovskem, se je ime Anton kasneje posplošilo na vse, ki so tako ali drugače botrovali k nastanku in nadaljnjemu razvoju hidravlike v Žireh. Prav vsak je na svoj način prispeval svoj kamenček v mozaik fluidne tehnike.

Več kot 50 udeležencev (članov SDFT) po vsej Sloveniji se je na sončni oktobrski petek udeležilo dogodka. Ta je najprej potekal v prostorih podjetja (ogled proizvodnje, montaže, testnega oddelka in



razvoja), po skupnem kosilu pa se je druženje nadaljevalo v Muzeju Žiri. Zvrstili sta se dve vabljeni predavanji: dolgoletni direktor mag. Milan Kopač je v sliki in besedi predstavil korenine in razvoj podjetja Kladivar, prof. dr. Darko Lovrec pa nas je na zanimiv način popeljal skozi tisočletni razvoj hidravlike v svetu.

Ob kozarčku žlahtne kapljice in dobrotah domačih pekov je sledilo veselo druženje, izmenjava mnenj in pogledov na stanje hidravlike pri nas in v svetu ... da aktualnih družbenih tematik niti ne omenjam. S tem pa se je tudi zaključil uradni del Antonovih dni.

Sledil je še redni letni občni zbor društva SDFT, ki je bil tokrat v znamenju volitev. Razrešeni so bili dosedanja člani upravnega (UO) in nadzornega odbora (IO). Predsednikovanje je za nadaljnji dve leti



Slika 2 : Udeleženci so z zanimanjem prisluhnili zgodovinskim dejstvom razvoja fluidne tehnike



Slika 3 : Novi predsednik izr. prof. dr. Franci Majdič (levo) in razrešeni predsednik prof. dr. Darko Lovrec (desno)

prevzel izr. prof. dr. Franci Majdič (FS Ljubljana), podpredsedniško mesto pa sta zavzela dosedanji predsednik prof. dr. Darko Lovrec (FS Maribor) ter g. Sandi Grobelnik (Uniforest). Sklepčni pa smo si bili tudi glede na novo izvoljenega UO in IO.

Z veseljem, zadovoljstvom in s hvaležnostjo ugotavljam, da nam vsem tisti petek ostaja v lepem spominu ter da si tudi v prihodnje želimo tovrstnih srečanj in dogodkov. Te ugotovitve so plod številnih pozitivnih odzivov udeležencev.

Naj bo to dovolj velika vzpodbuda za vse nas, organizatorje, da nadaljujemo zastavljeno pot – organizirati tovrstni dogodek (posvet, simpozij) vsake dve leti. Se torej snidemo v letu 2026!

Anže Čelik,
Poclain Hydraulics, d. o. o.
Foto: Polona Mlakar,
Dragan Grgič, Anže Čelik

PRVA INDUSTRIJSKA KONFERENCA IZ PNEVMATIKE

Na pobudo industrije je Slovensko društvo za fluidno tehniko, skupaj s podjetjem ERLIK, d. o. o., 26. septembra 2024 organiziralo prvo Industrijsko konferenco iz pnevmatike. Konferenca je potekala v dopoldanskem času v konferenčni dvorani M-hotela v Ljubljani. Dogodka se je udeležilo 40 udeležencev iz industrije (farmacija, avtomobilska industrija, kovinsko-predelovalna industrija, tekstilna in sanitetna industrija, proizvodnja aluminija in drugo), Fakultet za strojništvo iz Maribora in iz Ljubljane.



Slika 1 : Uvodni pozdrav predsednika Slovenskega društva za fluidno tehniko, prof. dr. Darko Lovrec

Konferenco je odprl predsednik Slovenskega društva za fluidno tehniko prof. dr. Darko Lovrec. Poudaril je umeščenost in smiselnost uporabe pnevmatike ter zaželel uspešno konferenco in medsebojno povezovanje.

Sledilo je vabljen predavanje z naslovom »Pnevmatika v industriji, osnove in pomen pnevmatskih sistemov v industriji« doc. dr. Marka Šimica s Fakultete za strojništvo Univerze v Ljubljani. Predstavil je trende povečevanja uporabe pnevmatičnih sistemov, po prognozah naj bi se v naslednjih 5-tih letih uporaba pnevmatičnih sistemov povečala za 40 %. Dr. Šimic je predstavil široko področje uporabe pnevmatike, npr. strege in montaže, vakuumskih in mehkih prijemal itd. Poudaril je pomembnost uporabe piezotehnike v pnevmatiki, predstavil je številne prednosti in slabosti uporabe pnevmatike ter razlike v primerjavi s hidravliko. Nato je predstavil zgradbo pnevmatičnih sistemov, postrojenje za pripravo zraka, tlačne posode, osnovna pnevmatična krmilja in pnevmatične komponente ter podal napotke, kako se lotiti razvoja in postavitve pnevmatičnih sistemov. Zaključna misel je bila, da je pnevmatika pogosto najboljša rešitev za avtomatizacijo, saj je enostavna in stroškovno učinkovita.

Uroš Šučur iz podjetja HPE-CALMS je predstavil

tematiko z naslovom: »Uvod v merjenje pretoka stisnjenega zraka, merilniki pretoka zraka«. Predstavil je teoretične osnove normalnih pogojev plina, termodinamične osnove, primerjavo različnih pogojev in različnih tehnologij za merjenje pretoka zraka. Sledila je razlaga merilnikov pretoka zraka na podlagi termične disperzije. Predavatelj je jasno predstavil, kaj je potrebno za pravilno izbiro, montažo, kalibracijo in uporabo merilnika pretoka stisnjenega zraka.

Sledilo je zelo zanimivo predavanje v angleškem jeziku mednarodno priznanega strokovnjaka Joshua Wamserja iz podjetja Industrial Compressor Solutions z naslovom »Umetna poraba, znižanje sistemskega tlaka, sedem izgovorov za previsoki tlak«. V skladu s standardom ISO 11011:2013 je umetna / čezmerna poraba stisnjenega zraka takrat, ko sistem deluje pri višjem tlaku, kot je potreben glede na uporabljeno opremo. Predavatelj Josh Wamser je najprej predstavil izgube, ki se pojavljajo v pnevmatičnem sistemu, od filtracije in sušenja do porabe zaradi krmiljenja kompresorja, padec tlaka v cevovodu, varnostni faktor itd. Predavatelj navaja sedem pogostih izgovorov za previsok tlak v pnevmatičnih sistemih: utečene predpostavke, strah pred zaprtjem obrata, neustrezni nadzori, neustrezna razporeditev, potrebe



Slika 2 : Predavanje Joshua Wamserja o izgovorih in možnostih znižanja sistemskega tlaka pnevmatičnega sistema

obrata v primerjavi s procesnimi potrebami, alarmi za prenizek tlak (previsoko nastavljena tlačna stikala) in smernice proizvajalca. Predavatelj je na koncu še poudaril, da je za uspeh treba trenirati, dobro spoznati posamezni pnevmatični sistem, ga nenehno izboljševati ter stalno iskati možnosti za izboljšanje.

Zadnje predavanje v prvem sklopu je imel Goražd Bregar iz podjetja HPE-CALMS, ki je predstavil tematiko z naslovom »Nadzor in krmiljenje, smernice za načrtovanje, optimizacijo in vzdrževanje nadzornih krmilnih sistemov stisnjenega zraka«. Bregar je uvodoma predstavil, da pri pripravi stisnjenega zraka na svetovnem nivoju potrebujemo 100 TWh električne energije na leto, izkoristek priprave stisnjenega zraka pa je le 60-%. Stisnjen zrak je zato najmanj učinkovit in premalo upravljan energent. Predavatelj je naštel nekaj glavnih težav, povezanih z uporabo stisnjenega zraka: cena ni določena, brez odgovornosti – ni spodbud za varčevanje, brez spremljanja porabe – ni porazdelitve stroškov, zaradi puščanja izgubimo od 20 % do 40 % vsega stisnjenega zraka, veliko nihanje porabe zraka, pomanjkanje znanja in izkušenj, zelo drag prenos energije, saj je skupni izkoristek med 6 % in 7 %, trg določajo in usmerjajo proizvajalci kompresorjev.

Po odmoru in mreženju je sledil zanimiv intervju dolgoletnega strokovnjaka za pregled pnevmatičnih sistemov Roka Trleca z naslovom »Prihodnost pnevmatike v industriji«.

V drugem sklopu so bila štiri zanimiva predavanja. Prvo, z naslovom »Razpisi in nepovratna sredstva«, je predstavila Tajda Marinič, vodja projektov iz podjetja Alias Plus, d. o. o. Predstavila je odprte razpise, smernice Evropske unije, pogoje za sodelovanje, kako se prijaviti nanje in podelila napotke, kako pridobiti financiranje za svoje projekte. Drugo predavanje v drugem sklopu je predstavil Matjaž Bombač iz podjetja Cinkarna Celje, d. d. Predstavil je praktične izkušnje s področja vzdrževanja strojev in naprav po stanju, diagnostične



Slika 3 : Intervju soorganizatorke in povezovalke Nine Bizjak z dolgoletnim strokovnjakom za pregled pnevmatičnih sistemov Rokom Trelcom na temo prihodnosti industrijske pnevmatike

metode preventivnega vzdrževanja ter način določanja puščanja komprimiranega zraka. Sledilo je predavanje strokovnjaka Petra Čečaka s področja projektiranja, diagnosticiranja in izboljšav, ki jih ponuja podjetje SMC. V predavanju je pokazal primere uspešnega znižanja sistemskega tlaka na 4 bar in s tem privarčevane veliko energije. Zadnje predavanje na konferenci je imela Nina Bizjak iz podjetja ERLIK, d. o. o., ki je predstavila zelo pomembne napotke pri upravljanju puščanja stisnjenega zraka.

Celoten dogodek je povezovala Nina Bizjak. Na konferenci so bili prisotni tudi razstavljalci s področja pnevmatike ter medijski sponzor, ki so popestrili konferenčno dogajanje. Udeleženci so bili nad konferenco navdušeni in pokazali zanimanje za taka strokovna srečanja tudi v prihodnje. Industrijska konferenca o pnevmatiki 2024 je bila uspešno izvedena, saj je izpolnila svoj namen povečati strokovnost in ozaveščenost o pnevmatiki v industriji.

Franc Majdič
UL, Fakulteta za strojništvo

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

5. MEDNARODNA KONFERENCA O TRIBOLOGIJ POLIMEROV - **PolyTRIB 2024**

Dragi kolegi, konferenca PolyTrib 2024 (<https://lnkd.in/eMP9Hs7H>), ki je potekala v Portorožu, Slovenija, 3. in 4. oktobra 2024 je bila odličen dogodek, ki je združil 75 strokovnjakov s področja polimerne tribologije iz 16 držav po svetu, skoraj polovica jih je prišla iz industrije.



Izmenjava znanja in zanimive razprave o različnih področjih polimerne tribologije med udeleženci Polytriba 2024

Letos smo obeležili 10. obletnico prve konference PolyTrib (Bled, Slovenija, 2014). Konferenca kaže očitno rast ter vedno večjo kakovost dogodka. Konferenca PolyTrib 2024 je gostila odlične predavatelje, ki bi se jim ob tej priložnosti radi še enkrat zahvalili.

Cilj konference PolyTrib 2024 je bil omogočiti poglobljene razprave o polimerni tribologiji, ki zajemajo proizvodnjo polimerov, njihove aplikacije in uporabniške vidike. V dveh dneh je konferenca ponudila pester program s predavanji, tehničnimi predstavitvami, posterji, razstavami in priložnostmi za mreženje.

Udeleženci so se poglobili v različne tematike, kot so obraba polimerov, avtomobilske in zobniške aplikacije, trajnost polimernih materialov, uporaba v energetske sektorju, strategije recikliranja ter krožna ekonomija triboloških komponent iz polimernih materialov. Razpravljali so tudi o biološko baziranih polimernih kompozitih, trdnih mazivih, 3D tiskanih

polimerih ter polimerih na področju vodikove tehnologije in biotribologiji. Obsežnost izmenjanega znanja je pokazala, kako velik je pomen interdisciplinarnega sodelovanja pri reševanju sodobnih izzivov v polimerni tribologiji.

Ob refleksiji o novih spoznanjih iz konference PolyTrib 2024 se veselimo nadaljevanja naše poti znotraj te dinamične skupnosti in uporabe teh spoznanj za ustvarjanje napredka na področju polimerne tribologije.

Od leta 2022 se konferenca PolyTrib odvija vsaki dve leti, pri čemer se kraj dogodka izmenjuje med Slovenijo in Švedsko. Upamo, da se nam pridružite na Švedskem leta 2026 na konferenci PolyTrib 2026!

Prof. dr. Mitjan Kalin
UL, Fakulteta za strojništvo
<https://www.tint-polytrib.com>

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

PREDSTAVLJAMO IN NAPOVEDUJEMO

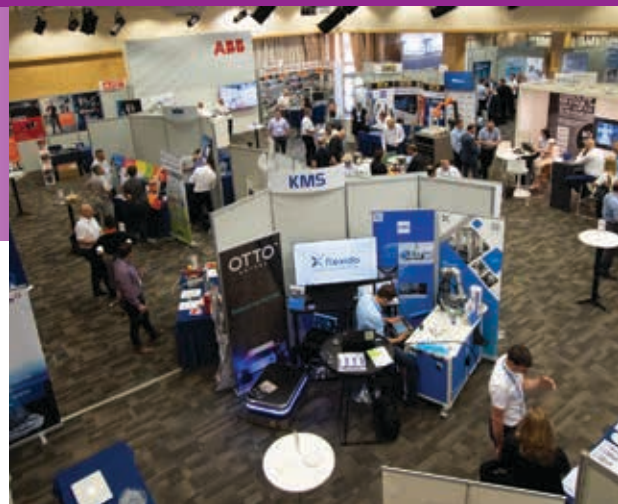
INDUSTRIJSKI FORUM **IRTADRIA25**

Strokovni dogodek za industrijo

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

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

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



RAZSTAVA



POSLOVNI DEL



STROKOVNA
PREDAVANJA



RAZISKOVALCI

15. in 16. 9. 2025

Zadar, Hrvaška • Hotel KOLOVARE

Prihodnost je tukaj.

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

GREENTECH: HIBRIDNE TEHNOLOGIJE ZA TOVARNE PRIHODNOSTI IN ZELENİ PREHODI

Neža Markelj Bogataj

Program Greentech, ki ga vodi Fakulteta za strojništvo Univerze v Ljubljani, združuje 11 partnerjev iz akademskega in industrijskega okolja zaradi ustvarjanja prebojnih tehnologij za zeleni prehod. Greentech je pridobil financiranje na Javnem razpisu za sofinanciranje dolgoročnejših velikih raziskovalno-inovacijskih sodelovalnih programov v okviru Načrta za okrevanje in odpornost in obsega 5,2 milijona €, pri čemer je sofinanciran v obsegu 3,75 milijona €.

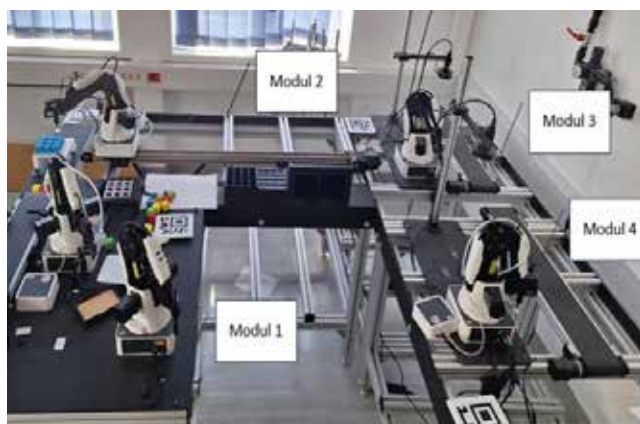
Program se osredotoča na tri glavna področja: digitalizacijo načrtovanja, razvoj hibridnih proizvodnih tehnologij in ustvarjanje energetske učinkovitosti naprav. Glavni cilj programa je vzpostaviti novo paradigmo v celotnem tehnološkem procesu – od načrtovanja, proizvodnje do uporabe – da se dosežeta trajnostni razvoj in zeleni prehod. Program si prizadeva za prenos znanja in prebojnih rešitev iz akademskega okolja v industrijo ter s tem spodbujanje konkurenčnosti in rasti slovenskih podjetij na globalnem trgu.

Celotni program Greentech je razdeljen na šest raziskovalno-razvojnih projektov (RRP¹) na ravni tehnološke pripravljenosti (TRL) 3-6. Projekti RRP1, RRP4, RRP6 bodo izvedeni na TRL 3-4, projekti RRP2, RRP3, RRP5 pa na TRL 5-6.

RRP1: Tehnologije umetne inteligence za zeleni prehod

Ena od glavnih inovacij, ki jih bo v slovensko industrijo vpeljal RRP1 programa Greentech, je uporaba umetne inteligence za pospešitev razvoja izdelkov. Avtomatizirano generiranje 3D oblik bodo omogočili napredni algoritmi, kot so algoritmi iz okolja ChatGPT 4o API in OpenCASCADE. Projekt se ne osredotoča le na izboljšanje proizvodnih sistemov, temveč preko razvoja sistema globokega učenja, ki bo temeljil na arhitekturi nevronske mreže ter vključevanja digitalnih dvojčkov v proizvodnjo, stremi k zmanjšanju števila slabih izdelkov in izboljšanju učinkovitosti proizvodnje.

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



Postavljena osnova za raziskave in razvoj agilnih digitalnih dvojčkov, ki samodejno prilagajajo svojo konfiguracijo za optimizacijo proizvodnih sistemov in procesov

RRP2: Zelene, hibridne, visokoserijske proizvodne tehnologije

V projektu velja posebno omeniti razvoj novih laserskih tehnologij, ki bodo omogočale generacijo laserske svetlobe v različnih spektrih in prilagajanje trajanja impulzov. V sklopu RRP2.1 bosta razvita nova laserska procesa, kot sta na primer sintranje tankih slojev ter natančna obdelava prevodnih sledi z lasersko ablacijo, omogočala natančno in hitro obdelavo materialov, inovativne laserske tehnologije pa bodo pomembno zmanjšale potrebo po kemični obdelavi in s tem precej zmanjšale okoljski odtis industrijskih procesov.

V okviru tega RRP-ja se razvijajo tudi tehnologije 3D tiska senzornih elementov, primernih za veliko serijsko proizvodnjo. Zaznavalni elementi bodo na primer identificirali lastne frekvence delovanja izdelkov in bodo odtisnjeni na izdelek.

¹ Program Greentech, ki ga vodi Fakulteta za strojništvo Univerze v Ljubljani, združuje 11 partnerjev iz akademskega in industrijskega okolja zaradi ustvarjanja prebojnih tehnologij za zeleni prehod. Greentech je pridobil financiranje na Javnem razpisu za sofinanciranje dolgoročnejših velikih raziskovalno-inovacijskih sodelovalnih programov v okviru Načrta za okrevanje in odpornost in obsega 5,2 milijona €, pri čemer je sofinanciran v obsegu 3,75 milijona €.

RRP3: Zelo prilagodljiva, učinkovita in okolju prijazna robotska obdelava

V okviru projekta Greentech bodo raziskovalci razvili robotizirane proizvodne sisteme za obdelavo 3D natisnjenih delov, ki bodo med drugim omogočali mikro lasersko poliranje ter obdelavo s suhim ledom, kar bo skupaj z napredno robotsko tehnologijo zmanjšalo porabo materialov za več kot 20 % ter popolnoma odpravilo uporabo kemikalij. Projekt vključuje tudi uporabo pametnih senzorskih sistemov za nadzor procesov, ki bodo omogočili optimizacijo gibanja robotov in zmanjšanje porabe energije.

RRP4: Tehnologije za energetsko učinkovito procesiranje kompleksnih geometrij z laserskimi roboti

Vsebinsko se RRP4 osredotoča na razvoj naprednih sistemov, ki bodo omogočali samodejni nadzor gibanja robota z integracijo sodelujočih robotov, 3D laserskih senzorjev in algoritmov pametnega nadzora, kar bo zmanjšalo čas konfiguracije za 80 %. Sodelujoči partnerji pri projektu stremijo tudi k optimizaciji merjenja 3D oblik in temperature obdelanih delov, kar bo prispevalo k precejšnjemu prihranku energije, laserski robot pa se bo samodejno prilagajal obdelavi zapletenih površin. Te rešitve bodo demonstrirane tudi na izbranem medicinskem terapevtskem postopku.

RRP5: Tehnologije pametnih, energetsko učinkovitih in okolju prijaznih gospodinskih aparatov

V okviru RRP5 projekta Greentech bodo raziskovalci izboljšali energetsko učinkovitost sušilnega stroja z optimizacijo turbulentnega prenosa toplote in snovi. RRP5.1 vključuje tudi zmanjšanje emisije delcev iz tkanin za 20 % ter zmanjšanje rabe materialov za izdelavo gospodinskih aparatov, kar bo prispevalo k čistejšemu okolju ter k bolj zdravim bivalnim razmeram.

RRP6: Tehnologije pretvorbe energije in upravljanja

Projekt Greentech bo v okviru RRP6 razvil in preizkusil napredne toplotne črpalke za daljinsko ogrevanje, pri čemer je eden izmed glavnih ciljev povečanje učinkovitosti ogrevanja in hlajenja ob sočasnem zmanjšanju hrupa in porabe energije. Projekt vključuje tudi analizo stroškov, okoljskih vplivov in udobja zaradi teh tehnologij ter hkratno optimizacijo delovanja notranjih ogrevalnih in hladilnih enot z novimi, pametnimi krmilnimi sistemi.

V okviru projekta Greentech želi konzorcij, ki ga sestavljajo podjetja Gorenje, d.o.o., Fotona, d.o.o., Domel, d.o.o., LPKF, d.o.o., Yaskawa Slovenija d.o.o., Danfoss Trata, d.o.o., Kronoterm, d.o.o. in Medius, d.o.o. ter raziskovalne organizacije Fakulteta za družbene



»Ocenjujemo, da bo raziskovalni program v desetih letih popolne implementacije rešitev na trg Evropske unije prek prihrankov v proizvodnem procesu in prek bolj zelenih izdelkov prispeval k zmanjšanju emisije CO₂ za več kot 17 milijonov ton, k zmanjšanju porabe energije za skoraj devet milijard kWh in k zmanjšanju porabe materiala za približno 800 tisoč ton«, so o projektu povedali na UL, Fakulteti za strojništvo.

vede (UL), Fakulteta za management (UP) in vodilni partner projekta Fakulteta za strojništvo (UL), razviti in implementirati hibridne proizvodne tehnologije, ki bodo podjetjem omogočile izboljšanje energetske učinkovitosti ter zmanjšanje ogljičnega odtisa.

Zaradi vse večjih zahtev po trajnostnih in energetsko učinkovitih rešitvah v industriji bo projekt Greentech predstavljal bistven prispevek k zelenemu prehodu, tako v Sloveniji kot širše v Evropi. Greentech bo s svojim inovativnim pristopom in sodelovanjem med industrijo in akademskim svetom bistveno prispeval k razvoju tovarn prihodnosti, ki bodo energetsko učinkovite, okolju prijazne in tehnološko napredne.

Zaradi vse večjih zahtev po trajnostnih in energetsko učinkovitih rešitvah bo projekt Greentech zelo prispeval k zelenemu prehodu v Sloveniji in Evropi. Z inovacijami, kot so izboljšave sušilnih strojev, ki bodo povečale njihovo energijsko učinkovitost za 10 % in zmanjšale hrup za 3 dB, ter zmanjšanje emisij delcev iz tkanin za 20 % bo projekt bistveno prispeval k čistejšemu okolju. Poleg tega bo projekt z novimi rešitvami za shranjevanje toplote v gospodinskih hladilnikih ter s trajnostnimi metodami izdelave zmanjšal okoljski odtis naprav in hkrati ohranil ali izboljšal njihovo učinkovitost.

Greentech tako ustvarja prihodnost, v kateri bodo industrijski procesi bolj učinkoviti in prijazni do okolja.



FS

UNIVERZA V LJUBLJANI
Fakulteta za strojništvo

PRIMER SMC IZ PRAKSE – NEREUS

OKOLJU PRIJAZNA FILTRACIJA VODE V OLIMPIJSKI VASI

Aleš Dajčman

Komponente SMC so uporabljene v sistemu NEREUS, ki opremlja stavbo “Cycle”, demonstracijsko stavbo brez odpadkov. V njej se reciklirajo in ponovno uporabijo vse odpadne vode v olimpijski vasi.



Slika 1: Projekt, ki ga podpira sklad za inovacije in ekologijo in ga je ustanovil SOLIDEO, podpirajo pa ga ustanove Caisse des Dépôts, ICADE Promotion in CDC Habitat, si prizadeva za revolucijo v paradigmi krožne rabe virov z začetkom resničnega prehoda na „stavbe z viri“ in „brez odpadkov“, kar zelo omejuje vplive na okolje, ustvarja lokalno vrednost in nova kvalificirana delovna mesta

Ena od stavb v vasi, v kateri je 26 stanovanj, je opremljena z inovativnim sistemom za filtriranje odpadne vode iz tušev, kuhinj in stranišč, kar omogoča njeno ponovno uporabo.

Z rešitvijo NEOSTEP® podjetja NEREUS je odpadna voda toliko prečiščena, da je pitna, in se uporablja za splakanje stranišč, v pralnih strojih ter za čiščenje in namakanje zelenih površin. Poleg tega sistem iz odpadne vode pridobiva toploto, ki se nato uporabi za ogrevanje gospodinjstev. Cilj stavbe “Cycle” je reciklirati 90 % odpadne vode in zmanjšati porabo vode za 60 %, hkrati pa omejiti porabo energije.

NEOSTEP® podjetja NEREUS uporablja tehnologijo dinamičnega filtriranja z zelo majhno porabo energije

Rešitev NEOSTEP® podjetja NEREUS uporablja tehnologijo dinamičnega filtriranja, ki porabi zelo malo

energije. Podjetje NEREUS je bilo ustanovljeno leta 2013 in je v Franciji vodilno na področju dinamične filtracije. Za razliko od tradicionalne filtracije, pri kateri se delci prilepijo na površino filtra, tangencialna pretočna filtracija omogoča, da tekočina prehaja skozi filter pod tlakom, kar omejuje kopičenje delcev. Dinamična filtracija je inovativna različica tangencialne filtracije, ki zagotavlja velike hitrosti pretoka permeata in zaradi vrtečih se membran z velikim strižnim pospeškom precej zmanjšuje tveganje za zamašitev. Poleg tega metoda porabi približno 80 % manj energije, zato je učinkovita in okolju prijazna rešitev.

Čistilna naprava, ki se lahko postavi v središče mesta

Kompaktno čistilno napravo NEOSTEP® je mogoče namestiti v bližini kraja, kjer se bo uporabljala, bodisi v parkih in vrtovih, ekoloških soseskah ali trajnostnih stavbah. Ti sistemi so zasnovani tako, da so kompaktni, tovarniško preizkušeni in pripravljeni za uporabo. Gospod Guilhem Molles, tehnični direktor podjetja Nereus, pravi: „Potrebujemo komponente, ki so kompaktne in predvsem zanesljive, saj je za nas pomembno, da se izognemo popravilom na kraju samem kjer koli na svetu.“

Aleš Dajčman, SMC Industrijska avtomatika, d. o. o., Trebnje



Slika 2 : SMC komponente instalirane v čistilni napravi

NEOSTEP® vključuje najnovejšo membransko tehnologijo, ki omogoča dinamično ultrafiltracijo v kombinaciji z biološko obdelavo, ki ji sledi končna stopnja filtriranja z reverzno osmozo. S to rešitvijo se na leto pridobi do 49,7 kWh toplote, kar ustreza preprečevanju 9,2 tone emisij CO₂.

SMC: odzivnost in vrhunski izdelek

V napravi, instalirani v olimpijski vasi, je urejenih 12 vodnih krogov, vsak od njih pa se upravlja s tremi kotnimi ventili. Ti ventili odpirajo in zapirajo cevi, da se te po potrebi očistijo ali izključijo iz obratovanja. Upravlja jih ventilski otok SMC. Gospod Guilhem Molles nadaljuje: „Po testiranju ventilnih otkov različnih podjetij, prisotnih na trgu, smo zaradi njene kompaktnosti in izjemne robustnosti izbrali rešitev, ki jo je ponudil SMC. Pnevmatiski ventilski otki SMC, ki so odporni na vodo in imajo stopnjo zaščite IP 67, so nujni za naprave, ki jih je treba čistiti z vodo.“ Ti

razdelilniki pnevmatskih ventilov so zasnovani tako, da zdržijo do 5.000.000 ciklov in imajo komunikacijo IO-Link. Guilhem Molles dodaja: „Za bolj agresivna okolja, kot so obalna ali tropska območja, smo tesno sodelovali s podjetjem SMC in uporabili izločevalnike kondenzata serije AMG, ki odstranijo do 99 % vode, ter priprave enote za čiščenje zraka FRL.“

Rešitev, usmerjena v prihodnost

„Ta tehnologija ima zaradi majhne porabe energije velik potencial. Čeprav je cena membran še vedno visoka, je donosnost naložbe ocenjena na približno 5 let,“ pojasnjuje Guilhem Molles. Vendar se njihova cena nenehno znižuje. Trenutno se uporabljajo predvsem v industriji in storitvenem sektorju, vendar se bo zaradi prednosti tehnologije predvidoma razširila tudi na čistilne naprave za odpadne vode, ki so veliki porabniki energije. SMC podpira podjetje Nereus pri vseh teh dejavnostih.



