

VENTIL

ISSN 1318 - 7279

Letnik 30 / 2024 / 2 / April

Fakulteta za
strojništvo z novo
raziskovalno opremo

Simulacija
mehanskega odziva
nestandardnih čepov

Uporovno točkovno
varjenje

Nadzor proizvodnih
procesov


EMERSON
Process Management

BETTIS™

 **BIFFI**

 **Field**

FISHER

Dantorque

HYTORK

Shafer®



EL Matic™



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

ppt commerce

HIDRAVLIKA IN PROCESNA TEHNIKA
PRODAJA • PROJEKTIRANJE • SERVIS

Univerza v Ljubljani
Fakulteta za strojništvo



FESTO

 **POCLAIN**
Hydraulics

 **Parker**

la&co

Sinergija premikanja. Hidravlika. Pnevmatika. Linearna tehnika.

 **Cantab**
EkoSistema
Pneumeth
Industria Italiana



 **PODKRIŽNIK**

 **SEAL & TRADE d.o.o.**

ppt commerce

OPL

hpe
www.hpe.si info@hpe.si

OMEGA AIR
more than air

ŠIROK IZBOR VENTILOV

ZA HIDRAVLIČNE POGONE VOZIL IN NJIHOVA HIDRAVLIČNA ORODJA



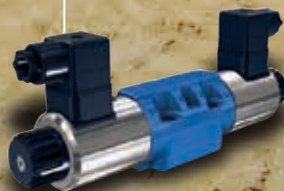
Izmenjevalni
ventil



Ventil za hidravlično
zaporo koles



4/3 Potni
ventil



6/2 Potni
ventil



ZASNOVANI IN PROIZVEDENI V SLOVENIJI



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

www.poclain-hydraulics.com



SLOVO



Dobrih petnajst let je, odkar sem za našo revijo Ventil napisal prvi uvodnik, in dobrih petnajst let, odkar sem prevzel funkcijo glavnega in odgovornega urednika. To je dolga doba. Pogled nazaj, če je vse potekalo v redu, je vedno lep in izžareva zadovoljstvo. In prav to lahko zapišem pritrdilno.

Napisal sem prek šestdeset uvodnikov. V večini sem bil zelo kritičen do številnih dejanj politikov in drugih, ki krojijo naša življenja. Mislim, da je bilo to v redu, saj je poslanstvo vsakega medija tudi to, da smo do slabih odločitev vseh, ki vplivajo na našo usodo, kritični.

V številnih uvodnikih sem se kritično dotaknil našega šolskega sistema. Kot primer: pred nekaj več kot desetimi leti sem zapisal, da bi morala politika na tak ali drugačen način vplivati na mlade pri izbiri terciarnega izobraževanja. Že takrat sem zapisal, da lahko zelo natančno izračunamo, koliko zdravnikov, medicinskih sester, sodnikov, učiteljev v osnovnih šolah in še kar nekaj drugih poklicev bomo potrebovali čez pet ali deset let. In ker tega politika v vsem tem času ni hotela storiti, nam danes močno primanjkuje zdravnikov, medicinskih sester, učiteljev in drugih. Imamo pa preveč novinarjev in drugih družboslovnih izobražencev.

Mnogokrat sem se dotaknil odnosa politike in družbe nasploh do tehnike, inženirstva ter naravoslovja. V vseh teh letih se je pokazalo, da je v Sloveniji inženirstvo in predvsem strojništvo na visokem nivoju in primerljivo z najbolj razvitimi državami na svetu. Odnos vladajočih do izobraževanja na področju tehnike pa je bil vedno in je še ponižujoč. Naj tu omenim samo izobraževalne programe v osnovni in v srednjih šolah. Ta odnos do izobraževanja na področju tehnike se nam bo v bodoče lahko maščeval.

Na področju izobraževanja sem večkrat pisal o kakovosti našega šolskega sistema, o znanju naših dijakov v primerjavi z drugimi dijaki po svetu in o uvrstitvi naših univerz na mednarodnih lestvicah o kakovosti. Skrb vzbuja, da na vseh omenjenih po-

dročjih in na vseh mednarodnih lestvicah v zadnjih letih padamo. Še bolj pa to, da se zaradi te težave praktično nihče ne sekira in nihče ne ukvarja s tem, še manj, da bi nekdo poskušal ta sistem izboljšati.

Pisal sem tudi o našem družbenoekonomskem sistemu in o našem gospodarskem stanju in ju primerjal z drugimi državami. Pogosto sem se dotaknil ekonomske svobode, ki je dokazano pomemben dejavnik za visok standard ljudi. Na primer: v državi Singapur je zadnjih trideset let ekonomska svoboda zelo visoka. Povprečna plača v tej državi je prek 3 000 evrov. Ekonomska svoboda v Venezueli pa je zadnjih trideset let med najnižjimi na svetu in povprečna plača zaposlenega je 3 evre. Za boljše razumevanje ekonomske svobode je pomemben podatek, da je bila Venezuela pred štiridesetimi leti ena bogatejših držav na svetu in Singapur ena izmed revnejših.

V Sloveniji smo na mednarodni lestvici ekonomske svobode v zadnjem letu padli za pet mest.

Zelo zanimive so tudi druge mednarodne primerjalne lestvice, na katerih pa Slovenija v zadnjih letih pada. Tu naj omenim varnost državljanov. Pred tremi leti smo bili na petem mestu na svetu. Danes pa smo nižje od desetega mesta.

Zapisati moram tudi, da sem za svoje uvodnike dobival kar precej pohval. Ne domišljam si, da so bili z njimi vsi zadovoljni. Kritik pa prav veliko ni bilo. Ko sem leta 2021 februarja pohvalil takratno vlado, ko je vplivala na razpis za študije terciarnega izobraževanja in zahtevala spremembe na področju vpisa na medicinsko fakulteto in na tehniko v splošnem, sem od kolega dobil zelo ostro kritiko, da sem »janšist«. Že takrat sem se spraševal, od kod njemu ta ideja, pa mi niti sam ni znal pojasniti. Napisal sem mu obsežen odgovor s pojasnili, da pač tehniki moramo skrbeti za tehniko in za razvoj kadrov na tem področju. Danes vidimo, da je bila odločitev vlade še premalo odločna. Manjka nam inženirjev in zdravnikov. Nič dobro pa se nam ne piše v bodoče.

Spoštovani bralci, s tem zaključujem pisanje uvodnikov za revijo Ventil. V bodoče jih bo pisal nov glavni in odgovorni urednik te revije prof. Halilović, ki bo svoje mesto uradno prevzel z letošnjim septembrom.

Pri tem bi se rad zahvalil celotnemu uredniškemu odboru za sodelovanje, vsem avtorjem prispevkov za revijo, vsem oglaševalcem in še posebno tehničnemu uredniku g. Romanu Putrihu, ki je v celoti bdel nad izdajami revije, jih urejal, skrbel za finančno poslovanje revije in še mnogo drugega.

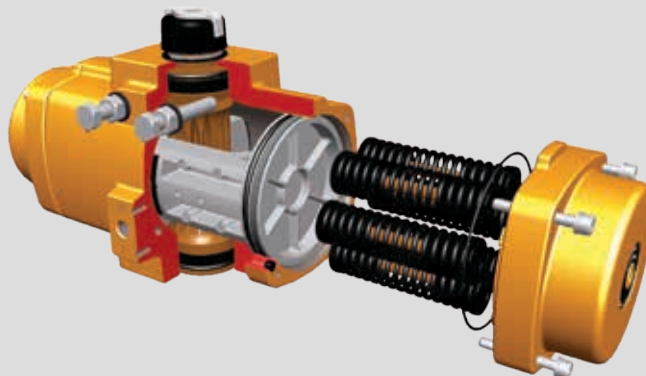
Janez Tušek




EMERSON™
Process Management



EL Matic™



Field



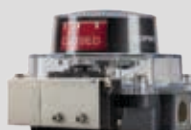
BETTIS™



 **BIFFI**



FISHER®



Dantorque

HYTORK®

Shafer®

ppt commerce

HIDRAVLIKA IN PROCESNA TEHNIKA
PRODAJA • PROJEKTIRANJE • SERVIS

PPT commerce, d.o.o.

Celovška cesta 334, 1210 Ljubljana – Šentvid

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

e-mail: info@ppt-commerce.si

www.ppt-commerce.si

DOGODKI • POROČILA • VESTI

Franc Majdič

Štirinajsta mednarodna fluidnotehnična konferenca v Dresdnu 66

Dominika Rozoničnik

Meroslovje v digitalnih okoljih 68

PREDSTAVITEV

Neža Markelj Bogataj

Nova raziskovalna oprema za prebojne raziskave in še bolj poglobljeno sodelovanje z gospodarstvom – 4. del 72

NOVICE • ZANIMIVOSTI 74

BIONIKA

Janez Škrlec

Bionika bo poganjala prihodnje tovarne 82

HIDRAVLIČNI ČEPI

Anže Čelik, Boris Jerman, Franc Majdič

Simulacija mehanskega odziva nestandardnih čepov 84

UPOROVNO TOČKOVNO VARJENJE

Robert Brezovnik, Jožef Ritonja

Analiza varilnega transformatorja za potrebe razvoja robotskega uporovnega točkovnega varjenja 94

NADZOR PROIZVODNIH PROCESOV

Žiga Stržinar, Boštjan Pregelj, Igor Škrjanc

Uporaba metode rojenja z lastnim odzivom v minimalno invazivnem nadzornem sistemu 104

IZ PRAKSE ZA PRAKSO

Milan Kambič

Količina in interval mazanja ležajev z mastjo 44

AKTUALNO IZ INDUSTRIJE

Varno vpeti tovari (**ELESA+GANTER**) 110

Sesalne gume MX proizvajalca PIAB sedaj tudi v velikosti 25 mm in z dodatnimi funkcijami (**INOTEH**) 112

NOVOSTI NA TRGU

PIAB: Novi prisesek BXP 45 mm sedaj dopolnjujeta še različici 65 in 90 mm (**INOTEH**) 114

Nova velika in zelo močna energetska veriga Kabelschlepp TKHD85 (**INOTEH**) 115

PODJETJA PREDSTAVLJAJO

EPx-85 – močne procesne črpalke (**HENNLICH**) 116

Rentgen na produkcijski liniji? (**INEA**) 118

Spomladansko vzdrževanje hladilnika (**OMEGA AIR**) 120

ŠTIRINAJSTA MEDNARODNA FLUIDNOTEHNIČNA KONFERENCA V DRESDNU

Franc Majdič

Mednarodna fluidnotehnična konferenca, imenovana tudi IFK, poteka vsaki dve leti in se izmenjuje med nemškim Aachnom in Dresdnom. Letošnje leto je potekala med 19. in 21. marcem v lepem nemškem mestu Dresden. Omenjena konferenca je ena od bolj prepoznavnih s področja fluidno-mehatronskega sistemov v svetovnem merilu. Konferenca uspešno povezuje sodobne trende in inovacije med proizvajalci, uporabniki in znanstveniki



Konferenčni center IFK na Tehnični univerzi v Dresdnu

Na konferenci je bilo 410 udeležencev, od tega 68 % iz Nemčije in 32 % iz drugih držav sveta. Pet udeležencev je zastopalo Slovenijo. Od vseh je bilo 43 % predstavnikov iz industrije in 57 % iz akademskih krogov.

Tematski naslov konference je bil **Fluidna tehnika – trajnostna proizvodnja**. Na konferenci je bilo na 24 znanstvenih sekcijah predstavljenih 91 prispevkov,

od tega tri splošna uvodna ter štiri vabljenega uvodna predavanja.

Prvo uvodno predavanje sta skupaj predstavila ga. Luisa Bindel iz podjetja Strabag in prof. dr. Jürgen Weber, vodja inštituta za fluidno-mehatronske sisteme na Tehnični univerzi v Dresdnu. Naslov prvega uvodnega predavanja je bil: Inteligentni mobilni stroji prispevajo k produktivnosti in vzdržljivosti gradbišč. Predstavila sta vidike in smernice, ki vodijo h klimatski nevtralnosti, omenila sta alternativne vire energije in možnosti uporabe. Omenila sta, da je povečanje produktivnosti strojev zelo pomembno z vidika manjše porabe energije in večje učinkovitosti. Drugo vabljenega predavanje so predstavili

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



Drugo uvodno predavanje štirih predavateljev z naslovom »Podatkovni management v fluidni tehniki«

štirje govorniki: dr. Steffen Haack iz podjetja Bosch Rexroth, dr. Christijan Geis iz nemškega industrijskega združenja strojnih inženirjev fluidne tehnike, g. Hartmut Rauen iz VDMA ter dr. Ansgar Kriwet iz podjetja Festo. Naslov njihovega skupnega predavanja je bil Podatkovni management v fluidni tehniki. Poudarili so smiselnost uvajanja digitalnih dvojčkov, pomembnost oddajanja in sprejemanja podatkov posamezne komponente, standardizacija za izmenjavo podatkov v fluidni tehniki, obdelava podatkov, ...

Na konferenci je bilo izvedenih 24 znanstvenih sekcij z naslovi: izkoristek, teoretične osnove, vodna hidravlika, ventili, tribologija, materiali, uporaba v mobilni tehniki, črpalke, nove in posebne uporabe fluidne tehnike, neodvisno krmiljenje v mobilni tehniki, vzdržnostna pnevmatika, strategije industrijskega

skrega krmiljenja, pnevmatika, krmiljenje, konstruiranje sistemov in arhitekture, simulacije, sistemska postrojenja in mobilni stroji, digitalizacija, zasnova digitalnih sistemov, aktuatorji in senzorji, vodik, ...

Iz Slovenije smo s Fakultete za strojništvo Univerze v Ljubljani predstavili tri prispevke: dr. Ana Trajkovski prispevek z naslovom Polioksimetilenski kompozit za trajnostno uporabo v hidravličnih ventilih, dr. Marko Šimic prispevek Eksperimentalna analiza porabe energije piezoaktuatorjev, uporabljenih v hidravličnih preklonih ventilih, ter dr. Franc Majdič prispevek Tribološke lastnosti batnih tesnil hidravličnih valjev za uporabo v vodni in oljni hidravliki.

Naslednja mednarodna nemška konferenca IFK bo čez dve leti v Aachnu.

POSVET

AVTOMATIZACIJA STREGE IN MONTAŽE 2024 - ASM '24

05. decembra 2024
na Gospodarski zbornici Slovenije v Ljubljani

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

MEROSLOVJE V DIGITALNIH OKOLJIH

Dominika Rozoničnik

21. 3. 2024 je v okviru 43. mednarodne konference o razvoju organizacijskih znanosti v organizaciji Urada RS za meroslovje in Fakultete za organizacijske vede Kranj potekal dogodek Meroslovje v digitalnih okoljih.



Pozdravni govor predsednika Državnega sveta RS g. Marka Lotriča na dogodku Meroslovje v digitalnih okoljih v Kongresnem centru Portus v Portorožu

Razvoj organizacijskih znanosti odpira vrata v razvojne strategije organizacij na nivoju ljudi, informacijskih sistemov oz. digitalizacije in meroslovja. V ospredju razvoja so tako omenjeni glavni trije stebri organizacij za uspešno doseganje njihovih ciljev in ustrezno premagovanje vsesplošnih izzivov družbe. Seveda se pod okrilje strategije rasti organizacij vedno bolj umešča poleg digitalnega tudi področje zelenega prehoda. Zeleni in digitalni prehod daje ta organizacijam priložnost za spremembe v smeri vsesplošnih izzivov okolja.

Kot je v svojem pozdravnem govoru povedal predsednik Državnega sveta RS g. Marko Lotrič, »postavljajo zahteve gospodarstva in družbe vse bolj interdisciplinarne. Tem zahtevam bo potrebno slediti tudi z izobraževalnim sistemom, če želimo zagotoviti kakovosten kader, učinkovito gospodarstvo in rastočo družbo. Zato je že pred enim letom Zavod Republike Slovenije za šolstvo začel s prenovo učnih načrtov. Hkrati pa je tudi Vlada RS začela s povečano promocijo naravoslovja ter financiranjem deficitarnih poklicev. Na trgu dela je namreč naenkrat nastala vrzel zaradi pomanjkanja posameznih

naravoslovnih oziroma – še bolj natančno – meroslovnih znanj, ki pa so nujno potrebna na vseh področjih našega življenja.

Meroslovje je namreč prisotno povsod, na vsakem koraku našega življenja in kroji tako naš razvoj ter napredek kot tudi našo varnost oziroma usodo.

Slovenija kljub svoji majhnosti slovi kot na znanju stoječa država z zelo delavnimi in inovativnimi ljudmi – tudi na področju meroslovja. Zato moramo to podobo graditi še naprej in s skupnimi močmi premagovati vse prepreke.«

S tega stališča je bil dogodek Meroslovje v digitalnih okoljih še toliko bolj pomemben, saj je bil celotni drugi del posvečen prav obnovitvi temeljnih meroslovnih znanj, ki jih je potrebno začeti prenašati na mlade generacije z igro že v vrtcu in nato v šolah ter na fakultetah samo še nadgrajevati.

Cilj dogodka Meroslovje v digitalnih okoljih je bil glede na pobudo gospodarstva kot tudi profesorjev in raziskovalcev iz izobraževalnih institucij obnoviti temeljna znanja s področja meroslovja.

V prvem delu sta predstavnik dveh uspešnih gospodarskih organizacij (Dewesoft in Iskraemeco) skupaj z direktorjem Centra odličnosti Vesolje-SI

Mag. Dominika Rozoničnik, Urad RS za meroslovje



Lepljenka vseh predavateljev na dogodku Meroslovje v digitalnih okoljih

predstavila pomen merenj in meroslovja v naprednih digitalnih okoljih kot tudi v vesolju.

V drugem delu pa sta predavatelja s Fakultete za strojništvo, Univerze v Mariboru, in Urada RS za meroslovje na interaktiven način s primeri iz učnih klopi ter poslovnih in razvojnih okolij predstavila osnovne pojme in definicije meroslovja, ki predstavljajo temelje sprememb in razvoja.

Priča smo številnim velikim izzivom, ki nam jih pri-
našata narava in življenje. Meritve pa v tem nepred-
vidljivem svetu naravnih katastrof, umetne inteli-
gence, gospodarske eksplozije, športnih presežkov
itd. vedno bolj kažejo svoj pravi pomen pri spreje-
manju odločitev, iskanju rešitev, doseganju najbolj-
ših rezultatov in osvajanju zmag.

Točni podatki in rezultati meritev imajo tako vedno
bolj neprecenljivo vrednost ter potencial, da preo-
brazijo podjetje in ustvarijo nove priložnosti šele, ko
znamo iz njih izluščiti prave informacije, ki ustvarja-
jo dodano vrednost in denar.

V dveh vsebinsko dopolnjujočih se sklopih so svo-
ja strokovna znanja in izkušnje z udeleženci tako
delili:

1. sklop:

1. prof. dr. Tomaž Rodič, direktor Centra odlično-
sti Vesolje-SI: Mikrosatelit NEMO-HD kot vir po-
datkov za digitalne modele ekosistemov;
2. dr. Jaka Ogorevc, produktni vodja Dewesoft
d. o. o: Izzivi industrije pri razvoju sodobnih me-
rilnih sistemov;
3. Matevž Grabar, direktor GL Charge d. o. o., od-
govorni za eMobilnost AC ter software tehnolo-
gije znotraj Iskraemeco Group: Inovacije in
napredne tehnologije polnilnih postaj za zane-
sljivo ter merodajno polnilno infrastrukturo.

2. sklop:

1. mag. Matej Grum, vodja sektorja za fizikalna
merjenja na Uradu RS za meroslovje: Predstavi-
tev osnovnih meroslovnih pojmov;
2. prof. dr. Bojan Ačko, Univerza v Mariboru,
Fakulteta za strojništvo: Meroslovna pismenost.

Tudi letos smo ponovno povezali mnenja, stali-
šča in znanstvene ter strokovne razprave, ki bodo
spodbudile delovanje vseh nas v prihodnje tako v
gospodarstvu kot tudi v izobraževalnih in razisko-
valnih institucijah. Opremljeni z novimi meroslov-
nimi znanji bomo skupaj gradili močno in razvojno
usmerjeno okolje.

DNEVI INDUSTRIJSKE ROBOTIKE 2024

Od torka, 26. marca, do četrтка, 28. marca so, na Fakulteti za elektrotehniko, potekali tradicionalni letos jubilejni, 20. Dnevi industrijske robotike (DIR), ki jih organizira Laboratorij za robotiko. Dnevi industrijske robotike so namenjeni študentom Univerze v Ljubljani in so bili izvedeni v obliki robotskega hekatona, na katerem so udeleženci reševali aktualen izziv iz industrije, tokrat iz podjetja Intelligent Mechatronics, ki je bil tudi glavni sponzor dogodka.



Udeleženci in mentorji po uspešno zaključenem dogodku Dnevi industrijske robotike

Poleg glavnega cilja, ki so ga reševali udeleženci, je bil DIR namenjen še povezavi študentov, organizatorjev hekatona in industrije. Študentje so imeli možnost spoznati predstavnike iz industrije, ti pa so se lahko predstavili študentom, svojim kolegom pa so lahko predstavili probleme, s katerimi se srečujejo pri delu. Pri organizaciji dogodka so sodelovali tudi mentorji, ki so bili študentje robotike zadnjega leta študija. Dogodek je podprlo preko 20 sponzorjev, med katerimi je večina iz industrije. Sponzorji so zagotovili nagradni sklad in opremo za izvedbo hekatona ter poskrbeli za medijsko pokritost dogodka.

DIR se je začel z nagovorom predstavnikov vodstva fakultete in uvodnimi predavanji. Prvo pred-

vanje je imel profesor Satoki Tsuichihara z univerze v Fukui na Japonskem, ki je predstavil svoje raziskovalno delo s področja humanoidnih robotov in uporabe dronov v kmetijstvu. Nato je bilo predstavljeno podjetje Intelligent Mechatronics, ki je bil glavni sponzor dogodka, ter njihov izziv, ki so ga pripravili za dogodek. Naloga je bila povezana z robotizacijo procesa izdelave hladilnih teles za avtomobilske LED-luči, in sicer vstavljanje hladilnih reber v držalo, pri čemer je potrebno ta vstaviti v orodje ter nanja položiti osnovno ploščo, ki jo nato stiskalnica zakuje na hladilna rebra. Pri tem so lahko tako osnovne plošče kot rebra različnih oblik. Sledilo je predavanje o varnosti v robotiki, ki so ga izvedli predstavniki podjetja SICK.



Komisija pri ocenjevanju aplikacij

Na robotskem hekatonu je sodelovalo 6 ekip, skupaj 31 udeležencev – v posamezni skupini od 5 do 6. Ekipa so bile raznolike. Na tekmovanju so sodelovali študentje vseh letnikov študija 1. in 2. bolonjske stopnje. Prvi dan so se udeleženci ukvarjali z zasnovo svoje rešitve problema. Vsaki ekipi je bil dodeljen industrijski robot, pri delu so jim pomagali študentje mentorji. Udeleženci tekmovanja so si morali zamisliti posamezne korake programa ter katero opremo in senzorje bodo uporabili. Za vsako ekipo je bil vnaprej pripravljen osnovni izbor opreme in senzorjev. Kar pa jim je manjkalo, so si lahko nabrali v Laboratoriju za robotiko. V programskem okolju za načrtovanje mehanskih komponent so izrisali ustrezne komponente za robotsko celico. Nekatere ekipe pa so načrtale tudi svoja prijemala, ki so jih izdelali s 3D-tiskalnikom. Največ dela so ekipe, ki so si zamislile različne rešitve, opravile 2. dan, ko so imele na voljo cel dan.

Osnove njihovih rešitev pa je mogoče strniti v naslednjih korakih: Z robotskim vidom je bilo najprej potrebno zaznati raztresene lamele, da jih je robot lahko pobral. Večina ekip je za zaznavo uporabila klasične metode robotskega vida, ena od ekip pa

je naučila svoj model prepoznave s pomočjo umetne inteligence. Ko je bila določena lega lamele, jo je bilo potrebno z robotom pobrati. Večina ekip je uporabljala po en sesek, ena od ekip pa je izdelala tudi prijemalo z 2 seskoma, s katerima je bilo mogoče pobrati dve lameli. Dve ekipi pa ste se neodvisno spomnili inovativne rešitve pobiranja lamel s pomočjo igle, na katero so nataknili lamele. Te so se zaradi gravitacije poravnale navpično. Nato so lamele previdno vstavili v vložišča in jih na koncu še poravnali. Nekatere ekipe so izdelale tudi programe za preverjanje, ali so lamele pravilno obrnjene in ali so poškodovane. Poškodovane lamele so nato izločili. Poleg tega so morali poskrbeti tudi za ustrezno varnost, pri čemer so si pomagali z laserskimi senzorji, ki so zaznali, če je v delovni prostor robota vstopil človek. Aplikacija je bila tako varna za tekmovalce kot za opazovalce. Nekatere ekipe so svoje aplikacije nadgradile tudi z razvojem uporabniškega vmesnika za razvijalce.

Ob samem hekatonu za tekmovalce so bila postavljena tudi razstavna mesta za sponzorje, ki so mimoidočim študentom in obiskovalcem Fakultete za elektrotehniko predstavljali svoje izdelke in podjetja. Študentje mentorji so 2. dan vsem udeležencem spekli palačinke, da ne bi ob zavzetem delu pozabili na okrepčilo.

Dogodek se je končal tretji dan. Tekmovalci so svoje rešitve predstavili komisiji za ocenjevanje, ki je bila sestavljena iz predstavnikov organizatorjev iz Laboratorija za robotiko ter strokovnjakov iz podjetja Intelligent Mechatronics. Po ocenjevanju je komisija razglasila zmagovalno ekipo, ki je dobila glavno nagrado. Nagrado sta dobili tudi druga in tretja ekipa. Zmagala je ekipa RoboRevolution, ki je bila sestavljena iz študentov 1. in 2. letnika 2. bolonjske stopnje univerzitetnega študija. Druga je bila ekipa SoftTouch, tretja pa Redundantni robotiki.

Dnevi industrijske robotike so se uspešno končali za vse ekipe, saj so vse vztrajale do konca in uspele razviti osnovno rešitev za vstavljanje hladilnih reber v držalo. Udeleženci so bili s svojimi rešitvami zadovoljni. Člani marsikaterih ekip pa so izjavili, da so imeli dovolj idej in bi, če bi lahko tekmovali še en dan, še bolj dodelali svoje aplikacije. Organizatorji in sponzorji so Dneve industrijske robotike 2024 označili kot zelo uspešne.

Posebna zahvala gre našim sponzorjem, zlasti generalnemu sponzorju Intelligent Mechatronics ter ostalim sponzorjem: ABB, IHS, RLS, Yaskawa, Amiteh, Domel, Iskramemeco, KLS, LTEK, LTH, MB - Naklo, Tipteh, Universal Robots, Camincam, Fanuc, MIEL, SICK.

Doc. dr. Janez Podobnik, dr. Sebastjan Šlajpah,
prof. dr. Marko Munih,
vsi Univerza v Ljubljani, Fakulteta za
elektrotehniko



NOVA RAZISKOVALNA OPREMA ZA PREBOJNE RAZISKAVE IN ŠE BOLJ POGLOBLJENO SODELOVANJE Z GOSPODARSTVOM – 4. DEL

Neža Markelj Bogataj

V zadnjem sklopu, posvečenem novi raziskovalni opremi, v katero so v preteklem letu investirali na Fakulteti za strojništvo Univerze v Ljubljani, sta predstavljena večnamenska naprava nove generacije za izdelavo in spremljanje tokovnega vedenja visoko koncentriranih multifunkcijskih naprednih materialov v majhnem volumnu, ki so jo pridobili v Laboratoriju za eksperimentalno mehaniko, ter napredni testni sistem gorivnih celic, ki je postal del Laboratorija za motorje z notranjim zgorevanjem in elektromobilnost. S Paketom 21, ki ga sofinancira Agencija za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije (ARIS), je fakulteta svoj nabor najnaprednejše raziskovalne opreme razširila še za 16 dodatnih kosov v skupni vrednosti več kot 3,7 milijona €.

Večnamenska naprava nove generacije za izdelavo in spremljanje tokovnega vedenja visoko koncentriranih multifunkcijskih naprednih materialov v majhnem volumnu

Večnamenska naprava nove generacije omogoča izdelavo visoko koncentriranih multifunkcijskih materialov v majhnem volumnu z ekstremno visokim navorom in hitrostjo mešanja. Naprava je primarno namenjena izvajanju bazičnih raziskav na področju naprednih materialov in kompozitov, ki se uporabljajo v zahtevnih inženirskih aplikacijah (magnetni kompoziti, biološki medicinski vsadki, protimikrobni nanokompoziti, reciklirani kompoziti, kompoziti s farmacevtskimi učinkovinami, izdelava filamentov za 3D-tisk, ...), kjer je poleg kompleksnih mehanskih obremenitev in spremenljivih okoljskih razmer pomembna tudi trajnost izdelkov.

Naprava je trenutno edini sistem v Sloveniji, ki omogoča mešanje materialov z izredno visoko viskoznostjo. Gre za najsodobnejšo opremo na tem področju, ki ponuja popoln nadzor tlakov v posameznih območjih mešanja, mešanje pri visokih navorih in hitrostih ter posledično izjemno visoko stopnjo homogenosti končnih vzorcev.

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



Slika 1 : Večnamenska naprava nove generacije za izdelavo in spremljanje tokovnega vedenja visoko koncentriranih multifunkcijskih naprednih materialov v majhnem volumnu (Foto: IFP, d. o. o.)

S pomočjo nove opreme bo programska raziskovalna skupina Fakultete za strojništvo pripravljala nove napredne materiale in hkrati izvajala izobraževanja študentov na tem področju.

Natančneje nova naprava omogoča:

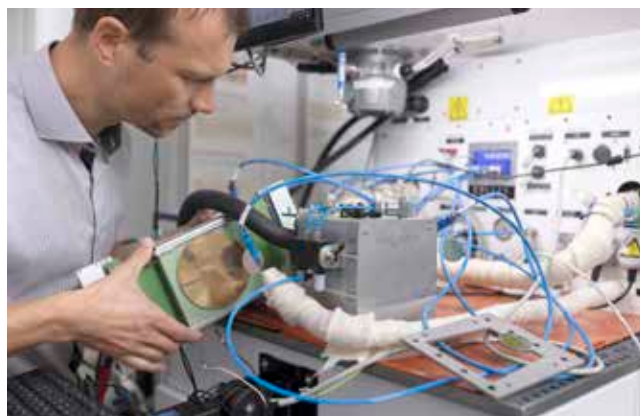
- ▶ izdelavo visoko koncentriranih multifunkcijskih materialov;
- ▶ merjenje in kontrolo tokovnega vedenja med izdelavo ter s tem kvalitete končnih vzorcev;
- ▶ procesiranje visokozmogljivih materialov, kot sta npr. polietar eter keton (PEEK), polietar imide (PEI), katerih temperaturno območje procesiranja je višje od 350 °C;
- ▶ uporabo zelo majhnih količin materialov (do 15 ml), kar je predvsem velika prednost pri uporabi dragih ali funkcionalnih polnil, ki jih lahko proizvajamo le v zelo majhnih in omejenih količinah;
- ▶ uporabo oksidacijsko nestabilnih materialov zaradi možnosti zagotovitve inertne atmosfere med procesom izdelave;
- ▶ izdelavo standardnih in nestandardnih vzorcev, filamentov, folij ali injekcijsko brizganih vzorcev za nadaljnjo karakterizacijo.

