

# VENTIL

ISSN 1318 - 7279

Letnik 26 / 2020 / 4 / Avgust

S-Ozobja

Razvoj in raziskave prototipa Stewartove ploščadi

Indeks viskoznosti hidravličnih tekočin

Lasersko kaljenje na robotski celici

## Elektronske rešitve

# SMARTDRIVE™

*Za hidrostatični pogon, ki opravlja natančno tisto, kar zahtevate...*

KRMILNA PALICA



ARMATURNNA PLOŠČA

- smer
- vožnja/delo
- način dela/hitrost motorja
- parkirna zavora
- krmiljenje vožnje
- nadzor spodsavanja

KRMILNIK SD Premier

POCLAIN  
Hydraulics

ZAVORNI VENTIL  
- zaznavalo tlaka

PROTIZDRSNI VENTIL

TANDEM ČRPALKA z SA krmiljem

- krmiljenje iztislne
- potenciometer povratne zveze
- zaznavalo hitrosti
- zaznavalo omejevalnika moči

MOTOR

ZAZNAVALO HITROSTI

SPREMINJANJE HITROSTI

PROTIZDRSNI VENTIL

**POCLAIN**  
Hydraulics

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

Univerza v Ljubljani  
Fakulteta za strojništvo



**FESTO**

**POCLAIN**  
Hydraulics

**OPL**

**Parker**

**OMEGA**  
AIR

**MIEL** OMRON  
[www.miel.si](http://www.miel.si)

**la&co**

**Rexroth**  
Bosch Group  
Zastopstvo

**ppt commerce**

Sinergija premikanja. Hidravlika. Pnevmatika. Linearna tehnika.

# HIDRAVLICNE NAPRAVE



Obdelovalni stroj



Hidromehanska oprema



Ladijski vitel

## NEVLADNE ORGANIZACIJE, POLITIKA IN GOSPODARSTVO



Nevladne organizacije so prav gotovo pridobitev sodobnega časa, čeprav jih v takšni ali drugačni obliki poznamo še od vsega začetka oblikovanja držav in njihovih sistemov vladanja. To so skupine, ki združujejo ljudi enakega razmišljanja, delovanja in načina življenja oz. ljudi, ki imajo enake ali podobne življenjske cilje. To so civilne organizacije, ki krepijo demokracijo in pluralnost sodobne družbe ter omogočajo aktivno participacijo posameznikov v njej.

Nevladne organizacije so potrebne na številnih področjih. Če se na primer v neki družbi močno razširi kajenje, je prav gotovo potrebna civilna iniciativa, da se ta škodljiva navada zmanjša in omeji. Enako mora civilna družba ukrepati, če se v nekem okolju zastruplja zrak in zemlja, če se v nekem okolju pojavi nasilje med mladimi in podobno.

V Sloveniji je več kot 27 tisoč nevladnih organizacij. Na ta seznam spadajo zavodi, ustanove in društva; od gasilcev, športa in podobno. To je zelo dobro. Nevladne organizacije morajo delovati neodvisno od države, so neprofitne, večinoma prostovoljne in morajo imeti obliko pravne osebe.

Ali je pri nas res tako? Množično ustanavljanje nevladnih organizacij v zadnjih letih pri nas kaže na to, da želijo posamezniki ali skupine somišljenikov na ta način delovati s pomočjo državnega denarja. To pa ni dobro in pomeni kršitev osnovnega načela, ki naj velja za nevladne organizacije.

Ali so pri nas številne nevladne organizacije, ki krojijo politiko in posegajo v gospodarstvo zaradi svojih ali prijateljskih interesov?

Na primer, ali v Sloveniji potrebujemo Mirovni inštitut, ki ima zaposlenih okoli 20 ljudi in je delno financiran iz tujine in večinoma od naše države? Ali smo Slovenci nasilni, da potrebujemo tak inštitut? Prav gotovo ne. V svoji celotni zgodovini nismo nikoli napadli druge države, ampak smo se vedno branili. V vojnah smo premagovali Turke, Srbe, Italijane, Nemce, Madžare in druge. Ali pa pogledajmo demonstracije po svetu v zadnjem letu. V Franciji so bili demonstranti nasilni, v Srbiji ravno tako, podobno velja za ZDA in Hongkong, ter v zadnjih dneh tudi za Belorusijo. Pri nas so ob petkih demonstracije že nekaj mesecev, a brez vsakega nasilja.

Težava Mirovnega inštituta je tudi v dejstvu, da gre za raziskovalni inštitut v zasebni lasti, katerega usta-

novitelji in lastniki so predvsem profesorji z družboslovnih fakultet in ki se večinoma financira iz državnega proračuna. Smisel obstoja Mirovnega inštituta bi bil, da bi bil v celoti financiran s prostovoljnimi prispevki vseh njegovih simpatizerjev in z donacijami raznih zasebnih ustanov in podjetij. Še večja težava Mirovnega inštituta je, da njegovi predstavniki izrazito, javno in zelo očitno ter včasih celo agresivno posegajo v politiko in so zagovorniki izključno leve politične opcije. S tem inštitutom so povezani in pri njem zaposleni tudi nekateri levi politiki. Lahko pa tudi zasledimo, da ima ta ustanova privilegije v vseh sredstvih javnega obveščanja.

Nadalje imamo pri nas zelo veliko nevladnih organizacij, ki se borijo za enakopravnost spolov. Ali morda pri nas ni enakopravnosti med spoloma? Glede na mednarodne podatke je pri nas razlika v plačah med moškimi in ženskami najnižja v Evropi in verjetno na svetu. Tudi nasilja nad ženskami je v Sloveniji manj, kot je to povprečje v Evropi. Tudi te organizacije so večinoma financirane z davkoplačevalskim denarjem.

Večja skupina nevladnih organizacij deluje na področju varovanja okolja. To je potrebno in dobro. So pa med njimi tudi take, ki zaradi svojih egoističnih interesov zavirajo in preprečujejo na primer izgradnjo vodnih elektrarn.

Te organizacije so že preprečile izgradnjo elektrarn na Muri. Kako je mogoče, da ima Avstrija na Muri 30 (trideset) elektrarn, pri nas pa nimamo niti ene? Ali se s temi okoljebrižniki ni mogoče dogovoriti, da se izrabijo le tri četrtine ali polovica reke, druga polovica pa ostane nedotaknjena?

V zadnjem obdobju pa nekatere nevladne organizacije preprečujejo celo izgradnjo elektrarn na spodnji Savi. In menda se te organizacije financirajo celo iz tujine. Ali to pomeni, da te organizacije prejemajo denar od prav tistih tujih subjektov, ki bodo pozneje naši državi prodajali elektriko? To bi bilo zelo nevarno. Če bodo imeli ti egookoljniki preveč moči, bomo postali energetske odvisni od tujine. Ali morda ti ljudje doma prebivajo v temi, brez elektrike?

Vsi vemo, da so hidroelektrarne obnovljivi vir energije, da so za okolje in za državljane najbolj sprejemljiv način proizvodnje elektrike in da je izkoristek energije visok ter varen.

Naslednja težava, ki pri tem nastane, je obljuba naše vlade, dana že pred leti v Bruslju, da bomo zmanjšali količino izpuščenih škodljivih plinov v ozračje in da bomo zgradili objekte za proizvodnjo elektrike iz obnovljivih virov. Ta obveza je zavezujoča in zanjo celo kazensko odgovarjamo, kar pomeni, da če v obljubljenem obdobju ne bomo zgradili objektov za izkoriščanje obnovljivih virov energije in zmanjšali količine toplogrednih plinov, nas bo Bruselj denarno kaznoval.

Kdo bo takrat nosil odgovornost? Nihče, kot je pri nas navada!