Slika 3 : Ventilski otok SMC serija SY z komunikacijo IO-Link

PRESTIŽNA MEDNARODNA NAGRADA S PODROČJA FUZIJSKIH RAZISKAV PRVIČ V SLOVENIJO

Skupina za raziskave fuzijskih materialov z Instituta "Jožef Stefan" je na 33. Simpoziju o fuzijskih tehnologijah, ki je med 22. in 27. septembrom 2024 potekal v Dublinu na Irskem, prejela prvo nagrado za inovacije. Sploh prvič v zgodovini so nagrado prejeli slovenski raziskovalci, skupina Instituta "Jožef Stefan" pa je nagrado prejela za razvoj materialov za toplotno najbolj obremenjeni del prihodnjih fuzijskih reaktorjev, diverter.

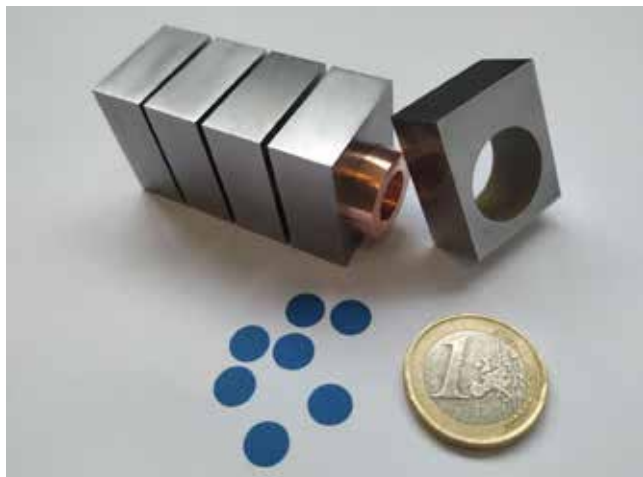


Slika 1: Zmagovalci SOFT 2024, nagrade za inovacije, s predstavnikoma komisije EU in predstavnikom DCU Dublin. Foto: Tamás Szabolics, EUROfusion

Skupina za raziskave fuzijskih materialov z Odseka za nanostrukturne materiale Instituta "Jožef Stefan" pod vodstvom dr. Petre Jenuš Belec je nagrado SOFT za inovacije v vrednosti 50.000 evrov prejela za razvoj kompozita volframa, okrepljenega z divolframovim karbidom, ki je idealen za uporabo v diverterju reaktorja DEMO.

Volfram je trenutno izbran kot strukturni material za diverter, toplotno najbolj obremenjeni del, ki bo uporabljen v prihodnji evropski demonstracijski

fuzijski elektrarni (DEMO). Kljub številnim prednostim ima volfram tudi nekaj slabosti, kot sta na primer rekristalizacija in rast zrn pri visokih temperaturah. Da bi odpravili te težave, so raziskovalci na Institutu »Jožef Stefan« razvili kompozitni material volframa z divolframovim karbidom. Karbidna zrna so razporejena po mejah med volframovi zrna in jim s tem preprečujejo (pretirano) rast med izpostavljenostjo visokim temperaturam. Kompozit ima tudi mehanske lastnosti, ki so v skladu s tehničnimi zahtevami za materiale za DEMO. Nagraje-



Slika 2 : Nagradjeni material je sad desetletnih raziskav skupine za fuzijske materiale Odseka za nanostrukturne materiale Instituta "Jožef Stefan"

ni material je sad desetletnih raziskav skupine za fuzijske materiale Odseka za nanostrukturne materiale Instituta "Jožef Stefan", kompoziti pa izkazujejo dobro odpornost na toplotne šoke, kar je prav tako izjemno pomembna lastnost materialov za diverter.

Dr. Petra Jenuš Belec, Institut »Jožef Stefan«: "Ta nagrada pomeni ogromno priznanje za našo raziskovalno skupino in tudi za Slovensko fuzijsko asociacijo. Na področju, na katerem vlada velika konkurenca, je bil naš material prepoznan kot izjemno obetaven in z velikim inovacijskim potencialom. Z osvojitvijo te nagrade smo se uspeli postaviti na mednarodni fuzijski zemljevid."

Doc. dr. Boštjan Končar z Instituta »Jožef Stefan« in vodja Slovenske fuzijske asociacije: »Prva nagrada SOFT za inovacije je največje mednarodno priznanje raziskovalcem na področju fuzijskih tehnologij. V Slovenski fuzijski asociaciji smo na nagrado izjemno ponosni, saj slovenske dosežke postavlja ob bok najboljšim v svetu. Material, ki ga je razvila skupina za fuzijske materiale Instituta »Jožef Stefan«, izkazuje velik inovacijski potencial in obeta preboj na področju razvoja diverterja.«

Nagrade financira program EU za raziskave in usposabljanje Euratom in se podeljujejo za prelomne projekte, ki pospešujejo raziskave fuzije in spodbujajo sodelovanje med raziskovalci in industrijo.

Polona Strnad, Institut »Jožef Stefan«



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

FAKULTETO ZA STROJNIŠTVO UL STA OBISKALI JAPONSKA VELEPOSLANICA IN DELEGACIJA UNIVERZE V YAMANASHIJU

Dekan Fakultete za strojništvo UL, prof. dr. Mihael Sekavčnik, je s prodekanom za znanstvenoraziskovalno dejavnost in mednarodno sodelovanje, prof. dr. Jankom Slavičem, ter prof. dr. Tomažem Katrašnikom, vodjo Laboratorija za motorje z notranjim zgorevanjem in elektromobilnost sprejel predstavnike japonske Univerze v Yamanašiju. Štiričlansko delegacijo je vodila prof. dr. Xiaoyang Mao, prorektorica in izvršna direktorica univerze, spremljali so jo prof. dr. Masaru Iwasaki, prorektor, prof. dr. Akihiro Iiyama, vodja Centra za nanomateriale za vodik in gorivne celice, ter prof. dr. Hiromitsu Nishizaki, direktor Centra za promocijo internacionalizacije.



Japonska veleposlanica v Sloveniji, njena ekszellenca Akiko Yoshida (na sredini), z dr. Igorjem Papičem, ministrom za visoko šolstvo, znanost in inovacije (levo), prof. dr. Gregorjem Majdičem, rektorjem Univerze v Ljubljani (desno) v družbi delegacije japonske Univerze v Yamanashiju ter predstavnikov UL Fakultete za strojništvo

V okviru obiska japonske delegacije na Univerzi v Ljubljani je prof. dr. Akihiro Iiyama predstavil najnovejše rezultate raziskav proizvodnje zelenega vodika z uporabo elektrolize vode z anionsko izmenjevalno membrano. Srečanju na Fakulteti za strojništvo UL se je pridružila tudi japonska veleposlanica v Sloveniji, njena ekszellenca Akiko Yoshida, minister za visoko šolstvo, znanost in inovacije, dr. Igor Papič, ter rektor ljubljanske univerze, prof. dr. Gregor Majdič.

“Čeprav se Japonska morda zdi daleč, je sodelovanje z japonskimi univerzami zelo pomembno, saj je Japonska na marsikaterem področju vodilna v tehnološkem razvoju. Sodelovanje z odličnimi japonskimi univerzami lahko prinaša veliko koristi tako za Univerzo v Ljubljani kot za partnerske japonske ustanove. Kakšen pomen daje Japonska država mednarodnemu sodelovanju univerz, ne nazadnje kaže tudi dejstvo, da je na več srečanjih s predstavniki univerz sodelovala tudi japonska veleposlanica,

ki si želi okrepiti raziskovalno in visokošolsko sodelovanje med državama,” je ob srečanju povedal rektor UL.

Dekan Fakultete za strojništvo, prof. dr. Mihael Sekavčnik, je izrazil zadovoljstvo zaradi obiska in poudaril pomen mednarodnega sodelovanja: »Fakulteta za strojništvo je že dolgo predana inovacijam in raziskavam na področju trajnostnega razvoja. Veseli me, da lahko izmenjujemo znanje in ideje z vrhunskimi japonskimi strokovnjaki, zlasti na področju vodikovih tehnologij, ki so zelo pomembne za energetsko prihodnost. Med obiskom smo se zavezali, da bomo sprejeli konkretne skupne iniciative na ravni raziskovalnih projektov in izmenjave študentov in raziskovalcev.«

Z japonsko delegacijo so se srečali tudi predstavniki članic UL, Medicinske fakultete, Biotehniške fakultete ter Fakultete za elektrotehniko. Srečanja so bila namenjena pogovoru o poglobitvi sodelovanja na področju izmenjav osebja in študentov ter izvedbe skupnih aktivnosti in projektov.

Univerza v Yamanashiju je med vodilnimi na Japonskem in združuje štiri fakultete: Pedagoško fakulteto, Medicinsko fakulteto, Fakulteto za inženirstvo in Fakulteto za znanosti o življenju in okolju ter dve podiplomski šoli. Ima tudi veliko raziskovalnih inštitutov in izobraževalnih ustanov, kot sta Center za vodik in nanomateriale za gorivne celice ter Inštitut za enologijo in vinogradništvo. Univerza je znana predvsem po svojih vrhunskih raziskavah na področju vodikovih tehnologij in naprednih materialov. Univerza v Ljubljani in Univerza v Yamanashiju imata sklenjen splošni mednarodni medinstitucionalni sporazum, prav tako poteka tudi sodelovanje v okviru mednarodne kreditne mobilnosti, ki omogoča sofinanciranje izmenjav študentov in osebja med univerzama.

Ta obisk predstavlja pomembno priložnost za krepitev sodelovanja med Slovenijo in Japonsko ter izmenjavo znanja med univerzama.

www.fs.uni-lj.si
Foto: IFP, d. o. o.

 **Celjski sejem**

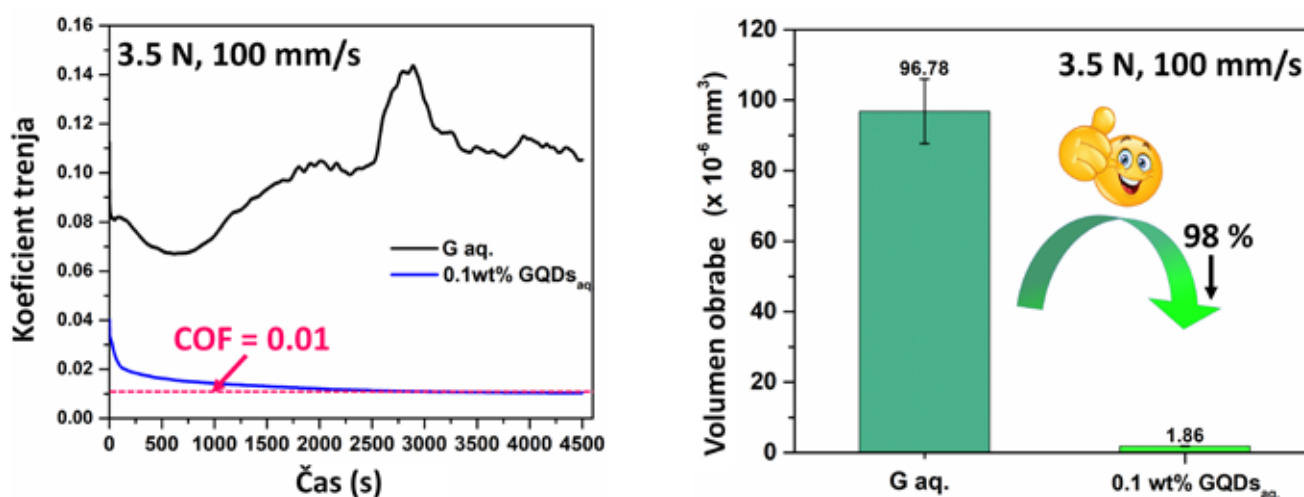
Mednarodni industrijski sejem

8.-11. APRIL 2025



ZMANJŠANJE TRENJA IN OBRABE JEKLENIH POVRŠIN S STRUKTURNIMI SPREMEMBAMI GRAFENSKIH KVANTNIH PIK

Trenje in obraba sta pomembna dejavnika, ki prispevata k rabi energije in okvari komponent v mehanskih sistemih. Zmanjšanje trenja na stopnjo supermazalnosti ($\mu < 0,01$) je sodobna strategija za zmanjšanje rabe energije in obrabe v industrijskih sistemih. V najnovejši študiji so raziskovalci Laboratorija za tribologijo in površinsko nanotehnologijo (TINT) dokazali, da je eden izmed učinkovitih pristopov za zmanjšanje trenja in obrabe uporaba grafenskih kvantnih pik (GQD), ki so jih dodali vodnemu glicerolu. Raziskava je bila opravljena v sodelovanju s Kemijskim inštitutom (Ljubljana, Slovenija), Institutom Jožef Stefan (Ljubljana, Slovenija) in Univerzo v Coimabri (Coimbra, Portugalska). Delo je objavljeno v priznani reviji *Materials & Design* (IF=7.6).



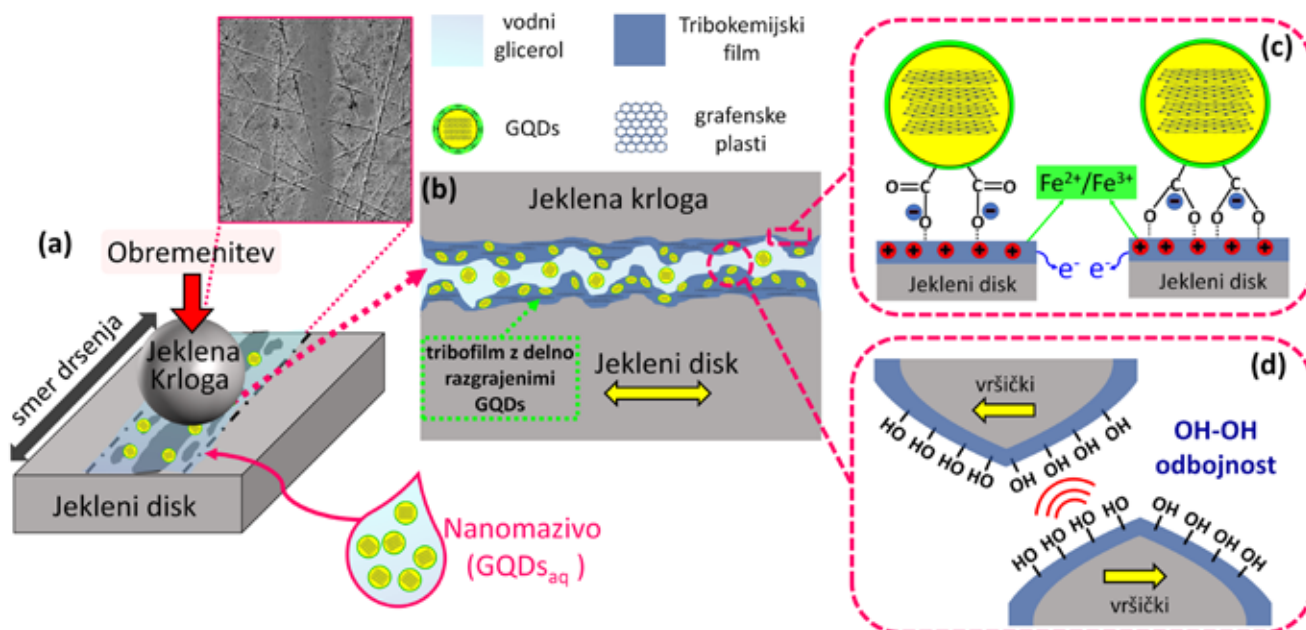
Slika 1 : Sposobnost zmanjšanja trenja in obrabe nanomaziv na podlagi GQD; (a) Krivulja COF v odvisnosti od časa, (b) spreminjanje volumna obrabe v primerjavi z vodnim glicerolom.

Tradicionalna maziva na oljni podlagi, ki se v industriji najpogosteje uporabljajo za zmanjšanje trenja in obrabe, vsebujejo nevarne elemente, kot so fosfor, cink in žveplo, ki zelo onesnažujejo okolje. Nasprotno pa so v zadnjem času zaradi manjše obremenitve okolja in odlične topnosti v vodi vse večje pozornosti deležna biološko razgradljiva olja ter polihidrični alkoholi. Med slednjimi je najbolj razširjen glicerol zaradi svoje dobre biokompatibilnosti in nizke cene, a je njegova uporaba omejena zaradi dolgega obdobja utekanja za doseg stabilnega, majhnega trenja, kar povzroči veliko obrabo.

Raziskovalci v študiji izpostavljajo odlične tribološke lastnosti grafenskih kvantnih pik (GQD) kot dodatka v vodnem glicerolu za stike jeklo / jeklo pri visokem kontaktnem tlaku. Dodatek majhne količine (0,1%) GQD vodnemu glicerolu precej skrajša čas utekanja in zmanjša COF na povprečno vrednost

0,012, kar je skoraj enakovredno supermazalnosti in pomeni 88-odstotno izboljšanje v primerjavi z vodnim glicerolom. Poleg tega se učinkovitost proti obrabi izboljša za 98 % (slika 1), kar ima za posledico izjemno majhno trenje tudi pri visokem kontaktnem tlaku 316,5 MPa v režimu mejnega mazanja.

Tako izboljšanje tribološke učinkovitosti so v študiji pripisali več dejavnikom, vključno s striženjem grafenskih plasti znotraj GQD, luščenjem ali razslojevanjem grafenskih plasti znotraj GQD in odbojem skupin OH-OH med vršički v fazi utekanja. Pri tem se tribokemijski film oblikuje z elektrostatično adsorpcijo GQD na pozitivno nabiti obrabljeni kovinski površini, medtem ko so GQD v tribofilu podvržene triboinducirani strukturni degradaciji, ki ščiti površino pred obrabo in omogoči vzdrževanje izjemno majhnega trenja pri visokem kontaktnem tlaku (glej *sliko 2*).



Slika 2 : Predlagani mehanizem mazanja kontaktov jekla v režimu mejnega mazanja z GQDs_{aq}. (a) Splošna predstavitev tribotesta (vstavljena SEM slika sledi obrabi), (b) shema tribokemijskega filma, oblikovanega na obrabljeni jekleni površini, (c) adsorpcijski mehanizem GQD, ki kaže anion iz GQD, adsorbiran na pozitivno nabiti obrabljeni jekleni površini preko elektrostatične interakcije, kar omogoči tvorbo robustnega tribofilma, (d) shema odbijanja skupin OH-OH med vršički, ki preprečujejo neposreden stik med površinami.

www.fs.uni-lj.si

IRT 3000
INOVAČIJE • RAZVOJ • TEHNOLOGIJE

SPLAČA SE BITI NAROČNIK

IRT 3000
INOVAČIJE • RAZVOJ • TEHNOLOGIJE



ZA SAMO 50€ DOBITE:

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

IRT 3000
ADRIA
INOVAČIJE • RAZVOJ • TEHNOLOGIJE



ZA SAMO 20€ DOBITE:

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

Revija v
hrvaškem
jeziku

DIGITALNA NAROČNINA



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

BUTIK IRT3000



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

NAROČITE SE!



051 322 442



info@irt3000.si

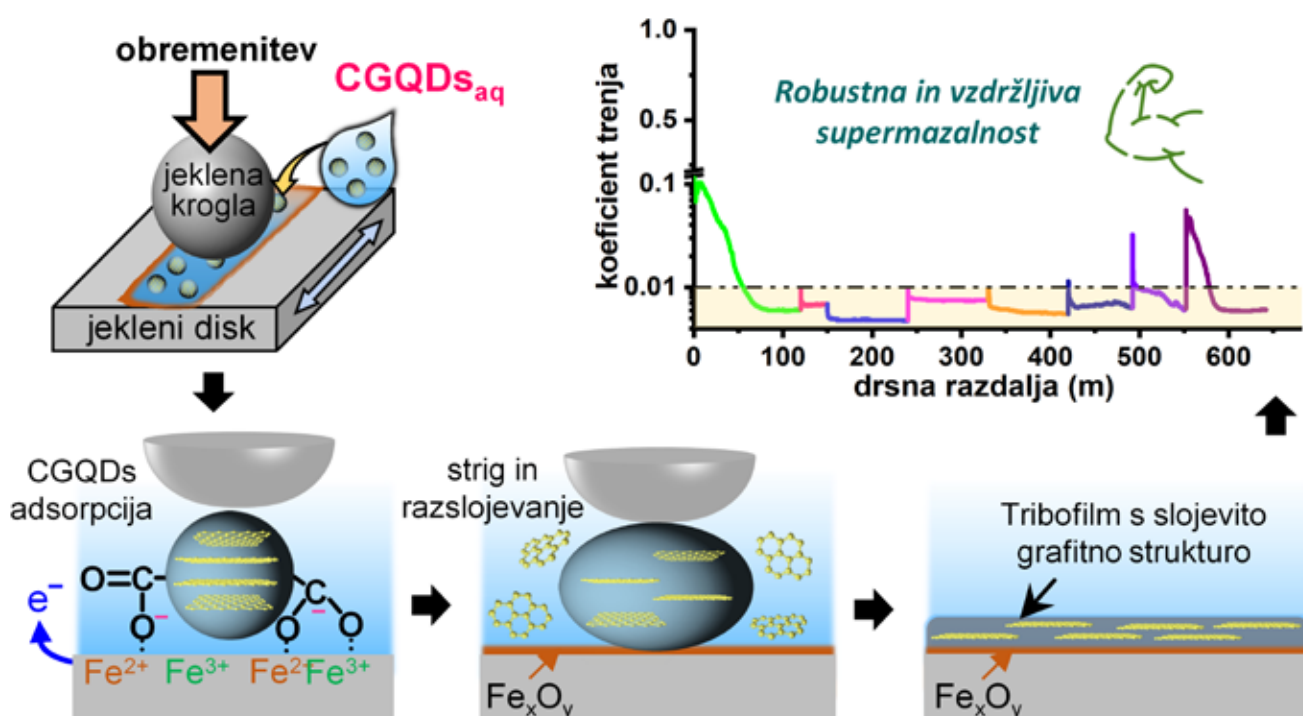


www.irt3000.si/narocilo-revije

WWW.IRT3000.COM

UPORABA KARBOKSILIRANIH GRAFENSKIH KVANTNIH PIK ZA BOLJ ROBUSTNO IN TRAJNO SUPERMAZALNOST

Raziskovalci Laboratorija za tribologijo in površinsko nanotehnologijo (TINT) so raziskali robustnost in vzdržljivost supermazalnosti v jeklenih kontaktih, ki jo zagotavljajo karboksilirane grafenske kvantne pike (CGQD). Te so dodali k okolju prijaznemu mazivu. Delo je potekalo v sodelovanju s Kemijskim inštitutom, Institutom Jožef Stefan in Univerzo v Mariboru. Rezultate raziskave so objavili v reviji *Carbon* (IF=10.5)



Slika 1: Grafični povzetek, ki prikazuje shematsko ponazoritev mehanizma supermazalnosti nanomaziva na podlagi CGQD v kontaktu jeklo / jeklo, medtem ko krivulja COF glede na krivuljo drsne razdalje dokazuje robustnost in stabilnost supermazalnosti v testih start-stop pri različnih drsni hitrosti in pogojih obremenitve.

Supermazalnost tekočine je bila prej dokazana na makroskali, v okolju z različnimi mazivi. Ti vključujejo vodni glicerol z nanodiamanti ali brez njih, ionske tekočine z ogljikovimi kvantnimi pikami ali grafenoksidom (GO) ter etandiol, ki vsebuje GO. Kljub temu je supermazalnost opazna predvsem pri specifičnih kontaktnih parih, ki jih sestavljajo diamantu podobne ogljikove prevleke (DLC) ali keramike, kot je npr. jeklo/ta-C, Si_3N_4 /safir in DLC/DLC. Pri jeklenih kontaktih enakih materialov pa je pojav supermazalnosti redek in ga je mogoče opaziti ali doseči le pri nizkih končnih kontaktnih tlakih ali v režimu mešanega mazanja.

V večini raziskovalnih študij je bila supermazalnost zelo odvisna od parametrov testiranja in zunanjega

okolja (temperatura, vlažnost itd.). Že majhne spremembe teh dejavnikov lahko namreč vplivajo na supermazalno mejno površinsko plast in povzročijo izgubo supermazalnosti.

V študiji so raziskovalci zasnovali poseben test z vmesnimi prekinitvami, da bi pokazali supermazalnost, robustnost in prilagodljivost tribofilma različnim pogojem drsenja. To je zelo pomembno za industrijske aplikacije, kjer lahko start-stop kontakti povzročijo resno škodo in skrajšajo življenjsko dobo opreme zaradi nihanj koeficienta trenja (COF). Mejni mazalni film namreč zagotavlja zelo nizek povprečni COF (približno 0,007) in celo do 69-% zmanjšanje obrabe v primerjavi z osnovnim mazivom, kar omogoča ohranjanje

super mazalnosti na dejanskem končnem kontaktnem tlaku 123 Mpa. To je bistveno višja zgornja meja v primerjavi s trenutnimi jeklenimi kontakti, mazanimi z vodo.

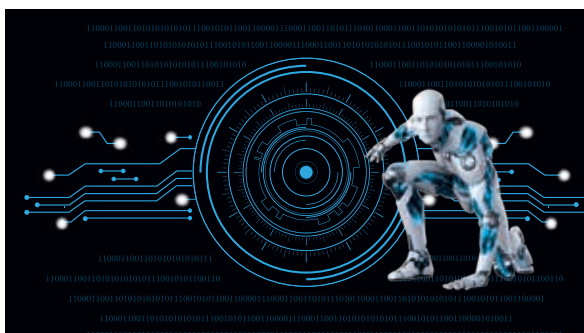
Raziskovalci so analizirali obrabljene površine z naj-sodobnejšimi tehnikami površinske karakterizacije, vključno z ramanskimi in rentgenskimi analizami, fotoelektronsko in masno spektrometrijo sekundarnih ionov s časom preleta. Skeniranje s transmisij-skim elektronskim mikroskopom so uporabili za raziskovanje triboinducirane mejne plasti površine, da bi razjasnili osnovni mehanizem supermazalnosti med kontakti jeklo / jeklo.

Ugotovili so, da je odličen učinek mazanja posledica sinergijske adsorpcije, striga in poliranja, ki ga

zagotavljajo CGQD, dispergirani v vodnem glicerolu. Pri tem ima posebno vlogo kemična adsorpcija CGQD na obrabljeno površino, saj ščiti tribopare pred čezmerno obrabo. Strukturna transformacija CGQD v večplastno grafitno strukturo je posledica neprekinjenega luščenja in striženja strukture grafena znotraj CGQD, kar omogoča uresničitev supermazalnosti.

Ta raziskava ne osvetljuje le aktivnih mazalnih mehanizmov za supermazalnost med jeklenimi kontakti, temveč tudi razjasni vlogo fizikalne in kemijske strukture CGQD pri doseganju supermazalnosti. Študija tako predstavlja pomemben korak pri iskanju supermazalnosti v realnih aplikacijah.

www.fs.uni-lj.si



iCm
IFAM - INTRONIKA-ROBOTICS
11.-13.2.2025
 Ljubljana
www.icm.si



Zanesljivi partner
vaše proizvodnje

OLMA
www.olma.si

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

Quaker Houghton
 MOTUL
 tribo-chemie
 setral
 SLOVENOIL
 STORM

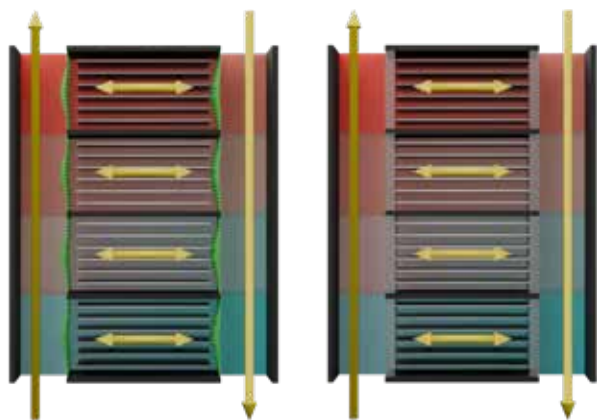
PERSPEKTIVE IN ENERGETSKE APLIKACIJE MAGNETOKALORIČNIH, PIROMAGNETNIH, ELEKTROKALORIČNIH IN PIROELEKTRIČNIH MATERIALOV

Raziskovalci iz Laboratorija za hlajenje in daljinsko energetiko (LAHDE) so v sodelovanju z Univerzo v Seville in Univerzo v Cambridgeu objavili znanstveni članek v reviji *Advanced Energy Materials* (IF=27.6), v kateri so predstavili perspektivo o uporabi magnetokaloričnih, piromagnetnih, elektrokaloričnih in piroelektričnih materialov za pretvorbo energije.