Napredni testni sistem gorivnih celic

Raziskovalna oprema predstavlja, skupaj s pripadajočo strojno in programsko opremo, najsodobnejša izhodišča za raziskave izdelave in razvoja virtualnih tipal, krmiljenja ter testiranja gorivnih celic. Naprava omogoča edinstven pristop pri raziskavah elektrokemičnih pretvornikov v fazi snovanja, izdelave in optimizacije komponent gorivnih celic, baterij in elektrolizerjev. Raziskovalna oprema je prav tako edina v Sloveniji, ki zagotavlja optimalno kontrolo z namenom zasledovanja različnih ciljnih funkcij: stacionarni/dinamični režim obratovanja, življenjska doba, energijski izkoristek, stroški, izdelovalni/obdelovalni parametri itd.

S tehničnega vidika gre za povezovanje treh elementov v celosten sistem, ki združuje razvoj individualnih komponent in njihovo analizo, ki neposredno vplivajo na:

- ▶ funkcionalnost končnih izdelkov – delov gorivnih celic,
- ▶ eksperimentalno in virtualno diagnostiko elektrokemijskih pretvornikov energije ter
- ▶ snovanje kiber fizikalnih sistemov in njihovo kontrolo.



Slika 2 : Napredni testni sistem gorivnih celic
(Foto: IFP, d. o. o.)

Vse zgoraj naštetu predstavlja kombinacijo postopkov, ki so izvedeni hitro, ponovljivo, zanesljivo ter na enem mestu, kar trenutno drugje v Sloveniji ni na voljo in tako odpira številna področja možnih raziskav, ki so celo v mednarodnem prostoru zaenkrat redka.

Raziskovalna oprema je namenjena vzpostavitvi celovitega funkcionalnega raziskovalnega okolja in razvoja komponent gorivnih celic, v katerem bo možno hitro načrtovanje programa meritev in testov v testni postaji za gorivne celice glede na namen produkta (stacionarne gorivne celice, sistemi SPTE z gorivnimi celicami, mobilne aplikacije, mikroaplikacije, specialne izvedbe itd.). Rezultate parametričnih meritev v testni napravi bo mogoče analizirati v kratkem (skoraj realnem) času in na njihovi osnovi bosta možni tudi optimizacija geometrije in eksperimentalna validacija karakteristik elektrokemijskih pretvornikov. Dosedanje stanje na tem področju je bilo do nedavnega povezano s številnimi kompromisi, z izvedbo eksperimentov na različnih strojih/napravah z neprimerljivo slabšimi karakteristikami in celo na različnih lokacijah, kar je bilo povezano z neprimerno slabšo kakovostjo dobljenih rezultatov kot tudi s tem povezanimi višjimi stroški.

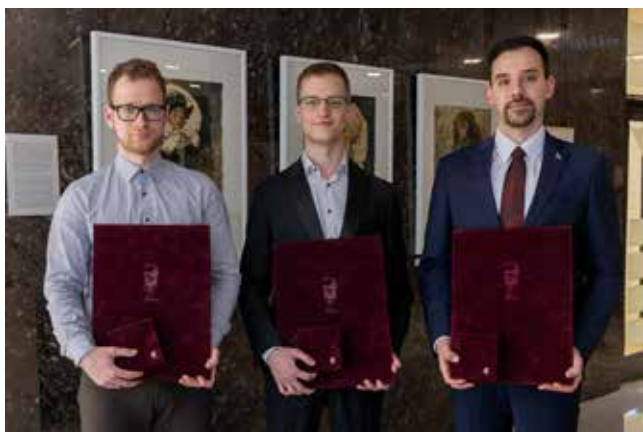
Za vsa dodatna vprašanja v zvezi z opremo ter možnostih sodelovanja se lahko obrnete na rr@fs.uni-lj.si.

REVILJA ZA FLUIDNO TEHNIKO, AVTOMATIZACIJO IN MEHATRONIKO
VENTIL


strojnistvo.com
križišče strojnikov

ZNANI DOBITNIKI PRIZNANJ ZLATI ZNAK JOŽEFA STEFANA

Na Institutu »Jožef Stefan« so v okviru 32. Dnevov Jožefa Stefana podelili zlate znake Jožefa Stefana. Prejeli so jih dr. Matic Može s Fakultete za strojništvo UL ter dr. Aleks Smolkovič in dr. Jan Šuntajs s FMF UL in IJS.



Prejemniki priznanja Zlati znak IJS

Zlati znak Jožefa Stefana Institut tradicionalno podeljuje domačim in tujim avtorjem najodmevnejših doktorskih del s področja naravoslovno-matematičnih, tehniških, medicinskih in biotehniških ved v zadnjih treh letih.

Dr. Matic Može je zlati znak Jožefa Stefana dobil za odmevnost doktorskega dela Hibridne strukturirane površine za izboljšanje prenosa toplote pri mehurčkastem vrenju na predlog mentorja prof. dr. Iztoka Golobiča s Fakultete za strojništvo Univerze v Ljubljani in somentorja doc. dr. Matevža Zupančiča. V svoji doktorski disertaciji raziskuje prenos toplote in snovi, pri čemer se osredotoča na funkcionalizacijo površin za obvladovanje fenomenov fazne spremembe s poudarkom na procesu mehurčkastega vrenja. Dr. Može je dokazal, da je s primerno kombinacijo mikrostrukture in omočljivosti vrelnih površin v pogojih vrenja možno doseči izjemne izboljšave intenzivnosti prenosa toplote tudi na površinah, ki sicer izkazujejo superhidrofobnost; te površine so bile v dotedanji literaturi pojmovane kot neprimerne za izboljšanje prenosa toplote pri vrenju. Razviti pristopi in aplikacije razvitih hibridnih površin se znotraj raziskovalne skupine in mednarodnih projektov širijo tudi na druga področja.

Dr. Aleks Smolkovič je dobil zlati znak Jožefa Stefana za odmevnost doktorskega dela Odkrivanje strukture okusa v modelih nove fizike z natančnimi

opazljivkami na predlog mentorja izr. prof. dr. Nejc Košnika in prof. dr. Jerneja Fesela Kamenika z Instituta »Jožef Stefan«. Aleks Smolkovič se je že kot svež doktorski študent spraševal, zakaj imata nestabilna sorodnika elektrona, mion in tauon, skoraj enake lastnosti elektrону, vendar popolnoma drugače občutita Higgsov bozon. Fascinirali sta ga tudi odprti vprašanji: zakaj je vesolje sestavljeno le iz elektronov, protonov in nevtronov, ne pa tudi iz njihovih antidelcev, in kakšne so lastnosti delcev temne snovi, ki sestavljajo četrtno mase vesolja? Štiri leta kasneje je predlagal več metod, ki na inovativen način, tudi z uporabo naprednih metod strojnega učenja, naslavlajo omenjene odprte probleme in so trenutno v fokusu eksperimentalne fizike. Izsledki njegovih raziskav bi lahko v bližnji prihodnosti pomagali k boljšemu razumevanju vesolja od portalov s temno snovjo do strukture nove fizike.

Dr. Jan Šuntajs je zlati znak Jožefa Stefana dobil za odmevnost doktorskega dela Neravnovesne in statistične lastnosti izoliranih kvantnih večdelčnih sistemov na predlog mentorja izr. prof. dr. Leva Vidmarja z Instituta »Jožef Stefan«. Ko je Jan Šuntajs pričel z raziskovalnim delom v okviru svoje doktorske disertacije, sta si z mentorjem najprej zadala zmerno ambiciozen cilj: da proučita in predstavi ta nov pogled na sicer do takrat že uveljavljeno področje mnogodelčne lokalizacije, kar označuje pojav, ko postane snov idealen izolator pri poljubno visoki temperaturi. Na veliko presenečenje pa je Jan odkril znake za ravno obratno obnašanje: da domnevno idealen izolator vendarle prevaja električni tok. Ti rezultati sprva niso bili širše sprejeti, med drugim so znanstvene revije skoraj dve leti zavračale njihovo objavo. Med tem časom je kar nekaj raziskovalnih skupin vložilo čas in trud v natančno preverbo Janovih rezultatov, ki so se vsi izkazali za pravilne, poleg tega pa so ti rezultati spodbudili nadaljnje raziskave na tem področju. V nekaj letih po tem se je zgodil precej hiter preobrat, saj so se izvorni rezultati Jana Šuntajsa začeli vedno bolj uveljavljati, članek s prelomnimi rezultati pa spada med 1% najbolj citiranih del na tem področju raziskav na svetu.

www.ijs.si

»ROČAJ Z MONOSTABILNO STIKALNO FUNKCIJO IN PRIKAZOM LED« M.2000-SWM PODJETJA ELESA JE BIL NOMINIRAN ZA ADI DESIGN INDEX

V Milanu je bil 6. novembra 2023 predstavljen ožji izbor natečaja ADI Design Index 2023 za nagrado Compasso d'Oro (zlati kompas), najprestižnejšo in najstarejšo italijansko nagrado za oblikovanje (ki jo organizira združenje ADI, Association for Industrial Design). V muzeju oblikovanja ADI s sedežem v Milanu je na ogled stalna razstava zbirke nagrad Compasso d'Oro, ki sega daleč v preteklost. Tam sta predstavljena tudi dva izdelka podjetja ELESA, ki sta nagrado prejela leta 1994. Zbirka je del italijanske nacionalne kulturne dediščine, ministrstvo za kulturno dediščino pa jo priznava zaradi izjemnega umetniškega in zgodovinskega pomena.



Permanent Design Observatory, ustanova združenja ADI, ki jo sestavlja več strokovnih organov, delujočih po vsej Italiji, vsako leto pregleda italijanske oblikovalske izdelke, ki jih oceni strokovna žirija. Izbrani so izdelki, ki jih odlikujeta enkratnost, funkcionalna in tipološka inovativnost. Upoštevajo se tudi proizvodni postopki in uporabljeni materiali. Posebna pozornost je namenjena izdelkom, za katere so značilni prijaznost do uporabnika in okolja, družbena dodana vrednost in izjemno oblikovanje.

Med 219 izdelki in storitvami, ki jih je združenje ADI Permanent Observatory izbralo v 14 različnih kategorijah, je tudi ročaj M.2000-SWM z monostabilno stikalno funkcijo in prikazom LED podjetja ELESA. Nagraden je bil v kategoriji »Oblikovanje na delovnem mestu«.

Ta nova in pomembna nagrada potrjuje visoko kakovost tehničnih rešitev družbe ELESA, ki jih odlikujejo unikatno oblikovanje in inovativne rešitve izdelkov. Ročaj M.2000-SWM so že nagradile priznane žirije, kot sta LEAP Design Award (ZDA, 2022) in IF Hannover (Nemčija, 2023).

Ročaj iz podjetja ELESA je bil vključen tudi v natečaj Lombardy Excellence of Design 2023. Ta pobuda regije Lombardija v sodelovanju z ADI LOMBARDIA potrjuje pomen oblikovanja v najbolj industrializirani italijanski regiji kot gonilo novih naložb ter pri spodbujanju trajnostnega razvoja in turizma.

Izbor ADI Design Index je bil do začetka decembra na ogled tudi v WeGil Space v Rimu.

En ročaj, veliko funkcij

Ročaj M.2000-SWM je popolna kombinacija ergonomije, funkcionalnosti in kompaktnosti v sodobni obliki. Ročaj uporabniku omogoča ergonomski in varen oprijem, tudi če nosi delovne rokavice. Gladka površina omogoča enostavno čiščenje ročaja.

Ročaj je izdelan iz samougasljivega termoplasta, UL-94 V0, z gumbom in vgrajenim mikrostikalom; difuzor svetlobe LED je izdelan iz samougasljivega polikarbonata opalne barve.

Ročaji M.2000-SWM se navadno uporabljajo na strojih ali zaščitnih napravah. Poleg svoje funkcije kot ročaj v enem samem izdelku združuje še funkciji signalne lučke in stikalne omarice z delovnimi ali izklopnimi kontakti. S pritiskom gumba lahko upravljavec s pomočjo zunanje logike zahteva dostop do zaščitene območja ali ponovno aktivira stroj po prekinitvi delovanja.

Stikalo s pozitivnim delovanjem (izklopni kontakt, NC) poskrbi za to, da se tokokrog ustrezno prekine.

Z ustreznim električnim priključkom lahko barvo traku LED nastavite tako, da označuje trenutno stanje zaščitne naprave.

Paleta izdelkov vključuje tudi sorodni ročaj M.2000 brez stikalne funkcije.

SISTEM TCC PODJETJA ELESAGANTER JE PREJEL NAGRADO: VISOKA MEHANSKA ODPORNOST, TRAJNOST IN VSESTRANSKOST VPENJALNIH SPOJEV

Podjetje Eles+Ganter s ponosom predstavlja nagrajeno serijo vpenjalnih spojev. Sistem TCC je prejel nagrado German Design Award 2024 v kategoriji Excellent Product Design (odlična zasnova izdelka). Izdelki združujejo visoko mehansko odpornost, trajnost in vsestransko uporabnost.



Vpenjalni spoji ELESAGANTER

Enostavnost in robustnost vpenjalnih spojev Eles+Ganter omogočata stabilne konstrukcije na miznih ploščah, jeklenih ceveh, sistemih ograj in delavniškem pohištvu. Izdelani so iz plastomera, ojačanega s steklenimi vlakni, z maticami in vijaki iz legiranega jekla. Vpenjalni spoji so odporni proti visokim temperaturam in koroziji, hkrati pa so lahki.

Uporabnikom prijazna zasnova vključuje med drugim enostavno čiščenje ter gladke površine brez vogalov in robov. Vpenjalni spoji zagotavljajo dimenzijsko natančnost, vrhunsko obdelavo in z zagotavljanjem z dovoljenim vrtilnim

momentom preprečujejo vrtenje in izvlek cevi.

Izbirate lahko med številnimi možnostmi konfiguracije, kot so: križni vpenjalni spoji, vpenjalni spoji z nogami, vpenjalni spoji z objemko ali kotni vpenjalni spoji, vpenjalni spoji z ušescem ali zglobom itd. S standardnimi montažnimi kompleti jih je mogoče kadar koli enostavno in priročno pritrditi, ne da bi za to potrebovali posebno orodje.

Vpenjalni spoji sistema TCC družbe Eles+Ganter so na voljo v črni in sivi barvi – primerni za aluminijaste konstrukcije. Na

voljo so v dveh velikostih (Ø 18 ali 30 mm), odvisno od zahtev. Reducirne puše za druge premere so na voljo kot dodatna oprema. Poleg tega Eles+Ganter zdaj ponuja tudi izbor vpenjalnih spojev v izvedbi Visually Detectable Design (signalno modra, RAL 5005) iz plastomera (material, primeren za stik z živili v skladu s pravili FDA CRF.21 in EU 10/2011). Nenamerno kontaminacijo živila je mogoče zlahka prepoznati zaradi modre barve. To povečuje varnost pri proizvodnji hrane in je v skladu z mednarodnimi predpisi.

Poleg vpenjalnih spojev iz plastomera ima Eles+Ganter v svoji ponudbi tudi vpenjalne spoje iz aluminija, jekla in legiranega jekla za štirikotne in okrogle cevi. Ponudba vključuje tudi nosilce za monitorje v skladu s standardom VESA, ki jih je mogoče preprosto pritrditi na vpenjalne spoje. To omogoča prilagodljivost možnosti nastavitve za zaslone na dotik, prikazovalnike ali monitorje v proizvodnih strojih.

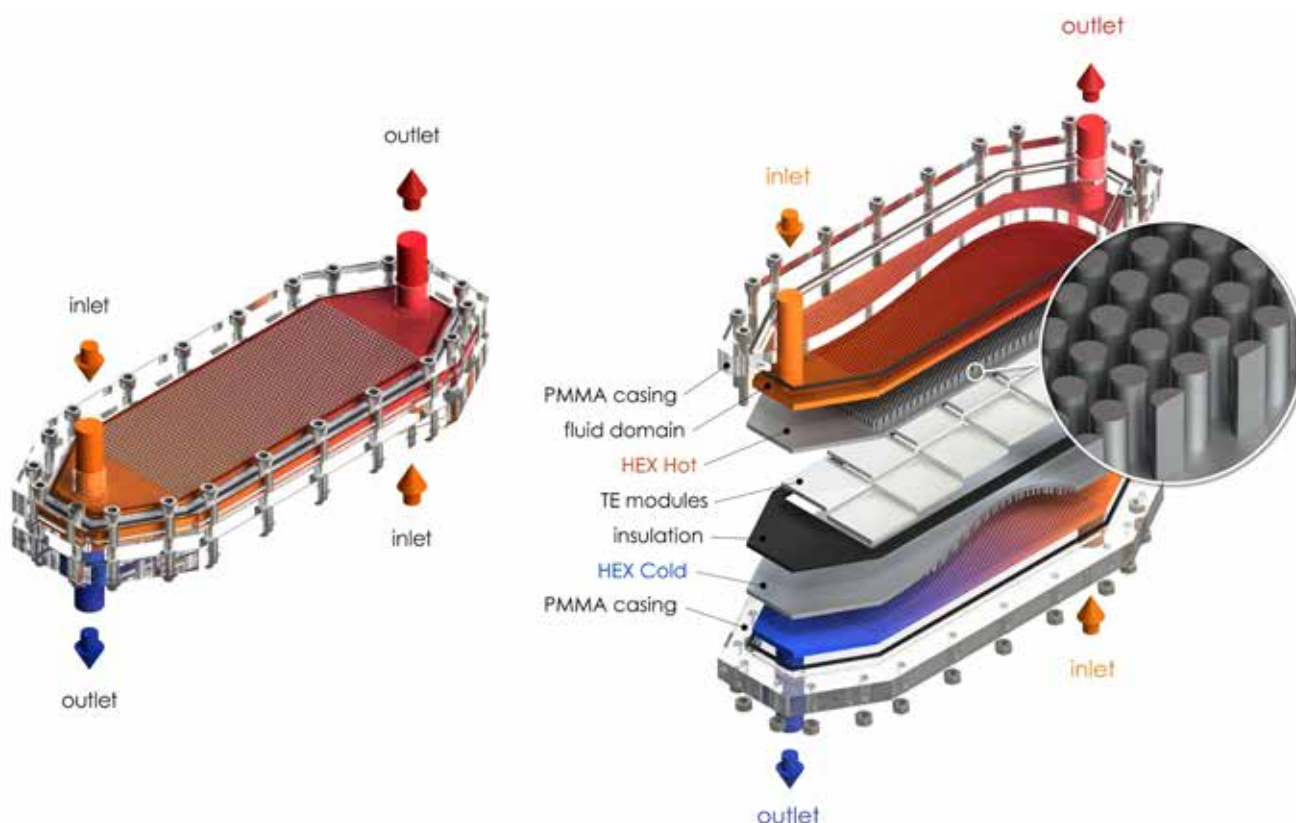
Ponudbo dopolnjujejo cevi iz aluminija ali legiranega jekla, končni pokrovčki, zaščitni pokrovi in še marsikaj.

Vir:

ELESAGANTER 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@elesaganter.at, GSM: 386 41 362 859, internet: www.elesa-ganter.at

DEMONSTRACIJSKA TERMoeLEKTRIČNA PODPORNA TOPLITNA ČRPALKA ZA TOPLITNO PODPOSTAJO ULTRANIZKOTEMPERATURNEGA SISTEMA DALJINSKEGA OGREVANJA

Članek predstavlja prvo eksperimentalno potrjeno raziskavo na svetu, ki dokazuje učinkovito uporabo termoelektričnih toplotnih črpalk v 4. ali 5. generaciji sistema daljinskega ogrevanja. Članek je bil objavljen v reviji Applied Energy (IF = 11.2).



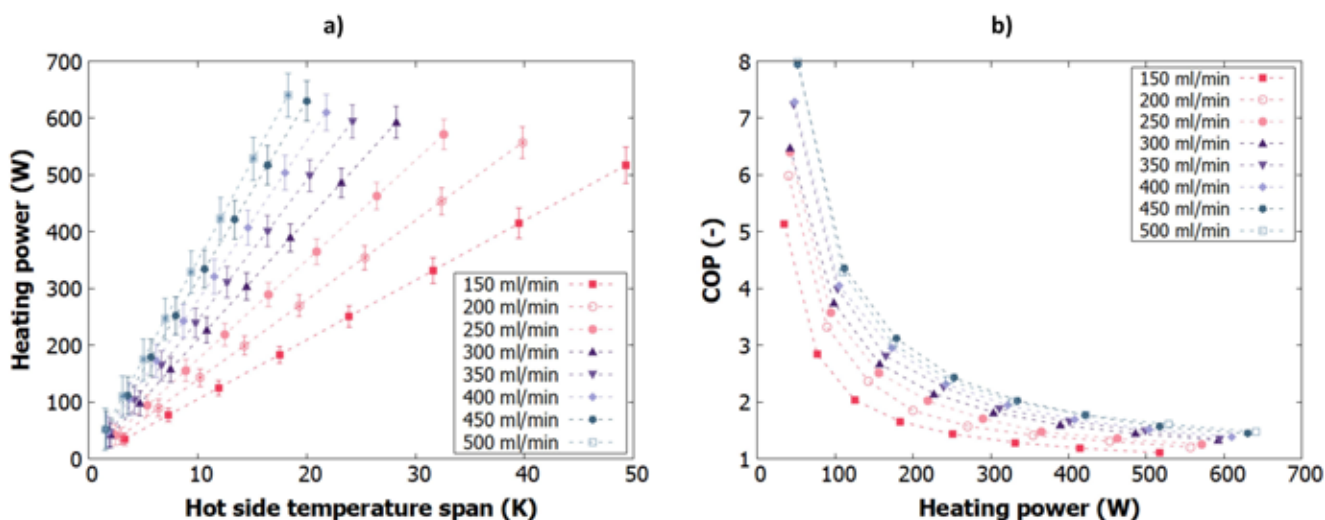
Slika 1 : 3D-model TE-TČ: razčlenjena (levo) in združena (desno) struktura

Raziskovalno delo so izvedli raziskovalci Laboratorija za hlajenje in daljinsko energetiko (procesno strojništvo) v sodelovanju s podjetjem Danfoss Trata d. o. o.

Eden najpomembnejših ukrepov za energetske učinkovitost sistemov daljinskega ogrevanja je znižanje dovodne in povratne temperature sistema. Sistemi daljinskega ogrevanja 4. generacije delujejo pri dovodnih temperaturah od 50 do 60 °C, kar omogoča boljši izkoristek obnovljivih in odpadnih virov toplote. Pri 5. generaciji so temperature dovoda/povratka bistveno nižje (< 30 °C). Ti temperaturni nivoji vodijo v potrebo po lokalnem dvigu temperature ogrevanja (npr. zaradi sanitarne tople vode), kar se rešuje z uporabo podpornih toplotnih črpalk oziroma t.

i. boosterjev. Za dvig temperature se najpogosteje uporabljajo energetske potratni električni grelniki ali kotli z zgorevanjem goriv, alternativo pa predstavljajo toplotne črpalke. Med slednjimi so v uporabi parnokompresijske toplotne črpalke, ki pa uporabljajo okolju neprijazna ali pa toksična in vnetljiva hladiva, so hrupne in povzročajo vibracije, kar v bivalnem okolju negativno vpliva na ugodje bivanja.

V objavljeni raziskavi raziskovalci predstavljajo razvoj in delovanje demonstracijske termoelektrične (Peltierjeve) podporne toplotne črpalke (TE-TČ), ki lahko služi kot podpora toplotna črpalka v toplotni podpostaji sistema daljinskega ogrevanja 4. ali 5. generacije. Predstavljena je obsežna paramet-



Slika 2 : Eksperimentalna karakterizacija delovanja TE-HP: a) toplotna moč vs. temperaturni dvig vode pri različnih pretokih, b) grelni številni COP vs. toplotna moč pri različnih pretokih

trična eksperimentalna analiza z vidika ogrevalnih zmogljivosti, pretokov, dviga temperature dovodne vode in učinkovitosti.

Razvita TE-TČ izkazuje številne prednosti pred primerljivim stanjem tehnike, in sicer izredno kompaktnost, tiho delovanje brez gibljivih delov in vibracij, visoko učinkovitost delovanja in uporabo okolju prijaznih reciklabilnih hladilov brez izpustov v okolje. Deluje v razponu toplotnih moči do 650 W ter najvišjim temperaturnim dvigom dovodne vode do 50

K. Pri temperaturnem dvigu dovodne vode za 10–15 K pa deluje z grelnim številom (COP) med 2 in 2,4, ki predstavlja razmerje med pridobljeno toploto in vloženo električno energijo, kar bistveno presega kakršno koli neposredno pretvorbo goriv ali električne energije v toploto, ki ima razmerje COP < 1.

Celoten članek je dostopen na povezavi:
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.122899>.

www.fs.uni-lj.si



JAKŠA

MAGNETNI VENTILI

od 1965

- vrhunska kakovost izdelkov in storitev
- zelo kratki dobavni roki
- strokovno svetovanje pri izbiri
- izdelava po posebnih zahtevah
- širok proizvodni program
- celoten program na internetu



www.jaksa.si






Jakša d.o.o., Šlandrova 8, 1231 Ljubljana
T (0)1 53 73 066, F (0)1 53 73 067, E info@jaksa.si

KARAKTERIZACIJA STARANJA POVRŠIN IN ODLAGANJA SOLI PRI DOLGOTRAJNEM MEHURČKASTEM VRENJU

Raziskovalci Laboratorija za toplotno tehniko (LTT) so izvedli obsežno eksperimentalno študijo dolgotrajnega vrenja, katere glavni cilj je bila karakterizacija mehanizmov degradacije med obratovanjem v čisti vodi in solnih raztopinah. Rezultati raziskave so objavljeni v reviji Applied Thermal Engineering (IF = 6.4).

Lastnosti vrelnih površin se med dolgotrajnim obratovanjem lahko močno spremenijo, kar se odraža v postopnem poslabšanju intenzitete prenosa toplote. Za načrtovanje zanesljivih sistemov, ki vključujejo mehurčkasto vrenje, je potrebno poznati mehanizme degradacije, ki jih ta proces inducira ter njihov vpliv na vrelni površino in njene obratovalne karakteristike.

V predstavljenem prispevku so avtorji s skupno več kot 5000 ur intenzivnega mehurčkastega vrenja na vrelnih površinah z modificirano mikrostrukturo in omočljivostjo pokazali povezavo med poslabšanim

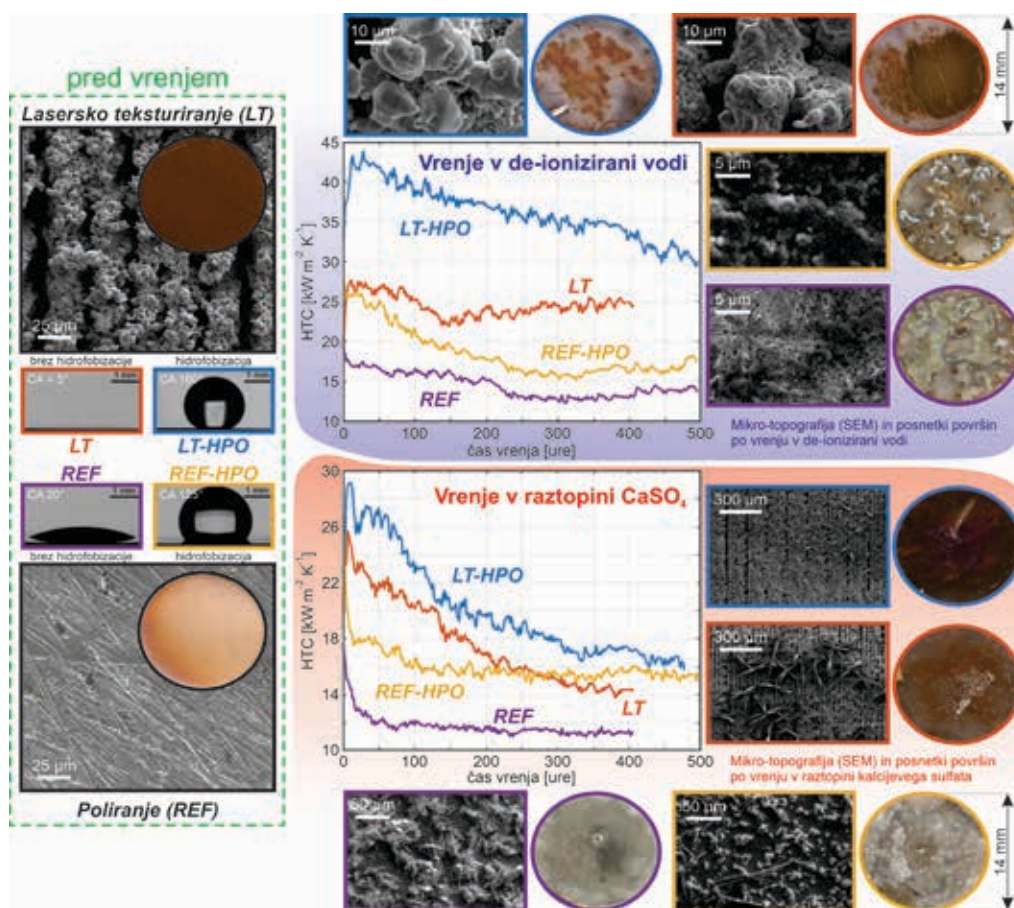
prenosom toplote in spremembo površinske kemije, mikrotopografije in omočljivosti.

Avtorji so tudi pokazali, da lasersko teksturirane površine izkazujejo do desetkrat počasnejšo degradacijo v deionizirani vodi in raztopini kalcijevega sulfata, pri čemer v slednji tudi zelo uspešno zavirajo kristalizacijo soli na površini.

Članek je dostopen na povezavi:

<https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2024.122540>.

www.fs.uni-lj.si



Vpliv dolgotrajnega mehurčkastega vrenja v de-ionizirani vodi in raztopini CaSO₄

PODJETJE SAMSON V OKVIRU RAZISKOVALNEGA PARTNERSTVA S PODJETJEMA SOLITES IN SAMSON KT-ELEKTRONIK PREIZKUŠA UMETNO INTELIGENCO ZA UČINKOVIT NADZOR SOLARNEGA OGREVANJA



Sončni kolektorji so nameščeni na strehi stanovanjske stavbe v lasti stanovanjskega združenja (Rheinwohnungsbau GmbH) v Düsseldorfu v Nemčiji. (Vir: Solites)

- ▶ Raziskave financira zvezno ministrstvo za gospodarstvo in podnebne ukrepe (Federal Ministry for Economic Affairs and Climate Action) za pospeševanje energetskega prehoda v Nemčiji.
- ▶ Rešitev je preizkusil lokalni ponudnik storitev v Düsseldorfu.
- ▶ Rešitev bo vključena v portfelj izdelkov SAMSON in jo že uporabljajo številna nemška občinska podjetja.