Janez Tušek

# PPTcommerce d.o.o.

PPT commerce d.o.o., Celovška 334, 1210 Ljubljana-Šentvid, Slovenija  
tel.: +386 1 514 23 54, faks: +386 1 514 23 55,  
e-pošta: info@ppt\_commerce.si, www.ppt-commerce.si

HIDRAVLIKA IN PROCESNA TEHNIKA

PRODAJA • PROJEKTIRANJE • SERVIS

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



**EMERSON**<sup>TM</sup>  
Process Management



**BETTIS**<sup>TM</sup>

**Dantorque**<sup>TM</sup>

**HYTORK**<sup>TM</sup>

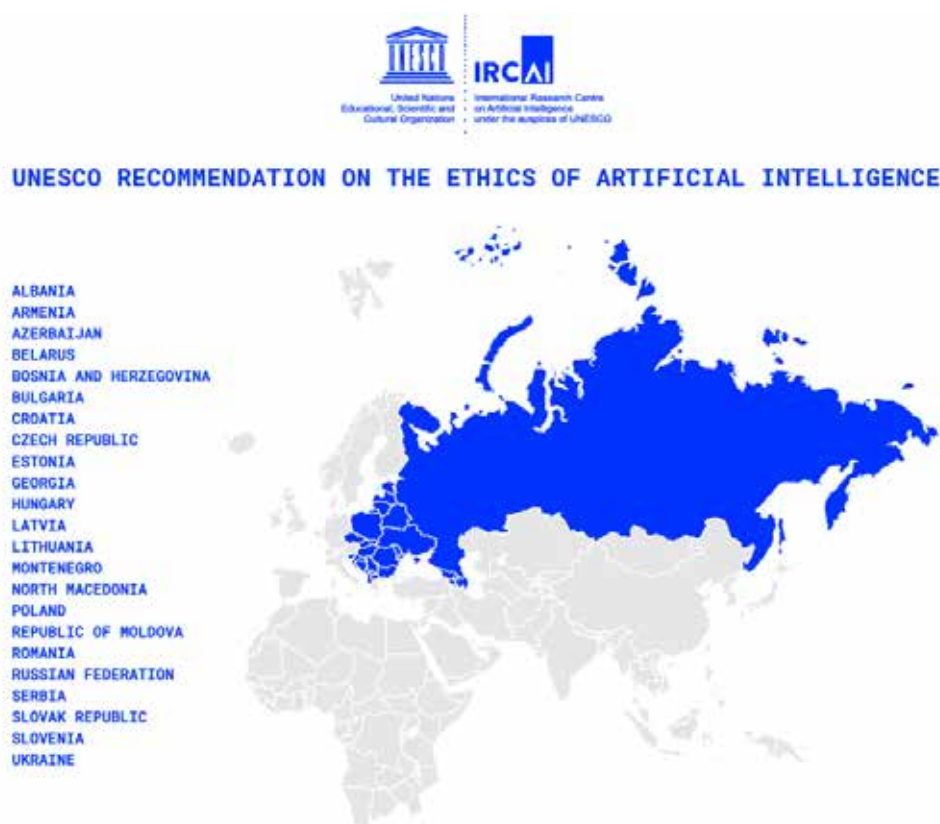
**Shafer**<sup>®</sup>



DOGODKI • POROČILA • VESTI .....	242
NOVICE • ZANIMIVOSTI .....	245
S-OZOBJA	
<b>Jože Hlebanja, Gorazd Hlebanja, Mark Umberger</b>	
S-Gear Design Rules .....	254
HIDRAVLIČNE SESTAVINE	
<b>Jan Pustavrh, Aljoša Peperko, Franc Majdič</b>	
Razvoj in raziskave prototipa Stewartove ploščadi .....	264
HIDRAVLIČNE TEKOČINE	
<b>Darko Lovrec</b>	
Vpliv indeksa viskoznosti različnih hidravličnih tekočin na obratovalno temperaturno področje .....	272
LASERSKO KALJENJE	
<b>Matej Babič, Roman Šturm</b>	
Analiza parametrov laserskega kaljenja na robotski celici .....	282
IZ PRAKSE ZA PRAKSO	
<b>Milan Kambič</b>	
Grelci olja .....	288
AKTUALNO IZ INDUSTRIJE	
Rotacijski nanos oblog s fluoriranimi polimernimi materiali – ROTOLIV (Cinkarna Celje) .....	290
Dvojni valj DGTZ (FESTO) .....	291
Nova serija univerzalnega krmilnika – Omron CP2E (MIEL Elektronika) .....	292
SMC na področju robotov in kobotov (SMC) .....	294
NOVOSTI NA TRGU	
PR200 Mini-PLC: majhna rešitev, veliki rezultati (akYtec) .....	296
Možnost preverjanja in merjenja pretoka z novim HVF-E vizualnim indikatorjem pretoka (ELESA+GANter) .....	297
Dodatki za hidravlične sisteme, skladni z evropsko direktivo ATEX (ELESA+GANter) .....	298
Pnevmatski ohlajevalniki VR/VRX (INOTEH) .....	299
Kompaktna rešitev za tisk in verifikacijo črtnih in 2D kod (LEOSS) .....	300
Senzorji pretoka Emerson AVENTICSTM serija AF2 (La & Co) .....	301
Pulzni ventili Emerson ASCOTM serija 353 (Novak sistemi) .....	301
Razsmerniki za mobilne aplikacije Parker GVI (PARKER HANNIFIN) .....	302
PODJETJA PREDSTAVLJAJO	
Brezkontaktna tipala v strojni in lesni industriji (FBS Elektronik) .....	304
Daljinsko ogrevanje z lesno biomaso (GIA-S) .....	306
Dvižne noge za prilagoditev višine delovnih površin uporabnikom (HENNLICH) .....	308
Popolna rešitev s senzorji Omron IO-Link (MIEL Elektronika) .....	310
Energetska analiza in kako izboljšati sistem kompresorskih postaj (OMEGA AIR) .....	312
PROGRAMSKA OPREMA • SPLETNE STRANI	
Zanimivosti na spletnih straneh .....	316

## REGIJSKO SPLETNO POSVETOVANJE ZA PRIPRAVO UNESCOVEGA PRIPOROČILA O ETIKI UMETNE INTELIIGENCE

Mednarodni raziskovalni center za umetno inteligenco (IRCAI) pod okriljem UNESCO, ki je bil ustanovljen na Institutu »Jožef Stefan«, ter Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport sta v sodelovanju z UNESCOM organizirala spletni posvet za evropsko regijo (skupina II) za pripravo UNESCOVEGA priporočila o etiki umetne inteligence. Regijski posvet je potekal na spletu med 27. in 29. julijem, na njem pa je sodelovalo več kot 70 strokovnjakov s področja umetne inteligence in etike.



»Evropska regija (skupina II), ki je bila povabljena k sodelovanju pri spletnem regijskem posvetovanju. (Grafika: Ana Fabjan)«

UNESCO je k imenovanju strokovnjakov povabil vlade 24 držav, in sicer: Albanijo, Armenijo, Azerbajdžan, Belorusijo, Bosno in Hercegovino, Bolgarijo, Hrvaško, Češko, Estonijo, Gruzijo, Madžarsko, Latvijo, Litvo, Črno goro, Severno Makedonijo, Poljsko, Republiko Moldavijo, Romunijo, Rusko federacijo, Srbijo, Slovaško, Slovenijo in Ukrajino.

Sodelujoči strokovnjaki izhajajo iz različnih interesnih skupin, vključno z akademiki, znanstveno in tehnično skupnostjo, civilno družbo, zasebnim sektorjem, vladnimi predstavniki in s širšo javno-

stjo. Na posvetu so aktivno razpravljali o osnutku priporočila, ki ga je na podlagi odločitve, sprejete na 40. zasedanju generalne konference UNESCO novembra 2019, sestavila ad hoc delovna skupina 24 mednarodnih strokovnjakov.

Glavni rezultat regijskih posvetov, kot je ta, ki ga je vodila Slovenija, bodo predlogi k besedilu osnutka, na katerem bo ad hoc delovna skupina strokovnjakov ponovno razpravljala septembra 2020. Izsledki regionalnih posvetov tako pomembno vplivajo na zagotavljanje enakopravnega zastopanja regi-

onalnih in kulturnih raznolikosti. Končno priporočilo UNESCO pa bo opredelilo skupne vrednote in načela ter konkretne ukrepe politike na področju etike umetne inteligence.