Tehnologije, ki izkoriščajo omenjene materiale, imajo kot alternativa obstoječim tehnologijam velik potencial pri izboljšanju energetske učinkovitosti in rabi okolju prijaznih materialov in tekočin tako na področju kriogenike, hlajenja, toplotnih črpalk kot tudi na področju učinkovite pretvorbe nizkotemperaturne odpadne toplote v koristno delo.

Shematski prikaz dveh konceptov delovanja Hypereg z membranami (levo) in aktuatorji (desno). 1. st. V prvem delu članka so raziskovalci predstavili največje izzive, s katerimi se soočajo omenjeni materiali in njihove aplikacije, v drugem delu pa so raziskovalci predlagali konkretne rešitve s poudarkom na področju izboljšanja prenosa toplote med materiali in delovnim medijem v napravah.

Avtorji so v članku tudi prvič predstavili nov koncept delovanja toplotnega regeneratorskega Hypereg, za katerega je LAHDE pridobil ameriški in kitajski patent. Ta omogoča bistveno povečanje gostote moči ne samo kaloričnih naprav, temveč tudi naprav, ki sodijo med tehnologije termoakustike in mehanskega Strlingovega principa.



Shematski prikaz dveh konceptov delovanja Hypereg z membranami (levo) in aktuatorji (desno).

Raziskovalci so v zaključku razmišljali in odpirali vprašanja o še popolnoma neraziskanih področjih, ki segajo od ultravisoko temperaturnih toplotnih črpalk do aplikacij zunaj našega planeta.

www.fs.uni-lj.si



ROČNA STISKALKA HP-500W

- » Navpična pritrditev na steno.
- » Dovajanje masti neposredno na mazalna mesta ali pa stiskalko priključite na progresivne mazalne naprave za enakomerno dovajanje maziva.
- » Uporaba v progresivnih sistemih mazanja.
- » Polnjenje iz soda ali prek kartuše.
- » Različica HP-500W-SSV vključuje razdelilec z različnim št. izhodov.

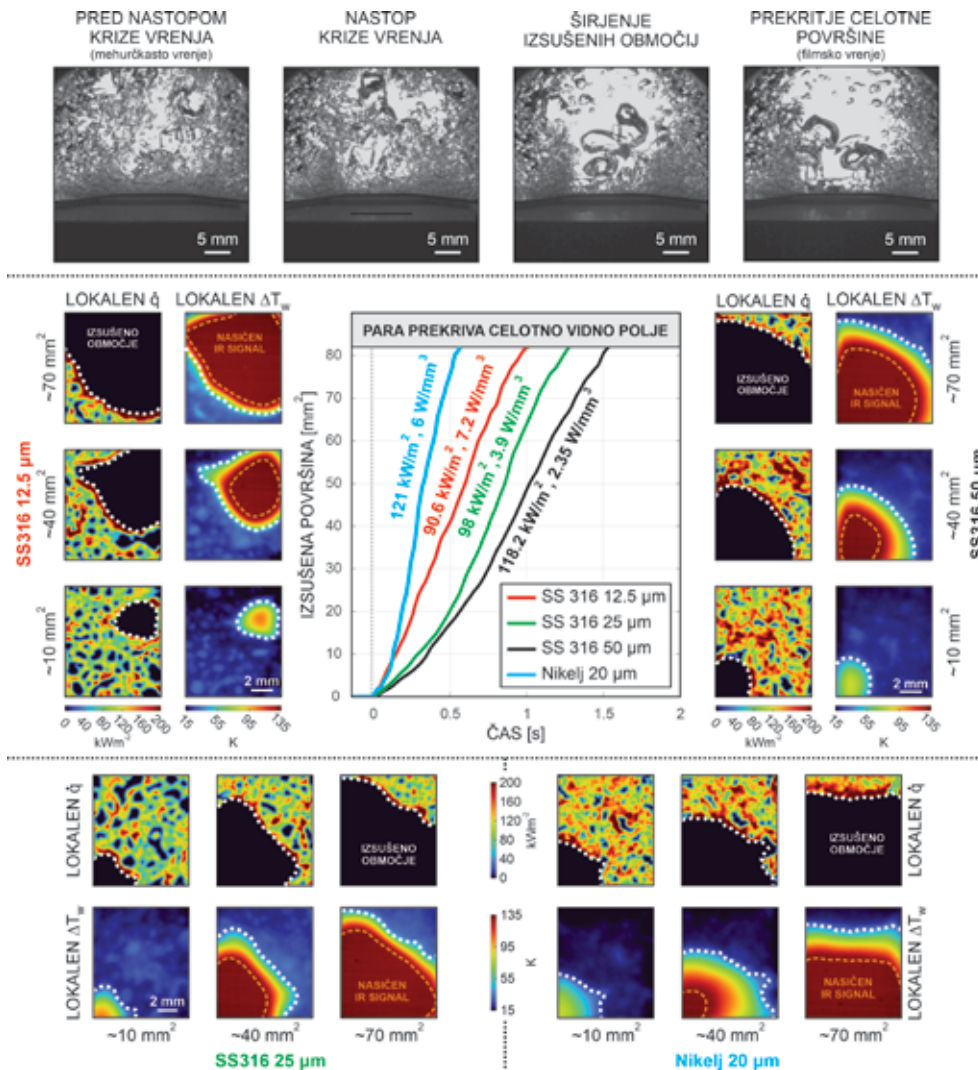


www.hennlich.si

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

ŠIRJENJE IZSUŠENIH OBMOČIJ NA TANKOSTENSKIH KOVINSKIH GRELNIKIH MED KRIZO VRENJA

Raziskovalci Laboratorija za Toplotno Tehniko (LTT) so izvedli eksperimentalno študijo, v kateri so proučevali vpliv parametrov tankostenskih grelnikov na širjenje izsušenih območij med krizo vrenja fluida FC-72, ki se uporablja za hlajenje visokozmogljive mikroelektronike. Rezultati raziskave so objavljeni v reviji *Applied Thermal Engineering* (IF = 6.1).



Slika 1 : Širjenje izsušenega območja na kovinskih grelnikih različnih materialov in debelin

Kriza vrenja, ki se pri velikih gostotah toplotnih tokov pojavi zaradi združevanja in širjenja izsušenih območij na vrelni površini, predstavlja obratovalno limito hlajenja preko mehurčkastega vrenja. Posledica tega dogodka je hitro povišanje temperature, ki lahko vodi do kritične okvare, še posebej pri tankostenskih elementih in temperaturno občutljivi mikroelektroniki, kjer se za hlajenje uporabljajo dielektrični fluidi, kot je FC-72.

Rezultati predstavljene študije, pridobljeni z visoko-ločljivostno infrardečo termometrijo, dokazujejo, da je rast izsušenega območja med krizo vrenja močno

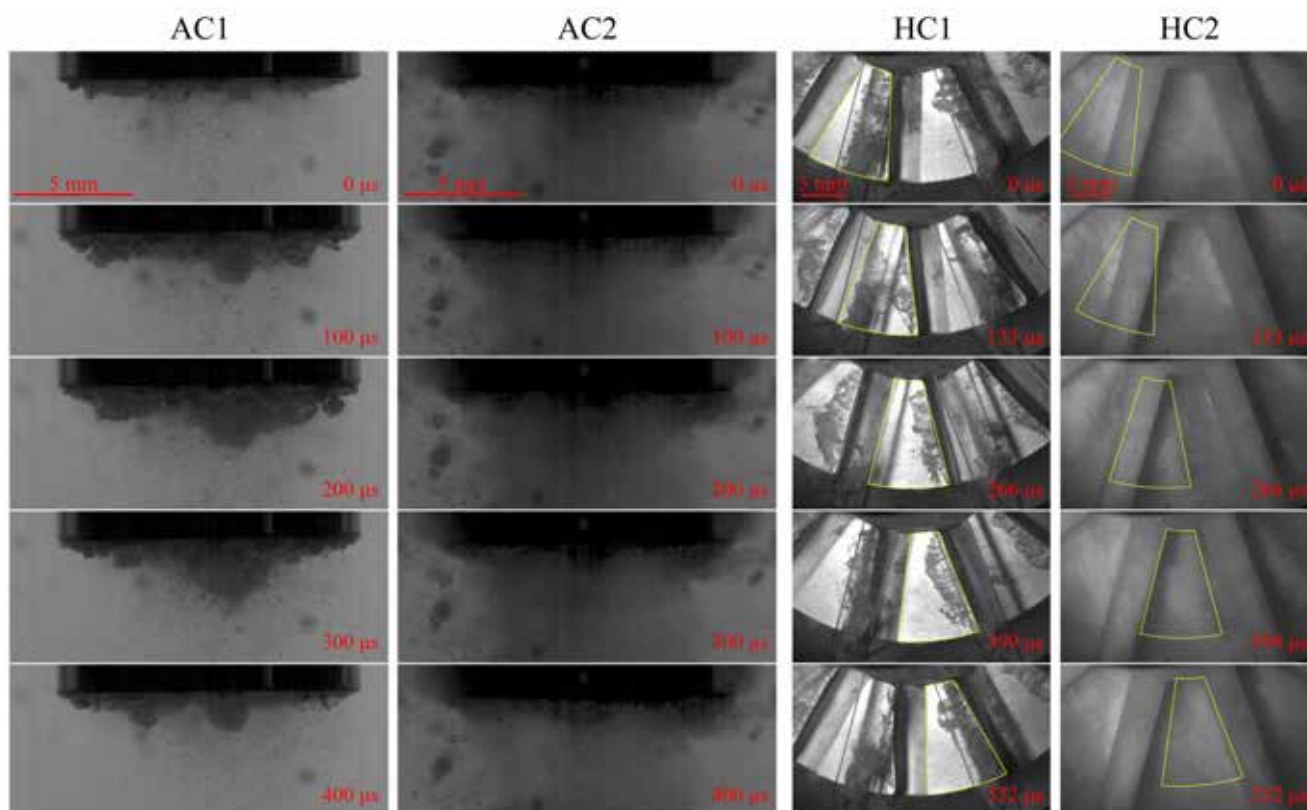
pod vplivom difuzije toplote znotraj tankostenskega grelnika. Hitrost širjenja teh območij je po ugotovitvah avtorjev proporcionalna toplotni difuzivnosti grelnika in volumetrični generaciji toplote med krizo vrenja, pri čemer je slednja inverzno proporcionalna debelini kovinskega grelnika.

Rezultati predstavljajo pomemben prispevek k razumevanju dinamike izsušitve površine med krizo vrenja na tankostenskih sistemih za prenos toplote, kot so ultratanke vrelnice komore, toplotne cevi in prenosniki toplote.

www.fs.uni-lj.si

S KAVITACIJSKIMI MEHURČKI NAD VERIGE POLISAHARIDA

Raziskovalci Laboratorija za vodne in turbinske stroje (LVTs) so z raziskovalci Odseka za polimerno kemijo in tehnologijo Kemijskega inštituta (KI) razgradili hidroksipropilmetilcelulozo z akustično in hidrodinamsko kavitacijo. Rezultate študije so objavili v reviji *Ultrasonics Sonochemistry* (IF=8.7).



Slika 1 : Videz kavitacije: AC1 – akustična kavitacija brez dodanega polimera, AC2 – akustična kavitacija z dodanim polimerom, HC1 – hidrodinamska kavitacija brez dodanega polimera, HC2 – hidrodinamska kavitacija z dodanim polimerom.

Ob kolapsu kavitacijskega mehurčka se v zelo omejeno časovno in prostorsko območje sprosti energija, ki povzroči mehanske in kemijske fenomene, povezane s kavitacijo. Ti fenomeni lahko med drugim povzročijo cepitev glikozidnih vezi in s tem razgradnjo polisaharidov. Raziskovalci so v študiji primerjali učinkovitost razgradnje polisaharida (hidroksipropilmetilceluloze) z dvema tipoma kavitacije: a) akustično kavitacijo, pri kateri je kavitacija posledica akustičnega zvočnega valovanja, in b) hidrodinamsko kavitacijo, pri kateri je kavitacija posledica lokalno povečane hitrosti tekočine.

Metode obdelave polisaharidov, ki ob manjšanju molske mase omogočajo tudi zmanjševanje disper-

znosti, so dolgotrajne in lahko trajajo tudi do 24 ur. Raziskovalci so v študiji z uporabo kavitacije in dodatka oksidanta v 30 minutah zmanjšali povprečno molsko maso polisaharida za 98,8 % ob hkratnem zmanjševanju disperznosti.

Rezultati študije ponovno potrjujejo, da bi lahko za cepitev glikozidnih vezi v polisaharidih kot alternativo kemijskim in encimskim metodam uporabili kavitacijsko obdelavo. Pridobljeno znanje lahko služi kot podlaga za razgradnjo drugih naravnih polisaharidov, kot sta hialuronska kislina in hitozan.

NOV PIEZOFOTONSKI MATERIAL ZA USTVARJANJE VISOKOFREKVENČNIH FOTOAKUSTIČNIH VALOV ZA BIOMEDICINSKE APLIKACIJE

Raziskovalci iz Laboratorija za laserske tehnike (LASTEH) v sodelovanju z Institutom "Jožef Stefan" (IJS) in Univerzo v Coimabri eksperimentalno dokazujejo, da je mogoče učinkovitost pretvorbe svetlobe v zvok v materialu precej izboljšati in nadzorovati. To izboljšanje je doseženo s prilagajanjem treh glavnih dejavnikov: (1) časovnega trajanja laserske svetlobe, uporabljene za vzbujanje materiala, (2) geometrije fotoakustičnega (FA) vira in (3) narave materiala, ki absorbira svetlobo.

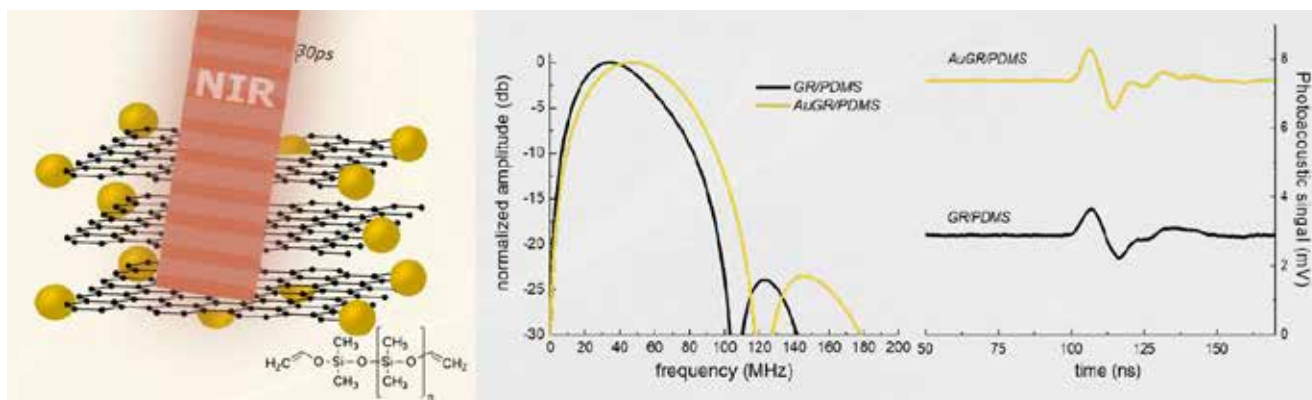
Kombinacija pikosekundnega impulznega laserja, grafena in grafena, okrašenega z zlatimi nanodelci, v matriki iz polidimetilsiloksana (PDMS) omogoča izvedbo ultrazvočnih pretvornikov z izrednimi lastnostmi in prilagodljivim postopkom izdelave. Namen študije je izboljšati učinkovitost in prehajanje medicinskih terapij z ultrazvokom, ki vključujejo prehajanje makromolekul skozi tkiva in pripravo tumorjev za terapijo. Rezultati so objavljeni v reviji *Nano Energy* (IF= 16.8).

Raziskovalci laboratorija LASTEH in IJS so razvili dvostopenjski protokol, ki vključuje razpršitev nanoplasti grafena (GR) v PDMS, kar ustvari visokovpojni kompozit na prožnem substratu. Takšen kompozit kaže razmeroma veliko optično absorpcijo in dobro homogenost tudi pri zmanjšanju debeline pod 10 μm , kar predstavlja prednost pri izdelavi fotoakustičnih pretvornikov. Bistvena prednost uporabe grafena (GR) je predvsem njegova dobra stabilnost v različnih topilih, brez potrebe po posebni predpripravi površine ter možnost dekoracije GR in situ z zlatimi nanodelci (AuNP) brez uporabe dodatnih reducentov. Raziskovalci so inovativni protokol uspešno patentirali, patent pa je pred kratkim financiral tudi *Evropski patentni urad*.

"Film GR/AuNPs/PDMS je prilagodljiv in stabilen vir FA valov. Deluje pri visokih laserskih fluencah in največjem obsevanju 5 GW cm^{-2} . Ta pristop omogoča ustvarjanje ultrazvočnih valov z visokofrekvenčnimi komponentami in velikimi končnimi močmi, hkrati pa obravnava izzive izdelave. Poleg tega so filmi, pridobljeni s PDMS, zelo stabilni in biokompatibilni. To je zelo pomembno za načrtovanje prilagodljivih in minimalno invazivnih orodij, integriranih s konvencionalnimi medicinskimi laserji za biomedicinske aplikacije, katerih cilj je boljša ločljivost slik, učinkovitejša permeabilizacija bioloških membran in fotoakustično podprte medicinske terapije," je pojasnil dr. Daniele Vella.

Širina pasov ultrazvočnih valov nanosekundnega laserskega vzbujanja je navadno omejena s trajanjem impulza. Vendar lahko povzroči uporaba pikosekundnega laserskega vzbujanja pod omejeno napetostjo intenzivne, širokopasovne fotoakustične valove. Raziskovalci so v študiji uporabili zelo kratke, pikosekundne laserske impulze za ustvarjanje zelo visokofrekvenčnih zvočnih valov, s širino pasov -6 dB (70 MHz) in -20 dB (130 MHz) in najvišjim tlakom > 5 MPa. S tanjšanjem materiala in dodajanjem zlata so povečali disperzibilnost plasti GR v polimerni matriki in hkrati povečali širine pasov. Ugotovili so, da zmanjšanje debeline vira poviša ultrazvočno frekvenco, ki ohrani svojo vrednost tudi, ko se fluenca laserja poveča do 150 mJ cm^{-2} . To omogoča ustvarjanje visokih tlakov ob ohranjanju enake širine pasov. Stabilna frekvenca in amplituda PA valov med več tisoč laserskimi impulzi je pomembna pri medicinskih terapijah, saj zagotavlja ponovljive PA valove med kliničnimi postopki, ki vključujejo permeabilizacijo makromolekul in pripravo tumorja na nadaljnje terapije.

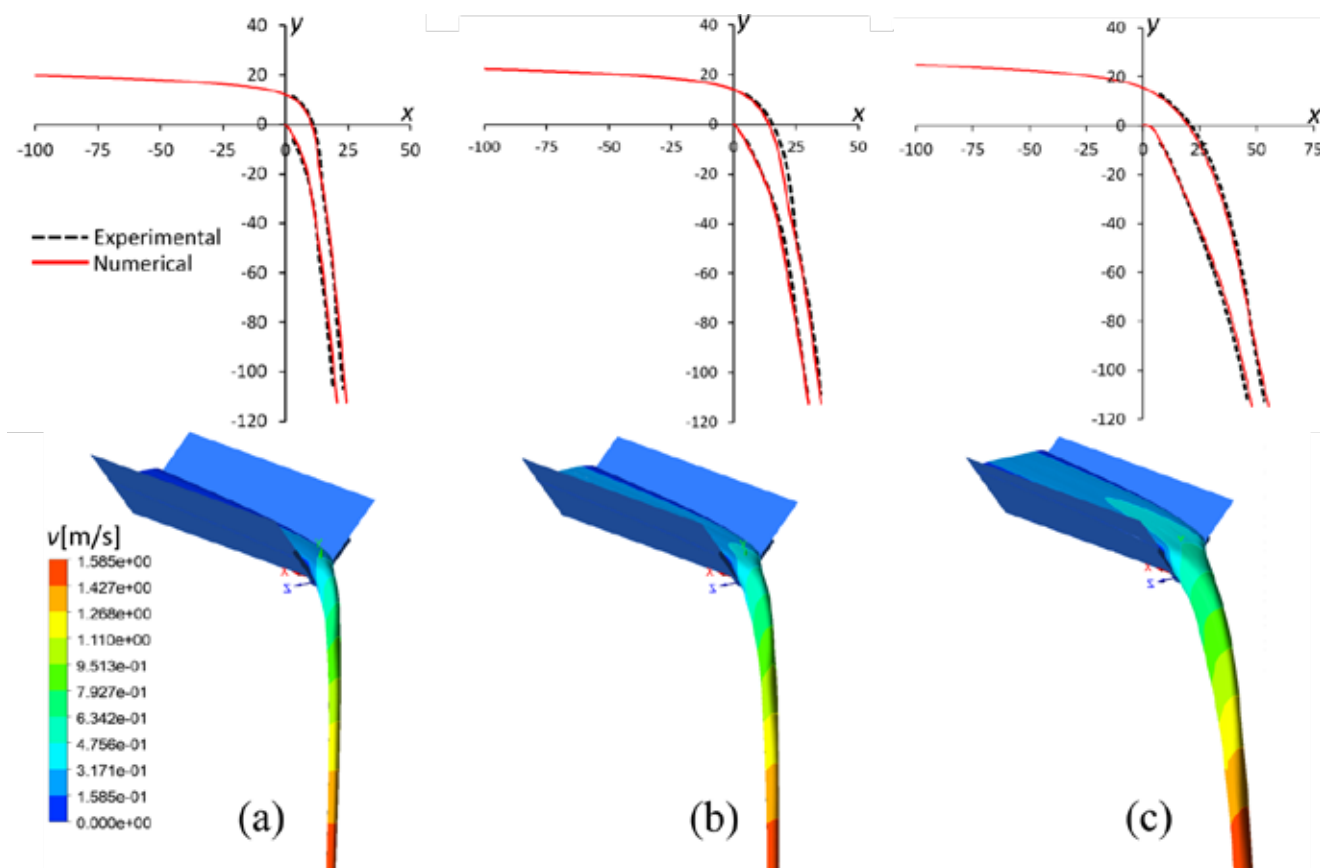
www.fs.uni-lj.si



Površinska dekoracija nekaj plasti grafena, interkaliranega s PDMS in obsevanega s 30-pikosekundnim, skoraj infrardečim laserjem (levo). Fourierjevi spektri fotoakustičnega signala iz geometrično in optično enakovrednih polimernih filmov z dekoracijo ali brez dekoracije AuNP (desno).

NUMERIČNO MODELIRANJE LAMINARNEGA PROSTEGA PRELIVA V TRIKOTNIH KANALIH

Raziskovalci Laboratorija za vodne in turbinske stroje (LVTs) so izvedli eksperimentalno in numerično študijo dinamike laminarnega pretakanja tekočine preko roba trikotnega kanala. Rezultati raziskave so objavljeni v znanstveni reviji *Ain Shams Engineering Journal* (IF=6).



Primerjava izmerjene in numerično izračunane gladine viskozne tekočine pri pretoku 25 mL/s (a), 50 mL/s (b) in 100 mL/s (c). Gladina na 3D numeričnem modelu je obarvana glede na hitrost tekočine.

V okviru študije so izdelali model računalniške dinamike tekočin za raziskovanje subkritičnega laminarnega prostega preliva v gladkih horizontalnih kanalih s pravokotnim enakokrakim trikotnim prečnim prerezum. Podobna dinamika pretakanja se pojavlja v industrijskih procesih, ki vključujejo transport zelo viskoznih tekočin ali staljenih snovi, kot so aluminosilikatni oksidi za proizvodnjo mineralne volne ali cementa, žlindre, polimeri, nekatere kovinske zlitine itd.

Rezultat študije je model proste gladine pretakajoče se viskozne tekočine in pripadajočih hitrostnih polj v prečnem prerezu trikotnega kanala. Omenjeni model omogoča neinvazivno optično merjenje pretoka tekočine v realnem času, kar je zelo po-

membno zlasti pri visokotemperaturnih talinah, kjer je nabor merilnih metod zelo omejen.

www.fs.uni-lj.si



PROJEKT MAGCCINE PRIDOBIL FINANCIRANJE NA RAZPISU HORIZON EUROPE ZA RAZVOJ INOVATIVNE TEHNOLOGIJE HLAJENJA CEPIV

Raziskovalna skupina Laboratorija za hlajenje in daljinsko energetiko Fakultete za strojništvo Univerze v Ljubljani je pod vodstvom prof. dr. Andreja Kitanovskega na razpisu Horizon Europe – The European Innovation Council[1] (EIC) 2023 pridobila financiranje projekta MAGCCINE, v sklopu katerega bodo s partnerji razvili inovativno tehnologijo hlajenja cepiv.



Slika 1 : Prototip hladilnega sistema za hlajenje cepiv

Vsako leto zaradi pomanjkljive dostopnosti cepiv umre 1,5 milijona ljudi. Paradoksalno pa se kar 50 % proizvedenih cepiv zavrže samo zaradi neustreznega ohranjanja primerne temperature med shranjevanjem in transportom od proizvajalca do končnega uporabnika. Trenutno se dostava cepiv sooča s tremi velikimi izzivi: (1) s strogimi omejitvami letalskega prevoza zaradi nevarnosti uporabljenih hladilov, (2) z veliko porabo energije hladilnih naprav za shranjevanje cepiv in (3) z velikim vplivom določenih hladilov na okolje.

Projekt MAGCCINE z razvojem prototipa učinkovitega magnetokaloričnega hladilnega sistema rešuje prav vse izzive glede dosedanjega transporta cepiv, saj alternativni način hlajenja z magnetokaloričnimi trdninami odpravlja potrebo po uporabi nevarnih ali

»Magnetno oziroma magnetokalorično hlajenje predstavlja eno izmed obetavnih alternativnih tehnologij, ki v primerjavi z obstoječimi tehnologijami predstavlja potencial za zmanjšanje okoljskega odtisa in izboljšanja energetske učinkovitosti. S projektom MAGCCINE želimo naše teoretične in eksperimentalne izkušnje prenesti na področje medicine oziroma farmacije ter jih uporabiti pri razvoju realnega, delujočega prototipa,« je pojasnil prof. dr. Andrej Kitanovski.



Prof. dr. Andrej Kitanovski

okolju neprijaznih hladilov. Hkrati pa bo tehnologija rotacijskega magnetokaloričnega efekta, na kateri bo temeljil razviti prototip, izboljšala energetske učinkovitost in hkrati znižala stroške proizvodnje.

Skupna vrednost štiriletnega projekta znaša 3,6 milijona evrov, pri uresničitvi zastavljenih ciljev pa poleg laboratorija LAHDE in Fakultete za strojništvo UL sodelujejo tudi Univerza v Portu kot koordinatorka projekta, Univerza v Seville (Španija), Univerza v Aveiru (Portugalska), Nacionalni center za znanstvene raziskave (CNRS; Francija) ter podjetji MagREESource in Helium3 Technologies.

Razvoj in optimizacija prototipa hladilne naprave, ki bo zagotavljal vzdrževanje temperature med 2 °C in 8 °C, bosta bistveno zmanjšala izgube cepiv ter izboljšala njihovo dostopnost po vsem svetu. S tem bo MAGCCINE ustvaril nove možnosti za čisto in učinkovito hlajenje v zdravstvenem sektorju, kar bo prispevalo k varnejši in zanesljivejši hladni verigi za cepiva.

www.fs.uni-lj.si

RAZISKOVALNA SKUPINA DOC. DR. JAKE TUŠKA PRIDOBILA FINANCIRANJE ZA DVA EVROPSKA PROJEKTA EIC S PREBOJNIMI TEHNOLOGIJAMI HLAJENJA IN OGREVANJA

Doc. dr. Jaka Tušek iz Laboratorija za nelinearno mehaniko Fakultete za strojništvo Univerze v Ljubljani je s svojo raziskovalno skupino v sklopu razpisa Horizon Europe – The European Innovation Council (EIC) 2023[1] pridobil financiranje kar dveh projektov: SMACool, ki cilja na razvoj funkcionalne klimatske naprave, ki temelji na elastokalorični tehnologiji, ter projekta FROSTBIT, katerega glavni cilj je razviti prvi operativni hladilnik, ki temelji na povsem novi barokalorični tehnologiji v regenerativni hladilni napravi.