Podjetje SAMSON, ki je mednarodni dobavitelj rešitev za nadzorni inženiring s sedežem v mestu Frankfurt am Main, je začelo pionirski raziskovalni projekt, ki temelji na strojnem učenju (machine learning – ML). Tehnologija pomaga pri učinkoviti uporabi obnovljivih virov energije in pospešuje energetske prehode v Nemčiji. Projekt v vrednosti 1,92 milijona EUR financira nemško zvezno ministrstvo za gospodarstvo in podnebne ukrepe. Osredotoča se na razvoj avtomatsko detekcijskih algoritmov za optimizacijo napajalnih postaj in domačih postaj, zlasti za sončne sisteme. Podjetje SAMSON koordinira projekt »saM_soL« v sodelovanju z raziskovalnim inštitutom Solites, ki je del mreže Steinbeis, in podjetjem KT-Elektronik, ki je del skupine SAMSON. Raziskovalno delo inštituta Solites vključuje razvoj algoritmov strojnega učenja, medtem ko SAMSON prispeva svoje obsežno strokovno znanje s področja krmilnega inženirstva in dolgoletne izkušnje na področju razvoja sodobnih krmilnih sistemov. Nemški raziskovalni center Forschungszentrum Jülich (FZJ) pa je vključen kot sponzor projekta.

Krmiljenje temelji na integriranem algoritmu PID (proporcionalno-integralno-derivativni algoritem) za krmiljenje procesov v ogrevalnih omrežjih. Z virtualizacijo krmiljenja toplotne solarne sistema se ustvari digitalni dvojček, ki se uporablja za usposabljanje osnovnega modela. V praksi ML-model prilagodi parametre krmiljenja specifičnim zahtevam na podlagi

zunanjih vplivov. Cilj za prihodnost je razširiti krmiljenje za optimizacijo centralnih in razpršenih napajalnih postaj v toplotnih, ki so odvisne od nihajočih virov energije. Raziskovalni projekt se osredotoča na sončno toplotno energijo, saj je ta vir energije še posebej podvržen nihanju. Občinsko podjetje v Düsseldorfu (Stadtwerke Düsseldorf AG) je izvedlo terenski preizkus na porazdeljeni napajalni postaji, ki v omrežje daljinskega ogrevanja dovaja sončno toploto. Naprava s površino kolektorjev 232 m² segreva povratni tok iz omrežja daljinskega ogrevanja na temperaturo napajalnega toka v omrežju.

Dr. Andreas Widl, predsednik uprave družbe SAMSON AG, je povedal: »Uporaba umetne inteligence v nadzornem inženirstvu pomeni novost, saj omogoča učinkovitejšo in bolj trajnostno oskrbo z energijo. Ta pilotni projekt pomeni ključni korak k pametnemu upravljanju energije za povečanje učinkovitosti in vključevanje obnovljivih virov energije na najboljši možni način. Podjetje SAMSON je ponosno, da je del tega projekta. Naš cilj je prispevati k prihodnosti, ki ne bo zapravljala virov.«

Vodja projektov pri podjetju SAMSON André Strauch je še dodal: »Rešitev bo zmanjšala porabo materiala in temperaturna nihanja. Pomagala bo tudi pri varčevanju z viri v obratih za soproizvodnjo toplote in električne energije ter obratih za proizvodnjo toplote. Ta izjemna rešitev bo podjetju SAMSON omogočila nadgradnjo portfelja digitalnih izdelkov za uporabo po vsem svetu. Z njo bodo naše stranke lahko še bolj povečale trajnost v energetske sektorju.«

Thilo Walser, odgovoren za projekt v podjetju Solites, pa je komentiral: »Naša vloga v projektu saM_soL je razviti algoritem ML v virtualnem modelu in ga usposobiti za delovanje v resničnem okolju. Z znanstvenega vidika ta novi pristop odpira velike možnosti za izboljšanje nadzora naprav za proizvodnjo toplote, ki so odvisne od močno nihajočega vira energije. Ko bo rešitev preizkušena na terenu, je cilj ta pristop uporabiti za vse vrste napajalnih postaj.

Po uspešnem zaključku projekta bo razvita rešitev vključena v SAM DISTRICT ENERGY, SAMSONOV digitalni portal za distribucijo toplote (lokalno ogrevanje ali hlajenje), ki ga številna nemška podjetja uporabljajo za nadzorovanje, upravljanje in optimizacijo svojih sistemov daljinskega ogrevanja. Projekt se bo izvajal do maja 2027.

Vir: www.samsongroup.com

www.giaflex.com

POLETNI RAZISKOVALNI TABOR ZA DIJAKE



RAZISKUJ IN POGANJAJ PRIHODNOST

1. - 5. JULIJ 2024



Zasnuj, izdelaj, preizkusi!!

Poletna šola strojništva za učence

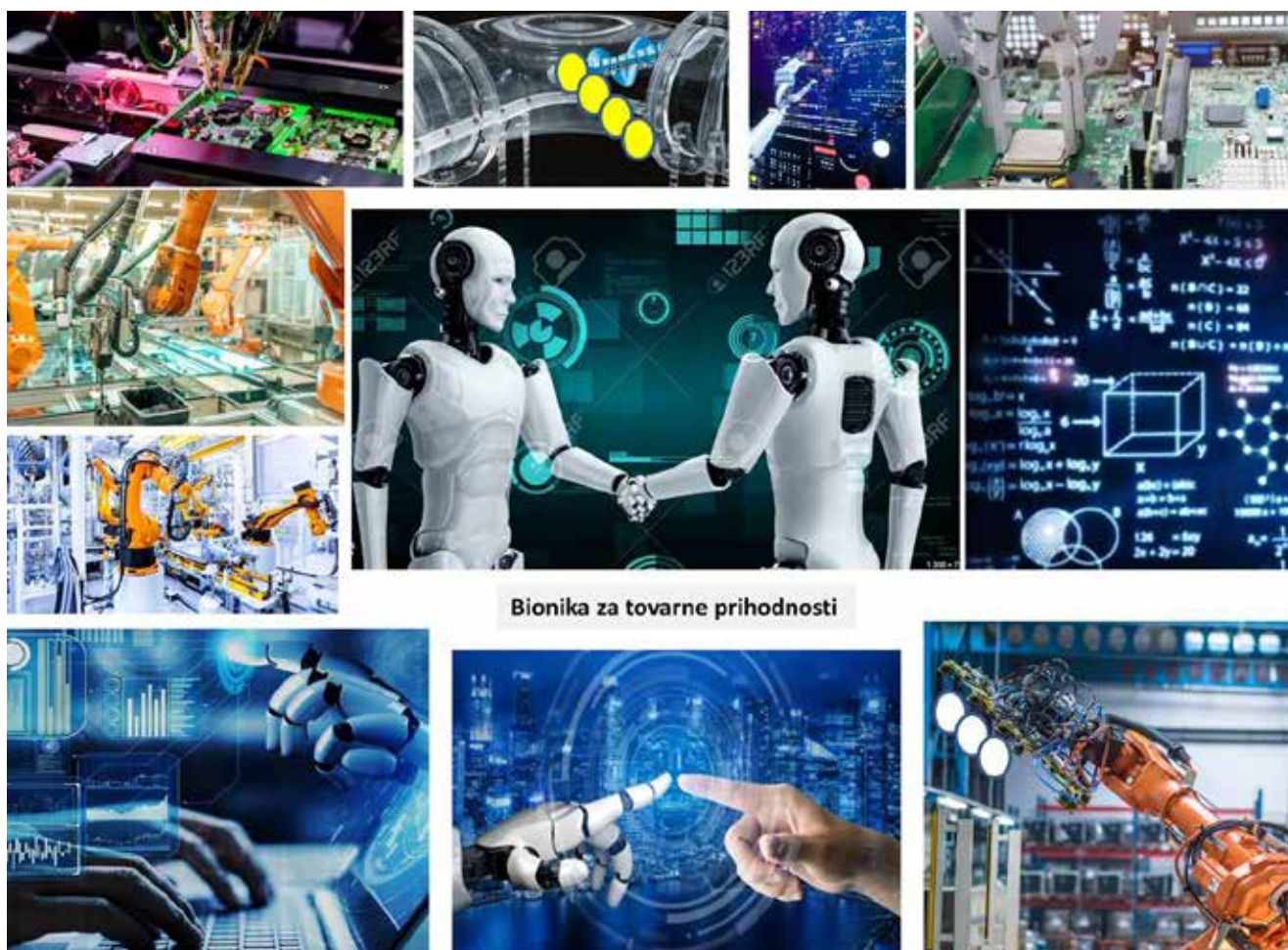
27. - 30. avgust 2024



BIONIKA BO POGANJALA PRIHODNJE TOVARNE

Janez Škrlec

Da bi lažje razumeli vlogo razvoja bionike in bioničnih sistemov ter inovacij za razvoj tovarn prihodnosti, bom v članku posebej izpostavil konkretne primere, kjer so trendi razvoja na tem področju že realnost. Na primer: Festo Bionic Learning Network že vrsto let intenzivno preučuje gibanje in obnašanje živali v naravi, da bi navdihnili interaktivno, inteligentno tehnologijo za stroje, ki bodo presegali meje tovarniške avtomatizacije.



Bionika za tovarne prihodnosti

Bionika za tovarne prihodnosti (gرافيčno preoblikoval Janez Škrlec)

Festo je globalno podjetje, ki je vključeno v globalno mrežo, ki sestavlja mrežo več kot 20.800 strokovnjakov, ki vsak dan prispevajo svoje strokovno znanje. Če se danes sprehodimo skozi Festov se-

dež v Esslingenu v Nemčiji, smo lahko priča temu, kar se mnogim zdi še vedno neke vrste znanstvena fantastika, čeprav to že dolgo ni. Umetna inteligenca in energetska učinkovitost sta globoko vgrajeni v Festove bionične robote. Inženirji pri Festu verjamejo, da lahko s proučevanjem narave in naravnih sistemov vedenja, gibanja in komunikacijskih tehnik sesalcev, žuželk in plazilcev zgradijo pametne tovarne z napredno avtomatizacijo, torej

Janez Škrlec, inž., Uredništvo revije Ventil

tovarne prihodnosti. Koncept Bionic Learning Network (BLN) že danes vključuje najboljše prakse narave v tehnologijo prihodnosti s poudarkom na energetski učinkovitosti, umetni inteligenci, strojnem učenju, bionskem oblikovanju in sodelovanju med strojem in človekom, je izpostavil Yannick Schilly, vodja Festa. Posnemanje živali za razvoj naprednih bioničnih robotov nam omogoča, da se učimo od narave in uporabimo te najboljše prakse v tehnologiji gibanja in nadzora.

Festo je na primer ustvaril BionicANT, ki občutljivo anatomijo naravnih bitij v kombinaciji z njihovim kooperativnim vedenjem prenesejo v svet tehnologije. Kot njihovi naravni vzorniki ti roboti med seboj komunicirajo in sodelujejo po jasnih pravilih pri reševanju skupne naloge. Da bi to prenesli v prihodnje inovacije, bo potrebno celovito sodelovanje med komponentami, sistemi in stroji, pa tudi med stroji in ljudmi, kar bo pomemben element za tovarne prihodnosti. Bionic Handling Assistant ponuja alternativo običajnim robotom, ki se premikajo linearno – samo gor in dol ter od ene do druge strani. Inovacija, ki bazira na konceptu slonovega rilca, omogoča, da je robot lahek, energetsko učinkovit, prilagodljiv in zmožen 360-stopinjskega vrtenja oz. gibanja. Fleksibilno prijemalo je ekstremno prožno in prilagodljivo kateremu koli predmetu, kar omogoča varno rokovanje z lomljivimi predmeti in predmeti nepravilnih oblik v razgibanem tovarniškem okolju. Od začetka devetdesetih let prejšnjega stoletja podjetje ustvarja bionične prototipe, ki prevajajo zanimiva načela narave v svet inženiringa. Uvedba Bionic Learning Networka leta 2006 je začela dinamično in odprto izmenjavo idej z znanimi univerzami, inštituti in razvojnimi podjetji. Vsak njihov biomehatronski in bionski prototip namreč združuje nove ideje, rešitve in tehnologije.

Bionika je tesno povezana z mnogimi področji, izstopajoča je tudi biomehatronika

Če se ozremo nazaj v preteklost, je narava v milijonih let razvijala najboljše prakse in strokovnjaki za bioniko danes verjamejo, da gradnja medfunkcionalnih mostov med znanostjo, biologijo in inženiringom ponuja nove možnosti za prihodnje inovacije, je poudaril ugledni strokovnjak Festa. Z roboti, ki postajajo vse bolj razširjeni v proizvodnji in tesnem sodelovanju z ljudmi, Festo vlaga veliko truda v uporabo bioloških principov v inženirskem svetu. Vsako leto se na sejmu avtomatizacije Hannover Messe v Hannovru v Nemčiji predstavi nov prototip živali. Vsi prototipi imajo različne funkcije, je poudaril vodilni predstavnik Festa Schilly. V preteklosti so težke industrijske robote upravljali iz kletke, da so delavce zaščitili pred poškodbami. Danes vidimo robote, ki delajo z delavci v celovitih proizvodnih procesih. Festo Bionic Handling Assi-

stant lahko prime občutljive predmete, ne da bi jih uničil, in jih je sposoben varno izročiti na primer naprej človeku. Današnje bionske robotske roke so opremljene s senzorji, ki so programirani tako, da se ustavijo takoj, ko jim pot prekriža neka oseba ali ovira. Varnost je namreč ključni element v tovarni prihodnosti.

Razvoj različnih bioničnih robotov, Festo je med vodilnimi na tem področju

Izziv je narediti bioničnega robota, še zlasti takšnega, ki leti z naravnim gibanjem ptičjega krila, repa in glave na prostem z vetrom in resničnimi naravnimi pogoji. Festo SmartBird na primer leti zgolj z mahanjem s krili in brez dodatnega pogonskega mehanizma. V primeru BionicANT so njihova telesa izdelana iz lahkih inovativnih materialov in napredne dodatne tehnologije, vgrajene v majhen prostor, da zagotovijo vid, gibanje in nadzor. Namen takšnega projekta je raziskovanje komunikacijskih procesov in sodelovalnega vedenja v naravi. Lep in izstopajoč primer so mravlje, ki v naravi odlično usklajujejo svoje aktivnosti, in tako bodo tudi napredni bionski roboti s pomočjo tako imenovane rojeve inteligence (swarm intelligence) sposobni komunicirati s preprostimi in zahtevnimi komunikacijskimi protokoli. Spletni vodnik za rokovanje (OHG) podjetja Festo je še en dober primer njegovih prilagojenih inženirskih aplikacij in rešitev na zahtevo. To orodje namreč omogoča konfiguracijo sistema za rokovanje v nekaj minutah z zbiranjem informacij, kot je teža predmetov, ki jih je treba premakniti, velikost predmeta, oblika, delovni prostor in želena hitrost delovanja. Te specifikacije gredo nato neposredno v proizvodnjo in v kompleksen sistem za rokovanja. Nabor spretnosti, ki se zahteva od delavcev v tovarni Festo, je zelo visok, saj vodstvo podjetja meni, da bodo delavci v tovarni prihodnosti izpostavljeni visokim zahtevam poznavanja bionike, biomehatronike in bodo morali razumeti različne discipline, vključno z mehaniko, elektroniko, programsko opremo in IT. V Festovem globalnem proizvodnem centru v Esslingenu se kvalificirani delavci naučijo uporabljati različna pomembna orodja, kot je npr. pametna rokavica. Delavec nosi rokavico, naprava znotraj rokavice pa beleži in sporoča podatke, tako da uporabniku ni treba ročno vnašati informacij v CMMS. Festo izpostavlja, da se profil dela današnjega tovarniškega delavca močno spreminja od opravljanja preprostih, vsakdanjih in ponavljajočih se nalog do zapletenega odločanja, spremljanja, prilagodljivega odpravljanja težav in preventivnega vzdrževanja. Brez dvoma si lahko od razvoja bionike ometamo pomemben napredek na številnih področjih: v zdravstvu, medicini in industriji. Veliko področij, ki jih bionika danes že pokriva, je zajetih v moji knjigi Bionika, ki je izšla leta 2022.

SIMULACIJA MEHANSKEGA ODZIVA NESTANDARDNIH ČEPOV

Anže Čelik, Boris Jerman, Franc Majdič

Izvleček:

Prispevek povzema simulacijske aktivnosti, izvedene z namenom vrednotenja mehanskega odziva nestandardnega čepa kot posledica različnih obremenitvenih scenarijev. Podrobno razumevanje mehanskega odziva čepa se lahko razume kot predpogoj za pravilno izvedbo (potrditvenega) eksperimenta, pravilno pripravo vzorcev (oz. preizkušancev) ter nenazadnje tudi za pravilno določitev smernic za načrtovanje tovrstnih komponent.

Zahvaljujoč podrobnemu simulacijskemu modelu je bil mehanski odziv (tj. napetosti, pomiki) lahko podrobno raziskan. Napetostno polje na nespremenjeni konstrukciji čepa namreč omogoča identifikacijo področij, kjer so potrebne spremembe dizajna (za ustrezno izvedbo eksperimenta oz. vgradnjo merilnih lističev), kot tudi prepoznavo tistih kritičnih mest na čepu, ki vplivajo na njegovo življenjsko – uporabno dobo.

Na osnovi razumevanja mehanskega odziva na nespremenjeni konstrukciji čepa so bile v nadaljevanju narejene spremembe dizajna. Izkaže se, da slednje bistveno ne vplivajo na napetostno-deformacijski odziv. Za statično dimenzioniranje nespremenjenih čepov se lahko uporabijo obremenitve, izmerjene na spremenjenih čepih, ne da bi pri tem prišlo do pomembnejših odstopanj.

Ključne besede:

nestandardni čep, numerični pristop, metoda končnih elementov, spenjalna sila, zatezni moment, smernice za konstruiranje

1 Numerični pristop (MKE)

Glavni namen analize po metodi končnih elementov (MKE) na čepih je zagotoviti podrobno razumevanje mehanskega odziva (tj. polja napetosti in pomikov). Drug pomemben vidik izvedene numerične analize je primerjava mehanskega odziva na izvorni in spremenjeni geometriji čepa. Šele nato je mogoče izmerjene sile na spremenjenih konfiguracijah interpretirati z ozirom na izvirne konfiguracije.

Numerične analize (MKE) so bile izvedene s programskim paketom Ansys Mechanical APDL.

- ▶ osnosimetrični model z osno simetrijo vzdolž osi čepa (smer Y);
- ▶ uporabljeni so 2-dimenzionalni elementi PLA-NE42 z osno simetrijo;
- ▶ navoji čepov so bili modelirani s poenostavljenim enakovrednim krožnim modelom (brez 3-dimenzionalne vijačnice);
- ▶ kontakt med navoji na čepu in ohišju je bil vzpostavljen s pomočjo sklapljanja (sosednjih vozliščnih parov) v normalni smeri; kontaktni elementi torej niso bili uporabljeni;
- ▶ preostali kontakti v vijačni zvezi so bili vzpostavljeni na enak način.

1.1 Izgradnja numeričnega modela

Za vsako velikost čepa sta bili izdelani in analizirani dve različici dizajna čepa (izvorna in spremenjena konfiguracija). Pri izgradnji numeričnega modela so bile privzete naslednje predpostavke in poenostavitve:

Uporabljena sta bila dva različna materiala (in sicer za čep in ohišje) z ustreznimi elastoplastičnimi lastnostmi (bi-linearni utrjevalni model). Podrobnosti so prikazane na *sliki 1*.

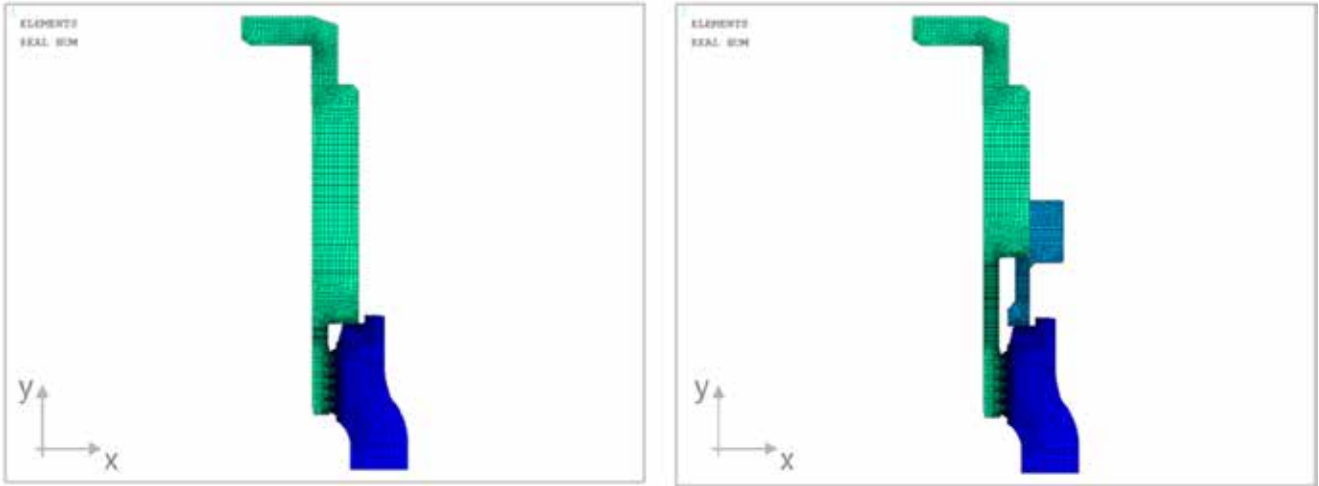
Slika 2 prikazuje primer zamreženega osnosimetričnega numeričnega modela izvirnega (tj. nespremenjenega) in spremenjenega modela čepa M33x2. Temno modra barva se nanaša na model ohišja, zelena na čep, svetlo modra pa na distančnik.

Mag. Anže Čelik, univ. dipl. inž., Poclain Hydraulics, d. o. o., Žiri;
prof. dr. Boris Jerman, univ. dipl. inž.,
izr. prof. dr. Franc Majdič, univ. dipl. inž., oba
Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo

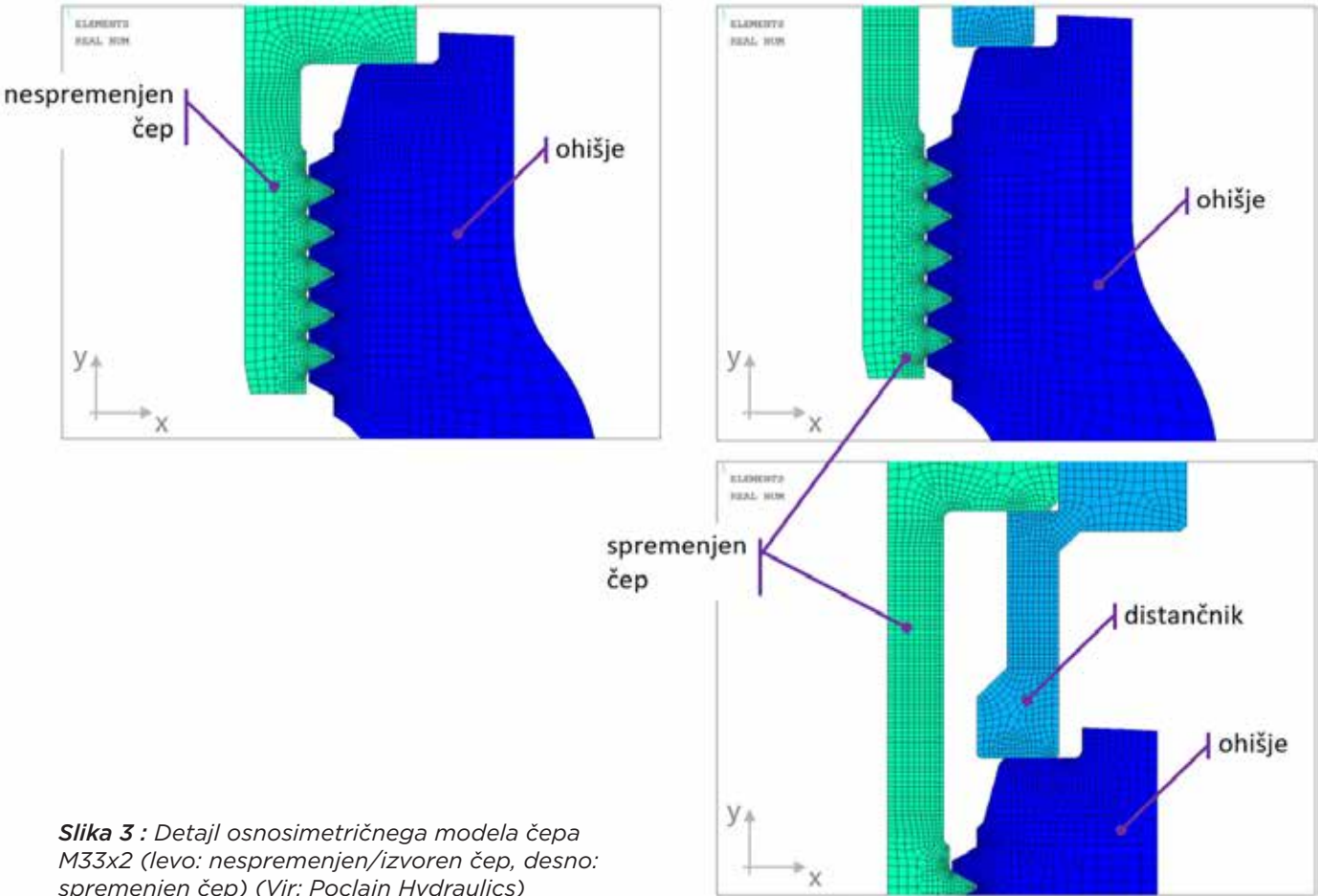
Slika 3 prikazuje zamreženi detajl osnosimetričnega numeričnega modela izvirnega in spremenjenega modela čepa M33x2. Lokalna zgostitev mreže je bila uporabljena na območjih z ostrimi prehodi, navoji in na vratu čepa.

Materialne lastnosti							
Element	Oznaka (Standard)	W. Nr.	Modul elastičnosti [GPa]	Poissonov količnik [-]	Meja tečenja [MPa]	Tangentni modul [GPa]	Raztezek pri prelomu [%]
ohišje	EN GJS-600-3 (EN 1563)	5.3201	174	0,275	380	1,74	1,0
čep	11SMn30 (+C) (EN 10087)	1.0715	210	0,300	440	2,10	6,0

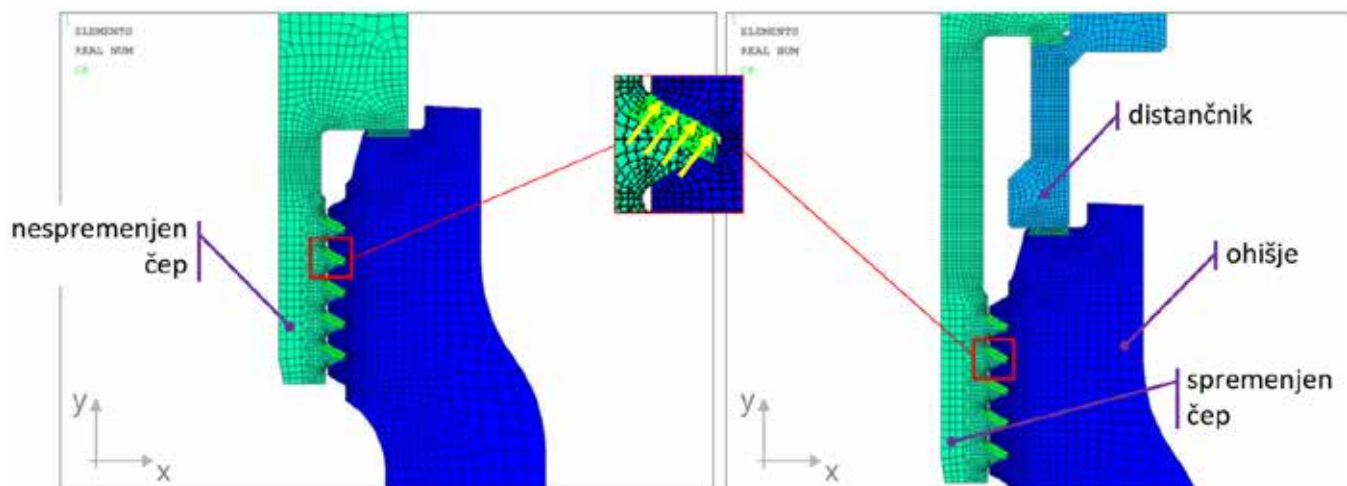
Slika 1 : Materialne lastnosti (Vir: Poclain Hydraulics)



Slika 2 : Osnosimetrični model čepa M33x2 (levo: nespremenjen/izvoren čep, desno: spremenjen čep) (Vir: Poclain Hydraulics)



Slika 3 : Detajl osnosimetričnega modela čepa M33x2 (levo: nespremenjen/izvoren čep, desno: spremenjen čep) (Vir: Poclain Hydraulics)



Slika 4 : Kontaktna področja osnosimetričnega modela čepa M33x2 (levo: nespremenjen/izvoren čep, desno: spremenjen čep) (Vir: Poclain Hydraulics)

Kontaktna področja med navoji na čepu, na distančniku in ohišju so bila vzpostavljena s pomočjo sklapljanja (sosednjih vozliščnih parov) v normalni smeri. Slednje je prikazano na *sliki 4*.

Uporabljenih je bilo pet različnih obremenitvenih scenarijev (LC), in sicer:

- ▶ LC1: neaktiviran ventil (začetni položaj bata; sila prednapetja in začetna sila v vzmeti);
- ▶ LC2: aktiviran ventil (sila na glavo čepa; sila prednapetja, največja sila v vzmeti in kontaktna sila v prekrmljenem položaju bata);
- ▶ LC3: aktiviran ventil (sila na glavo čepa; sila prednapetja, največja sila v vzmeti in kontaktna sila v prehodnem položaju bata);
- ▶ LC5: aktiviran ventil (sila na koren čepa; sila prednapetja, največja sila v vzmeti in kontaktna sila v prekrmljenem položaju bata);
- ▶ LC6: aktiviran ventil (sila na koren čepa; sila prednapetja, največja sila v vzmeti in kontaktna sila v prehodnem položaju bata).