Posvet je skupaj s predstavniki UNESCO odprla ministrica za izobraževanje, znanost in šport prof. dr. Simona Kustec Lipicer, ki je poudarila pomen umetne inteligence kot ene ključnih in izjemno strateških tehnologij 21. stoletja, ki bo prispevala k razvoju številnih sektorjev, med drugim tudi izobraževanja, znanosti, kulture in komunikacij. Njen razvoj pa mora biti usmerjen v temeljno razumevanje njene vloge tako pri posameznikih kot v družbi. *»Slovenija ima dolgo zgodovino raziskav na področju umetne inteligence, ki sega že v 70. leta. Na tem področju imamo več kot 300 raziskovalcev, kar Slovenijo postavlja v svetovno ospredje držav glede na število raziskovalcev na število državljanov. Slovenske raziskovalne institucije in vse štiri osrednje univerze imajo pomembne povezave s svetovnimi centri s področja umetne inteligence in so aktivno vpletene v dejavnosti številnih tovrstnih mednarodnih skupnosti,«* je še povedala v svojem nagovoru.

Strokovnjaki so v treh delovnih skupinah razpravljali o vseh točkah obsežnega osnutka. Konsolidirano poročilo, ki so ga sestavili moderatorji skupin, vsi strokovnjaki s področja etike in umetne inteligence, natančno opredeljuje izboljšave besedila, ki bo prispevalo k zagotavljanju upoštevanja etike v umetni inteligenci, ki se nanaša na številna področja. Med drugimi besedilo naslavlja vprašanja povezave umetne inteligence z varnostjo, izobraževanjem, varovanjem okolja, njene zanesljivosti, zagotavljanja etičnega razvoja umetne inteligence, transparentnosti, predvideva razvoj umetne inteligence, ki upošteva ranljive skupine, in enakovredno prispeva k napredku vseh, medtem ko temelji na upoštevanju človekovega dostojanstva ter človekovih temeljnih pravic in svoboščin.

Posvet je bil uspešno zaključen 29. julija s poročilom, o katerem bo med drugimi znova razpravljala ad hoc skupina strokovnjakov. Z zaključkom posveta je IRCAI, ki je bil ustanovljen julija 2020, uspešno zaključil svoje prvo sodelovanje z UNESCOM.

Mednarodni raziskovalni center za umetno inteligenco pod okriljem UNESCO - IRCAI  
Institut "Jožef Stefan"



# JAKŠA

## MAGNETNI VENTILI

od 1965

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



www.jaksa.si





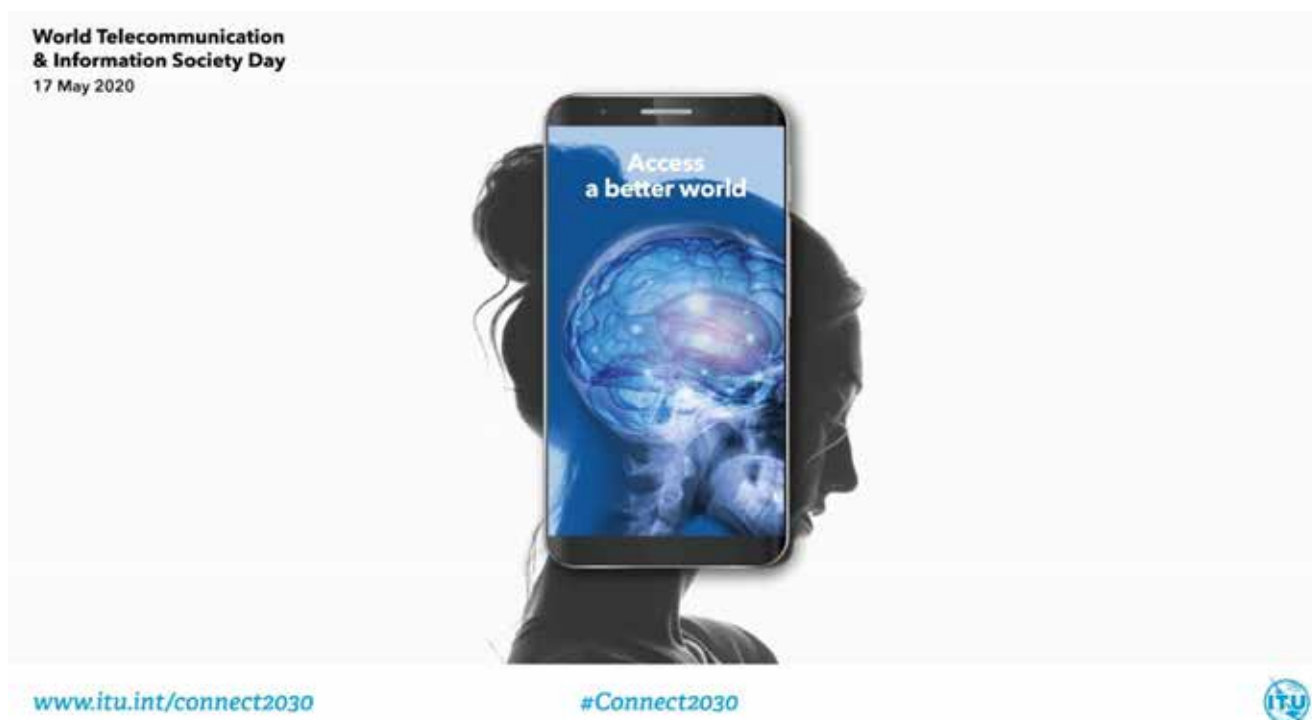



Jakša d.o.o., Šlandrova 8, 1231 Ljubljana

T (0)1 53 73 066, F (0)1 53 73 067, E info@jaksa.si

## SVETOVNI DAN IKT NA UL FE OBELEŽILI MALO DRUGAČE

V četrtek, 14. 5., je Katedra za informacijske in komunikacijske tehnologije Fakultete za elektrotehniko Univerze v Ljubljani pripravila poseben dogodek ob svetovnem dnevu telekomunikacij in informacijsko-komunikacijskih tehnologij (IKT). Svetovni dan IKT sicer obeležujemo vsako leto 17. maja že vse od leta 1969, ko je bila v Parizu podpisana prva telegrafska konvencija. Letošnji svetovni dan IKT je bil popolnoma v znamenju sodobnih tehnologij, saj je celoten program potekal on-line, v živo iz studia fakultete.



### Informacijske tehnologije kot gonilo trajnostnega razvoja

Rdeča nit je bila vloga informacijskih tehnologij pri trajnostnem razvoju za prihodnje desetletje. Informacijske in komunikacijske tehnologije so se izkazale kot ključno orodje tudi v času karantene, o čemer pričajo številni zanimivi projekti, ki so jih v tem času pripravili študentje Fakultete za elektrotehniko. Predstavili so raznolike projekte, vse od računalništva v oblaku, upravljanja pametnega doma z inteligentnimi tipkami, nadgradenj virtualnega asistenta do projekta CyberLab in prototipne blokovne verige. Gledalci so lahko iz prve roke, od mag. Roka Žurbija, vodje ekipe, ki je skrbela, da je spletni portal e.fe+ ves čas deloval nemoteno, izvedeli, kakšni so izzivi izobraževanja na daljavo in kako zagotoviti, da pedagoški proces preko spleta poteka brez težav. Prodekan za pedagoško dejavnost prof. dr. Roman Kamnik pa je spregovoril o tem, kakšne so smernice za nadaljnje delo na fakulteti do konca tega študijskega leta.

### Povezovanje v znanosti

O zelo aktualni tematiki, kot je 5G, in vprašanju državne varnosti sta spregovorila strokovnjaka s Fakultete za elektrotehniko dr. Boštjan Batagelj in dr. Mojca Volk. O tem, kako pomembno je povezovanje v znanosti, pa smo se lahko prepričali ob prispevku Veterinarske fakultete, v katerem je bilo predstavljeno spletno orodje SLOEXO2, ki združuje koristne podatke s področja zdravja in dobrobiti eksotičnih živali. Projekt so študentom Veterinarske fakultete pomagali izpeljati študentje Fakultete za elektrotehniko.

Lepo vabljeni, da si posnetek dogodka ogledate preko Youtube kanala Fakultete za elektrotehniko v Ljubljani.

Univerza v Ljubljani,  
Fakulteta za elektrotehniko



## CERTIFIKAT PLATINASTE BONITETNE ODLIČNOSTI PODJETJU PPT COMMERCE

Podjetje PPT Commerce je prejemnik platinastega certifikata bonitetne odličnosti, ki ga uvršča med najbolj stabilna in uspešna slovenska podjetja.



*Direktor podjetja PPT Commerce Sava Ignjatović ob prejemu certifikata bonitetne odličnosti (julij 2020)*

Certifikat platinaste bonitetne odličnosti prejmejo izključno podjetja, ki imajo najvišjo bonitetno odličnost zlati AAA kar tri leta zapored in za leto 2019 predstavljajo 1,5 % slovenskega trga.