Doc. dr. Jaka Tušek

Ocenjuje se, da se že zdaj za potrebe hlajenja porabi okoli 25 % svetovne električne energije, pri tem pa hlajenje prispeva okoli 8 % vseh izpuštov toplogrednih plinov. V Evropi, na primer, ima klimatsko napravo vsako peto gospodinjstvo, kar na koncu nanese skoraj 40 milijonov klimatskih naprav, njihova številka pa se zaradi podnebnih

sprememb in dviga življenjskega standarda postopoma povečuje. Večje ter nove potrebe po hlajenju zahtevajo nove rešitve, saj je trenutno prevladujoča parno-kompresijska tehnologija hlajenja stara več kot sto let, ima omejeno učinkovitost ter uporablja okolju škodljiva ali človeku nevarna hladilna sredstva.

S tem v mislih raziskovalna skupina projekta SMACool cilja na razvoj nove, inovativne oblike ogrevanja in hlajenja z elastokalorično tehnologijo, ki ima potencial za doseganje visoke energijske učinkovitosti ter ničelnih izpuštov toplogrednih plinov. Tehnologija uporablja zlitine z oblikovnim spominom, ki služijo kot trdninska hladila in s tem zamenjuje škodljiva hladilna sredstva, ki se zdaj uporabljajo v hladilnih sistemih. »Projekt nam bo omogočil nadaljevanje razvoja elastokalorične tehnologije, začete v sklopu projekta ERC SUPERCOOL, v katerem smo postavili osnove razvoja te tehnologije. Projekt SMACool predstavlja nadgradnjo v smeri aplikativne uporabe elastokalorične tehnologije za klimatizacijo prostorov,« je pojasnil dr. Tušek.

Skupna vrednost triletnega projekta znaša skoraj 4 milijone evrov, medtem ko je raziskovalna skupi-

na doc. dr. Jaka Tuška prejela financiranje v višini kar 613 tisoč evrov. Pri projektu poleg Fakultete za strojništvo sodelujejo tudi priznani partnerji iz štirih evropskih držav: Saarland Univerza iz Nemčije, ki je tudi koordinator projekta, Univerza v Ljubljani, Neapeljska Univerza Federico II iz Italije ter irsko podjetje Exergyn Limited.

Medtem ko je projekt SMACool bolj aplikativno naraven in usmerjen proti višji ravni tehnološke razvitosti (TRL 5), bo primarni cilj projekta FROSTBIT razviti prvi operativni hladilnik, ki temelji na povsem novi barokalorični tehnologiji v regenerativni hladilni napravi. Cilj je razviti eksperimentalno barokalorično hladilno napravo s 100 W hladilne moči in temperaturnim razponom 20 K s ciljnim COP med 4 in 6 (kar ustreza 30 % Carnotove učinkovitosti). »Želimo razviti prvi prototip barokaloričnega regeneratorskega. S tem bomo dokazali koncept nove tehnologije hlajenja in odprli vrata nadaljnjemu razvoju,« je še povedal doc. dr. Jaka Tušek.

Skupna vrednost tega štiriletnega projekta znaša nekaj več kot 3,4 milijone evrov, rezultat pa bo plod tesnega sodelovanja številnih pomembnih evropskih institucij: Univerze v Bordeauxu (koordinator projekta), Univerze v Ljubljani, Univerze v Touru (Francija), Politehniške univerze v Kataloniji, Nacionalnega centra za znanstvene raziskave (Francija), Univerze v Loreni (Francija) ter Univerze v Kentu (Združeno Kraljestvo).

Iskrene čestitke!

- [1] Horizon Europe – The European Innovation Council (EIC) – 2023 Pathfinder Challenges-01-01 – EIC Pathfinder Challenge: Clean and efficient cooling
- [2] Shape Memory Alloy based elastocaloric Cooling system
- [3] First Regenerative sOLid-STate Barocaloric refrigerator

www.fs.uni-lj.si

PRVI SISTEM, OPREMLJEN Z INOVATIVNO APL TEHNOLOGIJO PODJETJA SAMSON

Z veseljem sporočamo o uspešnem zaključku enega prvih večjih projektov, ki uporablja novo APL tehnologijo (APL Technology – Advanced Physical Layer Technology), kar dokazuje našo zmožnost opremiti celotno tovarno s tem naprednim sistemom.

V prisotnosti našega naročnika smo uspešno izvedli končni prevzemni test za prvi ventil na svetu, opremljen s pozicionirnikom TROVIS 3797, ki podpira PROFINET prek APL. Slika prikazuje končni prevzemni test v našem velikem oddelku montaže ventilov v Frankfurtu.

TROVIS 3797 podjetja SAMSON je prvi pozicionirnik, ki omogoča neposredno povezavo ventilov v omrežje prek Ethernet APL. Ustvari neposredno komunikacijsko pot med regulacijskim ventilom, krmilnim sistemom in oblakom. Ta naprava predstavlja pomemben korak proti dolgo pričakovani digitalizaciji procesne ravni.

Ponosni smo, da smo to tehnologijo toliko razvili, da lahko kupci podjetja SAMSON neposredno izkoristijo naše specializirano znanje in najnovejše dosežke na tem področju. Naše poslanstvo je oblikovati globalno procesno industrijo v smeri trajnostne prihodnosti.

Naprava je primerna za vse SAMSON-ove ventile, od najmanjših farmacevtskih ventilov do največjih ventilov za hladilno vodo. Poleg tega jo je mogoče univerzalno kombinirati z vsakim ventilom, nameščenim po standardu NAMUR e.V., ne glede na proizvajalca.

Za naročilo stopite v stik z nami!

GIA-S Industrijska oprema, d. o. o.
info@gia.si



Slika prikazuje končni prevzemni test v oddelku montaže ventilov podjetja SAMSON v Frankfurtu.

GIA

**Vaš partner za
industrijsko
opremo.**

info@gia.si | 01-7865-300



R38097

samson

TRAJNOSTNI TESTI 3D NATISNJENIH VODNO-HIDRAVLIČNIH PROPORCIONALNIH POTNIH VENTILOV

Žan Spačal, Franc Majdič, Mitjan Kalin, Ana Trajkovski

Izvleček:

Čeprav se voda redko uporablja v pogonsko-krmilni hidravliki (PKH), pa napredne tehnologije odpirajo nove možnosti za širšo uporabo vodne hidravlike (vodne PKH). 3D-tisk kovinskih komponent omogoča izdelavo kompleksnih notranjih geometrij, kakršne s tradicionalnimi postopki niso dosegljive. Z njim lahko ventilom znatno zmanjšamo maso in hkrati izboljšamo pretočne karakteristike. V tej raziskavi smo zasnovali in preizkusili potni ventil, izdelan s 3D-tiskom, ter preizkusili alternativne materiale za krmilne bate, ki so ključni za delovanje vodno-hidravličnih sistemov PKH. Tribološki testi so nam omogočili, da smo preučili različne materialne pare in izmerili koeficiente trenja ter obrabe, s čimer smo določili primerne materiale za uporabo v vodni hidravliki. Poleg tega smo razvili merilno mesto za trajnostno testiranje ventilov. Z njim smo preizkusili njihovo vzdržljivost in zanesljivost v realnih obratovalnih pogojih. Naša raziskava odpira nove možnosti za razvoj boljših vodno-hidravličnih sistemov (v PKH), kar prispeva k nadaljnjemu napredku te redko uporabljene, a potencialno pomembne tehnologije.

Ključne besede:

vodna hidravlika, trajnostni preizkusi, tribološki preizkusi, notranje puščanje, obraba, proporcionalni ventil, 3D-tisk kovin

1 Uvod

Hiter napredek tehnologije je omogočil intenziven razvoj inovativnih materialov in proizvodnih tehnologij, kar ima velik vpliv na področje uporabe oziroma ekonomičnosti izdelave in učinkovitosti posameznih komponent in sistemov. Uvedba 3D natisnjenih komponent je pokazala izjemen potencial zlasti v hidravliki. Omogoča hitro modeliranje novih komponent z značilno nižjo maso. Zgodovinsko gledano je bila izbira najustreznejših materialov pogosto vodena z empiričnim pristopom. Z napredkom tehnologije pa se je razumevanje lastnosti materialov, kot sta vzdržljivost in odpornost proti obrabi, izboljšalo in omogočilo učinkovitejšo uporabo, zlasti v inženirskih aplikacijah.

Z razvojem proizvodnih procesov se je 3D-tiskanje uveljavilo kot uporabna alternativa tradicionalnim metodam izdelave komponent. Zlasti izdelava hidravličnih komponent, kot so ventili, je pridobila prednosti s 3D-tiskanjem, saj to omogoča manjšo maso komponent in manjše tokovne izgube. Kljub

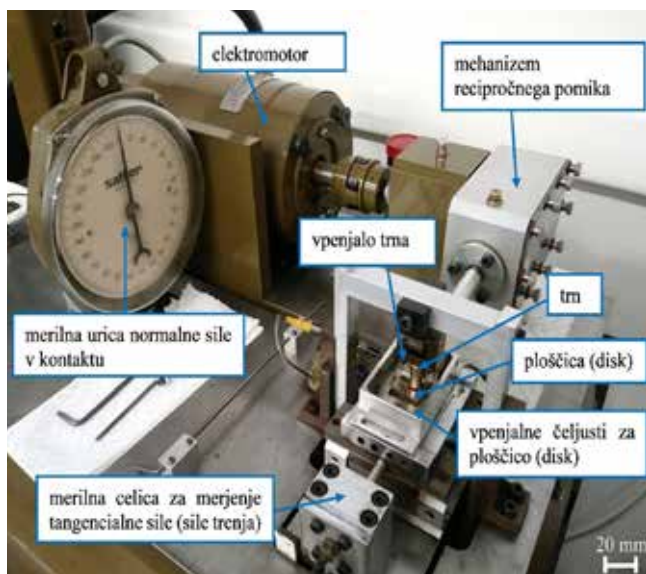
hitremu razvoju so mehanske in tribološke lastnosti 3D natisnjenih hidravličnih komponent, zlasti v vodni hidravliki, precej neraziskane. Zato smo se osredotočili na tribološke teste različnih materialnih parov, ki so bili kasneje uporabljeni kot krmilni bati in pa ohišja 3D natisnjenih ventilov, ki se uporabljajo v vodni hidravliki. V prispevku sta predstavljeni tudi zasnova in izvedba trajnostnega testa na treh obravnavanih ventilih.

2 Metodologija raziskave

2.1 Tribološki testi

Tribološke teste smo izvedli z metodo, imenovano trn proti disku, na drsnem recipročnem preizkuševališču, imenovanem CAMERON-PLINT – TE77 (*silika 1*). Frekvenca nihanja trna je bila 10 Hz. Pomik ročice je bil približno 2,5 mm, kar je pomik bata v drsniškem 4/3-potnem ventilu velikosti CETOP 3. V takšen velikostni razred sodijo tudi preizkušeni 3D natisnjeni ventili, ki jih obravnavamo v tej raziskavi. Testirali smo s konstantno pritisko normalno silo 65 N. Razlog za tako normalno silo je bil v želji, da bo obraba vidna tudi na materialu, ki bo obrabno najbolj odporen. Poleg tega je takšna normalna pritiska sila običajen rang pritisknih sil v tovrstnih ventilih, kar so ugotovitve tudi drugih raziskav in svetovne znanstvene literature.

Žan Spačal, študent., izr. prof. dr. Franc Majdič, univ. dipl. inž., prof. dr. Mitjan Kalin, univ. dipl. inž., dr. Ana Trajkovski, univ. dipl. inž., vsi Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo



Slika 1 : Postavitev trna in ploščice na tribometru CAMERON-PLINT - TE77



Slika 2 : Trni pred tribološkimi testi (Φ10 mm x 20 mm)

Diske smo izdelali iz staranega martenzitnega jekla 1, iz katerega je tudi ohišje ventila. To jeklo je bolj poznano s tržnim imenom »maraging jeklo 1« oz. MS1. To predstavlja ohišje ventila. Trne pa smo izdelali iz nitriranega jekla AISI440C, bronu CuAl10Fe3Mn2 in aluminija 6082, materialov, primernih za izdelavo krmilnih batov. Trni so bili pred tribološkim testom polirani in očiščeni v etanolu (*slika 2*). Osnovne mehanske lastnosti izbranih materialov so predstavljene v *preglednici 1*.

Tekom preizkusov smo merili trenutne vrednosti koeficienta trenja različnih materialnih parov v vodi in mineralnem hidravličnem olju. Na osnovi dimenzij obrabnih kalot in parametrov preizkusa smo tudi preračunali specifično obrabo materiala.

2.2 Izdelava krmilnih batov in dodelava elektromagnetov

Za krmilne bate smo uporabili enake materiale kot za trne tekom trajnostnega testa. Za prvi krmilni bat

smo izbrali nerjavno jeklo za kaljenje z oznako 1.4125 oz. x105CrMo17. Ta bat smo po izdelavi še nitrirali. Drugi bat je bil izdelan iz bronu 2.0936 oz. CuAl10Fe3Mn2. Zadnji, ki smo ga testirali, je bil izdelan iz aluminija z oznako AlSi1MgMn oz. 3.2315. Vse drsne površine batov smo po struženju še brusili. Krmilni bati pred testiranjem so prikazani na *sliki 3*.

Za potni ventil v vodni hidravliki so že bila razvita nerjavna elektromagnetna jedra, ki so v celoti odporna proti koroziji [2]. V okviru tega dela so bila obstoječa jedra dodelana za redno uporabo v standardnih hidravličnih potnih ventilih velikosti 3 po standardu CETOP. Posebna pozornost pri zasnovi je bila namenjena preprečevanju poškodb kotve in splošnemu zagotavljanju vzdržljivosti komponent v dolgotrajni uporabi. Da smo lahko dimenzionirali trde vzmeti, ki vračajo krmilni bat v nevtralno lego, smo morali pomeriti, kakšne potisne sile premorejo nerjavna jedra. Te smo pomerili s pomočjo merilne naprave s silomerom [3]. Na *sliki 4* je prikazan polovično sestavljen obravnavan ventil s testiranimi jedri.

Preglednica 1 : Mehanske lastnosti analiziranih materialov

Material	Gostota ρ [g/cm ³]	Modul elastičnosti E [GPa]	Natezna trdnost Rm [MPa]	Trdota [HV]
Trn				
AISI440C	7,67	200	760–1960	~ 695
CuAl10Fe3Mn2	7,6	120	560–690	~261
Al 6082	2,7	70	260	~132
Disk				
MS1	8–8,1	180	2080	~460



Slika 3 : Izdelani drsniški krmilni bati (Φ 12 mm x 75 mm) po brušenju

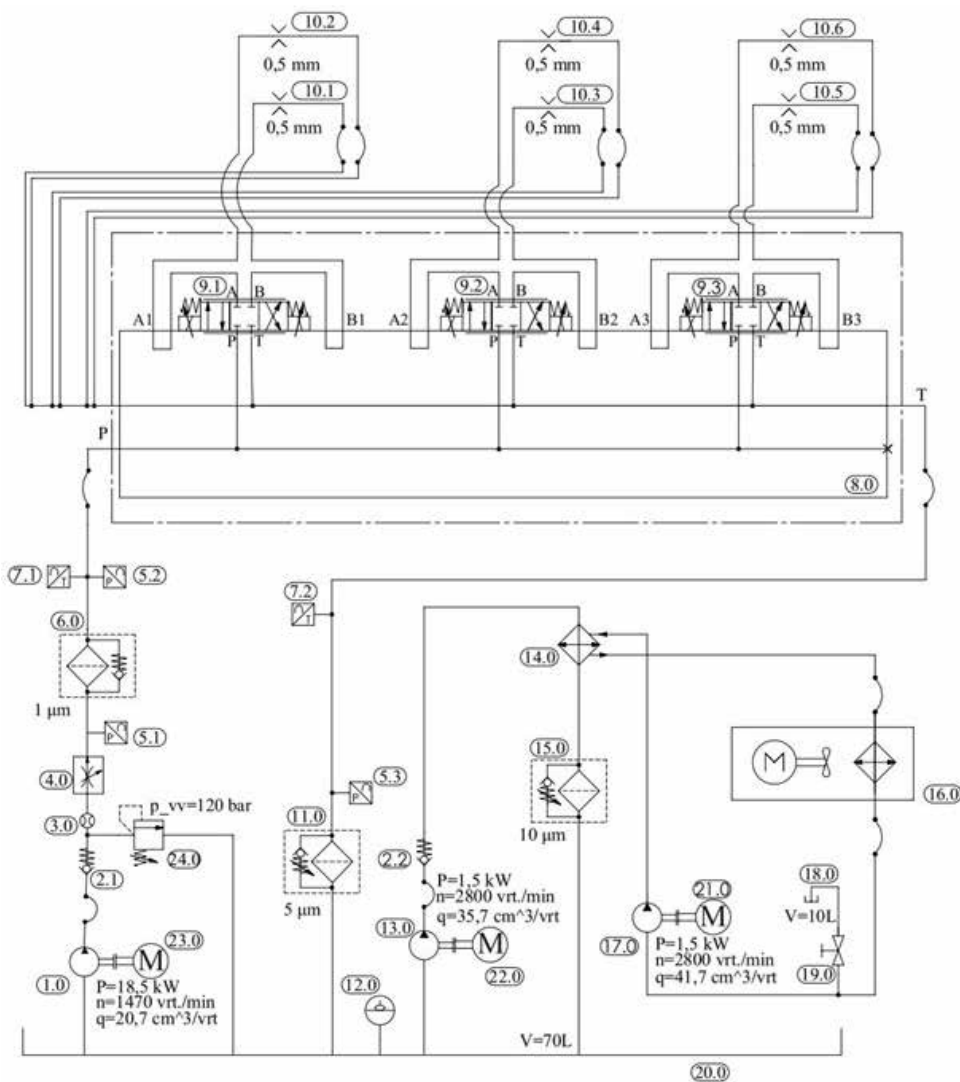
2.3 Izdelava preizkuševališča za izvedbo trajnostnega testa

Na *sliki 5* je prikazana hidravlična shema vodnega preizkuševališča, ki je bila uporabljena za izvedbo trajnostnega testa. Elektromotor (poz. 23.0) poga-

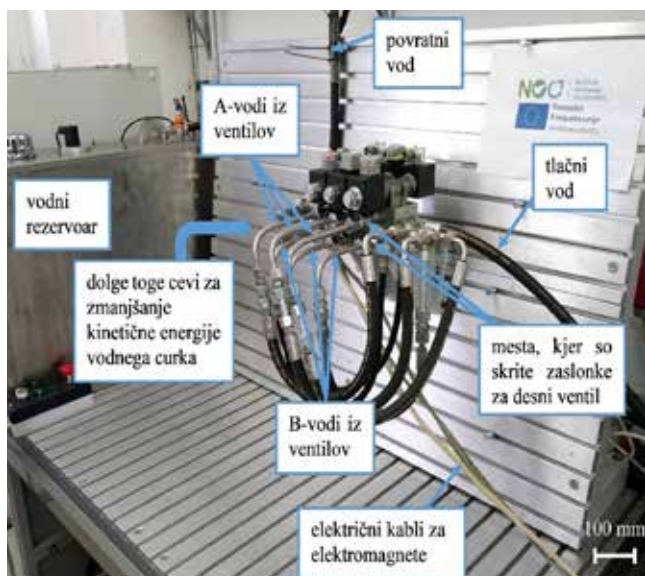


Slika 4 : Polovično sestavljen obravnavan potni ventil (258 mm x 55 mm x 45 mm)

nja visokotlačno črpalko (poz. 1.0), ki črpa vodo iz glavnega vodnega rezervoarja (poz. 20.0). Iz visokotlačne črpalke in skozi protipovratni ventil (poz. 2.1) voda teče skozi merilnik pretoka (poz. 3.0). Nato nadaljuje pot skozi nastavljen tokovni ventil s tlačno kompenzacijo (poz. 4.0). Temu sledi tlačni filter z nazivno prepustnostjo 1 µm (poz. 6.0). Po tlačnem filtru voda nadaljuje pot naprej v hidravlični blok (poz. 8.0), na katerega so pritrjeni trije 3D



Slika 5 : Hidravlična shema vodno-hidravličnega preizkuševališča (PKH) za izvajanje trajnostnega testa



Slika 6 : Postavitev hidravličnega bloka s tremi testiranimi ventili za trajnostni test

natisnjeni proporcionalni hidravlični ventili (poz. 9.1, 9.2 in 9.3), na katerih smo izvajali trajnostni test. Iz P-voda teče voda naprej ali na A- ali B-vod posameznega ventila (odvisno od pozicije preklopa ventila). Nato voda izteka iz ventila in nadaljuje pot do zaslonk (poz. 10.1, 10.2, 10.3, 10.4, 10.5 in 10.6), ki povzročajo obremenitev v hidravličnem sistemu. Od tu naprej voda potuje naprej v skupni povratni T-vod, od koder teče preko 5-mikrometrskega povratnega filtra (poz. 11.0) nazaj v vodni rezervoar. Če bi tlak v hidravličnem sistemu narasel preko nastavljenih 150 bar, bi voda stekla preko varnostnega ventila (poz. 24.0) nazaj v rezervoar.

Poleg teh komponent sta na preizkuševališču še dve črpalki, ki skrbita za uravnavanje ustrezne temperature vode v rezervoarju. Črpalka (poz. 13.0) je gnana preko elektromotorja (poz. 22.0) in črpa vodo iz glavnega rezervoarja v izmenjevalnik toplote (poz. 14.0). Preko izmenjevalnika toplote teče voda skozi 10-mikrometrski filter (poz. 15.0) nazaj v glavni rezervoar. V hladilniku je hladilno sredstvo glikol. To potiska črpalka (poz. 17.0), ki je gnana preko elektromotorja (poz. 21.0). Glikol se hladi preko zunanjega izmenjevalnika toplote (poz. 16.0). Ima tudi svoj manjši rezervoar (poz. 18.0). Ta služi zagotovi črpalke (poz. 17.0), ker mora biti ta zalita s kapljevino pred začetkom obratovanja. Dovod glikola do črpalke pa omogočimo preko ventila (poz. 19.0). V hidravličnem sistemu so nameščeni še merilniki tlaka (poz. 5.1, 5.2 in 5.3) in merilnika temperature (poz. 7.1 in 7.2) ter nivojsko stikalo (poz. 12.0).

Na vodno preizkuševališče (slika 6) smo na konzolni nosilec postavili hidravlični blok, na katerega smo pritrčili obravnavane ventile. Na hidravlični blok je na desni strani preko gibke cevi pritrjen skupni tlačni vod. Na levi strani bloka pa je pritrjen skupni povratni vod. Vsi priključki na hidravlični blok in priključki na hidravličnih ceveh so izdelani iz ner

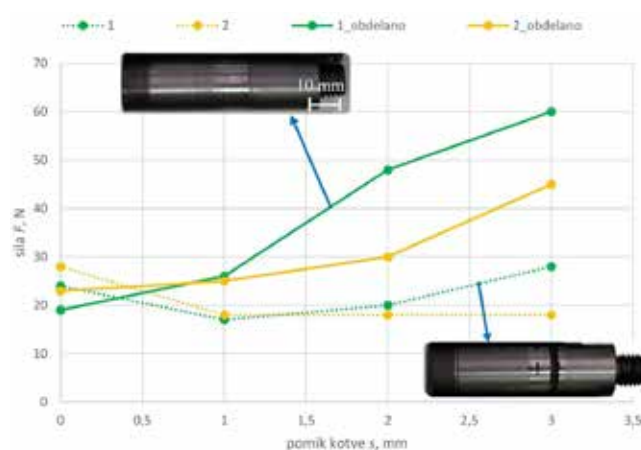
javnega jekla. Tudi vse toge cevi so bile izdelane iz nerjavnega jekla.

Preizkuševališče deluje tako, da se vsi trije ventili preklaplajo hkrati. Za izvajanje trajnostnega testa smo uporabljali tlak varnostnega ventila 150 bar. Termostat vode v rezervoarju je bil nastavljen na 50 °C. Postavitev za trajnostni test v laboratoriju je prikazana na sliki 6.

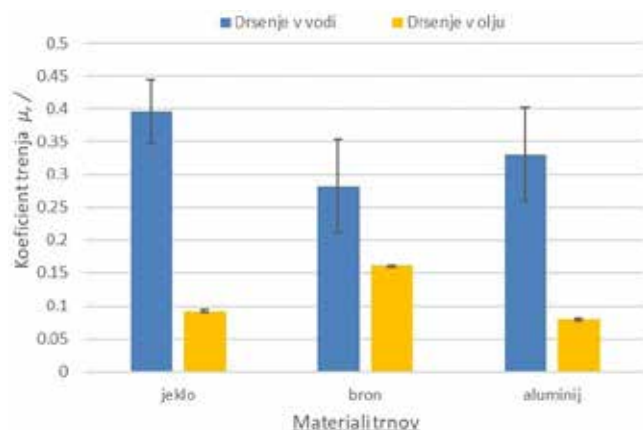
3 Rezultati

3.1 Potisne sile elektromagnetov

Izmerjene potisne sile elektromagnetov (EM) v odvisnosti od pomika kotve so prikazane na sliki 7 (primer dveh jeder; 1 in 2). Pri merjenju potisnih sil elektromagnetov smo opazili, da je zelo pomembno, kako hrapavo je ohišje jedra elektromagneta. Ker so bila jedra namenjena vodni hidravliki, so bila izdelana iz dveh različnih nerjavnih jekel. Nerjavno jedro je bilo magnetno. Le na sredini je imelo nemagnetni kolobar. Med njim sta bila laserska vara. S tako kombinacijo se ustvari ustrezne magnetne silnice, ki potisnejo kotvo v jedru [2]. Pri dveh jedrih je po struženju ostal precej velik kanal. Ta jedra nikakor niso dala dovolj velike potisne sile elektromagneta. To lahko vidimo iz meritev jeder 1 in 2 (slika 7). Zato smo si postavili vprašanje, ali je to zaradi utorov, ki so nastali pri slabi zavaritvi. S tem namenom smo uture na jedrih naknadno povarili. Nato smo zunanji del jedra postružili, da je postala zunanja površina jedra gladka. Po opravljeni meritvi sile obdelanega elektromagneta smo ugotovili, da je bil predhodni vzrok za majhno potisno silo v tem, da so imela jedra uture, na katerih so se magnetne silnice verjetno uklanjale in tako tuljava ni mogla doseči dovolj velike potisne sile kotve. Izboljšanje karakteristike jeder je s polno črto prikazano na sliki 7. Na tej sliki sta prikazani tudi jedra tako pred varjenjem, ko je jedro imelo uture, kot po obdelavi, ko je bilo jedro povarjeno in postruženo.



Slika 7 : Povečanje potisne sile jeder po obdelavi



Slika 8 : Izmerjene povprečne vrednosti koeficientov trenja za različne materiale trnov

3.2 Tribološki testi

Koeficienti trenja so bili izmerjeni za različne materiale trnov. Poleg vode smo za drsni medij uporabili še mineralno hidravlično olje ISO-VG 46, da bi lahko primerjali razliko med obrabo v vodi in v olju. Povprečne ustaljene vrednosti koeficientov trenja so prikazane na *sliki 8*.

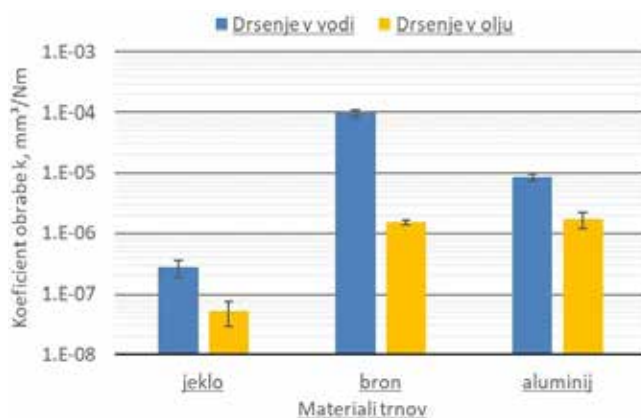
Iz rezultatov je razvidno, da je imel trn iz brona najnižji koeficient trenja v vodi, vendar najvišji v olju. Povprečne vrednosti koeficientov trenja so prikazane na *sliki 8*. S tem testom se je bron izkazal za material z najboljšimi lastnostmi za vodno hidravliko zaradi nizkega koeficienta trenja v vodi.

Meritve volumna obrabe trnov smo prav tako izvedli za trne, ki so drsili v vodi in olju. Rezultati meritev, prikazani na *sliki 9*, kažejo, da je imel trn iz brona največjo obrabo v vodi, medtem ko je imel trn iz nitriranega jekla najmanjšo obrabo. Obraba aluminijastih trnov in trnov iz brona je bila znatno večja v vodi kot v olju.

