

# VENTIL

ISSN 1318 - 7279

Letnik 30 / 2024 / 1 / Februar

Fakulteta za  
strojništvo z novo  
raziskovalno opremo

Smernice za  
konstruiranje  
nestandardnih čepov

Izločanje zraka iz  
rabljenih mineralnih  
hidravličnih olj

Vzdrževanje  
hidravličnih naprav

## industrijska

## olja in maziva



WWW.OLMA.SI

**OLMA77**  
SINCE 1947

Univerza v Ljubljani  
Fakulteta za strojništvo



**FESTO**

**POCLAIN**  
Hydraulics

**Parker**

**la&co**

Sinerģija premikanja. Hidravlika. Pnevmatika. Linearna tehnika.



**PODKRIŽNIK**



SEAL & TRADE d.o.o.

**ppt commerce**

**OPL**

**hpe**

www.hpe.si

info@hpe.si

**OMEGA AIR**  
more than air

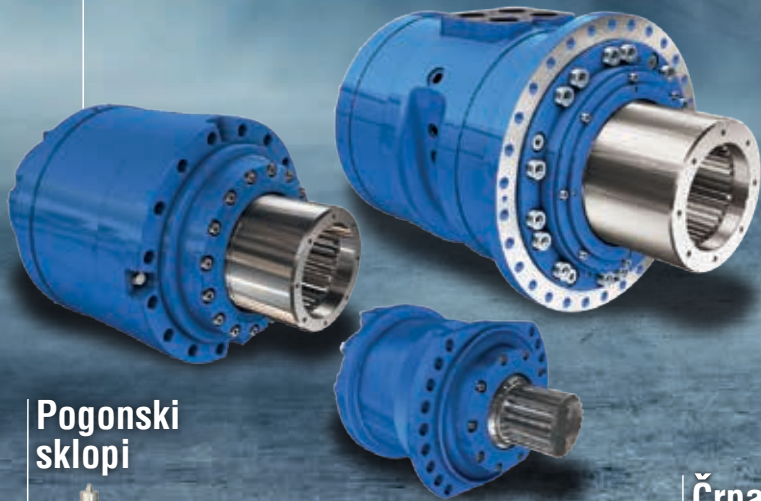


# SISTEMSKE REŠITVE ZA INDUSTRIJSKE STROJE

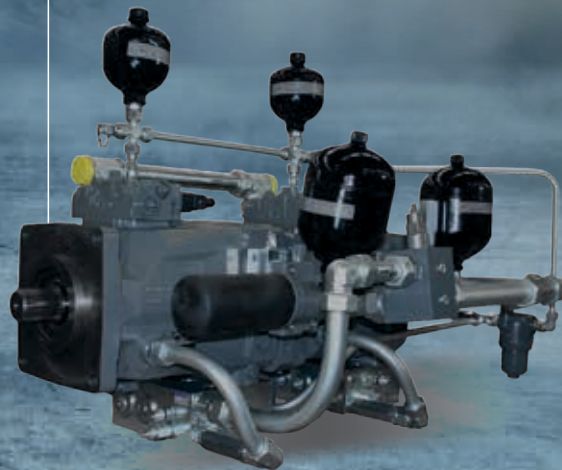
*Celoviti hidravlični transmisijski pogoni:  
predelava odpada, lesna industrija, premogovništvo,  
ladijski vitli, elektrarne, tekoči trakovi ...*

## OD PROJEKTIRANJA DO ZAGONA

Motorji za  
industrijske aplikacije



Črpalka za HPD



Pogonski  
sklopi



Črpalke



Ventili



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

[www.poclain-hydraulics.com](http://www.poclain-hydraulics.com)





V tem času, ko država razpada na vseh koncih, ni težko pisati poljubnih uvodnikov, pa čeprav gre za tehnično revijo. Ko vladajoča struktura ne vidi drugega kot sebe in svoje podpornike, za katere bi lahko zapisal, da so delomrzneži, bi morali vsi državljani, ki ustvarjamo dohodek, plačujemo davke, socialno preskrbo, zdravstvo in skrbimo za blaginjo naroda, kritično pristopiti k problemu in podati jasna stališča. Tu mislim predvsem na gospodarstvo.

Najbolj skrb vzbujajoče je, da je decembra leta 2023 v primerjavi z novembrom industrijska proizvodnja pri nas padla za dobrih 10 odstotkov. Kot kažejo statistični podatki, je proizvodnja lani v celotnem letu nazadovala v vseh ključnih dejavnostih, skupno pa za 5,3 odstotka. V predelovalnih dejavnostih je bil padec 4,1-odstoten, v rudarstvu 15,7-odstoten, v oskrbi z električno energijo, plinom in paro pa 31,9-odstoten itd. Skrbi pa, če se bo decembrski trend padanja proizvodnje nadaljeval. Precej znakov s terena kaže, da bo tako.

Tisti, ki poznamo slovensko industrijsko proizvodnjo, nas to ne preseneča in niti ne čudi. Še posebno, če spremljamo ravnanje te vlade in njen odnos do gospodarstva in še posebno do industrije.

Tu je premalo prostora, da bi lahko zapis zajel vse težave v industriji, za katere je kriva trenutna vlada.

Prepričan sem, da ni direktorja podjetja ali ravnatelja neke ustanove, ne pri nas in ne v svetu, ki bi odobril nakup opreme ali nepremičnine, za katero ne bi imel podrobnega opisa, namena smiselne uporabe, prodajalca in podrobnega opisa cene. Predsednik naše vlade je namreč dal na dnevni red seje vlade razpravo o nakupu skoraj osem milijonske zgradbe brez strokovne ocene sodnega cenilca te nepremičnine, brez pogodbe s prodajalcem in brez podrobnega opisa namena uporabe te stavbe.

Celotna vlada je to investicijo odobrila. Menda kar dvakrat. To je vsakemu normalno razmišljajočemu človeku popolnoma nerazumljivo, če ne celo škandalozno. Odgovorni pa se sklicujejo na uradnike in na svoje

podrejene. Krivda je povsem jasna. To je vlada oziroma njen predsednik, ki je odobril takšno investicijo. Povsem nebulozno pa je, da bodo tisti, ki so naredili to napako, sami raziskovali nepravilnosti. Ti ne bodo raziskovali, kdo je kriv, ampak bodo za sabo brisali sledi, da rešijo sebe.

Vsi tisti, ki vodimo podjetja, vemo, kako premišljeno je treba investirati, kako je vsako investicijo treba preučiti, kako je treba iskati optimalno opremo, kako se je treba pogajati za ceno in predvsem, kako je treba v vsako investicijo vnesti amortizacijo, to je, kako bo investicija vrnila vloženi denar.

V veliki večini podjetij, ne glede na velikost, je treba za vsak nakup novega računalnika opisati potrebo, namen uporabe, lokacijo, kje bo uporabljen, predstaviti osebo, ki ga bo uporabljala, opisati operacijski sistem z vsemi potrebnimi programi. Nekdo v vladi, ki misli, da je vsemogočen, pa kupi 13.000 računalnikov, ki so menda še neuporabni, za katere se ne ve, kdo jih bo uporabljal in za kakšne namene. Pri tem pa je pomembna tudi cena teh osiromašenih računalnikov, ki so že pol leta v skladišču, na kar do sedaj ni še nihče opozoril.

Še tako majhni obrtniki ali pa kmetje, ki so pogosto brez posebne ekonomske izobrazbe, tako neumnih investicij, ki ji izvaja ta vlada, ne bi delali.

Državni razpis za nevladne organizacije v letošnjem januarju v višini skoraj sedem milijonov evrov je prava katastrofa. Ali se kdo vpraša, kaj in kdaj bo tu kakšna dodana vrednost in kako se bo denar vrnil v državno blagajno?

Potem se pa čudimo, da na vseh mednarodnih primerjalnih lestvicah kot država padamo. Pa tu ne gre samo za ekonomsko svobodo ali inovativnost. Tu gre za bolj usodne podatke, kot je varnost državljanov, kot je medijska svoboda, ki je osnova za demokracijo ali pa za inflacijo, ki siromaši državljane.

Na lestvici indeksa ekonomske svobode, ki jo je izvedla oziroma jo vsako leto izvaja ameriška fundacija Heritage Foundation, smo v enem letu (2023) padli za pet mest. Na lestvici varnosti občanov smo ravno tako padli za pet mest. Na lestvici inovativnosti nazadujemo, na lestvici inflacije smo na slabem mestu. Podobno velja za lestvico konkurenčnosti naše države. Na primerjalni mednarodni lestvici pismenosti naših dijakov padamo. Ljubljanska univerza izgublja na kakovosti v primerjavi z drugimi univerzami po svetu. Po številnih merilih je naše sodstvo med slabšimi v Evropi itd.

Kaj vse to pomeni za naše občane in za našo mladino?

*Janez Tušek*

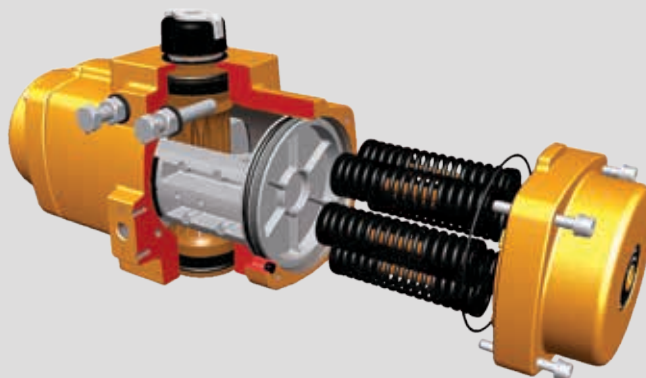




  
**EMERSON™**  
 Process Management



**EL Matic™**



**Field**



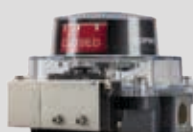
**BETTIS™**



 **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](http://www.ppt-commerce.si)

DOGODKI • POROČILA • VESTI .....	6
IN MEMORIAM .....	10
PREDSTAVITEV	
<b>Neža Markelj Bogataj</b>	
Nova raziskovalna oprema za prebojne raziskave in še bolj poglobljeno sodelovanje z gospodarstvom – 3. del .....	14
NOVICE • ZANIMIVOSTI .....	19
NOVE INDUSTRIJE	
<b>Janez Škrlec</b>	
Vizionarske smernice tehnološkega razvoja za prihajajoče industrije .....	25
HIDRAVLICNI ČEPI	
<b>Anže Čelik, Boris Jerman, Franc Majdič</b>	
Smernice za konstruiranje nestandardnih čepov .....	28
HIDRAVLICNE TEKOČINE	
<b>Milan Kambič, Darko Lovrec</b>	
Izločanje zraka iz rabljenih mineralnih hidravličnih olj .....	36
VZDRŽEVANJE HIDRAVLIKE	
<b>Franc Majdič</b>	
Vzdrževanje hidravličnih naprav - 14 del .....	44
AKTUALNO IZ INDUSTRIJE	
Vključno s povratno informacijo (ELESA+GANter) .....	48
PIAB, nova konfiguracija piCOBOT® plug & play za kobote FANUC CRX (INOTEH) .....	49
NOVOSTI NA TRGU	
Univerzalno in domiselno: držalni magneti (ELESA+GANter) .....	50
THOMSON LINEAR: Ojačajte svoja natančna kroglična vretena in razširite njihovo uporabo z novimi možnostmi premazov (INOTEH) .....	51
PODJETJA PREDSTAVLJAJO	
»Ali lahko moja naprava deluje brez mazanja?« – aplikacija igusGO® ima odgovor (HENNLICH) .....	52
Enostopenjski ali dvostopenjski vijačni kompresor? (OMEGA AIR) .....	54

# INŽENIRKA LETA 2023: VSAKA IMA KRILA, SAMO POLETETI MORA

Na svečani razglasitvi v Linhartovi dvorani Cankarjevega doma je naziv inženirka leta 2023 prejela Ljupka Vrteva, magistrica inženirka strojništva, razvojna inženirka za področje ogrevanja, prezračevanja in hlajenja stavb ter vodja projekta sončne elektrarne v družbi Petrol. Nominiranke je na letošnjem šestem izboru Inženirka leta nagovoril minister za visoko šolstvo, znanost in inovacije dr. Igor Papič.



Ljupka Vrteva, inženirka leta 2023

Izbor Inženirka leta, ki poteka že šesto leto, postavlja pod žaromete inženirko z največjim potencialom za navduševanje in opogumljanje mladih deklet pri kariernem odločanju za inženirstvo, naravoslovje, tehniko in inovativnost. V središču niso dosežki posameznic, temveč njihova osebnost in karierna pot, ki je lahko v navdih bodočim generacijam. Med letošnjimi nominirankami je komisija te sposobnosti najbolj prepoznala v Ljupki Vrtevi, magistrici inženirki strojništva, razvojni inženirki za področje ogrevanja, prezračevanja in hlajenja stavb ter vodji projekta sončne elektrarne v družbi Petrol.

Vrteva, ki je ob razglasitvi prejela simbolični kipec od predhodnice, inženirke leta 2022 Rosane Kolar iz Adria Tehnike, je ob tem dejala: »Dekleta, kar pogumno, z glavo naprej. Vsaka je sposobna, vsaka zmore. Vsaka ima krila, samo poleteti mora. Vztrajnost in predanost se obrestujeta. Bodite pogumne in drugačne vedno in povsod.«

## Le tretjina študentk se odloči za naravoslovje in tehniko

»Da se več mladih odloči za študij družboslovja in humanistike kot naravoslovja in tehnike, ni presenetljivo,« je zbranim sporočil minister za visoko šolstvo, znanost in inovacije dr. Igor Papič, a dodal: »Težava pa je, da se le tretjina študentk odloči za naravoslovje in tehniko, pri študentih pa je ravno obratno. S tem izgubimo velik del potenciala v znanju, ki ga imamo v dekletih, kar je škoda za celotno družbo. Žal so podobni trendi tudi v tujini. Glavni razlog so, kar je za 21. stoletje sramotno, spolni stereotipi.«

## Vsi smo v tekmi za najboljše rešitve

V uvodnem pozdravu je Medeja Lončar, direktorica Siemens Slovenija, predsednica uprave Siemens Hrvaška in direktorica Siemens Srbija ter pobudnica izbora Inženirka leta, poudarila: »Razmik med naravnim razmerjem med spoloma in razmerjem, ki ga opažamo v inženirskem, zlasti visokem izobraževanju, je vedno bil središče delovanja iniciative izbora Inženirka leta. Ta ponuja vzore mladim, da je inženirstvo primerno za vse. Izzivi sodobnega sveta so enako pred vsemi nami in smo v tekmi, kdo bo ponudil najboljše rešitve.« Dodala je še, da bodo ob lanskem zagonu izbora Inženirke godine v Zagrebu in Beogradu letos v regiji skupaj predstavili že 100 inženirk.

## Inženirji obvladujejo energijo

Zbrane je nagovoril tudi dr. Miha Bobič, vodja poslovne enote Balansiranje in regulacija v podjetju Danfoss ter predsednik projekta Inženirke in inženirji bomo!, pod katerega okriljem poteka izbor Inženirka leta. Po njegovih besedah je inženirstvo gonilna sila napredka: »Inženirstvo je tesno povezano z industrijsko revolucijo, saj smo šele s slednjo začeli uporabljati druge vrste energije. Torej smo inženirji tisti, ki obvladujemo energijo. Omogočili smo, da je človek osvojil najbolj oddaljen kotic Zemlje, segamo tudi po osončju in vesolju. Letošnje





Deseterica nominirank šestega izbora Inženirka leta

nominiranke delujete na zanimivih in različnih področjih: v robotiki, energetiki, farmaciji, kakovosti in informatiki. Vse te teme so pomembne za sodobno inženirstvo.«

### V obliki holograma »oživili« prvo doktorico ljubljanske univerze

Bobič je na oder povabil doktorico kemije Ano Mayer Kansky, prvo prejemnico doktorskega naziva Univerze v Ljubljani. Slednjo, ki je kot prva doktorandka najstarejše slovenske univerze še danes v navdih, je na odru »oživel« v obliki holograma. Namen organizatorjev prireditve je bil namreč prikazati tudi možnosti, ki nam jih ponuja umetna inteligenca. Bobič jo je povprašal, ali so inženirji tesno povezani z energijo, na kar je Mayer Kansky suvereno odgovorila: *»Seveda, inženirstvo se ukvarja s preobrazbami energije v takšnih ali drugačnih oblikah, še posebno kemija – znanost, ki se ukvarja s srčiko energije, atomi, vezmi, elektroni. Inženirstvo je energija, ki spreminja svet.«*

Udeležence slavnostne podelitve je med drugimi nagovorila tudi lastnica in direktorica družinskega podjetja Medex, diplomirana inženirka elektrotehnike **Aleša Mižigoj**. V imenu predsednice Republike Slovenije, častne pokroviteljice izbora Inženirka leta, se je dogodka udeležila tudi njena svetovalka za človekovo varnost mag. Tatjana Bobnar.

### Deset nominirank za Inženirko leta 2023

Izmed 37 prijav za Inženirko leta 2023 so se v letošnji izbor nominirank uvrstile Anka Ilc, vodja laboratorija v podjetju Structum, Jelena Vasiljevič, raziskovalnorazvojna inženirka v podjetju Filc, Kristina Batistič, svetovalka za kibernetično varnost v podjetju NIL, Leja Prezelj, strokovna sodelavka za varnost in kakovost živil v proizvodnji svežih izdelkov v podjetju Ljubljanske mlekarne, Ljupka Vrteva, razvojna inženirka za področje ogrevanja, prezračevanja in hlajenja stavb ter vodja projekta sončne elektrarne v družbi Petrol, Nina Krmac, vodja skupine za IT-koordinacijo v družbi A1 Slovenija, Nina Seifert, samostojna razvojna inženirka za inovacije v družbi Iskraemeco, Petra Osojnik, vodja validacij v aseptični enoti v Lek farmacevtski družbi, Saša Stradovnik, inženirka za robotiko in avtomatizacijo v podjetju Proris ter asistentka in raziskovalka na Fakulteti za elektrotehniko, računalništvo in informatiko Univerze v Mariboru, Simona Kek, podatkovna znanstvenica v podjetju Outbrain.

### Utemeljitev izborne komisije za inženirko leta 2023

Odraščajoč v družini glasbenikov in ekonomistov je Ljubka Vrteva želela biti drugačna. Kot otrok je veliko ustvarjala, predvsem pa je svojo domišljijo

želela pretvoriti v nekaj, kar je vidno in otipljivo. Pravi, da jo je prav domišljija popeljala na inženirsko pot. Slednja jo je po končani srednji šoli v Makedoniji vodila v Slovenijo z eno samo željo: postati inženirka!

Dodiplomski in magistrski študij je zaključila na Fakulteti za strojništvo Univerze v Ljubljani, leta 2019 pa je na Institutu Jožef Stefan opravila še mednarodni izobraževalni program Evropski energetski menedžer – EUREM. Razvila je edinstven računalniški program na področju mehanskega prezračevanja stavbe, sedaj pa se ukvarja s projektiranjem novih, bolj učinkovitih energetskih sistemov. Kot razvojna inženirka za področje ogrevanja, prezračevanja in hlajenja stavb ter vodja projekta sončne elektrarne je danes zaposlena v družbi Petrol.

Ljupka nenehno išče nove izzive na področju energetike, predvsem pa svoje znanje in izkušnje s terena predaja naprej z misijo, da vsi postanemo bolj ozaveščeni o učinkoviti rabi energije v stavbah.

Kljub marsikateri, na začetku tudi jezikovni oviri, ve, da je bila njena odločitev za inženirstvo prava. Ima energijo in željo, da mlada dekleta spodbuja pri odločanju o njihovem kariernem poslanstvu: »Imam priložnost, da svojo zgodbo prenesem mladim dekletom. Da je vsaka sposobna slediti svojim željam in da bo prišel trenutek v življenju, ko bo hvaležna

ter ponosna nase, da se je opogumila in odločila za inženirski poklic.« Njeno osrednje sporočilo mladim je kratko, preprosto, a opogumljajoče: »Vsaka zmore vse. Vsaka ima krila, samo poleteti mora.« Poleteti z razprtimi krili, visoko – tako, kot je poletela Ljupka.

## Metodologija izbora

Na odločitev, katera od letošnjih 10 nominirank predstavlja največji zgled in je navdih mladim dekletom, so s svojimi glasovi enakovredno vplivale štiri komisije: vseh šest generacij nominirank za priznanje inženirka leta, predstavniki medijev, dijakinje in učitelji iz konzorcija gimnazij in šolskih centrov *Inženirke in inženirji bomo!* ter predstavniki organizatorja in partnerjev izbora Inženirka leta. Skupaj je glasovalo 92 članov in članic komisije.

Izbor poteka v soorganizaciji revije IRT3000 in družbe Mediade v sodelovanju s partnerji. Natečaj je del projekta *Inženirke in inženirji bomo!*, ki mlade z dogodki na gimnazijah in v šolskih centrih že več kot desetletje (od leta 2012) navdušuje za inženirstvo, tehniko, naravoslovje in inovativnost.

Več o izboru: <http://inzenirka-leta.si/>.

Revija IRT3000  
Foto: Andrej Križ



# SPLAČA SE BITI NAROČNIK




**ZA SAMO 50€ DOBITE:**

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




Revija v hrvaškem jeziku

**ZA SAMO 20€ DOBITE:**

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

**DIGITALNA NAROČNINA**



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

**BUTIK IRT3000**



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

**NAROČITE SE!**

 051 322 442
 [info@irt3000.si](mailto:info@irt3000.si)
 [www.irt3000.si/narocilo-revije](http://www.irt3000.si/narocilo-revije)

**WWW.IRT3000.COM**





# RAZISKUJ IN POGANJAJ PRIHODNOST

1. - 5. JULIJ 2024



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](http://www.yaskawa.si)



Controlled by  
YRC1000

## V SPOMIN MAG. ANTONU STUŠKU (1932–2023)

14. decembra 2023 se je za vedno poslovil mag. Anton Stušek, dolgoletni sodelavec Fakultete za strojništvo v Ljubljani, dolgoletni pomočnik glavnega in odgovornega urednika znanstveno-strokovne revije Ventil. En mesec kasneje, 14. januarja 2024, bi praznoval 92. rojstni dan. Fluidna tehnika mu je v veliki meri krojila življenje.



*Mag. Anton Stušek*

Rojen je bil 14. januarja 1932 v Prapretnem pri Hrastrniku. Bil je najstarejši od treh otrok v železničarski družini. Osnovno šolo je obiskoval na Blanci pri Sevnici, sledila je takratna nižja gimnazija, nato srednja tehnična šola. Leta 1959 je zaključil univerzitetni študij na Fakulteti za strojništvo (FS) v Ljubljani. Kmalu po diplomi se je zaposlil v JLA – pač drugačni časi in možnosti. Podiplomsko specializacijo iz strojništva je v večmesečnem šolanju opravil v ZDA, formalni podiplomski študij pa na Fakulteti za strojništvo Univerze v Zagrebu.

Mag. Antonu Stušku je fluidna tehnika v veliki meri krojila življenje. Spoznal jo je in delal na tem področju ob službovanju v JLA, in sicer na mornariškem področju. Tu je bila skoraj izključno hi-

dravlika in tu je preživel velik del ustvarjalnih let življenja. Po izstopu iz JLA v letu 1973 pa je svoje znanje podajal študentom Fakultete za strojništvo Univerze v Ljubljani in slušateljem v industriji oz. gospodarstvu. V začetku sedemdesetih let so namreč na Fakulteti za strojništvo ob prizadevanju prof. dr. J. Hlebanje v okviru višješolskega študija konstrukterstva uvedli predmet Hidravlika in pnevmatika. V študijskem letu 1972/73 ga je predaval zunanji sodelavec, s študijskim letom 1973/74 pa je bil kot redni predavatelj za ta predmet izvoljen mag. Anton Stušek. Že v letu 1974 je mag. Stušek izdelal skromno zasnovo Laboratorija za fluidno tehniko (LFT), in sicer najprej z osnovnim učnim pripomočkom za pnevmatiko firme Festo Didactic. Laboratorijske vaje na novo uvedenega predmeta Hidravlika in pnevmatika so se zaradi tedanje prostorske stiske na FS izvajale najprej v pomožnih prostorih. Tu sta delovala pnevmatični in hidravlični učni pripomoček UPH 1. Zasnoval ga je mag. Stušek, izdelalo pa podjetje Kladivar Žiri.

Leta 1979 je bil mag. Stušek izvoljen v naziv docent. S tem so se na univerzitetni ravni študija lahko dodatno začela predavanja iz predmeta Fluidna tehnika. Leta 1990 je vodstvo fakultete Laboratoriju za fluidno tehniko dodelilo ustrezen prostor v pritličju nove zgradbe in s tem pokazalo smisel in razumevanje za tedaj novo, hitro razvijajočo se vejo strojništva. Selitev LFT v nove prostore je bila »proslavljena« z dobavo univerzalnega preizkuševališča za hidravliko SUPH-1. Zasnoval ga je mag. Stušek, izdelano pa je bilo v mehanskih obratih podjetja Pionir Novo mesto, torej že v sklopu sodelovanja LFT z gospodarstvom. Osnovni komplet potrebne laboratorijske merilne opreme je bil pridobljen v letih 1990–1993 z lastnimi sredstvi Fakultete za strojništvo ob sofinanciranju tedanje Raziskovalne skupnosti Slovenije. Obsegal je številne merilnike za merjenje hidravličnih in mehanskih veličin. Ta oprema se je v naslednjih letih uporabljala tudi v nekaterih drugih laboratorijih in v gospodarstvu. To je sočasno intenziviralo tudi razvojnoroaziskovalno delo na področju fluidne tehnike.



Mag. Stuček je sodeloval z več kot 14 takratnimi slovenskimi industrijskimi podjetji ter s številnimi univerzami in visokimi šolami v tujini. Na področju fluidne tehnike je zelo dobro sodeloval z Univerzo v Mariboru. Le za pridobivanje znanstvenih točk (SCI) si ni vzel dovolj časa. Dopolnilno oz. industrijsko izobraževanje je izvajal predvsem v sodelovanju z Zavodom za tehnično izobraževanje v Ljubljani, kjer sem se prvič v življenju z njim srečal in sodeloval. Bil je cenjen senior fluidne tehnike. Kot tak je veljal tudi med študenti. Bil je mentor približno 70 diplomantom na obeh tedanjih nivojih študija.

Pod mentorstvom doc. mag. Stučka sem leta 1984 zaključil tedanji znanstveni magistrski študij na področju prehodnih pojavov v pogonsko-krmilni hidravliki. Tematika je bila izrednega pomena za postrojenja v takratni Železarni Jesenice, kjer sem bil zaposlen. Ob tem študiju razvite matematične modele pojavov sem v kasnejših letih s pomočjo izboljšane računalniške in merilne opreme uspešno preizkusil v železarstvu in predstavil na svetovno znanih kolokvijih fluidne tehnike v Aachnu in Dresdnu. Upošteva je moje že večletne izkušnje na področju pogonsko-krmilne hidravlike me je mag. Stuček uspešno vodil skozi magistrski študij in usmerjal v nadaljnjo pot na tem področju.

Bil je enciklopedija znanja in veščin s področja fluidne tehnike. Bil je iniciator, eden od ustanoviteljev in prvi predsednik Slovenskega društva za fluidno tehniko (SDFT). Društvo je izdajalo bilten, ki je bil predhodnik revije Ventil. »Rojstvo« obojega je izrazita zasluga mag. Stučka, ki je imel res smisel za tovrstne dejavnosti. SDFT je lani praznovalo 30. obletnico obstoja.