Raziskave skupine Bisnode potrjujejo, da je certifikat bonitetne odličnosti pokazatelj zaupanja in stabilnosti določenega podjetja, kar je še posebej pomembno v kriznih časih. Večja verjetnost je, da bodo bonitetno odlična podjetja uspešno nadaljevala poslovanje tudi po koncu pandemije.

Bonitetno oceno odličnosti imajo le podjetja, ki dosegajo najvišje standarde poslovanja in so se v daljšem časovnem obdobju izkazala kot zanesljiv in kredibilen poslovni partner.

V mednarodnem okolju je certificiranje uveljavljena praksa. Z njim podjetja dodatno utrjujejo svoj ugled in povečujejo zaupanje. V Sloveniji ima skupina Bisnode večletno tradicijo v podeljevanju certifikatov bonitetne odličnosti. Certifikat potrjuje ugled podjetja in nadpovprečno kakovost poslovanja, kar pomeni večjo učinkovitost in dobičkonosnost. Poslovanje z njim predstavlja nizko tveganje.

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



**Arduino**  
**Programirajmo z lahkoto**

<https://svet-el.si>

## VABILO NA DVOSTRANSKE SESTANKE MED PODJETJI IN RAZISKOVALCI

Letošnja 13. Mednarodna konferenca o prenosu tehnologij, ki jo 8. oktobra organizira Center za prenos tehnologij in inovacij na Institutu »Jožef Stefan« s partnerji, bo poleg vsebin o tehnološkem prenosu iz raziskovalnih institucij v gospodarstvo z znanimi imeni iz tujine in Slovenije ter s tekmovanjem za najboljšo inovacijo v letu 2020 na javnih raziskovalnih organizacijah znova gostila tudi vnaprej načrtovane dvostranske sestanke med raziskovalci in podjetniki z mednarodno udeležbo.



*Dvostranski sestanki med podjetji in raziskovalci*

Z uspešno izvedenimi tovrstnimi sestanki v preteklih letih, ki se jih je udeležilo preko 100 raziskovalcev in podjetnikov iz Slovenije in tujine, bodo tudi letos priložnosti za:

- ▶ pogovore o možnih razvojnih rešitvah tehnoloških izzivov, izumih in komercialno zanimivih tehnologijah;
- ▶ navezavo poslovno-raziskovalnih stikov s številnimi uglednimi podjetji in raziskovalci iz Slovenije in tujine;
- ▶ izhodišče za morebitno poslovno in raziskovalno sodelovanje in poslovne sinergije;
- ▶ seznanitev z najnovejšimi temami in trendi na vašem področju zanimanja.

Novost letošnje konference in R2B-sestankov bo podelitev prestižne nagrade *IP Enterprise Trophy* pod okriljem *Svetovne organizacije za intelektualno lastnino* (WIPO, *World Intellectual Property Organization*), s katero želimo spodbuditi slovenska podjetja k intenzivnejšemu sodelovanju z javnimi raziskovalnimi organizacijam in izpostaviti dobro prakso podjetij, ki v svojih poslovnih procesih nenehno in metodološko uporabljajo sistem intelektualne lastnine.

Udeležba na dogodku je brezplačna. Prijavo je možno oddati preko strani <https://13ittc-r2b.b2match.io/> do 1. oktobra 2020.

Podjetja vabimo, da prisluhnejo tudi drugim sklopom konference. Posebej izpostavljamo kratke poljudne predstavitve znanstvenih dosežkov izbranih slovenskih znanstvenikov.

Več informacij in prijave: <http://ittc.ijs.si/>.

V primeru ponovnega izbruha Covid-19 bodo konferenca in sestanki potekali virtualno. Konferenca predstavlja letni nacionalni dogodek Konzorcija za prenos tehnologij iz javnih raziskovalnih organizacij v gospodarstvo, ki ga sofinancirata Republika Slovenija in Evropska unija iz Evropskega sklada za regionalni razvoj in ga koordinira Institut »Jožef Stefan«.

Marjeta Trobec,  
Center za prenos tehnologij in inovacij  
na Institutu »Jožef Stefan«

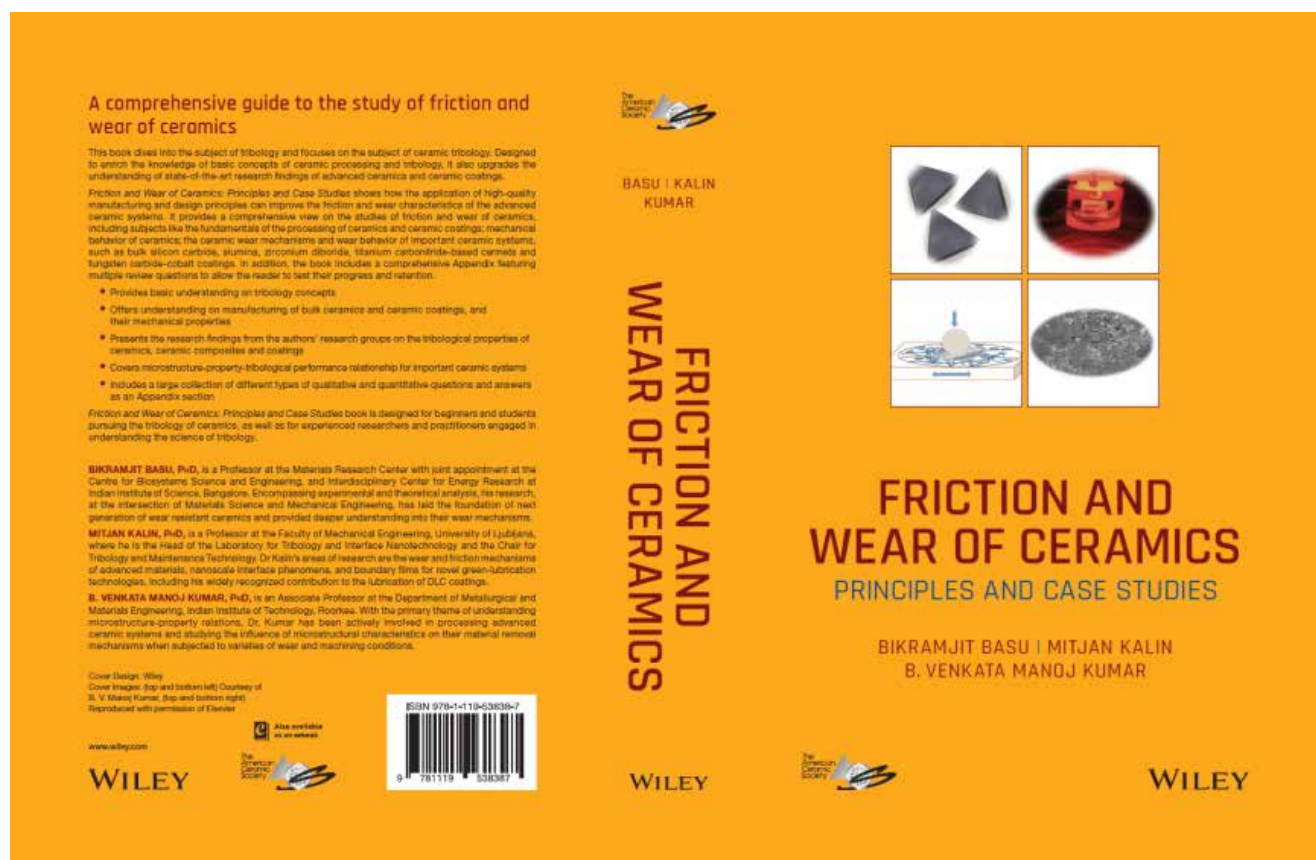
POSVET

# AVTOMATIZACIJA STREGE IN MONTAŽE 2020 - ASM '20

10. decembra 2020  
na Gospodarski zbornici Slovenije v Ljubljani

## ZALOŽBA WILEY OBJAVILA KNJIGO TRENJE IN OBRABA KERAMIKE

Prof. dr. Mitjan Kalin, predstojnik Katedre za tribologijo in sisteme vzdrževanja, vodja Laboratorija za tribologijo in površinsko nanotehnologijo (TINT) in dekan Fakultete za strojništvo, je izdal že drugo knjigo pri svetovno priznani založbi Wiley. Pri izdaji knjige z naslovom *Friction and Wear of Ceramics: Principles and Case Studies* (Trenje in obraba keramike: principi in študije primerov) sta sodelovala še avtorja prof. dr. Bikramjit Basu (IIS Bangalore, Indija) in izr. prof. dr. B. Venkata Manoj Kumar (IIT Roorkee, Indija).