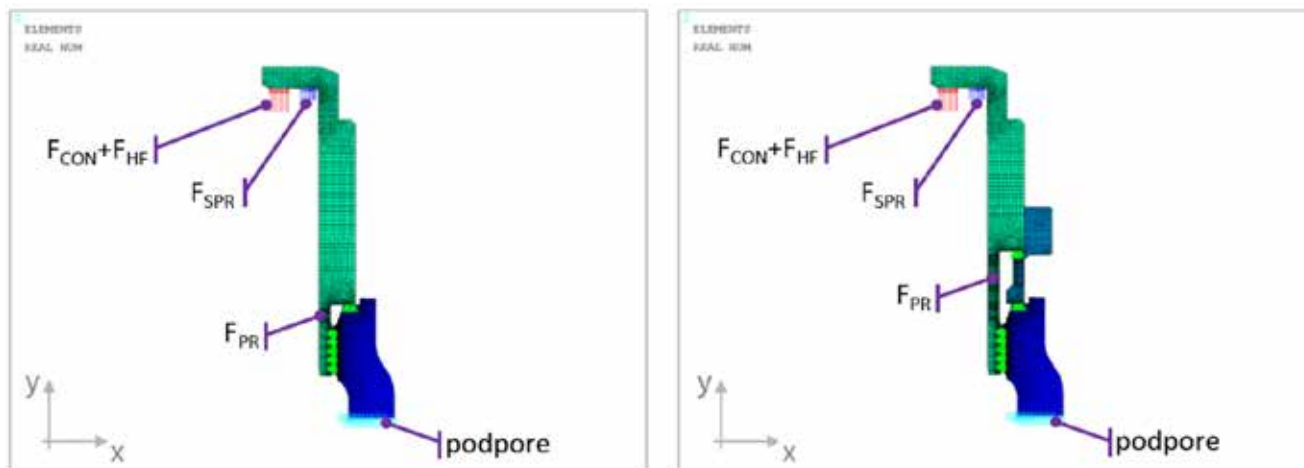
Obremenitveni primer LC3 na M33x2 je prikazan na *sliki 5*. Pri tem imajo oznake sil naslednji pomen: F_{CON} – kontaktna sila bata med prekrmljenjem, F_{HF} – sila na glavo čepa, F_{SPR} – sila v vzmeti, F_{PR} – sila prednapetja.

Sila bata na čep je bila določena za krmilni tlak 20 barov, kar je tipičen pilotni tlak, ki se uporablja v zaprtem hidravličnem krogotoku.

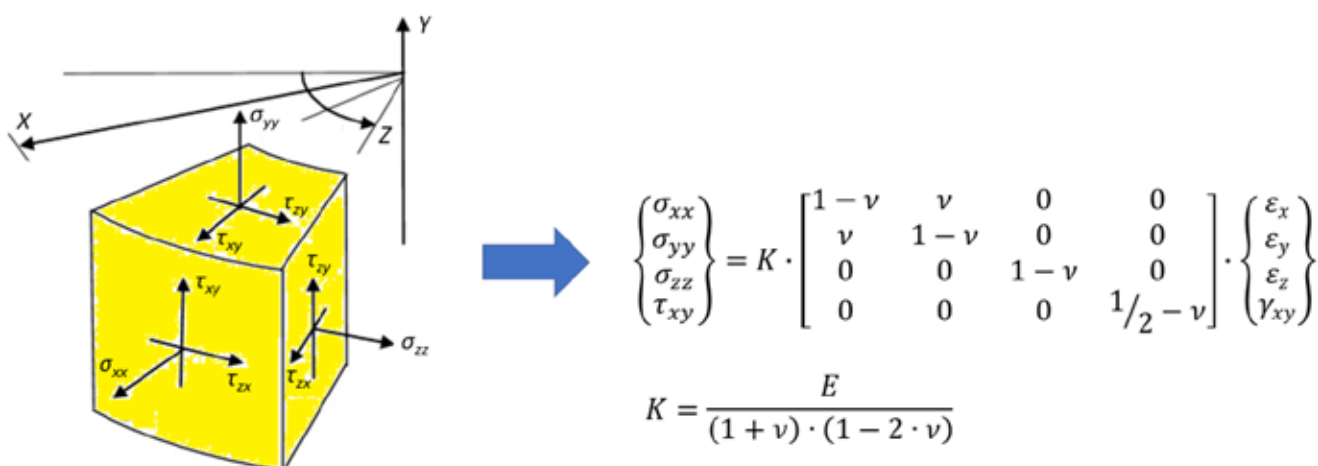
Robni pogoji (tj. podpore v smislu preprečitve pomikov vozlišč) so bili predpisani na prostem koncu ohišja. Relativno gibanje kontaktnih površin v obojni smeri je bilo obravnavano kot prosto, brez upoštevanja trenja.

Velja omeniti, da je za potrebne priprave in vrednotenje numeričnega modela privzet cilindrični koordinatni sistem z osmi X, Y in Z (*slika 6*).

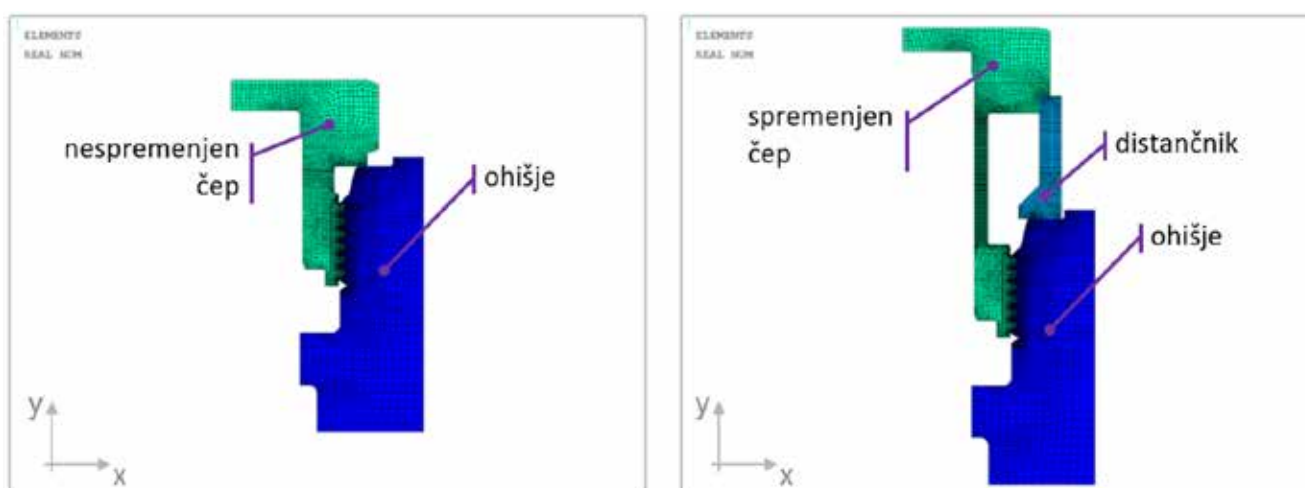
Slika 7 prikazuje primer zamreženega osnosimetričnega numeričnega modela izvornega (tj. ne-



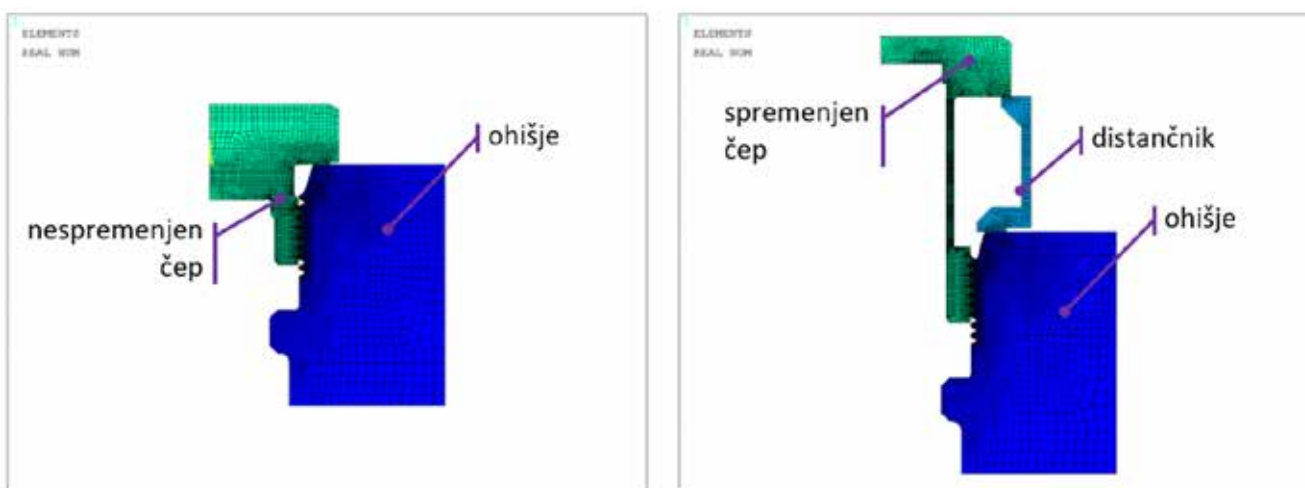
Slika 5 : Obremenitveni primer LC3 na M33x2 (levo: nespremenjen/izvoren čep, desno: spremenjen čep) (Vir: Poclain Hydraulics)



Slika 6 : Cilindrični koordinatni sistem in pripadajoče napetostno-deformacijske enačbe (Vir: Poclain Hydraulics)



Slika 7 : Osnosimetrični model čepa M27x1,5 (levo: nespremenjen/izvoren čep, desno: spremenjen čep) (Vir: Poclain Hydraulics)



Slika 8 : Osnosimetrični model čepa M19x1 (levo: nespremenjen/izvoren čep, desno: spremenjen čep) (Vir: Poclain Hydraulics)

spremenjenega) in spremenjenega modela čepa M27x1,5. Sestavni deli, uporabljeni med analizo po MKE, so označeni in poimenovani.

Slika 8 prikazuje zamreženi primer osnosimetričnega numeričnega modela izvirnega in spremenjenega modela čepa M19x1. Uporabljeni konstrukcijski elementi ventila so jasno označeni oz. poimenovani. Omeniti velja, da so bile v danem primeru uporabljene obremenitve, ki so posledica delovanja elektromagneta (kot vira za krmiljenje bata v ventilu).

1.2 Vrednotenje numeričnega modela

Podrobna predstavitev in analiza rezultatov za vsak obremenitveni primer presega okvir tega prispevka. Zato je v nadaljevanju navedenih le nekaj tipičnih vrednotenj za obremenitveni primer LC1 na čepu M33x2.

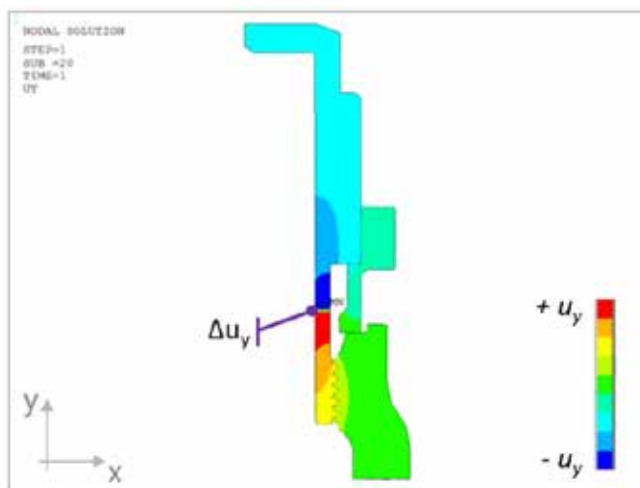
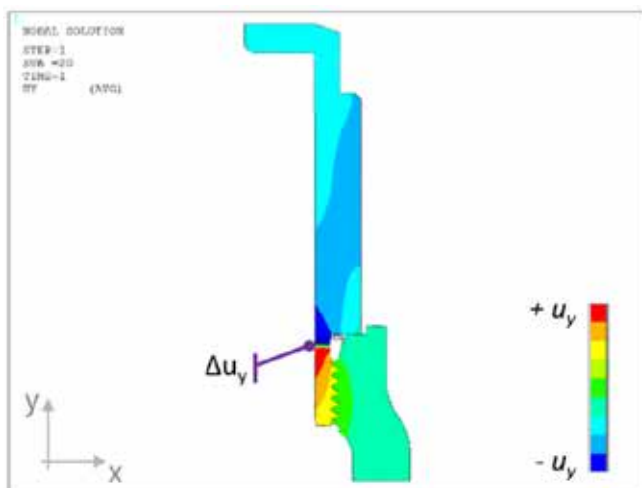
Slika 9 prikazuje deformacijski odziv čepa M33x2 za obremenitveni primer LC1, ki se nanaša na simulacijo

zategovanja čepa. Sila prednapetja zaradi zategovanja čepa je modelirana s pomočjo temperaturnega skrčka na vratu čepa, in sicer v vzdolžni Y-smeri. Njena vrednost je dobljena na osnovi preizkusa.

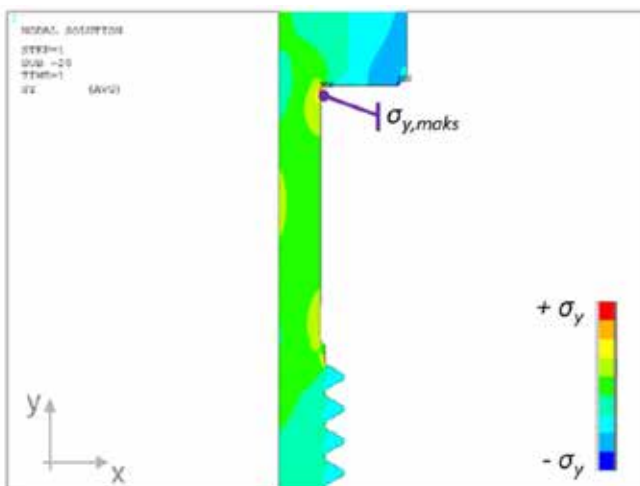
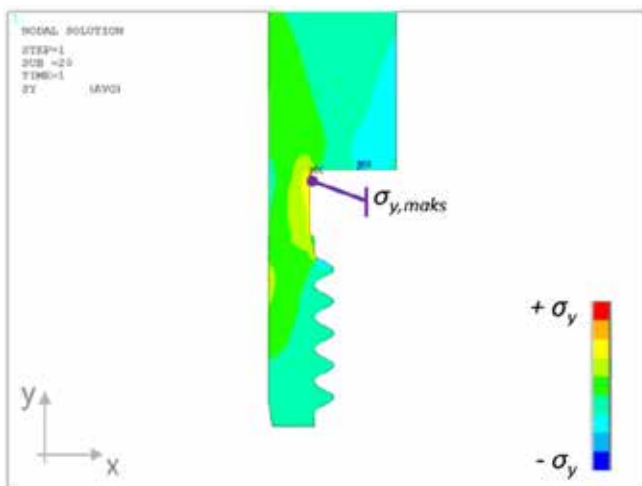
Pomiki, prikazani na sliki 9, so v skladu s pričakovanji (tako v kvalitativnem kot tudi v kvantitativnem smislu). Del čepa nad območjem temperaturnega skrčka se pomakne v negativni Y-smeri, del čepa pod omenjenim območjem pa v pozitivni Y-smeri.

Kontaktna sila med glavo čepa in ohišjem (za primer izvirnega čepa) oz. med glavo čepa in distančnikom (za primer spremenjenega čepa) je največja v primeru LC1. Razlog je v tem, da pri ostalih obremenitvenih primerih na čep delujejo dodatne aksialne sile (v smeri +Y), ki znižujejo vrednost kontaktne sile.

Slika 10 prikazuje napetostni odziv v čepu M33x2, in sicer napetosti v vzdolžni oz. aksialni smeri $Y \rightarrow \sigma_{yy}$. Tako na izvirnem čepu kot tudi na spremenjeni



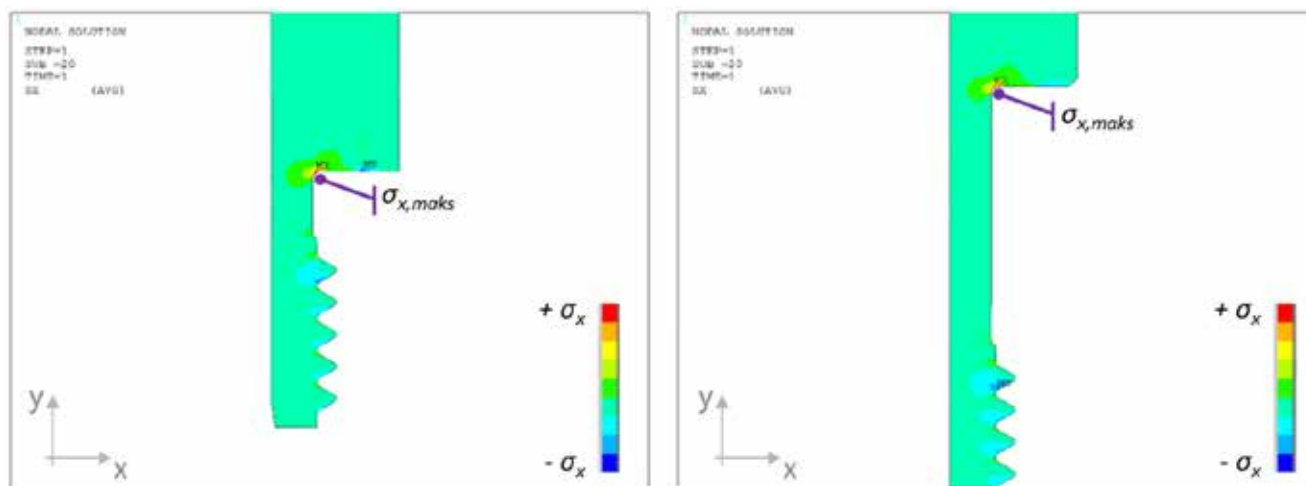
Slika 9 : Deformacijski odziv v čepu M33x2 (pomiki v globalni



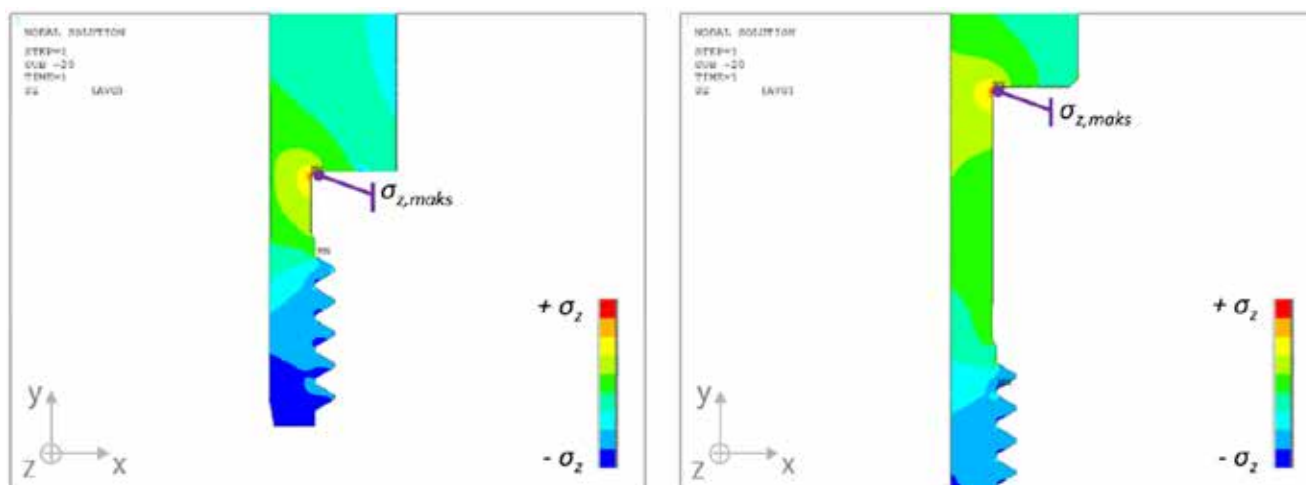
Slika 10 : Napetostni odziv v čepu M33x2 (napetosti v globalni Y- smeri) (Vir: Poclairn Hydraulics)

geometriji čepa se maksimalna aksialna napetost vedno pojavi na prehodu (oz. zaokrožitvi) med vratom in telesom čepa.

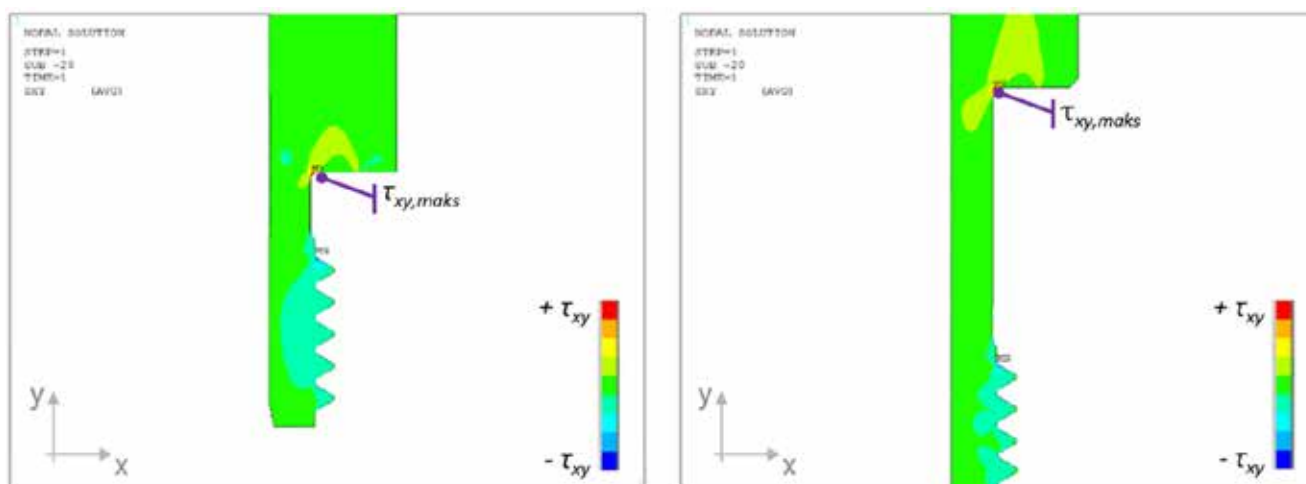
Napetostni odziv v čepu M33x2, in sicer napetosti v radialni smeri $X \rightarrow \sigma_{xx}$, je prikazan na *sliki 11*. Tako na izvornem čepu kot tudi na spremenjeni geometriji



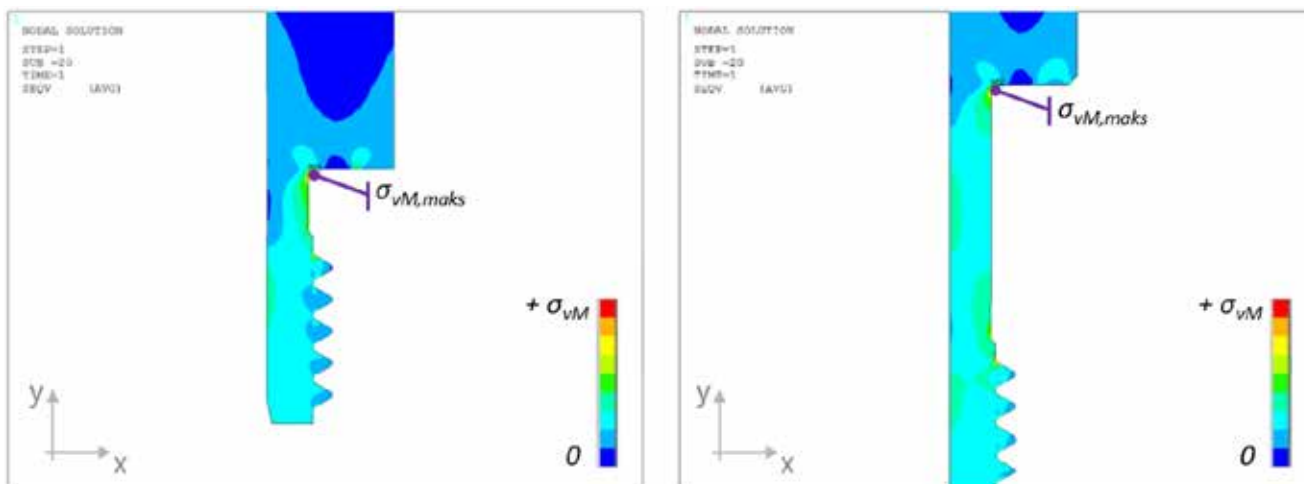
Slika 11 : Napetostni odziv v čepu M33x2 (napetosti v globalni X- smeri) (Vir: Poclain Hydraulics)



Slika 12 : Napetostni odziv v čepu M33x2 (napetosti v obodni smeri) (Vir: Poclain Hydraulics)



Slika 13 : Napetostni odziv v čepu M33x2 (strižne napetosti v ravnini XY) (Vir: Poclain Hydraulics)



Slika 14 : Napetostni odziv v čepu M33x2 (primerjalne napetosti po von Misesu) (Vir: Poclain Hydraulics)

čepa se tudi v danem primeru maksimalna radialna napetost vedno pojavi na prehodu (oz. zaokrožitvi) med vratom in telesom čepa.

Napetostni odziv v čepu M33x2 na *sliki 12* se nanaša na napetosti v obodni (tangencialni) smeri $Z \rightarrow \sigma_{zz}$. Tudi v tem primeru se maksimalna obodna napetost pojavi v že omenjeni zaokrožitvi med vratom in telesom čepa.

Slika 13 prikazuje strižne napetosti v ravnini XY v prerezu čepa M33x2 $\rightarrow \tau_{xy}$. Lokacija maksimalne strižne napetosti ostaja nespremenjena (tj. na mestu zaokrožitve). Na omenjeni sliki je možno tudi opaziti, da se nekoliko povišane (negativne) strižne napetosti pojavijo tudi na področju navojev.

Primerjalne napetosti po von Misesu so prikazane na *sliki 14*. Ker gre za primerjalno oz. ekvivalentno napetost posameznih komponent napetostnega tenzorja (σ_{yy} , σ_{xx} , σ_{zz} , τ_{xy}), lokacija maksimalne primerjalne napetosti ostaja enaka, nespremenjena.

Uporaba numerične simulacije (poleg eksperimentalnega pristopa) prinaša številne prednosti. Mehanska numerična analiza (MKE) omogoča

poglobljeno vrednotenje napetosti (poleg drugih spremenljivk) na celotni komponenti. Poleg tega je mogoče razmeroma hitro in enostavno simulirati več različnih obremenitvenih scenarijev.

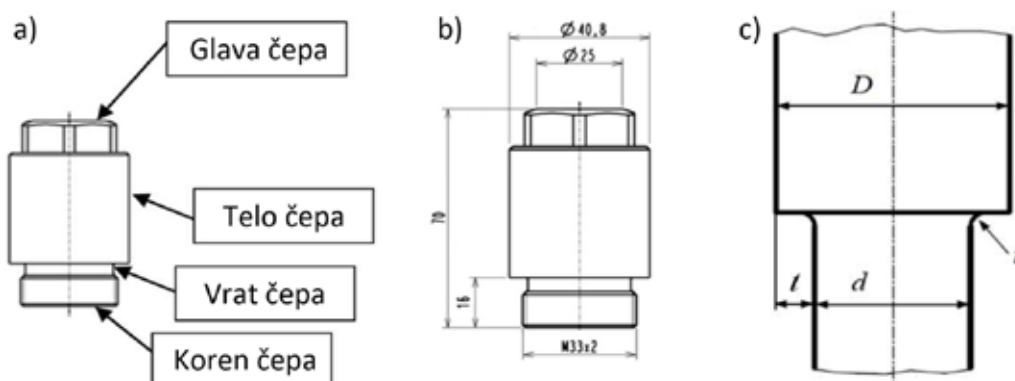
Po drugi strani pa eksperimentalni pristop omogoča vpogled v dejanske vrednosti sil, napetosti itd. Vendar pa je omenjeni pristop relativno potraten (v smislu porabljenega časa, stroškov, človeških virov) in upošteva le omejeno število scenarijev.

2 Smernice za konstruiranje in razvoj orodja

Metoda za hitro dimenzioniranje hidravličnih čepov je razvita in opisana na primeru čepa M33x2. Najprej je uveden izračun z ozirom na utrujenost (trajnost), nato pa še z ozirom na statični izračun.

2.1 Izračun na utrujenost

Izračuni z ozirom na utrujenost so izvedeni v skladu s standardom DIN 743 (*»Izračun nosilnosti gredi in osi«*), ker so tam podane ustrezne geometrijske



Slika 15 : (a) Deli čepa, (b) risba čepa, (c) skica standardnega detajla (Vir: Poclain Hydraulics)

<u>FATIGUE CALCULATION RESULTS</u> <u>Minimum required FATIGUE safety factor is:</u> 1.2 $S_{min.required}$ <u>Actual FATIGUE safety factor is:</u> 7.14 S_{actual} <u>Conclusion:</u> Plug is fatigue resistant. FATIGUE: O.K.	<u>STATIC CALCULATION RESULTS</u> <u>Minimum required STATIC safety factor is:</u> 1.2 $S_{min.required}$ <u>Actual STATIC safety factor is:</u> 1.63 S_{actual} <u>Conclusion:</u> Plug is static safe. STATIC: O.K.
---	---

Slika 16 : Preračun čepa v programu Excel (Vir: Poclain Hydraulics)

podrobnosti, podatki o utrujenosti za obravnavani material čepa in analizirane ustrezne obremenitve. Edina pomanjkljivost tega standarda je, da so izračuni izvedeni za trajnodinamično mejo ($2 \cdot 10^6$ ali več ciklov obremenjevanja), medtem ko so čepi običajno obremenjeni s $5 \cdot 10^5$ ciklov. Izračun je torej v tem pogledu konservativne narave.

Prečni presek vratu čepa, ki vsebuje prehod med vratom in telesom čepa, je bil izbran kot kritični presek za izračun na utrujenost (slika 15).

2.2 Izračun na statično trdnost

Izračunan je (statični) varnostni faktor glede na mejo tečenja ($R_{p0.2}$ oz. R_e). Zahtevani minimalni varnostni faktor meje tečenja je opredeljen v ustreznem standardu ($S_{min} = 1,2$).

Pri statičnem izračunu torzijske napetosti ne gre zanemariti, ker lahko slednja zaradi zategovanja in prednapetja čepa ostane »ujeta« v vratu čepa skozi celotno življenjsko – uporabno – dobo in seveda tudi zato, ker mora čep vzdržati tudi obremenitve, ki so posledica zategovanja.

Razvito je bilo namensko kalkulacijsko orodje, ki temelji na Excelu in omogoča avtomatizirano uporabo metode za hitro dimenzioniranje hidravličnih čepov (slika 16).

3 Zaključek

Trdnostne (MKE) analize so bile izvedene za izvorne in spremenjene konfiguracije čepov (velikosti M33x2, M27x1,5 ter M19x1), s čimer je bila možna tudi njihova medsebojna primerjava. Kot najpo-

membnejše je bilo ugotovljeno, da geometrijske spremembe čepov bistveno ne vplivajo na rezultate meritev – vpliv je manjši od 2 %. Za statično dimenzioniranje nespremenjenih čepov se lahko uporabijo obremenitve, izmerjene na spremenjenih čepih, ne da bi pri tem prišlo do pomembnejših odstopanj. Glavni vir obremenitev je bil upoštevan tlak krmiljenja v velikosti 20 barov s pripadajočimi induciranimi silami. Izjema je čep M19x1, kjer je vir obremenitev krmilna sila elektromagneta.