V okviru Terminološke sekcije Inštituta za slovenski jezik Frana Ramovša ZRC SAZU je kot član komisije za izdelavo tehniškega slovarja zelo aktivno in dosledno skrbel za slovenski jezik tudi v strokovnem izrazoslovju. V tem pogledu je bil neizprosno strog do študentov. Učil jih je tudi dandanes že nekoliko redkih vrtilin: poštenost, strpnost, iskrenost in nesebičnost.

Jeseni 1994 me je življenjska pot nekoliko nepričakovano iz industrije pripeljala na Fakulteto za strojništvo, kjer sem ob upokojitvi mag. Stučka prevzel predavanja in vodenje Laboratorija za fluidno tehniko. Nasledil sem urejene razmere, ki so omogočale nadaljnji razvoj laboratorija, meni pa razmeroma hitro pridobitev doktorata in izvolitev v docenta. Pol stoletja je poteklo od začetkov fluidne tehnike na Fakulteti za strojništvo pod začetnim vodstvom mag. Stučka. Pred nekaj več kot 11 leti sem ob upokojitvi pedagoško delo in Laboratorij za fluidno tehniko predal svojemu nasledniku izr. prof. dr. Majdiču. Laboratorij in celotno področje fluidne tehnike ves čas uspešno napredujeta. Zasnove in začetna leta delovanja pod vodstvom mag. Stučka so bila torej dobra osnova za sedanje uspehe.

V industriji, med nekdanjimi študenti, znanci ter sodelavci bo mag. Stuček ostal v spominu kot prizadeven, uspešen, nesebičen in spoštovan senior fluidne tehnike.

Dr. Jožef Pezdernik

Petnajstletno uspešno sodelovanje v neki organizaciji ali društvu ali nekem drugem sistemu je relativno dolga doba. To še posebno velja za sodelavca, ki skupaj urejata neko revijo kot glavni urednik in kot njegov pomočnik. Petnajst let sem namreč sodeloval z gospodom Antonom Stučkom, magistrom znanosti s področja strojništva, pri urejanju revije Ventil. Gospod Stuček je imel na področju urejanja revije veliko izkušenj in veliko dobrih predlogov, kar je nesebično prenašal na mene, za kar sem mu zelo hvaležen.

Ko se oziram nazaj na najino sodelovanje, se šele sedaj zavedam, ko g. Stučka ni več med nami, kako plemenit, sočuten, z znanjem bogat in kako široko razgledan človek je bil. Bil je neverjeten poznavalec slovenskega jezika in še posebno slovenskega tehniškega jezika. V vseh petnajstih letih nisva prišla niti do enega spora ali problema, ki ga ne bi z dialogom, z dobro voljo in razgovorom rešila.

G. Stuček, še enkrat hvala za vse. Njegovi ženi in vsem njegovim pa izrekam iskreno sožalje.

Janez Tušek

## V SPOMIN SPOŠTOVANEMU STROKOVNJAKU MAG. PETRU VOGRIČU (1931–2023)

Peter Vogrič se je rodil l. 1931 v lepi severni Primorski, visoko v cerkljanskih hribih, ki je bila takrat del Kraljevine Italije. Prva leta je preživel v vasi Gorenji Novaki, tik ob takratni italijansko-jugoslovanski meji. Življenje tam je bilo težko, zato je moral že zgodaj od doma k nadomestni družini. Že med vojno in še posebej proti njenemu koncu je v starosti okoli 13 let popolnoma samostojno, brez kakršnekoli podpore, razmišljal o svoji prihodnosti. O možnostih za šolanje in zaposlitev se je pogovarjal in zbiral podatke pri starejših, modrih znancih.



Peter Vogrič

Ko se je vojna končala, je pristal v Kropi v industrijski šoli, praktični del šolanja pa je opravljal v tovarni Plamen. S svojo sposobnostjo, odlično prostorsko predstavo in, kot se je izkazalo kasneje, s smislom za oblikovanje je postal nenadomestljiv risar strojnih delov, izdelanih za potrebe remonta in pri izboljšavah pogonskih naprav.

Zaradi odličnega šolskega in delovnega uspeha je dobil možnost nadaljevanja šolanja na Državni tehniški srednji šoli v Ljubljani. Tudi v tem primeru se ni zadovoljil samo s šolanjem. Vzporedno se je izpopolnjeval pri praktičnem delu kot risar in konstruktor hišnih dvigal.

Po končani srednji šoli se je zaposlil v Industrijski šoli Litostroju. Ob delu se je še naprej izobraževal in diplomiral na Fakulteti za strojništvo Univerze v Ljubljani. Opravil je tudi magistrsko delo Razvoj in optimizacija preoblikovalnih modulnih sistemov s pomočjo računalnika.

V letu 1961 se je Litostroj organiziral v več proizvodnih skupin. Proizvodnja preoblikovalne opreme (PPO), ki se je pod vodstvom Petra Vogriča na novo oblikovala, se je priključila kot zadnja. Načrtni razvoj po lastnih zamislih se je pričel. Tehnično znanje, potrebno za izdelavo strojev in njihovo uporabo, je obstajalo. Vse ostale službe, kot so prodaja, nabava in druge, pa je bilo potrebno še usposobiti. Peter se ni zadovoljil tem, da je opravil le delo, za katero je bil zadolžen. Reševal je tudi težave in zastoje v drugih službah. Obvladal je celoten proces proizvodnje in uporabo proizvedenih strojev in naprav. Vseskozi se je potegoval za poslovno samostojnost svoje poslovne skupine.

Zasnoval je izredno širok proizvodni program, ki je zajemal izdelavo strojev za preoblikovanje s hidravličnimi, pnevmatičnimi in mehanskimi pogoni. Modularni sistem obravnave celotne dejavnosti je omogočil hitro prilagajanje proizvodnje potrebam trga. Olajšano je bilo delo vseh služb od nabave do servisa. Omogočen je bil dvig kvalitete celotnega poslovanja.

Tako je proizvodnja hitro naraščala. Izpolnjeni so bili pogoji za gradnjo nove tovarne, katere temeljni kamen je bil postavljen v letu 1979, odprta pa je bila leta 1980.

Nova tovarna je omogočila rast proizvodnje. Povečeval se je izvoz v Nemčijo, Sovjetsko zvezo, Romunijo, ZDA. Delež proizvodnje programa PPO v Litostroju se je ves čas večal: od 1 % v letu 1961 do 40 % v letu 1990 pri največjem dohodku na zaposlenega. PPO postane najuspešnejša proizvodna skupina Litostroja.

Poleg oblikovanja, razvoja in vodenja enote Proizvodnja preoblikovalne opreme pa je Peter Vogrič



pustil neizbrisen pečat tudi pri oblikovanju razvoja in proizvodnje hidravličnih sestavin in naprav v Kladivarju Žiri. PPO je za svoj razvoj in sledenje tehnološkemu razvoju na področju preoblikovalnih strojev potreboval vse več hidravličnih sestavin, katerih uvoz je bil omejen, predvsem pa so bile te sestavine še zelo drage, saj je bila ta panoga takrat še v razvoju, v Sloveniji pa industrijskega znanja o tem sploh še ni bilo. Tako je Litostroj pod njegovim vodstvom pričel razvijati in izdelovati hidravlične sestavine za svoje potrebe kot prvo večje industrijsko podjetje v Sloveniji.

Že v začetku sedemdesetih let pa je Vogrič na željo direktorja Kladivarja in hkrati svojega znanca iz Selške doline Venčeslava Ambrožiča pričel prenašati ta razvoj in tehnološko znanje v Kladivar. Po izjavi

pričevalca je Peter Vogrič že na prvem sestanku deloval zelo prijazno, razumevajoče in dobronamerno do želje Kladivarja po vstopu na področje oljne hidravlike in tak ostal vse do konca sodelovanja. Tako se je po njegovi zaslugi začel ta program počasi prenašati v Kladivar, dokler ni zaupanje zraslo do te mere, da je Litostroj to delo opustil in pričel vse hidravlične sestavine kupovati v Kladivarju. Tudi zaradi tega se je Kladivar razvil v največjega proizvajalca hidravličnih sestavin in sistemov Sloveniji. Za usmeritev in razvoj Kladivarja na področje oljne hidravlike in posredno za razvoj in obstoj oljne hidravlike v Sloveniji ima pionirske zasluge med drugimi tudi Peter Vogrič.

Janez Zupančič  
Milan Kopač

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](http://www.posvet-asm.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](mailto:info@jaksa.si)

# NOVA RAZISKOVALNA OPREMA ZA PREBOJNE RAZISKAVE IN ŠE BOLJ POGLOBLJENO SODELOVANJE Z GOSPODARSTVOM – 3. DEL

Neža Markelj Bogataj

Fakulteta za strojništvo Univerze v Ljubljani je v letu 2023 namenila več kot 3,7 milijona € za najmodernejšo raziskovalno opremo, ki ne bo omogočala le preboja na področju temeljnih raziskav, ki jih izvajajo na fakulteti, temveč bo v tesnem sodelovanju z gospodarstvom in razvojnoraziskovalnimi ekipami prenašala inovativne rešitve v industrijsko okolje. Z visokim nivojem tehničnega in tehnološkega znanja je Fakulteta za strojništvo UL sposobna aktivno sodelovati v številnih zahtevnih evropskih projektih, s pridobljeno merilno in raziskovalno opremo pa bo konkurirala tudi številnim svetovnim institucijam.

## Temperaturna komora za večkamerni dvostranski merilni sistem

Temperaturna komora za večkamerni dvostranski merilni sistem omogoča dvostransko merjenje preizkušancev z optičnim merilnim sistemom, ki zagotavlja zajem velikega števila informacij iz samo enega eksperimenta. Kljub velikemu številu temperaturnih komor, ki že obstajajo v Sloveniji, pridobljena komora omogoča uporabo sodobnega optičnega sistema za merjenje deformacij površin objektov pri različnih temperaturah (na podlagi korelacije digitalnih slik), pri čemer imajo raziskovalci prost pogled na preizkušane, ki je znotraj komore.

Karakteristike in sestavni deli sistema:

- ▶ Komora zagotavlja doseg in vzdrževanje temperature v razponu od  $-35\text{ °C}$  do  $300\text{ °C}$ , pri čemer lahko čas, potreben za doseg nastavljene temperature, znaša maksimalno 30 min.
- ▶ Komora omogoča merjenje preizkušancev visokih 700 mm, širokih 400 mm in globokih 350 mm.
- ▶ Komora ima na sredini zgornje in spodnje ploskve dostopni odprtini premera 50 mm za montažo vpenjal znotraj komore.
- ▶ Temperatura v komori se meri z dotičnim temperaturnim senzorjem.

V sklopu projekta ARIS bodo s pomočjo temperaturne komore lahko izmerili točne mehanske odzive



*Slika 1 : Temperaturna komora za večkamerni dvostranski merilni sistem (Foto: IFP, d. o. o.)*

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

posameznih komponent pri štiristojnih zasteklitvah in posledično razvili bolj natančna inženirska orodja oz. smernice za dimenzioniranje, preizkušanje in



gradbeno fiziko gradnje z uporabo štirislajnih zasteklitev. Ne nazadnje bo komora prispevala tudi k napredku raziskav na področju trajnostne uporabe polimerov v gospodinjstvih aparatih in bo v okviru raziskovalnega projekta LBNPplan omogočala testiranje merilne opreme, ki se uporablja v vesolju.

### Sistem za ultra hitro opazovanje procesov

Sistem za ultra hitro opazovanje procesov je prvi tovrstni sistem v Sloveniji, ki Fakulteto za strojništvo UL postavlja med vodilne institucije na področju optične analize temeljnih pojavov. Sistem omogoča izredno hiter zajem slike – do 7 milijonov slik/sekundo – in tako predstavlja orodje, ki ga je mogoče uporabiti za širok spekter fluidov (vodni mediji, dvofazni tokovi, plinasti tokovi, reaktivni tokovi) tako za eksperimentalne kot tudi modelsko podprte raziskave.

Nova raziskovalna oprema bo omogočala:

- ▶ vpogled v dinamiko kavitacijskih pojavov – predvsem snemanje dinamike posameznih mehurčkov in udarnih valov v hidrodinamični kavitaciji;
- ▶ razvoj naprednih laserskih tehnologij in raziskave prehodnih termičnih pojavov v laserskih sistemih;
- ▶ karakterizacijo razpada in nastanka plinsko fokusiranih kapljevinskih curkov in ravnin za razvoj novih šob za dostavljanje vzorcev pri femtosekundni kristalografiji;
- ▶ opazovanje izjemno hitrih lasersko vzbujenih pojavov, ki nastajajo ob samem začetku interakcije visokointenzivnostne laserske svetlobe s snovjo. Sem sodijo ionizacija in obsevanje materiala ter širjenje udarnih valov, ki pomembno vplivajo na izkoristek in natančnost procesiranja, kot so na primer mikrostrukturiranje, vrtnje, dolbenje in rezanje;
- ▶ študije laserskih biomedicinskih posegov, kjer bo nov sistem omogočal razumevanje nastanka optodinamičnih pojavov (širjenje ultrazvočnih motenj, kavitacije in plazme) med obsevanjem tkiva z ultrakratkimi laserskimi bliski, ki so v nekaterih primerih škodljivi, v drugih pa se izkorišča v terapevtske ali diagnostične namene.



**Slika 2 :** Sistem za ultra hitro opazovanje procesov (Foto: IFP, d. o. o.)



**Slika 3 :** Visoko kvalitetni merilni instrumentalni sistem za zajem podatkov, testiranje in kontrolo fizičnih fenomenov proizvodnih procesov (Foto: IFP, d. o. o.)

### Visokokvalitetni merilni instrumentalni sistem za zajem podatkov, testiranje in kontrolo fizičnih fenomenov proizvodnih procesov za njihovo zeleno preobrazbo in izboljšanje delovnega okolja

Predlagana raziskovalna oprema predstavlja skupaj s pripadajočo strojno in programsko opremo naj sodobnejši način diagnostike in možnost povratne kontrole proizvodnih procesov. S tehničnega in ekonomskega vidika sistem omogoča celostne raziskave s področja modernih odrezovalnih in izdelovalnih procesov, hitrost, ponovljivost in zanesljivost na enem mestu, kar do sedaj ni bilo mogoče. Oprema kaže velik potencial za zagotavljanje napredka na področju trajnostnega razvoja industrije 4.0 v proizvodnih procesih z vidika digitalizacije in čistosti kot tudi kakovosti obdelanih površin končnih izdelkov.

Pri predlagani raziskovalni opremi gre za visokokvalitetno merilno opremo oz. sistem za zajem podatkov, testiranje in kontrolo fizičnih fenomenov proizvodnih procesov, ki je v celoti časovno sinhronizirana in tako omogoča:

- ▶ karakterizacijo in nadaljnji razvoj različnih izdelovalnih procesov,
- ▶ kateterizacijo prototipnih inovativnih rešitev,
- ▶ pospeševanje inovacij in ustvarjanje inovativnih rešitev,
- ▶ vpeljavo digitalizacije v izdelovalne procese,
- ▶ karakterizacije in izboljšave vpliva izdelovalnih procesov na delovno okolje in delavca.

Visokokvalitetni merilni instrumentalni sistem ne bo na voljo le za raziskovalno dejavnost in izvajanje programov in projektov v okviru nacionalnega raziskovalnega in razvojnega programa, temveč bo omogočal podporo slovenski industriji.

Za vsa dodatna vprašanja v zvezi z opremo ter možnostih sodelovanja se lahko obrnete na [rr@fs.uni-lj.si](mailto:rr@fs.uni-lj.si).

# LEAP - RAZVOJ ZAŠČITNE EMBALAŽE IZ ALTERNATIVNIH LIGNOCELULOZNIH VLAKEN

Gregor Čepon, Gregor Ševerkar, Miha Pogačar, Urška Kavčič, David Ravnjak, Jawad Elomari, Aleš Mihelič, Miha Boltežar

Laboratorij LADISK na Fakulteti za strojništvo Univerze v Ljubljani deluje kot koordinator projekta LEAP, katerega cilj je razvoj naslednje generacije trajnostne funkcionalne embalaže. Ta vključuje gradnike iz odpadne biomase invazivnih tujerodnih rastlinskih vrst in omogoča izdelavo novih, konstrukcijsko visoko zmogljivih embalažnih rešitev. Projekt je izjemno pomemben, saj se osredotoča na trajnostni prehod v krožno ekonomijo, ki temelji na biološki razgradljivosti in zmanjšanju porabe deviških materialnih virov, obenem pa obravnava problematiko recikliranja odpadkov tujerodnih rastlinskih vrst.



Projekt LEAP se ukvarja z izzivi reševanja problematike odpadne plastične embalaže v strategiji EU v smislu zamenjave z bolj reciklabilnimi materiali (Direktiva (EU) 94/62/ES). Osnovni izziv na tem področju je prehod v odgovornejše ravnanje z viri, ki poleg izdelkov z nizkim okoljskim odtisom zajema tudi celovit sistem zbiranja in izkoriščanja lokalnih obnovljivih surovinskih virov ter zmanjšanja odlaganja in sežiganja odpadne embalaže (Strategija razvoja Slovenije 2030). Embalaža iz celuloze se uveljavlja kot trajnostni pristop v industriji embalaže, ki izkorišča reciklirane in obnovljive vire, kot so lesna vlakna in rastlinska biomasa.

Proizvodni postopek obsega razgradnjo teh materialov v kašo, oblikovanje v kalupih, sušenje in končno obdelavo. Tovrstna embalaža igra ključno vlogo pri zmanjševanju okoljskega odtisa zaradi svoje biorazgradljivosti in reciklabilnosti ter hkrati nudi izjemne lastnosti za zaščito izdelkov. Kljub številnim prednostim se industrija sooča z izzivi, povezanimi z ome-



Slika 1 : Struktura projekta LEAP

jeno razpoložljivostjo surovin in energetske intenzivnostjo proizvodnih procesov. Prav tako pa mehanske lastnosti celulozne embalaže niso primerljive s konvencionalno polimerno embalažo.

Embalaža na celulozni osnovi (lita celuloza, karton itd.) predstavlja uveljavljene rešitve za trajnostno embalažo v živilski industriji, vendar pa imajo ti materiali slabše blažilne in zaščitne karakteristike, zato njihova uporaba še ni razširjena na industrijsko embalažo zahtevnejših in transportno bolj obremenjenih produktov. Za reševanje navedenih izzivov se v okviru projekta LEAP vzpostavlja nova inovativna zelena tehnologija razvoja industrijske embalaže

**Prof. dr. Gregor Čepon**, univ. dipl. inž., **Gregor Ševerkar**, **dr. Miha Pogačar**, univ. dipl. inž., vsi Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo; **dr. Urška Kavčič**, univ. dipl. inž., **dr. David Ravnjak**, univ. dipl. inž., oba Inštitut za celulozo in papir, Ljubljana; **dr. Jawad Elomari**, SINTEF, Trondheim, Norveška; **dr. Aleš Mihelič**, univ. dipl. inž., Gorenje, d. o. o., Velenje; **prof. dr. Miha Boltežar**, univ. dipl. inž., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo



**Slika 2 :** Prototipni vzorci embalaže

iz alternativnih celuloznih vlaken, ki bo primerna tudi za embalažo težjih izdelkov pri zahtevnih transportnih pogojih. Za doseganje ciljnih zaščitnih in blažilnih karakteristik embalaže je predviden razvoj inovativnega odprtokodnega ekspertnega sistema. Poleg tega bo projekt naslavljal problematiko odpadka tujerodnih invazivnih rastlinskih vrst, saj bodo te prepoznane kot strateško pomembne surovine za izdelavo embalaže iz alternativnih celuloznih vlaken. Učinki projekta se bodo odražali v vzpostavitvi nove vrednostne verige, ki bo delovala po principu zaprte zanke krožnega gospodarstva in bo omogočala ekodizajn industrijske embalaže. Najpomembnejši pa bodo okoljski učinki, saj so študije pokazale, da lahko zamenjava plastične z alternativno celulozno embalažo zmanjša količino emisij CO<sub>2</sub> v življenjskem ciklu. Sodelujoči partnerji izkazujejo diverzificirano strukturo, tako da strateško razvojno-inovacijsko partnerstvo v okviru projekta pokriva vse stranice trikotnika znanja: Fakulteta za strojništvo Univerze v Ljubljani kot izobraževalno-raziskovalna inštitucija, Inštitut za celulozo in papir in SINTEF kot vrhunski raziskovalni ustanovi in GORENJE ter SUROVINA kot predstavnika industrij, potrebnih za snovanje nove trajnostne embalaže po načelih ekonomije zaključenih snovnih tokov.

V okviru projekta smo že uspešno demonstrirali funkcionalnost tako razvite embalaže z različnim deležem lignoceluloznih vlaken iz tujerodnih rastlinskih vrst. Za prototipno geometrijo embalaže smo izbrali obliko enostavnega lončka oziroma pri-sekanega stožca (slika 2).

Zaradi enostavnosti smo se odločili za postopek vakuumskega termoformiranja. Postopek je sestavljen iz dveh glavnih korakov, in sicer vakuumskega oblikovanja in sušenja. Za potrebe vakuumskega



**Slika 3 :** Izvedba nateznih in tlačnih testov

formiranja smo izdelali luknjičasti kalup s FDM- postopkom 3D-tiska. Materialne lastnosti smo ovrednotili na osnovi nateznih in tlačnih testov na univerzalnem trgalnem stroju (slika 3).

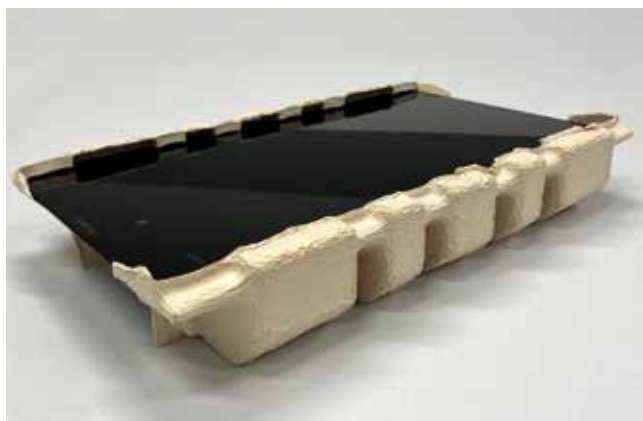
Na osnovi izvedenih testov je bilo razvidno, da lignocelulozna vlakna iz invazivnih tujerodnih rastlinskih vrst v splošnem ne povzročajo zmanjšane sposobnosti zaščitne funkcije embalaže. S tega vidika je bila v nadaljevanju izvedena demonstracija načrtovanja embalaže za indukcijsko ploščo DOMINO podjetja Gorenje. Postopek izdelave prototipne embalaže z uporabo 3D natisnjenih orodij je prikazan na sliki 4.

Na sliki 5 je prikazana razvita končna embalaža za indukcijsko ploščo Gorenje DOMINO (slika 4).



**Slika 4 :** Postopek izdelave embalaže za indukcijsko ploščo Gorenje DOMINO





Slika 5: Indukcijska plošča Gorenje DOMINO v zaščitni embalaži

Ocenjujemo, da bodo rezultati projekta osnova za razvoj novih poslovnih modelov v tem segmentu tudi po končanju projekta. Tako bodo imela korist od projekta vsa podjetja in raziskovalne inštitucije, ki težijo k uvajanju najnaprednejše zelene tehnologije izdelave embalaže. Preko komunikacijskih aktivnosti projektnih partnerjev, ki bodo zajemale vso vertikalo od osnovnih in srednjih šol, fakultet, podjetij in ostale zainteresirane javnosti, pa bo potekalo izobraževanje o pomenu krožnega gospodarstva in okoljskih vidikov uporabe embalaže iz alternativnih celuloznih vlaken. Rezultati projekta LEAP bodo predstavljeni na javnem dogodku 3. 4. 2024 v prostorih Inštituta za celulozo in papir. Več o dogodku pa lahko preverite na: <https://www.project-leap.com/Event.html>.



gorenje

surovina



Sodelujemo skupaj za zeleno, konkurenčno in vključujočo Evropo

Projekt financira Ministrstvo za kohezijo in regionalni razvoj v okviru Norveškega finančnega mehanizma Norway Grants



Zasnuj, izdelaj, preizkusi!!

# Poletna šola strojništva

za učence

27. - 30. avgust 2024



## FAKULTETA ZA STROJNIŠTVO Z IZRAČUNOM OGLJIČNEGA ODTISA DO PRVE NAGRADE ČASNIKA FINANCE

Laboratorij za termoenergetiko, LTE UL, Fakulteta za strojništvo, je na razpisu za okoljske nagrade 2023, ki ga tradicionalno organizira časnik Finance v sodelovanju z Eko skladom, osvojil prvo nagrado za okolju prijazen postopek. V laboratoriju so oblikovali metodologijo in izdelali orodje za izračun ogljičnega odtisa Ministrstva za obrambo Republike Slovenije z namenom, da se količinsko ovrednoti njegov ogljični odtis, odkrijejo kritične aktivnosti in s tem poda izhodišče za nadaljnji trajnostni razvoj ministrstva. Gre za prvi primer izračuna ogljičnega odtisa velike državne institucije v Sloveniji.



Ekipa Laboratorija za termoenergetiko je hkrati razvila tudi orodje, s katerim bo Ministrstvo za obrambo v nadaljnjih letih nadziralo svoj ogljični odtis. Postavljena metodologija ter orodje pa lahko služita tudi pri izračunu ogljičnega odtisa drugih državnih ustanov in podjetij.

Celoletni projekt je bil izveden pod vodstvom izr. prof. Mitja Morija, financiranje pa sta v celoti krila MORS in ARRS.

In rezultati - v letu 2022 je ogljični odtis Ministrstva

za obrambo znašal nekaj več kot 63.000 ton CO<sub>2</sub> ekv.

Več si lahko preberete na:

<https://www.finance.si/okolje-energija/izracunali-so-ogljicni-odtis-slovenske-vojske-poglejte-rezultate/a/9017670>

[www.fs.uni-lj.si](http://www.fs.uni-lj.si)

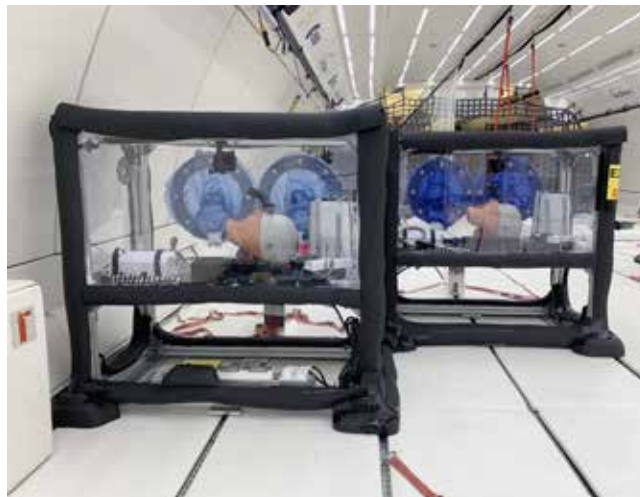
Foto: Arhiv FS

## EKIPA SPACE DENTA USPEŠNO OPRAVILA EKSPERIMENTALNI DEL PIONIRSKE RAZISKAVE NA PODROČJU ZOBOZDRAVSTVENIH POSEGOV V VESOLJU

Projekt SpaceDent, znotraj katerega se izvaja raziskava z naslovom Effect of simulated microgravity on the accuracy of dental restorations, je študentom dentalne medicine, strojništva in elektrotehnike omogočil opravljanje raziskav v mikro- in hipergravitaciji. Študenti so eksperimentalni del opravljali med 20. 11. 2023 in 1. 12. 2023 v Bordeauxu v Franciji. Med paraboličnimi leti in mikrogravitacijo so izvajali zobozdravstvene posege v simulirani breztežnosti. Namen raziskave je ugotoviti, ali je sposobnost rokovanja z zobozdravstvenimi instrumenti v mikrogravitaciji dovolj nadzorovana za varno dentalno zdravljenje astronautov.