Knjiga pokriva široko področje tribologije in je zasnovana prvenstveno za enostavno in kohezivno razumevanje študentov in znanstvenikov, ki se podajajo v svet tribologije s poudarkom na materialih, še posebej tehnični keramiki in kompozitih. Bralcu pomaga razumeti, da je celovito poznavanje področja trenja in lastnosti obrabe materialov ključno za oblikovanje in razvoj novih inženirskih komponent.

Založba Wiley, pri kateri je bila knjiga objavljena, omogoča raziskovalcem komunikacijo o pomembnih odkritjih. Njihove spletne znanstvene, tehnične, medicinske in študijske revije, knjige ter druge spletne vsebine temeljijo na 200-letni tradiciji kako-

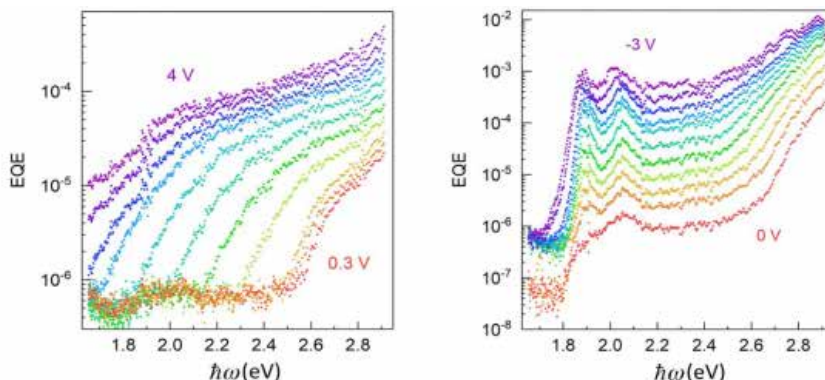
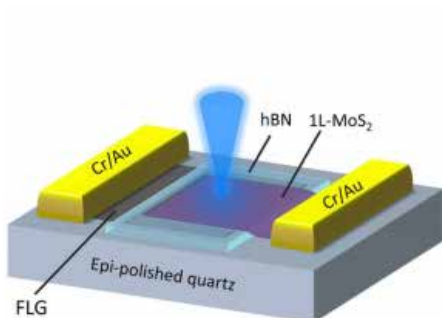
vostnega založništva. Pri svojem delu sodelujejo z avtorji, društvi, knjižnicami in drugimi člani raziskovalne skupnosti z namenom ustvarjanja in širjenja znanstvenih spoznanj, ki pomagajo reševati največje svetovne izzive.

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



## IZKORIŠČANJE EKSCITONSKO-EKSCITONSKÉ ANIHILACIJE PRI DVODIMENZIONALNIH POLPREVODNIKI

Član Laboratorija za lasersko tehniko (LASTEH) dr. Daniele Vella je skupaj s strokovnjaki iz Japonske in Singapurja sodeloval pri raziskavi o izkoriščanju ekscitonsko-ekscitonske anihilacije pri dvodimenzionalnih polprevodnikih. Rezultate raziskave so objavili v prestižni reviji Nano Letters z visokim faktorjem vpliva 12.279.



Dvodimenzionalni polprevodniški dihalogenidi prehodnih kovin (TMD) predstavljajo nov razred nanomaterialov za prihodnje nastajajoče tehnologije v nanoelektroniki, optoelektroniki in fotoniki. Miniaturizacija tranzistorjev in optoelektronskih naprav sta pokazali svoje meje glede zmanjševanja dolžine kanala tranzistorja, kar povzroča t. i. učinke kratkega kanala. V zadnjem desetletju so raziskovalci po vsem svetu pokazali na možnost izdelovanja naprav nanovelikosti z mobilnostjo elektronov, primerljivo s silicijevimi napravami. Poleg tega TMD-ji kažejo na močne interakcije svetlobe s snovjo (10-odstotna absorpcija svetlobe) in na prehod od posredne (nekajplastni sistem) do neposredne širine prepovedanega pasu pri enoplastni meji, ki je posledica kvantne zaježitve. Ta koncept je omogočil študije fotoluminescence, elektroluminescence in izkoriščanja energije za temeljne znanosti in prihodnje aplikacije. Ko so TMD-ji fotovzbujeni, se v material generirajo ekscitoni (vezano stanje elektrona in jame, ki se privlačita s Coulombovimi interakcijami). Pri tradicionalnem polprevodniku je njihova vezivna energija reda približno 10 meV, v enoslojnih TMD-jih pa je lahko 500 meV. Ta močna vezivna energija je zaradi zmanjšane presejanja Coulombovih interakcij v enoplastnem sloju omogočila opazovanje ekscitonskega optičnega prehoda v absorpcijskem spektru pri sobni temperaturi. Fizika TMD-jev se spreminja z gostoto vzburjanja (laserska fluena) in stopnjo nečistoč, ki prikazuje različne interakcije teles, ki vključujejo nabite delce in več ekscitonov. Razumevanje fotofizike naprav na osnovi TMD postaja pomembno za razvoj učinkovitejših naprav za izkoriščanje energije in elektrooptičnih naprav.

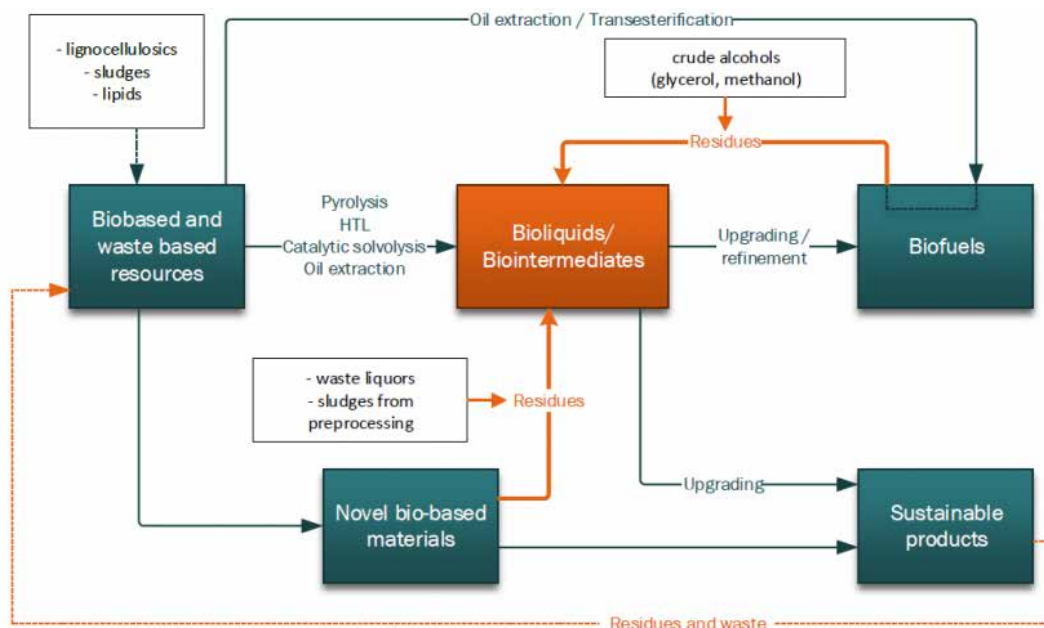
V prispevku avtorji poročajo o nekonvencionalnem fotoodzivu van der Waalsovih heterostrukturalnih naprav, ki je posledica učinkovite ekscitonsko-ek-