Metoda za hitro dimenzioniranje hidravličnih čepov je bila razvita na podlagi analitičnega pristopa. V tem pristopu so bili deloma upoštevani tudi razpoložljivi diagrami. Metoda temelji na standardu DIN 743 (za gredi in osi), od koder izvirajo tudi kriteriji statične in dinamične trdnosti. Poleg tega metoda dodatno vključuje scenarije delovanja bata na glavo in koren čepa. Za enostavnejšo, hitrejšo in natančnejšo uporabo razvite metode je bilo izdelano namensko orodje v Excelu.

Reference

- [1] https://www.researchgate.net/publication/240014095_A_SemiAnalytical_Finite_Element_Approach_in_Machine_Design_of_Axisymmetric_Structures, nazadnje ogledano 19. 3. 2024.
- [2] https://www.mm.bme.hu/~gyebro/files/ans_help_v182/ans_elem/Hlp_E_PLANE182.html, nazadnje ogledano 19. 3. 2024.
- [3] <https://dk.um.si/Dokument.php?id=16263&lang=slv>, nazadnje ogledano 18. 3. 2024.
- [4] https://www.mesys.ch/doc/DIN743_CalculationBasis.pdf, nazadnje ogledano 12. 3. 2023.

Simulation of mechanical response for non-standard plugs

Abstract:

The paper depicts simulation activities performed with purpose of evaluation the mechanical response of a non-standard plug as a result of different loading scenarios. Detailed understanding of mechanical response of a plug can be understood as a prerequisite for the appropriate experimental validation, appropriate preparation of test samples and last but not least, also for the correct determination of guidelines for design of such components.

Thanks to detailed simulation model, mechanical response (stresses, displacements and strains) has been closely observed. Stress field helps to identify areas where design modifications are needed (for properly performed experiments via implementation of strain gauges) as well as to identify "hot-spots" on plug that affects structural integrity.

Based on understanding of mechanical response of original plug design, further design changes have been performed. It turns out that the latter do not significantly affect the stress-strain response. For static dimensioning of original plugs, the loads measured on the modified plugs can therefore be used without significant deviations.

Keywords:

non-standard plug, numerical investigation, finite element method, preload force, tightening torque, design guidelines

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



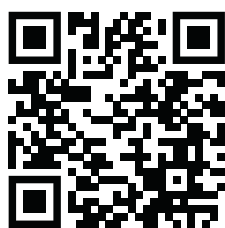
Controlled by
YRC1000



Celjski sejem

15.-17. MAJ 2024

SEEnergy MEDNARODNA KONFERENCA



SKENIRAJ ME!

Energetski prehod JV Evrope v nizkoogljično družbo



seenergy.ce-sejem.si



03 54 33 000



info@ce-sejem.si



Dečkova 1, 3000 Celje



SPLAČA SE BITI NAROČNIK



ZA SAMO 50€ DOBITE:

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



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

ANALIZA VARILNEGA TRANSFORMATORJA ZA POTREBE RAZVOJA ROBOTSKEGA UPOROVNEGA TOČKOVNEGA VARJENJA

Robert Brezovnik, Jožef Ritonja

Izvleček:

V avtomobilski industriji se množično uporabljajo sistemi za uporovno točkovno varjenje za varjenje avtomobilskih karoserij, pri katerih je varilni transformator nameščen na premikajočem se robotu, zato je teža transformatorja pomemben dejavnik. Težo transformatorja lahko znižamo z višjo napajalno frekvenco, saj lahko uporabimo manjši presek železnega jedra in posledično navitij, kar precej zmanjša težo transformatorja. Višja napajalna frekvenca transformatorja pa onemogoča doseganje enake najvišje vrednosti varilnega toka pri enakem bremenu. Prispevek se osredotoča na modeliranje sistema za uporovno točkovno varjenje in na analizo frekvenčne odvisnosti največje vrednosti varilnega toka pri istem bremenu. Prispevek prav tako obravnava razloge za izgubo prevajalnega razmerja in frekvenčno odvisnost zmanjšanja efektivnega prevajalnega razmerja z višanjem napajalne frekvence.

Ključne besede:

uporovno točkovno varjenje, transformator, DC-DC-pretvornik, pulznoširinska modulacija, prevajalno razmerje, vezni model

1 Uvod

Sistemi za uporovno točkovno varjenje (UTV) se uporabljajo za spajanje pločevin, aluminija in drugih električno prevodnih tankih materialov, zato se najbolj množično uporabljajo v avtomobilski industriji za varjenje avtomobilskih karoserij (slika 1). Pogosto se uporabljajo tudi v letalski in železniški industriji, pri sestavljanju kovinskega pohištva, sestavljanju baterijskih celic za električna vozila in drugih podobnih aplikacijah, kjer je treba trajno zagotoviti trden in zanesljiv spoj dveh relativno tankih prevodnih materialov [1]. Za spajanje pločevin se uporabljajo tudi druge metode, kot so vijačenje, kovičenje, klasično varjenje z oblokom, lasersko varjenje, ne nazadnje pa tudi lepljenje. Vsaka od naštetih metod ima svoje prednosti in slabosti, vendar se UTV predvsem v avtomobilski industriji množično uporablja že več kot 100 let predvsem zaradi možnosti avtomatizacije procesov UTV s pomočjo robotov.



Slika 1: Uporovno točkovno varjenje karoserije avtomobila BMW serije 3 (Vir: wikipedia [2])

Izdelava sodobnega avtomobila na avtomatiziranih in robotiziranih tekočih trakovih danes traja v povprečju od 18 do 35 ur, pri tem ima spajanje pločevine s pomočjo UTV pomembno vlogo, saj sestava avtomobila zahteva približno od 4 do 6 tisoč varov. Sodobna avtomobilska tovarna ima zaradi tega veliko število robotov, od katerih je določen delež namenjen zgolj za UTV. Po podatkih mednarodnega združenja za robotiko (International Federation of Robotics [3]) je bilo samo v letu 2021 po vsem svetu na novo nameščenih več kot 517.000 novih indu-

Dr. Robert Brezovnik, univ. dipl. inž., **prof. dr. Jožef Ritonja**, univ. dipl. inž., oba Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko

strijskih robotov, kar predstavlja rekordno vrednost in kar 31 % letno rast. V svetovnem merilu je danes v industriji delujočih več kot 3,5 milijona industrijskih robotov, kolikšen delež je namenjen izključno za UTV, je težko oceniti.

Sisteme z UTV lahko razdelimo v dve skupini [4]. V eno skupino spadajo varilni sistemi, ki za napajanje varilnega transformatorja (TR) uporabljajo enofazno izmenično napetost in tok [5]. Takšni sistemi imajo relativno preprosto strukturo, ampak nizko napajalno frekvenco omrežja (50 Hz ali 60 Hz) in nizki faktor delavnosti [6]. Nizka napajalna frekvenca zahteva relativno velik presek železnega jedra TR, kar pomeni tudi veliko težo, zato se uporabljajo predvsem za stacionarne varilne sisteme. V drugo skupino spadajo varilni sistemi, ki za napajanje varilnega TR uporabljajo trifazno izmenično napetost in srednjefrekvenčni TR s prigradenim polnovalnim usmernikom na izhodu, ki zagotavlja enosmerni varilni tok. Ti sistemi imajo kompleksnejšo strukturo in visoko frekvenco napajanja TR, ki lahko znaša od 1 kHz do več kot 20 kHz [7], vendar so dražji. Vodenje enosmernega varilnega toka se zagotavlja s pulznoširinsko modulacijo (PŠM) s sredinsko umeščenimi pulzi.

Zaradi visoke napajalne frekvence varilnega TR v primerjavi s sistemi z izmeničnim varilnim tokom lahko z višanjem napajalne frekvence bistveno zmanjšamo potrebni presek železnega jedra varilnega TR. Zmanjšanje preseka železnega jedra TR pa hkrati bistveno zmanjša tudi težo jedra in navitij TR, saj se precej skrajša obseg ovojev navitij. Teža varilnega TR pa je pomembna predvsem pri sistemih za UTV, kjer je varilni TR z varilnimi kleščami nameščen na premikajočem se robotu v proizvodni liniji in se tako premika skupaj z robotom (slika 1).

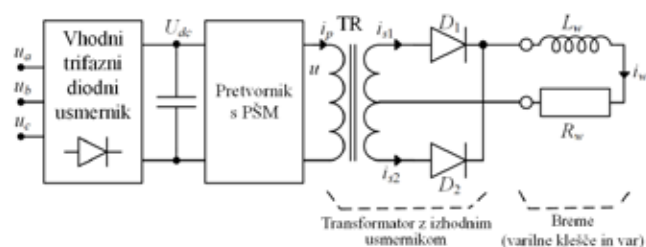
Premikanje robota s težkim varilnim TR in varilnimi kleščami zahteva ustrezno moč robota in porabo električne energije, ki se lahko zmanjša z lažjim varilnim TR, ki ga napajamo z višjo frekvenco napajalne napetosti. Žal pa se z višanjem frekvence napajalne napetosti varilnega TR pojavljajo tudi negativni vplivi, saj z naraščanjem frekvence upada največja vrednost enosmernega varilnega toka, ki ga lahko tak sistem doseže, pri istem bremenu. V tem prispevku je obravnavan vpliv frekvence napajalne napetosti varilnega TR in vrednosti parametrov nadomestnega vezja sistema za UTV na velikost največjega varilnega toka, ki ga lahko ta sistem doseže pri isti vrednosti bremena [8]. Pojasnjena je tudi izguba efektivnega prevajalnega razmerja D_e glede na nastavljeno prevajalno razmerje D pri pulznoširinski modulaciji, saj izguba prevajalnega razmerja narašča z naraščanjem frekvence.

V članku so najprej opisani sistem za uporovno točkovno varjenje, njegove osnovne komponente in merilna oprema (poglavje 2), nato je predstavljeno modeliranje osnovnih komponent in določanje vre-

dnosti parametrov modela (poglavje 3). Na osnovi modela so predstavljeni numerični izračuni, na katerih temelji analiza vpliva napajalne frekvence na velikost varilnega toka (poglavje 4), in končni rezultati analize (poglavje 5).

2 Opis sistema za uporovno točkovno varjenje

V tem prispevku je obravnavan sistem za UTV, ki sodi v prej obravnavano drugo skupino varilnih sistemov, ki izkoriščajo trifazno izmenično napajalno napetost in zagotavljajo visok enosmerni varilni tok. Taki sistemi se običajno uporabljajo v avtomobilski industriji za varjenje karoserij in so v grobem sestavljeni iz naslednjih komponent (slika 2): trifaznega polnovalnega diodnega usmernika, ki zagotavlja vir enosmerne napetosti, ki jo s pomočjo frekvenčnega pretvornika in PŠM pretvorimo v izmenično pravokotno napetost, s katero napajamo varilni TR, ki ima na sekundarni strani navitje s sredinskim odcepom, na katerega je priključen diodni usmernik. Naloga diodnega usmernika na sekundarni strani TR je usmeriti izmenično v enosmerno napetost, ki preko varilnih klešč in elektrod dovaja velik enosmerni varilni tok na mesto, kjer želimo spojiti dve pločevini.



Slika 2 : Osnovni elementi sistema za uporovno točkovno varjenje

Frekvenčni pretvornik s polnovalnim diodnim usmernikom je običajno stran od robota, na katerem je nameščen varilni TR z varilnimi kleščami, zato sta frekvenčni pretvornik in varilni TR lahko povezana z daljšim kablom, ki lahko v dolžino meri tudi več kot 30 metrov, zato njegov vpliv ni zanemarljiv in ga je treba ustrezno upoštevati pri modeliranju.

2.1 Trifazni polnovalni usmernik z gladilnimi kondenzatorji in frekvenčni pretvornik

Za laboratorijske raziskave TR za UTV je bil posebej izdelan frekvenčni pretvornik (slika 3), ki mu je možno spreminjati vse ključne parametre. Kupljene industrijske izvedbe so običajno zaprtega tipa z le malo možnostmi sprememb parametrov in načina vodenja. Frekvenčni pretvornik je sestavljen iz trifaznega napajalnega priključka, ki je povezan na



Slika 3 : Po meri izdelan laboratorijski frekvenčni pretvornik

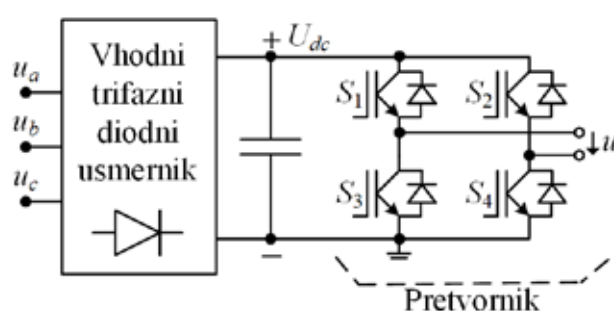
trifazni polnovalni diodni usmernik (SKKD 162/16 Semicron), ki skupaj z gladilnimi kondenzatorji s kapacitivnostjo 2 mF zagotavlja enosmerni vir napetosti približne vrednosti 560 V.

Pri zagotavljanju visokega varilnega toka se enosmerna napetost frekvenčnega pretvornika lahko sesede tudi za 80 V, kar je za analize delovanja TR neugodno, zaradi tega želimo čim višjo skupno kapacitivnost kondenzatorjev. Enosmerno napetost razsmerimo s pomočjo štirih stikalnih tranzistorjev (S_1 do S_2), ki sta po dva vezana zaporedno in med katera priključimo primarno navitje varilnega TR (slika 4).

Na sliki 3 frekvenčnega pretvornika stikalni tranzistorji niso vidni, saj se nahajajo pod kovinsko ploščo, sestavljata pa ga dva Semikronova IGBT-modula SKiiP 642GB-120-2WD, kjer vsak modul vsebuje dva IGBT-ja. Posamezni modul lahko obratuje do frekvence 20 kHz, pri največji napetosti enosmerne vodila 900 V in prevaja tokove do 600 A. Modul že vsebuje zaščito proti vklopu dveh tranzistorjev v isti veji ter tokovno in temperaturno zaščito, prav tako pa je vodno hlajen. Stikalne tranzistorje vedno odpiramo diagonalno (S_1 in S_4 ali S_2 in S_3) in tako zagotovimo na primarnem navitju varilnega TR pozitivno ali negativno vrednost enosmerne napetosti $U_{dc} = 560$ V. Signale za odpiranje in zapiranje stikalnih tranzistorjev zagotavljamo s pomočjo krmilnega sistema dSpace DSP1103, ki ima poseben izhod za PŠM, katere frekvenco lahko nastavljamo največ do 10 kHz, prevajalno razmerje $\underline{D}$ pa spreminjamo od 0 do 1.

2.2 Varilni TR s prigradenim polnovalnim usmernikom na sekundarju

V prispevku je obravnavan varilni TR podjetja BOSCH Rexroth s kataložsko oznako PSG 6130 RSTK, ki je prikazan na sliki 5. Iz nazivnih podatkov TR je razvidno [9], da je napajalna napetost primarnega navitja 530 V frekvence 1 kHz, sekundarna napetost brez obremenitve znaša 8,9 V, trajni varilni tok pri 100 % prevajalnem razmerju pa znaša 6,5 kA. Ker je nazivna navidezna moč 130 kVA, se lahko varilni



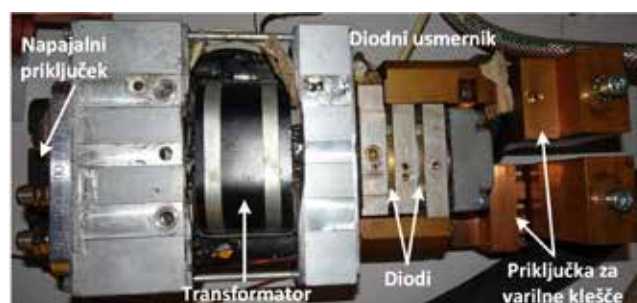
Slika 4 : Vhodni usmernik z enosmerno napetostjo vodila in s stikalnimi tranzistorji

tok bistveno poveča tudi na 25 kA, če se ustrezno zmanjša čas trajanja varjenja in je upornost bremena dovolj nizka. Prestavno razmerje števila ovojev med primarnim in sekundarnim navitjem znaša 55 : 1. Dolžina, širina in višina TR so 332 mm, 150 mm in 106 mm, teža znaša 15,1 kg, vodno hlajenje pa zahteva pretok 6 l/min.

Za laboratorijsko analizo TR potrebujemo dostop do posameznih delov TR in izhodnega diodnega usmernika, za ta namen se odstrani ohišje TR, kar je prikazano na sliki 6 z oznakami posameznih elementov. Izhodni diodni usmernik vsebuje dve diodi tipa 56DN06B01 podjetja Infineon, ki sta okrogle oblike s premerom 50 mm in debelino 5 mm. Dovoljena velikost toka diode je odvisna tudi od časa trajanja prevajanja, krajši, kot je čas prevajanja, višjo



Slika 5 : Varilni transformator PSG 6130 RSTK (Vir: katalog podjetja BOSCH Rexroth)



Slika 6 : Varilni transformator z odstranjenim ohišjem za prikaz notranjosti

vrednost toka lahko dosežemo, kar je povezano s hlajenjem. Pri laboratorijskih meritvah čas trajanja varjenja ni presegal 50 ms, velikost efektivne vrednosti varilnega toka pa ni presegala 25 kA. Masivni bakreni in aluminijasti deli TR (sekundarni ovoji) in diodnega usmernika v notranjosti vsebujejo kanale za vodno hlajenje, ki je aktivno v času izvajanja meritev.

2.3 Breme varilnega transformatorja – finožični vodnik

Pri dejanskih sistemih za UTV se velik varilni tok na izhodu varilnega TR z diodnim usmernikom s pomočjo varilnih klešč in elektrod dovede na mesto, kjer želimo ustvariti točkovni var. Naloga varilnih klešč ni samo dovajanje enosmernega varilnega toka, ampak tudi zagotavljanje ustrezno velike sile, s katero klešče stisnejo oba prevodna materiala na mestu varjenja. Velikost sile in velikost varilnega toka morata biti ustrezno določena, saj to vpliva na kakovost vara. Pri laboratorijskih analizah sistema za UTV se uporablja nadomestek varilnih klešč v obliki finožičnega vodno hlajenega vodnika dolžine 2,1 m s premerom 27 mm (z izolacijo 35 mm), ki je prikazan na *sliki 7*. Finožični vodnik ima približno enake vrednosti induktivnosti in ohmske upornosti, kot je skupna ohmska upornost varilnih klešč, varilnih elektrod in materiala na mestu varjenja.

2.4 Merilna oprema

Za izvajanje laboratorijskih meritev na sistemu za UTV je zahtevana posebna merilna oprema, saj imamo opravka s hitrimi prehodnimi pojavi in velikimi tokovi, ki lahko presegajo 30 kA. Meritev toka na primarni strani TR se je izvajala s PEM Rogowski coil CWT 3 LFR (*slika 8*), ki omogoča merjenje to-



Slika 7 : Breme varilnega TR v obliki vodno hlajenega finožičnega vodnika

kov do 600 A z natančnostjo 0,2 %. Meritve velikih tokov na sekundarni strani TR so se izvajale s PEM Rogowski coil CWT 150 LFR, ki omogoča merjenje tokov do 30 kA z natančnostjo 0,2 %.

Za merjenje visokih napetosti enosmernega vodila frekvenčnega pretvornika in primarne napetosti varilnega TR so bile uporabljene diferenčne sonde CHAUVIN ARNOUX DIFFERENTIAL PROBE DP 25, ki lahko merijo napetosti do 1000 V. Vse meritve tokov in napetosti so se izvajale z merilno opremo Dewetron DEWE-2600 (HSI), ki je sposobna zajemati podatke s hitrostjo 10 MS/s z visoko natančnostjo, neodvisno od velikosti merilnega območja. Merilni sistem v enem ohišju združuje računalnik s programsko opremo Dewesoft in merilni sistem s priključki na zadnji strani, ki mu lahko programsko nastavljamo merilno območje in filtriranje signalov.

3 Modeliranje sistema za uporovno točkovno varjenje

Da lahko izvajamo numerične izračune sistema za UTV in analiziramo njegovo dinamiko pri različnih vrednostih parametrov sistema, moramo najprej pripraviti ustrezne modele posameznih komponent (*slika 2*) in določiti vrednosti parametrov.

Vhodni trifazni diodni usmernik skrbi za zagotavljanje enosmerne napetosti vodila frekvenčnega pretvornika, vendar njegovo modeliranje ni smiselno, saj je napetost vodila dejansko odvisna od številnih vplivov, ki jih težko upoštevamo pri numeričnih izračunih. Zaradi tega raje upoštevamo, da je enosmerna napetost vodila konstantna vrednost $U_{dc} = 560$ V.

Frekvenčni pretvornik modeliramo kot konstantni vir enosmerne napetosti vodila U_{dc} s štirimi stikali, ki jih ustrezno odpiramo in zapiramo s pomočjo PŠM. Stikala so idealna z zanemarljivo vrednostjo upornosti v času prevajanja in z zelo visoko upornostjo v času, ko ni prevajanja. Tudi povratne zaščitne diode ob stikalih modeliramo na način, da je njihov vpliv glede padca napetosti zanemarljiv, torej z zelo niz-



Slika 8 : Tuljavica Rogowski – PEM Rogowski coil CWT 3 LFR

ko povratno napetostjo in zanemarljivo upornostjo v prevodni smeri in zelo visoko upornostjo v zaporni smeri. Od frekvenčnega pretvornika do priključkov primarnega navitja TR vodi daljši napajalni kabel, ki ga modeliramo zgolj kot zaporedno upornost in induktivnost, saj je kapacitivnost zanemarljiva.

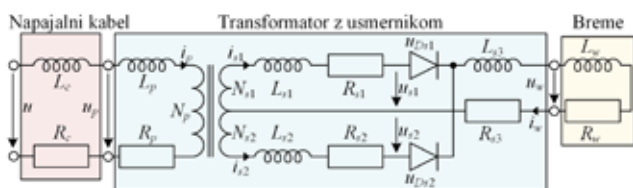
TR modeliramo zgolj z ustreznim upoštevanjem razsipanih upornosti in induktivnosti primarnega navitja ter sekundarnega navitja s sredinskim odcepom, saj upornosti in induktivnosti prevladujejo v primerjavi s kapacitivnostmi. Ustrezno upoštevamo tudi prestatno razmerje števila ovojev primarnega in sekundarnega navitja 55 : 1. Železnega jedra pri modeliranju ne upoštevamo, torej gre za idealni linearni TR brez izgub v železu in brez nasičenja. Izgube v železu TR so zanemarljive v primerjavi z izgubami v navitjih in diodah izhodnega diodnega usmernika, TR pa mora obratovati v linearnem delu magnetilne krivulje, v nasprotnem primeru se lahko primarni tok TR toliko poveča, da se aktivira tokovna zaščita.

Izhodni polnovalni diodni usmernik, priključen na sekundarno navitje TR, modeliramo z dvema diodama, ki prevajata električni tok samo v eni smeri, podano pa imata povratno napetost in upornost v prevodni smeri ter visoko upornost v zaporni smeri.

Breme na izhodu polnovalnega diodnega usmernika modeliramo kot zaporedno vezavo upornosti in induktivnosti finožičnega vodnika, ki je nadomestek za varilne klešče z elektrodami in upornostjo varjenja.

3.1 Določitev vrednosti parametrov nadomestnega vezja

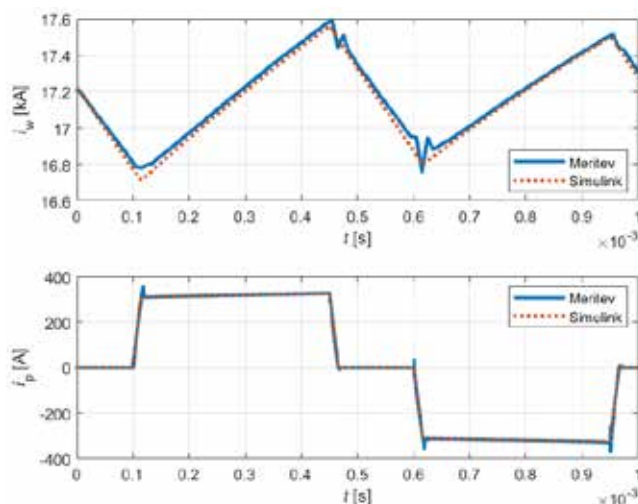
Iz opisa modeliranja sistema za UTV je razvidno, da je model v večini sestavljen iz upornosti in induktivnosti ter povratnih napetosti diod. Če sta podatka o nadomestni upornosti (0,037 mΩ) in povratni napetosti diode (0,66 V) izhodnega usmernika kataloška podatka, pa so upornosti in razsipane induktivnosti TR, bremena in priključnega kabla neznane vrednosti, ki jih je treba določiti (slika 9). V veznem modelu sta L_c in R_c induktivnost in upornost priključnega kabla med frekvenčnim pretvornikom in primarnim navitjem TR. Razsipana induktivnost in upornost primarnega navitja TR sta označeni z L_p in R_p . Razsipana induktivnost in upornost prvega se-



Slika 9 : Vezni model sistema za uporovno točkovno varjenje

kundarnega ovoja sta označeni z L_{s1} in R_{s1} , drugega sekundarnega ovoja pa z L_{s2} in R_{s2} . Skupni deli TR s sredinskim odcepom in diodnega usmernika, po katerih teče skupni varilni tok, so označeni s skupno razsipano induktivnostjo L_{s3} in upornostjo R_{s3} . Z L_w in R_w sta označena induktivnost in upornost bremena, ki je v našem primeru finožični vodnik.

Za določitev vrednosti parametrov veznega modela sistema za UTV smo uporabili optimizacijski algoritem [10, 11], ki deluje na osnovi roja delcev [12, 13] (Particle Swarm Optimization, kratica PSO). Za optimizacijski algoritem smo določili kriterijsko funkcijo, s pomočjo katere smo določili takšne vrednosti parametrov veznega modela, da je bil integral absolutnega odstopanja med izmerjenim in izračunanim časovnim potekom modela varilnega i_w in primarnega toka TR i_p v času ene periode čim manjši. Pri tem smo upoštevali eno periodo obeh



Slika 10 : Primerjava izmerjenih in z modelom izračunanih časovnih potekov tokov

Tabela 1 : Vrednosti parametrov veznega modela sistema za UTV

Opis	Parameter	Vrednost
Priključni kabel	L_c	3,8153 μH
	R_c	9,4 mΩ
Prim. navitje TR	L_p	2,5636 μH
	R_p	24,03 mΩ
1. sek. veja TR	L_{s1}	12 nH
	R_{s1}	27,7 μΩ
2. sek. veja TR	L_{s2}	14 nH
	R_{s2}	32,76 μΩ
Skupni deli obeh sekundarnih vej	L_{s3}	36,1 nH
	R_{s3}	56,2 μΩ
Breme	L_w	1,2981 μH
	R_w	220,52 μΩ

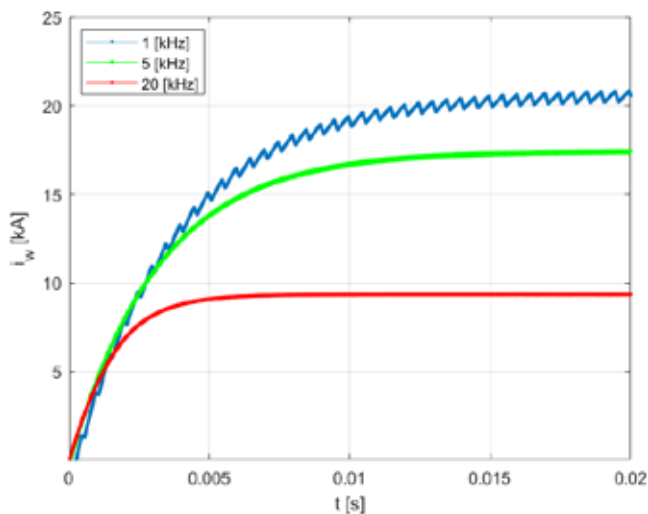
časovnih potekov tokov v stacionarnem stanju efektivne vrednosti varilnega toka I_w .

Na *sliki 10* je prikazana primerjava med izmerjenim in z modelom izračunanim časovnim potekom varilnega i_w in primarnega toka i_p varilnega TR, ki upošteva z optimizacijo pridobljene vrednosti parametrov modela, ki so podane v *tabeli 1*. Iz primerjave izmerjenih in izračunanih časovnih potekov tokov na *sliki 10* je razvidno, da je optimizacijski algoritem uspel doseči zelo dobro ujemanje obeh časovnih potekov tokov in da izbrani model sistema za UTV zelo dobro opisuje njegovo dinamiko, čeprav v modelu niso upoštevane kapacitivnosti sistema.

4 Analiza vpliva frekvence PŠM na velikost varilnega toka

S pomočjo modela so bili narejeni numerični izračuni odziva sistema za UTV pri različnih vrednostih frekvence napajalne napetosti, ki jo določimo s pomočjo PŠM. Na *sliki 11* je prikazana primerjava treh časovnih potekov varilnega toka pri treh različnih frekvencah PŠM, in sicer pri nazivni frekvenci 1 kHz, za katero je narejen TR, ter pri dveh višjih frekvencah 5 kHz in 20 kHz, prevajalno razmerje pa je v vseh primerih enako $D = 0,8$ oziroma 80 %. Vse ostale vrednosti parametrov modela sistema za UTV so ostale nespremenjene. Kot je razvidno s *slike 11*, se je vrednost varilnega toka v stacionarnem stanju bistveno znižala s povišanjem frekvence, pri 20 kHz se je tok znižal za približno 50 %.