*Ekipa SpaceDent pred Air Zero G letalom*



*Konstruciji*

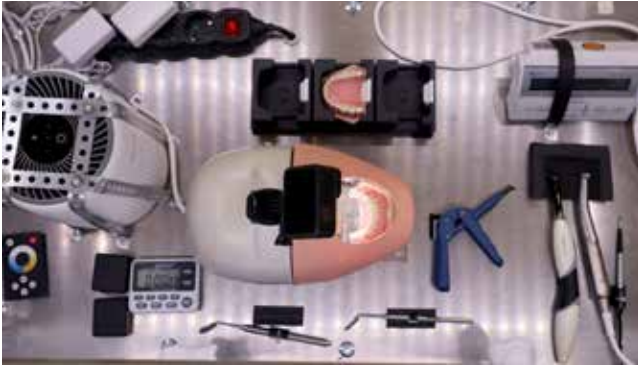
Nad Atlantskim oceanom so študenti med tremi paraboličnimi leti izvedli 93 parabol, kar jim je zagotovilo 30 minut breztežnosti. Parabole so sestavljene iz intervalov mikro- in hipergravitacije, med katerimi so obdobja stabilnega leta. Delo na raziskovalnih vzorcih se je izvajalo med 22-sekundnimi intervali mikrogravitacije, delo na kontrolnih zobeh pa med obdobji stabilnega leta in ko je letalo mirovalo na tleh. Med prvim in drugim poletom sta študenta dentalne medicine z zobozdravstvenim vrtnikom med 22-sekundnimi intervali mikrogravitacije odstranila z barvo označena kariozna območja plastičnih zob. Med tretjim poletom so med 22-sekundnimi intervali mikrogravitacije s plombirnimi materiali zapolnili vnaprej pripravljene kavitete umetnih zob.

Iz obdobji mikrogravitacije, stabilnega leta in mirovanja letala Airbus A310 Zero-G so pridobili 72 vzorcev prepariranih in 36 vzorcev plombiranih

zob. Te bodo v naslednjih dneh s pomočjo intraoralnega skenerja poskenirali, poslikali ter primerjali s slikami začetnega stanja, ki so jih pridobili pred odhodom v Francijo. Sledila bo analiza slik s pragovno segmentacijo, kjer bodo izmerili površino premalo in preveč preparirane kariozne lezije ter prostornino preveč in premalo zapolnjenega prostora zobnih zalivk. Za konec bodo primerjali vrednosti parametrov, pridobljenih v obdobju mikrogravitacije, v stabilnem letu na desetinko milimetra natančno in na tleh ter objavili rezultate.

Raziskava je potekala brez večjih zapletov. Med parabolami so študenti obdobja hiper- in mikrogravitacije prestali brez neprijetnih občutkov, zato so lahko delo izvajali celotno obdobje breztežnosti. Nad nadzorom instrumentov v breztežnosti so bili prijetno presenečeni, a kljub obetavnim začetkom bo potrebno počakati na končne rezultate raziskave.



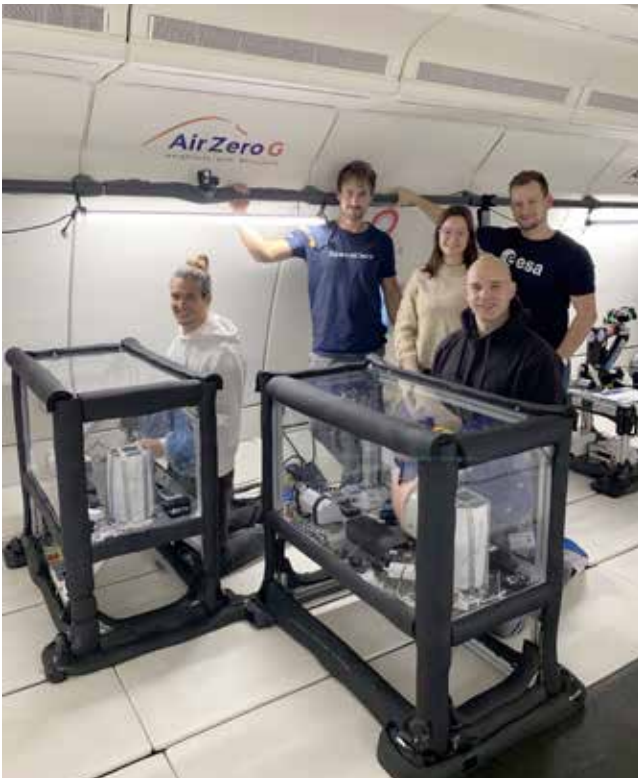


Lutka iz Centra za učenje kliničnih veščin dentalne medicine Medicinske fakultete

Rezultati, ki bodo objavljeni predvidoma v marcu 2024, bodo umeščeni v arhiv HREDA Evropske vesoljske agencije in znanstvenih publikacij, s čimer se bo projekt SpaceDent zaključil. Ugotovitve raziskave in sodelovanje z ESO bodo predstavljeni na znanstvenih in gospodarskih konferencah, služili pa bodo tudi kot navdih mlajšim generacijam za nadaljnje raziskave na področju zobozdravstvenih posegov v vesolju.

## Ekipa SpaceDent

SpaceDent je interdisciplinarna raziskovalna skupina, sestavljena iz študentov dentalne medicine, strojništva in elektrotehnike, ki sodeluje v programu Academy Experiments Evropske vesoljske agencije



Pritrditev konstrukcij

(ESA). Projekt je zaživel s študentsko pobudo (seznam študentov je na koncu sporočila za medije) in podporo prodekanje UL MF za študijsko področje dentalne medicine prof. dr. Janje Jan, mentorja prof. dr. Aleša Fidlerja, dekana Medicinske fakultete prof. dr. Igorja Švaba in somentorja doc. dr. Simona Omana s Fakultete za strojništvo UL. Strokovno, finančno ter materialno podporo sta zagotovili Medicinska fakulteta UL in Fakulteta za strojništvo UL. Po sprejetju na razpisu Evropske vesoljske agencije je bila študentom omogočena uporaba Peskovnika, odprtega laboratorija Fakultete za strojništvo, kjer je bila izdelana konstrukcija, ki ponazarja poenostavljeno okolje zobozdravstvene ambulante.

## Paraboličnemu letu prilagojena konstrukcija - Peskovnik

Za izvedbo raziskave so študentje strojništva in študent elektrotehnike v Peskovniku, odprtem laboratoriju Fakultete za strojništvo UL, izdelali paraboličnemu letu prilagojeno konstrukcijo, ki ponazarja poenostavljeno okolje zobozdravstvene ambulante. Izdelava konstrukcije zajema izdelavo izoliranega raziskovalnega prostora z zobozdravstvenimi instrumenti, namestitvev električnih in filtracijskih sistemov, prilagoditev na spreminjajoče se gravitacijsko okolje parabol ter izpolnitev standardov letalske industrije. V konstrukciji so študenti dentalne medicine izvajali zobozdravstvene postopke na glavah iz Centra za učenje kliničnih veščin dentalne medicine Medicinske fakultete.

Pobudnik in projektni vodja projekta je Tine Šefic, študent dentalne medicine, ki je bil odgovoren za pripravo projekta v Sloveniji in njegovo izvedbo v Franciji. Kot raziskovalec je med paraboličnim letom izvajal simulirane zobozdravstvene storitve.

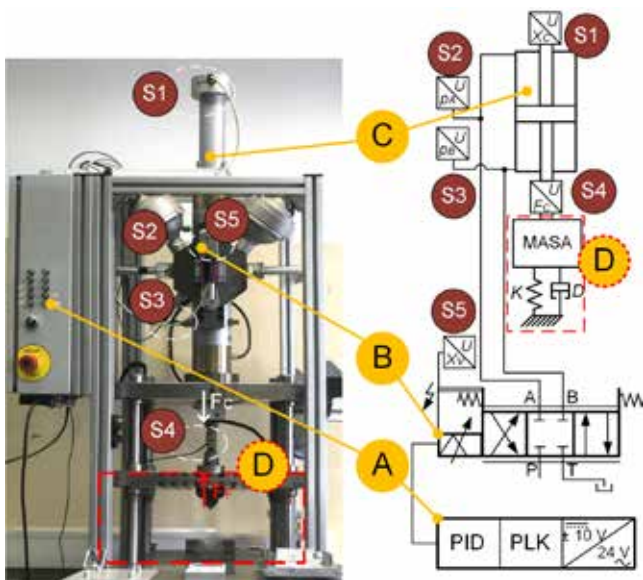
Ugotovitve raziskave bodo zagotovile izhodišča za oceno in optimizacijo zobozdravstvenih posegov za varno in učinkovito zobozdravstveno oskrbo pri dolgotrajnih misijah na Luno in Mars.

Prof. dr. Sekavčnik Mihael, dekan Fakultete za strojništvo, je poudaril, da »se premikanje meja znanega začne z idejo, pri udeležanju vsake ideje se rojevajo vedno nove ideje; ustvarjalnost ne pozna meja, gre preko neba v ozvezdje. Dobesedno do tam seže ambicija projekta SpaceDent. Na Fakulteti za strojništvo smo ga z odprtimi rokami podprli in mu odprli vrata odprtega laboratorija Peskovnik. Tu se odvija vztrajno, zavzeto in poglobljeno delo, učenje ter sodelovanje: per aspera ad astra. Tu si pot med zvezde utirajo študenti različnih fakultet UL«.

[www.fs.uni-lj.si](http://www.fs.uni-lj.si)  
Foto: arhiv SpaceDent

# PODATKOVNO VODEN SIMULACIJSKI IN GAUSSOV REGRESIJSKI MODEL ZA DIAGNOZO STANJA HIDRAVLIČNE STISKALNICE

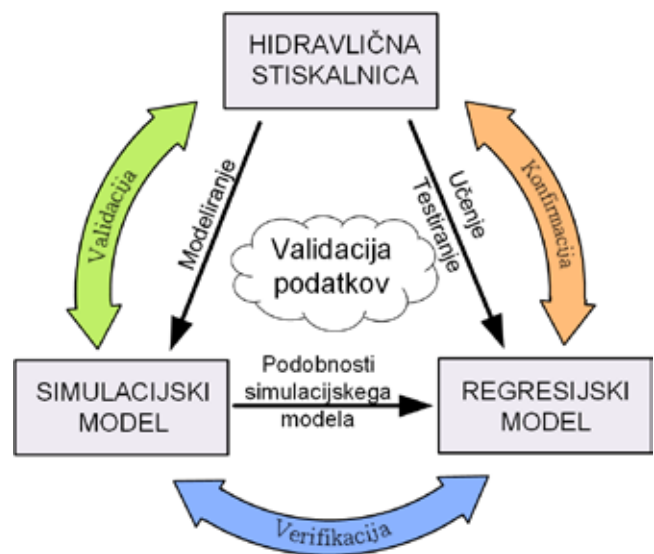
Raziskovalci laboratorija LASIM so izvedli študijo obnašanja hidravlične stiskalnice in pri tem uporabili napredne pristope simulacije in algoritmov na osnovi umetne inteligence. Na ta način so mogoči vrednotenje in validacija simulacijskih modelov hidravličnih sistemov in karakterizacija ključnih parametrov, ki vplivajo na spremembe obnašanja hidravlične stiskalnice. Rezultate raziskave so objavili v reviji *Advanced Engineering Informatics* (IF = 8.8).



**Slika 1:** Realno stanje hidravlične stiskalnice in shematski prikaz

Stabilnost in zanesljivost hidravličnih sistemov je odvisna od nelinearnih lastnosti hidravličnih komponent in od zunanjih okolijskih vplivov. Hidravlične stiskalnice pogosto uporabljamo za preoblikovalne procese, kjer deformacija preizkušanca tvori osno silo, ta pa vpliva na delovanje hidravličnega sistema, to je krmiljenje pozicije hidravličnega valja. Pogosto delovanje hidravlične stiskalnice povzroči spremembe v karakteristikah hidravličnih komponent kot npr. tornih razmer v hidravličnem cilindru ali vodilih hidravlične stiskalnice, obrabe ventila itd., kar predstavlja predmet študije. Število merilnikov, njihova postavitve in kvaliteta merilnega sistema določajo kakovost zajema ključnih in potrebnih informacij za zaznavanje sprememb odziva hidravlične stiskalnice pod različnimi pogoji.

V raziskavi so pokazali in potrdili, da je mogoče zaznati spremembe v delovanju hidravlične stiskal-



**Slika 2:** Sistematična validacija, verifikacija in konfirmacija modela

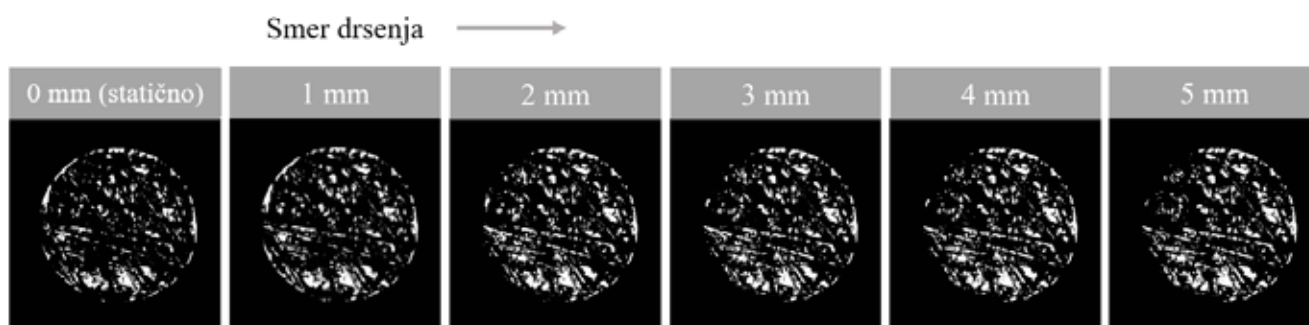
nice s pomočjo eksperimentalne, simulacijske in regresijske analize. Predstavili so metodo obdelave podatkov vzorčenja in normalizacije za izločitev najpomembnejših podatkov.

Simulacijski rezultati temeljijo na podobnosti eksperimentalnih rezultatov, saj v večini analiziranih primerov kažejo na enak trend obnašanja hidravlične stiskalnice. V rezultatih Gaussove regresijske analize so izpostavljene pomanjkljivosti primerjalne analize med virtualnim in realnim okoljem. Predstavljena je korelacijska podobnost merjenih parametrov in izzeti so merjeni parametri, ki tvorijo največjo vlogo pri razpoznavi različnih stanj hidravlične stiskalnice.

Celoten članek si lahko preberete na:

<https://doi.org/10.1016/j.aei.2023.102276>.

# IN-SITU RAZISKAVA RAZVOJA REALNE KONTAKTNE POVRŠINE MED DRSENJEM NA NIVOJU VRŠIČKOV Z UPOŠTEVANJEM UČINKOV HRAPAVOSTI IN NORMALNE OBREMENITVE



Razvoj realne kontaktne površine med drsenjem

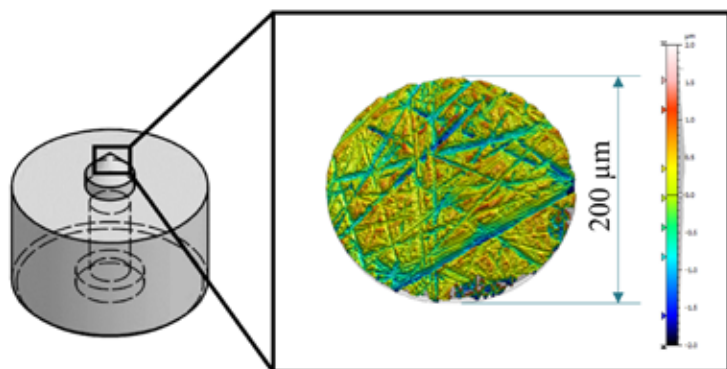
Raziskovalci Laboratorija za tribologijo in površinsko nanotehnologijo (TINT) so izvedli analizo razvoja realne kontaktne površine med drsenjem pri različnih obremenitvah in površinskih hrapavostih. Uporabili so lastno razvito optično preizkuševališče s submikrometrsko lateralno resolucijo analize vršičkov, kar je najbolj objavljeno v literaturi doslej. S tem so pridobili najbolj natančne podatke o realni kontaktni površini med drsenjem, kar jim je omogočilo primerjavo in validacijo enega temeljnih mehanizmov trenja, tj. Taborjevega modela rasti velikosti kontaktov vršičkov. Na osnovi teh ugotovitev v laboratoriju TINT že razvijajo tudi nove modele za določitev trenja v suhih kontaktih v odvisnosti od realne kontaktne površine.

Kontakti med površinami so pomembni za učinkovito načrtovanje in zagotavljanje dolge življenjske dobe strojnih delov. Ker so vse realne površine

hrapave, dejanski kontakt nastopi kot vsota vseh lokalnih mikrokontaktov med vršički hrapavosti na površinah, tj. na diskretnih točkah med površinami, kar je znano kot realna ali dejanska kontaktna površina. Realna kontaktna površina je vedno manjša od nominalne površine, kar lahko močno vpliva na izračune kontaktnih pogojev, kot so električna in toplotna prevodnost, kontaktni tlak, nosilnost itd. Ker je realna kontaktna površina »skrita« v kontaktu na nivoju le nekaj mikrometrov in je zelo odvisna od kontaktnih pogojev ter lastnosti materialov in površin, je ni enostavno izmeriti. To še posebej velja, če obravnavamo kontakte z relativnim gibanjem, kot so npr. drsni kontakti.

V literaturi je na voljo veliko poskusov vzpostavitve zanesljivega teoretičnega modela, ki bi omogočil napovedovanje realne kontaktne površine kot vhodnega podatka za načrtovanje kontaktov. Vendar pa še vedno ni dovolj podrobnih eksperimentalnih dokazov o razvoju realne kontaktne površine v kontaktu več vršičkov med drsenjem, ki bi jih lahko primerjali z modeli in tako zagotovili potrjen vpogled v dejansko vedenje kontaktov na mikronivoju, kjer vršički hrapavosti prenašajo večino obremenitve v kovinskih kontaktih. Poznavanje realne kontaktne površine pa je ključno za uspešno modeliranje tako obrabe kot trenja, kar ostaja pomemben izziv v tribologiji. Raziskovalci TINT so z objavljeno raziskavo pripomogli k novemu znanju na tej poti.

Celoten članek je dostopen na povezavi: <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2023.109171>.

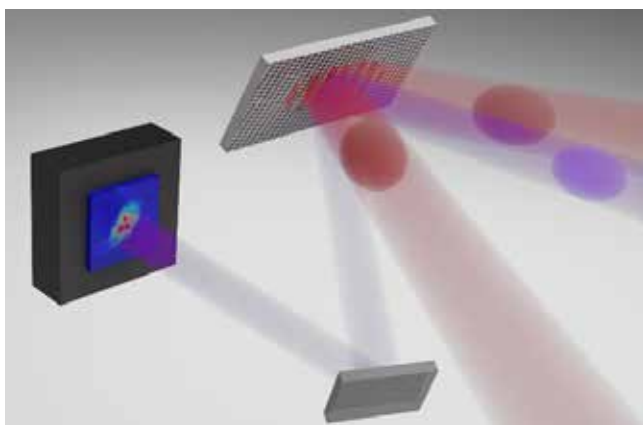


Shematski prikaz vzorca za analizo realne kontaktne površine med drsenjem



## PRVI SVETLOBNI MODULATOR ZA MEHKO RENTGENSKO SVETLOBO

Potem, ko smo pred desetimi leti prvi na svetu pokazali edinstveno lastnost materiala, danes predstavljamo prvi nastavljljiv svetlobni modulator, ki lahko deluje v ekstremnih ultravijoličnih in rentgenskih spektralnih območjih. Skupina fizikov Odseka za kompleksne snovi Instituta »Jožef Stefan« je skupaj s kolegi z objavo članka v reviji Nature Photonics najbolje strnila deset let raziskovanja in postavila nove temelje za novosti v tehnologiji, proizvodnji čipov in znanosti.



Novi modulator

Manipulacija z vidno svetlobo je zelo preprosta. Z optičnimi elementi, kot so ogledala ali leče, lahko krmilimo svetlobo po prostoru. Z različnimi barvnimi filtri lahko izbiramo, katere valovne dolžine svetlobe se prepuščajo ipd. Lahko imamo tudi nastavljive elemente, ki nam pomagajo oblikovati svetlobo na kakršen koli način in ustvariti kakršnokoli sliko, ki jo želimo – tako pravzaprav delujejo LCD-zasloni ali digitalni filmski projektorji: električno krmiljeni nizi filtrov pred žarnico se prilagodijo dovolj hitro, da prepuščajo le del svetlobe, kar ustvarja na platnu gladko spreminjajočo se sliko.

Situacija je zelo drugačna pri ekstremnih UV- in rentgenskih žarkih, kjer takšno razkošje nastavljljivosti ni na voljo. Odsotnost učinkovitih optičnih elementov, še posebej nastavljljivih, močno ovira razvoj kakršne koli tehnike, ki temelji na uporabi fotonov z visoko energijo.

Raziskovalci dr. Igor in Yevhenii Vaskivskiy, dr. Anže Mraz, dr. Rok Venturini, Gregor Jecl so pod vodstvom prof. dr. Dragana Mihailovića in v sodelovanju s kolegi iz Italije predstavili prvi ultrahiter nastavljljiv svetlobni modulator, ki deluje v ekstremnih ultravijoličnih in rentgenskih spektralnih območjih. Naprava temelji na fotoinduciranih faznih prehodih v tako imenovana skrita stanja v elektronskem kristalu 1T-TaS<sub>2</sub>. S prostorsko moduliranim svetlobnim žarkom na površini vzorca avtorji najprej vtisnejo periodično elektronsko strukturo, ki zaradi sočasne deformacije kristalne rešetke deluje kot uklonska mrežica za rentgenske žarke. Vtisnjena mrežica ne poškoduje kristala, a je kljub temu izjemno stabilna in ne potrebuje zunanega vira energije. Po drugi strani pa jo lahko zlahka izbrišemo ali spremenimo vzorec s ponovno osvetlitvijo.

S svojo zelo visoko učinkovitostjo, možnostjo programiranja in nastavljljivostjo v širokem razponu valovnih dolžin je nova vrsta svetlobnega modulatorja obetavna za široko paleto aplikacij. Na primer: do sedaj se rentgenska spektroskopija opira predvsem na razmeroma preproste optične postavitve. To je posledica zelo omejene izbire optičnih elementov, ki delujejo na ali za?? fotone z visoko energijo. Predlagana naprava omogoča prenos drugih tehnično zahtevnejših konfiguracij, ki se običajno uporabljajo z vidno ali infrardečo svetlobo, v rentgensko spektralno območje in preučevanje novih kompleksnih materialov. Še najbolj obetavna pa je uporaba pri izdelavi zahtevnih elektronskih čipov z nanometrskimi elementi.

Polona Strnad, Dr. Igor Vaskivskiy  
oba IJS, Ljubljana



# VIZIONARSKE SMERNICE TEHNOLOŠKEGA RAZVOJA ZA PRIHAJAJOČE INDUSTRIJE

Janez Škrlec

Prejšnje industrijske revolucije kažejo, da se proizvodni sistemi in strategije nenehno spreminjajo v smeri večje produktivnosti in učinkovitosti. Nova prihajajoča industrijska paradigma bo zahtevala novo standardizacijo in uvajanje novih tehnologij, ki potrebujejo lastno infrastrukturo in drugačen razvoj. Ta industrija bo prinesla velike izzive na področju medsebojnega delovanja človek-stroj (HMI), saj bo stroje zelo približala vsakdanjemu življenju vsakega človeka.

Danes je uporaba digitalnih tehnologij v industriji in podjetjih realnost. Večina naprednih podjetji veliko vlaga v digitalizacijo, hkrati pa že sledijo razvojnim usmeritvam in trendom, ki bodo nastali v postdigitalni dobi. Vedno pogosteje se izpostavljajo tako imenovane tehnologije DARQ, ki jih je Accenture, podjetje za strateško svetovanje na področju industrije in inovacij, razdelilo v štiri sklope, in sicer: tehnologije blokovnih verig (DLT), umetne inteligence (AI), razširjene resničnosti (XR) in kvantno računanje (Q). Te tehnologije bodo pomemben katalizator sprememb v svetu, v katerem vsaka industrija že ima velik arzenal digitalnih orodij. Tehnologije DARQ že danes močno vplivajo na različne panoge. Umetna inteligenca igra kritično vlogo pri optimizaciji procesov in vplivanju na strateško odločanje. Razširjena in obogatena resničnost ustvarja povsem nove načine, kako lahko ljudje doživljajo in se ukvarjajo s svetom okoli sebe. Tehnologije blokovnih verig so morda najbolj znane v kripto valutah, vendar že danes širijo omrežja in zmogljivosti na številna druga področja. Kvantno računalništvo je tehnologija DARQ, ki ostaja za enkrat bolj eksperimentalna, spodbudila pa bo nove načine in pristope ter reševanja najtežjih računskih nalog. Tehnologije DARQ bodo podprle vrhunske inovacije in priložnosti, ki bodo edinstveno povezane s prihajajočo postdigitalno dobo. Ameriška nacionalna znanstvena fundacija pa že na veliko izpostavlja tudi tehnologije NBIC (nano-bio-info-cogno). Ker živimo v dobi tehnološkega razvoja, je tehnološki razvoj prevzel vodilno vlogo pri znanstvenih raziskavah. Na podlagi povečanih tehnoloških zmogljivosti imajo obstoječe in nove znanstvene teorije zdaj več praktičnih uporab kot kdaj koli prej. Niso tudi zanemarljive napovedi,

da bo biodigitalna konvergenca več kot le tehnološka sprememba, saj bo spremenila ekonomske in trgovinske modele ter industrije.