3.3 Trajnostni test in meritve notranjega puščanja na ventilih

Med trajnostnim testom se je pojavila težava: ohišja, ki so bila izdelana iz staranega martenzitnega jekla 1, so rjavela. Zaradi rjavenja so se krmilni bati v ventilu zatikali. Zato smo morali ventile redno razstavljati in čistiti. S tem se pojavi vprašanje, koliko preklonov so zares naredili krmilni bati, ker so se nekateri zatakali veliko prej kot drugi. Poleg tega vzroka menimo, da je zatikanje batov lahko posledica različnih temperaturnih raztezkov med materialom ohišja in materiali krmilnih batov. Zaradi omenjenega lahko pride do zmanjšanja reže, ki je potrebna za nemoteno drsenje bata v ohišju.

Trajnostni test se je izvajal do 4,213.220 preklonnih ciklov krmilnih batov. En preklonni cikl pomeni iz ničelnega položaja preklapljen krmilni bat v prvi



Slika 9 : Koeficienti obrabe trnov, ki so drsili v vodi in olju

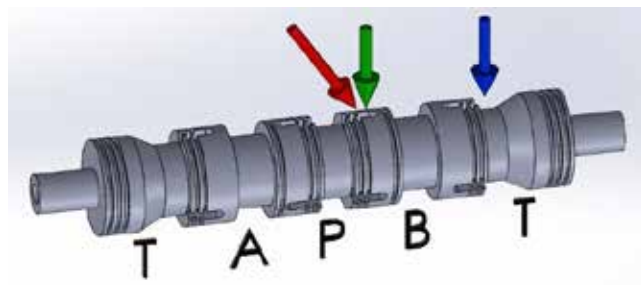
delovni (vzporedni) položaj, nato sledi preklon preko ničelnega v drugi delovni (križni) položaj ter vračanje krmilnega bata nazaj v ničelni (sredinski) položaj. Med potekom smo test štirikrat prekinili in pomerili notranje puščanje na ventilih. Kot lahko vidimo na *sliki 10*, se je daleč največ povečalo notranje puščanje na ventilu, ki je imel krmilni bat izdelan iz aluminija. Povečalo se je za 6.940 ml (6,94 l/min). Najmanj se je puščanje povečalo na krmilnem batu iz brona. Po koncu testa se je povečalo le za 11 ml/min. Na batu iz jekla pa se je notranje puščanje povečalo za 172 ml/min.

3.4 Stanje površin krmilnih batov

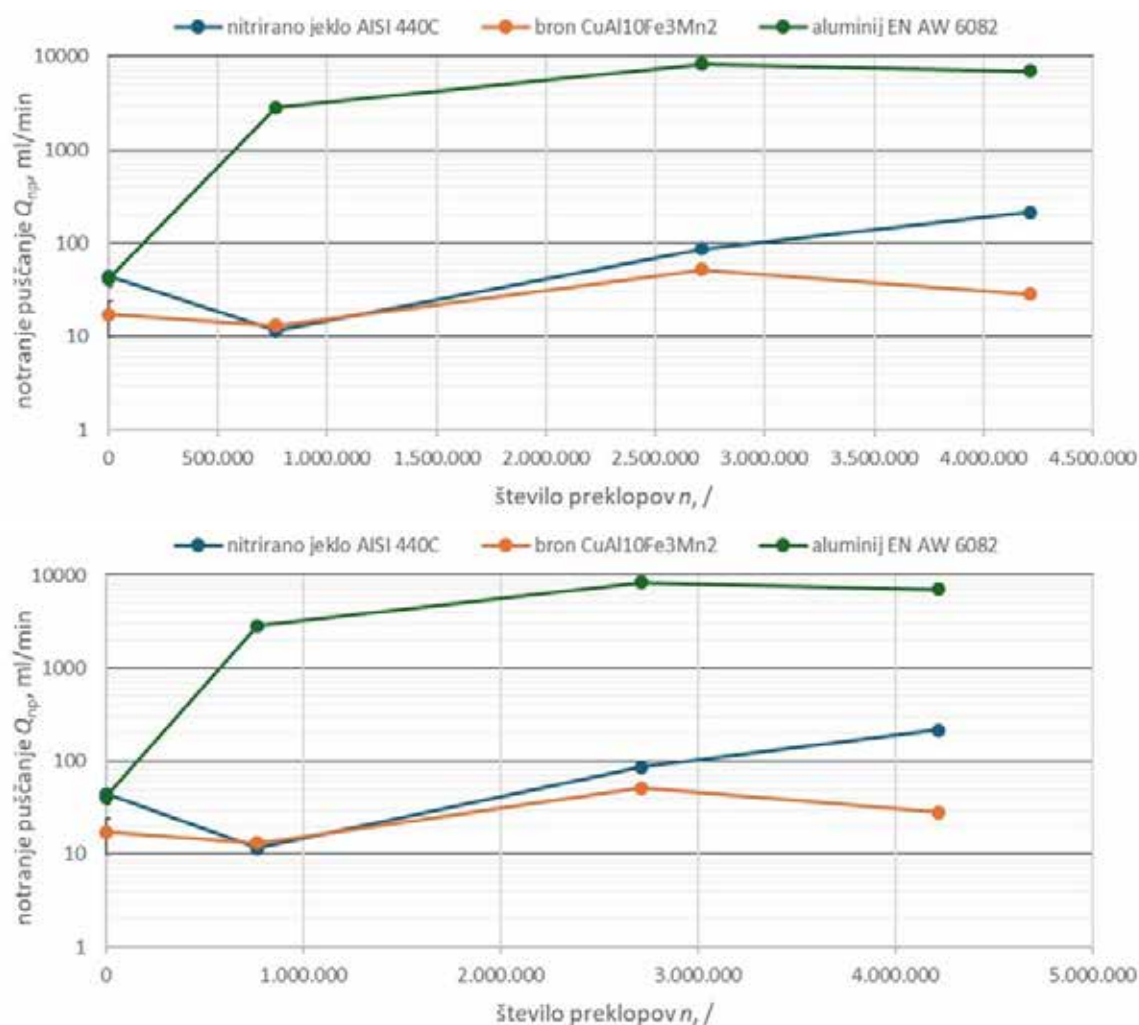
Pogledi, pod katerimi smo opazovali krmilne bate pod mikroskopom, so s puščicami označeni na *sliki 11*.

Pred začetkom trajnostnega testa smo pod mikroskopom pogledali stanje površin, da bi lahko po trajnostnem testu lažje ovrednotili obrabo na krmilnih zarezah batov. Opazili smo, da so bili robovi in zareze na batih pred testom precej ostri in enakomerno brušeni, kar je prikazano na *sliki 12*. Ta pogled prikazuje rdeča puščica na *sliki 11*.

Robovi in krmilne zareze po trajnostnem testu so prikazani na *sliki 13*. Če jih primerjamo s sliko pred



Slika 11: Pogledi preučevanih površin na krmilnih batih, označeni s puščicami različnih barv

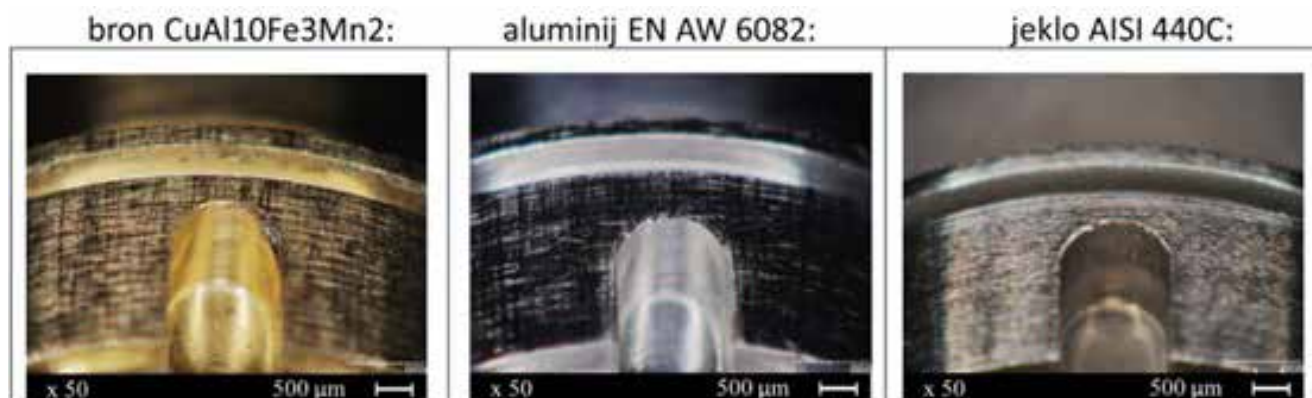


Slika 10 : Izmerjeno notranje puščanje v odvisnosti od števila opravljenih preklpnih ciklov ventilov s tlakom na P-vodu med izvedbo in po izvedbi trajnostnega testa treh ventilov

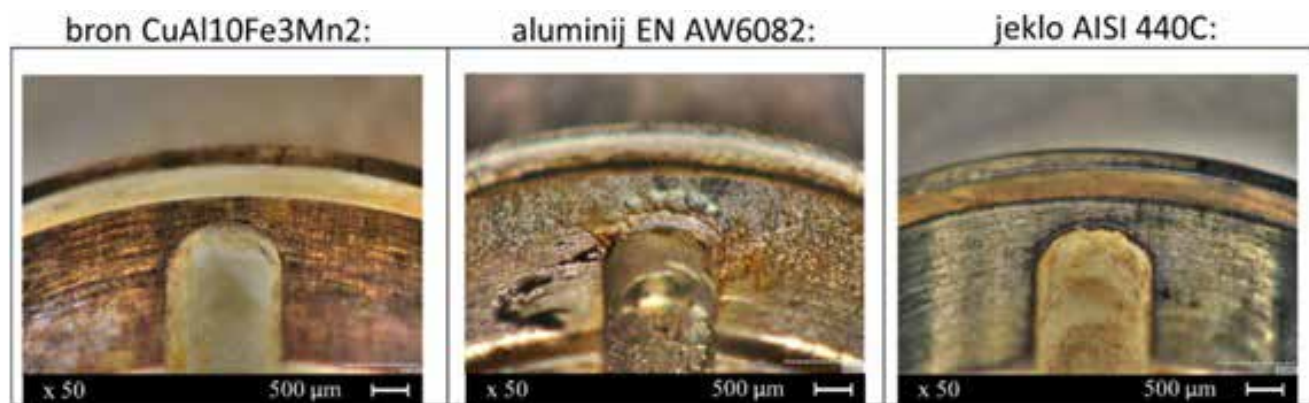
trajnostnim testom (slika 12), lahko rečemo, da so krmilne zareze na batu iz brona in jekla le malo bolj obrabljene kot na začetku. Površina bata sicer ni bila več tako svetleča, a ostrina krmilnih robov se je ohranila. Tega pa ne moremo reči za krmilni bat iz aluminija, na katerem se je zelo jasno videla obraba na robu krmilne zareze (slika 13 na sredini). Na kr-

milni zarezi bata je najverjetneje prišlo do erozijske obrabe, ker je voda, ko je pod visokim tlakom tekla čez zarezo, hkrati odnašala še material z bata.

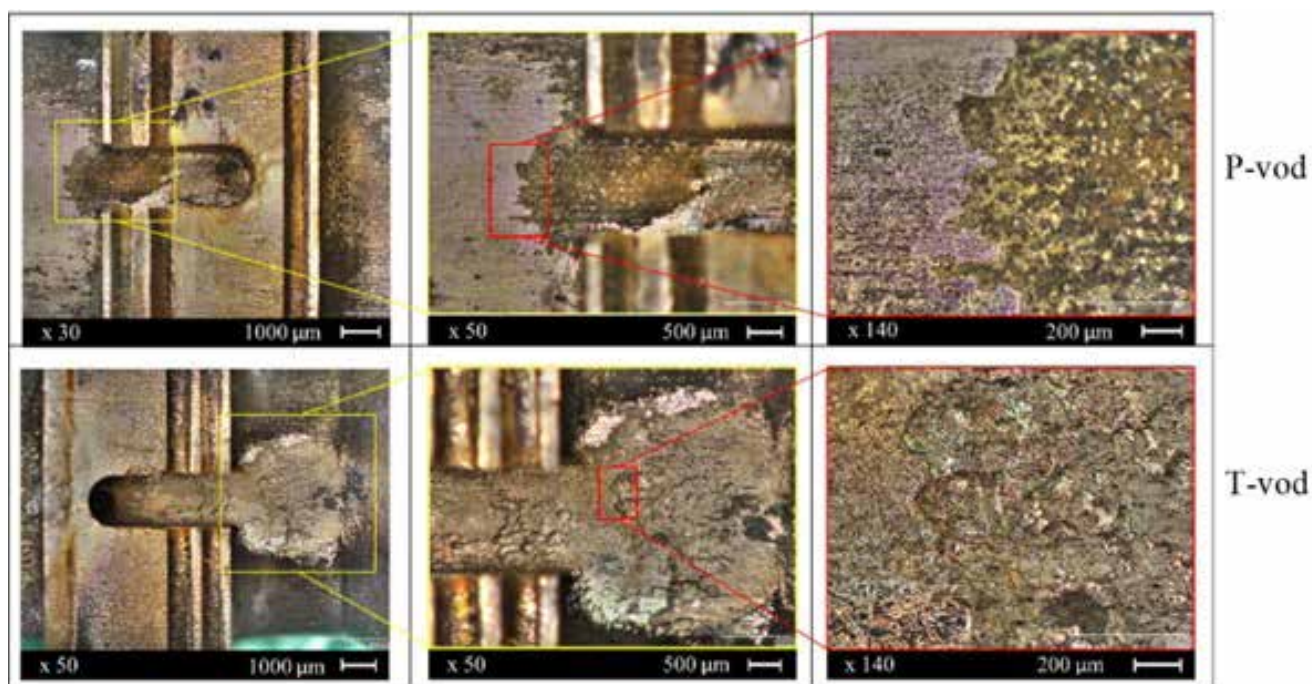
Na sliki 14 je še dodatno prikazana obraba na aluminijastem krmilnem batu. Krmilno zarezo na P-vodu prikazuje zelena puščica (slika 11). Krmilno zarezo



Slika 12: Krmilne zareze na batih pred trajnostnim testom



Slika 13: Obraba krmilnih zarez batov na strani P-voda po izvedenem trajnostnem testu



Slika 14: Obraba na aluminijastem krmilnem batu

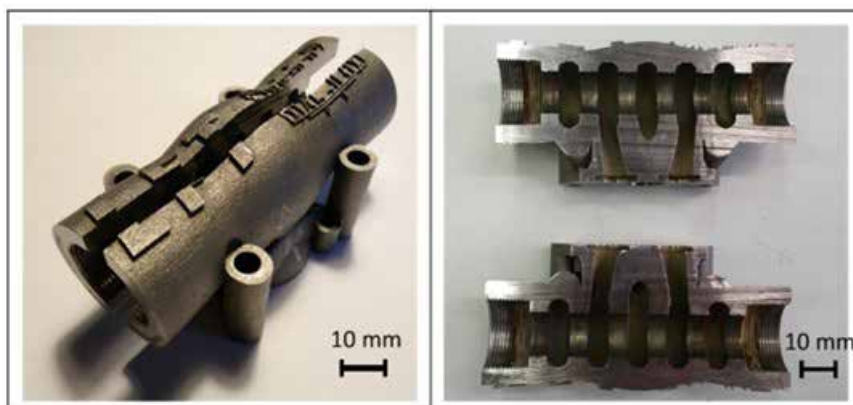
na T-vodu pa modra puščica s *slike 11*. Težko bi presodili mehanizem obrabe na *sliki 14*, ker se pri večjih povečavah ni jasno videlo stanja površine. Lahko pa sklepamo, da sta bili na teh mestih delno prisotni erozija in kavitacija, ker je na površini bata vidno luščenje aluminija, ki je značilno za utrujanje materiala. Utrujenje se je verjetno zgodilo zaradi nenehnih tlačnih sunkov, ki nastanejo med udarjanjem kapljevine na površino zaradi erozije in kavitacije.

3.5 Stanje površin ohišja

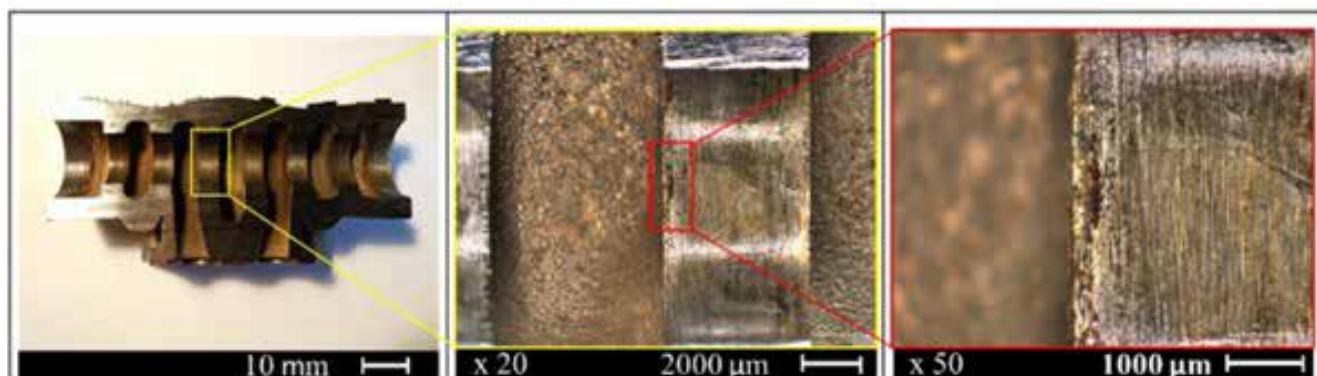
Da bi lahko analizirali obrabo na ohišju ventila, smo se odločili, da

bomo eno ohišje po dolžini prerezali. Izbrali smo ohišje, v katerem je med trajnostnim testom

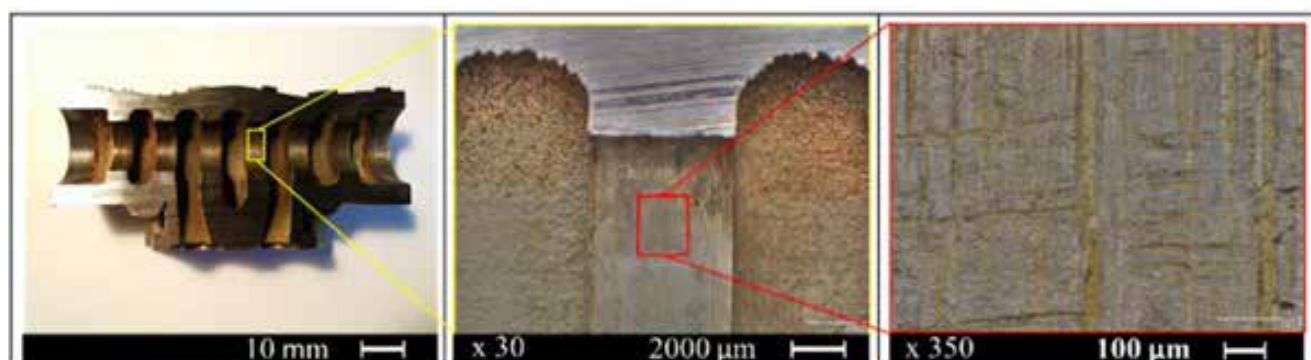
preklapljal aluminijast bat. Na *sliki 15* je prikazano prerezano ohišje ventila.



Slika 15: Rjavenje ohišja med trajnostnim testom



Slika 16: Obraba na robu kolobarja znotraj ohišja ventila



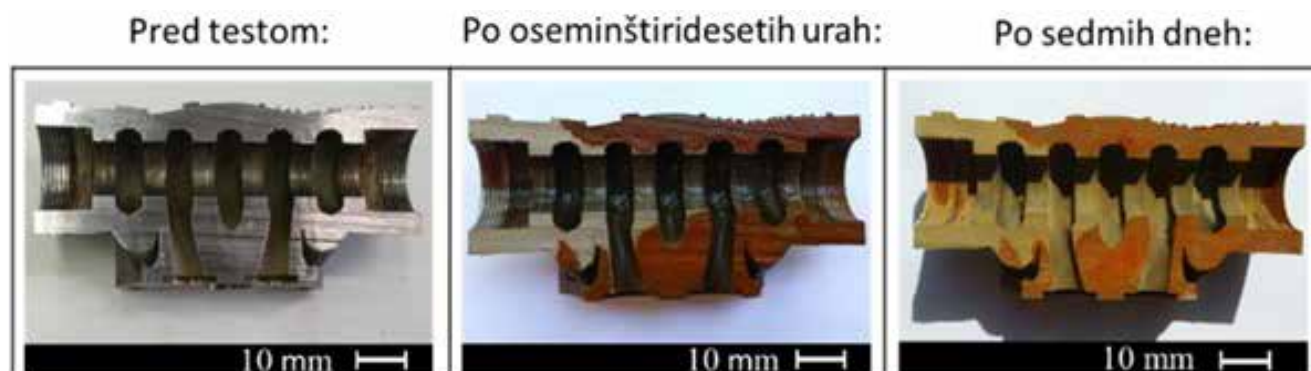
Slika 17: Abrazijska obraba na ohišju ventila

Obrabo na kolobarju ohišja med vodi P in A oz. B lahko opazimo na *sliki 16*. Tukaj je najverjetneje šlo za erozijsko obrabo roba ohišja. Na *sliki 17* pa je vidna abrazijska obraba na ohišju ventila. Ta je lahko nastala zaradi samega drsenja bata ob ohišje, še večja verjetnost pa je, da je kakšen trd delec drsel med ohišjem in batom, ko se je izvajal trajnostni test oz. ko smo razstavljali zataknjene bate iz ohišij.

3.6 Spremljanje rjavenja ohišja

Kot smo že omenili, smo se med izvajanjem trajnostnega testa soočili s težavami rjavenja ohišja iz

martenzitnega jekla (MS1), ki je pripomoglo k zatikanju batov. Zato smo izvedli dodaten enostaven test, da bi preverili, v kolikšni meri je ohišje res nerjavno. Najprej smo razrezano ohišje očistili. Po čiščenju rja sploh ni bila več tako izrazita. Nato smo ohišje potopili v vodo iz pipe. Že po nekaj urah so se pojavili prvi znaki rje, po 48 urah je rja že močno napredovala, vendar se po sedmih dneh ni več bistveno razširila. To pripisujemo dejstvu, da je ohišje izdelano iz 3D natisnjenega martenzitnega jekla. To sicer vsebuje nikelj, vendar ne vsebuje kroma, ki je glavni element za preprečevanje rjavenja. Če jeklo ne vsebuje vsaj 11 % kroma, ne bo povsod nerjavno, ker se na površini ne tvori dovolj velik zaščitni



Slika 18: Spremljanje rjavenja razrezanega ohišja ventila pri namakanju v vodo

oksidni film Cr_3O_3 , ki preprečuje rjavenje [4]. Na stale spremembe ohišja, potopljenega v vodo, so razvidne s *slike 18*.

4 Zaključki

Spoznali smo, da je za ustrezno potisno silo elektromagnetov zelo pomembno, da je površina jeder čim bolj gladka. Dokazali smo, da ima najnižji koeficient trenja med drsenjem v vodi bron, najmanjši obrabni volumen pa nitrirano nerjavno jeklo, ki je imelo tudi največjo trdoto. S spremljanjem notranjega puščanja med trajnostnim testom smo ugotovili, da se je notranje puščanje najbolj povečalo na ventilu, ki je imel aluminijast krmilni bat, najmanj pa na ventilu s krmilnim batom iz brona. Ugotovili smo, da 3D natisnjeno starano martenzitno jeklo 1 ni popolnoma nerjavno in ob izpostavljenosti vodi iz vodovoda rjavi.

Čeprav so se krmilni bati med testiranjem zatikali, verjamemo, da bi to težavo zlahka odpravili z manjšimi prilagoditvami in zamenjavo materiala ohišja ventila. Prepričani smo, da imajo 3D natisnjeni ventili za vodno hidravliko velik potencial za uspešno uporabo v prihodnosti. Z uporabo alternativnih materialov pa smo dokazali, da obstajajo tudi alternativni materiali za izdelavo krmilnih batov. Nekateri alternativni materiali so celo boljši od klasičnih materialov, ki se uporabljajo za serijsko izdelane krmilne bate.

Literatura

- [1] J. Bartolj: Razvoj 4/3 proporcionalnega potnega ventila za izdelavo s postopkom 3D tiska kovin: diplomsko delo Visokošolskega strokovnega študijskega programa I. stopnje Strojništvo, [J. Bartolj], Ljubljana, 2022. [Na spletu]. Dostopno na: <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=134346>.
- [2] M. Omejc: Razvoj proporcionalnega elektromagneta za vodno hidravliko: zaključna naloga. Ljubljana, junij 2018.
- [3] S. Cvijanović: Nov vodno-hidravlični proporcionalni potni ventil. Diplomsko delo visokošolskega strokovnega študijskega programa I. stopnje Strojništvo, 2017.
- [4] D. R. Askeland: The Science and Engineering of Materials, 6th ed. London: Chapman & Hall, 2011. na T-vodu pa modra puščica s *slike 11*. Težko bi presodili mehanizem obrabe na *sliki 14*, ker se pri večjih povečavah ni jasno videlo stanja površine. Lahko pa sklepamo, da sta bili na teh mestih delno prisotni erozija in kavitacija, ker je na površini bata vidno luščenje aluminija, ki je značilno za utrujanje materiala. Utrujenje se je verjetno zgodilo zaradi nenehnih tlačnih sunkov, ki nastanejo med udarjanjem kapljevine na površino zaradi erozije in kavitacije.

Durability tests of 3D printed water-hydraulic proportional directional control valves

Abstract:

Despite the fact that water is rarely used in power-control hydraulics (PCH), advanced technologies such as 3D printing of metal components are opening new possibilities for the wider adoption of water PCH. With metal 3D printing, valve mass can be significantly reduced while improving flow characteristics, thanks to the ability to produce complex internal geometries not achievable with traditional methods. In this study, we designed and tested a spool valve produced using 3D printing and explored new materials for control pistons, which are crucial for the operation of water-hydraulic systems. Tribological tests allowed us to examine various material pairs and measure friction and wear coefficients, helping us identify the most suitable materials for use in water hydraulics. Additionally, we developed a testing rig for durability testing of valves, which allowed us to evaluate their longevity and reliability under real operating conditions. Our research opens new avenues for the development of improved water-hydraulic systems, contributing to the advancement of this rarely used but potentially significant technology.

Keywords:

water hydraulics, durability tests, tribological tests, internal leakage, wear, proportional valve, metal 3D printing



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

IZVEDBA STRATEGIJE VODENJA ZA ZMANJŠANJE IZGUB V SINHRONSKIH STROJIH Z NOTRANJIMI TRAJNIMI MAGNETI

Jernej Černelič, Martin Petrun

Izvilleček:

V pogonih, ki zahtevajo zelo visok izkoristek je najpogosteje uporabljen sinhronski stroj s trajnimi magneti (SSTM). Visok izkoristek dosežemo z optimizacijo zgradbe SSTM ter z ustrezno strategijo vektorskega vodenja, ki stroj vodi v delovnih točkah z najmanjšimi izgubami. Pri tem je najpogosteje uporabljena strategija, ki zagotavlja maksimalni navor na amplitudo statorskega toka (angl. Maximum Torque Per Ampere – MTPA). V tem prispevku so podane osnove strategije vodenja MTPA ter primerjane različne aproksimacije krivulj MTPA in njihov vpliv na jouske izgube v SSTM.

Ključne besede:

sinhronski stroj z notranjimi trajnimi magneti (SSTM), maksimalen navor na amplitudo statorskega toka (MTPA), minimizacija izgub

1 Uvod

Uporaba sinhronskih strojev s trajnimi magneti (SSTM) je dandanes zelo razširjena zaradi zelo visokega izkoristka, velike gostote moči, velikega zagonskega momenta ter zelo majhnih stroškov vzdrževanja [1], [2]. V fluidni tehniki se SSTM najpogosteje uporabljajo za pogone črpalk, pri katerih je zahtevana katera od prej naštetih lastnosti [3]–[6]. Pri tem so lahko nazivne moči pogonov črpalk s SSTM od 30 % do 40 % manjše v primerjavi z enostavnimi pogoni črpalk z asinhronskimi motorji zaradi večjega zagonskega momenta pogona s SSTM [6].