Da bi bolje razumeli vpliv frekvence napajalne napetosti na vrednost varilnega toka v stacionarnem stanju, je treba natančneje pogledati časovne po-



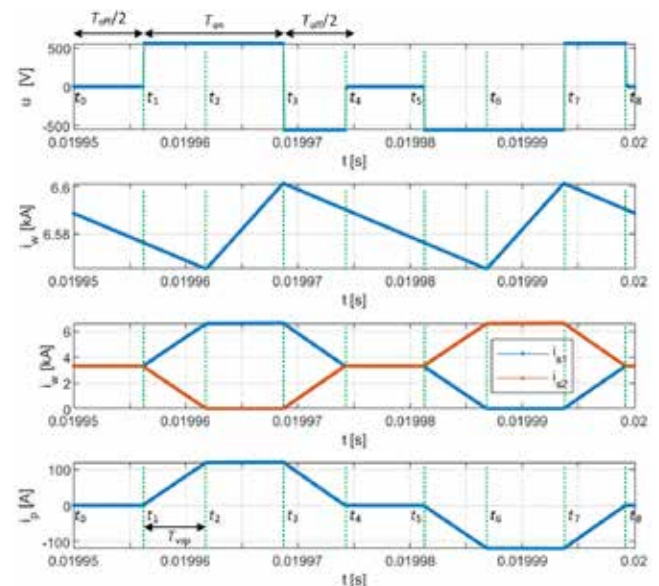
Slika 11 : Primerjava časovnih potekov varilnega toka i_w pri treh frekvencah PŠM in prevajalnem razmerju $D = 0,8$

teke tokov in napetosti v času ene periode, ko se varilni tok že ustali, kar je prikazano na *sliki 12*. Na prvem diagramu slike je prikazan časovni potek napetosti u na začetku priključnega kabla varilnega TR, na drugem diagramu je prikazan časovni potek varilnega toka i_w . Na tretjem diagramu sta prikazana časovna poteka posamezne sekundarne veje TR i_{s1} in i_{s2} , katerih vsota je enaka varilnemu toku i_w , na zadnjem diagramu pa je prikazan časovni potek primarnega toka i_p . Na prvem in zadnjem diagramu so za lažjo razlago označeni tudi posamezni časovni intervali z oznakami od t_0 do t_8 in pomožne zelene vertikalne črtkane črte na vseh štirih diagramih. V nadaljevanju bo podana razlaga samo za prvo polperiodo, saj je dogajanje podobno v drugi polperiodi, le primarna napetost u in tok i_p sta negativna.

Na prvem diagramu slike 12 je prikazan časovni potek napajalne napetosti u , ki je določen s PŠM s frekvenco 20 kHz in nastavljenim prevajalnim razmerjem $D = 0,5$. Glede na nastavitve PŠM je nad prvo polovico časovnega poteka napajalne napetosti TR označen časovni interval T_{on} , ko sta odprti dve diagonalni stikali frekvenčnega pretvornika in je na navitju TR priključena pozitivna napajalna napetost $u = 560$ V. Čas T_{on} je odvisen od nastavljene prevajalnega razmerja D in ga izračunamo z (1), če upoštevamo čas ene polperiode.

$$T_{on} = 0,5 \cdot T \cdot D = 0,5 \cdot D / f \quad (1)$$

Zaradi prisotne napetosti u na primarnem navitju TR se začne pri t_1 vrednost primarnega toka hitro povečevati z vrednosti nič, hkrati pa se oba toka sekundarnih vej TR začneta hitro spreminjati, kjer tok i_{s2} začne strmo padati proti vrednosti nič, tok i_{s1} pa začne hitro naraščati proti vrednosti varilnega toka i_w . Ta hitri prehodni pojav se konča pri t_2 ,



Slika 12 : Izračunani časovni poteki napetosti in tokov v času ene periode ustaljenega varilnega toka

ko na sekundarno stran TR reducirani primarni tok $i_p' = i_p \cdot 0,55$ doseže vrednost varilnega toka $i_w = i_p'$ in hkrati velja $i_{s2} = 0$ ter $i_{s1} = i_w$. Čas hitrega vzpona primarnega toka i_p od t_1 do t_2 je na četrtem diagramu slike 12 označen s T_{vzp} , najpomembnejše pa je dejstvo, da v tem časovnem intervalu varilni tok i_w kljub priključenosti napetosti še vedno pada. Pričakovati bi, da bi varilni tok i_w v eni polperiodi vedno naraščal v časovnem intervalu T_{on} , ko je na primarno navitje TR priključena napetost, in vedno padal v časovnem intervalu T_{off} ko na primarnem navitju TR ni priključene napetosti. Kot je bilo omenjeno, to ne drži, saj varilni tok v časovnem intervalu T_{vzp} še vedno pada kljub napetosti na primarnem navitju TR. Čas vzpona T_{vzp} primarnega toka nam torej podaljša čas padanja varilnega toka na časovni interval $T_{off} + T_{vzp}$ in skrajša čas dejanskega naraščanja varilnega toka na časovni interval $T_{on} - T_{vzp}$, kar pa ravno določa efektivno prevajalno razmerje (2), ki je vedno manjše od nastavljenega prevajalnega razmerja D :

$$D_e = \frac{T_{on} - T_{vzp}}{0,5 \cdot T} \quad (2)$$

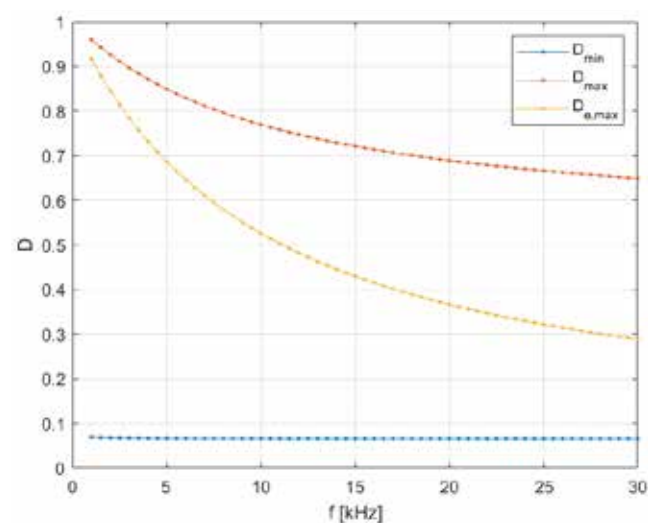
Večji, kot je varilni tok, daljši je časovni interval T_{vzp} in obratno, seveda pa velja, da bo čas T_{vzp} enak pri enaki vrednosti varilnega toka, ne glede na frekvenco PŠM, ki pa zmanjšuje časovni interval T_{on} pri enaki vrednosti nastavljenega prevajalnega razmerja D . Iz omenjenega lahko zaključimo, da bo pri višjih frekvencah PŠM časovni interval T_{vzp} precej bolj skrajšal čas dejanskega naraščanja varilnega toka $T_{on} - T_{vzp}$ kot pa pri nižjih frekvencah, kar bo pomenilo toliko nižje efektivno prevajalno razmerje D_e glede na nastavljeno prevajalno razmerje D oziroma izguba prevajalnega razmerja ($D - D_e$) je pri višjih frekvencah večja. Pri višjih frekvencah PŠM je potencialno možno doseči enako vrednost varilnega toka kot pri nižjih frekvencah, vendar moramo povišati nastavljeno prevajalno razmerje D za toliko, da ostane efektivno prevajalno razmerje D_e enako. Z višjim D moramo dejansko kompenzirati izgubo prevajalnega razmerja, da dosežemo enak varilni tok. Prevajalnega razmerja D pa ne moremo kompenzirati v nedogled, saj je lahko največ $D = 1$, takrat velja $T_{on} = T/2$, zato pri višjih frekvencah ne moremo doseči tako velikega varilnega toka, kot ga lahko pri nižjih frekvencah, zaradi tega pa je največja vrednost varilnega toka odvisna od frekvence PŠM. Varilni tok pa ne narašča z naraščanjem prevajalnega razmerja vse do vrednosti $D = 1$, ampak se naraščanje ustavi že pri nižji vrednosti, ki jo imenujemo D_{max} , takrat se namreč zgodi, da v časovnem poteku primarnega toka i_p ni več intervala, kjer bi bil tok enak nič, ampak i_p pade s pozitivne vrednosti na vrednost nič in takoj začne naraščati v negativno smer ali obratno. Pri višjih frekvencah torej lahko kompenziramo izgubo prevajalnega razmerja samo do vrednosti D_{max} , saj nadaljnje višanje ne poviša več varilnega toka, D_{max} pa se prav tako znižuje z višanjem frekvence. Zaradi omenjenega se z višanjem frekven-

ce PŠM največja vrednost varilnega toka samo še znižuje kljub nastavljenemu največjemu možnemu prevajalnemu razmerju $D = 1$.

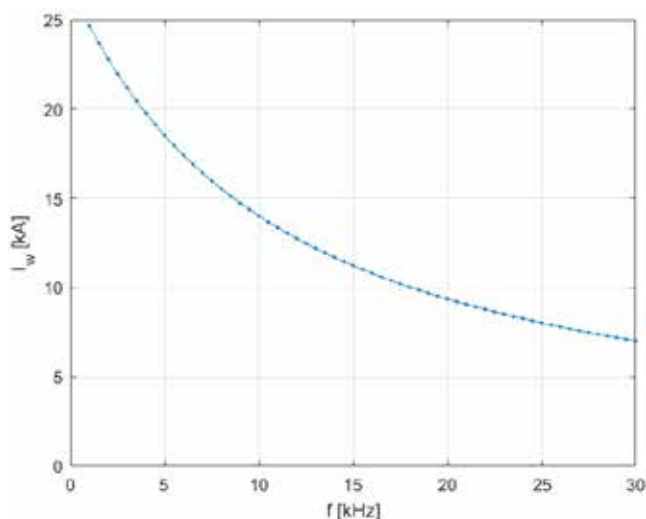
5 Rezultati analize vpliva frekvence PŠM na velikost varilnega toka sistema za UTV

S pomočjo pripravljenega modela sistema za UTV je bila narejena vrsta numeričnih izračunov pri različnih vrednostih frekvence PŠM od 1 kHz do 30 kHz po koraku 0,5 kHz. Pri vsaki frekvenci PŠM se je poiskalo največje prevajalno razmerje D_{max} , do katerega varilni tok še narašča, in minimalno prevajalno razmerje D_{min} , ki še zagotavlja varilni tok brez vmesnih časovnih intervalov, kjer bi bil varilni tok enak nič. Pri nastavljenem D_{max} se je s pomočjo (2) izračunalo tudi efektivno prevajalno razmerje $D_{e,max}$, ki dejansko vpliva na velikost varilnega toka. Na *sliki 13* so prikazani rezultati omenjenih izračunov D_{max} , D_{min} in $D_{e,max}$ v odvisnosti od frekvence PŠM. S slike je razvidno, da vsa tri prevajalna razmerja upadajo z naraščanjem frekvence, vključno z D_{min} , čeprav je videti konstantna vrednost.

Na velikost največjega varilnega toka v stacionarnem stanju vpliva efektivno prevajalno razmerje $D_{e,max}$ kljub najvišjemu možnemu nastavljenemu prevajalnemu razmerju $D = 1$ ali D_{max} , zato s padanjem $D_{e,max}$ pada tudi največja efektivna vrednost varilnega toka I_w , ki jo lahko dosežemo, kot je prikazano na *sliki 14*. Pri upoštevanih parametrih modela sistema za UTV in enakem bremenu lahko pri frekvenci 1 kHz dosežemo skoraj 25 kA efektivne vrednosti varilnega toka I_w , pri 15 kHz se vrednost več kot razpolovi, pri 30 kHz pa dosežemo samo še približno 7 kA, kar je manj kot tretjina vrednosti, kot je pri 1 kHz.



Slika 13 : Odvisnost prevajalnih razmerij od frekvence PŠM-sistema za UTV



Slika 14 : Odvisnost efektivne vrednosti varilnega toka od frekvence PŠM

Iz analize je bilo ugotovljeno, da je čas hitrega vzpona primarnega toka v intervalu T_{vzp} glavni razlog za frekvenčno odvisnost varilnega toka, saj skrajša čas dejanskega naraščanja varilnega toka in podaljša čas padanja varilnega toka, kar pa ravno določa efektivno vrednost varilnega toka v stacionarnem stanju. Če želimo zmanjšati frekvenčno odvisnost največje vrednosti varilnega toka, moramo skrajšati čas vzpona primarnega toka T_{vzp} , kar pa pomeni, da je treba spremeniti vrednosti parametrov veznega modela sistema za UTV, ki bodo omogočali hitrejši vzpon primarnega toka. Na hitrejši vzpon primarnega toka lahko vplivamo z zmanjšanjem induktivnosti priključnega kabla in razsipanih induktivnosti transformatorja z diodnim usmernikom [14] ali pa s povišanjem upornosti, vendar s tem hkrati neposredno vplivamo na velikost varilnega toka, kar ni zaželeno.

6 Zaključek

Sistemi za UTV se uporabljajo predvsem v avtomobilski industriji za varjenje karoserij, kjer je varilni TR skupaj z varilnimi kleščami nameščen na premikajočem se robotu, zato je teža TR pomemben dejavnik. Težo transformatorja lahko zmanjšamo, če povečamo frekvenco PŠM, ki določa napajalno napetost TR, saj lahko pri višji frekvenci zmanjšamo presek železnega jedra. Manjši presek železnega jedra zmanjša volumen in težo jedra in hkrati težo navitja, saj se hkrati zmanjša tudi obseg navitja. Višja frekvenca napajalne napetosti TR pa po analizah sledeč zmanjša največjo vrednost varilnega toka, ki ga lahko sistem doseže pri istem bremenu. V prispevku je bil analiziran sistem za UTV z industrijskim varilnim TR, za katerega so bili določeni model in vrednosti parametrov. S pomočjo modela, ki zelo dobro opisuje dinamiko sistema,

so bili narejeni številni numerični izračuni, ki kažejo na precejšnjo odvisnost največje vrednosti varilnega toka od frekvence PŠM pri enakem bremenu. Na osnovi podrobne analize časovnih potekov tokov in napetosti v času ene periode ustaljenega varilnega toka je bilo ugotovljeno, da v časovnem intervalu pritisnjene napetosti na primarnem navitju TR varilni tok kljub napetosti še vedno pada, vse dokler reducirana vrednost primarnega toka i'_p z vrednosti nič ne naraste na vrednost varilnega toka i_w . Ta čas hitrega vzpona primarnega toka povzroča razliko med nastavljenim prevajalnim razmerjem D in efektivnim prevajalnim razmerjem D_e , kar imenujemo izguba prevajalnega razmerja. Vrednost varilnega toka v stacionarnem stanju je določena z efektivnim prevajalnim razmerjem D_e , ki pa se precej zmanjša z naraščanjem frekvence, zato se zmanjša tudi največja vrednost varilnega toka. Da zmanjšamo izgubo prevajalnega razmerja, je treba spremeniti vrednosti parametrov sistema za UTV, ki bodo omogočale hitrejši vzpon primarnega toka, kar lahko najbolj učinkovito dosežemo z zmanjšanjem predvsem razsipanih induktivnosti TR in diodnega usmernika.

Viri

- [1] N. T. Williams and J. D. Parker, »Review of resistance spot welding of steel sheets Part 1 Modelling and control of weld nugget formation,« International Materials Reviews, vol. 49, no. 2, pp. 45-75, 2004, doi: 10.1179/095066004225010523.
- [2] By BMW Werk Leipzig – <http://bmw-werk-leipzig.de>, CC BY-SA 2.0 de, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=11928438>.
- [3] International Federation of Robotics, »World Robotics Report«. [Na spletu]. Dostopno: <https://ifr.org/ifr-press-releases/news/wr-report-all-time-high-with-half-a-million-robots-installed>. [Dostop: 22. mar. 2024.]
- [4] K. Zhou and H. Li; »A Comparative Study of Single-Phase AC and Medium Frequency DC Resistance Spot Welding Using Finite Element Modeling,« IEEE Access, vol. 8, pp. 107260-107271, 2020, doi: 10.1109/access.2020.3000794.
- [5] W.-H. Ko, J.-C. Gu, and W.-J. Lee; »Energy efficiency improvement of a single-phase ac spot welding machine by using an advanced thyristor switched detuning capacitor bank,« IEEE Transactions on Industry Applications, pp. 1-1, 2018, doi: 10.1109/tia.2018.2796060.
- [6] K. Zhou and L. Cai; »Online Measuring Power Factor in AC Resistance Spot Welding,« IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 61, no. 1, pp. 575-582, 2014, doi: 10.1109/tie.2013.2244540.
- [7] J. Biela, U. Badstuebner, and J. W. Kolar; »Im-

pect of Power Density Maximization on Efficiency of DC-DC Converter Systems,« (in English), Ieee T Power Electr, vol. 24, no. 1-2, pp. 288-300, Jan-Feb 2009, doi: 10.1109/Tpel.2009.2006355.

- [8] R. Brezovnik, J. Cernelic, M. Petrun, D. Dolinar, and J. Ritonja; »Impact of the Switching Frequency on the Welding Current of a Spot-Welding System,« IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 64, no. 12, pp. 9291-9301, 2017, doi: 10.1109/tie.2017.2711549.
- [9] Priročnik Rexroth PSG 6130.xx RSTK srednje frekvenčnega varilnega transformatorja [Na spletu] Dostopno: https://store.boschrexroth.com/Resistance-welding?cclcl=en_DE. [Dostop: 13. mar. 2024.]
- [10] X. Wang and K. Zhou; »Electrical Parameter Identification of Medium-Frequency DC Resistance Spot Welding System Using Intelligent Algorithm,« IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, vol. 26, no. 4, pp. 1791-1802, 2021, doi: 10.1109/tmech.2021.3075479.
- [11] M. Petrun, K. Deželak, D. Dolinar, and G. Stumberger; "Determining the parameters of a resistance spot welding transformer using differential evolution," IEEE Trans. Magn., vol. 50, no. 4, Apr. 2014, Art. no. 8400304.
- [12] Kennedy, J.; Eberhart, R. C. Particle swarm optimization. Proc. IEEE Int. Conf. Neural Netw., Nov. 1995, pp. 1942-1948.
- [13] Particle Swarm Optimization Algorithm. [Na spletu]. Dostopno: <https://mathworks.com/help/gads/particle-swarm-optimization-algorithm.html>. [Dostop: 27. mar. 2024.]
- [14] R. Brezovnik; Vpliv preklopne frekvence sistema za uporovno točkovno varjenje na varilni tok in na izgube, Maribor, 2018. (<https://dk.um.si/IzpisGradiva.php?lang=slv&id=70111>) [Dostop: 27. mar. 2024.]

Analysis of the welding transformer for the development of robotic resistance spot welding

Abstract:

In the automotive industry, resistance spot welding systems are used extensively for welding car bodies, where the welding transformer is installed on a moving robot, so the weight of the transformer is an important factor. The weight of the transformer can be reduced by a higher switching frequency, as a smaller cross-section of the iron core and thus the windings can be used, which significantly reduces the weight of the transformer. However, a higher switching frequency of the transformer makes it impossible to achieve the same maximum welding current value at the same load. The paper focuses on the modelling of the resistance spot welding system and the analysis of the frequency dependence of the maximum value of the welding current at the same load. It also discusses the reasons for the loss of duty cycle and the frequency dependence of the decrease in effective duty cycle by increasing the switching frequency.

Keywords:

resistance spot welding, transformer, DC-DC converter, pulse-width modulation, duty cycle, circuit model

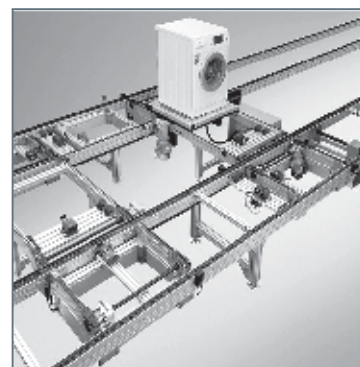
Rexroth

ORGATEX®

LEANPRODUCTS®



BOSCH



OPL

automation

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

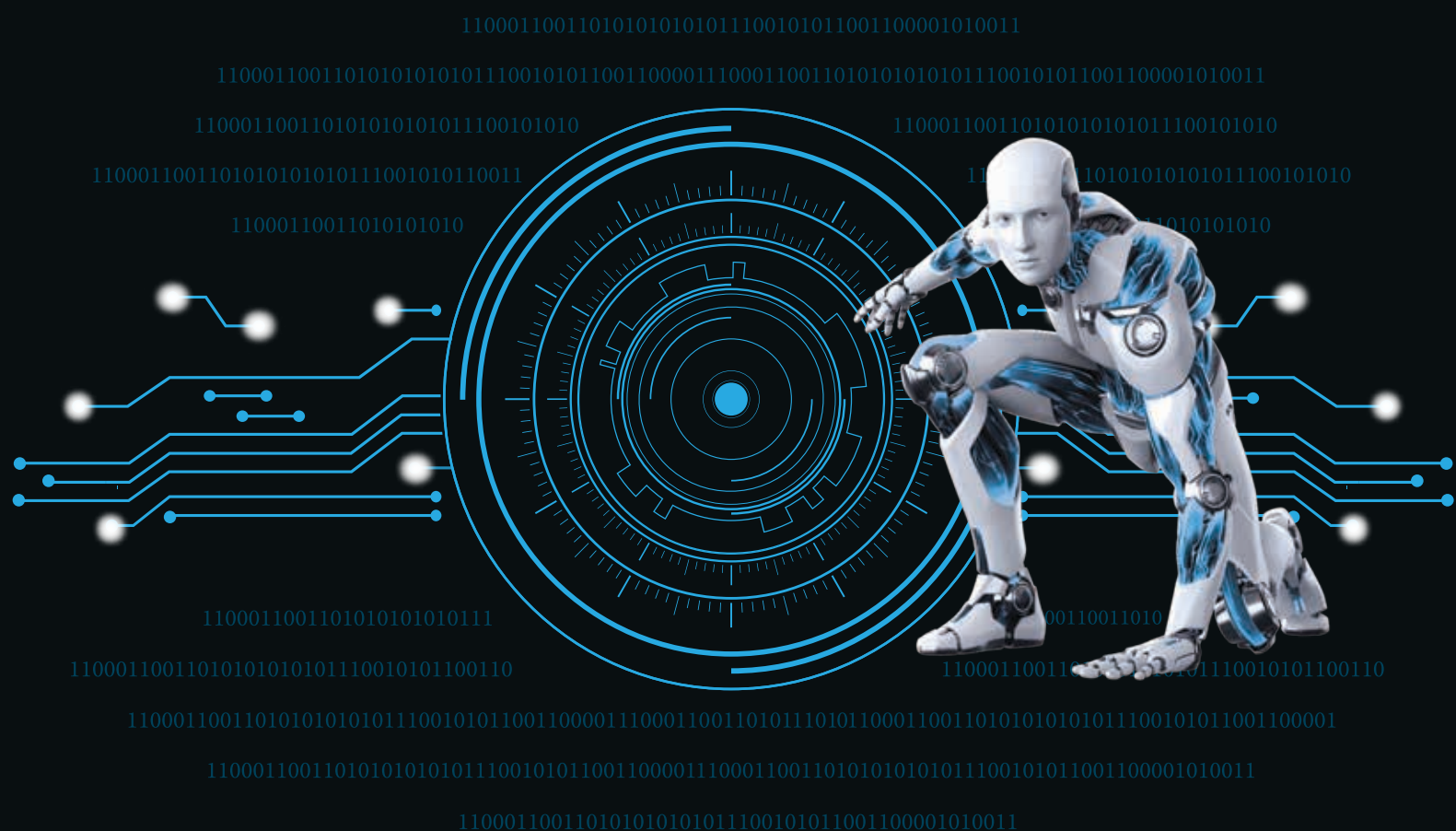
Tel. +386 (0) 1 560 22 40
Tel. +386 (0) 1 560 22 41
Mobil. +386 (0) 41 667 999
E-mail: info@opl.si
www.opl.si



IFAM-INTRONIKA-ROBOTICS

11.-13. 2. 2025

Ljubljana



UPORABA METODE ROJENJA Z LASTNIM ODZIVOM V MINIMALNO INVAZIVNEM NADZORNEM SISTEMU

Žiga Stržinar, Boštjan Pregelj, Igor Škrjanc

Izvleček:

Nadzor proizvodnih procesov je ključni dejavnik za zagotavljanje kakovosti, maksimiranje izrabe proizvodnih sredstev in izboljšanje drugih kazalnikov uspešnosti. Visoka cena uvedbe nadzornega sistema pa je pogosto ovira, zato so ti sistemi tipično na voljo le na množično proizvedenih strojih, medtem ko so na unikatnih strojih na voljo le v omejenem obsegu. S ciljem spodbujanja širše uporabe nadzornih sistemov dajemo prednost uporabi minimalno invazivne ali že obstoječe merilne opreme, s čimer omogočamo uporabo nadzornega sistema tudi na unikatnih strojih, ki predstavljajo večino proizvodnih sredstev. V našem prispevku se osredotočamo na domeno ponovljivih se industrijskih procesov s poudarkom na kosovni proizvodnji. Predstavljamo predlagano zaporedje opravil, ki omogočajo odkrivanje anomalij v realnem času. V prispevku predstavimo metodo mehkega rojenja z lastnim odzivom, ki omogoča klasifikacijo časovnih vrst. Pristop temelji na zgoščenih predstavitvi vsakega razreda z omejenim številom prototipov. Metodo demonstriramo za zaznavanje aktiviranja različnih pnevmatskih aktuatorjev.

Ključne besede:

analiza časovnih vrst, klasifikacija časovnih vrst, mehki sistemi, zaznavanje dogodkov

1 Uvod

Nadzorni sistemi so ključni za zagotavljanje visoke kakovosti izdelkov in maksimiranje izkoriščenosti proizvodnih virov. Vendar pa je njihova implementacija draga, zato so redko na unikatnih strojih. Naš cilj je pomagati proizvodnim podjetjem, da dosežejo nadzor nad široko paleto proizvodnih strojev brez invazivnih posegov ali vplivov na osnovno delovanje stroja.

Spremljanje procesov je ključno za uspešno proizvodnjo, saj podjetjem omogoča, da zagotovijo učinkovito delovanje proizvodnih procesov. To vključuje zbiranje in analizo podatkov z različnih stopenj proizvodnega procesa. S tem lahko podjetja hitro ugotovijo morebitna odstopanja ali nepravilnosti, ki lahko vplivajo na kakovost izdelka ali donosnost proizvodnje [1, 2].

S spremljanjem proizvodnih procesov lahko podjetja hitro ugotovijo težave in jih odpravijo, kar vodi k večji produktivnosti, nižjim stroškom in višji kakovosti izdelkov. Spremljanje procesov je ključni vidik

sodobne proizvodnje, katerega pomen je izjemno pomemben [3].

Večina strojev, ki so na voljo na trgu, je zasnovanih za ponavljajoče se naloge in je opremljena z osnovnimi notranjimi alarmnimi sistemi. Ti alarmni sistemi so običajno vgrajeni v krmilni sistem stroja, ki ustvari alarm, ko notranja spremenljivka preseže zgornjo ali spodnjo mejo.

Te rešitve imajo več pasti. Prvič: te rešitve niso zmogljive zaznati šibkih začetnih napak, saj se običajno odzovejo, ko je napaka že v zreli fazi. Drugič: te rešitve ne upoštevajo medsebojne povezave med spremenljivkami procesa, zato ne morejo zanesljivo sklepati o osnovnem vzroku. Tretjič: proizvajalci pogosto omejujejo dostop končnega uporabnika do notranjih spremenljivk nadzornih sistemov, zaradi česar je izvajanje diagnostične funkcionalnosti težko brez sodelovanja ponudnika strojev, ki pa za to zahtevajo doplačilo. Prav tako je treba upoštevati, da še vedno obstaja veliko strojev brez vgrajenih diagnostičnih funkcij, na primer stroji starejše generacije [4].

Pri našem raziskovalnem delu si prizadevamo razviti nove splošne metode za nadzorovanje proizvodnih procesov v kosovni industriji ter drugih visoko ponovljivih procesih. Naš cilj je zagotoviti široko uporabo nadzornega sistema, ki ne bo zahteval velikih posegov v obstoječe proizvodne sisteme in bo omogočal uporabo minimalno invazivne ali že prisotne merilne opreme. Poleg tega si želimo izkoristiti obstoječe signale na liniji, ne da bi bilo

Žiga Stržinar, mag. inž., Institut Jožef Stefan, Ljubljana in Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko; **dr. Boštjan Pregelj**, univ. dipl. inž., Institut Jožef Stefan, Ljubljana; **prof. dr. Igor Škrjanc**, univ. dipl. inž., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko

potrebno dodajanje dodatnih senzorjev ali pa uporaba neinvazivnih senzorjev, ki ne bodo vplivali na delovanje opazovane naprave.

Naš cilj je razviti splošni nadzorni sistem, ki bo primeren za širok nabor cikličnih naprav v kosovni proizvodnji ter bo omogočal zanesljivo odkrivanje morebitnih napak v proizvodnem procesu. Pri tem želimo izkoristiti podatke, ki jih pridobivamo iz proizvodnih procesov, in jih analizirati na način, ki nam bo omogočal zaznavanje napak v zgodnji fazi ter njihovo odpravo, preden povzročijo večje težave.

Za doseg tega cilja se bomo osredotočili na razvoj in uporabo splošnih metod za nadzorovanje proizvodnih procesov ter na uporabo minimalno invazivne ali že prisotne merilne opreme. S tem bomo omogočili široko uporabo našega nadzornega sistema na različnih napravah v kosovni industriji ter drugih visoko ponovljivih procesih, hkrati pa zmanjšali stroške in čas za integracijo in prilagajanje sistema na posamezne proizvodne procese.

Predstavili bomo predlog zasnove minimalno invazivnega nadzornega sistema, ki je sestavljen iz različnih komponent, med drugim tudi metode za klasifikacijo časovnih vrst. V prispevku bomo prikazali uporabo te metode na primeru meritev tlaka v pnevmatskih komponentah.

Klasifikacija časovnih vrst je pomemben korak v zastavljenem nadzornem sistemu. Klasifikacijo opravljamo na segmentih časovne vrste, ki predstavljajo smiselne korake delovanja opazovanega stroja.

Klasifikacija časovnih vrst (TSC) je aktivno področje raziskav [5]. Njen naraščajoči pomen je posledica eksplozije virov podatkov, ki ustvarjajo časovne vrste: internet stvari (IoT), industrija 4.0, finančni sektor [6], zdravstvene in medicinske naprave [7], vremenske postaje in monitorji kakovosti zraka, GPS-loggerji itd. Aplikacije TSC vključujejo odkrivanje napak [8–10], prepoznavanje predmetov, analizo porabe energije [11], analizo prometnih vzorcev [12] in odkrivanje raztresenih voznikov [13]. V proizvodnji obstaja več primerov uporabe klasifikacije časovnih vrst: (1) odkrivanje napak na obdelovancih, (2) spremljanje strojev za preventivno in napovedno vzdrževanje, (3) odkrivanje nepričakovanih/nepravilnih operacij strojev, (4) kategorizacija obdelovancev.

Metode TSC se delijo v več kategorij. Izbira kategorije metod je odvisna od lastnosti časovnih vrst, ki jih želimo klasificirati. Pregledi kategorij metod klasifikacije časovnih vrst so na voljo v [14]. Za potrebe nadzornega sistema, opisanega v poglavju 2, je relevantna kategorija metod, ki opazujejo obliko celotne časovne vrste. Na tem področju se največ pozornosti posveča alternativnim (elastičnim) meram razdalje [14, 15]. V našem delu se osredotočimo na drug del teh metod – na klasifikator. Predlagamo alternativni klasifikator: metodo rojenja z lastnim odzivom.

V prispevku predstavimo predlog zasnove minimalno invazivnega nadzornega sistema. V poglavju 2 predstavimo koncept minimalno invazivnega nadzornega sistema, ki ga nameravamo razviti. V poglavju 3 predstavimo metodo rojenja z lastnim odzivom, ki jo nameravamo uporabiti za klasifikacijo časovnih vrst, pridobljenih iz meritev tlaka v pnevmatskih komponentah. Rezultati metode so prikazani v poglavju 4. V poglavju 5 predstavimo zaključek in povzetek prispevka.