## Kakšne značilnosti se pričakujejo v prihajajoči industrijski paradigmi?

Spreminjanje proizvodnega okolja, za katero so značilne agresivna konkurenca na svetovni ravni in hitre spremembe procesnih tehnologij, danes zahtevajo ustvarjanje novih proizvodnih sistemov, ki jih bo mogoče preprosto nadgraditi in v katere se lahko nove tehnologije in nove funkcije tudi zlahka integrirajo. Nova industrijska paradigma bo spremenila proizvodne sisteme po vsem svetu tako, da bo ljudem odvzela dolgočasne, ponavljajoče se naloge, kadar koli bo to le mogoče. Inteligentni roboti in sistemi bodo silovito prodri v proizvodne dobavne in prodajne verige. To bo omogočeno z uvedbo cenejših in zelo sposobnih robotov, sestavljenih iz naprednih materialov. Industrija bo povezana z močnejšimi procesi obdelave podatkov (tako imenovanimi velikimi podatkovnimi bazami in umetno inteligenco) in široko mrežo inteligentnih senzorjev. S tem se bosta povečali produktivnost in operativna učinkovitost. Zmanjšale se bodo delovne poškodbe in skrajšali časovni cikli proizvodnje. Veliko število delovnih mest bo ustvarjenih v okolju inteligentnih sistemov, na področjih robotike, vzdrževanja, usposabljanja, načrtovanja, preurejanja in izumljanja novih proizvodnih robotov. Vse to bo spodbudilo ustvarjalnost v delovnem procesu in inovativno uporabo različnih oblik robotov na delovnem mestu. Da bi se danes lahko proizvodna podjetja lahko hitro odzvala na povpraševanje kupcev in ostala konkurenčna, morajo uvajati nove vrste proizvodnih sistemov, (kot na primer, aditivna proizvodna s tako imenovanimi dodajalnimi tehnologijami). Današnji sistemi, tako imenovani FMS (Flexible Manufactu-

Janez Škrlec, inž., Uredništvo revije Ventil



Predstavitel projekta Hybrid Neuro na MOS 2023 (Foto: FERi UM)

ring Systems), žal nimajo takih značilnosti. Globalni svetovni trg tako zahteva spremembo proizvodnih sistemov ter stroškovno učinkovite proizvodne sisteme. Na te zahteve bi po mnenju mnogih lahko odgovorili z novim razvojnim konceptom BAS (Bionic Assembly System), ki temelji na konceptih avtonomije, sodelovanja in inteligence svojih enot. Sistem predlaga uporabo avtonomnih mobilnih robotov neposredno v proizvodnem okolju. Razvoj BAS rešuje pomanjkanje prilagodljivosti pri raznovrstnih izdelkih in njihovi uporabi, pomanjkanje fleksibilnosti pri zamenjavi opreme, upoštevajoč vse večjo kompleksnost proizvodnih sistemov. Glavni elementi predlaganega sistema so avtonomni mobilni roboti, ki morajo delovati samostojno, prilagodljivo in močno povezani med seboj in z okoljem. Bionski sistem sestavlja torej nov koncept samoreguliranja multirobotovskih sistemov. Ker se število mobilnih robotov v sistemu povečuje, načrtuje in nadzoruje, sistem postaja vse bolj kompleksen in zapleten. Načrtuje se, da se bodo v prihodnosti v proizvodnji zaposlovali strokovnjaki z visokimi znanji v razumevanju robotov in interakcije z njimi. Ti strokovnjaki se bodo imenovali *Chief Robotics Officer* (CRO) in bodo odgovorni za dodajanje in odstranjevanje robotov iz tovarniškega okolja oziroma procesa v luči doseganja optimalnih zmogljivosti in učinkovitosti. CRO bodo imeli znanje o robotiki, umetni inteligenci, modeliranju, človeških dejavnikih in medsebojnih odnosih človek-stroj.

## Nove razvojne smernice in vključevanje slovenskih strokovnjakov v EU projekte Obzorja 2020

Skupina *TechVision* ponuja nabor novih strateških storitev, ki so usmerjene v prihodnost in so povezane z novim pristopom ustvarjanja inovacij, tudi s pomočjo umetne inteligence, bioničnih razvojnih konceptov in z interaktivnim pristopom strokovnjakov za tehnologijo in industrijo. Njihove storitve opolnomočijo uporabnike širom po svetu z idejami in strategijami za izkoriščanje prebojnih tehnologij in inovacij za spodbujanje transformacijske rasti še zlasti njihovih organizacij. Pri nas v Sloveniji žal takšnih storitev praktično še ne poznamo. *Advanced Manufacturing TechVision Opportunity Engine* (TOE) tedensko pokriva globalne inovacije in razvoj v zvezi s proizvodnjo in industrijsko avtomatizacijo. Inovacije so osredotočene na izboljšanje sledljivosti izdelkov, energetske učinkovitosti in zmanjševanje okoljskih odtisov, vključevanje zasnove izdelkov in proizvodnih vidikov za skrajšanje časa do trženja. Področja, ki se osredotočajo na raziskave, so hitra izdelava prototipov (aditivna proizvodnja), lažji izdelki, izdelani z novimi materiali in bioničnim oblikovanjem (spojitev več materialov, proizvodnja plastike in kovin, proizvodnja kompozitov na osnovi ogljikovih vlaken in drugo, pametna robotika, humanoidni roboti, robotski humanoidi, koboti (kolaborativni roboti), spremljanje



in nadzor (brežžično krmiljenje), pametna omrežja, vmesniki človek-stroj, modeliranje (programska oprema za načrtovanje in oblikovanje). Danes se veliko govori in piše tudi o področju bioničnega inženiringa, ki intenzivno preučuje in razvija tehnološke sisteme na podlagi posnemanja funkcij živih organizmov. Biološke strukture, metode in sistemi se namreč vedno bolj uporabljajo pri načrtovanju inženirskih sistemov in sodobnih tehnologij ter ustvarjanja bioničnih algoritmov. Navdih za bionično inženirstvo prihaja predvsem iz dobrega opazovanja, da evolucijski pritiski prisilijo biološke organizme, da se prilagodijo in razvijejo strukture in procese, ki imajo optimalno učinkovitost za preživetje. Bionika kot interdisciplinarno področje združuje inženirstvo in znanost o življenju. Glede na izpostavljeni temo je potrebno omeniti tudi to, da so nekateri evropski projekti Obzorja 2020 (Horizon 2020) že usmerjeni v zgoraj opisane tehnološke smeri, tudi v smeri inovacij, ki bodo nastale s pomočjo bioničnega inženirstva.

Mogoče bi v zaključku še izpostavili projekt **HybridNeuro**, v katerem sodeluje tudi Slovenija, in sicer FERI Univerze v Mariboru, in združuje strokovno znanje vodilnih evropskih partnerjev na področju nevronskega vmesnika za vzpostavitev novih poti analize človeškega motoričnega sistema in človeških gibov ter prenos akademskih raziskav v klinično in industrijsko prakso. HybridNeuro je bil predstavljen tudi na 55. Mednarodnem sejmu obrti in podjetništva (MOS) v Celju. V okviru projekta in obogatene resničnosti je bil pod vodstvom prof. dr. Aleš Holobarja in sodelavcev predstavljen 3D-model človeškega telesa z notranjimi organi, mišicami, živčevjem in skeletnim sistemom. (Obogatena resničnost je interaktivna izkušnja, ki izboljša resnični svet z računalniško ustvarjenimi zaznavnimi informacijami). Virtualno človeško telo je imelo vgrajene bionične vsadke, kot so nevrostimulatorji za lajšanje motoričnih motenj, nizi elektrod za neinvazivno pridobivanje površinskih elektromiogramov in sistem za merjenje elektroencefalogramov. Obiskovalci so lahko uživali v pogledu na tridimenzionalno človeško telo skozi očala Microsoft Hololens in sodelovali z deli telesa v razširjeni resničnosti, da bi bolje raziskali njegovo notranjost in funkcionalnost bioničnih vsadkov in nizov elektrod. Poleg virtualnega človeškega telesa so v projektu predstavili elektrode za neinvazivno pridobivanje površinskih elektromiogramov in elektroencefalogramov ter različne aplikacije za snemanje elektromiogramov in elektroencefalogramov, od objektivnega merjenja rehabilitacije do lajšanja simptomov patološkega tremorja. Ta projekt je pomemben tudi za to, da se slovensko znanje prepozna v evropskih projektih in pri oblikovanju novih industrij in podpornih tehnologij za zdravstvo in medicino ter industrijo.

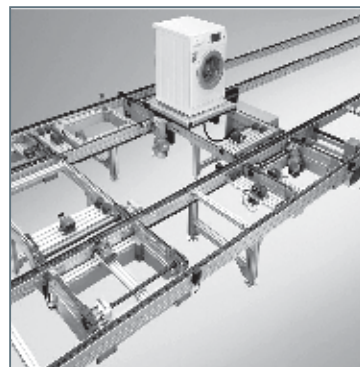
# Rexroth

## 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

# SMERNICE ZA KONSTRUIRANJE NESTANDARDNIH ČEPOV

Anže Čelik, Boris Jerman, Franc Majdič

## Izvleček:

Prispevek prikazuje in pojasnjuje eksperimentalne aktivnosti, izvedene z namenom vrednotenja mehanskega odziva nestandardnega čepa kot posledice različnih vrst obremenitev. Poglobljeno razumevanje mehanskega odziva pripomore k pravilni določitvi smernic za načrtovanje tovrstnih komponent.

V prvem koraku so bile izbrane različne velikosti obstoječih nestandardnih čepov (upoštevanje učinka velikosti). Izbrani so bili tudi različni materiali, in sicer z namenom analize vpliva vrste materiala. Za eksperimentalno vrednotenje (vgradnja merilnih lističev) in primerjave z numeričnim pristopom so bili čepi konstrukcijsko nekoliko spremenjeni.

Številne eksperimentalne aktivnosti so bile izvedene zaradi vrednotenja notranjih napetosti in spenjalnih sil (kot posledice zateznega momenta), kontaktnih sil in krmilnega tlaka, ki služi za aktivacijo bata itd. Analiza je razkrila številne podrobnosti glede mehanskega odziva čepa, ki prej niso bile poznane. Novo pridobljeno znanje tako pripomore k ustrežnejši postavitvi smernic za konstruiranje čepov.

## Ključne besede:

nestandardni čep, eksperimentalni pristop, spenjalna sila, zatezni moment, smernice za konstruiranje

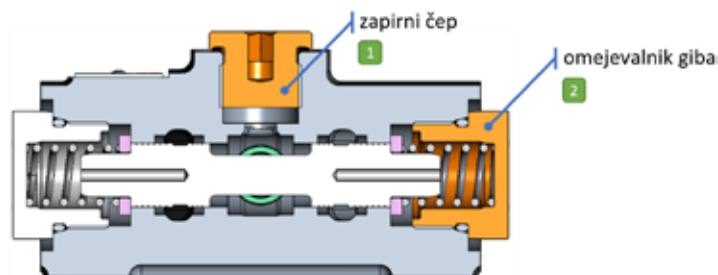
## 1 Splošno o hidravličnih čepih

Z vidika hidravlike se čepi večinoma uporabljajo za zapiranje tehnoloških izvrtin (t. i. zapirni čepi) in drugih pretočnih kanalov ter tako preprečujejo puščanje tekočine navzven. Med drugim se čepi uporabljajo tudi za omejevanje giba bata (t. i. omejevalniki giba). Za podrobnosti glej *sliko 1*.

Standardni čepi se navadno izberejo na osnovi ponudbe v katalogu dobavitelja (poz. 1 na *sliki 1*), nestandardni čepi pa so običajno plod lastnega razvoja (poz. 2 na *sliki 1*). Za slednje se v fazi razvoja večinoma uporablja teorija vijačnega spoja. Obstaja več različnih standardov (npr. ASTM, ISO, SAE ...) in smernic (npr. VDI 2230), ki podpirajo in vodijo konstrukterja med razvojem komponente ([1], [2], [3]).

### 1.1 Hidravlični čepi in njihova uporaba v podjetju

Standardni čepi se uporabljajo v številnih različnih hidravličnih komponentah (npr. hidravlični motorji, črpalke, ventili ...). Za zadovoljevanje proizvodnih



**Slika 1 :** Čepi v različnih funkcijah  
(Vir: Poclain Hydraulics)

potreb se uporabljajo različni dobavitelji čepov. Izbira standardnega čepa je relativno preprosta. Konstrukter ga izbere na podlagi kataloških podatkov dobavitelja (primer na *sliki 2*).

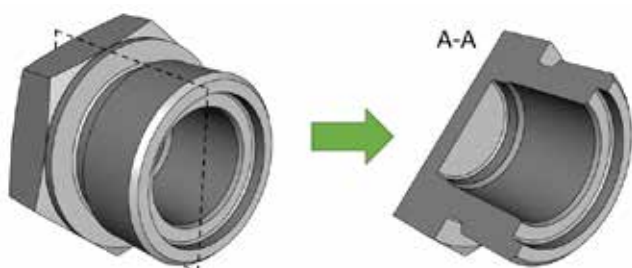
Glavni konstrukcijski parametri so sledeči: velikost čepa, delovni/nazivni tlak in površinska zaščita. Konstrukterju ni potrebno določiti oz. izbrati vrste materiala in izvesti končne validacije (če so obremenitve v predpisanem območju). To je odgovornost proizvajalca čepa.

Nestandardni čepi (*slika 3*) pa so povsem prilagojene konstrukcijske rešitve, ki jih načeloma ni možno kupiti na tržišču. Konstruiranje poteka z upoštevanjem prej omenjenih norm in smernic. Izpolnjevanje konstrukcijskih zahtev glede trajnosti, funkcionalnosti, zakonodaje in predpisov je torej povsem na strani razvojne ekipe podjetja. Konstrukter ima

**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

T1	D1	L1	L2	S1	Weight g/1 piece	Order code*	PN (bar) <sup>1)</sup>	
							CF	A3C
M8x1	12	13.0	9.5	4	6	VST18X1OR	630	630
M10x1	13	13.5	9.5	5	8	VST110X1OR	630	630
M12x1.5	17	16.0	11.0	6	14	VST112X1.5OR	630	630
M14x1.5	19	16.0	11.0	6	20	VST114X1.5OR	630	630
M16x1.5	21	17.5	12.5	8	26	VST116X1.5OR	630	630
M18x1.5	23	19.0	14.0	8	37	VST118X1.5OR	630	630

Slika 2 : Izbira čepa iz proizvajalčevega kataloga (Vir: [4])



Slika 3 : Tipičen primer nestandardnega čepa (Vir: Poclain Hydraulics)

sicer precej več svobode oblikovanja, a tudi veliko več odgovornosti, primerjajoč z uporabo standardnih čepov.

Nestandardni čepi so izdelani iz različnih, toda standardiziranih materialov različnih velikosti (npr. M8-M33), različnih vrst navojev (npr. metrični, UNF), različnih oblik tesnenja (npr. O-tesnilo, ED-tesnilo) in z različno površinsko zaščito (npr. cinkanje, barvanje). Za namene te raziskave so bile uporabljene naslednje velikosti čepov: M19x1, M27x1.5 in M33x2.

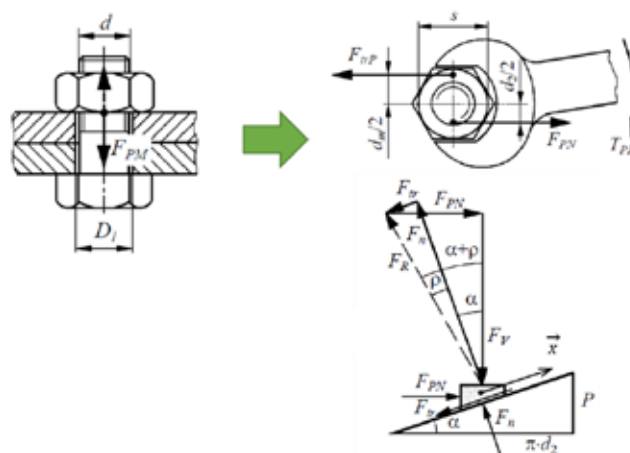
Material se običajno izbere glede na nivo obremenitve: za visoke obremenitve se uporablja predvsem 42CrMo4, za srednje pa se običajno izbere 11SMn30 ali ETG100. Omenjeni materiali so uporabljeni tudi za to študijo.

## 1.2 O konstrukcijski metodi

Nestandardni čepi so zasnovani v skladu s smernicami po VDI 2230 ter z nekaterimi spremembami

Tabela 1 : Različni primeri koeficientov trenja (Vir: [6])

Material	Koeficient trenja (brez dimenzijsko število)			
	suho		mazano	
	statični	dinamični	statični	dinamični
jeklo (mehko) / jeklo (trdo)	0,74	0,57	-	0,09-0,19
jeklo (trdo) / jeklo (trdo)	0,78	0,42	0,05-0,11	0,029-0,12
jeklo / cink (prevleka)	0,50	0,45	-	-



Slika 4 : Parametri za izračun sile prednapetja (faza privijanja) (Vir: [5])

in poenostavitvami za čep. Zaradi specifične geometrije čepa je izračun spenjalne sile  $F_{PM}$  poenostavljen:

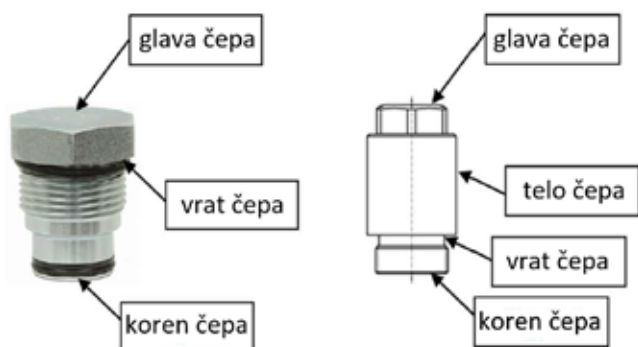
$$F_{PM} = \frac{T_{PR}}{\left\{ \frac{d_2}{2} \cdot \tan(\alpha + \rho) + \mu_P \cdot \frac{d_m}{2} \right\}} \quad (1)$$

kjer se parametri  $T_{PR}$ ,  $d_2$ ,  $\alpha$ ,  $\rho$ ,  $\mu_P$ ,  $d_m$  nanašajo na zatezni moment, premer navoja, kot navoja, torni kot, koeficient trenja pod glavo čepa (glej tabelo sl. 5) ter srednji premer navoja. Podrobnosti prikazuje slika 4.

Pomen oznak na sliki 4:  $F_{trP}$  je sila trenja naležne površine,  $F_{PN}$  je sila privijanja navoja,  $F_N$  je normalna sila,  $F_R$  je rezultanta sil,  $F_V$  pa je sila v vijaku.

Poleg geometrijskih parametrov, ki so odvisni od





Slika 5 : Dogovorno poimenovanje delov čepa (Vir: Poclain Hydraulics)

dejanske konstrukcije čepa, obstajajo tudi kontaktni parametri (koeficient trenja pod glavo čepa in med navoji). Na splošno niso znani, vendar pomembno vplivajo na izračun spenjalne sile. Za nekatere vnaprej določene pare materialov so podatki podani v ustreznih tabelah (primer tabela 1).

### 1.3 Dogovorno poimenovanje delov na čepu

V izogib zmedi in nepravilnemu razumevanju poimenovanja sestavnih delov čepa, so ti v nadaljevanju primerno označeni. Čep kot konstrukcijski element je mogoče razdeliti na različne geometrijske domene, in sicer: glava čepa, telo, vrat in koren čepa (slika 5).

Odvisno od nestandardne konstrukcije čepa njegovo telo v nekaterih primerih ni jasno prepoznavno. Za to študijo je izraz čep vedno mišljen kot hidravlični čep z navojem.

### 1.4 Obremenitve

Na čep kot navojno zvezo so uvedene sledeče obremenitve:

- ▶ spenjalna sila kot posledica zateznega momenta,
- ▶ (notranji) torzijski moment kot posledica (zunanjega) zateznega momenta,
- ▶ časovno spremenljiva kontaktna sila kot posledica omejitve giba bata med prekrmljenjem,
- ▶ sila tlaka kot posledica krmilnega tlaka.

Zgoraj omenjene obremenitve so bile uporabljene za potrebe eksperimentalnega, numeričnega in analitičnega pristopa.

## 2 Obseg raziskave

Cilj te raziskave je razviti metodo za hitro (tj. približno oz. okvirno) dimenzioniranje nestandardnih čepov. Metoda mora upoštevati statični izračun in

izračun z ozirom na utrujenost, ki sta podprta z razpoložljivimi standardi in smernicami. Razvojni ekipi v podjetju je potrebno zagotoviti metodo kot orodje, ki omogoča zanesljiv in enostaven pristop h konstruiranju.

V ta namen je potrebno izvesti poglobljeno analizo vpliva obremenitev s pripadajočimi induciranimi mehanskimi napetostmi in pomiki, slonečo na eksperimentalnem in/ali numeričnem pristopu.

## 3 Eksperimentalni pristop

Kljub večletnim izkušnjam konstruiranja čepov še vedno ostajajo nekateri fizikalni fenomeni, ki niso bili podrobno raziskani niti niso dostopni v javno objavljene literaturi. Na podlagi izkušenj obstoječa teorija vijčnih spojev precenjuje razmerje oz. povezavo med zateznim momentom in pripadajočo spenjalno silo v čepu. Posledično je konstrukcija čepa običajno predimenzionirana, in sicer z namenom, da bi zadostila teoretičnim in/ali numeričnim napovedim (npr. lokalne koncentracije napetosti).

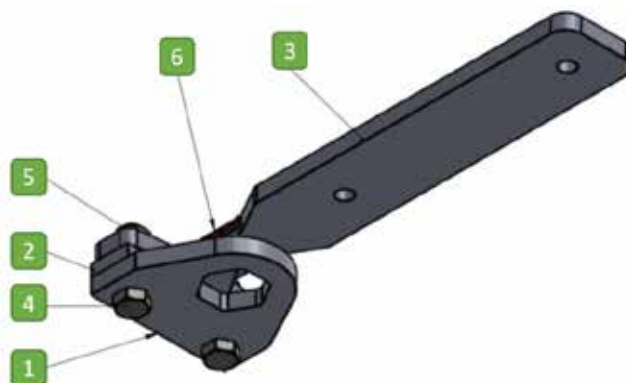
Zato je bilo vloženega veliko truda v ustrezno in natančno oceno mehanskega odziva čepa z ozirom na predpisane obremenitve. Izvedenih je bilo več različnih eksperimentov.

### 3.1 Merjenje spenjalne sile

Eden od nepoznanih konstrukcijskih parametrov je spenjalna sila. Pojavi se kot posledica uvedbe zateznega momenta na glavi čepa. Zatorej je za potrebe natančnega vrednotenja spenjalne sile bistvenega pomena pravilna in natančna izmera zateznega momenta.

#### 3.1.1 Konstrukcija momentnega ključa

Za pravilno in natančno izmero zateznega momenta je bilo skonstruirano namensko orodje (t. i.



Slika 6 : Namensko razvit momentni ključ (Vir: Poclain Hydraulics)



**Slika 7** : Merilni lističi na momentnem ključu (Vir: Po-clain Hydraulics)

momentni ključ). Merjenje zateznega momenta je mogoče na osnovi vgrajenih merilnih lističev. Za podrobnosti glej *sliki 6* in *7*.

Pozicije na *sliki 6* se nanašajo na: (1) modularni nastavki ključa, (2) distančnik, (3) vzvod, (4) pritrdilni vijak, (5) matica, (6) merilni lističi.

Merilni lističi so bili povezani v polno mostično vezavo, pri kateri sta dva merilnika napetosti obremenjena natezno, dva pa tlačno. Vsi senzorji so bili nadalje povezani s sistemom za zajemanje podatkov in merilno postajo (oboje proizvajalca National Instruments Corporation).

### 3.1.2 Modifikacija nestandardnega čepa

Zaradi pomanjkanja prostora za pritrditev merilnih lističev in dosego ustreznih jakosti izmerjenih signalov na merilnih lističih, so bili nestandardni čepi dodatno spremenjeni. Vrat čepa je bil podaljšan v aksialni smeri, da se pridobi prostor za merilne lističe (*slika 8 - levo*). Modificirani vratovi so bili pre-

kriti z distančniki, ki omogočajo zajem aksialnih sil, vključno s silo prednapetja.

Za zaščito senzorjev pred mehanskimi poškodbami so bili merilni lističi prekrti z namensko oblikovano silikonsko gumo (*slika 8 - desno*).

Ustrezne dimenzije spremenjenih čepov so bile pridobljene na osnovi številnih trdnostnih analiz po metodi končnih elementov (MKE), kjer so bila simulirana napetostno-deformacijska stanja čepov pri maksimalnih pričakovanih obremenitvah. Pri spremembi geometrije čepa je bila posebna pozornost namenjena temu, da konstrukcijske spremembe bistveno ne vplivajo na mehanske lastnosti spremenjenih konfiguracij čepov glede na izvirne.

### 3.1.3 Kalibracija merilnika sile

Za kalibracijo senzorja sile v čepu je bil zasnovan poseben sistem, ki omogoča simulacijo natezne aksialne sile v čepu (*slika 9*). Omenjeni sistem je sestavljen iz ročice oz. vzvoda in puše za pritrditev čepa.

*Slika 9a* prikazuje sistem za kalibracijo senzorja sile. Spremenjeni čep M33x2 z vstavljenno obremenitveno osjo in jekleno kroglico je prikazan na *sliki 9c*.

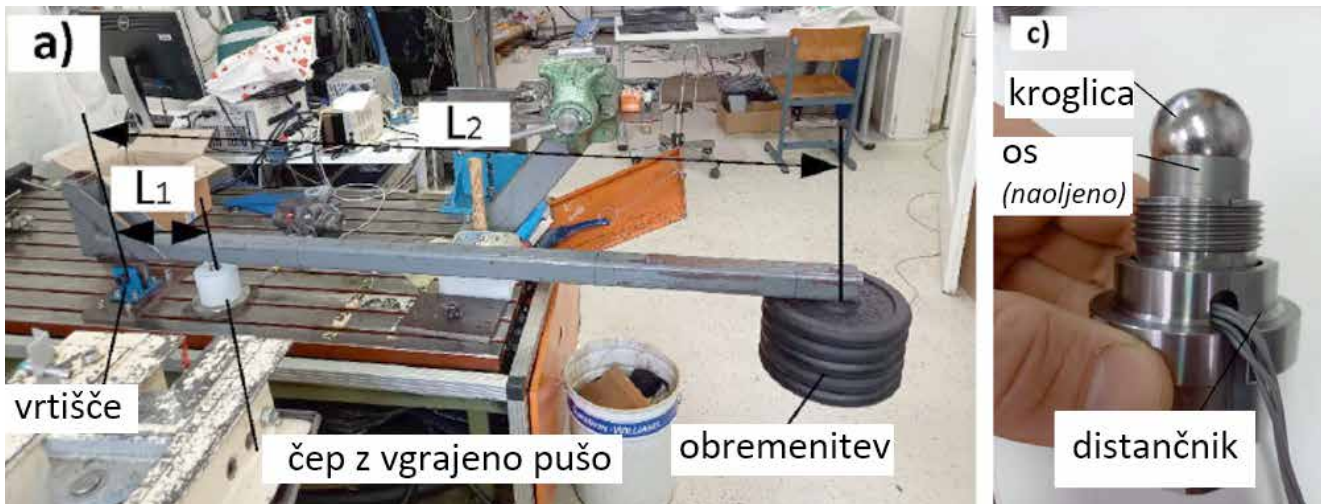
Ležajna kroglica omogoča pravilen prenos sile z ročice na obremenitveno os.

Primer kalibracije merilnika sile na čepu M33x2 je prikazan na *sliki 10*, vključno s pripadajočim približkom (t. i. trendna črta) in vrednostmi R-kvadrata, ki odražajo visoko stopnjo linearnosti (saj je vrednost  $R^2 \approx 1$ ).

Omenjeni koeficient ( $R^2$ ) se uporablja kot kazalnik ustreznosti uporabljene (linearne) regresije. V da-



**Slika 8** : Modificiran čep M33x2, opremljen z merilnimi lističi (Vir: Po-clain Hydraulics)



Slika 9 : Sistem za kalibracijo merilna sile (Vir: Poclain Hydraulics)

nem primeru je torej 99,97 % točk na grafu popisanih z linearno regresijo.