Visok izkoristek pogona črpalke lahko dosežemo z optimizacijo konstrukcije SSTM ali pa z izvedbo naprednega vodenja SSTM. Za SSTM se najpogosteje uporablja vodenje v orientaciji magnetnega sklepa trajnega magneti (angl. Field-Oriented Control – FOC), ki temelji na dvoosnem (t. i. dq) modelu SSTM [7], ki je opisan v nadaljevanju. Za ustrezno vodenje pretoka črpalke moramo FOC nadgraditi v kaskadno regulacijsko zgradbo in dodati še regulator hitrosti. Izhod iz regulatorja hitrosti je v večini primerov referenca statorskega toka SSTM, ki se na podlagi izbrane strategije vodenja uporabi za no-

tranji tokovni regulacijski zanki. V splošnem se za FOC lahko uporabljajo različne strategije, ki skrbijo, da se referenca toka iz regulatorja hitrosti razdeli na komponento »d« in »q« tako, da SSTM vedno razvije želeno vrednost navora z najvišjim možnim izkoristkom (ang. maximum efficiency per torque) [8]–[10]. Z ustrezno izbiro statorskega toka je namreč mogoče vplivati tako na jouske izgube v navitjih kot tudi na izgube v železnem jedru SSTM.

Ker pri SSTM v večini primerov prevladujejo izgube v navitjih, ki so odvisne predvsem od velikosti statorskega toka, se pogosteje uporabljajo strategije vodenja, ki minimizirajo te izgube in posledično zagotavljajo maksimalen navor na amplitudo statorskega toka (angl. Maximum Torque Per Ampere – MTPA) [11]. Izvedbe strategij MTPA lahko minimalen statorski tok izračunajo na podlagi podanih parametrov oziroma karakteristik SSTM ali pa med obratovanjem statorskemu toku dodajajo signale, ki vplivajo na generiran navor SSTM [11]. Posledično ti pristopi ne potrebujejo parametrov SSTM. Sprememba parametrov SSTM namreč vpliva na generirani navor, kar pa vpliva na delovno točko MTPA. Med obratovanjem se najbolj spreminjajo induktivnosti v odvisnosti od statorskega toka zaradi nasičenja železnega jedra SSTM, kar je še posebej izrazito pri strojih s koncentriranimi navitji. Parametri SSTM se s časom lahko spremenijo tudi zaradi temperature ali zaradi delne demagnetizacije trajnih magnetov [12], [13]. Pri tem temperatura ne vpliva le na upornost navitij, ampak tudi na magnetni sklep trajnih magnetov. Vse to pa vpliva na navor,

Dr. Jernej Černelič, univ. dipl. inž., izr. prof. dr.
Martin Petrun, univ. dipl. inž., oba Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko

ki ga razvije SSTM in s tem tudi na potek krivulje MTPA, ki opisuje razdelitev toka na komponente za vse amplitude toka.

V tem prispevku je predstavljena primerjava različnih pristopov aproksimacije krivulj MTPA, zato je v 2. poglavju predstavljen model SSTM, v 3. poglavju so predstavljene različne aproksimacije krivulj MTPA, v 4. poglavju pa so zbrani rezultati numeričnih primerjav vodenja z različnimi analiziranimi krivuljami MTPA.

2 Model sinhronskega stroja s trajnimi magneti

Za izračun krivulj MTPA se najpogosteje uporablja poenostavljen model SSTM v rotirajočem koordinatnem sistemu dq, saj položaj rotorja in medsebojne magnetne povezanosti osi nimajo velikega vpliva na povprečno vrednost navora, ki ga generira SSTM [14]. Napetostni enačbi poenostavljenega modela SSTM sta podani z (1) in (2),

$$U_d = R_s I_d + L_{di} \frac{dI_d}{dt} - p \omega_m L_{qn} I_q \quad (1)$$

$$U_q = R_s I_q + L_{qi} \frac{dI_q}{dt} + p \omega_m (\Psi_m + L_{dn} I_d) \quad (2)$$

kjer je R_s upornost statorskega navitja, L_{di} inkrementalna induktivnost v d-osi, L_{qi} inkrementalna induktivnost v q-osi, L_{dn} navidezna induktivnost v d-osi, L_{qn} navidezna induktivnost v q-osi, p število polovih parov, Ψ_m magnetni sklep trajnega magneta, I_d in I_q sta toka v osi d in osi q, ω_m pa je mehanska kotna hitrost rotorja. Pri tem je pomembno poudariti, da so zaradi nelinearnih lastnosti železnega jedra stroja vse induktivnosti in magnetni sklep trajnega magneta v splošnem močno odvisni od komponent statorskega toka I_d in I_q . Te nelinearne odvisnosti so v (1) in (2) najpogosteje upoštevane numerično z uporabo tabel, ki se izračunajo na podlagi podatkov elektromagnetnega izračuna SSTM z metodo končnih elementov (MKE) ali pa iz podatkov meritev SSTM [15].

Na podlagi napetostnih enačb lahko izpeljemo navorno enačbo (3), ki je sestavljena iz dveh komponent navora. Prva komponenta navora M_s predstavlja sinhronski navor in je odvisna predvsem od magnetnega sklepa trajnega magneta in toka v osi q. Druga komponenta pa predstavlja reluktančni navor M_r , ki je zelo nelinearen in je posledica različnih navidezni induktivnosti v oseh d in q, kar je v splošnem značilno za sinhronske stroje s potopljenimi trajnimi magneti ter za reluktančne stroje [11].

$$\begin{aligned} M &= M_s + M_r = \frac{3}{2} p \Psi_m I_q + \frac{3}{2} p (L_{dn} - L_{qn}) I_d I_q \\ &= \frac{3}{2} p (\Psi_m I_q + (L_{dn} - L_{qn}) I_d I_q) \end{aligned} \quad (3)$$

3.1 Določanja krivulj MTPA

Iz prikazane odvisnosti navora v enačbi (3) je razvidno, da lahko izbrano vrednost navora dosežemo s teoretično neskončno kombinacijami komponent toka (I_d , I_q). Za vsako izbrano vrednost navora M pa obstaja le ena kombinacija toka (I_d , I_q), pri kateri SSTM generira izbrani navor z minimalnimi izgubami. Pri tem lahko z izbiro toka vplivamo na električne izgube SSTM, ki so sestavljene iz jouskih izgub v navitjih ter iz magnetilnih izgub v železnem jedru. Analitična rešitev tega optimizacijskega problema je predstavljena v [8] in zahteva tudi poznavanje lastnosti železnega paketa SSTM, ki pogosto niso znane in se med obratovanjem lahko tudi spreminjajo. Posledično se v praksi veliko pogosteje uporablja suboptimalna rešitev, ki minimizira le jouske izgube v navitjih tako, da izbrano vrednost navora generira z najmanjšo amplitudo statorskega toka, kar v splošnem poznamo kot strategijo vodenja MTPA. To obratovalno stanje SSTM pa lahko dosežemo z različnimi metodami.

Določitev krivulje MTPA predstavlja v splošnem optimizacijski problem. Ker so vrednosti navora v odvisnosti od toka $M(I_d, I_q)$ najpogosteje podane numerično v tabeli, optimizacijski problem zastavimo tako, da pri znani omejitvi amplitude statorskega toka I_s iščemo takšno kombinacijo komponent statorskega toka (I_d , I_q), pri kateri bo SSTM razvil želeni navor M^* . Optimizacijski problem formalno opišemo z enačbo (4).

$$\max_{\|I_d, I_q\| = I_s} M(I_d, I_q) = M^* \quad (4)$$

Če tako določimo optimalne kombinacije toka (I_d , I_q) za različne vrednosti M^* (in posledično različne vrednosti tokov I_s) in točke povežemo med seboj, dobimo t. i. krivuljo MTPA. Oblika te krivulje je odvisna od zasnove in lastnosti SSTM. Če ima sinhronski stroj trajne magnete nameščene na površini rotorja, je razlika v induktivnostih tako majhna, da se reluktančni navor pogosto zanemari in je krivulja MTPA kar navpična premica ($I_d = 0$). Pri sinhronskih strojih, ki imajo trajne magnete potopljene v železno jedro rotorja, je razlika v induktivnostih večja in stroj razvije tudi reluktančni navor. Oblika krivulje MTPA je odvisna od magnetne izraženosti in nasičenja železnega paketa. Čim bolj je rotor magnetno izražen, bolj je karakteristika ukrivljena in težje jo je opisati z matematično funkcijo. Posledično se takšne krivulje MTPA na mikrokrmilnikih najpogosteje izvedejo na podlagi numeričnih tabel, pridobljenih s predhodno numerično rešitvijo opisanega optimizacijskega problema (4).

3.2 Analitična aproksimacija

Krivuljo MTPA lahko teoretično določimo tudi analitično, če predpostavimo konstantne vrednosti pa-

rametrov SSTM in s tem zanemarimo nelinearnosti zaradi nelinearnih lastnosti železnega jedra. Tako lahko na podlagi enačbe (3) izpeljemo analitično določitev kombinacije komponent statorskega toka (I_d , I_q) za obratovanje MTPA [11], pri čemer komponento I_d izračunamo na podlagi enačbe (5),

$$I_d = \frac{\Psi_m - \sqrt{\Psi_m^2 + 8(L_{dn} - L_{qn})^2 I_s^2}}{4(L_{qn} - L_{dn})} \quad (5)$$

komponento I_q pa na podlagi enačbe (6).

$$I_q = \sqrt{I_s^2 - I_d^2} \quad (6)$$

Slabost te metode je zanemarjanje nelinearnih lastnosti, kar v splošnem privede do neoptimalnega obratovanja SSTM zaradi odstopanja med dejansko in aproksimirano krivuljo MTPA.

3.3 Numerična aproksimacija z matematičnimi funkcijami

3.3.1 Aproksimacija s kvadratno funkcijo

Avtorji v [8] so izračunane optimalne krivulje, ki so upoštevale tudi izgube v železu, aproksimirali s kvadratno funkcijo, saj je bila izpeljana rešitev preveč kompleksna za izvedbo v realnem času na digitalnem signalnem procesorju (DSP). Krivuljo MTPA lahko z numeričnimi metodami aproksimiramo s kvadratno funkcijo (7),

$$I_d = k_2 \cdot I_q^2 + k_1 \cdot I_q + k_0 \quad (7)$$

ki ji moramo določiti koeficiente k_0 , k_1 in k_2 . Pri tem za koeficient k_0 določimo kar vrednost 0, saj krivulja MTPA vedno izhaja iz koordinatnega izhodišča. Za izbiro preostalih dveh koeficientov k_1 in k_2 pa lahko uporabimo ustrezno metodo za numerično aproksimacijo krivulj. Enačba (7) je v splošnem za izvedbo v realnem času lahko uporabljena direktno, pri čemer predpostavimo, da komponenta I_q prevzame vlogo referenčne vrednosti, ki izhaja iz regulatorja hitrosti.

3.3.2 Aproksimacija z linearno funkcijo

Glede na obliko različnih krivulj MTPA, ki je najbolj podobna paraboli, bo aproksimacija linearne funkcije bolj odstopala od optimalne krivulje. Kljub temu se linearna aproksimacija pogosto uporablja na manjših odsekih nelinearnih funkcij zaradi preproste in računske nezahtevne izvedbe. Tako je bila linearna funkcija (8) aproksimirana na odseku karakteristike MTPA, ki je predstavljena v nadaljevanju.

$$I_d = k \cdot I_q + n \quad (8)$$

4 Rezultati

4.1 Parametri sinhronskega stroja z notranjimi trajnimi magneti

V *razpredelnici 1* so zbrani parametri obravnavanega sinhronskega stroja, pridobljeni iz podatkov dvodimenzionalnega (2D) elektromagnetnega izračuna z metodo končnih elementov v programskem paketu Ansys Maxwell. Pri tem so induktivnosti in magnetni sklep trajnega magneta določeni za delovno točko prostega teka. Na podlagi teh parametrov lahko po enačbi (9) ocenimo razmerje magnetne izraženosti rotorja s_r (angl. saliency ratio), ki je po vrednosti sicer majhno. Velikost magnetne izraženosti rotorja je sicer sorazmerna velikosti reliktančne komponente navora, pri čemer večje izraženosti v splošnem omogočajo predvsem večji izkoristek in večji navor na enoto toka.

$$s_r = \frac{L_{qn}}{L_{dn}} = 1,787 \quad (9)$$

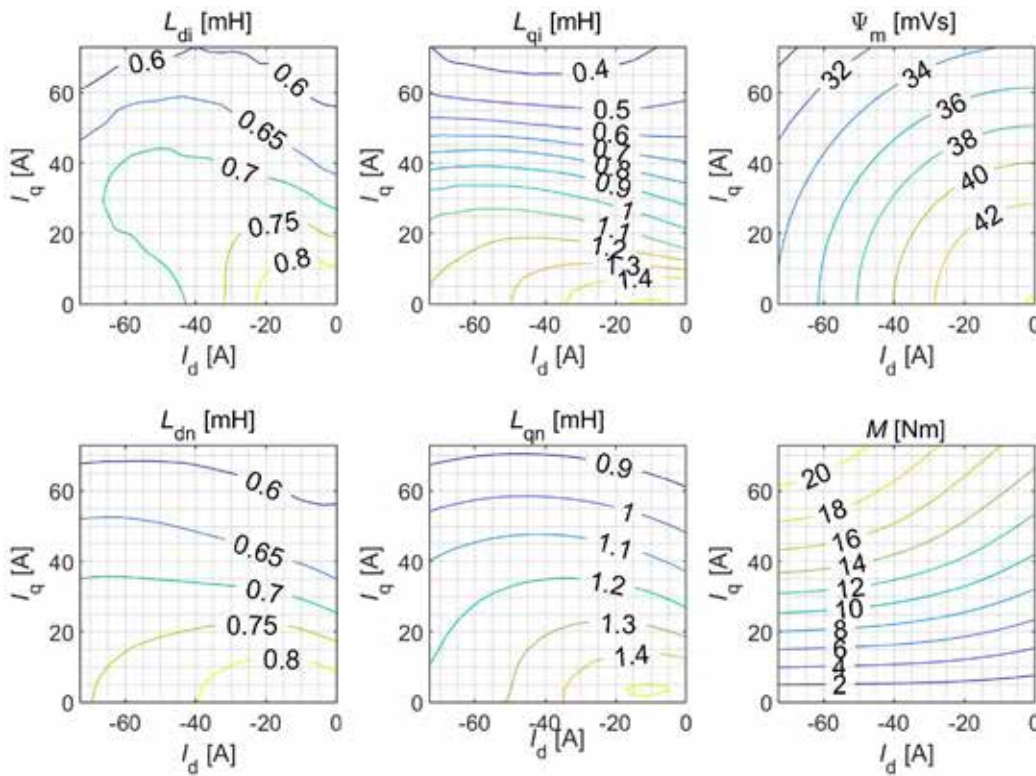
Razpredelnica 1: Parametri sinhronskega stroja z notranjimi trajnimi magneti

Parameter	Vrednost
Število polovih parov p	4
Statorska upornost R_s [mΩ]	156,7
Magnetni sklep trajnega magneta Ψ_m [mVs]	44,02
Navidezna induktivnost v d-osi L_{dn} [mH]	0,8148
Navidezna induktivnost v q-osi L_{qn} [mH]	1,456

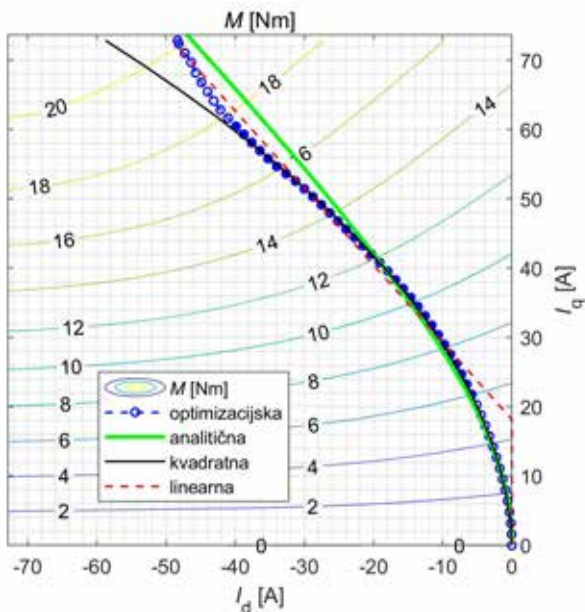
Na *sliki 1* so prikazane odvisnosti induktivnosti, magnetnega sklepa trajnega magneta in navora od statorskega toka I_d in I_q , pridobljene iz elektromagnetnega izračuna z MKE. Numerični rezultati na *sliki 1* potrjujejo izrazito nelinearne lastnosti obravnavanega stroja, pri čemer je razvidno tudi, da je izbrano vrednost navora res mogoče doseči z različnimi kombinacijami komponent I_d in I_q . Na podlagi predstavljenih numeričnih rezultatov smo izvedli aproksimacijo krivulj MTPA z opisanimi metodami.

4.2 Numerična aproksimacija krivulj MTPA

Na *sliki 2* so prikazane plastnice navora in krivulje MTPA, ki so bile določene po opisanih metodah. Rešitev optimizacijskega problema enačbe (4) je bila izvedena na numeričnih podatkih s funkcijo `fmincon` v programskem okolju Matlab. Ta funkcija omogoča reševanje nelinearnih optimizacijskih problemov z omejitvami. Nato so bile za obe aproksimaciji s kvadratno in linearno funkcijo uporabljene le točke na optimizacijski krivulji MTPA, ki so označene s polnimi točkami.



Slika 1 : Lastnosti obravnavanega SSTM: a,b) inkrementalni induktivnosti v osi d in osi q, c) magnetni sklep trajnega magneta, d,e) navidezni induktivnosti v osi d in osi q, f) navor



Slika 2: Aproksimacija krivulj MTPA s predstavljenimi metodami

Koeficiente kvadratne in linearne funkcije smo določili na podlagi minimizacije korena povprečne kvadratne napake (ang. Root-mean square error

Razpredelnica 2 : Parametri kvadratne funkcije

Parameter	Vrednost
k_2	- 0,0105
k_1	- 0,0381
k_0	0

- RMSE). Koeficienti tako pridobljene kvadratne funkcije so zbrani v *razpredelnici 2*. Pri tem RMSE znaša 0,156.

Vrednosti koeficientov linearne funkcije so zbrane v *razpredelnici 3*, pri čemer RMSE znaša 1,57.

Kljub vsem poenostavitvam so razlike med krivuljami MTPA za obravnavani stroj že na prvi pogled majhne.

Primerjavo in vrednotenje neoptimalnega obratovanja stroja pri uporabi predstavljenih aproksimiranih krivulj smo izvedli na podlagi amplitude statorskega toka (10)

$$I_s = \sqrt{I_d^2 + I_q^2} \quad (10)$$

in faznega kota statorskega toka (11)

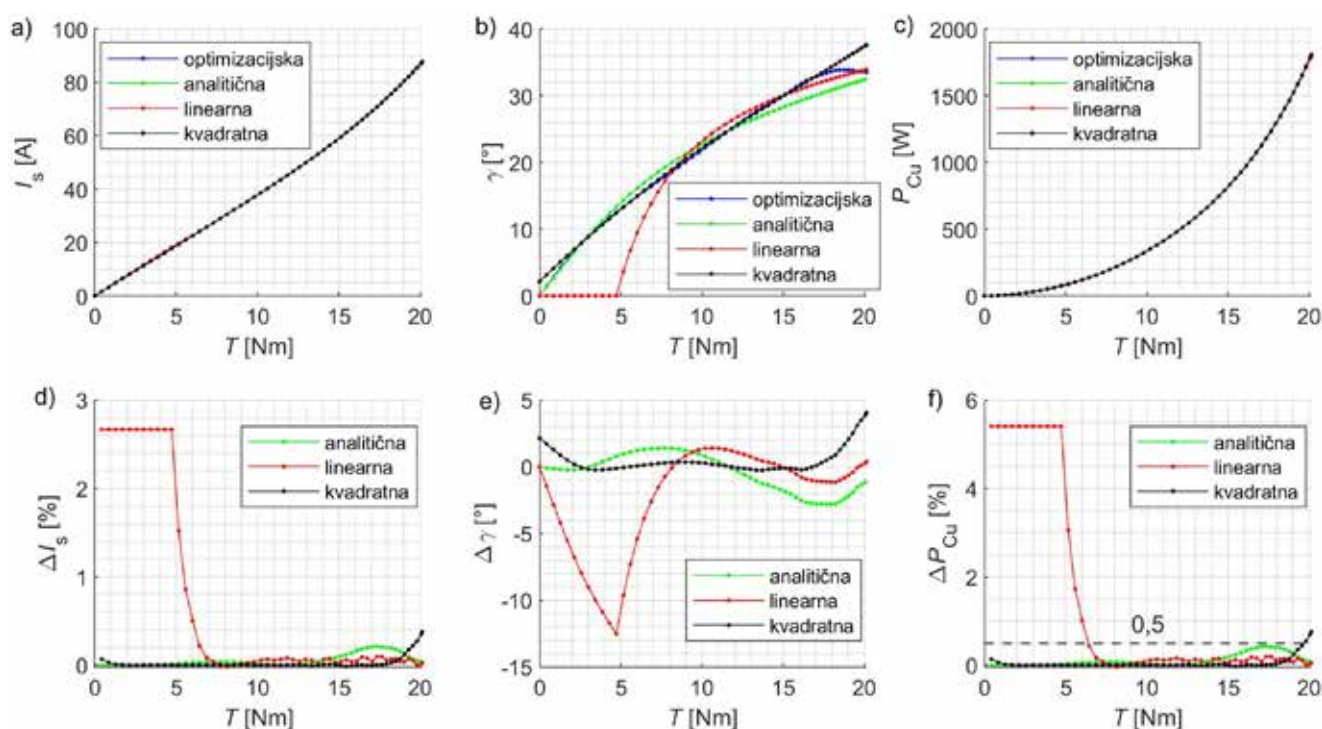
$$\gamma = \text{atan}\left(\frac{-I_d}{I_q}\right), \quad (11)$$

ki določata vektor statorskega toka v koordinatnem sistemu dq.

Na *sliki 3* je prikazana primerjava amplitud toka I_s ter faznih kotov toka γ vseh izračunanih krivulj

Razpredelnica 3 : Parametri linearne enačbe

Parameter	Vrednost
k	- 1,114
n	18,17



Slika 3 : Primerjava uporabe aproksimiranih krivulj z optimalno krivuljo MTPA: a) amplituda statorskega toka, b) fazni kot statorskega toka, c) joulske izgube, d) razlika statorskega toka, e) razlika kota statorskega toka in f) razlika joulskih izgub

Razpredelnica 4 : Primerjava amplitud toka I_s in joulskih izgub obravnavanih metod aproksimacij MTPA pri navoru 16 Nm

Metoda	I_s [A]	ΔI_s [%]	P_{Cu} [W]	P_{Cu} [%]
optimizacijska	63,83	/	957,7	/
analitična	63,93	0,157	960,7	0,313
kvadratna	63,83	0	957,7	0
linearna	63,86	0,047	958,6	0,094
Brez MTPA	81,56	27,8	1564	63,3

MTPA pri enakih vrednostih navora M . Prikazana je tudi razlika amplitud toka ΔI_s med posamezno aproksimirano krivuljo in optimalno krivuljo MTPA. Ta razlika je večinoma manjša od 0,4 %, razen pri linearni aproksimaciji krivulje MTPA, kjer največje odstopanje znaša 2,67 %. Veliko večje je odstopanje v vrednostih faznega kota statorskega toka $\Delta \gamma$, ki je večinoma manjše od $\pm 5^\circ$, le pri linearni aproksimaciji doseže $12,5^\circ$. Odstopanje joulskih izgub ΔP_{Cu} večinoma ne preseže meje 0,5 %, le pri linearni aproksimaciji največje odstopanje znaša 5,4 %. Odstopanje linearne aproksimacije je pričakovano največje, saj je za prilaganje izbran le najbolj raven del krivulje MTPA, največje odstopanje pa leži zunaj tega področja.

Rezultati primerjave uporabe aproksimiranih krivulj z optimalno krivuljo kažejo, da je strategija vodenja MTPA učinkovit ukrep za zmanjšanje izgub v sinhronskih strojih z notranjimi trajnimi magneti. Izgu-

be v obravnavani delovni točki pri navoru 16 Nm, ki je prikazana v razpredelnici 4, so z uporabo krivulj MTPA zmanjšane za 63,3 %. Nadalje pa rezultati kažejo tudi, da v bližini optimalne krivulje MTPA izgube rastejo razmeroma počasi, zato lahko že z enostavnimi aproksimacijskimi metodami dosežemo skoraj optimalno obratovanje.

5 Zaključek

V članku smo predstavili strategijo vodenja za zmanjšanje izgub sinhronskega stroja z notranjimi trajnimi magneti. Strategija v splošnem temelji na rešitvi nelinearnega optimizacijskega problema, pri čemer je rešitev nelinearna krivulja MTPA, na podlagi katere se referenčni statorski tok razdeli na komponente v osi d in q. Dobljeno krivuljo MTPA lahko izvedemo na mikrokrmilniku v obliki numeričnih razpredelnic ali pa z različnimi, pogosto poenostavljenimi matematičnimi funkcijami. Na izbiro izvedbe algoritma MTPA v večini primerov vplivajo predvsem lastnosti (zmogljivost) izbranega mikrokrmilnika, pri čemer lahko že z zelo enostavnimi rešitvami dosežemo znatno zmanjšanje izgub.

Vse obravnavane aproksimacije krivulje MTPA so lahko primerne za implementacijo, saj ni večjega odstopanja joulskih izgub od optimalne rešitve MTPA. Odstopanje linearne aproksimacije bi lahko zmanjšali, če bi krivuljo MTPA aproksimirali z večjim številom linearnih funkcij (ali odsekom zvezno linearno funkcijo), saj bi s tem zmanjšali odstopanje v nastalem kolenu linearne aproksimacije krivulje MTPA. Rezultati so pokazali tudi, da se pri pogrešku

kota statorskega toka γ za 3° jouske izgube povečajo za manj kot 0,5 %. Ta odvisnost bo podrobneje raziskana v nadaljnjem delu.

Viri

- [1] K. Algarny, A. S. Abdelrahman and M. Z. Youssef: "Performance Comparison between Induction and Permanent Magnet Synchronous Electric Machines in Water Pump Application," 2018 2nd European Conference on Electrical Engineering and Computer Science (EECS), Bern, Switzerland, 2018, pp. 165-169.
- [2] L. Shao, A. E. H. Karci, D. Tavernini, A. Sornioti and M. Cheng, "Design Approaches and Control Strategies for Energy-Efficient Electric Machines for Electric Vehicles—A Review," in IEEE Access 2020, vol. 8, pp. 116900-116913.
- [3] R. Paes, T. Rowan, S. Royak and J. Liu: "Optimized Permanent Magnet Motor Control for Electric Submersible Pumps Using LV ASDs," 2019 IEEE Petroleum and Chemical Industry Committee Conference (PCIC), Vancouver, BC, Canada, 2019, pp. 495-504.
- [4] Guangxu Zhou, Yun Zhang and Zhixue Wang: "Study on Permanent Magnet Synchronous Motor for hydraulic pump system," 2013 International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS), Busan, 2013, pp. 1060-1063.
- [5] L. Alberti and G. Berardi: "Design of a Low Power Synchronous Motor for High Efficiency Applications," 2018 XIII International Conference on Electrical Machines (ICEM), Alexandroupoli, Greece, 2018, pp. 677-682.
- [6] Y. Sun, H. Liu and Y. Wang: "Study of High Efficiency and High Starting Torque Permanent Magnet Synchronous Motors Used in Pump Jacks," 2007 2nd IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, Harbin, China, 2007, pp. 273-277.
- [7] Ambrožič Vanja, Zajec Peter: »Električni servo pogoni«, Slovensko združenje elektroenergetikov CIGRÉ-CIRED, 2016.
- [8] S. Morimoto, Y. Tong, Y. Takeda and T. Hirasaka: "Loss minimization control of permanent magnet synchronous motor drives," IEEE Transactions on Industrial Electronics 1994, 41, 511-517.
- [9] S. Vaez, V. I. John and M. A. Rahman, "An on-line loss minimization controller for interior permanent magnet motor drives," in IEEE Transactions on Energy Conversion 1999, 14, 1435-1440.
- [10] C. Mademlis, I. Kioskeridis and N. Margaris, "Optimal efficiency control strategy for interior permanent-magnet synchronous motor drives," IEEE Transactions on Energy Conversion 2004, 19, 715-723.
- [11] Dianov, F. Tinazzi, S. Calligaro, S. Bolognani, "Review and Classification of MTPA Control Algorithms for Synchronous Motors," IEEE Trans. Power Electronics 2022, 37, pp. 3990-4007.
- [12] A. Rabiei, T. Thiringer, M. Alatalo and E. A. Grun-ditz, "Improved Maximum-Torque-Per-Ampere Algorithm Accounting for Core Saturation, Cross-Coupling Effect, and Temperature for a PMSM Intended for Vehicular Applications," in IEEE Transactions on Transportation Electrification 2016, vol. 2, no. 2, pp. 150-159.
- [13] Y. Hirano, K. Aiso, K. Kondo and K. Matsunami, "Torque Feed-Back MTPA Control for IPMSM Compensating for Magnet Flux Variation Due to Permanent Magnet Temperature," 2020 23rd International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS), Hamamatsu, Japan, 2020, pp. 365-368.
- [14] Garmut M., Steentjes S., Petrun M., "Parameter identification for MTPA control based on a nonlinear d-q dynamic IPMSM model", Compel 2023, Vol 42., No. 4, pp. 846-860.
- [15] B. Cheng and T. R. Tesch, "Torque Feedforward Control Technique for Permanent-Magnet Synchronous Motors," in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 57, no. 3, pp. 969-974, March 2010.