scitonske anihilacije (EEA). V ta namen so uporabili heterostrukture kovinsko izoliranih polprevodnikov, sestavljenih iz enoplastnega dihalogenida prehodnih kovin (TMD), heksagonalnega bornitrida (hBN) in nekajplastnega grafena. Raziskovali so dinamiko fotovzbujenih nosilcev heterostrukture z merjenjem spektralnih značilnosti v odvisnosti od smeri fototoka, ki jih generirajo fotoni z različno energijo od 1,65 do 2,91 eV. V napravi nastaja fototok, kadar imajo fotovzbujeni nosilci dovolj energije za premagovanje visokoenergijske barriere hBN. Zanimivo je, da naprava kaže zmerno kvantno učinkovitost fototoka tudi takrat, ko je polprevodniška plast TMD vzburjena pri njeni temeljni ekscitonski resonanci kljub visoki energiji vezave ekscitona in veliki transportni barieri. Pri pozitivni smeri toka je spekter fototoka brez posebnosti, za fototok pa je odgovoren medplastni prenos naboja netermaliziranih fotonosilcev s Fowler-Nordheimovim tunelskim učinkom. V zaporni smeri ima fototok podobno mejno vedenje, vendar z dvema izrazitima vrhoma, ki ustrezata absorpcijski resonanci ekscitona. Opazovanje končnega fototoka pri energiji vzburjanja po kvazidelčni širini prepovedanega pasu TMD-jev kaže, da se eksciton loči, pri tem pa ustvari vroče jame z dovoljšnjim presežkom energije, da premaga potencialno bariero zaradi hBN. Dokazali so, da je EEA odgovorna za ločitev ekscitonov in posledično nastajanje vročih nosilcev. Njihove ugotovitve poudarjajo prevladujočo vlogo EEA pri določanju fotoodziva 2D polprevodniških optoelektronskih naprav in predvidevajo možnost uporabe inteligentne zasnove heterostruktur z izbiro materialov in inženiringom prepovedanih pasov, ki omogočajo izboljšane naprave za izkoriščanje energije z izkoriščanjem procesov EEA pri dvodimenzionalnih polprevodnikih.

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

## BIOTEKOČINE KOT OBNOVLJIV VIR ENERGIJE

Člani laboratorija LICeM so v široki mednarodni zasedbi v prestižni reviji »Renewable and sustainable energy reviews« s faktorjem vpliva 10.556 objavili pregledni znanstveni članek »Bioliquids for power generation - a technology review«, ki zaokrožuje znanstveno raziskovalna dognanja v obdobju veljavnosti zadnje Evropske uredbe o obnovljivih virih energije (2009/28/EC).



Klasifikacija kemičnih nosilcev energije je natančno določena v evropskih uredbah o obnovljivih virih energije, ki uvaja dve kategoriji nosilcev – biogoriva in biotekočine. Slednje se uporabljajo predvsem za ogrevanje, hlajenje in proizvodnjo električne energije. Raziskovalci so na podlagi obsežnega dela raziskovalne ekipe v članku kritično ovrednotili napredek tehnologij za pridobivanje energije z uporabo biotekočin, kot jih določa Evropska uredba o obnovljivih virih energije (2009/28/EC in 2018/2001 EC). Poleg kritičnega vrednotenja napredka na

področju zgorevanja biotekočin in potrebnih ukrepov na sistemih za proizvodnjo energije je pomemben prispevek članka umestitev tehnologij v novo evropsko uredbu o obnovljivih virih (2018/2001 EC) ter v prihajajoče procese krožnega gospodarstva. S tem so raziskovalci postavili osnove, ki obstoječim tehničnim rešitvam dajejo novo vlogo v družbi brez odpadkov in predstavljajo izhodišče za nadaljnje znanstveno delo v energetski perspektivi do leta 2030.

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

6.-8.10.2020  
GR, Ljubljana

**CLEAN ME**  
Strokovni sejem za industrijsko & komercialno čiščenje

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

## HIDRAVLIČNE CEVI ZA PRENOS ZAHTEVNEJŠIH TEKOČIN

Hidravlične cevi so namenjene za prenos rastlinskih, mineralnih in sintetičnih olj, z njimi pa se učinkovito prenašajo tudi glikol, poliglikol, bencin, druga goriva in voda. Hidravlične cevi prenesejo obremenitve do 3250 barov, odporne so na abrazijo, ob tem pa kljubujejo tudi ozonu in visokim temperaturam. Hidravlične cevi so odporne tudi na vse vremenske vplive, na UV-svetlobo, v določenih primerih, kadar gre za posebne izvedbe, pa jih ne uničita niti statična elektrika ali ogenj. Hidravlične brezšivne cevi podjetja S3C ustrezajo vsem standardom težke industrije.



**Slika 1 :** Hidravlične kovinske cevi in pribor za montažo

Hidravlične cevi se delijo na:

- ▶ visokotlačne,
- ▶ nizkotlačne
- ▶ in gibke.

*Visokotlačne cevi* so namenjene pretoku hidravličnih medijev pod visokim tlakom in prenesejo temperaturo nekje od  $-40\text{ °C}$  do  $+125\text{ °C}$ , izdelane so iz kovine.

*Nizkotlačne kovinske hidravlične cevi* so namenjene pretoku, na primer olj in goriv, njihova delovna temperatura pa je odvisna od tipa. Prenesejo lahko temperature od  $-35\text{ °C}$  do  $+80\text{ °C}$  ali več, na primer od  $-40\text{ °C}$  do  $+125\text{ °C}$ .

*Gibke hidravlične cevi* so izdelane iz gume, tako da jih je mogoče napeljati glede na potrebe. Njihova sestava je odvisna od tlaka in pretoka, v osnovi pa



**Slika 2 :** Dvostranski sestanki med podjetji in raziskovalci

so sestavljene iz več plasti gume s tekstilno in kovinsko mrežo. Pri nakupu standardne ali hidravlične precizne cevi je treba upoštevati dolžino cevi, vrsto priključka, zunanji premer, notranji premer in največji dovoljeni tlak.

*Hidravlične precizne cevi* so primerne takrat, kadar standardne hidravlične cevi ne ustrezajo. Izdelane so po točno zahtevanih merah do milimetra natančno. Hidravlične precizne cevi se ločijo po premeru, in sicer je ta 2-100 mm ali več glede na zahteve.

Vsi izdelki podjetja S3C so vrhunske kvalitete, zanesljivi in imajo dolgo življenjsko dobo. V podjetju S3C svetujejo pri izbiri ustreznih cevi.

### Vir:

S3C d. o. o., Tržaška cesta 116, 1000 Ljubljana, tel. 01/423-22-22, faks 01/423-22-00, e-pošta: info@s3c.si



# INDUSTRIJSKI FORUM **IRT** 2021

## NEPOGREŠLJIV VIR INFORMACIJ ZA STROKO

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

## FORUM ZNANJA IN IZKUŠENJ

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



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

Portorož, 7. in 8. junij 2021

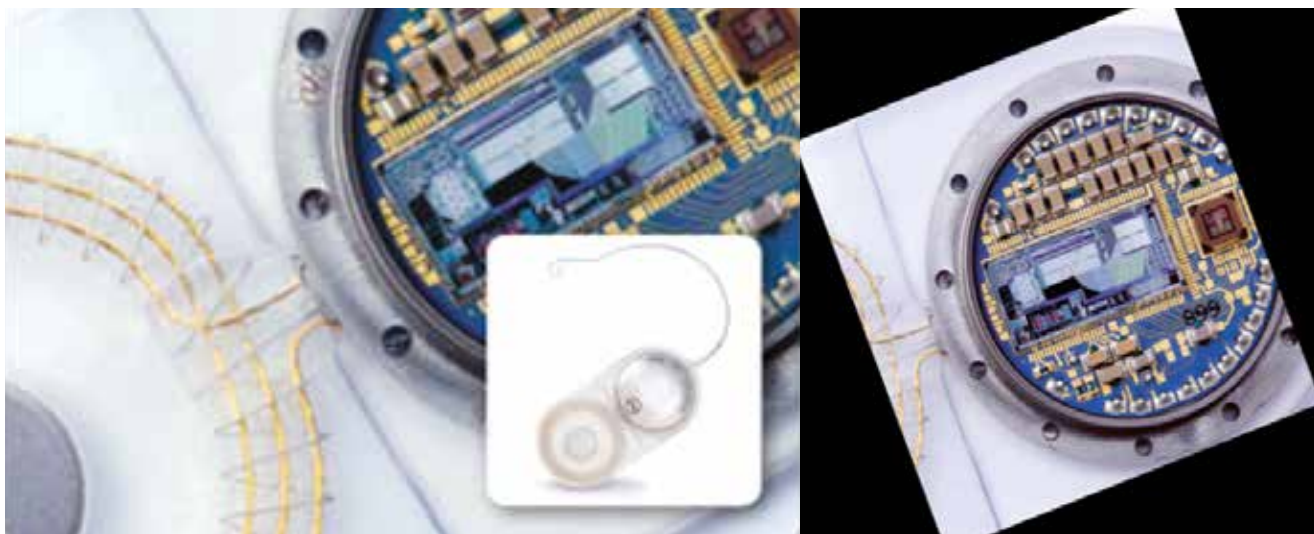
[www.forum-irt.si](http://www.forum-irt.si)

Dogodek poteka pod častnim pokroviteljstvom predsednika Republike Slovenije Boruta Pahorja.