### 3.1.4 Karakteristika sile prednapetja

Slika 11 prikazuje silo prednapetja ( $F_{PM}$ ) v odvisnosti od zateznega momenta ( $T_{PR}$ ) na čepu M27x1,5, in sicer za več zaporednih meritev ter za mazan in suh kontakt. V primeru mazanega kontakta so bile izvedene štiri ponovitve, v primeru suhega kontakta pa tri.

Pomembna lastnost, ki jo je mogoče opaziti na sliki 11: majhna razlika v spenjalni sili za mazane in suhe (tj. nemazane) pogoje. To je bistvena razlika v primerjavi z rezultati enačbe (1), kjer se spenjalna sila bistveno spreminja s spreminjanjem tornih razmer v kontaktu.

Prav tako je smiselno omeniti, da se pri drugih dveh čepih (M19x1 in M33x2) opazi večji raztros rezultatov meritev (slednje niso zajete v tem članku). Ven-

dar je potrebno upoštevati, da evropski standard EN 13001 predpostavlja raztros sile prednapetja za  $\pm 23\%$ , kadar zategovanje poteka s predpisanim momentom ali kotom privijanja.

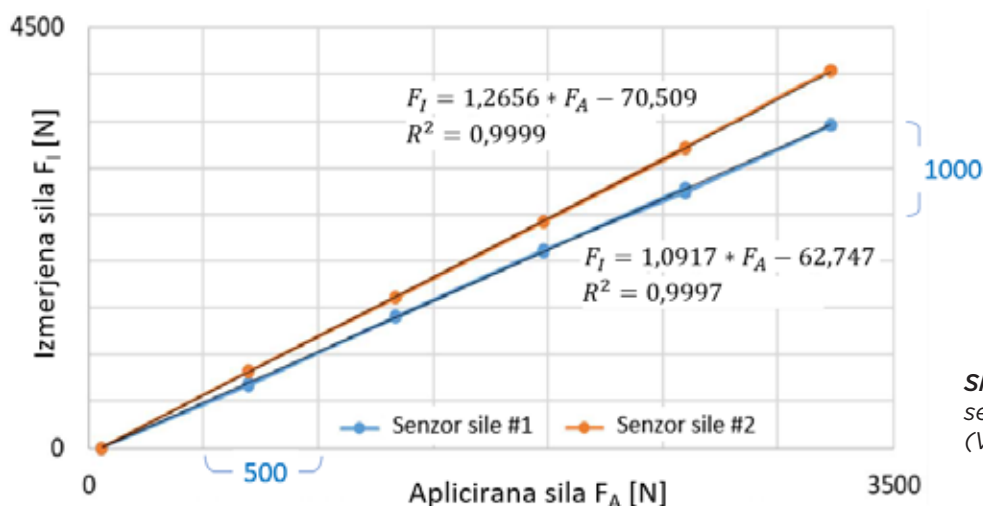
Mazani kontakt je bil vzpostavljen na osnovi nanosa hidravličnega olja na področje stičnih površin (navoji, glava čepa).

### 3.2 Merjenje kontaktne (dinamične) sile

Naslednji korak študije se nanaša na merjenje dinamičnih kontaktnih sil, ki delujejo na čep med gibom bata. Vrednotena sta bila dva scenarija: dinamična sila na glavi in v korenu čepa (slika 5).

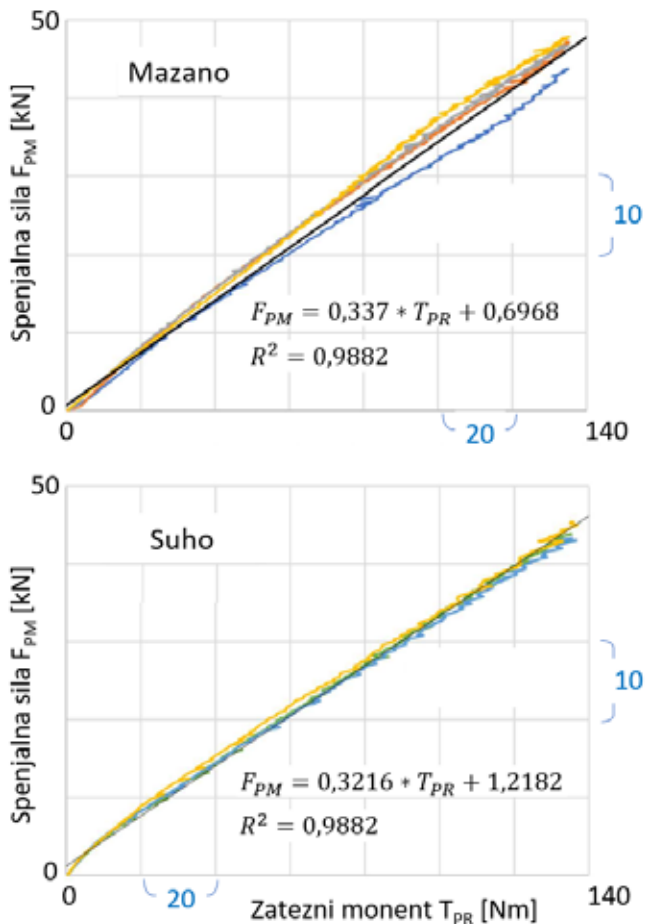
#### 3.2.1 O hidravličnem preizkuševališču

Sile, ki delujejo na čep, so bile izmerjene pri petih različnih pilotnih tlakih (20, 30, 40, 60 in 80 barov, dobljenih z nastavitvijo varnostnega ventila) in za dva primera povratnega tlaka: s povratnim tlakom



Slika 10 : Karakteristika senzora sile na čepu M33x2 (Vir: Poclain Hydraulics)





Slika 11 : Sile prednapetja na čepu M27x1,5 (Vir: Po-clain Hydraulics)

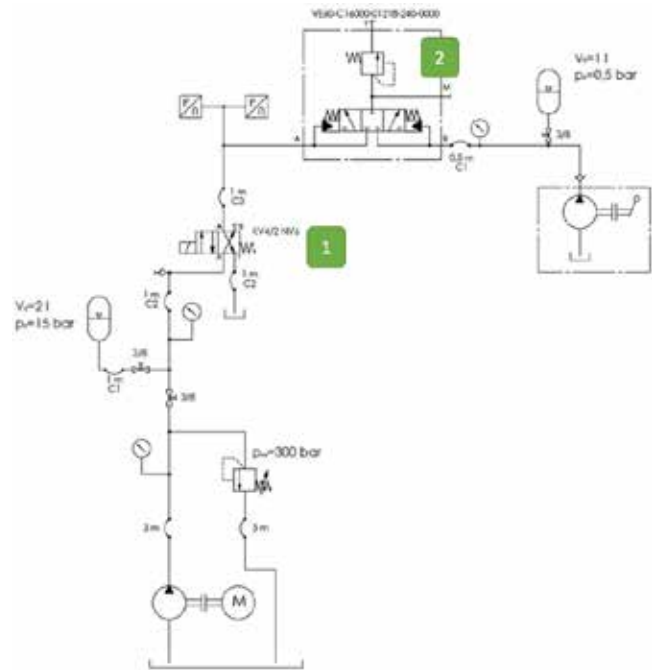
v vzmetni komori ali brez njega (v velikosti enega bara, slika 12).

Frekvenca vzorčenja za vse merjene količine je bila 10 kHz. Hidravlično olje, uporabljeno na preizkuševališču (slika 13), je ISO VG 46.

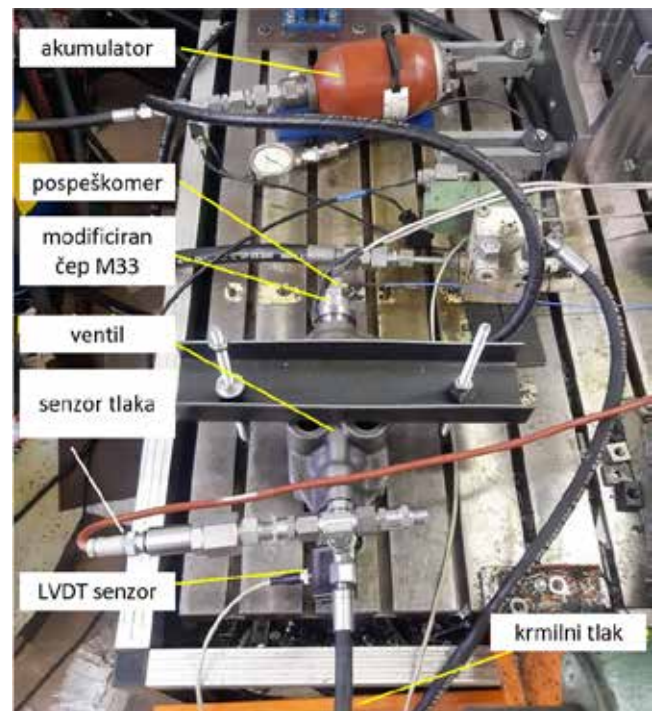
### 3.2.2 Dinamične sile na glavi čepa

Meritev kontaktnih sil na čepu je bila mogoča na osnovi vgraditve merilnih lističev. Slika 14 prikazuje pet zaporednih vklopov in izklopov potnega ventila (poz. 1, slika 12), ki krmili glavni ventil (poz. 2, slika 12). Med vsako aktivacijo se spenjalna sila v čepu poveča s statične vrednosti (tj. sila prednapetja) do najvišje vrednosti (kontakt bata) in se nato zmanjša na aktivirano statično vrednost (sila krmilnega tlaka) ter se končno vrne na svojo začetno statično vrednost (izklop potnega ventila). Med vsakim aktiviranjem ventila se sila v glavi čepa spremeni na podoben način.

Iz grafa na sliki 14 je mogoče opaziti različne prehodne pojave in na osnovi dobljenih vrednosti meritev je možno določiti nekatere pomembne faktorje. Eden od teh je faktor obremenitve  $\varphi$ . Z ozirom na smernice po VDI 2230 je delovna sila v prednapeti vijačni zvezi  $F_{SA}$  znižana za omenjeni faktor  $\varphi$  glede



Slika 12 : Shema (Vir: Po-clain Hydraulics)

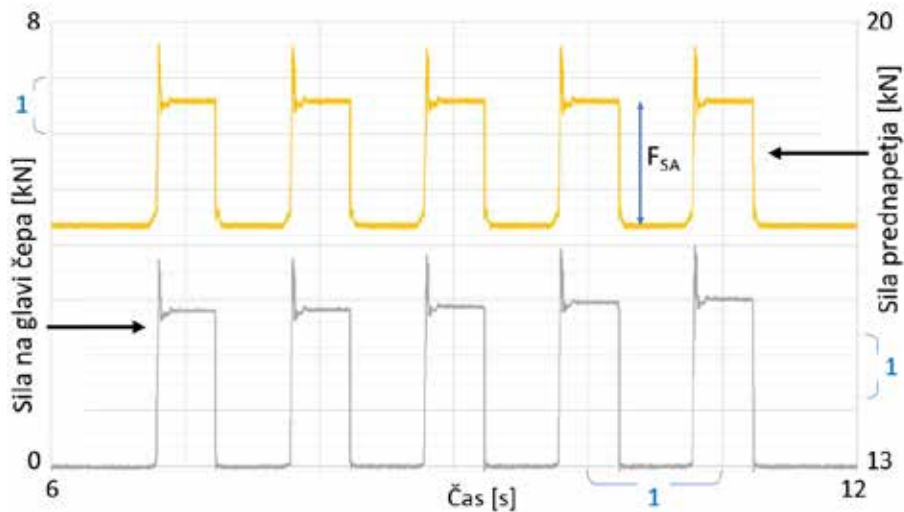


Slika 13 : Slika preizkuševališča (Vir: Po-clain Hydraulics)

na zunanjo obremenitev  $F_A$ . Relacija je sledeča:

$$F_{SA} = \varphi \cdot F_A \tag{2}$$

kjer se sila  $F_{SA}$  nanaša na razliko obremenjenosti vijačne zveze po aktivaciji in pred aktivacijo zunanje sile  $F_A$ . Slednja je dobljena kot produkt krmilnega tlaka in površine bata ter nato znižana za silo prednapetja vzmeti.



Slika 14 : Dinamične sile na glavi čepa M33x2 (Vir: Poclairn Hydraulics)

V danem primeru je faktor obremenitve  $\varphi$  izračunan sledeče:

$$\varphi = \frac{F_{SA}}{F_A} = 0,613 \quad (3)$$

Vrednost, dobljena z enačbo (3), se precej razlikuje od tipičnih vrednosti za vijalni spoj; te so običajno med 0,1 in 0,4.

### 3.2.3 Dinamične sile v korenu čepa

Podobno so bile detajlno preučene tudi dinamične sile v korenu čepa. V nadaljevanju rezultati niso podrobno predstavljeni.

Vendar so bili opaženi podobni trendi in podatki so bili prav tako obdelani na podoben način (glej *slika 15*). Očitno je, da so rezultati pri vseh zaporednih aktivacijah ventila približno enaki.

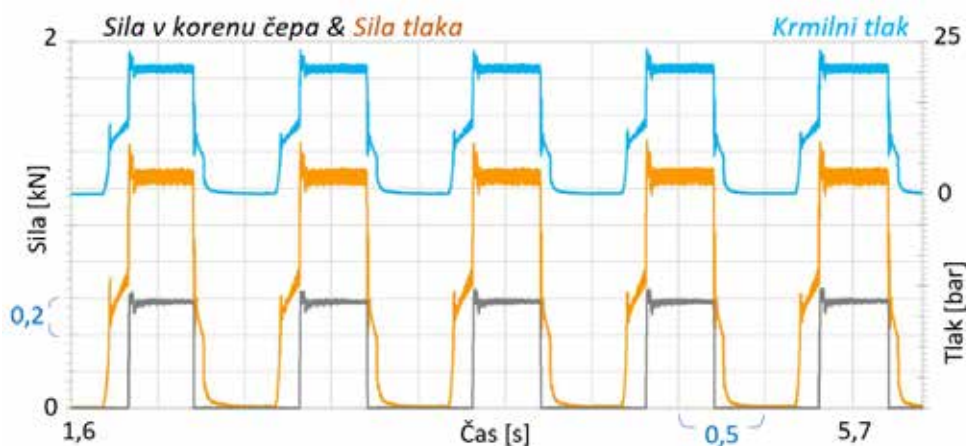
## 4 Zaključek

Cilj celotne raziskave je razviti konstrukcijsko metodo za hitro dimenzioniranje hidravličnih čepov. V prvem koraku so bile izvedene obsežne meritve na čepih velikosti M19x1, M27x1,5 in M33x2 (le del teh meritev je prikazan v tem članku).

Razvite in uporabljene so bile nekatere inovativne rešitve (npr. momentni ključ, spremembe konfiguracij čepov ...), ki omogočajo natančne in ponovljive meritve različnih spremenljivk.

Uporaba merilnih lističev omogoča merjenje sil, pomikov in napetosti na vratu, glavi in v korenu čepa. Ustrezen sistem zajemanja podatkov je omogočal natančno zajemanje prehodnih pojavov med fazo gibanja bata. To je obstoječemu znanju in izkušnjam razvojne skupine Poclairn prineslo nova spoznanja oz. dodano vrednost.

Rezultati teh aktivnosti bodo v nadaljevanju omogočili razvoj potrebnega orodja za konstruiranje.



Slika 15 : Dinamične sile v korenu čepa M33x2 (Vir: Poclairn Hydraulics)

## Reference

- [1] <https://www.boltscience.com/>, nazadnje ogledano 14. 1. 2024.
- [2] <https://www.bossard.com/global-en/assembly-technology-expert/expert-design/calculation-of-bolted-joint/>, nazadnje ogledano 26. 7. 2023.
- [3] <http://www.vdi2230.de/>, nazadnje ogledano 16. 1. 2024.
- [4] [https://www.parker.com/parkerimages/euro\\_tfd/cat/english/C150.PDF](https://www.parker.com/parkerimages/euro_tfd/cat/english/C150.PDF), nazadnje ogledano 26. 7. 2023.
- [5] <https://www.scribd.com/doc/257813953/6--Vijacne-zveze#>, nazadnje ogledano 26. 7. 2023.
- [6] Simcenter Amesim Help, rev. 2021.2 .

## Design guidelines for non-standard plugs

### Abstract:

The paper shows and explains mechanical response of non-standard plug as a consequence of different loading type. In-depth understanding of plug behavior helps to setup design guidelines for such components.

In the first step, different sizes of existing non-standard plugs have been selected in order to take into account the size effect. Then, three different materials have been selected in order to evaluate effect of plug material. For the purposes of experimental evaluation and comparison with numerical approach, selected plugs have been additionally modified to allow installation of strain gauges.

Numerous experimental activities have been performed with the aim to evaluate induced stresses and preload forces due to tightening torque, contact forces and piloting pressure due to spool shifting, etc. Tests have unrevealed several details regarding mechanical response on plug that have not been known previously. New obtained knowledge helps to define plug design guidelines more appropriately.

### Keywords:

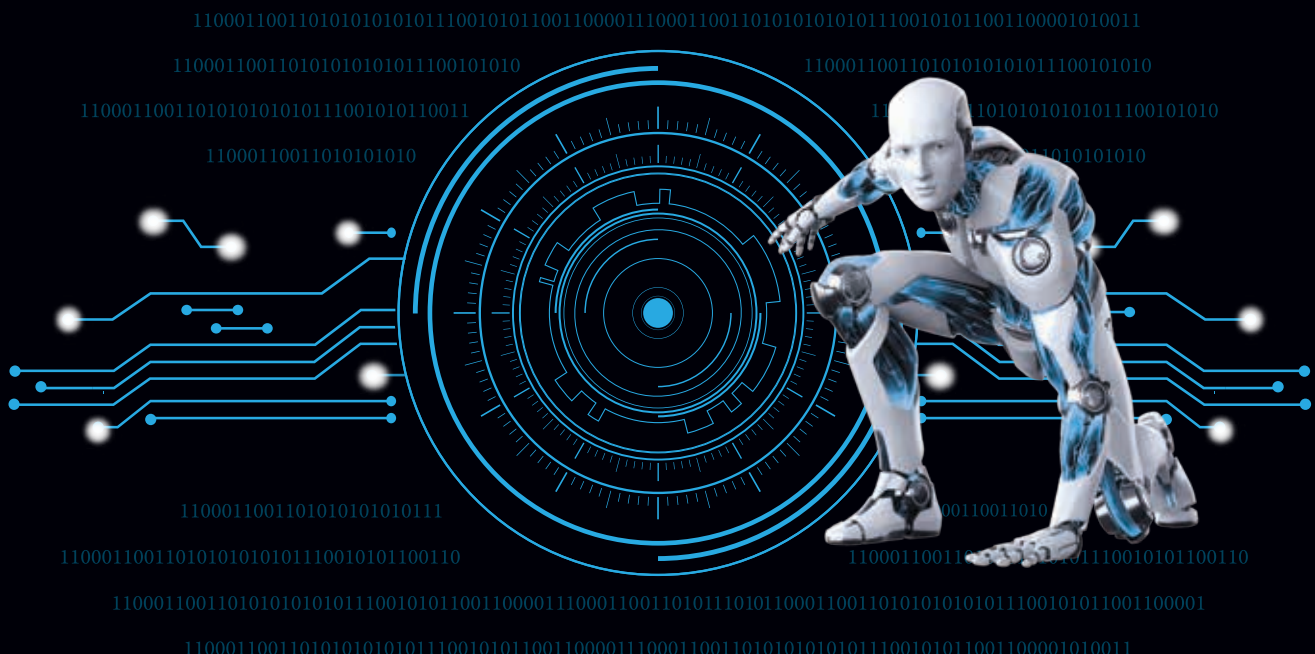
non-standard plug, experimental investigation, preload force, tightening torque, design guidelines

iCm

# IFAM-INTRONIKA-ROBOTICS

11.-13.2.2025

Ljubljana





# IZLOČANJE ZRAKA IZ RABLJENIH MINERALNIH HIDRAVLIČNIH OLJ

Milan Kambič, Darko Lovrec

## Izveček:

Prisotnost zraka v hidravličnem sistemu ali v sami hidravlični tekočini, bodisi v svoji osnovni obliki, npr. kot zračni žep ali mehurček, bodisi v obliki raztopljenega zraka povzroča veliko nevšečnosti. To se kaže v obliki neželenega delovanja hidravličnega sistema, ki povzroča pospešeno staranje tekočine, predvsem mineralnega olja.

Poleg ukrepov za preprečevanje vdora zraka v hidravlični sistem je pomembno poznati tudi nagnjenost vsake vrste hidravličnega olja k penjenju in njegovo sposobnost izločanja zraka. Razprava o lastnostih mineralnega olja glede izločanja zraka se običajno nanaša na različne vrste svežih hidravličnih olj. Kako se ta lastnost odraža in spreminja v primeru že uporabljenih in kemično degradiranih hidravličnih olj, obravnavamo v tem prispevku.

## Ključne besede:

hidravlično olje, izločanje zraka, rabljena olja, testiranje, rezultati

## 1 Uvod

Zrak v hidravlični tekočini je v svoji elementarni obliki kot zračni žepi ali zračni mehurčki vsekakor zelo nezaželen, nadležen in agresiven onesnaževalec, ki povzroča celo vrsto nevšečnosti. Z mehanskega vidika povzroča povečano stisljivost in preveč elastično delovanje hidravličnega sistema, s kemičnega vidika pa hitrejše staranje hidravličnega olja.

Poleg povečane stisljivosti tekočine in posledičnega vpliva na togost hidravličnih komponent in celotnega sistema, počasnejših reakcijskih časov ter pojava nihanja v sistemu v mehanskem smislu zrak povzroča celo vrsto drugih nevšečnosti, npr. zaradi nepopolne napolnjenosti komore črpalke vpliva tudi na zmanjšanje dejanskega pretoka črpalke in s tem nižji volumetrični izkoristek, povečano segrevanje črpalke in hrup, pojav kavitacije in s tem povezano obrabo materiala, slabši mazalni učinek tekočine in zmanjšano nosilnost mazalnega filma, dizelski učinek, poškodbe tesnil in gladkih površin itd. Poleg tega zrak negativno vpliva tudi na pospešeno oksidacijo (staranje), npr. v hidravličnih siste-

mih, kjer povzroča nastanek usedlin v rezervoarju in na komponentah (mulj in lak).

Glede na celotno paleto negativnih vplivov je zrak v hidravličnem sistemu nezaželen in se obravnava kot zelo »agresiven« onesnaževalec ter preprečuje in zmanjšuje njegova prisotnost v hidravličnem sistemu. Zato ga je treba odstraniti in zagotoviti, da na različne načine ne pride v hidravlični sistem.

V literaturi najdemo celo vrsto različnih nasvetov in priporočenih ukrepov za preprečevanje vdora zraka v hidravlični sistem ali za nastajanje zraka v samem sistemu. Pravilna zasnova oblike in notranjosti rezervoarja in skrb za brezhibno tesnjenje hidravličnih priključkov je vsekakor en sklop ukrepov. Drugi sklop ukrepov se nanaša na možnosti izločanja zraka. V zvezi s tem so vsekakor potrebni skrbno odzračevanje sistema ob prvem zagonu hidravličnega sistema ter ukrepi za učinkovito odpravo zračnih mehurčkov. Če pa so se zračni mehurčki že pojavili v sistemu, npr. v rezervoarju, jim moramo na kakršen koli način preprečiti dostop do sesalnega priključka črpalke.

Ko govorimo o zraku v hidravličnem sistemu, ne smemo misliti samo na zrak v njegovi elementarni obliki, na zračne mehurčke. Pomisliti moramo tudi na nezanemarljiv delež kemično raztopljenega zraka v olju, ki se pod določenimi pogoji lahko sprosti iz olja in se pojavi v svoji elementarni obliki kot zračni mehurček.

Precej manj se omenja kemično vezan, raztopljen zrak v sami hidravlični tekočini in njegov negativni

**Dr. Milan Kambič**, univ. dipl. inž., Olma, d. o. o., Ljubljana; **Prof. dr. Darko Lovrec**, univ. dipl. inž., Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo

Prispevek je bil v originalni obliki, v angleškem jeziku, predstavljen na mednarodni konferenci Fluidna tehnika/Fluid Power 2023.

učinek, čeprav vemo, da je v mineralnem hidravličnem olju od 7 % do 9 % ali celo nekaj več odstotkov raztopljenega zraka. Raztopljenega zraka s prostim očesom ne vidimo. Ker ni prisoten in viden v svoji elementarni obliki kot zračni mehurček, neposredno v tej obliki ne povzroča omenjenih škodljivih učinkov. Zato je v tej obliki drugotnega pomena in vpliva na delovanje naprave in stanje olja. Razmere se spremenijo, ko zaradi spremembe tlaka ta v lokalnem delu hidravličnega sistema pade pod vrednost parnega tlaka (določen podtlak) in se raztopljeni zrak sprosti kot zračni mehurček.

## 2 Mehanizem sproščanja zračnih mehurčkov

Prisotnost zraka v različnih oblikah in v tekočinah je že dolgo predmet številnih raziskav. Enako velja za študije, povezane s poznavanjem fizikalnega ozadja nastajanja in izločanja zraka ter vpliva na delovanje hidravličnega sistema. Ugotovitve so povzeli številni avtorji. ([1] do [11])

Ko se pojavijo zračni mehurčki, jih moramo, ne glede na vzrok njihovega izvora, čim hitreje odstraniti iz hidravličnega sistema. Učinkovitost odstranjevanja zračnih mehurčkov je odvisna od številnih dejavnikov: od oblike in dimenzij rezervoarja, od pogojev pretoka v rezervoarju, od načina vračanja hidravlične tekočine nazaj v rezervoar, od pogojev delovanja v hidravličnem sistemu, npr. delovne temperature, pa tudi od vrste vgrajene hidravlične tekočine, največkrat mineralnega hidravličnega olja.

Ob tem ne smemo pozabiti na prisotnost drugih onesnaževalcev, kot so voda in trdni onesnaževalci, ter na stopnjo razgradnje tekočine, kar vse dodatno vpliva na učinkovitost izločanja zraka.

### 2.1 Topnost plinov v olju

Kot je bilo rečeno, je pomemben delež raztopljenega zraka. Na splošno lahko mazalna olja, vključno s hidravličnimi olji, raztopijo znatne količine plinov (tukaj zraka). Poleg vrste baznega olja je količina bistveno odvisna od tlaka in temperature. Stopnja rafiniranosti mineralnega olja, viskoznost in prisotnost aditivov nimajo izrazitega vpliva na topnost v zraku. Za prostornino raztopljenega plina za volumen enega ml velja Henry-Daltonov zakon:

$$V_{plin} = \alpha_V \frac{V_{olja} p_2}{p_1} \quad [ml] \quad (1)$$

Preglednica 1 podaja približne vrednosti raztopljenega zraka v odstotkih, značilne za različna mazalna olja pri normalnih pogojih (20 °C in 1013 mbar). [6]

**Preglednica 1 :** Raztopljeni zrak v mineralnem olju

Vrsta tekočine	Bunsenov koeficient
Mineralno olje	0,07 do 0,09
Silikonsko olje	0,15 do 0,25
Fosfatni ester	0,09
Rastlinsko (bio)olje	0,09
Voda	0,0187

Vrednosti, navedene v *preglednici 1*, kažejo, da je prostorninska vsebnost zraka v mineralnih hidravličnih oljih med 7 % in 9 %. Bunsenov koeficient podaja prostorninsko razmerje med količino plina, raztopljenega v tekočini pri normalnih pogojih, in prostornino tekočine. Raztapljanje zračnih mehurčkov ob povečanju tlaka zahteva določen čas. Za mineralna olja z nizko viskoznostjo (10 mm<sup>2</sup>/s pri 40 °C) in 20 bar znaša to približno 20 s. Olje z višjo viskoznostjo, 40 mm<sup>2</sup>/s pri 40 °C, potrebuje približno 60 s. [6] Z naraščanjem tlaka se topnost zraka v mineralnem olju povečuje po zakonu Henryja Daltona.