Implementation of a Control Strategy for Reducing Power Loss in Interior Permanent Magnet Synchronous Machines

Abstract:

The permanent magnet synchronous machine (PMSM) is most commonly used machine in high-efficiency electric drives. High efficiency can be achieved by optimization of PMSM construction and by appropriate control algorithm which achieves the optimal working point conditions, where the most used algorithm is the Maximum Torque Per Ampere (MTPA). This paper compares different methods of approximating the MTPA trajectory and corresponding impact on joule losses within the analyzed PMSM.

Keywords:

interior permanent magnet synchronous machine, PMSM, maximum torque per ampere, MTPA, loss minimization

Zahvala

Avtorja se zahvalujeta podjetju MAHLE Electric Drives Slovenija d.o.o. za izdelani vzorec sinhronskega stroja z notranjimi trajnimi magneti.

AGILNE IN ZELENE PAMETNE TOVARNE: METODOLOGIJA ZA NAČRTOVANJE

Matevž Resman, Mihael Debevec, Marko Šimic, Niko Herakovič

Izveček:

V hitro spreminjajočem se proizvodnem okolju postajajo agilna in zelena podjetja proizvodni sistemi prihodnosti. Za uspešno implementacijo tehnologij Industrije 4.0 je treba slediti novi metodologiji, ki vključuje več pomembnih korakov. Ti zajemajo opredelitev problema in njegovega obsega, izbiro ustreznih modelov ter transformacijskih metod, vse pa spremljajo jasna navodila za uporabo. Digitalizacija zahteva strateški premik v miselnosti podjetij s poudarkom na donosnosti, inovacijah in dolgoročni strategiji.

Metodologija zelene transformacije je sestavljena iz treh glavnih faz: začetnih delavnic za razumevanje obstoječih procesov, razvoja prilagojenega arhitekturnega modela ter uvedbe digitalnega dvojčka, ki omogoča komunikacijo med fizičnim in virtualnim sistemom v realnem času. Iz obstoječih praks se je izkazalo, da uvedba pametnih tovarn podjetjem omogoča izboljšanje konkurenčnosti, večjo sledljivost izdelkov, natančnejše napovedovanje (poteka) proizvodnje ter trajnostno, inovativno in učinkovito delovanje.

Ključne besede:

metodologija, agilne tovarne, pametne tovarne, zelena transformacija, energetska učinkovitost, družbena odgovornost

1 Uvod

Sodobna proizvodnja se hitro razvija, pri čemer agilna in zelena podjetja postajajo proizvodni sistemi prihodnosti. Ta podjetja potrebujejo nove metodologije, ki poenostavljajo načrtovanje zelenih tovarn in zagotavljajo natančnost, hkrati pa se soočajo z zapletenostjo implementacije tehnologij Industrije 4.0. Predstavljena metodologija je zasnovana tako, da podjetjem pomaga korak za korakom, od razumevanja začetnih izzivov do uvedbe pametnih tovarn z digitalnimi dvojčki, izboljšanja konkurenčnosti in spodbujanja inovacij [1].

2 Metodologija

Metodologija za načrtovanje agilnih in zelenih podjetij vključuje več bistvenih komponent. Najprej je treba prepoznati specifične izzive in prostor, v katerem bo metodologija uporabljena, ter že v zgodnji fazi razjasniti morebitne dvoumnosti v procesu. Pomembna je tudi izbira ustreznih modelov za različne vidike problema, saj to zagotavlja strukturi-

ran pristop k uvajanju digitalne in zelene strategije. Nato je treba izbrati metode za transformacijo elementov iz enega modela v drugega, kar omogoča prilagajanje in optimizacijo procesa. Pomembno je zagotoviti jasna navodila, ki bodo omogočila, da je vsak korak pravilno izveden in prispeva k uspehu celotne strategije [2].

Pri digitalizaciji podjetij se je treba zavedati, da ta proces presega zgolj tehnološke nadgradnje in zahteva strateški premik v miselnosti. Podjetje mora pri prehodu v pametno in zeleno tovarno najprej sprejeti digitalizacijo na vseh ravneh in pri vseh procesih in prepoznati transformativni potencial teh tehnologij, kar je bistveno za modernizacijo in ohranjanje konkurenčnosti. Prav tako morajo podjetja prepoznati donosnost naložbe v digitalne tehnologije, kar vključuje povečanje učinkovitosti, zmanjšanje stroškov in izboljšanje produktivnosti. Pametne tovarne se zanašajo na podatkovno usmerjeno odločanje, prediktivno vzdrževanje in avtomatizacijo, kar omogoča bolj poenostavljene in stroškovno učinkovite procese.

Pomemben dejavnik je tudi sprejemanje inovacij, saj podjetja, ki želijo postati inovativna, sprejemajo tehnologije pametne proizvodnje, kot so internet stvari, umetna inteligenca in analitika podatkov. Te tehnologije omogočajo napredek pri razvoju izdelkov in poslovnih modelov. Digitalizacija ni samo tehnološka odločitev, ampak dolgoročna strateška poteza, ki oblikuje prihodnost podjetja. Zahteva stalne izboljšave, prilagodljivost in nenehne naložbe tako v tehnologijo kot v usposabljanje zaposlenih.

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

3 Koraki metodologije

Načrtovanje pametnih tovarn temelji na premišljenem pristopu, ki vključuje tri glavne korake (Slika 7) za uspešno implementacijo digitalnih in zelenih rešitev in optimizacijo proizvodnih procesov.

Vse zastavljene korake za implementacijo izvajajo strokovnjaki za svetovanje v tesnem sodelovanju z vodstvenim kadrom v podjetju na skupnih delavnicah.

3.1 Korak 1: Delavnice za začetno razumevanje procesa

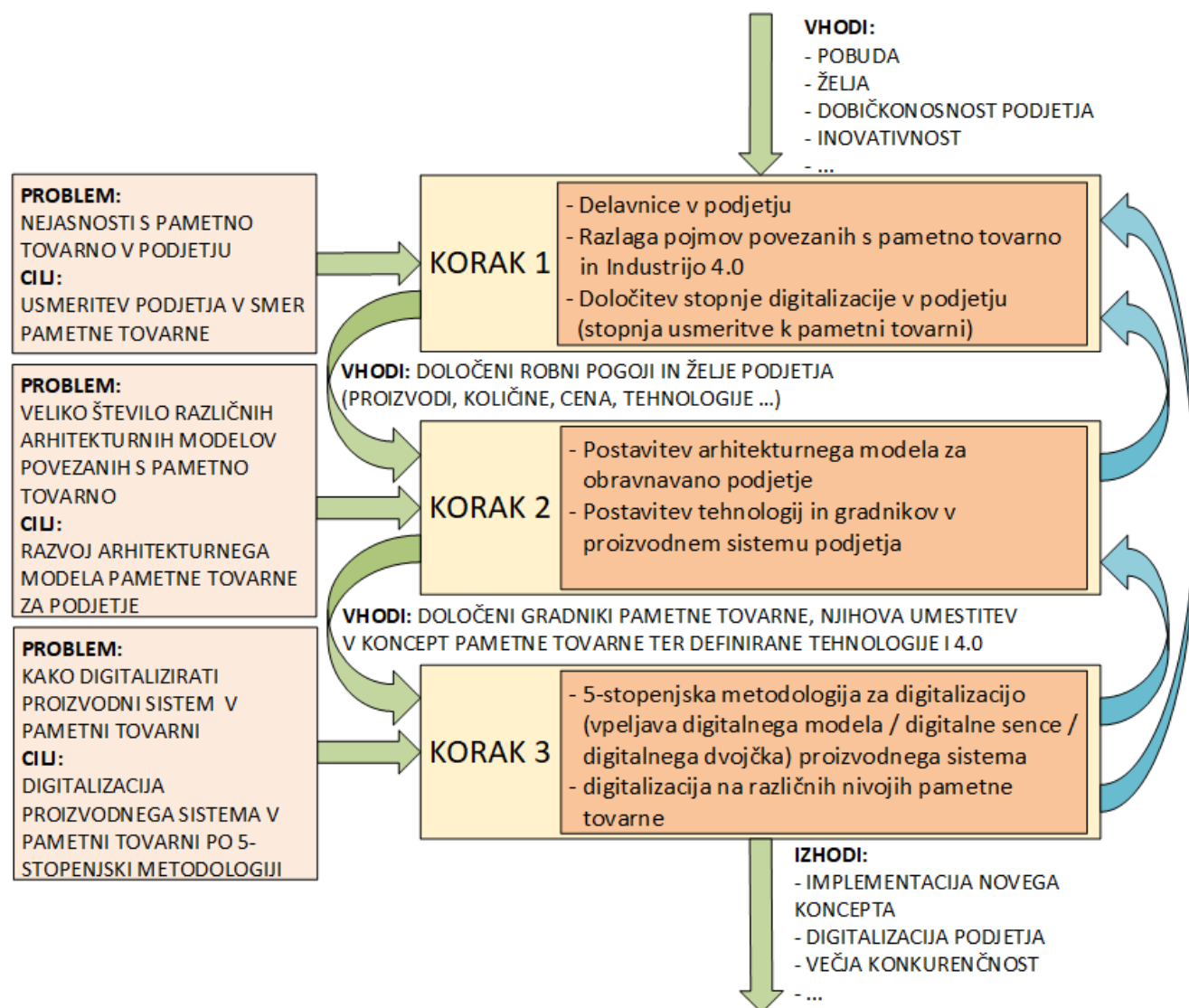
Prvi korak metodologije vključuje izvedbo delavnic, ki služijo kot uvodno spoznavanje obstoječih procesov podjetja. Ta raziskava zagotavlja bistveno podlago za prilagajanje rešitev Industrije 4.0 potrebam podjetja. Delavnica prav tako vključuje premostitev vrzeli med trenutnimi proizvodnimi procesi in na-

prednimi tehnologijami Industrije 4.0. Strokovnjak pomaga podjetju razumeti, kako je mogoče te nove tehnologije vključiti v njihov proizvodni ekosistem. Ta korak ni le deljenje znanja, ampak gre za spodbujanje transformacije v miselnosti podjetja.

Poleg tega strokovnjak oceni pripravljenost podjetja na preobrazbo v pametno tovarno. Ta ocena pomaga prilagoditi naslednje faze metodologije in zagotovi nemoten prehod k Industriji 4.0.

3.2 Korak 2: Razvoj arhitekturnega modela

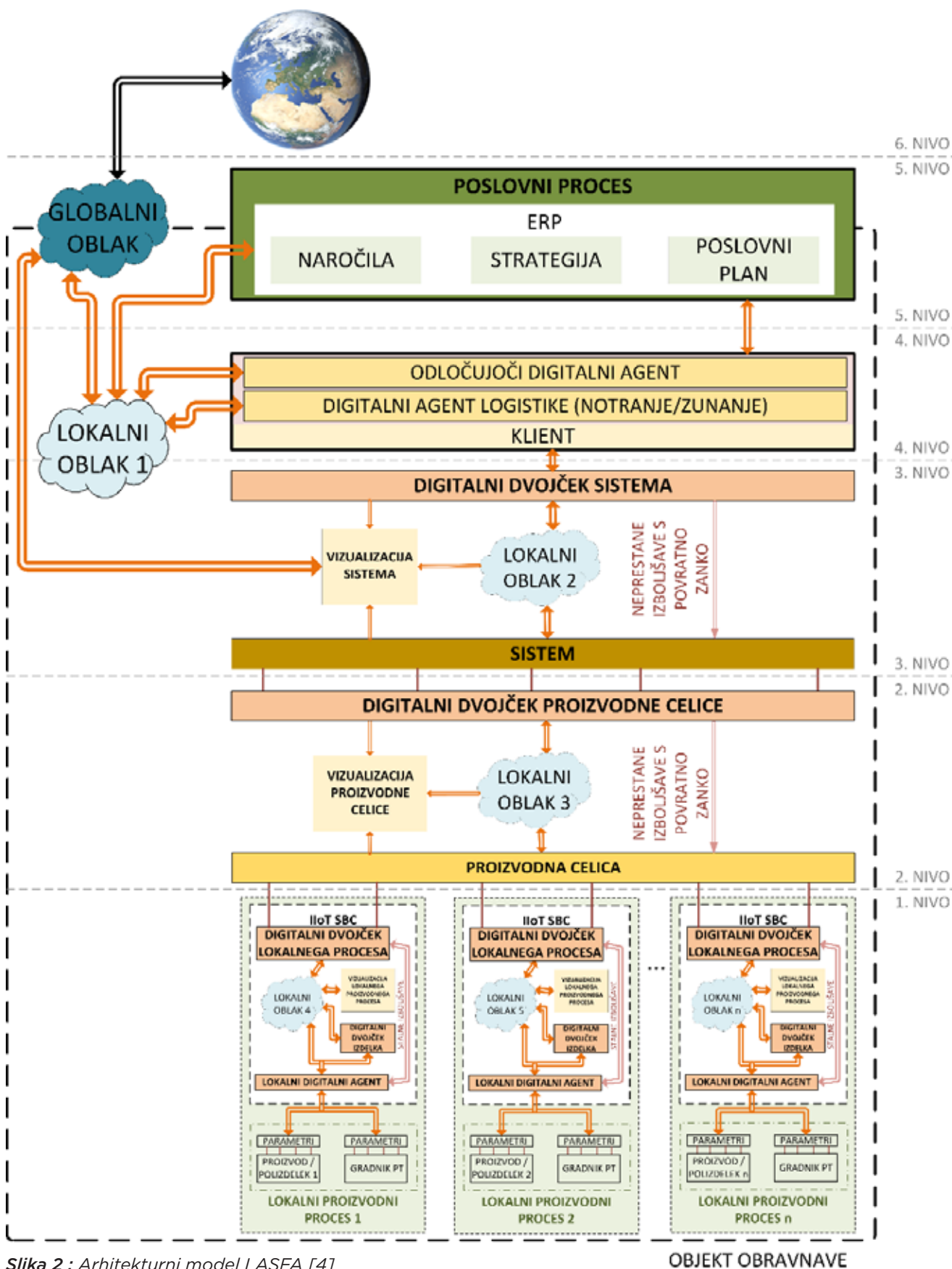
V drugem koraku se pozornost usmeri na ustvarjanje arhitekturnega modela pametne tovarne. Izziv je velika količina razpoložljivih arhitekturnih modelov [3], zato je težko najti pravo usmeritev za podjetje. Za podjetje je torej treba razviti referenčni model, ki odraža strukturne povezave in odvisnosti med posameznimi gradniki v proizvodnem sistemu.



Slika 1 : Koraki metodologije [2]

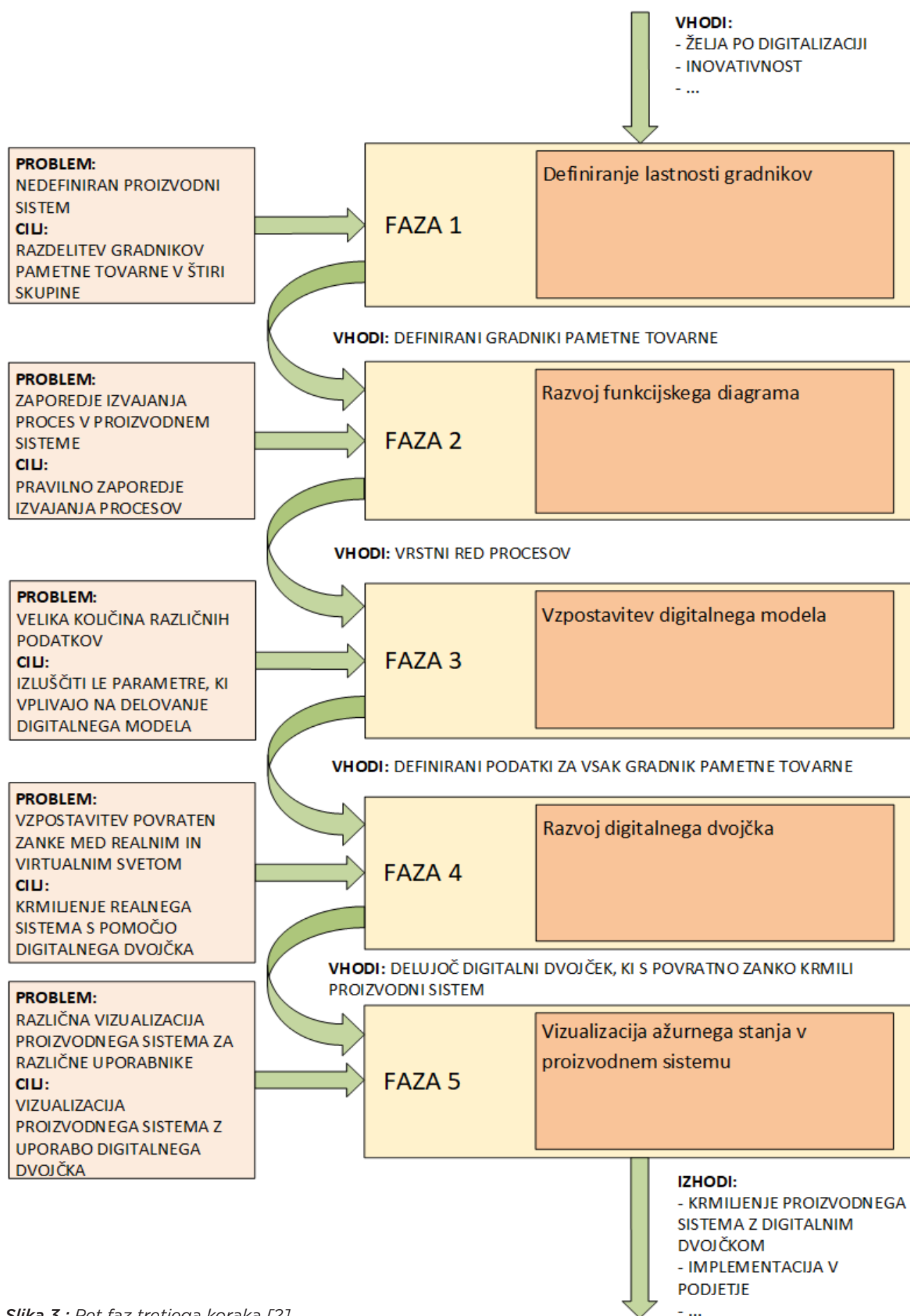
Arhitekturni model LASFA (Slika 2) [4] temelji na delitvi glede na izdelek, kar poenostavi prikaz materialnih tokov in opredelitev količin proizvodnje.

Tak pristop povečuje preglednost, kar je glavni cilj pri razvoju učinkovitega modela pametne tovarne. Z organizacijo tovarne na različne ravni glede na



Slika 2 : Arhitekturni model LASFA [4]

OBJEKT OBRAVNAVE



Slika 3 : Pet faz tretjega koraka [2]

posamezno vrsto izdelkov je lažje slediti povezavam med posameznimi komponentami in v različnih fazah upajati digitalne dvojčke.

Vsaka raven tovarne je sestavljena iz delovnih postaj, ki tvorijo proizvodne celice. Te proizvodne celice so združene v sisteme, več sistemov pa sestavlja oddelek. Strukturirani pristop ne izboljšuje samo preglednosti, temveč tudi omogoča lažje upravljanje in spremljanje tovarne.

3.3 Korak 3: Vzpostavitev digitalnega dvojčka

Tretji korak, vzpostavitev digitalnega dvojčka, vključuje ustvarjanje virtualne kopije proizvodnega sistema, ki deluje vzporedno s fizičnim sistemom in z njim komunicira v realnem času. Digitalni dvojček omogoča natančno spremljanje, analizo in optimizacijo proizvodnih procesov s pomočjo podatkov, ki jih zbira iz fizičnega okolja prek senzorjev in drugih virov. S tem se zagotavlja stalna usklajenost med virtualnim in dejanskim sistemom, kar omogoča prilagoditve v realnem času za izboljšanje učinkovitosti in delovanja.

Ta tehnologija omogoča podjetjem boljši nadzor nad njihovimi proizvodnimi procesi ter vpogled v stanje opreme, morebitne težave in možnosti optimizacije. Digitalni dvojček deluje kot orodje za napovedovanje in simulacijo, s katerim je mogoče zmanjšati tveganja, izboljšati produktivnost in zmanjšati stroške vzdrževanja, saj omogoča preizkušanje različnih scenarijev in prilagoditev brez posegov v dejanski proizvodni sistem.

Tretji korak poteka v pet fazah (Slika 3).

4 Zaključek

Z upoštevanjem te strukturirane metodologije lahko podjetja nemoteno preidejo na pametne tovarne ter izboljšajo svojo konkurenčnost na globalnem trgu. Z vzpostavitvijo digitalnih dvojčkov se doseže boljša sledljivost končnih izdelkov, izboljša napovedovanje proizvodnje in vzdrževanja. Ta celovit pristop zagotavlja, da podjetja, ne glede na njihovo velikost ali panogo, ostanejo v koraku z digitalizacijo, hkrati pa ustvarjajo trajnostne, inovativne in učinkovite proizvodne sisteme.

Metodologija za načrtovanje agilnih in zelenih pametnih tovarn temelji na tesnem prepletu naprednih tehnologij in trajnostnih praks. Poleg uporabe digitalnih dvojčkov vključuje tudi integracijo IoT (internet stvari), umetne inteligence in strojnega učenja, ki omogočajo boljše upravljanje virov, zmanjšanje odpadkov in optimizacijo porabe energije. Metodologija fleksibilnosti proizvodnih procesov in okoljska odgovornost podjetjem omogočata ne le izboljšanje produktivnosti, temveč tudi prehod na bolj trajnostno in prilagodljivo proizvodno okolje, kar je pomembno v sodobnem industrijskem okolju.

Predstavljeno metodologijo smo uspešno uporabili pri več industrijskih projektih, kot so Yaskawa, Adria Dom, demo center pametne tovarne v našem laboratoriju in še mnogih drugih. Pri teh projektih smo v praksi implementirali digitalne dvojčke, IoT, umetno inteligenco in strojno učenje, kar je omogočilo boljše sledenje proizvodnim procesom, učinkovito upravljanje virov ter zmanjšanje vplivov okolja. Z našimi rešitvami smo dosegli optimizacijo proizvodnje, izboljšali vzdrževanje ter energetske učinkovitost, hkrati pa podjetjem omogočili prilagodljivost in konkurenčnost na vedno bolj dinamičnem globalnem trgu. Naši rezultati potrjujejo, da je metodologija primerna za širok spekter industrij ter pomemben korak k trajnostnim in pametnim proizvodnim sistemom.

Viri

- [1] Industry 4.0 and Green Economy: Solutions, (<https://www.esa-automation.com/en/industry-4-0-and-green-economy-solutions/>), dostop: 2. 10. 2024.
- [2] M. Resman, J. Protner, M. Šimic in N. Heraković: A Five-Step Approach to Planning Data-Driven Digital Twins for Discrete Manufacturing Systems. *Applied Sciences* 11 (8) (2021) str. 3639.
- [3] M. Uslar in S. Hanna: Model-driven requirements engineering using RAMI 4.0 based visualizations. V: I. Schaefer, L. Cleophas, M. Felderer (ur): *Workshops at Modellierung, Braunschweig, Nemčija*, 2018, str. 21-30.
- [4] M. Resman, M. Pipan, M. Šimic in N. Heraković: A new architecture model for smart manufacturing: A performance analysis and comparison with the RAMI 4.0 reference model. *Advances in Production Engineering and Management* 14(2) (2019) str. 153-165.

Agile and Green Smart Factories: A Methodology for Planning

Abstract:

Modern manufacturing is rapidly evolving, with agile and green companies shaping the future. These firms need new methodologies to streamline planning and navigate the complexities of Industry 4.0 technologies. The proposed methodology offers a step-by-step guide to transitioning from initial challenges to implementing smart factories with digital twins, enhancing competitiveness and fostering innovation.

This methodology involves identifying specific challenges and contexts, selecting appropriate models for a structured approach, and recognizing that digitalization requires a strategic mindset shift. Companies must understand the transformative potential of digital technologies, which can enhance efficiency, reduce costs, and improve productivity. Embracing technologies like IoT, AI, and data analytics is essential for fostering innovation and modernizing production processes.

The planning of smart factories consists of three key steps. The first step involves initial understanding workshops, which provide insights into current processes. Experts analyze systems and identify how Industry 4.0 technologies can be integrated, while also assessing the company's readiness for transformation.

The second step focuses on developing the architectural model based on product differentiation. This simplifies material flow representation and increases transparency. Organizing the factory into levels improves management and monitoring.

The final step involves establishing a digital twin that communicates with the physical system in real time. This process includes classifying production systems, developing functional diagrams, creating digital models, enabling real-time data interaction, and providing visualization tools for stakeholders.

By following this structured methodology, companies can transition to smart factories, improving competitiveness and operational efficiency while fostering sustainable and innovative production systems.

Key words:

methodology, agile factories, smart factories, green transformation, energy efficiency, social responsibility

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).

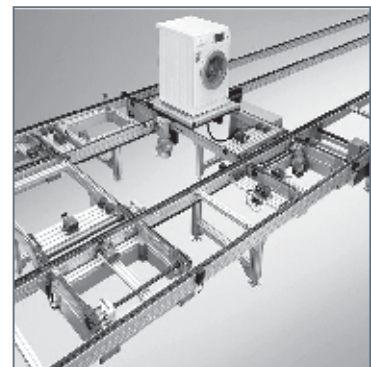
Rexroth

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

ENOTNO OBLIKOVANJE: TEČAJI, ZAPAHI IN DRŽALA ZA PLOSKE ELEMENTE

Za ohišja, zabojnike in vrata ponuja Eles+Ganter oblikovalsko družino tečajev, zapahov in držal za ploske elemente, ki so med seboj usklajeni in zagotavljajo sodoben in enoten videz.



Serija standardnih delov je izdelana iz cinkove tlačne litine in prašno lakirana v črni ali srebrni strukturirani mat teksturi. Ti standardni deli so z vijaki pritrjeni na okvir ali ploski element. Gumijasti vložki in distančni tulci zagotavljajo učinkovito pritrditev elementov na steklo in plastiko brez napetosti. Tečaje in držala je mogoče namestiti na vse standardne aluminijaste profile iz serij B in I z drsnimi bloki, ki so na voljo kot izbirna možnost.

Tečaj GN 938 s kotom odpiranja 180 stopinj je na voljo v dveh velikostih: 92 mm x 60 mm za debeline plošč od 4 mm do 8 mm in 122 mm x 90 mm za debeline plošč od 8 mm do 12 mm. Potisne podložke in tečajni zatiči iz nerjavnega jekla zagotavljajo nemoteno premikanje z majhno obrabo. Pokrovi iz cinkove tlačne litine se enostavno namestijo ter skrivajo pritrdilne in vpenjalne vijake.

Nosilci za ploske elemente GN 939 so na voljo v petih različicah za plošče debeline med 5 mm in 12 mm. Odvisno od položaja na plošči se na različici uporablja površinsko ali vogalno držalo. Pri različici z varovalnim sornikom iz plemenitega jekla, prevlečenega s plastiko, držalo zagotavlja zaključeno po-

zicioniranje. Držalo plošče je na voljo tudi z omejitnikom, ki preprečuje, da bi plošča zdrsnila na stran, npr. za uporabo na ograjnih panelih na stopniščih.

Zapirala GN 936 se samodejno zaskočijo, ko se vrata zaprejo. Zaradi premišljene zasnove uporabniki intuitivno prepoznajo ročaj. Zapirala se namestijo na okvirje vrat ali profile s podolgovatimi izvrtinami s prednje ali zadnje strani. Pritrjene plastične maske skrivajo montažne vijake in jih ščitijo pred nepooblaščenim dostopom. Zapirala so na voljo s ključavnico ali brez nje, pri čemer en ključ ustreza vsem ključavnicam ali samo eni. Ključ se lahko izvleče v obeh končnih položajih.

Več informacij je na voljo na naslovu: 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

SENZORSKE TIPKE HMI ZA PREHRAMBENO INDUSTRIJO

Popolno ravnovesje med prilagodljivostjo, zmogljivostjo in higiensko zasnovo.

Naše senzorske tipke HMI, razvite za izpolnjevanje strogih zahtev živilske industrije, so spredaj in zadaj v celoti zaprte ter so zato 100-odstotno vodoodporne, higienske in varne pred okvarami.

Z našimi izdelki in certifikatom EHEDG zagotavljamo, da vaši proizvodni procesi izpolnjujejo najvišje standarde kakovosti in varnosti.