# BIONIČNI VSADKI IN TRENDI RAZVOJA NA TEM PODROČJU

Janez Škrlec

Bionični vsadki lahko nadomeščajo manjkajoče ali poškodovane dela telesa z umetnim ekvivalentom. Včasih lahko bionični implantat celo preseže zmogljivosti naravnega človeškega organa. Bionika z inovacijami, ki nastajajo na tem področju, omogoča, da se pacientom povrne funkcionalnost in uporabnost okončin ali določenih organov.



*Sodoben bionični slušni sistem*

Najnovejše tehnologije, kot so 3D in 4D tiskanje, nanotehnologija in umetna inteligenca, izboljšujejo vzdržljivost bioničnih implantatov in jih delajo realistične in ekstremno funkcionalne. Razviti so za učinkovito uporabo, postajajo čutni na dotik, občutljivi na električne impulze in druge dražljaje. Bionični vsadki obstajajo že desetletja, lahko bi trdili, da je prvi bionični implantat pravzaprav srčni spodbujevalnik, ustvarjen v petdesetih letih prejšnjega stoletja. Srčni spodbujevalniki so električne naprave, ki podpirajo optimalno delovanje srca s pošiljanjem ustreznih električnih impulzov, ki pomagajo srčnim utripom. Še en bionični vsadek se je pojavil v osemdesetih letih prejšnjega stoletja: slušni aparat. Ta je izboljšal naglušnost s priključitvijo naprave, ki ustrezno ojača zvok.

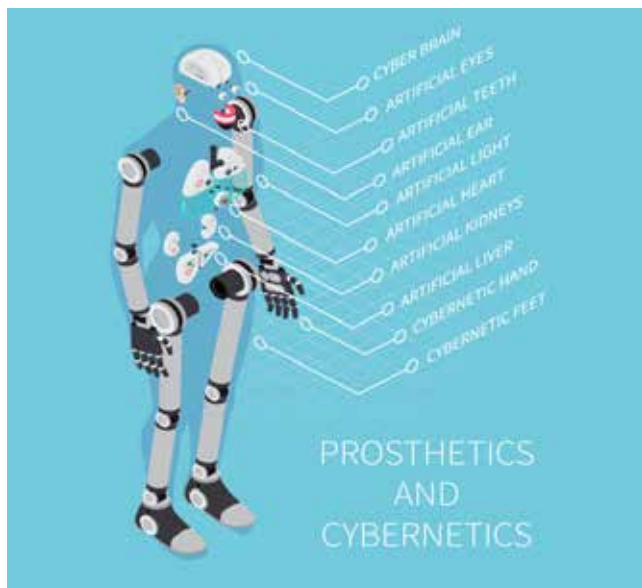
## Novejše bionične inovacije

Med novejše bionične inovacije sodijo bionične

**Janez Škrlec, inž.**, Razvojna raziskovalna dejavnost, Zg. Poljskava

roke in noge, ki so vedno bolj sofisticirane in učinkovite. Te inovacije omogočajo gibalne sposobnosti, oprijem, čutnost in občutljivost. Vedno bolj so podobne organskim rokam in nogam. Slušne aparate poznamo že desetletja, bionični sluh pa šele nekaj let. Gre za bionične vsadke, npr. Cochlear by Advanced Bionics, ki omogočajo uporabniku, da slušni sistem popolnoma zaobide uho in uporabi električne impulze do možganov in ti potem simulirajo sluh. Ta metoda se je izkazala za boljšo od običajnega slušnega aparata. Danes poznamo tudi sistem za bionični vid, ki omogoča vid tudi v primeru, ko to doslej ni bilo mogoče. Te naprave sicer ne nadomeščajo fizičnega očesa, ampak so kot neke vrste očala, nameščena nad očmi uporabnika, z vgrajenimi mikrokamerami, procesorji, oddajniki in sprejemniki, ki sprejemajo in oddajajo vidne informacije možganom. V primeru razvoja bioničnega vida gre sicer za različne pristope glede na vrsto okvare vida (mrežnice, leče, optičnega živca, receptorjev) itd. Danes poznamo tudi bionično srce (TAH - totalno umetno srce), ki uporabniku omogoča, da ima kirurško nameščeno umetno srce, ki nadomešča delovanje poškodovanih zaklopov in prekatov. Podjetje BiVACOR je razvilo





Infografika ilustrira uspešen razvoj bionike na različnih področjih, še zlasti povezanih z inteligentno protetiko, inteligentnimi vsadki, možganskimi vmesniki in drugimi sistemi. (Foto: Bigstock)

bionični implantat, ki je majhen, vzdržljiv in lahko svojo funkcijo opravlja, dokler ni izvedena fizična presaditev srca. Inženirji s tehnološkega inštituta v Massachusettsu pa so razvili biorobotsko hibridno srce za testiranje protetskih zaklopk in drugih srčnih naprav. Med bionične implantate sodijo tudi različni nevrostimulatorji, protibolečinske črpalke, možganski vmesniki v povezavi z inteligentno protetiko.

## Bionični organi in njihov razvoj

Danes že lahko govorimo o velikem napredku pri razvoju in ustvarjanju bioničnih organov, kot so umetne ledvice, trebušna slinavka in drugo. Bionični implantat ledvice lahko zelo učinkovito izloča toksine in nadomešča druge vitalne funkcije. Letos naj bi zagledale luč sveta prve prave bionične umetne ledvice. Rešitev skupine UCSF namreč vključuje dve najpomembnejši komponenti: nanoinženirski kremenčev filter za odstranjevanje raztopljenih toksinov in bioreaktor, ki vsebuje žive ledvične celice. Prednost bionične ledvice bi bila tudi v tem, da bi jo zdravniki lahko nadomestili z minimalno invazivnim operativnim posegom. Intenzivno se danes raziskujejo tudi drugi bionični organi, kot so bionična trebušna slinavka in bionični možganski vsadki. Visokotehnološke bionične naprave pa omogočajo pacientom izboljšano kakovost življenja ter hitrejšo pridobitev diagnostičnih podatkov.

Z bionskimi tehnologijami se danes lahko zdravijo različna bolezenska stanja, ki prizadenejo posamezne organe človeškega telesa. Zdravijo se z modulacijo perifernih živcev in s terapevtsko električno stimulacijo. Periferni živčni sistem je namreč mreža nevronov zunaj možganov in hrbtenjače. Naprave, ki modulirajo delovanje perifernih živcev, obnovijo delovanje obolelih organov, lahko pa v določenih primerih nadomestijo uporabo farmaceutskih zdravil, še zlasti takrat, ko zdravljenje s tradicionalnimi metodami ni učinkovito. Ta pristop ponuja vznemirljive možnosti za prihodnje zdravljenje vnetnih in presnovnih bolezni, pa tudi kroničnih bolečin.

**IRT**  
3000  
INOVACIJE • RAZVOJ • TEHNOLOGIJE

SPLAČA SE  
BITI NAROČNIK



ZA SAMO 50€ DOBITE:

- celoletno naročnino na revijo IRT3000 (10 števil)
- strokovne vsebine na več kot 140 straneh
- vsakih 14 dni e-novice IRT3000 na osebni elektronski naslov
- možnost ugodnejšega nakupa strokovne literature

UGODNOSTI ZA  
NAROČNIKE REVIE

Vsak novi naročnik prejme  
majico in ovratni trak

NAROČITE SE! ☎ 01 5800 884 ✉ info@irt3000.si 🌐 www.irt3000.si/narocam

Na voljo tudi digitalna različica revije

[WWW.IRT3000.COM](http://WWW.IRT3000.COM)



# S-GEAR DESIGN RULES

Jože Hlebanja, Gorazd Hlebanja, Mark Umberger

## Abstract:

Gears featuring the curved path of contact were implemented in heavy industry where it was proven that such gears can successfully replace involute gears. Purely graphical method of design was later replaced by an analytical definition which enabled calculation of not only gear geometry but other relevant aspects as well (e.g. sliding velocity, curvature radii, etc). So, the most important definition is that of the rack profile which can be regarded as a cutting tool profile. Thus, the tooth flank of the rack profile defines the unique path of contact. And according to the law of gearing gears (external and internal) of arbitrary number of teeth are derived from there. Furthermore, the paper describes helical gears and crossed (perpendicular) helical gears which can be used in multipliers.