Za proizvode iz mineralnih olj je mogoče izračunati topnost različnih plinov po metodi ASTM D 2779. Treba je poznati le vrednost gostote olja in vrsto raztopljenega plina.

Standard ASTM D 3827 določa metodo izračuna, ki ne velja samo za izdelke iz mineralnih olj, ampak tudi za druge organske tekočine (sintetična olja). Izločanje zračnih mehurčkov pri znižanju tlaka poteka veliko hitreje kot absorpcija plina pri povečanju tlaka.

Topnost zraka se zmanjšuje z večanjem viskoznosti baznega olja, to je z naraščanjem povprečne molekulske mase, kar prikazuje *preglednica 2*. [12]

**Preglednica 2 :** Raztopljeni zrak v mazalnem olju

Poprečna molekulska masa [g/mol]	Volumski delež zraka [%]
670	7,83
610	7,92
570	8,43
530	8,78
400	9,03

Opomba: Gostota in molekulska masa kemikalije sta med seboj premo sorazmerni, gostota in prostornina kemikalije pa obratno sorazmerni. Ko se molekulska masa kemikalije poveča, se poveča gostota kemikalije.

## 2.2 Fino porazdeljen zrak v mazalnem olju

Poleg raztopljenega zraka lahko mazalna olja absorbirajo dodatno količino zraka, ki se med delovanjem fino porazdeli kot disperzna faza. To porazdelitev zraka v olju pogosto imenujemo aeroemulzija, zračna emulzija ali tudi sferična pena. Disperzije zraka v olju so skoraj v vseh primerih pri delovanju hidravličnih sistemov nezaželene, saj iz prisotnosti prostega zraka izhajajo številne (že omenjene) slabosti. [13], [14], [15]

Zrak, razpršen v olju, vodi do povečanja viskoznosti, ki jo je mogoče oceniti z naslednjo aproksimacijsko enačbo ([16]):

$$\eta_{\text{zrak}} = \eta_{\text{olja}} + \eta_{\text{olja}} \cdot 0,0015 \cdot X \quad (2)$$

Enačba kaže, da 10-odstotna prostorninska vsebnost zraka v olju povzroči približno 15-odstotkov višjo viskoznost.

Porazdelitev neraztopljenega zraka v mazivu lahko zmanjšamo z že omenjenimi konstrukcijskimi ukrepi in/ali s sestavo olja. Konstrukcijske možnosti vključujejo naslednje ukrepe, od katerih so bili nekateri že omenjeni: nizko obtočno število zaradi velike količine olja, nizka višina rezervoarja za olje, velike razdalje med vstopno točko olja v rezervoarju in sesalnem vodom, naprave za izpust zraka, pritrditev sesalnega cevododa čim nižje pod površino in izogibanje ostrim zavojem v sistemu.

Materialni dejavniki hidravličnega olja, ki igrajo pomembno vlogo pri izločanju zraka, so: stopnja rafinacije mineralnega olja, viskoznost in prisotnost nekaterih aktivnih sestavin, npr. prisotnost vode, produktov staranja olja in tudi stopnja čistosti olja.

Vsi ti dejavniki vplivajo tudi na hitrost in učinkovitost odstranjevanja zračnih mehurčkov iz tekočine.

## 2.3 Mehanizem sproščanja zraka

Teoretični čas dviganja zračnega mehurčka v čistem olju na mineralni osnovi je mogoče izračunati z dobrim približkom z uporabo Stokesovega zakona. Sorazmeren je s kinematično viskoznostjo tekočine in obratno sorazmeren s kvadratom premera mehurčka. Sila vzgona zračnega mehurčka je izražena kot [11]:

$$F_{\text{vzgon}} = \frac{4}{3} \pi (\rho_{\text{tekočina}} - \rho_{\text{zrak}}) r^3 g \quad [\text{N}] \quad (3)$$

Upoštevanje sile upora pri gibanju sferičnih teles po Stokesu za zelo majhna Reynoldsova števila:

$$F_{\text{upor}} = 6 \pi \eta v r \quad [\text{N}] \quad (4)$$

privede do izraza za hitrost dviga zračnega mehurčka:

$$v = \frac{2}{9} (\rho_{\text{tekočina}} - \rho_{\text{zrak}}) \frac{r^3 g}{\eta} \quad [\text{m/s}] \quad (5)$$

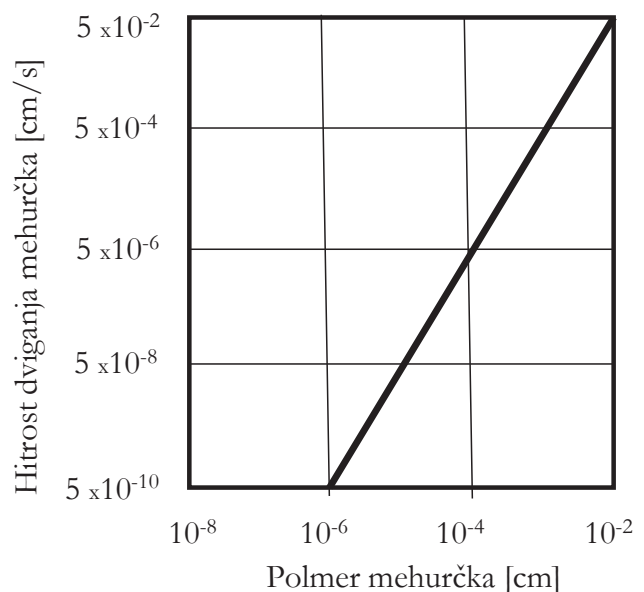
Tu v enačbah (3), (4) in (5)  $r$  predstavlja polmer mehurčka,  $\rho_{\text{tekočina}}$  gostoto tekočine in  $\rho_{\text{zrak}}$  gostoto zraka.

Po raziskavi Haywarda [16] je najpogostejši premer mehurčkov od 0,25 mm do 0,5 mm. Delovna viskoznost za večino industrijske hidravlike je med 20 mm<sup>2</sup>/s in 30 mm<sup>2</sup>/s. Glede na to je čas, potreben, da se mehurček dvigne za meter v mirnem olju, teoretično v povprečju približno 6 do 9 minut. Ker je viskoznost hidravlične tekočine zelo odvisna od temperature, se zračni mehurčki zaradi nižje viskoznosti dvignejo hitreje pri višjih temperaturah. Dejanski čas vzpona je bistveno daljši, odvisno od vrste olja, nečistoč/kontaminantov in vsebnosti vode, zato je treba to dejstvo v zadostni meri upoštevati pri načrtovanju rezervoarja za olje.

Na podlagi Stokesove enačbe je razvidno, da se hitrost dviganja mehurčkov zmanjšuje, ko mehurčki postajajo manjši, kar prikazuje *slika 1*.

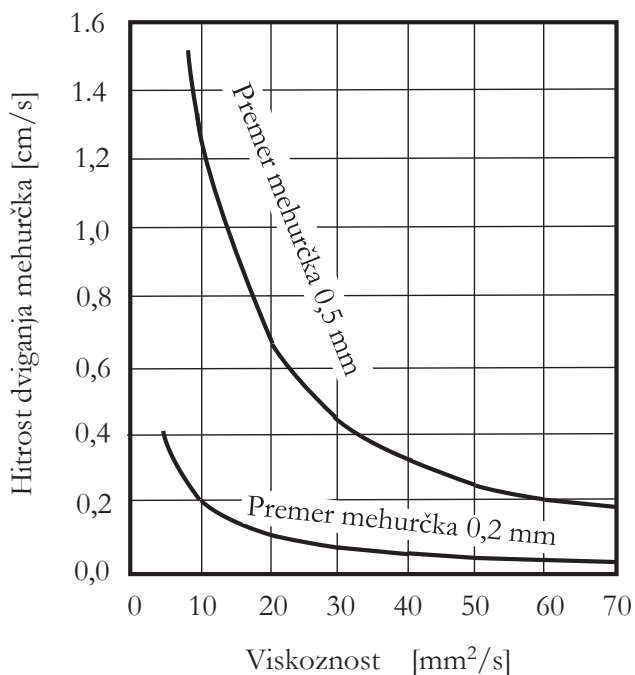
Sposobnost tekočine, da izloči razpršene zračne mehurčke, imenujemo sposobnost izločanja zraka - LAV (pogosto uporabljena okrajšava LAV izvira iz nemškega jezika: Luftabscheidevermögen). Poleg okrajšave LAV se za isti namen pogosto uporablja tudi okrajšava ARV - Air release value.

Na sposobnost izločanja zraka iz mineralnih olj vplivajo viskoznost, temperatura in prisotnost aditivov. Glede na Stokesov zakon je pri višji viskoznosti iz-



**Slika 1** : Hitrost dviganja zračnih mehurčkov v odvisnosti od njihovega polmera





**Slika 2 :** Teoretična hitrost dviganja zračnih mehurčkov različnih premerov, odvisno od viskoznosti olja

ločanje zraka počasnejše. Splošnega razmerja, ki velja za vsa bazna olja, ni mogoče podati, ker imajo glede na izvor in postopek rafiniranja različno medfazno napetost in s tem različno velikost mehurčkov, kar prikazuje *slika 2*.

Na vrednost viskoznosti močno vpliva temperatura olja. Ko se temperatura poveča in posledično viskoznost zmanjša, se izločanje zraka izboljša.

Vse učinkovine, ki zmanjšujejo površinsko napetost tekočine, negativno vplivajo na sposobnost izločanja zraka. Prav tako vse spojine, ki lahko tvorijo

**Preglednica 3 :** Lastnosti izločanja zraka različnih olj [19]

Vrsta olja	Razred viskoznosti	Minut do 0,2 % vol. zraka	
		25 °C	50 °C
A Hidravlično	ISO 32	-	3
B Turbinsko	ISO 32	4	2
C Hidravlično	ISO 46	-	6
D Turbinsko	ISO 46	7	3
E Turbinsko	-	10	5
F E + 1,0 % olja J		10	5
G E + 0,5 % vode		56	-
H Hidravlično	ISO 100	-	13
I Turbinsko	ISO 100	14	6
J MIL-L-2104B dizel	SAE 30	77	-
K J + 0,5 % vode		115	-

t. i. nukleacijska jedra v teoriji negativno vplivajo na sposobnost izločanja zraka. Ali lahko ta vpliv pri inhibitorjih oksidacije, korozije in pri detergentih zanemarimo, ker je njihov prispevek zanemarljiv, ali pa ga ne smemo, bi bilo potrebno za vsako vrsto navedenega aditiva preveriti z eksperimentom.

### 3 Metoda merjenja izločanja zraka različnih hidravličnih tekočin

Standardizirana metoda za določanje sposobnosti izločanja zraka (LAV) je tako imenovana Impingerjeva metoda po standardu DIN 51381. V ta namen pri določeni temperaturi sedem minut vpihujemo zrak skozi kapilaro v olje v plinski pralni jeklenki (impinger). Izločanje razpršenega zraka spremljamo s hidrostatično tehtnico, z merjenjem gostote, dokler ne dosežemo vrednosti vzorca brez zračnih mehurčkov. LAV je podan v minutah za čas, po katerem olje še vedno vsebuje 0,2 % prostornine razpršenega zraka.

Za določanje penjenja, vsebnosti zraka in njegovega izločanja obstaja več standardnih in nestandardnih metod, ki so si bolj ali manj podobne (glej [17]). Danes je najbolj razširjena metoda določanja LAV po standardu ASTM D 3427-19. Preizkusni postopek se izvaja pri standardiziranem nizu preskusnih pogojev in tako omogoča primerjavo sposobnosti olj za ločevanje vnesenega zraka v pogojih, kjer je na voljo čas ločevanja. [18]

V skladu s standardom ASTM D 3427-19 se čas, ki je potreben, da tekočina sprosti vsebovani zrak, meri pri različnih temperaturah, pri 25 °C, 50 °C in 75 °C. Za praktila je zagotovo najbolj zanimiva izvedba testa pri 50 °C, ki velja za priporočeno delovno temperaturo, pri kateri hidravlična naprava tudi večino časa deluje.

Odvisno od sestave hidravlične tekočine, tako glede baznega olja kot paketa aditivov, ki jih vsebuje, se lahko lastnosti izločanja zraka bistveno razlikujejo. *Preglednica 3* prikazuje razpon vrednosti časa izločanja zraka, povezanih z različnimi vrstami mineralnega olja. [19], [20]

Ko gre za zračne mehurčke v olju, se rezultati običajno nanašajo na sveža hidravlična olja ali druge vrste hidravličnih tekočin. Ni pa skoraj nikjer natančno navedena ali pa je le izjemoma navedena mejna vrednost za hitrost izločanja zračnih mehurčkov v različno degradiranih rabljenih oljih.

### 4 Lastnosti izločanja zraka rabljenih mineralnih hidravličnih olj

Res je, da sta izločanje zraka različnih vrst in sestav svežega olja nedvomno pomembna, vendar imamo

v večini industrijskih hidravličnih sistemov veliko večjo količino rabljenega kot pa svežega olja. Prav tako ni nobenega zagotovila, da bo učinkovito izločanje zraka iz svežega olja zagotovilo tudi učinkovito izločanje zraka iz rabljenega olja. Že zaradi tega je smiselno iskati korelacije med različnimi stopnjami degradiranosti olja in spremembami fizikalno-kemijskih lastnosti olja ter sposobnostjo izločanja zraka. Sposobnost izločanja zraka bi morda lahko bila eden od parametrov, na podlagi katerega bi presodili primernost olja za nadaljnjo uporabo.

Na sposobnost izločanja zraka in nagnjenost k penjenju negativno vplivajo onesnaževalci, kot so delci in voda, pa tudi produkti staranja, npr. povečanje viskoznosti zaradi oksidacije olja in porabe aditivov. Prav tako mešanje različnih vrst olj vpliva na sposobnost izločanja zraka in nagnjenost k penjenju, npr. zaradi vnosa nezdružljivih aditivov. Onesnaževalci lahko izvirajo iz zunanjih in notranjih virov. Primeri zunanjih virov so lahko druge vrste olja, druge tekočine, npr. voda in umazanija. Prisotnost vode lahko zmanjša viskoznost, saj ta delno emulgira. *Preglednica 3* vključuje nekaj primerov škodljivega vpliva majhnih količin vode na izločanje zraka.

Prav tako produkti procesa toplotne razgradnje ali staranja olja povzročijo spremembo viskoznosti in gostote. Enako velja za kisle produkte oksidacije, ki posledično vodijo do sprememb LAV. [19]

### 4.1 Izločanje zraka iz pospešeno starih olj

Za ugotavljanje sprememb fizikalno-kemijskih lastnosti različno degradiranih mineralnih hidravličnih olj smo uporabili lastno razvit postopek za pospešeno toplotno degradacijo olja, tako imenovani suhi toplotni test. Test je podoben testu TOST, kjer je pri

povišani temperaturi (150 °C) prisotnost bakra in kisika v zraku v vlogi katalizatorjev oziroma pospeševalcev razgradnje olja povzročila hitrejšo razgradnjo olja. Več podrobnosti o postopku in izvedbi testa najdete v [21]. Toplotna obremenitev vzorca je trajala določeno število ur, nato pa so bile izmerjene vse tiste fizikalno-kemijske lastnosti, ki so običajno spremenjene zaradi razgradnje in lahko vplivajo tudi na LAV. Rezultati so povzeti v *preglednici 4*. Za preizkus smo uporabili mineralno hidravlično olje vrste HL in viskoznoznostnega razreda ISO VG 46.

*Preglednica 4* jasno prikazuje tiste fizikalno-kemijske parametre in njihove vrednosti, ki so v ospredju obravnave – LAV in penjenje. Naraščajoče vrednosti za viskoznost, nevtralizacijsko število, oksidacijo, FT-IR ter tudi vrednosti za barvo in električno prevodnost jasno kažejo stopnjo razgradnje olja kot posledico toplotne obremenitve pod vplivom pospeševalcev procesa staranja.

Iz rezultatov je razvidno in zanimivo, da se po pospešenem toplotnem staranju olja vrednost LAV skorajda ni spremenila (majhna nihanja vrednosti so možna posledica natančne ocene določitve konca testa – razlika v časih znaša 6 %). Načeloma spremembe LAV sovpadajo s spremembami gostote, ki se je minimalno spremenila. Vendar pa se je viskoznost staranega olja močno spremenila, penjenje olja pa se je zelo povečalo.

Ker je bilo v tem primeru uporabljeno pospešeno toplotno staranje olja, pri katerem ni bilo zaznati omembe vrednih sprememb LAV, je vsekakor smiselno preveriti, ali se podoben vzorec sprememb pojavlja tudi pri »naravno« starih oljih – po določenem času delovanja. Treba je opozoriti, da so ure pospešenega procesa toplotne razgradnje enakovredne nekaj mesecem ali celo letom naravno staranega olja.

**Preglednica 4** : Rezultati analize vzorcev po določenem številu ur pospešenega staranja

Hidravlično olje HL ISO VG 46	HL 0	HL 40	HL 60	HL 110
Čas trajanja testa [h]	0	40	60	110
Barva [-]	2,0	6,0	> 8,0	> 8,0
Gostota pri 20 °C [kg/m <sup>3</sup> ]	876	876	877	879
Viskoznost pri 40 °C [mm <sup>2</sup> /s]	46,45	48,35	49,30	62,18
Viskoznost pri 100 °C [mm <sup>2</sup> /s]	6,91	7,06	7,18	8,08
Nevtralizacijsko št. [mg KOH/g]	0,54	0,65	0,72	1,9
Oksidacija FT-IR [-]	0,31	0,43	0,64	2,30
LAV pri 50 °C [min]	5,7	6,1	5,8	6,1
Penjenje – Sekvenca I [ml/ml]	0/0	20/0	0/0	610/0
Penjenje – Sekvenca II [ml/ml]	30/0	20/0	10/0	30/0
Penjenje – Sekvenca III [ml/ml]	0/0	0/10	0/0	570/50
Električna prevodnost [pS/m]	607	853	1121	9219

**Preglednica 5** : Primerjava viskoznosti, penjenja in sposobnosti izločanja zraka naravno staranih hidravličnih olj

Vzorec	Hidravlično olje ISO VG 46						
	Datum	9. 2022	11. 2022	1. 2023	3. 2023	2. 2023	7. 2023
Gostota pri 20 °C [kg/m <sup>3</sup> ]	871	871	871	871	871	871	871
Viskoznost-40 °C [mm <sup>2</sup> /s]	45,76	46,43	46,48	46,60	46,31	46,59	46,59
Viskoznost-100 °C [mm <sup>2</sup> /s]	7,199	6,859	6,886	6,963	6,939	6,976	6,976
LAV pri 50 °C [min]	6,3	4,8	4,7	5,4	4,4	4,4	4,4
Penjenje-Sek. I [ml/ml]	0/0	0/0	0/0	0/0	190/0	430/0	430/0
Penjenje-Sek. II [ml/ml]	70/0	20/0	40/0	50/0	30/0	30/0	30/0
Penjenje-Sek. III [ml/ml]	20/0	20/0	0/0	270/0	30/0	480/0	480/0

## 4.2 Izločanje zraka naravno staranih olj

Podobne spremembe veličin, navedenih v prejšnjem poglavju, lahko pričakujemo tudi pri naravno staranem olju na pravi hidravlični napravi, le da je čas nastanka spremembe bistveno daljši (nekaj deset dni ali celo mesecev).

Spremljanje stanja fizikalno-kemijskih parametrov hidravličnih olj v industrijski uporabi se praviloma izvaja v določenih časovnih intervalih, običajno na dva meseca. V tem primeru izvajalec testiranja običajno ne pozna dejanskega števila obratovalnih ur v tem obdobju, zato lahko pride do odstopanj ali manj verodostojnih rezultatov. Na interpretacijo rezultatov vplivajo tudi obratovalni pogoji, kot je npr. temperatura okolja, vlažnost okolja ali kaj drugega.

V *preglednici 5* so prikazani le nekateri parametri sicer širokega nabora celovite analize za primer naravno staranega olja in dvomesečni interval vzorčenja za obdobje osmih mesecev. V ospredju sta vrednosti LAV in penjenja. Kot olje je bilo uporabljeno mineralno hidravlično olje ISO VG 46.

Tudi pri naravno staranem olju se je izkazalo, da se vrednost LAV spreminja zelo malo, penjenje pa veliko bolj. Izločanje zraka je veliko bolj odvisno od vrste tekočine, osnovnih fizikalno-kemijskih vrednosti, kot sta gostota in viskoznost, ter tudi od vrste aditivov.

## 6 Zaključek

Na delovanje hidravličnega sistema zagotovo vplivajo vrsta vgrajene tekočine in njene osnovne lastnosti, kot so gostota in viskoznost, temperaturno obnašanje, vrsta baznega olja in aditivov, prisotnost zraka in možnost, da se ta sprosti. Kot je znano, zrak v hidravlični tekočini povzroča celo vrsto negativnih učinkov, od neposrednega vpliva na dinamično obnašanje sistema do posrednega vpliva na hitrejšo staranje tekočine, na primer hidravličnega olja na mineralni osnovi. Iz tega razloga je sposobnost

tekočine, da kar najhitreje odstrani zrak iz sistema, ena od pomembnih lastnosti, ki ni dovolj podrobno opisana. Slednjo lastnost ugotavljamo s standardnim testom za določanje hitrosti izločanja zraka.

V prispevku so predstavljeni mehanizmi, ki vplivajo na sproščanje zraka, in povzeti nekateri izsledki prejšnjih študij. Običajno te ugotovitve veljajo za neuporabljene, sveža hidravlična olja. V nadaljevanju prispevka smo se osredotočili na sposobnost izločanja zraka iz rabljenih, že delno degradiranih hidravličnih olj. Rezultati, povezani z učinkovitostjo izločanja zraka in pojavom penjenja, so prikazani za dva primera: za primer pospešeno toplotno degradiranega olja in za primer naravno degradiranega olja v realnih industrijskih obratovalnih pogojih.

Tako pri olju s pospešenim staranjem kot pri naravno staranem olju iste vrste je bilo ugotovljeno, da se hitrost izločanja zraka zelo malo spremeni, peni pa se veliko bolj. Na podlagi tega lahko sklepamo, da ima veliko večji vpliv na hitrost izločanja zraka vrsta tekočine, predvsem njena gostota in viskoznost ter vrsta baznega olja.

## Viri

- [1] Hayward, A. T. J. (1961). Aeration in Hydraulic Systems - It's Assessment and Control, Proc. Inst. Mech. Eng. Conf. Oil Hydraulic Power and Control, Instn. Mech. Engrs., 216-224.
- [2] Hayward, A. T. J. (1963). How to keep Air Out of Hydraulic Circuits. A publication of the National Engineering Laboratory, East Kilbride, Glasgow.
- [3] Magorien, V. G. (1968). How Hydraulic Fluids Generate Air. Hydraulics & Pneumatics, 104-108.
- [4] Fowle, T. I. (1981). Aeration in Lubrication Oils, Tribol. Int., 14, 151-157
- [5] Staeck, D. (1983). Gases in Hydraulic Oils. Tribologie & Schmierungstechnik, Vol 34, No. 4, 201-207.



- [6] Hamann, P. W., Menzel, O., Schroeder, H. (1978). Gase in Ölen. Fluid, 12, Nr 9, 24-28.
- [7] Claxton P.D. (1972). Aeration of Petroleum Based Steam Turbine Oils. Tribology, February, 8-13.
- [8] Tsuji, S., Katakura, H. (1978). A Fundamental Study of Aeration in Oil 2nd Report. The Effects of the Diffusion of Air on the Diameter Change of a Small Bubble Rising in a Hydraulic Oil, Bulletin of the JSME, 21 (156), 1015-1021, <https://doi.org/10.1299/jsme1958.21.1015>.
- [9] Blok, P. (1995). The Management of Oil Contamination, Koppen & Lethem, Aandriftechnieck B.V. Neederland, ISBN: 9090084584.
- [10] Suzuki, R. (2019). Removing Entrained Air in Hydraulic Fluids and Lubrication Oils. Machinery Lubrication, Noria Corporation, [www.machinerylubrication.com/Read/373/entrained-air-oil-hydraulic](http://www.machinerylubrication.com/Read/373/entrained-air-oil-hydraulic)
- [11] Möller, U. W., Nassar, J. (2002). Schmierstoffe im Betrieb, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, ISBN 978-3-642-62620-3, pages 873.
- [12] Hörner, D. (1980). Luft-Aufnahme und-Abgabeverhalten (LAAV) von Getriebeölen und Hydraulikflüssigkeiten. Mineralöltech 25 Nr. 6: 1-23.
- [13] Hofer K. (1978). Luft im Öl. Betriebstech. 16 Nr 11: 29-30.
- [14] Magorien, V. G. (1980). Keeping air out of hydraulic systems. Mach. Design. 52 Nr 18: 71-76.
- [15] Fowle, T. J. (1981). Aeration in lubricating oils. Tribology Int. 9 Nr 6. 151-15.
- [16] Hayward, A. T. J. (1962). The viscosity of bubbly oil. J. Inst. Pet. 48 Nr 461, 156-164-
- [17] Totten, G. E., De Negri, V. J. (2011). Handbook of Hydraulic Fluid Technology, CRC Press; 2nd edition, 982 pages.
- [18] ASTM D3427-19. (2020). Standard Test Method for Air Release Properties of Hydrocarbon Based Oils, ASTM International, West Conshohocken, PA, last Updated: Jan 22, 2020.
- [19] Phillips, W. D. (2006). The high-temperature degradation of hydraulic oils and fluids, Journal of Synthetic Lubrication, 23: 39-70, Published online in Wiley Interspine, doi: 10.1002/jsl.11.
- [20] Jackson, T. L. (1981). Hydraulic oil blackening. Proc. 6th Int. Fluid Power Symp. Cambridge, April, Paper B1.
- [21] Tič, V., Lovrec, D. (2017). On-line condition monitoring and evaluation of remaining useful lifetimes for mineral hydraulic and turbine oils. 1st ed. University of Maribor Press, ISBN 978-961-286-130-8. doi: 10.18690/978-961-286-130-8.

### Air release of used hydraulic mineral-based oils

#### Abstract:

The presence of air in the hydraulic system or in the hydraulic fluid itself, either in its elementary form e.g., as an air pocket or bubble, or in the form of dissolved air, causes much inconvenience. This is manifested in the form of unwanted operation of the hydraulic system, causing accelerated ageing of the fluid, especially mineral oil.

Apart from knowing the measures to prevent air intrusion into the hydraulic system, it is also important to know the tendency of each type of hydraulic oil to foam and its air release property. A discussion of the air release property of mineral oil usually refers to different types of fresh hydraulic oils. How this property is reflected and changes in the case of already used and chemically degraded hydraulic oils is discussed in the present paper.