2 Minimalno invaziven nadzorni sistem

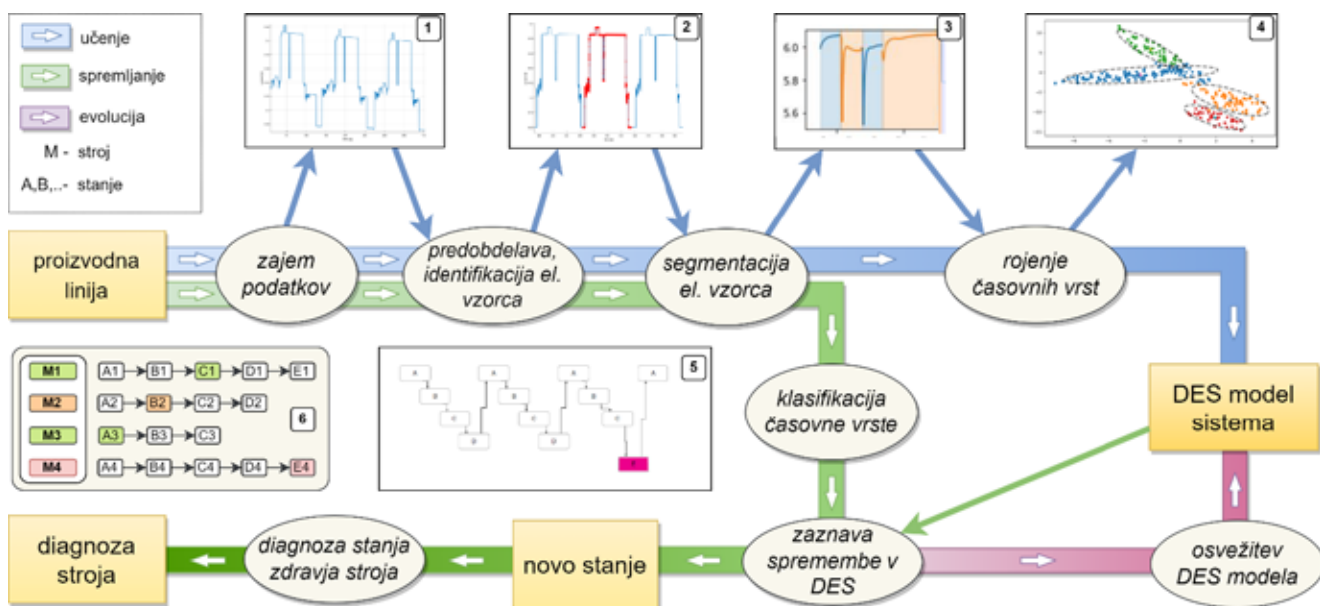
Za zagotavljanje natančnega in učinkovitega nadzora cikličnih naprav v proizvodnji je bil razvit koncept minimalno invazivnega nadzornega sistema. V tem poglavju bomo predstavili osnovne elemente tega sistema ter njegove prednosti pri zagotavljanju visoke kakovosti izdelkov in zmanjševanju stroškov proizvodnje. Shemo predlaganega nadzornega sistema prikazuje *slika 1*. V fazi učenja (modri tok) se učijo modeli za identifikacijo elementarnih vzorcev, segmentacijo, model DES, model za klasifikacijo. Ena od posebnosti zastavljenega modela je zmožnost razvoja –evolucije končnih modelov tudi po začetni fazi učenja. S tem se zastavljeni sistem lahko prilagaja spremembam v opazovanem procesu ter te spremembe uspešno obravnava.

Z namenom čim širše uporabnosti sistema se osredotočamo na uporabo signalov, ki so vseprisotni v industrijskih okoljih (npr. tlaki v pnevmatskih komponentah) in katerih zajem ne vpliva na delovanje opazovanega sistema (npr. podatek o odmiku, lokaciji, hitrosti orodja).

V časovnih vrstah v kosovni industriji se pogosto pojavljajo ponavljajoči se vzorci, ki predstavljajo cikle stroja. Ti vzorci niso strogo periodični, saj lahko že med obdelavo enega kosa ali skupine kosov pride do odstopanj zaradi variabilnosti v človeškem posegu, manjših nastavitvah ali ročnega polaganja kosov. Namen metode za identifikacijo elementarnega vzorca je označiti te ponavljajoče se vzorce v kontinuiranih meritvah ter za vsako pojavitev določiti začetno in končno točko.

Po detekciji elementarnih vzorcev se ti lahko nadalje razdelijo na posamezne segmente, kjer vsak segment predstavlja neko akcijo opazovanega sistema oziroma stroja. Metodologija razdelitve na segmente (segmentacija) je težavno opravilo, ki nima splošne rešitve, saj je odvisna od narave procesa in predpostavk o pomenu segmentov.

Po segmentaciji je potreben korak klasifikacije vsakega od zaznanih segmentov. Metoda za klasifikacijo razvršča časovne vrste v enega od možnih razredov. Tako lahko namesto zaporedja segmentov naprej obdelujemo zaporedje razredov. Vsak razred lahko interpretiramo kot stanje ali dogodek (prehod med stanji procesa), odvisno od narave opazovanega sistema.



Slika 1: Shema minimalno invazivnega nadzornega sistema

Po klasifikaciji pridobljenih segmentov imamo na voljo zaporedje dogodkov, ki lahko služi kot osnova za gradnjo modela DES (angl. *Discrete Event System*) v fazi učenja ali za nadzor delovanja opazovanega sistema v fazi spremljanja.

Z analizo zaporedja dogodkov in časov med dogodki lahko nadzorujemo delovanje stroja ter zaznamo in diagnosticiramo odstopanja, ko do njih pride.

3 Metoda rojenja z lastnim odzivom

Metoda rojenja z lastnim odzivom (angl. *Eigenresponse fuzzy clustering, EFC*) [16] je metoda za klasifikacijo časovnih vrst. Spada v kategorijo metod za klasifikacijo, ki za razvrstitev časovne vrste upoštevajo celotno časovno vrsto (ne le podintervale ali statistične lastnosti) ter se osredotočajo na obliko časovne vrste (angl. *Whole-series classification* [14]). Za klasifikacijo v tej kategoriji se najpogosteje uporablja klasifikator najbližjega sosedu (angl. *Nearest Neighbour, 1NN*) z različnimi elastičnimi merami razdalje, npr. metodo časovnega popačenja (DTW – *Dynamic Time Warping* [17]) ali njene izpeljanke [18–20]. Med pomanjkljivostmi takega klasifikatorja so:

1. v pomnilniku hrani celotno učno množico,
2. »naučenega« modela na moremo enostavno predstaviti uporabniku,
3. računska kompleksnost klasifikacije, sploh pri kompleksnih elastičnih merah, narašča z velikostjo učne množice.

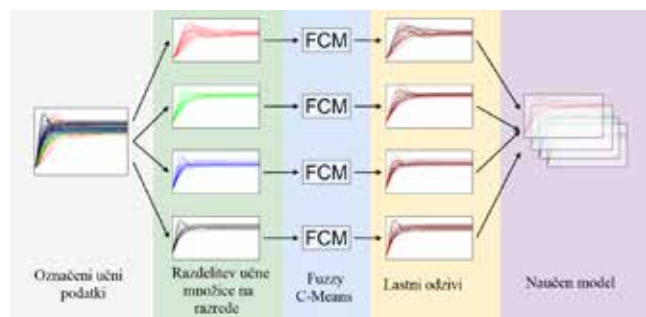
Da bi zaobšli te pomanjkljivosti, predlagamo uporabo metode EFC, predstavljene v nadaljevanju.

Slika 2 prikazuje fazo učenja te metode. V fazi učenja se učna množica $X = \{X_0 \cup X_1 \cup \dots \cup X_i \cup \dots \cup X_n\}$

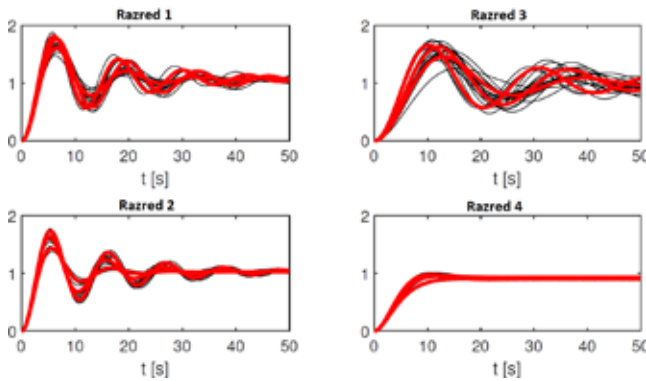
razdeli na posamezne razrede X_i . Za vsak razred podatkov se z metodo mehkega rojenja (fuzzy c-means clustering – FCM [21, 22]) pridobijo ključni vzorci – prototipi, ki opisujejo razpon vzorcev znotraj razreda. Za vsakega od k razredov pridobimo c prototipov. Primer s $k = 4$ in $c = 4$ je prikazan na sliki 3. Nabor naučenih prototipov in njihova razvrstitev med razrede predstavlja naučen model metode rojenja z lastnim odzivom. Prototipe razredov imenujemo lastni odzivi (angl. *eigenresponses*).

Potem ko je model naučen, ga lahko uporabimo za klasifikacijo novih časovnih vrst. V [16] je predlaganih več pristopov h klasifikaciji. Pri klasifikaciji uporabimo naučene lastne odzive. Klasifikacija se lahko izvede s pomočjo izračuna razdalje časovne vrste do prototipov, z rekonstrukcijo ali z izračunom mehke pripadnosti novega vzorca rojem, ki jih definirajo prototipi.

Pri klasifikaciji z rekonstrukcijo se lastni odzivi vsakega razreda uporabijo kot bazne funkcije za rekonstrukcijo iskane časovne vrste. Časovna vrsta se razvrsti v tisti razred, katerega lastni odzivi so pri rekonstrukciji dosegli najmanjši pogrešek (npr. MSE).



Slika 2: Faza učenja metode rojenja z lastnim odzivom



Slika 3 : Časovne vrste štirih razredov (angl. class) za vsak razred so določeni po trije ($c = 3$) prototipi – lastni odzivi.

Za klasifikacijo lahko uporabimo tudi neposredno razdaljo do lastnih odzivov. Ta primer je podoben uporabi 1NN, le da se za vsak razred v učni množici ohranijo le ključne časovne vrste (lastni odzivi razreda).

Pri klasifikaciji z izračunom mehke pripadnosti vzorca rojem, ki jih definirajo lastni odzivi (naučen EFC-model), se uporabi pripadnost μ_{ij} :

$$\mu_{ij} = \left(\sum_{c_l \in C} \left(\frac{d(x_j - v_l)}{d(x_j - v_1)} \right)^{\frac{1}{\eta-1}} \right)^{-1} \quad (1)$$

C je množica rojev, l je indeks roja, i je indeks roja, do katerega izračunavamo pripadnost, j je indeks vzorca, v_l je prototip l -tega roja, η je parameter.

4 Rezultati in diskusija

Da demonstriramo delovanje metode, jo preizkusimo na podatkih iz resničnega sistema. Gre za testno napravo na končni postaji v proizvodnji motorjev e-koles, ki je opremljena z merilcem tlaka v pnevmatskih komponentah. Naprava med testiranjem elektromotorjev proži več aktuatorjev, kar se pozna na tlačnih meritvah. En cikel naprave (test enega motorja) je prikazan na *sliki 4*.

Za evalvacijo smo uporabili 280 časovnih vrst z označenimi 13 različnimi koraki, ki jih je izvedla testna naprava. Predstavljeni klasifikator je pravilno



Slika 4 : Normirane tlačne meritve enega cikla naprave. Z izmenjujočo se barvo ozadja označeni posamezni koraki delovanja naprave.

razvrstil vse časovne vrste, medtem ko je referenčni klasifikator skupine »whole series TSC« napačno razvrstil 7 časovnih vrst (2,5-odstotna napaka).

Poleg izboljšanja klasifikacijske natančnosti pa opisana metoda nudi še nekaj izboljšav:

- ▶ bolj kompaktna predstavitev učne množice – zmanjšana poraba spomina;
- ▶ faza klasifikacije je neodvisna od velikosti izvirne učne množice, računska kompleksnost ne narašča z večanjem količine učnih podatkov;
- ▶ izboljšana možnost vizualizacije modela ter razločljivost rezultatov.

Metodo smo preizkusili tudi na večjem številu javno dostopnih podatkovnih setov. Uporabili smo UCR Archive [23]. Podatkovni seti v arhivu so razdeljeni v kategorije. Pričakovano metoda doseže najboljše rezultate v kategoriji obrisi (*shape outlines*), v kateri se časovne vrste razlikujejo po obliki celotne časovne vrste.

5 Zaključek

Predstavljena je zasnova minimalno invazivnega nadzornega sistema, ki je osredotočen na splošnost ter uporabo obstoječih signalov ali minimalno invazivnih senzorjev, ki ne vplivajo na proces. Zastavljeno zaporedje omogoča razdelitev časovne vrste v segmente, primerne za nadaljnjo obdelavo. Cilj nadzornega sistema je detekcija napačnih zaporedij akcij ter degradacije v časovnih parametrih prehodov stanj sistema. Predstavljeni nadzorni sistem za delovanje potrebuje številne metode strojnega učenja, predvsem metode analize časovnih vrst – segmentacije, klasifikacije ter rojenja – ter metode za analizo diskretnih dogodkov.

Predstavljena je bila metoda za klasifikacijo časovnih vrst – metoda rojenja z lastnim odzivom, ki s pomočjo mehkega rojenja pridobi lastne odzive razredov časovnih vrst. Na tej podlagi lahko v fazi klasifikacije razvrščamo časovne vrste. Primer uporabe metode je razpoznavanje korakov testne naprave na podlagi meritev tlaka v pnevmatskih komponentah.

Viri

- [1] S. Cavalieri in M. G. Salafia. A model for predictive maintenance based on asset administration shell. *Sensors*, zv. 20, št. 21, str. 6028, 2020.
- [2] H. Lasi, P. Fettke in sod. *Industry 4.0. Business & information systems engineering*, zv. 6, št. 4, str. 239–242, 2014.
- [3] A. V. Bogoviz, A. A. Kurilova in sod. Artificial intelligence as the core of production of the future: Machine learning and intellectual decision supports. V *Advances in Mathematics for Industry 4.0*, str. 235–256. Elsevier, 2021.
- [4] P. Burggräf, J. Wagner in sod. Performance assessment methodology for ai-supported decision-making in production management.

- Procedia CIRP, zv. 93, str. 891–896, 2020.
- [5] Ž. Stržinar, B. Pregelj in I. Škrjanc. Overview of some methods in the field of time series analysis. V Proceedings of the 29. International Electrotechnical and Computer Science Conference ERK 2020, Portorož, Slovenia. 2020. Original title: Pregled nekaterih metod na področju analize časovnih vrst.
- [6] T.-c. Fu, F.-l. Chung in sod. Representing financial time series based on data point importance. Engineering Applications of Artificial Intelligence, zv. 21, št. 2, str. 277–300, 2008.
- [7] E. J. d. S. Luz, W. R. Schwartz in sod. Ecg-based heartbeat classification for arrhythmia detection: A survey. Computer methods and programs in biomedicine, zv. 127, str. 144–164, 2016.
- [8] B. Pregelj, A. Debenjak in sod. Diagnostic system for end-of-line quality control of Pedalec electric bike drives. V Proceedings of the 11. AIG conference, Maribor, Slovenia. 2019.
- [9] Ž. Stržinar. Modelling and fault detection in heating, ventilation, and air conditioning systems. Magistrsko delo, University of Ljubljana, Faculty of Electrical Engineering, 2017. Original title: Modeliranje in zaznavanje napak v klimatskih sistemih.
- [10] G. Andonovski, S. Blažič in I. Škrjanc. Partial cloudbased evolving method for fault detection of HVAC system. V 2018 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE), str. 1–6. IEEE, 2018.
- [11] B. Ellert, S. Makonin in F. Popowich. Appliance water disaggregation via non-intrusive load monitoring (nilm). V Smart City 360°, str. 455–467. Springer, 2016.
- [12] V. Guralnik in J. Srivastava. Event detection from time series data. V Proceedings of the fifth ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining, str. 33–42. 1999.
- [13] R. Mercer, S. Ucar in E. Keogh. Shape-based telemetry approach for distracted driving behavior detection. V 2021 IEEE Conference on Standards for Communications and Networking (CSCN), str. 118–123. IEEE, 2021.
- [14] A. Bagnall, J. Lines in sod. The great time series classification bake off: a review and experimental evaluation of recent algorithmic advances. Data Mining and Knowledge Discovery, zv. 31, št. 3, str. 606–660, 2017.
- [15] J. Large, A. Bagnall in sod. On Time Series Classification with Dictionary-Based Classifiers. Intelligent Data Analysis, zv. 23, št. 5, str. 1073–1089, 2019.
- [16] Ž. Stržinar, B. Pregelj in I. Škrjanc. Soft sensor for non-invasive detection of process events based on eigenresponse fuzzy clustering. Applied Soft Computing, zv. 132, str. 109859, 2023.
- [17] M. Müller. Dynamic time warping. Information retrieval for music and motion, str. 69–84, 2007.
- [18] Y.-S. Jeong, M. K. Jeong in O. A. Omitaomu. Weighted dynamic time warping for time series classification. Pattern recognition, zv. 44, št. 9, str. 2231–2240, 2011.
- [19] T. Górecki in M. Łuczak. Using derivatives in time series classification. Data Mining and Knowledge Discovery, zv. 26, št. 2, str. 310–331, 2013.
- [20] T. Górecki in M. Łuczak. Non-isometric transforms in time series classification using dtw. Knowledge-Based Systems, zv. 61, str. 98–108, 2014.
- [21] J. C. Dunn. A fuzzy relative of the isodata process and its use in detecting compact well-separated clusters. 1973.
- [22] J. C. Bezdek, R. Ehrlich in W. Full. Fcm: The fuzzy c-means clustering algorithm. Computers & Geosciences, zv. 10, št. 2–3, str. 191–203, 1984.
- [23] H. A. Dau, E. Keogh in sod. The ucr time series classification archive, 2018. https://www.cs.ucr.edu/~eamonn/time_series_data_2018/.

Zahvala

Delo je bilo izvedeno v okviru raziskovalnega programa Sistemi in vodenje, P2-0001 in projekta L2-4454.

Using Eigenresponse Fuzzy Clustering in a minimal-invasive supervisory system

Abstract:

Effective supervision of production processes is critical to ensuring product quality, maximizing production asset utilization, and improving overall performance metrics. However, the cost of implementing control systems can be prohibitively high, with such systems typically only being available on mass-produced machines. As a result, control systems are often unavailable on unique machines, which represent the majority of production assets. In order to promote wider use of control systems, our research focuses on utilizing minimally invasive or existing measuring equipment to enable control system implementation on unique machines. Specifically, we concentrate on repeatable industrial processes, with a particular emphasis on batch production. We propose a sequence of tasks that enable real-time detection of anomalies during operation. In this paper, we present a method for time series classification called Eigenresponse Fuzzy Clustering, which uses a condensed representation of each class with a limited number of prototypes known as Eigenresponses. We demonstrate the effectiveness of this method in detecting the actuation of various pneumatic actuators.

Keywords:

Time series analysis, Time series classification, Fuzzy systems; Event detection;

Aluminijasti profili

za raznoliko uporabo in stabilnost



Aluminijasti profili so zelo priljubljena izbira, ko govorimo o izdelavi stabilnih in vsestranskih strojnih in konstrukcijskih elementov. Ti visokokakovostni profili imajo številne prednosti, za uporabo v različnih aplikacijah. Dodatki, kot so priključki, kotniki, utorni kamni in pokrovi, omogočajo prilagoditev in prilagajanje aluminijastih profilov v skoraj vseh panogah in za široko paleto uporab.

Namenjeni so predvsem uporabi tam:

- Kompatibilni z najpogostejšimi tipi profilov,
- na voljo v standardnih dolžinah, v kombinaciji z najustreznejšo in univerzalno dodatno opremo,
- celovit modularni sistem, brez kompromisov.

Za več informacij
preprosto skenirajte



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

elesa-ganter.si   



**DESIGNED
FOR ENGINEERING**

KOLIČINA IN INTERVAL MAZANJA LEŽAJEV Z MASTJO

Milan Kambič

Pri mazanju ležajev z mastjo se pogosto vprašamo, kolikšna količina masti je potrebna za določen ležaj. Pogosto naredimo napako, ko celoten prazen prostor v ležaju napolnimo z mastjo. Naslednje vprašanje, ki se nam postavlja, pa je, na koliko časa je potrebno ponovno mazanje. Tokrat bomo odgovorili na ti dve vprašanji.

Določitev količine masti za prvo polnjenje in za ponovno mazanje ležaja

Pogosto pri prvem mazanju ležajev celoten prazen prostor v ležaju napolnimo z mastjo, kar pa v večini primerov ni pravilno. Zaradi gnetenja masti pride do segrevanja in naraščanja temperature v ležaju. Zato se prazen prostor v ležaju praviloma ne napolni v celoti. V primerih, ko ležaji delujejo pri zelo nizkih hitrostih in je potrebna dobra zaščita pred kontaminanti in korozijo, pa SKF priporoča, da se z mastjo napolni 70 % do 100 % praznega prostora [1]. Pri kotalnih ležajih s kovinsko kletko izračunamo volumen praznega prostora po enačbi (1):

$$V = \frac{\pi}{4} B (D^2 - d^2) \cdot 10^{-3} - \frac{M}{7,8 \cdot 10^{-3}} \quad (1)$$

kjer je:

V [cm] – prazen prostor v ležaju,

B [mm] – širina ležaja,

D [mm] – zunanji premer,

d [mm] – notranji premer,

M [kg] – masa ležaja.

Glede na predviden način ponovnega mazanja na primer SKF priporoča naslednji dve možnosti:

a) ponovno mazanje ležaja od strani (slika 1 levo)

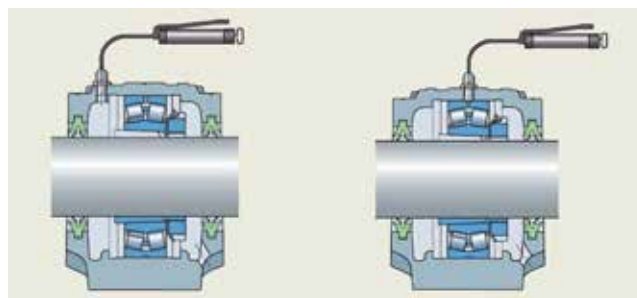
- ▶ prvo polnjenje: 40 % praznega prostora v ležaju,
- ▶ ponovno mazanje: $G_p = 0,005 D \cdot B$,

b) ponovno mazanje ležaja na sredini notranjega ali zunanje obročja (slika 1 desno)

- ▶ prvo polnjenje: 20 % praznega prostora v ležaju,
- ▶ ponovno mazanje: $G_p = 0,002 D \cdot B$,

kjer je:

G_p [g] – količina masti ob ponovnem mazanju,



Slika 1 : Ponovno mazanje ležaja: levo – od strani, desno – na sredini [1]

D [mm] – zunanji premer ležaja,

B [mm] – celotna širina ležaja.

Uporabna doba masti

Stanje masti v ležaju se postopno slabša in ima zato omejeno uporabno dobo. Uporabna doba masti je odvisna od pogojev delovanja ležaja in vrste masti. Zato moramo kotalne ležaje ponovno namazati, če:

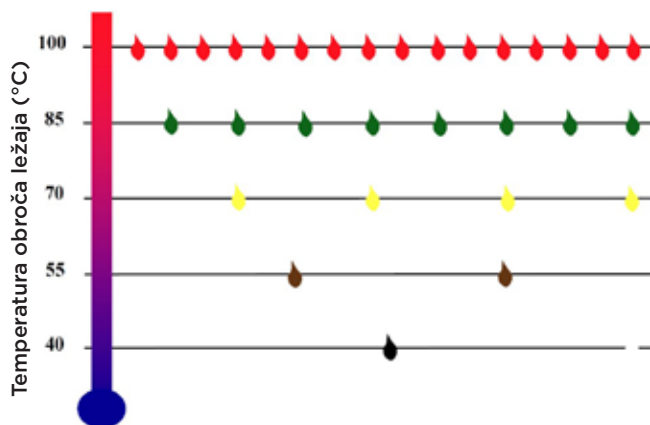
- ▶ je uporabna doba masti krajša kot pričakovana uporabna doba ležaja,
- ▶ pride do onesnaženja masti.

Uporabna doba masti je v splošnem odvisna od vrste in velikosti ležaja, hitrosti, obremenitve, delovne temperature in vrste masti.

Interval ponovnega mazanja ležaja z mastjo

Pomembno je, da določimo interval ponovnega mazanja in v primeru, ko je ta nesprejemljivo kratek (in ne uporabljamo centralnega mazalnega sistema mazanja z mastjo), uporabimo olje. Ponovno mazanje mora biti dovolj pogosto, da se izognemo tolikšnemu poslabšanju stanja masti, ki bi škodljivo vplivalo na uporabno dobo ležaja. Interval ponovnega mazanja lahko za določen ležaj in pogoje obratovanja določimo s pomočjo dia-

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



Slika 2 : Interval ponovnega mazanja v odvisnosti od temperature obroča ležaja [1]

gramov in tabel v strokovni literaturi, na primer v [1].

Temperatura ima na interval ponovnega mazanja zelo velik vpliv, kar prikazuje *slika 2*. Vidimo, da se z vsakih 15 °C višjo temperaturo na obroč ležaja interval ponovnega mazanja prepolovi. Praviloma imajo standardne masti zgornjo temperaturno mejo pri 100 °C (obroč z najvišjo temperaturo). Pri višjih temperaturah je treba uporabiti posebne masti ali avtomatske centralne sisteme mazanja z mastjo, sicer je uporabna doba masti običajno prekratka.

Zaključek

Pri mazanju ležajev z mastjo je poleg izbire ustrezne vrste masti pomembna tudi količina masti za prvo mazanje in količina masti za ponovno mazanje, če je to potrebno.

Viri

[1] SKF. Rolling Bearings. Dostopno na WWW: https://www.skf.com/binary/21-121486/Rolling-bearings---17000_1-EN.pdf [2. 7. 2019].

Ali ste vedeli?

- ▶ Pri prvem mazanju ležajev z mastjo praznega prostora v ležaju običajno ne napolnimo do konca.
- ▶ Kjer ležaji delujejo pri zelo nizkih hitrostih in je potrebna dobra zaščita pred kontaminanti in korozijo, prazen prostor napolnimo tudi do 100 %.
- ▶ Uporabna doba masti je v splošnem odvisna od vrste in velikosti ležaja, hitrosti, obremenitve, delovne temperature in vrste masti.
- ▶ Pri naraščanju temperature se za vsakih 15 °C interval ponovnega mazanja prepolovi.

Industrijska olja in maziva



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



OLMA
www.olma.si

VARNO VPETI TOVORI

Za dvigovanje tovorov potrebujete žerjav, pletenice ali verige – in nenazadnje pritrdišča na samem tovoru. Te so pri družbi Elesa+Ganter na voljo v številnih različicah.



Klasična in hkrati najpreprostejša pritrdišča so očesni vijaki po standardu DIN 580, ki se uvijejo v navoje na tovoru. Če navoji niso na voljo, se podobno uporabljajo očesne matice po standardu DIN 582. Družba Elesa+Ganter ima izdelke po teh standardih na voljo v treh materialih: jeklo, legirano jeklo A2 in A4.

Vendar pregled ponudbe podjetja Elesa+Ganter pokaže veliko boljše in bolj nosilna pritrdišča, ki so optimizirana z vidika materialov in so predvsem primernejša za rokovanje. Pri tem je treba posebej poudariti integrirane oznake RFID. Z njimi je mogoče med pregledi obrabe in varnostnimi pregledi jasno prepoznati ustrezno pritrdišče ter ga upravljati digitalno in brez motenj v sistemu.

Takšna oznaka RFID je na primer vdelana v obročni vijak GN 581 ali očesno matico GN 583, ki ostajata vrtljiva okoli svoje navpične osi tudi po privitju. Obe možnosti sta značilni tudi za nosilni obroč GN 586.1, pri čemer je mogoče nosilno ušesce tudi preklopiti. Zaradi ušesca s krogličnimi ležaji je dvizni vrtljivi nosilec GN 5860 popolnoma vrtljiv tudi pod obremenitvijo.

Nosilni obroč GN 587.1 ni privijačen, temveč privarjen. Nosilni obroč je primeren tudi za uporabo na prostem, saj zasnova varilnega bloka omogoča zaprt in posledično proti koroziji odporen zvar. Nosilec se lahko zavrti za 180 stopinj, opsijsko vgrajena vzmet pa ga zadrži v vsakem položaju.

Varjeno pritrdišče GN 589 je mogoče obremeniti z vseh smeri, zanj pa je značilna minimalna vgradna višina. To je zelo pomembna lastnost, na primer kadar je največja višina kavlja dvigala omejena.

Nosilni vijak je praktična alternativa navojnim ali varjenim rešitvam, na primer za priprave ali orodja, ki pogosto in hitro spreminjajo položaj. GN 1130 deluje po načelu kroglastega sornika z aksialno zaporo in ga je mogoče sprostiti s pritiskom na gumb.

Z novim navojnim nosilnim vijakom GN 1133 pa odpade zamudno privijanje in odvijanje v obstoječe navoje na strani tovora. Pri tem se ne zaklepajo krogle, temveč navojni segmenti, ki se s pritiskom na gumb izvlečejo ali uvlečejo. Za povezavo s pritrdilnim pripomočkom poskrbi vgrajena skoba, ki jo je mogoče zasukati za 180 stopinj.

Ko smo že pri skobah: Tudi njih najdete v ponudbi družbe Elesa+Ganter. Skobe GN 585 temeljijo na ameriškem standardu RR-C-271 in imajo v primerjavi z različico DIN bistveno večjo obremenljivost.

Podjetje Elesa+Ganter je vedno pozorna na podrobnosti tudi pri pritrdiščih, saj ta ne olajšajo le uporabe, temveč tudi povečajo učinkovitost obratovanja.

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

SESALNE GUME MX PROIZVAJALCA PIAB

SEDAJ TUDI V VELIKOSTI 25 MM IN Z DODATNI-MI FUNKCIJAMI

Rešitve za skrajšanje časa izpadov strojev za menjavo orodij med različnimi aplikacijami kot tudi energetska učinkovitost so zdaj še pomembnejše v avtomatiziranih procesih. Sesalne gume MX proizvajalca PIAB se lahko uporabljajo v različnih aplikacijah brez sprememb sistema in s svojimi odličnimi prijemalnimi zmogljivostmi optimizirajo porabo energije.