Poleg naše standardizirane ponudbe izdelkov za prehrambeni sektor lahko vse izdelke prilagodite svojim zahtevam – za še večjo prilagodljivost in personalizacijo.

Značilne funkcije senzorskih tipk CAPTRON:

- ▶ Vzdržljive in robustne
- ▶ Brez mehanskih komponent, brez obrabe
- ▶ 100-% vodotesne
- ▶ Ohišje elektronike preprečuje vdor tekočine, prahu ali pare



Senzorske tipke CAPTRON

O proizvajalcu CAPTRON:

CAPTRON je vodilni proizvajalec na svetovnem trgu kapacitivnih senzorskih tipk in proizvajalec visokokakovostnih senzorjev za merjenje ravni, optično zaznavanje objektov in LED signalizacijo.

Senzorji in senzorski sistemi CAPTRON se uporabljajo v številnih panogah in že od leta 1983 oblikujejo prihodnost kot vmesnik med človekom in strojem ter strojem in strojem. Ponajšamo se z več kot štirimi desetletji izkušenj, naše stranke pa zadovoljujemo z najboljšimi storitvami in zanesljivimi izdelki – zvesti naši maksimi: **Kakovost, izdelana na Bavarskem.**

- ▶ Odporne na običajna čistila
- ▶ Higienski in higiensko certificirani izdelki z ohišjem iz visokokakovostnega nerjavnega jekla
- ▶ Prilagodljive
- ▶ Enostavno prilagodljive z integriranim vmesnikom IO-Link
- ▶ EHEDG certificirane
- ▶ Ustrezajo najvišjim standardom kakovosti in varnosti

Več informacij o izdelkih CAPTRON 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



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

CILINDRIČNI ZATIČI, PUŠE ZA POZICIONIRANJE IN NAREBRIČENI VIJAKI S ŠESTEROROBO GLAVO

Novost v programu podjetja Eles+Ganter so vrtalne puše številnih dimenzij in narebričeni vijaki z nastavkom imbus in brez njega.

Cilindrični zatiči DIN 6325 iz kaljenega jekla, imenovani tudi mozni, so univerzalni sestavni deli, ki jih je mogoče namestiti v prehodne izvrtine. Uporabljajo se na primer v orodjarstvu ali strojništvu, saj zagotavljajo natančen položaj, absorbirajo strižne sile, v najpreprostejšem primeru pa služijo kot omejevalnik ali rotacijska os. Cilindrični zatiči so na voljo v vseh dimenzijah, ki so standardne na tržišču. Cilindrična zunanja površina je izdelana s toleranco m6 v skladu s standardom DIN ISO 286-2.

Cilindrični zatiči DIN 7979 z notranjim navojem se uporabljajo predvsem v povezavi s slepimi izvrtinami, iz katerih jih ni mogoče odstraniti z izbijanjem. Zatiči se odstranijo s pripomočkom za odstranjevanje ali izbijačnim kladivom, ki se uvije v notranji navoj. Prirezani del ob straneh omogoča, da izpodrinjeni zrak uhaja iz izvrtine. Dimenzije seveda natančno ustrezajo standardu ISO 8735, ki je prav tako razširjen na mednarodni ravni.

Puše za pozicioniranje po DIN 172 in DIN 179 se pogosteje imenujejo vrtalne puše, kar je posledica njihove prvotne uporabe v vrtalnih pripravah. Zdaj so nepogrešljive povsod tam, kjer je treba izvrtine opremiti z materialom, odpornim na obrabo, na primer za namestitev pozicijskih zatičev. Na voljo so z obodom po DIN 172 ali brez oboda po DIN 179. Izdelane so z majhnimi tolerancami glede oblike in položaja ter imajo kaljeno in natančno obdelano površino. S skoraj 200 premeri in 14 dolžinami se zlahka najdejo idealne dimenzije za vsako konstrukcijo. Če pa velikosti v korakih po desetinkah milimetra niso primerne, podjetje Eles+Ganter hitro in stroškovno učinkovito izdela tudi dimenzije po meri.

Narebričeni vijaki DIN 464 niso na voljo le v bruniranem jeklu, temveč zdaj tudi v pocinkanem jeklu. Poleg različice iz plemenitega jekla s številko materiala 1.4305 je zdaj na voljo tudi različica iz razreda



A4 s številko materiala 1.4404. To je še posebej primerno za uporabo v pomorskih okoljih ter pri predelavi hrane in v medicinski tehnologiji.

Narebričeni vijaki GN 464.1 z nastavkom imbus predstavljajo nadaljnji razvoj tega standarda DIN. Narebričene vijake, izdelane iz pocinkanega toplotno obdelanega jekla, je mogoče s ključem imbus zategniti tudi z večjim zateznim momentom. To močno razširja področje uporabe teh vsestranskih vijakov. Narebričeni vijaki z nastavkom imbus so na voljo z velikostmi navojev od M5 do M10.

Več informacij je na voljo na naslovu: 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

OGLAŠEVALCI

- | | | | |
|---|---------------|---|----------|
| ▶ CELJSKI SEJEM, d. d., Celje | 283 | ▶ OPL AVTOMATIZACIJA, d. o. o, Trzin | 261, 317 |
| ▶ FESTO, d. o. o., Trzin | 261, 305, 328 | ▶ PARKER HANNIFIN (podružnica v N. M.), | |
| ▶ GIA-S, d. o. o., Grosuplje | 295 | Novo mesto | 261 |
| ▶ HENNLICH, d. o. o., Kranj | 288 | ▶ POCLAIN HYDRAULICS, d. o. o, Žiri | 261, 262 |
| ▶ HPE, d. o. o., Ljubljana | 261 | ▶ PPT COMMERCE, d. o. o., Ljubljana | 261, 264 |
| ▶ ICM, d. o. o., Vojnik | 287, 327 | ▶ PROFIDTP, d. o. o., Škofljica | 275, 285 |
| ▶ INOTEH, d. o. o., Bistrica ob Dravi | 319 | ▶ SEAL & TRADE, d. o. o., Maribor | 261 |
| ▶ JAKŠA, d. o. o., Ljubljana | 281 | ▶ STROJNISTVO.COM, Ljubljana | 292 |
| ▶ La & Co., d. o. o., Limbuš | 261, 321 | ▶ UL, Fakulteta za strojništvo | 273, 277 |
| ▶ OLMA, d. o. o., Ljubljana | 287 | ▶ YASKAWA, d. o. o., Ribnica | 269 |
| ▶ OMEGA AIR, d. o. o., Ljubljana | 261, 325 | | |

AVENTICS – SERIJA XV-COMPACT

Predstavljamo AVENTICS serijo XV-Compact, kjer se praktičnost sreča z inovacijo. XV-Compact ponuja konfigurabilne možnosti in zanesljivost, kar zagotavlja, da je pot do optimizirane učinkovitosti dostopna in brezhibna. Serija XV vključuje model XV03, ki omogoča pretoke do 350 litrov na minuto v normalnih pogojih (NL/min), in model XV05, ki omogoča do 880 NL/min. Široka paleta dodatkov vključuje regulatorje tlaka, zaporne ventile, separatorje tlačnih con, module za hitrost pretoka in module za dovod tlaka.



Pospešite in poenostavite načrtovanje vašega ventilskega sistema serije XV s spletnimi konfiguracijskimi orodji AVENTICS. Spletna inženirska orodja AVENTICS združujejo vse podrobnosti sistema z inženirsko strokovnostjo, da uporabnike vodijo skozi postopke konfiguracije korak za korakom.

Možnosti vzporednega električnega ožičenja vključujejo D-SUB 25 in 44 Pin v zgornji ali bočni smeri, pa tudi vzmetne sponke in terminalne trakove. Vse možnosti povezav je mogoče enostavno spremeniti po namestitvi.

- ▶ Podpora za vodilne komunikacijske protokole, vključno s Profinet, Ethernet I/P, EtherCAT, Powerlink, Modbus TCP, IO-Link in AS-I, kar pomaga pospešiti digitalno preobrazbo strojev in proizvodnih linij.
- ▶ Kompaktne dimenzije s pnevmatskimi priključki spredaj ali na dnu modula omogočajo večjo prilagodljivost za namestitev v tesne konfiguracije omar.
- ▶ Navoji za priključke BSPP in NPT so na voljo na vseh trgih, kar poenostavlja izbiro ventilov za graditelje strojev, ki delujejo na globalnih trgih.

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. Mitja Kozel

la&co

Sinergija premikanja. Hidravlika. Pnevmatika. Linearna tehnika.



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

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



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

ROTORSKA ČRPALKA, NAREJENA IZ PTFE OHIŠJA, ZA UPORABO V KEMIČNIH INDUSTRIJI

Mojca Gros

Rotorska črpalka Acostar je na račun uporabe materiala PTFE za ohišje, visokokakovostnih grednih tesnil in rotorjev iz FPM/FKM (Viton®) ali EPDM, optimalna izbira za uporabo v kemičnih obratih. Primerna je za uporabo pri delu z oksidiranimi, razredčenimi in mešanimi kislinami.



Slika 1 : Držalo črpalke zagotavlja optimalno zaščito pri črpanju agresivnih medijev. Črpalka Acostar je namenjena najrazličnejšim aplikacijam v kemični industriji.

Na voljo so različne izvedbe motorjev (230 V, 400 V, 12 V, 24 V; 1400 vrt/min, 2800 vrt/min; 50 Hz, 60 Hz). Suhi tek črpalke preprečuje uporaba učinkovite zaščite pred suhim tekom (samo za 230/400 V). Z uporabo frekvenčnega pretvornika (opcijsko) se lahko prilagodi tudi hitrost in smer vrtenja črpalke.

Gred črpalke ACOSTAR je izdelana iz materiala Hastelloy® C-22, ki je dobro odporen na medije, kot so žveplova kislina, fosforjeva kislina, dušikova kislina, plinski klor, mešanice kislin, ki vsebujejo žveplovno kislino, in oksidacijske kisline, ki vsebujejo kloridne ione. V prisotnosti močnih oksidantov, kot so železovi(III) in bakrovi(II) kloridi, klor, mravljinčna kislina, ocetna kislina, morska voda in druge raztopine soli, je uporaba tega materiala priporočljiva, če to zahteva okolje. Posebnost te zlitine je njena velika odpornost proti razpokam, vdolbinam in napetostni koroziji pri povišanih temperaturah ob oksidaciji ali redukciji.

Standardno so vgrajeni gumbi za hitro in enostavno zamenjavo rotorja in keramični stranski disk za zaščito pokrovov črpalke. Na novo razvito ohišje omogoča enostavno ločitev črpalke od motorja pri servisnih delih.

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

Lastnosti črpalke ACOSTAR 2000-A:

- ▶ so suhe samosesalne črpalke z gibljivim rotorjem,
- ▶ ohišje je iz PTFE (TEFLON®),
- ▶ primerne so za korozivne medije,
- ▶ zagotavljajo do 3 metre sesalne višine,
- ▶ višina črpanja je do največ 30 metrov,
- ▶ možni so pretoki med 3 l/min in 28 l/min,
- ▶ zagotovljena je standardna zaščita pred suhim tekom.

Izbirate lahko med priključkom z zunanjim navojem 3/4" ali priključnim nastavkom 3/4". Oba priključka sta izdelana iz robustnega materiala PTFE.



Slika 2 : Na novo razvito ohišje omogoča enostavno ločitev črpalke od motorja pri servisnih delih.

Lastnosti:

- ▶ Največji pretok (L/min): 14 / 28
- ▶ Najvišji tlak (bar): 3
- ▶ Napetost: 230/ 400/ 230/ 400
- ▶ Število vrtljajev na minuto: 1400 / 2800
- ▶ Amperi*: 3,2 / 2 / 3,2 / 1,9
- ▶ Moč motorja: 0,37 kW
- ▶ Priključki: zunanji navoj 3/4" ali priključni nastavki 3/4"
- ▶ Najvišja temperatura (z zaščito pred suhim tekom): 90 °C
- ▶ Masa: 9,4 kg

* Povečane tokovne vrednosti med zagonom

Acostar s frekvenčnim pretvornikom

S frekvenčnim pretvornikom je mogoče neprekinjeno uravnati hitrost in natančno prilagajati želeno količino pretoka med polnjenjem in doziranjem. Energetska učinkovitost s prilagojenim delovanjem motorja je dosežena preko:

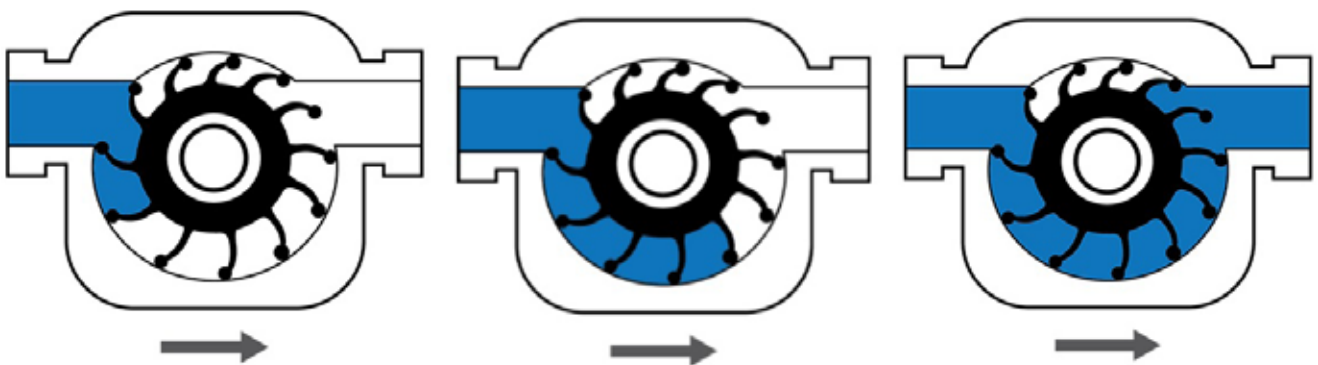
- ▶ regulacije hitrosti,
- ▶ spremembe smeri vrtenja,
- ▶ zaščito pred preobremenitvijo,
- ▶ natančnim krmiljenjem pogona,
- ▶ kompaktne zasnove in
- ▶ rezultat je visoka energetska učinkovitost.

Nov sistem – hitrejšje delovanje

Na novo razviti sistem sklopke in hitre menjave za standardne motorje zagotavlja kratke zastoje zaradi servisa in popravil. Celotno glavo črpalke je mogoče odstraniti z motorja s samo štirimi vijaki. Pri prečrpavanju različnih medijev se lahko hitro zamenja glavo črpalke, da je primerna za nov medij. Poleg tega držalo črpalke ločuje glavo črpalke od motorja in zagotavlja optimalno zaščito pri črpanju agresivnih medijev. Zahvaljujoč novi gredi iz visokokakovostnega Hastelloya ni potrebna ločena zaščita gredi od medija.



Slika 3 : Odstranitev glave črpalke je mogoča z le štirimi vijaki.



Slika 5 : V aplikacijah, pri katerih je možen suhi tek, priporočamo zaščitno enoto za preprečevanje pregrevanja in poškodb črpalke.

Prilagodljiv rotor s posebno pušo

S prehodom na novo držalo črpalke lahko rotor zdaj uporablja odprto obliko puše pri seriji ACOSTAR. Za rotor črpalke ACOSTAR se uporabljajo kemično odporni materiali, kot sta EPDM in Viton. Posebej razvita puša iz Hastelloya zagotavlja najboljšo odpornost proti agresivnim medijem. Poleg tega poševne lopatice zagotavljajo manjšo obremenitev in daljšo vzdržljivost rotorja.



Slika 4 : Poševne lopatice zagotavljajo manjšo obremenitev in daljšo vzdržljivost rotorja.

Kako deluje črpalka?

Rotor s fleksibilnimi lopaticami je nameščen v ekscentrično oblikovanem ohišju, tako da z upogibanjem lopatic rotorja nastaja podtlak in posesa tekočino. Pri tem medij deluje tudi kot mazalno sredstvo rotorja v ohišju. Trajanje suhega teka ali polovičnega sesanja je močno odvisno od več dejavnikov. V aplikacijah, pri katerih je možen suhi tek, priporočamo zaščitno enoto za preprečevanje pregrevanja in poškodb črpalke.

Dobavitelj ponuja tudi različne opcije pri črpalakah, kot so: pnevmatski pogon, hidravlični pogon, delovanje črpalke v obe smeri, izvedba pogona s sklopko, izvedba brez motorja.

UČINKOVITI SISTEMI REKUPERACIJE TOPLOTE ZA KOMPRESORJE ZRAKA – AIRWATT

ZMANJŠAJTE PORABO ENERGIJE IN PRIHRANITE DENAR

Zakaj izbrati rekuperacijo toplote AIRWATT?

Pravzaprav bi se moralo vprašati: Zakaj ne?

Presenetljivo je, da se skoraj 100 % električne energije, dovedene v vijačni kompresor, pretvori v toplotno energijo, do 96 % te energije pa je možno ponovno uporabiti za ogrevanje. To zmanjša porabo energije in posledično tudi precej izboljša splošno energetske bilanco podjetja.

Rekuperacija toplote s sistemom AIRWATT je poleg izbire pravega kompresorja tista tehnologija, ki bo najbolj vplivala na vašo porabo energije. Ponovna uporaba te potencialno izgubljene energije bo takoj vplivala na skupno porabo energije, stroške ter na emisijo ogljika v vašem podjetju.

Če torej želite zmanjšati svoje operativne stroške in / ali izpolniti strožji standard emisij, vam lahko rekuperacija energije pomaga doseči cilj. Z značilno povratno dobo investicije manj kot 3 leta pa se naložba hitro obrestuje.

Kaj je rekuperacija odpadne toplote kompresorja?

Stiskanje zraka ustvarja veliko toplote, ki je neizogiben stranski produkt. Pravzaprav se večina električne energije, ki jo porabi kompresor, pretvori

v toploto. Brez rekuperacije energije se ta toplota razprši nazaj v okolje in preprosto izgine v zrak, kar lahko povzroča še dodatne stroške.

Namesto preprostega uhajanja toplote se lahko ta toplota uporablja za

- ▶ pridobivanje tople vode za sanitarno vodo,
- ▶ ogrevalne sisteme in
- ▶ gretje v drugih procesih.

Sistem za rekuperacijo energije temelji na toplotnem izmenjevalniku, ki do 94 % te odpadne toplote zajame kot vročo vodo, ki se lahko ponovno uporabi kje drugje.

Pogosto se odvečna toplota izkoristi v dogrevanju grelnih kotlov, ki se pojavljajo v skoraj vseh vrstah objektov. Ker so kotli glede instalirane moči kW navadno večji od kompresorja(-ev) v objektu, lahko pridobljena toplota uspešno predgreje kotelno vodo in tako zmanjša skupno porabo energije.

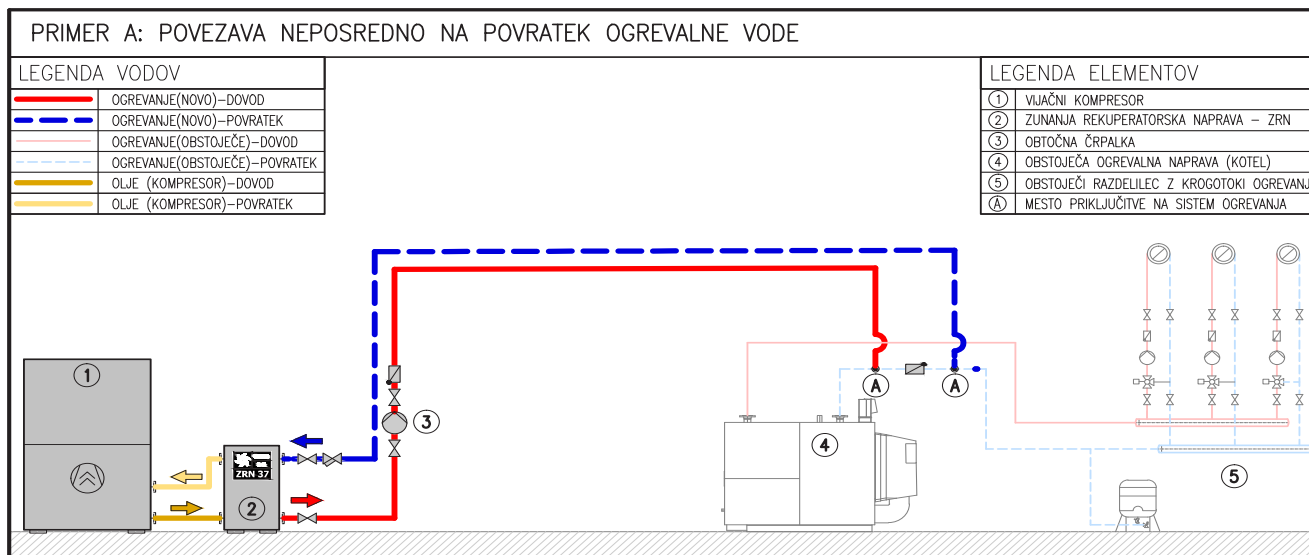
Vsaka stopinja temperature vode stane. Če je dovod vode za 50 °C višji od standardne temperature dovodne vode, teh 50 °C ogrevanja ni treba plačati. Samoumevno je, da je ogrevanje v zimskih mesecih nujno. Ogrevanje vode pa je bolj ali manj potrebno tudi v preostalem delu leta, npr. za oskrbo s toplo sanitarno vodo.

Zmagovalna rešitev, dvojna korist

Podjetje OMEGA AIR d.o.o. Ljubljana ponuja več možnih rešitev rekuperacije za večino vrst kompresorjev. To vključuje popolnoma integrirano rešitev ali samostojno enoto, ki jo je mogoče dodati novim ali že delujočim kompresorjem. Imamo tudi strokovno znanje, da vam pomagamo najti pravo uporabo vaše pridobljene toplote. S sistemom AIRWATT podjetja OMEGA AIR d.o.o. Ljubljana lahko svojo, sicer izgubljeno energijo, primerno izkoristite. Tako prihranite pri operativnih stroških in pomagajte pri doseganju svojih trajnostnih ciljev. Dvakratna uporaba energije vašega kompresorja vam daje zmagovalno rešitev, ki jo je težko preseči.



Slika 1: Zunanja rekuperacijska enota AIRWATT



Slika 2 : Shema enostavne povezave na obstoječi ogrevalni vod

Podjetje OMEGA AIR d.o.o. Ljubljana stranki ponuja podporo vse od uvodnega pregleda obstoječega stanja do izvedbe:

- Oceno izvedljivosti:** v oceni izvedljivosti se preveri možnost izvedbe rekuperacije ter ekonomsko upravičenost,
- Projekt za izvedbo del:** za stranko se lahko izdelata PZI načrte strojnih in električnih inštalacij za izvedbo rekuperacije,

- Izvedbo del:** stranki lahko ponudimo kompletno izvedbo strojnih in elektroinštalacijskih del.

Če vas zanima sistem rekuperacije AIRWATT in za katero aplikacijo bi rekuperacijo lahko uporabili, se obrnite na nas še danes. Naši strokovnjaki so vam vedno pripravljeni pomagati najti rešitev, najboljšo za vaše podjetje.

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

MEDIJI

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



© Ventil 30(2024)5. Tiskano v Sloveniji. Vse pravice pridržane.
 © Ventil 30(2024)5. 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** 5

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

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

Znanstveno-strokovni svet:

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

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

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

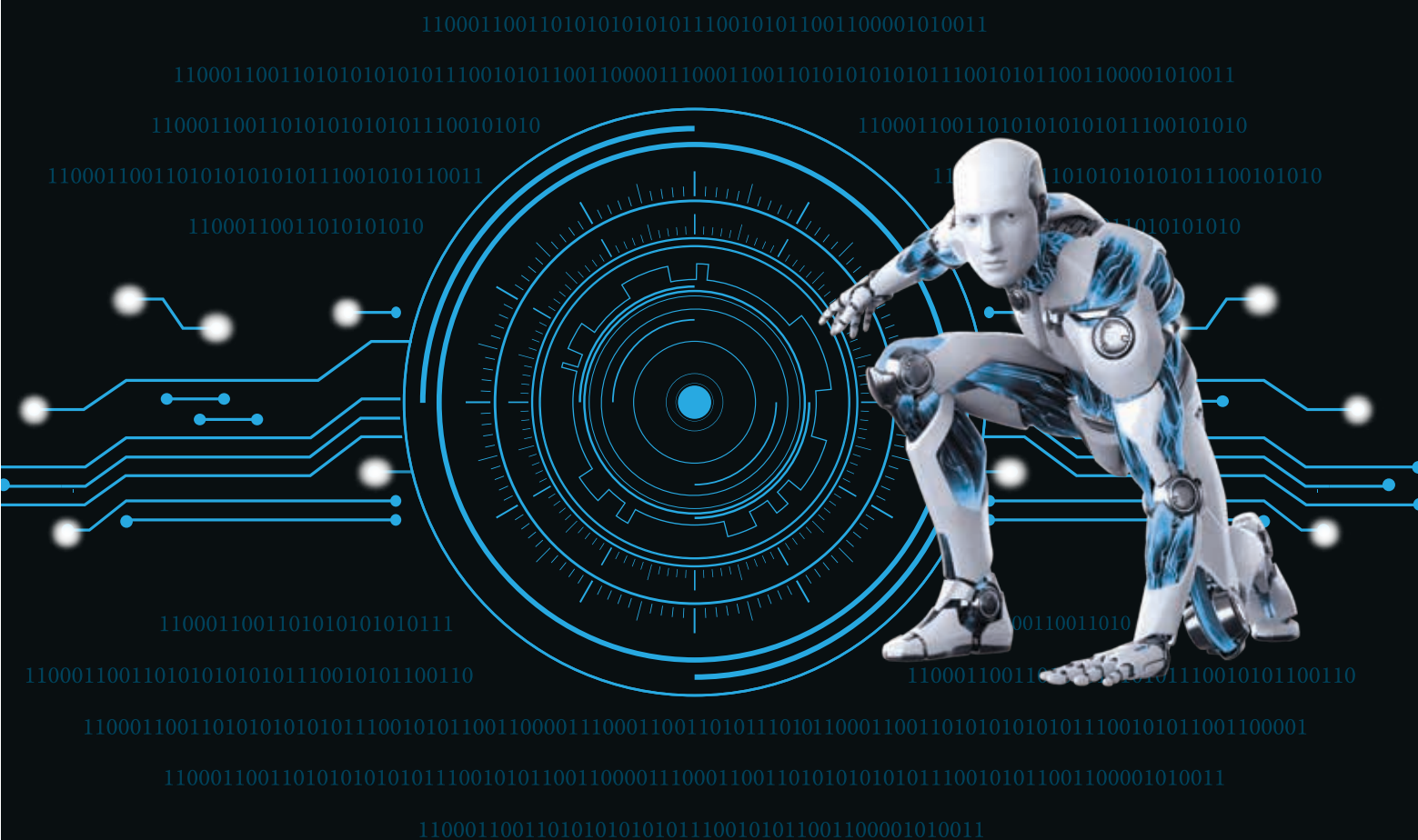
Naklada: 800 izvodov
Cena: 5,00 EUR – letna naročnina 30,00 EUR

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

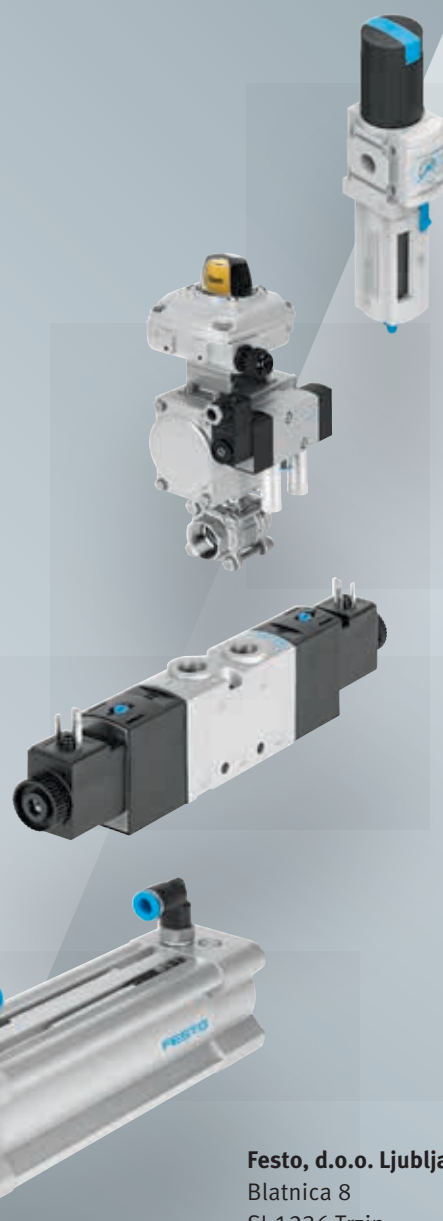
Prednosti na prvi pogled:

- 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