#### Keywords:

hydraulic oil, air release, used oils, test, results

POSVET

# AVTOMATIZACIJA STREGE IN MONTAŽE 2024 - ASM '24

05. decembra 2024  
na Gospodarski zbornici Slovenije v Ljubljani

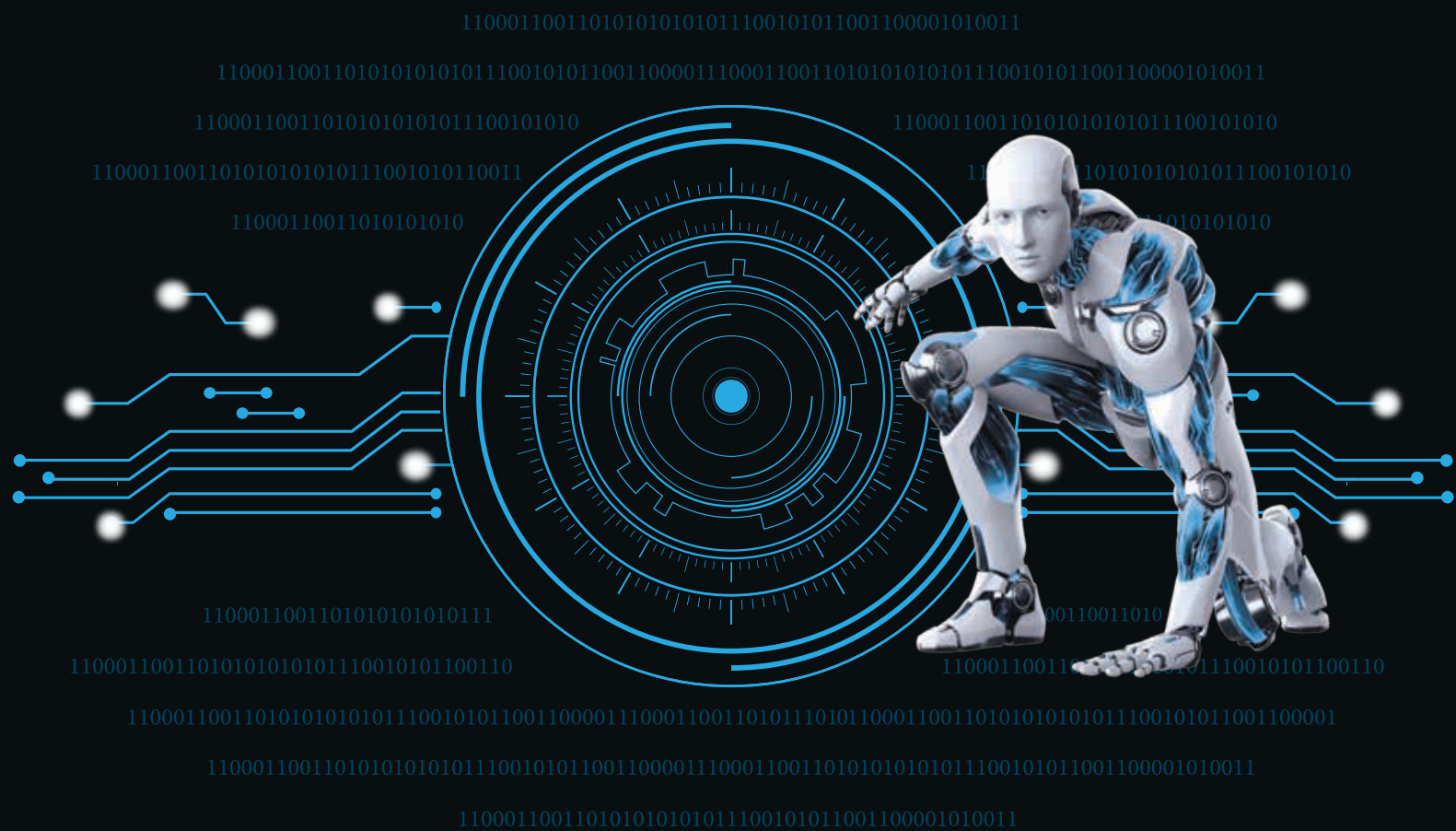
aktualne novice o posvetu so na voljo na [www.posvet-asm.si](http://www.posvet-asm.si)



# IFAM-INTRONIKA-ROBOTICS

11.-13. 2. 2025

Ljubljana



# VZDRŽEVANJE HIDRAVLIČNIH NAPRAV – 14. DEL

Franc Majdič

V 13. delu Vzdrževanja hidravličnih naprav smo predstavili kako ovrednotiti servisno hidravlično podjetje. Preden se odločite, ali boste za popravilo vaše hidravlične naprave izbrali dobavitelja stroja, proizvajalca hidravličnih komponent ali pa neodvisen servis, se najprej pozanimajte o njihovih zmožnostih in referencah. Poleg osnovnih pogojev, kot so čisto in suho okolje, je pomembno, da ima izbrani serviser tudi ustrezne izkušnje in servisno ter merilno opremo. V drugem delu zadnjega prispevka smo bralce seznanili z možnimi prevarami posameznih serviserjev pri popravilu vaše hidravlične opreme.

V 14. delu o vzdrževanju hidravličnih naprav bomo diskutirali o »vzdrževalnih nakupih« hidravličnih komponent, različnosti cen, zamenljivosti ter nedostopnosti in/ali prikriivanju tehničnih podatkov komponent. Rezervni deli so vsakdanji »pojem« – izraz v vzdrževalnih delovnih okoljih. Ob tem se srečujemo tudi z možnostmi ali celo nujnostjo manjših (ali tudi večjih) sprememb projektov hidravličnih naprav.

Uvodoma pa želimo najprej opozoriti, ko beremo ta zapis, da se zavedamo, ali gre za vzdrževalne zamenjave razmeroma enostavnih komponent (hidravlični cilindri, enostavni ventili, zobniške črpalke, ...) ali za zelo zahtevne komponente (regulacijske črpalke, proporcionalni in servoventili, zahtevni filtri z visoko in »selektivno« izločljivostjo ...). Zapis v tem članku načelno velja tudi za tovrstne komponente, vendar je potreben pristop z visokim nivojem specialnega znanja.

## Kako kupiti hidravlične rezervne dele po najnižji možni ceni

Najprej bosta predstavljena nakup in obnova hidravličnih komponent, ki lahko precej znižata strošek popravila hidravlične naprave. Pogosto se bo zgodilo, da obnova nedelujoče komponente ne bo mogoča ali ekonomsko upravičena in jo bo zato treba nadomestiti z novo. Pri nakupu nove komponente vedno gledamo na najnižjo možno ceno. Razložili bomo, kako deluje hidravlična industrija in kako uporabiti te informacije, da privarčujete pri nakupu novih komponent ali njihovih rezervnih delov.

## Dobaviteljske poti hidravličnih komponent in kako jih zaobiti

Medtem ko nekateri proizvajalci hidravličnih komponent prodajajo neposredno končnim kupcem, drugi prodajajo preko proizvajalcev hidravličnih strojev ali preko trgovin s hidravličnimi deli. Ko potrebujete nadomestno hidravlično komponento, to lahko kupite od distributerja strojev ali pa od trgovine s hidravličnimi komponentami.

Običajno dobite boljšo ceno hidravličnih komponent, če jih kupite v trgovini s hidravlično opremo

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

različnih proizvajalcev. Vedno pa to ni tako preprosto, ker proizvajalci strojev skušajo nadzirati prodajne verige hidravličnih komponent, ki so sestavni deli njihovih strojev. To je najpogosteje pri serijsko izdelanih strojih. Proizvajalci strojev se zavedajo, da končni kupec ne sme ugotoviti proizvajalca in vrste vgrajene hidravlične opreme, ker lahko izgubijo del zaslužka.

Da bi se proizvajalci strojev zavarovali pred možnostjo odkritja proizvajalca vgrajene hidravlične opreme, to sami označijo s svojimi tablicami in svojimi – nerazumljivimi – oznakami. Če želite dobiti najbolj ugodno ceno vgrajene hidravlične opreme, morate odkriti njihovega proizvajalca in točne oznake posameznih komponent. Ko to odkrijete, lahko kupite komponento prosto na trgu ali pa se lažje pogajate za boljšo ceno pri dobavitelju stroja. Da pa to storite, morate ugotoviti, kako deluje industrija, ter razumeti, kakšna je struktura cene hidravlične opreme.

## Struktura industrijskih cen in marže distributerjev

Proizvajalci hidravličnih komponent določijo priporočljive maloprodajne cene za svoje izdelke ter jih prodajo distributerskim mrežam s popustom glede na maloprodajno ceno. Medtem ko so popusti različni, obstajata dve glavni kategoriji: distributerji in preprodajalci. Popusti za distributerje so običajno v območju med 35 % in 55 %, medtem ko so popusti za preprodajalce med 20 % in 30 % od maloprodajne cene.



Na primer: če je maloprodajna cena hidravlične črpalke 1.000 EUR, plača distributer pri 50 % popustu le 500 EUR, torej pri tem zasluži 500 EUR. To pomeni zelo velik dobiček za distributerja, ki s tem pokriva stroške zaloge, promocije in prodaje končnemu kupcu.

Cena iste črpalke za preprodajalca je pri 25-odstotnem popustu 750 EUR, to pomeni, da preprodajalec zasluži le 250 EUR od prodane črpalke. Tako je zelo pomembno, da veste, kdo ima še rezervo za pogajanja o čim nižji ceni. Na primer: če se pogajate za 10-odstotni popust cene črpalke, boste plačali zanjo 900 EUR. Če vam bo črpalke prodal distributer, bo zaslužil 400 EUR, če preprodajalec, pa le 150 EUR. Torej je jasno, da imate precej več možnosti, da dobite boljši popust pri distributerju.

### Razlikovanje med distributerji in preprodajalci

Ni vedno lahko ločiti distributerja in preprodajalca. Če podjetje navaja proizvajalca v svoji paleti ponudbe, to še ne pomeni, da je zanj zastopnik. Običajno so posamezna trgovska podjetja zastopniki (distributerji) za enega ali dva proizvajalca in preprodajalci za druge. Splošno pravilo je, da pravi zastopnik posameznega proizvajalca navede, da je njegov »avtorizirani« zastopnik.



**Slika 1** : Primer vertikalnega hidravličnega cepilnika drv proizvajalca Uniforest [4]

### Razumevanje vaše nakupne situacije

Zastopniki hidravlične opreme so v poslu zato, da ustvarjajo čim večje zasluzke in teh se zlahka ne odrečejo. Lahko je dobiti zastopnika hidravlične opreme, če veste, kako razmišljajo. Najprej pa morate razumeti vašo situacijo.

Z vidika zastopnika ste vi stranka, ki spada v eno od treh možnih situacij. Te so: direktni nakup, prilagojen nakup ali nova nakupna situacija.

Oglejmo si to na primeru izdelave cepilnika drv (*slika 1*). Pogon že imate (domači traktor), ogrodje boste izdelali sami, hidravlične komponente pa želite kupiti prosto na trgu. Potrebujete torej hidravlično črpalke, potni ventil, hidravlični valj in še nekaj drugih sestavin. Če pri tem niste prepričani, kako določiti njihovo pravo velikost glede na zeleno silo in hitrost gibanja cepilnika, torej če nimate niti toliko znanja, da bi izdelali mini projekt, pokličete zastopnika in ga prosite za ponudbo primernih hidravličnih komponent za vaš cepilnik.

Preden vam zastopnik lahko pripravi ponudbo, mora njihov razvojni inženir najprej zasnovati hidravlični tokokrog in določiti potrebne hidravlične sestavine za vaš cepilnik. To lahko traja nekaj ur. Zastopnik vam teh ur ne bo zaračunal ločeno, ampak vam bo skušal prodati hidravlične komponente po polni ceni brez popusta. To je nova nakupna situacija, ki pomeni veliko tehničnega dela s strani zastopnika, in v takem primeru bo zastopnik zelo težko dal več popusta na ponujeno hidravlično opremo.

Poglejmo drug scenarij: vi že imate star cepilnik drv, ki ima obrabljeno črpalke (*slika 2*). Ko kupujete novo črpalke, ugotovite, da je prvotni proizvajalec črpalke propadel. Potrebujete torej ekvivalentno črpalke, ki bo imela podobne karakteristike kot prvotna. Staro črpalke odnesete prodajalcu hidravlične opreme. Preden vam ta lahko ponudi novo črpalke, mora določiti vse pomembnejše specifikacije obstoječe črpalke, kot so oblika in dimenzije gredi, način pritrditve, sesalni in tlačni priključek ter iztisnina. Za to prodajni inženir potrebuje uro ali več. Tudi v tem primeru vam zastopnik ne bo dodatno zaračunal tega časa, ampak vam bo zaračunal polno ceno nove črpalke brez popusta. Tej situaciji rečemo prilagojeni nakup. Zaradi dodatnega dela zastopnika, da vam določi ustrezno črpalke, vam tudi v tem primeru ne bo želel dati popusta.

Tretja situacija pa je, da vi iz obrabljene črpalke cepilnika preberete proizvajalca in njeno točno oznako ter pokličete zastopnika. Ta v svojem sistemu najde točno tako črpalke, ki jo ima npr. na zalogi, in vam jo ponudi. V takem primeru vam lahko nudi večji popust, saj z vami ni imel dela in je to najlažje zaslužen denar. Torej imate v tretji situaciji največje možnosti dobiti večji popust. Taki situaciji pa rečemo direktni nakup (preprodaja).



**Slika 2 :** Primer obrabljene zobniške črpalke z notranjim ozobjem

### Ustvarjanje konkurenčne napetosti

Zelo pomembno si je zapomniti, v kakšni nakupni situaciji ste. Nič ne preprečuje zastopniku, da proda del po nižji ceni od priporočene s strani proizvajalca. Če to ne bi veljalo, bi govorili o fiksni ceni, kar je ilegalno v številnih državah. To pomeni, da kupca nič ne ustavi, da ustvari konkurenčno napetost in od različnih dobaviteljev poskusi iztržiti čim nižjo ceno za isti izdelek. Kupec lahko kliče zastopnika in mu pove, da ima tri enake ponudbe in da v primeru znižanja cene za določeno vrednost kupi pri njem. Če se prvi ponudnik ne odzove, lahko poskusite še pri drugih. Obstaja velika možnost, da bo eden izmed njih znižal ceno, saj gre za močno nabavno situacijo.

### Nakup nadomestnih hidravličnih komponent

Če potrebujete nadomestno komponento za obstoječo hidravlično napravo, boste v prednostni nabavni situaciji. Če ima komponenta tovarniško tablico in vidno celotno oznako, je to za vas »darilo«. Ste v situaciji, pri kateri lahko iztržite največji popust.

Če ima vaša nedelujoča komponenta samo oznako proizvajalca stroja, ste v slabši situaciji – prilagojeni nakup. Dobavitelj hidravlične opreme mora v tem primeru na podlagi oznake proizvajalca stroja najprej določiti pravo, originalno oznako zelene komponente. V taki situaciji vam bo prodajalec poskusil prodati komponento po polni ceni, ki pa bo malo nižja od novega dela, kupljenega pri proizvajalcu stroja.

### Kako priti do močne nakupne situacije

Kot smo že omenili, je pogajanje za popust lažje, če poznate točno oznako proizvajalca komponente. Dobavitelj, ki bo identificiral staro komponento, vam običajno ne bo želel dati oznake nove. Razlog je v želji, da vi ne povprašujete okoli za nižjo ceno.

Obstajajo pa poti, kako dobiti točno oznako vaše komponente. Če poznate podjetje, ki ima enak hidravlični stroj kot vi, jih vprašajte, ali so že zamenjali to komponento. Če so jo in jo kupili na prostem trgu, jih prosite za oznako. Če imate res veliko željo, lahko sami na internetu prosto najdete komponento, ki jo iščete, z njeno točno oznako. To vam lahko uspe, če na obstoječi črpalki pomerite glavne dimenzije in te primerjate s tistimi na internetu. Te podatke poskusite uskladiti s podatki v katalogu. Ko ugotovite točno oznako, imate veliko možnosti za večji popust.

To se sliši lahko, a če ne poznate proizvajalca komponente in ne, kakšna je njena funkcija, potem boste zelo težko prišli do točne oznake. V takem primeru je bolje, da prosite trgovca, da on poišče zamenjavo za vašo komponento in s tem privarčujete na vašem času. Dobra novica v tem primeru je, da boste lahko naslednjič kupili to komponento po nižji ceni, saj imate sedaj njeno točno oznako.

### Posebne izvedbe komponent s strani proizvajalcev strojev

Lahko se zgodi, da ne bo mogoče kupiti okvarjene komponente na prostem trgu. V nekaterih primerih proizvajalci strojev prilagodijo posamezne hidravlične komponente njihovim potrebam, zato takih ni mogoče kupiti na prostem trgu. Spremembe so včasih nenadomestljive, včasih pa lahko samo prilagodite standardno komponento. Nekateri močni proizvajalci hidravličnih strojev tudi sami izdelujejo hidravlične komponente. To jim seveda dviguje ceno in onemogoča uporabo drugih nadomestnih delov.

### Nakupovanje med konkurenčnimi blagovnimi znamkami

Pomembno je poznati zastopnike hidravličnih komponent, ki vedno iščejo priložnosti prodati zamenljivo komponento z drugim konkurenčnim proizvajalcem. V številnih primerih je poznavanje možne zamenjave dobro izhodišče pri pogajanju za ugodno ceno.

Primer: dobili ste tri ponudbe različnih dobaviteljev za isto hidravlično komponento, npr. proizvajalca A. Priporočeno je kontaktirati tudi njihovo konkurenco in vprašati, ali vam lahko ponudi ekvivalentno komponento, npr. proizvajalca B. Če bodo lahko ponudili ekvivalentno komponento, bo verjetno cena nižja. Tako se lahko za druge komponente pogajate s proizvajalcem A, saj mu pokažete na konkurenco (proizvajalec B). Seveda pri tem predpostavljamo, da imata proizvajalec A in B podobno kvaliteto.

### Zamenljivost komponent različnih proizvajalcev

Nekatere hidravlične komponente so izdelane po industrijskih standardih. Na primer zobniške čr-



**Slika 3 :** Segment hidravličnih komponent proizvajalca Poclain Hydraulics [5]

palke so lahko izdelane po standardu DIN ali SAE, hidravlični cilindri po standardu NFPA, priključne plošče potnih ventilov po standardu ISO ali CETOP. Omenjeni standardi omogočajo zamenjavo komponent različnih proizvajalcev.

Če na primer vaša okvarjena komponenta ni izdelana po standardu, bo zelo težko najti nadomestno komponento drugega proizvajalca. Menjava ne-standardnih komponent pogosto povzroča stroške zaradi prilagajanja nove komponente na obstoječe mesto stare.

### Varčevanje denarja s presežnimi komponentami

Zelo pogosto se spregleda možnost precejšnjega prihranka pri ceni hidravlične komponente, če kupimo take, ki so presežne. To pride še posebej v poštev, če so ukinili proizvodnjo vaših komponent ali pa so te ekstremno drage.

Ni neobičajno za distributerje hidravlične opreme (*slika 3*) in za lastnike hidravličnih strojev, da si nakopičijo večje število komponent, ki sčasoma postanejo višek. Lastniki takih zalog so pogosto zainteresirani za prodajo po znatno znižani ceni.

Pri tem je velik izziv, kako najti hidravlično komponento, ki jo potrebujete. Ko pomislite na številne izvedbe, velikosti in variante hidravličnih komponent ter številne proizvajalce, je zelo težko najti želeno. To je, kot pravi pregovor, iskanje bučike v kupu sena. Zelo dobro si pri iskanju ustrezne komponente lahko pomagate z internetom.

### Viri

- [1] Casey, B.: Insider secrets to hydraulics, Brendan Casey, West Perth, 2002.
- [2] Pezdinik, J., Majdič, F.: Hidravlika in pnevmatika, skripta; Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana, 2011.
- [3] Findeisen, D.: Ölhydraulik, 5. Auflage, Berlin, 2005.
- [4] Uniforest: Cepilniki drv, spletna stran: <https://uniforest.si/proizvodi/cepilniki-drv>, Zadnjič dostopano: 17. 02. 2024
- [5] Poclain Hydraulics: Poclain Hydraulics group's division dedicated to hydrostatic and electrohydraulic transmissions, spletna stran: <https://poclain.com/> Zadnjič dostopano: 17. 02. 2024. of Hydraulic Circuits. A publication of the Nation



## VKLJUČNO S POVRATNO INFORMACIJO

Inteligentni standardizirani deli Elesa+Ganter poskrbijo za več varnosti, več učinkovitosti in stabilnejše procese.



*Inteligentni standardizirani deli Elesa+Ganter*

Nastavitveni vijaki s kablom? Ročaj s signalno lučko? Prikazovalnik ravni olja, ki ne podaja samo vizualnih informacij, temveč s kontaktom REED pošilja tudi elektronski signal? Tu ne more biti dvoma: standardizirani elementi Elesa+Ganter so vedno bolj funkcionalni ali natančneje multifunkcionalni. Primerni so za široko paleto aplikacij, na primer za daljinsko spremljanje napolnjenosti in temperature v hidravličnih rezervoarjih, prikazovanje stanja procesov ali signaliziranje položaja delov v pripravah.

Pametni nastavitveni vijak GN 251.2 z vgrajenim stikalom za končni položaj pokaže, ali so

obdelovanci v procesu strojne obdelave natančno nameščeni. Zaskočni sorniki GN 817.6 in njihovi pnevmatsko krmiljeni, popolnoma združljivi vrstniki iz serije GN 817.7 pošljejo močan signal takoj, ko je sornik uspešno zaskočen. Stikalni tečaji standardizirane skupine GN 139, ki so na voljo iz tlačno litega cinka, plemenitega jekla in poliamida, ojačanega s steklenimi vlakni, zagotavljajo informacije o varnostno pomembnih odpiranjih. Od kota odvisno preklopno točko je mogoče individualno nastaviti in skupaj z zgoraj omenjenim zapornim vijakom ustvariti kombinirano poizvedbo za zapiranje in

zaklepanje. To služi varnosti ali varčevanju z energijo, npr. če je za učinkovito hlajenje v stikalnih omarah treba zapreti vrata. Bližinska stikala GN 893 so opremljena z induktivnimi senzorji in so nameščena v močnostne vpenjalnike ter signalizirajo pravilno vpenjanje obdelovanca v pripravo.

Poleg teh senzorjev paleta Elesa+Ganter vključuje tudi druge krmilne elemente: cevasti strojni ročaji GN 331 in GN 332 zagotavljajo informacije o stanju s svetlobnimi signali, gumb lahko prikliče dodatne funkcije, stikalo za zaustavitev v sili, ki je prav tako vgrajeno, pa prekine varnostno verigo sistema in ga varno zaustavi, da zaščiti osebe pred poškodbami in na koncu tudi stroj pred gmotno škodo.

Tudi ročaji GN 422 delujejo z gumbom, vendar brez zaustavitve v sili. Okrogle tipke GN 3310 zagotavljajo neposredne povratne informacije z rdečim ali zelenim osvetljenim obročem okrog okrogle tipke.

Podjetje Elesa+Ganter v vseh primerih namerno ne uporablja brezžičnega prenosa signala in se namesto tega zanaša na kabelske povezave, saj je tako integracija v krmilne sisteme lažja in tudi zanesljivejša.

### 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

# THOMSON LINEAR: OJAČAJTE SVOJA NATANČNA KROGLIČNA VRETENA IN RAZŠIRITE NJIHOVO UPORABO Z NOVIMI MOŽNOSTMI PREMAZOV.

Naša priljubljena kroglična vretena, ki omogočajo rotacijsko in linearno gibanje na eni gredi, je zdaj mogoče naročiti s premazi po meri, da bolje izpolnjujejo posebne zahteve vaših aplikacij.

## TRDI KROM:

- ▶ izjemna trdota,
- ▶ odpornost proti koroziji,
- ▶ podaljšana življenjska doba,
- ▶ idealno za najzahtevnejša okolja.



## ČRNI OKSID:

- ▶ globoko črn, estetsko privlačen zaključek,
- ▶ izboljšana odpornost proti koroziji,
- ▶ idealno za okolja z nizko vlažnostjo in blago zunanjo izpostavljenost.



## NIKLANJE:

- ▶ odlična odpornost proti koroziji,
- ▶ zmanjšano trenje,
- ▶ lahko služi kot osnovni premaz za kasnejše obdelave ali kasnejše končne postopke.



Več informacij o aktuatorjih proizvajalca THOMSON LINEAR dobite pri podjetju INOTEH.

### Vir:

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



## Vitka proizvodnja.

item. Your ideas are worth it.®

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

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

# UNIVERZALNO IN DOMISELNO: DRŽALNI MAGNETI

Novi materiali, nove zasnove, novi magnetni sistemi in surovi magneti: Elesa+Ganter razširja svojo ponudbo še za dodatne domiselne uporabe.

Magneti omogočajo skoraj univerzalne in domišljene rešitve za pritrditve, zapore ali začasne povezave. Z novimi zasnovami pri Elesa+Ganter razširjamo ponudbo magnetnih sistemov in surovih magnetov.

Med najpomembnejšimi novimi izdelki je držalni magnet GN 50.8. Zatesnjeno ohišje iz plemenitega jekla, ki obdaja močan magnet SmCo, je kot nalašč za uporabo v korozivnih okoljih. Poleg tega ima tudi dolgo življenjsko dobo in temperaturno odpornost do 350 °C, tako da je primeren za uporabo tudi na vročih podlagah, kot so vrata peči. Magnetni sistem je mogoče naročiti v premerih med 16 in 32 mm, vse velikosti pa imajo zunanji navoj M6.

Novost je tudi magnetni sistem GN 51.8. Neodimov magnet je v celoti obdan s TPE-elastomerom. Tako je GN 51.8 še zlasti primeren za uporabo na občutljivih površinah, kot so lakirane površine, na primer za pritrnitev zaščitnih pokrovov. Ti se nato lahko pritradijo na magnet s sredinsko izvrtino, ki je primerna za vijake z ugrezno glavo. Obloga iz TPE zagotavlja tudi večje površinsko trenje, kar poveča silo, ki je potrebna za premik. Temperaturna odpornost je do 80 °C.

Tudi držalni magnet GN 52.6 ima zaščitno naležno površino iz gumijastega materiala. Cilindrično ohišje iz plemenitega jekla neodimov magnet v notranjosti ščiti pred agresivnimi mediji. Držalni magneti 53.1 in 53.2 so namenjeni za standardne uporabe v pisarniškem okolju, delavnicah in proizvodnji in imajo močne neodimove magnetne, ki so vdelani v okrogla ali pravokotna ohišja



Držalni magneti

iz umetne mase (na voljo v štirih barvah).

Držalni magnet GN 53.3 je bil zasnovan za enostavno delo in ima zato držalo iz umetne mase, ki je na voljo v stožčasti ali ploski izvedbi. Pri ploski izvedbi je dodatno na voljo še varovalno očesce. Pri magnetu GN 53.4 je držalo narejeno iz ponikljanega jekla, obloga iz TPE (izbirno) pa ščiti občutljive površine.

Pri Elesa+Ganter so poleg teh optimiziranih magnetnih sistemov na voljo tudi surovi magneti iz trdega ferita, neodima, SmCo in AlNiCo v različnih oblikah in ve-

likostih, s pritrtilnimi izvrtinami ali brez njih. Te magnetne serije GN 55.1 do GN 55.4 kot tudi GN 57.1 do GN 57.3 je mogoče brez težav pobarvati, prelepiti ali vdelati in se lahko uporabljajo na primer za pritrnitev kableske napeljave.

## 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



# INOTEH: PIAB, NOVA KONFIGURACIJA piCOBOT® PLUG & PLAY ZA KOBOTE FANUC CRX

Piab nadaljuje projekt, da bi bil najpomembnejši program kobot orodja na voljo vsem končnim uporabnikom. Zdaj ponuja piCOBOT® in piCOBOT®L v vseh pogledih popolnoma prilagojenih različicah FANUC CRX. Plug & Play.