Sesalne gume MX

Majhna velikost, prilagodljiva uporaba

S premerom le 25 mm so nove sesalne gume MX25 najmanjše v uspešni družini MX. Tako kot pri ostalih velikostih sesalne gume enostavno pobirajo predmete iz najrazličnejših materialov in različnih geometrij. Zaradi manjše velikosti so idealne za natančno prijemanje majhnih predmetov, na primer v e-trgovini in logističnih aplikacijah ter pri sortiranju in recikliranju odpadkov.

Pri rokovanju z večjimi predmeti je mogoče na orodje namestiti več sesalnih gum MX25 in tako povečati dvizžno površino ter razporediti obremenitev za varnejši in zanesljivejši oprijem, zlasti pri aplikacijah, kjer je hitrost bistvena.

Novi dodatki za večjo učinkovitost

Sesalne gume MX so bile že od samega začetka mišljene kot večnamenske. Preprosto primejo skoraj vse ne glede na material in geometrijo. Ta prilagodljivost je zdaj vrhunska, zahvaljujoč možnosti dodajanja dodatnega meha (do tri mehe) iz asortimana piGRIP®. Dodatni meh poveča višino sesalne gume in omogoča pobiranje predmetov različnih višin in dimenzij. Ta prilagodljivost je natanko tisto, kar je potrebno za izpolnjevanje vedno bolj individualnih zahtev v logistični industriji.

Velikosti priseskov MX35-65 je zdaj mogoče konfigurirati tudi s spodaj nameščenimi filtrirnimi diski. Povečana površina filtra lahko dodatno podpira/pomaga zmanjšati čas vzdrževanja, zlasti v prašnem okolju.

Edinstvene lastnosti sesalnih gum MX:

- ▶ bolj trajnostno in energetsko učinkovito delovanje zaradi nizkega vakuumskega pretoka potrebnega za delovanje;
- ▶ izjemne zmožnosti tesnjenja omogočajo rokovanje z različnimi oblikami prenašalcev;
- ▶ nizka stopnja gubljenja embalaže zaradi nizke stopnje vakuumu;
- ▶ varen in stabilen oprijem za uporabo pri visokih hitrostih tudi pri nizkih stopnjah vakuumu;
- ▶ podaljšana življenjska doba, zahvaljujoč elastičnemu in obrabno odpornemu materialu DURAFLEX®.

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



PIAB: NOVI PRISESEK BXP 45 MM SEDAJ DOPOLNJUJETA ŠE RAZLIČICI 65 IN 90 MM

Nedavno predstavljen 45 mm prisesek iz družine sesalnih gum BXP zdaj dopolnjujeta še različici s premerom 65 in 90 mm. Tako kot prejšnja novost in njegovi standardni produkti bodo tudi novi priseski popolnoma nastavljivi.



Pred časom je bil predstavljen 45 mm prisesek, ki dopolnjuje naše dobro priznane priseske BXP. Serija, razvita posebej za pobiranje in dvigovanje predmetov z neravnimi ali poroznimi površinami, kot je karton.

PIAB je naredil naslednji korak z dokončanjem razpona rešitev od 10 do 110 mm z različicama 65 in 90 mm. Tako kot njegovi standardni produkti so tudi novi priseski izdelani iz DURAFLEX® materiala in jih je mogoče popolnoma konfigurirati.

Opis izdelka

Prisesek BXP je bil razvit za pobiranje predmetov s posebej poroznimi površinami. Izdelan je iz posebej razvitega materiala DURAFLEX®, ki združuje elastičnost gume in odpornost proti obrabi polietilena ter ne pušča sledi. Velikosti segajo od 10-110 mm premera.

Koristi za stranke

- ▶ Na voljo z vsemi standardnimi priključki iz industrije.
- ▶ Primerno za omejeno nastavitev višine z dobro stabilnostjo
- ▶ Odličen oprijem na valovitih in poroznih predmetih ali tesnih predmetih, kot so karton, teksturirana plastika in kompozitni material (surova

površina).

- ▶ Dvobarvni priseski vsebujejo meh in tesnilne ustnice različnih trdot, ki omogočajo trdnost in stabilnost z ohranjeno mehkobo in prožnostjo pri pospeševanju in hitrem rokovanju.
- ▶ Material DURAFLEX® ne pušča sledi.

Ciljne aplikacije

- ▶ Logistika
- ▶ Embalaža
- ▶ Hrana in pijača
- ▶ Avtomatizacija
- ▶ Plastika

Vir:

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

REVILJA ZA FLUIDNO TEHNIKO, AVTOMATIZACIJO IN MEHATRONIKO

VENTIL

NOVA VELIKA IN ZELO MOČNA ENERGETSKA VERIGA KABELSCHLEPP TKHD85

Velika in močna veriga postaja lahkokategornik: naša posebej robustna energetska veriga je zdaj na voljo tudi v kompaktni različici.



KHD85: dokazano vzdržljiva:

- ▶ konstrukcija brez vzdrževanja,
- ▶ trdne aluminijaste profilne palice za velike obremenitve,
- ▶ zamenljivi drsni členi za podaljšano življenjsko dobo pri drsenju.

Dolge razdalje so posebnost serije TKHD. Ne glede na to, ali gre za žerjave ladja-obala (STS), sisteme za ravnanje z razsutim materialom ali druge aplikacije – naših priljubljenih težkih verig ni mogoče spregledati na dolgih razdaljah. Na zahtevo kupcev dajemo zdaj na trg manjšo velikost TKHD85. Je idealna izbira, če je v območjih z velikimi obremenitvami na voljo nekoliko kompaktnější kabelski paket. V zameno imajo uporabniki koristi od razlike v teži, ki je ne gre podcenjevati, zlasti na dolgih razda-

ljah. Maratonci med nami to vedo: z nekaj kilogrami manj prideš hitreje na cilj!

Seveda vse prednosti serije TKHD ostajajo enake kot pri njeni »mlajši sestri«. Z robustno zasnovo in zunanjo obliko, odporno na umazanijo, se ta trpežna energetska veriga zanesljivo premika po neravnem terenu. Hkrati je zaradi integriranega dušenja hrupa zelo tiha. Korak 85 mm in poligonsko optimizirana zunanja kontura vplivata na mirno gibanje energetske verige.

Prednosti serije TKHD:

- ▶ zasnovana za dolge razdalje in visoke obremenitve,
- ▶ zmanjšana velikost (notranja višina 58 mm) za prostorsko omejene aplikacije in zmanjšana skupna teža,
- ▶ dolga življenjska doba na ekstremnih področjih uporabe,
- ▶ aluminijaste palice v korakih širine 1 mm,
- ▶ enostavno odpiranje zgoraj in spodaj,
- ▶ lahko se uporablja drsno in samonosno,
- ▶ zunanja kontura, ki odbija umazanijo,
- ▶ brez vzdrževanja.

Vir:

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



item

Vitka proizvodnja.

item. Your ideas are worth it.®

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

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

APx-85 – MOČNE PROCESNE ČRPALKE

Nova kompaktna serija črpalk, ki ponuja vrhunsko zmogljivost

Zaradi vse večje raznolikosti aplikacij in naraščajočih zahtev je razvoj novih črpalk temeljnega pomena. Zato je podjetje URACA dopolnilo svoj asortima za zmogljivost 700 kW in 1200 kW z novima kompaktnima črpalkama. Dva nova tipa črpalk P3-85 in P5-85 predstavljata novo serijo črpalk v zgornjih zmogljivostnih razredih. To razširja portfelj izdelkov za dve izjemno kompaktni batni črpalki. Glavni značilnosti sta krajša zasnova in integriran menjalnik.



Batna črpalka P5-85

Pri hodu bata 100 mm in potisni sili ojnice 280 kN je možno ohraniti povprečno hitrost bata na relativno nizkem številu hodov. Serija Px-85 omogoča povečanje zmogljivosti v primerjavi s črpalkami, ki imajo dolg hod v enakovrednih razredih. S tem se prilagodi omejitev povprečne hitrosti bata, potrebno je manjše vzdrževanje in ustreza podanim zahtevam po API 674. Kratka zasnova, odprava zunanjega menjalnika in visoka gostota moči močno razširijo možnosti aplikacij za uporabnika. To pomeni, da z eno črpalko lahko nadomestimo več črpalk. V določenih primerih ta nova serija odpira nova področja uporabe, ki so bila do sedaj rezervirana le za črpalke z dolgim hodom in zelo počasnim delovanjem. Pri izvedbi s krat-

Tehnični podatki:

- ▶ največja pogonska moč: 750–1.200 kW
- ▶ hod: 100 mm
- ▶ obremenitev na ojnici: 280 kN
- ▶ pretok: 2.100–3.500 l/min
- ▶ menjalniški prenos: s prenosom ali brez

kim ohišjem prihranite prostor, znižajo se obratovalni stroški in možnosti napak delovanja. Delovni pogoji v nevarnih/agresivnih območjih in posebej visoke oz. nizke temperature predstavljajo ogromne izzive za črpalne enote in njihove proizvajalce. Skladnost z lokalnimi predpisi, standardi in certifikati kakovosti zaokrožajo profil zahtev za dobavitelje črpalk.

Dolgoletne izkušnje, izjemno strokovno znanje in podrobnosti oblikovanja zaznamujejo robustne in trpežne črpalke, po katerih je znano podjetje URACA. Za več informacij o črpalkah URACA, tudi za najbolj zahtevne stranke, smo vam na voljo v podjetju HENNLICH. Obrnite se na nas in z veseljem vam bomo svetovali.

Mojca Gros, gros@hennlich.si
HENNLICH, d. o. o., Kranj



CEVNA SPOJKA STRAUB

PRAVI SPOJ ZA CEVI

- » Premier cevi: od 25 mm do 4064 mm
- » Temperatura: od -30° C do 180° C
- » Tlak: do 67 bar
- » Material ohišja: inox, cinkana pločevina
- » Material tesnila: epdm, nbr, fpm/kfm
- » Brez dodatnega vzdrževanja

www.hennlich.si



HENNLICH d.o.o., Ul. Mirka Vadnova 13, 4000 Kranj / Pokličite nas: 041 386 033

© Ventil 30(2024)2. Tiskano v Sloveniji. Vse pravice pridržane.
© Ventil 30(2024)2. 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** 2

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

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

Znanstveno-strokovni svet:

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

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

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

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

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

RENTGEN NA PRODUKCIJSKI LINIJI?

KAJ JE POTREBNO VEDETI ZA TEHTNEJŠO ODLOČITEV

Blaž Japelj

V Inei smo lansko jesen uspešno zaključili projekt preverjanja ustreznosti produktov s pomočjo rentgena – InspectX, ki ga je sofinancirala agencija Spirit. V času razvijanja sistema smo naleteli na nekaj nepredvidenih vprašanj, na katera je vsekakor priporočljivo odgovoriti še pred začetkom razvoja ali uporabe rentgenske tehnike. S tem namenom so spodaj opisane vse osnovne informacije, ki jih je nujno potrebno vedeti pred odločitvijo, ali bi svoje izdelke kontrolirali (tudi) z rentgensko tehnologijo. Čeprav rentgen nudi brezporušitven »vpogled« v notranjost predmeta, ima določene omejitve, vrsta zahtev in pogojev pa sledi tudi iz naslova varnosti pri delu – tako za naročnika kot tudi proizvajalca rentgenskih sistemov za preverjanje ustreznosti produktov.

V Inei smo lansko jesen uspešno zaključili projekt preverjanja ustreznosti produktov s pomočjo rentgena – InspectX, ki ga je sofinancirala agencija Spirit. V času razvijanja sistema smo naleteli na nekaj nepredvidenih vprašanj, na katera je vsekakor priporočljivo odgovoriti še pred začetkom razvoja ali uporabe rentgenske tehnike. S tem namenom so spodaj opisane vse osnovne informacije, ki jih je nujno potrebno vedeti pred odločitvijo, ali bi svoje izdelke kontrolirali (tudi) z rentgensko tehnologijo. Čeprav rentgen nudi brezporušitven »vpogled« v notranjost predmeta, ima določene omejitve, vrsta zahtev in pogojev pa sledi tudi iz naslova varnosti pri delu – tako za naročnika kot tudi proizvajalca rentgenskih sistemov za preverjanje ustreznosti produktov.

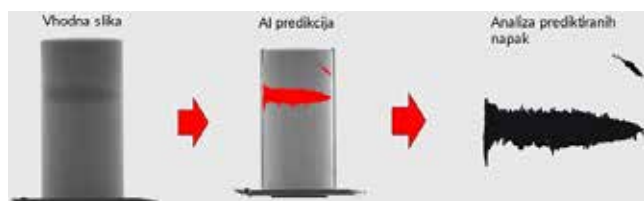
Fizikalno ozadje

Svetloba je eden od fizikalnih pojavov in zelo zanimiva za veliko vrst brezkontaktnega raziskovanja in preverjanja predmetov. V industriji se uporablja praktično ves znan spekter: od infrardečega spek-

tra pri brezdotičnem merjenju visokih temperatur (pirometer), vidnega spektra, kjer se s kamerami in lasersko tehnologijo opazujeta predvsem geometrija in prisotnost delov sestava, do rentgenskega spektra in gama žarkov, ki jih uporabljamo za vpogled v notranjost predmetov. Višji spekter pomeni tudi višje energije fotonov, ki so nad določeno mejo (nekaj elektronvoltov) sposobni »izbijati« elektrone iz snovi, zato ta del spektra uvrščamo med ionizirajoče sevanje.

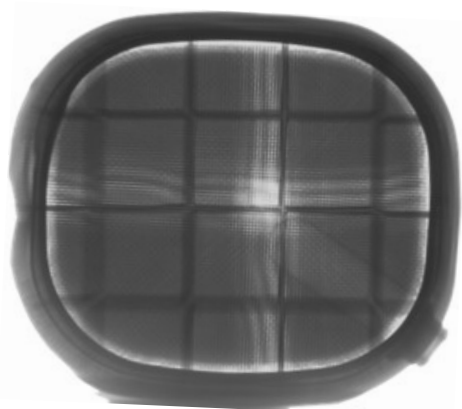
Varnost

Čeprav žarki višjih energij omogočajo vpogled v notranjost predmeta, ne da bi bilo potrebno predmet poškodovati, glede na čas, jakost in energijo pustijo trajne posledice na živih organizmih, zato je ionizirajoče sevanje podvrženo strogim varnostnim ukrepom. Če se odločite postati proizvajalec rentgenske opreme ali rešitev, ki uporabljajo rentgensko opremo, je potrebno za vsak sistem in/ali prostor, kjer je vir sevanja, pridobiti dovoljenje za izvajanje sevalne dejavnosti in dovoljenje za uporabo vira sevanja. Če boste razvit sistem implementirali izven svojih prostorov, je pred zagonom sistema potrebno ponovno pridobiti dovoljenje po pogojih, ki veljajo v državi, kjer bo sistem implementiran. V Sloveniji izdaja dovoljenja na področju sevalne dejavnosti v zdravstvu in veterinarstvu Uprava za varstvo pred sevanji, dovoljenja za vse ostale dejavnosti (industrija, raziskave, izobraževanje) pa Uprava za jedrsko varnost. Osnova za izdajo dovoljenja pri Upravi za jedrsko varnost je elaborat ocene varstva pred sevanji (OVS), ki ga pri nas lahko izvede Institut Jožef Stefan (IJS) ali pa Zavod za varstvo pri delu (ZVD). Če boste radiologiji namenili fizični prostor, je potrebno najprej poskrbeti, da so povsod izven prostora/sobe

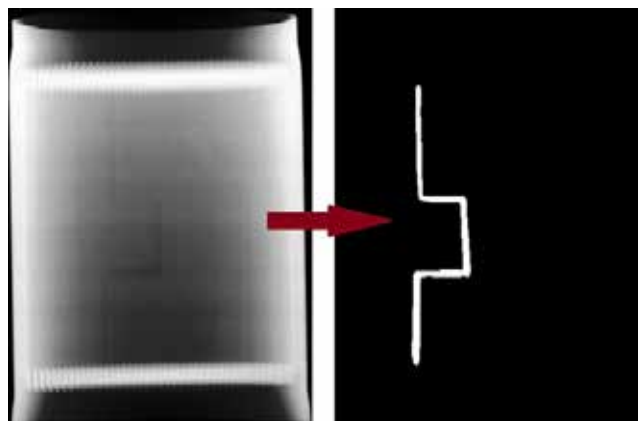


Slika 1 : Princip prepoznavne napak

Blaž Japelj, INEA d. o. o., Ljubljana



Slika 2 : Primer rentgenske slike DPF filtra »od zgoraj«



Slika 3 : Primer AI predikcije za lokacijo in velikost reže v notranjem zaščitnem ovoju produkta

hitrosti doze sevanja nižje od 20 mSv (dodatno izolirane stene, strop, tla v primeru nadstropja, posebna pazljivost pri uhajanju mimo instalacij), pod obvezno pa se štejejo še »survey meter«, dozimetri, možnost zaklepa sobe in odgovorna oseba za prostor, ki je opravila uradno usposabljanje iz varstva pred sevanji. Če boste le izdelovali oz. sestavljali sevalne naprave oz. bodo le del vaše večje naprave, je potrebno pridobiti enaka dovoljenja, le v tem primeru bodo vezana na napravo, ne na prostor. Pri tem ste obvezani zagotavljati omejene vrednosti hitrosti doze izven naprave. Tu velja posebej poudariti, da se v primeru pridobitve dovoljenja, vezanega na prostor, lahko v njem uporablja le rentgenski izvor, ki je identičen ali se je uporabljal ob izvedbi OVS. V primeru močnejšega ali tudi šibkejšega izvora bo potrebno ponovno pridobiti dovoljenje!

Uporaba

V industriji se rentgen praviloma uporablja na izdelkih, kjer se opazujejo deformacije, razpoke ali ustreznost sestave dela z višjo gostoto pri sestavih različnih materialov. Pri uporabi rentgena se z nastavitvijo napetosti na anodi določi energija večine fotonov, z nastavljanjem toka skozi anodo pa intenziteta rentgenskih žarkov. Za preboj gostejših materialov, kot so kovine, tako potrebujemo praviloma višjo energijo in intenziteto fotonov, za preboj redkejših (plastika, pena, papir itd.) pa seveda nižjo. Ko za določen tip testirancev uspemo pripraviti ustrezno opremo, nas čaka še programski del, kjer bo potekala tudi analiza zajetih slik. Trenutno je najobetavnejši pristop z uporabo AI filtriranja regij na sliki (segmentacija). Ker bi radi na sliki, na kateri je že s prostim očesom včasih težko razbrati značilnosti, opazovali ali celo merili velikost ali obliko, igra za točno določen namen naučen model vlogo vmesnega filtra, ki iz vhodne neobdelane slike »sfiltrira« interesne regije, ki jih

v nadaljevanju ovrednotimo s klasičnimi matematičnimi orodji. Tipično se s pomočjo rentgena opazujejo razne razpoke v materialu, zalitost/nezalitost notranjih izvrtin, pri kovinskih kosih pa je zelo aktualna tudi analiza ustreznosti različnih zvarov. Čeprav je teoretično možno s pomočjo rentgena opazovati kar pester nabor zahtev glede ustreznosti, pa je zelo priporočljivo pred kakršno koli zavezujočo ponudbo seveda izvesti preizkus z aktualnim testirancem na predvideni opremi. Velik faktor pri kakovosti slik in analize predstavlja tudi rentgenski detektor – panel. V spektrometrih XRF se uporabljajo trije različni tipi detektorjev rentgenskih žarkov: detektorji, napolnjeni s plinom, scintilacijski in polprevodniški detektorji. Trenutno so najpopularnejši scintilacijski detektorji, saj so v povprečju šestkrat cenejši od polprevodniških ter občutljivejši na nižje energije žarkov, so tudi hitrejši. Polprevodniški detektorji pa imajo lahko boljše prostorsko ločljivost in so primerni za visoko natančne analize.

Povzetek

Pred odločitvijo o uporabi rentgena si je torej potrebno odgovoriti na naslednja vprašanja:

1. Ali je zahtevano sploh možno opazovati s predvideno opremo (nujen test)?
2. Ali smo seznanjeni s celotno zakonodajo glede pridobivanja dovoljenj za uporabo (tako v državi izdelave kot v državi uporabe)?
3. Ali je rešitev z rentgenom stroškovno upravičena? Smo seznanjeni tudi z dodatnimi stroški (dozimetri, odgovorna oseba za delo z ionizirajočim sevanjem, aktivno spremljanje izpostavljenosti, ...)?

SPOMLADANSKO VZDRŽEVANJE HLADILNIKA

Spet je tu pomlad in to je odličen opomnik, da preverite delovanje svojega industrijskega hladilnika vode. Morda v mrzlih zimskih mesecih ni delal tako intenzivno, vendar se bo s približevanjem poletja situacija spremenila. Dobro delujoče hlajenje je ključnega pomena za vaš proces in ne bi bilo dobro, če bi prišlo do nepredvidene prekinitve delovanja. Priporočamo vam, da uporabite te nasvete, ki vam bodo pomagali ohraniti zanesljivo delovanje hladilnega agregata.

1. Izvedba celovitega pregleda

Preden po kakršni koli zaustavitvi vklopite hladilno napravo, opravite temeljit vizualni pregled:

1. Ali so kakšne povezave ohlapne?
2. Ali je na nadzorni plošči ali ohišju hladilnika očitna težava?
3. Ali je prišlo do kopičenja tujkov na kondenzatorju?

Prepričajte se, da ste pregledali vse možne elemente. Če lahko kaj opazite pred zagonom, se boste morda izognili obsežnejšemu popravilu v prihodnosti.

2. Preizkus vseh krmilnikov opreme

Vedno se morate prepričati, da so odčitki senzorjev v napravi pravilni. Ti odčitki vam pomagajo razumeti delovanje hladilnika. Če so odčitki napačni, je lahko ogrožen celoten proces. Spomladansko vzdrževanje je odličen čas za umerjanje senzorjev in krmilnikov. Preverite električne povezave po vsej krmilni omarici in zategnite ali popravite vse, ki so zrahljane. Prepričajte se, da so vse preobremenitve motorjev nastavljene v skladu z nazivno tablico vsakega motorja in/ali v skladu s shemo ožičenja enote.

3. Čiščenje kondenzatorja

Zgodnji znak, da je treba očistiti tuljave kondenzatorja, so ponavljajoči se ali občasni alarmi za visok tlak hladilnega sredstva. Kopičenje prahu in nečistoč preprečuje učinkovit prenos toplote na kondenzatorju, zaradi česar je tlak hladilnega sredstva višji od običajnega. Morda boste opazili tudi povečano porabo energije, saj umazan kondenzator poveča potrebo po moči ventilatorja, povišan tlak hladilnega sredstva pa po nepotrebnem obremeni tudi kompresor(je) hladilnega sredstva in povečuje porabo energije. Če je kondenzator hladilnika umazan, ne more delovati tako zanesljivo ali učinkovito, kot je potrebno. S preventivnim in



Slika 1 : Kondenzator pred čiščenjem in po njem

doslednim čiščenjem enote lahko poskrbite, da bo vaš hladilni agregat deloval kot nov.

Tako kot zračno hlajeni kondenzatorji morajo biti tudi enote z vodnim hlajenjem čiste, da se zagotovi visoka učinkovitost in pravilen pretok hladilnega medija. Površine za prenos toplote (običajno plošče ali cevi) imajo vijugaste prehode in se lahko obložijo z blatom, muljem in vodnim kamnom, kar preprečuje učinkovit prenos toplote. Kakovost vode je v veliki meri odvisna od hitrosti tega kopičenja.

4. Čiščenje vodnih filtrov

Ne pozabite očistiti vodnih filtrov in jih po potrebi zamenjati. Vedno poskrbite, da usposobljen strokovnjak preveri tudi kemijsko sestavo vode, da se prepriča, da ustreza standardom. Če hladilno vodo uravnava regulacijski ventil, preverite, ali ta deluje pravilno.

5. Ustvarite urnik vzdrževanja

Ko ste pregledali najnujnejše točke vašega industrijskega hladilnika, morate določiti urnik vzdrže-



Slika 2 : Primer neprimerne vložka vodnega filtra

vanja za manjša opravila. Najbolje je, da se manjši pregledi izvajajo vse leto, da zagotovite ustrezno oskrbo svoje enote. Če potrebujete pomoč pri sestavljanju seznama pregledov, se lahko vedno obrnete na nas. Vendar pa urnika ni treba samo sestaviti, temveč ga morate tudi upoštevati. Zapišite si določene ure za vzdrževanje in dejansko izvedite posamezne korake.

6. Izvedba morebitnih popravil

Čakanje na popravilo bo le še poslabšalo morebitne težave. Če ste opazili kakršne koli težave s hladilnim sistemom, jih morate nujno odpraviti, preden začnete hladilni sistem ponovno uporabljati. Opustitev pomembnih popravil bo skoraj zagotovo povzročila več napak v prihodnosti, in to verjetno v neprimeren trenutku. Veliko bolje je načrtno odpravljati manjše težave, namesto da čakate, da pride do večjega izpada.

7. Preverjanje uhajanja plina

Za pregled lahko kontaktirate tudi naš servis, ki vam bo z veseljem priskočil na pomoč z enim od kontrolnih pregledov.



Ob tem vam priporočamo še preverjanje uhajanja hladilnega plina, ki je za večje hladilne naprave zakonsko predpisan.

Kakovostno preventivno vzdrževanje je ključnega pomena za dobro delovanje industrijskega hladilnega agregata ne glede na to, ali ga izvajate spomladi ali pa ga razporedite čez vse leto. Ravno iz tega razloga si vzemite čas in podrobno preglejte svojo enoto.

www.omega-air.si

Tabela 1 : Mejne količine polnitve hladilnih plinov in frekvenca preverjanja uhajanja

Vrsta plina	5 t ekv. CO ₂ 1/12 mesecev (kg plina)	10 t ekv. CO ₂ (hermetično zaprta oprema) 1/12 mesecev (kg plina)	50 t ekv. CO ₂ 1/6 mesecev (kg plina)	500 t ekv. CO ₂ 1/3 mesece (kg plina)
R-22	2,76	5,52	27,62	276,24
R-23	0,34	0,68	3,38	33,78
R-32	7,41	14,82	74,07	740,74
R-125	1,43	2,86	14,29	142,86
R-134a	3,50	7,00	34,97	349,65
R-143a	1,12	2,24	11,19	111,86
R-404a	1,27	2,54	12,75	127,49
R-407C	2,82	5,64	28,18	281,85
R-410A	2,39	4,78	23,95	239,46
R-417A	2,13	4,26	21,31	213,13



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	
	
	
	
	

OGLAŠEVALCI

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ▶ CELJSKI SEJEM, d. d., Celje 93 ▶ ELESAGANTER GmbH, Brunn am Gebirge, Austria 109 ▶ FESTO, d. o. o., Trzin 61, 124 ▶ HENNLICH, d. o. o., Kranj 116 ▶ HPE, d. o. o., Ljubljana 61 ▶ ICM, d. o. o., Vojnik 103 ▶ INOTEH, d. o. o., Bistrica ob Dravi 115 ▶ JAKŠA, d. o. o., Ljubljana 78 ▶ La & Co., d. o. o., Limbuš 61 ▶ OLMA, d. o. o., Ljubljana 111 ▶ OMEGA AIR, d. o. o., Ljubljana 61, 122 | <ul style="list-style-type: none"> ▶ OPL AVTOMATIZACIJA, d. o. o., Trzin 61, 102 ▶ PODKRIŽNIK, d. o. o., Nazarje 61 ▶ PARKER HANNIFIN (podružnica v N. M.), Novo mesto 61 ▶ POCLAIN HYDRAULICS, d. o. o., Žiri 61 ▶ PPT COMMERCE, d. o. o., Ljubljana 61, 64 ▶ PROFIDTP, d. o. o., Škofljica 93, 123 ▶ SEAL & TRADE, d. o. o., Maribor 61 ▶ STROJNISTVO.COM, Ljubljana 113 ▶ UL, Fakulteta za strojništvo 67, 81 ▶ YASKAWA, d. o. o., Ribnica 92 |
|--|--|

NEPOGREŠLJIV VIR INFORMACIJ ZA STROKO

Predstavitev strokovnih prispevkov

Strokovna razstava | Aktualna okrogla miza

Podelitev priznanja TARAS

FORUM ZNANJA IN IZKUŠENJ

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

Priznanje TARAS za

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



Portorož, 10. in 11. junij 2024

www.forum-irt.si

Glavni pokrovitelji



KONICA MINOLTA

Razvojna partnerja



Vsebinski partner



Nacionalni pokrovitelji



Pokrovitelji



YASKAWA



FESTO

Preprosto: del rešitve

Festo ★ osnovni program

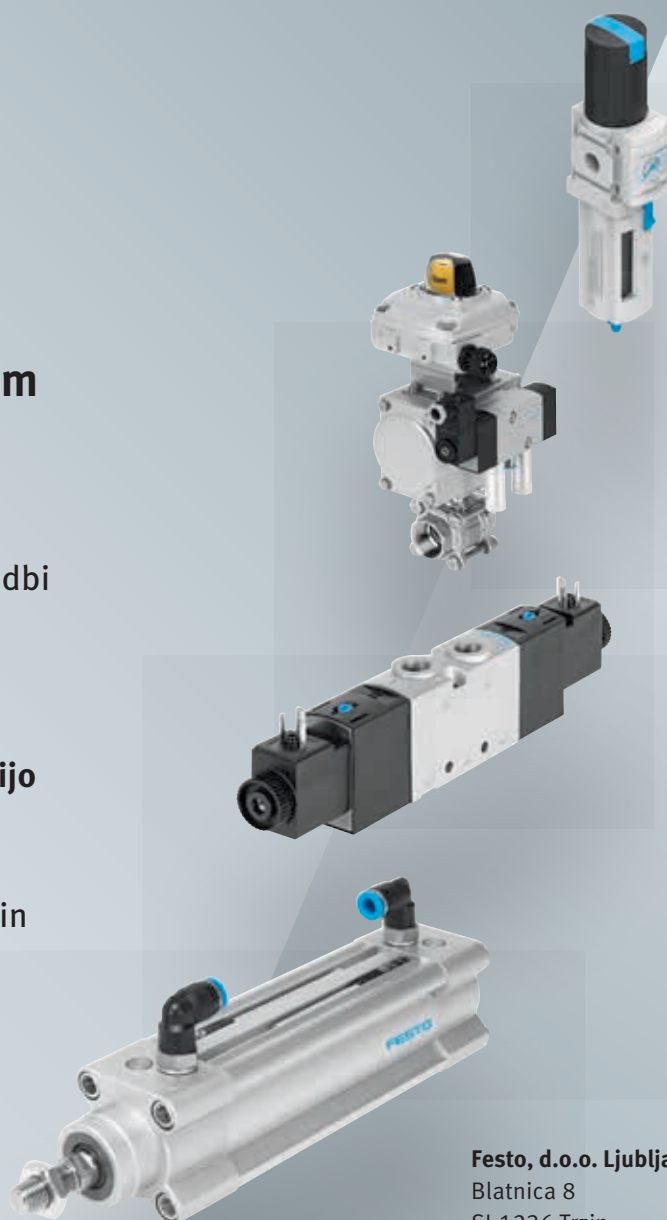
Prednosti na prvi pogled:

- 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