*Fanuc Robot CRX*

Piabovo pametno orodje na koncu roke piCOBOT® je na trgu opreme za kobote že skoraj desetletje. Uspeh je povezan s samo enoto – njeno kompaktno, uporabniku prijazno zasnovo in neprimerljivo natančnostjo.

Seveda njegova zmogljivost ni vprašljiva. Kljub omejeni teži – le 720 g – lahko ta EOAT (End of arm tooling) dvigne predmete do 7 kg. Leta 2022 je uspehu sledil še močnejši model piCOBOT®L z dvizno zmogljivostjo do 16 kg.

PiCOBOT® in piCOBOT®L sta bila pri premiernih predstavitvah posebej prilagojena več različnim proizvajalcem kobotov, med katerimi je tudi FANUC – partner iz nekaterih prejšnjih prilagoditev.

»Po naših certificiranih prilagoditvah piCOBOT® in piCOBOT®L za robote FANUC CR4/CR7 in LR Mate 200 je bilo smiselno uporabiti enako usklajeno nastavitev na njihovi seriji CRX. In točno tam smo pristali danes – pravi plug and play!« pravi Madeleine Sheikh, produktni vodja oddelka Piab Vacuum Automation.

Nova konfiguracija Fanuc CRX je celoten paket, vključno s programskim vtičnikom, mehanskim vmesnikom, določenim kablom in cevjo za stisnjen zrak, kar bo kot celota podpiralo varno in preprosto uporabo kobot interakcije za končnega kupca. Seveda, ko gre za rešitve Piab, nastavitve spremlja naša vedno večja ponudba priseskov in dodatkov, ki zagotavljajo aplikacije po meri vsakega uporabnika.

»Naši novi paketi piCOBOT® in piCOBOT®L so v celoti testirani, odobreni in certificirani s FANUC napravami CRX in se bodo kot taki tudi prodajali,« zaključuje Madeleine Sheikh.

Poleg opreme za kobote, ki jo trži FANUC, sta piCOBOT® in piCOBOT®L na voljo na [piab.com](http://piab.com) in ju je mogoče v celoti konfigurirati s paketom CRX kot dopnilo prejšnjim prilagoditvam.

## 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](mailto:gp@inotech.si), internet: [www.inotech.si](http://www.inotech.si)

# »ALI LAHKO MOJA NAPRAVA DELUJE BREZ MAZANJA?« – APLIKACIJA IGUSGO® IMA ODGOVOR

Klemen Šobak

Odkrijte neverjetne možnosti uporabe gibljive plastike z novo aplikacijo podjetja igus®! Z uporabo umetne inteligence (UI) vam aplikacija v samo nekaj sekundah razkrije več kot 450 načinov, kako lahko izkoristite prednosti gibljive plastike. Prepustite se in pustite, da umetna inteligenca olajša vašo izbiro in razširi možnosti oblikovanja!

Enostavno izboljšanje vaše naprave je sedaj na dosegu roke z novo aplikacijo igusGO. Pri podjetju igus®, strokovnjaku za gibljivo plastiko, so ustvarili edinstveno aplikacijo za iskanje pravih izdelkov s pomočjo umetne inteligence. Samo poslikajte svojo napravo v njenem okolju in igusGO vam bo prikazal, katere izdelke, ki ne zahtevajo mazanja, lahko uporabite za oblikovanje. Poleg tega vam aplikacija ponuja nasvete o tem, kako lahko še dodatno izboljšate svojo napravo in tako zmanjšate stroške.

Iskanje pravih komponent med procesom oblikovanja naprave lahko vzame veliko časa, še posebej, če je izbira med številnimi različnimi izdelki. Zato je podjetje igus razvilo aplikacijo igusGO, s katero želi strankam olajšati izbiro pravih komponent za njihove naprave na igriv način. Aplikacija omogoča strankam, da odkrijejo, kje in kako lahko uporabijo igusove izdelke v svojih napravah, s čimer dodatno izboljšajo njihovo delovanje.

Komponente naprav, ki ne zahtevajo mazanja in vzdrževanja, so izdelane iz lahke visokozmogljive plastike, kar podaljšuje življenjsko dobo naprav in zmanjšuje stroške vzdrževanja. Uporaba aplikacije igusGO je preprosta: uporabnik preprosto fotografira svojo napravo, aplikacija pa s pomočjo uporabniškega vmesnika (UI) prepozna napravo in prikaže možnosti uporabe igusovih izdelkov v njej. Aplikacija temelji na bazi podatkov projektov, ki so jih uporabniki izvedli s komponentami podjetja igus. Z enim klikom uporabnik dobi dodatne informacije o drsnih ležajih, linearni tehnologiji ali energijski verigi ter lahko izdelek takoj naroči v spletni trgovini ali izve pričakovano življenjsko dobo igusove komponente v svoji napravi.



*Z aplikacijo igusGO je mogoče v samo nekaj sekundah odkriti potencial optimizacije v več kot 450 različnih aplikacijah, pri čemer je cilj odpraviti potrebo po mazanju.*

Frank Blase, direktor podjetja igus, poudarja: »Veliko naših strank se niti ne zaveda, koliko možnosti uporabe ponujajo naši izdelki. Zato smo razvili aplikacijo igusGO kot dodatek k naši ponudbi storitev, ki je na voljo 24 ur na dan, 7 dni v tednu.«

## Inteligenca igusGO raste iz dneva v dan

Aplikacija igusGO že vsebuje več kot 450 različnih aplikacij in naprav v svojem »miselnem« jedru, pri čemer se vsak dan dodaja še več novih. Te obsegajo raznolike kategorije: od avtomatov za kavo, prehranskih polnilnic do letal in gradbenih strojev. Glavni cilj igusGO je ne le služiti kot vir navdiha, ampak tudi ustvariti skupnost, kjer lahko vsak posameznik deli svoje projekte z drugimi.

Blase dodaja: »Če aplikacija ne prepozna naprave, uporabnik lahko to takoj sporoči. Naš cilj je odzvati se v roku 24 ur in predstaviti možnosti za izboljšave.« Prvi preizkuševalci aplikacije so v zadnjih nekaj

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

mesecih že imeli priložnost preizkusiti funkcionalnosti ter predlagati izboljšave. Aplikacija je dostopna v angleškem in nemškem jeziku ter podprta na operacijskih sistemih Android in iOS, prav tako pa je na voljo spletna različica (<https://app.igusgo.cloud>). Naslednji korak v razvoju vključuje integracijo pogovornega bota, ki bo namenjen odgovarjanju na vprašanja uporabnikov.

### Tudi igus uporablja umetno inteligenco za prepoznavanje izdelkov

V podjetju igus uporabljajo UI na področju iskanja rezervnih delov svojih energijskih verig. »S prepoznavnostjo naših izdelkov želimo pomagati vsem

zaposlenim pri hitrem naročanju rezervnih delov,« pravi Peter Wirth, vodja spletne prodaje in trženja. Tudi tukaj je koncept povsem enostaven: fotografirajte svojo verigo z uporabo aplikacije (<https://app.synthavo.de>) za prepoznavanje izdelkov. Izpopolnjena umetna inteligenca, ki jo je razvil igus, zlahka prepozna najprimernejši model med skoraj 50 serijami energijskih verig. S preprostim klikom usmeri uporabnika v spletno trgovino, kjer lahko brez nepotrebne iskanja med prejšnjimi naročili takoj naroči svojo novo verigo v zeleni dolžini.

**Vir:**  
Podjetje igus GmbH



## ZA ODLIČEN PRITISK ... IN IDEALNO TEMPERATURO!

- » Membranski akumulatorji
- » Akumulatorji z mehurjem
- » Hladilniki z motorjem
- » Oljno/zračni hladilniki

[www.hennlich.si](http://www.hennlich.si)

HENNLICH d.o.o., Ul. Mirka Vadnova 13, 4000 Kranj / Pokličite nas: 041 302 077

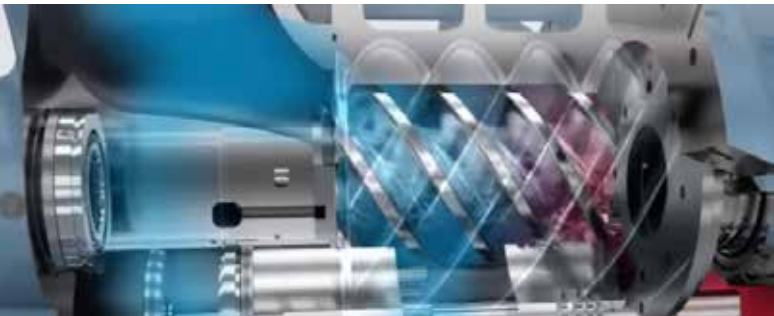
## OGLAŠEVALCI

- ▶ FESTO, d. o. o., Trzin .....1, 60
- ▶ GIA-S, d. o. o., Grosuplje.....60
- ▶ HENNLICH, d. o. o., Kranj..... 53
- ▶ HPE, d. o. o., Ljubljana.....1
- ▶ ICM, d. o. o., Vojnik ..... 43
- ▶ INOTEH, d. o. o., Bistrica ob Dravi ..... 49
- ▶ JAKŠA, d. o. o., Ljubljana ..... 13
- ▶ La & Co., d. o. o., Limbuš .....1
- ▶ OLMA, d. o. o., Ljubljana.....1
- ▶ OMEGA AIR, d. o. o., Ljubljana..... 1, 56
- ▶ OPL AVTOMATIZACIJA, d. o. o, Trzin .....1, 27
- ▶ PODKRIŽNIK, d. o. o., Nazarje.....1
- ▶ PARKER HANNIFIN (podružnica v N. M.),  
Novo mesto.....1
- ▶ POCLAIN HYDRAULICS, d. o. o, Žiri..... 1, 2
- ▶ PPT COMMERCE, d. o. o., Ljubljana .....1, 4
- ▶ PROFIDTP, d. o. o., Škofljica..... 8, 59
- ▶ SEAL & TRADE, d. o. o., Maribor.....1
- ▶ STROJNISTVO.COM, Ljubljana ..... 24
- ▶ UL, Fakulteta za strojništvo ..... 9, 18
- ▶ YASKAWA, d. o. o., Ribnica .....9



# ENOSTOPENJSKI ALI DVOSTOPENJSKI VIJAČNI KOMPRESOR?

Danes smo bolj kot kadarkoli prej soočeni z zahtevami po povečanju energetske učinkovitosti, predvsem v industriji. Vodje proizvodnih obratov nenehno preučujejo in iščejo nove načine za zmanjšanje proizvodnih stroškov, razvijanje izboljšav v proizvodnih procesih z največjim možnim donosom naložbe ter kako doseči, da bo strošek na enoto proizvoda čim manjši.



Slika 1: Animacija kompresije v vijaknem elementu

Med različnimi sistemi, ki jih upravljajo odgovorni za proizvodnjo, prav sistem za oskrbo s stisnjenim zrakom ponuja največ možnosti za izboljšave in splošne prihranke, saj gre za najdražji energent.

V podjetju OMEGA AIR d. o. o. Ljubljana, si prizadevamo, da sledimo svetovnim trendom proizvajalcev vijaknih kompresorjev blagovne znamke OMEGA AIR.

Pri tehnologiji proizvodnje stisnjenega zraka imajo največji vpliv na izkoristek kompresorja naslednji dejavniki:

1. vijakni element,
2. pogonski motor,
3. prenos moči,
4. hladilnik olja in zraka,
5. krmilnik.

V poplavi številnih proizvajalcev kompresorske tehnike je ključna izbira ustrezne in učinkovite tehnologije kompresorjev.

Batni ali vijakni kompresor? Nespremenljiva hitrost motorja ali frekvenčno krmiljeni pogonski motor? Oljno mazani ali brezoljni kompresor? Enostopenjski ali dvostopenjski vijakni kompresor? Ustrezen izbor tehnologije kompresorja je vsekakor velik izziv za investitorja.

Najpomembnejši parametri, ki izkazujejo učinkovitost (ali neučinkovitost) obstoječega sistema: V kompresorskih sistemih je kapaciteta kompresorja izražena v l/min ali m<sup>3</sup>/h, delovni tlak v bar

(7/8/10/12 ali več bar), moč aktivnega kompresorja v kW, vse to pa je opredeljeno na enoto časa. Ti parametri nam podajo podatek o učinkovitosti trenutnega kompresorskega sistema. Ta podatek se imenuje specifična poraba energije, izražena v številu porabljenih kW energije za proizvodnjo 1 m<sup>3</sup> zraka na minuto ali uro. Manjša/nižja, kot je specifična porabljena energija, bolj učinkovit je sistem in tako generiramo nižji strošek energije za izdelavo proizvoda – rezultat je nižja lastna cena proizvoda.

## Enostopenjski ali dvostopenjski vijakni element?

**Enostopenjski vijakni element** je sestavljen iz seta 2 rotorjev, ki sta nameščena v eno ohišje in neposredno gnana z elektromotorjem, direktno ali preko zobniškega predležja ali jermenskega prenosa.

**Dvostopenjski vijakni element** je sestavljen iz dveh setov sinhroniziranih rotorjev, ki so lahko v skupnem ohišju (v dizajnu »zgoraj/spodaj«) ali v dveh ločenih ohišjih statorja, povezanih v tandem (v dizajnu »konec-konec«).

Razlika med enostopenjskimi in dvostopenjskimi vijaknimi kompresorji ni toliko v končnem rezultatu (kapaciteti) kakor v količini energije, ki se porabi za doseganje tega končnega rezultata.

Poleg osnovnega dejstva nizke porabe energije ima dvostopenjski vijakni element številne prednosti:

- ▶ znižano kompresijsko razmerje posamezne kompresijske stopnje,
- ▶ nizki diferenčni tlaki,
- ▶ nizka termična obremenitev,
- ▶ nizka poraba energije pri delni obremenitvi,
- ▶ stalen sistemski tlak znižuje nihanje tlaka v sistemu in splošne potrebe po zraku,
- ▶ nizki vrtiljaji moških rotorjev povečajo zmogljivost in zanesljivost,
- ▶ profil rotorja 5/6 ustvarja optimalne zmogljivosti in hkrati zmanjšuje porabo energije,
- ▶ vstopni ventil z neposrednim tokom zagotavlja zanesljiv nadzor zmogljivosti,



Slika 2 : Dvostopenjski vijačni element



Slika 3 : Notranjost dvostopenjskega vijačnega kompresorja

- ▶ zmanjšana poraba energije zmanjša ogljični odtis in prihrani stroške.

Strošek električne energije, potrebne za delovanje kompresorja, predstavlja kar 75 % skupnih stroškov lastništva vijčnega kompresorja, zato lahko prihranki energije z uporabo dvostopenjskega vijčnega kompresorja predstavljajo pomembne koristi.

### Primerjava porabe električne energije enostopenjskega in dvostopenjskega vijčnega kompresorja

Predpostavimo, da tovarna deluje 24 ur/dan, 7 dni/ teden (8.736 delovnih ur), poraba stisnjenega zraka je 28 m<sup>3</sup>/min pri 8 bar in strošek električne energije 0,15 EUR/kWh.

#### Opcija A ponuja:

- ▶ 200-kW enostopenjski vijčni kompresor,
- ▶ kapaciteta 29 m<sup>3</sup>/min pri 8 bar,
- ▶ poraba 212,6 kW pri polni obremenitvi,

- ▶ učinkovitost motorja 96 %,
- ▶ prodajna cena kompresorja 65.000,00 EUR.

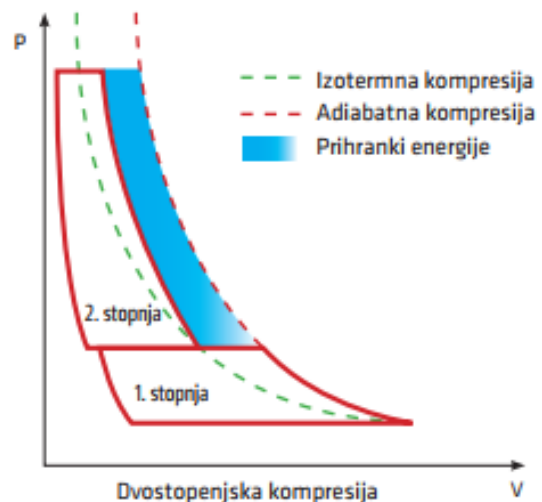
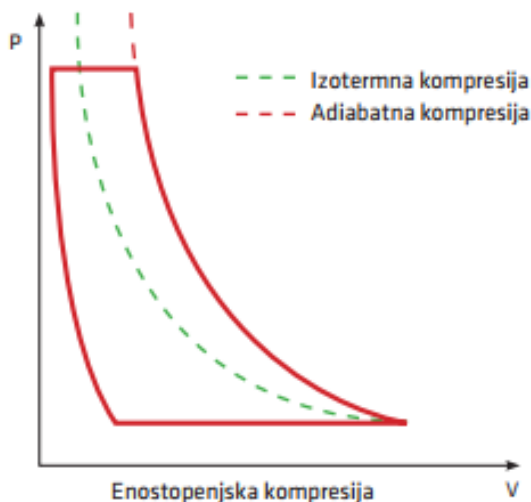
#### Opcija B ponuja:

- ▶ 160-kW dvostopenjski vijčni kompresor,
- ▶ kapaciteta 30 m<sup>3</sup>/min pri 8 bar,
- ▶ poraba 188 kW pri polni obremenitvi,
- ▶ učinkovitost motorja 96 %,
- ▶ Prodajna cena kompresorja 78.000,00 EUR.

Opcija A s ponudbo enostopenjskega vijčnega kompresorja lahko predstavlja učinkovito rešitev v primerjavi z drugimi enostopenjskimi vijčnimi kompresorji, vendar je še vedno potrebno upoštevati potencial dvostopenjskih vijčnih kompresorjev:

formula:  $kW \times \text{delovne ure} \times \text{cena kWh} / \text{učinkovitost motorja}$

Strošek energije opcije A (enostopenjski vijčni kompresor moči 200 kW):  
 $212,6 \times 8.736 \times 0,15 / 0,96 = 290.199,00 \text{ EUR/leto.}$



Slika 4 : Primerjava kompresije med eno- in dvostopenjskim kompresorjem

Dvostopenjska kompresija	Enostopenjska kompresija	PREDNOSTI dvostopenjske kompresije
s sistemom vmesnega hlajenja	brez sistema vmesnega hlajenja	izotermna kompresija
nizka stopnja netesnosti med rotorji	visoka stopnja netesnosti med rotorji	znižanje kompresijskega razmerja
višja kapaciteta zraka	nižja kapaciteta zraka	povišanje pretoka zraka za 18-15 %
nizka poraba energije	visoka poraba energije	višji prihranki energije
nizka termična obremenitev	visoka termična obremenitev	boljša učinkovitost hlajenja
majhne sile na rotorje	visoke sile na rotorje	zanesljivost
nizke obremenitve ležajev	visoke obremenitve ležajev	daljša obratovalna doba ležajev
zasnova aksialnega vstopa zraka	direktn vstop zraka	optimizirana učinkovitost kompresije

Strošek energije opcije B (dvostopenjski vijčni kompresor moči 160 kW):  
 $188,0 \times 8.736 \times 0,15 / 0,96 = 256.620,00 \text{ EUR/leto.}$

Oba kompresorja zagotavljata zahtevano količino stisnjene zraka pri zahtevanem tlaku, vendar je dvostopenjski vijčni kompresor energetsko učinkovitejši (s prihrankom kar 33.579,00 EUR/leto).

Glede na trend podražitev energentov gre tudi trend svetovnih proizvajalcev vijčnih kompresorjev v smer energetskih izboljšav, zato je dvostopenjski vijčni kompresor za velike porabnike stisnjene zraka logičen izbor za doseg energetske učinkovitosti.

[www.omega-air.si](http://www.omega-air.si)



**OMEGA AIR**  
*more than air*

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

  
N<sub>2</sub>

  
O<sub>2</sub>

  
H<sub>2</sub>

  
B-Air

  
He

  
CNG

  
CO<sub>2</sub>

**RAZPON TLAKOV**

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



**MEDIJI**

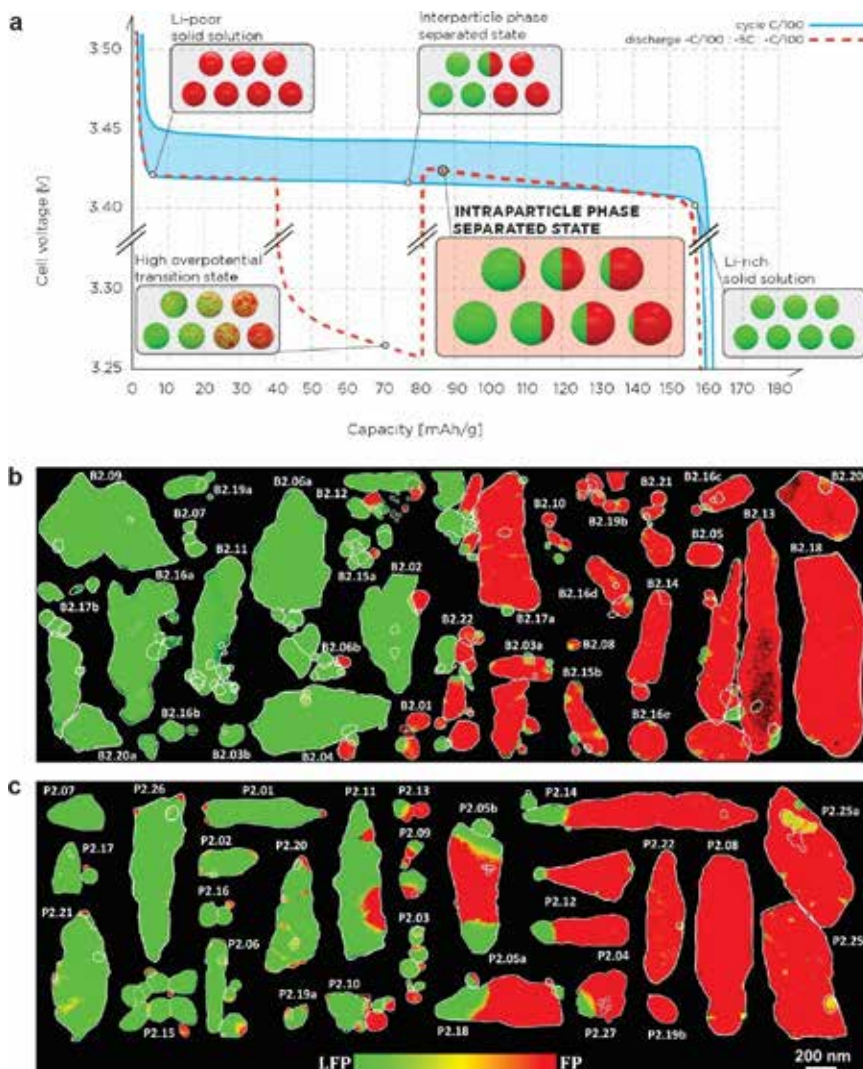
stisnjen zrak  
vakuum  
N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CNG,  
dihalni zrak  
CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, He





# ODKRITJE NOVEGA ELEKTROKEMIJSKEGA ODZIVA BATERIJSKIH MATERIALOV S FAZNO SEPARACIJO

Raziskovalci *Laboratorija za motorje z notranjim zgorevanjem in elektromobilnost* so v sodelovanju z raziskovalci *Fakultete za kemijo in kemijsko tehnologijo ter Kemijskega inštituta* premaknili meje razumevanja elektrokemijskega odziva baterijskih materialov s fazno separacijo. Na osnovi inovativnih izpeljav fundamentalne termodinamike materialov, elektrokemijskih meritev, napredne mikroskopije in najnaprednejših simulacijskih modelov so na primeru materiala  $\text{LiFePO}_4$  odkrili in prvič pojasnili elektrokemijske odzive znotrajdelčnega fazno separiranega stanja.



**Slika 1:** a) Različna elektrokemijska odziva med- in znotrajdelčno separiranega stanja ter inovativni pulzno osnovani eksperiment, ki omogoča prehod iz meddelčno separiranega stanja preko prehodnega stanja, ki je značilno za visoke prenapetosti, v znotrajdelčno separirano stanje. Barvna mapa STEM-EELS, ki prikazuje preferenčno b) meddelčno in c) znotrajdelčno fazno separacijo materiala  $\text{LiFePO}_4$ . (Avtorji: Tomaž Ktrašnik, Jože Moškon, Klemen Zelič, Igor Mele, Francisco Ruiz-Zepeda, Miran Gaberšček)

Tako so odkrili, da ima elektroda, če se nahaja v znotraj- ali meddelčno separiranem stanju, pri enakem stanju napoljenosti in pri enaki temperaturi različne kemijske potenciale in tako tudi različne električne potenciale (Slika). Kot specifičen primer vstopa v znotrajdelčno separirano stanje so dodatno pokazali, da je med dinamičnim delovanjem baterije možno vstopiti v napetostno histerezo (Slika), ki je do sedaj veljala za področje, v katerem baterija ne more delovati pri končnih tokovih. Dodatno so eksperimentalno in modelsko potrdili, da je za obe stanji značilen tudi izrazito drugačen impedančni odziv elektrode.

Ta odkritja premikajo meje razumevanja elektrokemije materialov s fazno separacijo in odpirajo možnosti naprednega nadzora in diagnostike baterij ter virtualnih zaznaval, ki so eno izmed prebojnih področij razvoja baterijskih sistemov, na katerih avtorji sodelujejo v mnogih mednarodnih projektih. Rezultate so objavili v priznani reviji *Advanced materials*, ki ima faktor vpliva 32.1.

Članek si lahko preberete na spletni strani: <https://doi.org/10.1002/adma.202210937>.

© Ventil 30(2024)1. Tiskano v Sloveniji. Vse pravice pridržane.  
© Ventil 30(2024)1. Printed in Slovenia. All rights reserved.

Internet: <http://www.revija-ventil.si>  
E-mail: [ventil@fs.uni-lj.si](mailto: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** 1

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 Halilovič  
**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 MURRENHOF, RWTH Aachen, ZR Nemčija
- ▶ izr. prof. dr. Dragica NOE, FS Ljubljana
- ▶ Bogdan OPAŠKAR, FESTO, Ljubljana
- ▶ dr. Jože PEZDIRNIK, FS Ljubljana
- ▶ izr. prof. dr. Jože RITONJA, FERI Maribor
- ▶ prof. dr. Katarina SCHMITZ, RWTH Aachen, ZR Nemčija
- ▶ 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.

## 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](http://www.forum-irt.si)

Glavni pokrovitelji



FANUC

Razvojna partnerja



Vsebinski partner



Nacionalni pokrovitelji



Pokrovitelji







**FESTO**

# Preprosto: del rešitve

Festo ★ osnovni program

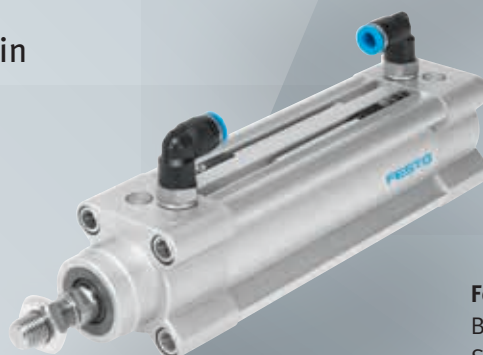
**Prednosti na prvi pogled:**

- 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