## Keywords:

power transmission, involute gears, S-gears, helical gears, crossed helical gear pairs

## Introduction to the development of S-gears

Gears are machine elements of vital importance for the transmission of power from high-speed rotating power sources to work machines consuming the power. The shape of tooth flanks is decisive for seamless transmission of power from driving gears to driven gears. In modern gear manufacturing, a gear is generated using a basic-rack-shaped cutter whose datum line executes rolling motion on the gear's pitch circle. Shaping the tooth flanks requires a properly shaped generating cutting tool. Since Leonard Euler (1707-1783), the most common shape of cylindrical gear tooth flanks has been the involute, generated using a straight cutting edge and yielding a straight path of contact. *Fig. 1* shows the involute function: the curve begins in point K on the base circle and takes shape as point K unwinds from it. The centres of curvature in points 1, 2, 3 etc. on the involute are situated in corresponding points 1, 2, 3 etc. on the base circle. It is evident that the distances between the points on the base circle are increasing, and thereby also the involute's curvature radii. Following the involute in the other direction towards the base circle, the curvature radii are diminishing, finally reaching zero in point K. The contribution of the involute teeth flank's dedendum part in the transmission of power is therefore low. As a driving gear tooth meshes with a driven gear

tooth, the transmission of power from the driving gear to the driven gear takes place on the A-E line, also called the path of contact. In involute gears, power (load) is transmitted from a small tooth flank surface in the dedendum part of the driving gear to a large tooth flank surface in the addendum part of the driven gear. This is unfavourable in terms of gear durability.

## S-gear design

The rules of S-gear design were presented for the first time in 2010 at the VDI International Conference on Gears in Garching near Munich in the paper "Spur gears with a curved path of contact for small gearing dimensions", published in "VDI Berichte 2108, VDI Verlag (p. 1281-1294)" [1]. These rules are often used in research work, so it may be assumed that they are well-known. In this paper, they will be reiterated and complemented with new findings. Both the previously mentioned work and this paper focus on the industrial gear manufacturing processes employing the rolling motion of cutters in the shape of the basic rack, where a point  $P_i$  on the generating tool's cutting edge moves towards point  $U_i$  on the path of contact. The location of point  $U_i$  obeys the basic law of gearing and here point  $G_i$  is generated (cut) on the emerging gear tooth flank. This is followed by rotating the gear tooth flank with the new point  $G_i$  in the direction of generation, so that point  $P_i$  travels from point  $U_i$  to the original point on the basic rack profile curve.

The described procedure for shaping S-gears is also assumed here, but our focus will be on larger gear dimensions and on the review of the state-of-the-art in S-gears. The starting points are our guidelines from the paper discussing smaller gears [1] and the equation for the rack tooth flank profile:

$$y_{P_i} = a_p (1 - (1 - x_{P_i})^n) \quad (1)$$

**Prof. em. Dr. Jože Hlebanja**, univ. dipl. inž.,  
University of Ljubljana, Faculty of Mechanical  
Engineering, Slovenia

**Dr. Gorazd Hlebanja**, univ. dipl. inž., University of  
Novo mesto, Faculty of Mechanical Engineering,  
Slovenia

**Dr. Mark Umberger**, univ. dipl. inž., Entia, d. o. o.,  
Ljubljana, Slovenia

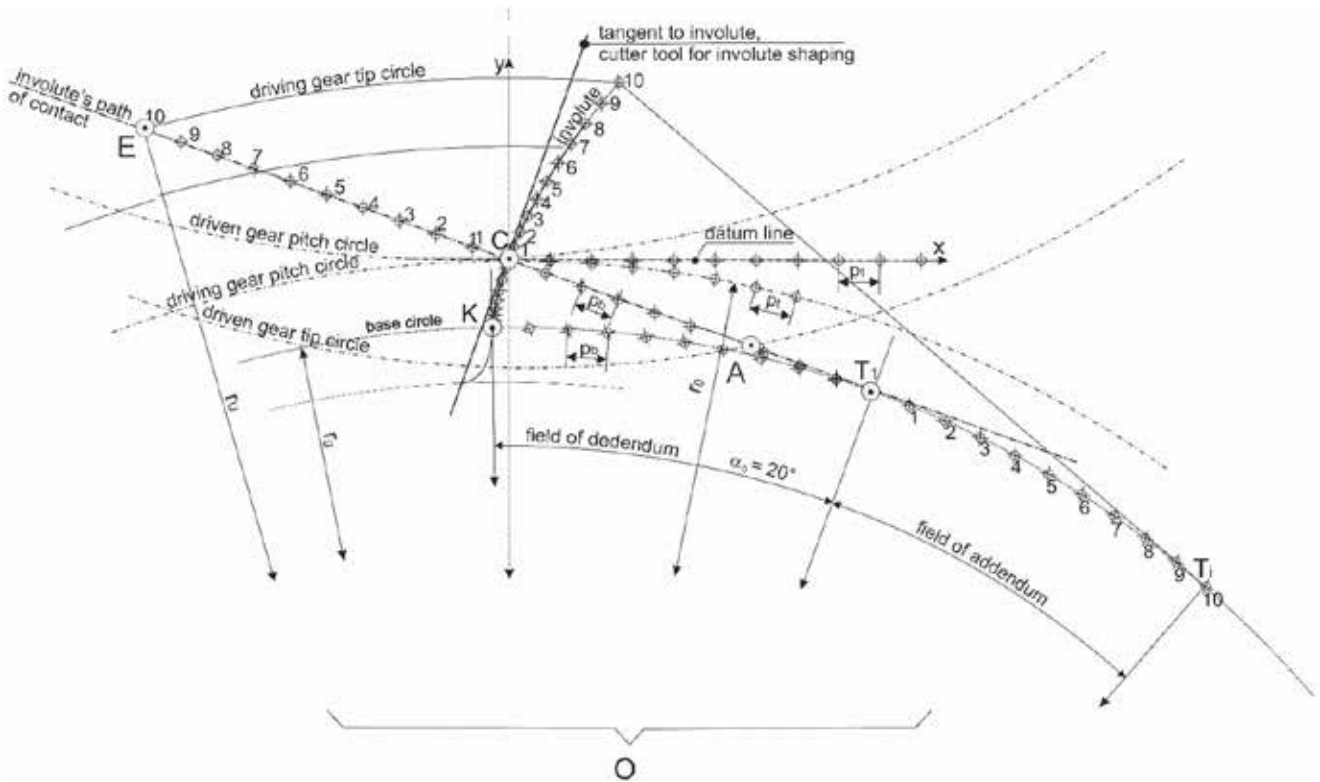


Figure 1 : Kinematic conditions in the involute gear pitch point

The function consists of two identical halves, one defining the addendum part of the rack tooth flank profile and the other its dedendum part. To every part of the cutting edge there belongs a corresponding section of the path of contact. The whole path of contact assumes the shape of the letter “S”, and this gear type was therefore named “S-gears”/“S-gearing”.

The cutting edge function (1) assumes the maximum value  $y_v = a_p$  at  $x_v = m$  and the part of function used to define the basic rack tooth flank is from C

to  $A(x_{Pa}, y_{Pa} = m)$ . The abscissa  $x_{Pi}$  of any point  $P_i$  on the basic rack profile is determined by:

$$x_{Pi} = 1 - (1 - y_{Pi}/a_p)^{1/n} \tag{2}$$

The derivative  $y'_{Pi}$  is used to obtain the tangents on the cutting edge curve:

$$y'_{Pi} = n \cdot a_p \cdot (1 - x_{Pi})^{n-1} \tag{3}$$

Here,  $x_{Pi}$  and  $y_{Pi}$  are the Cartesian coordinates with the origin in the pitch point C,  $a_p$  is the size factor

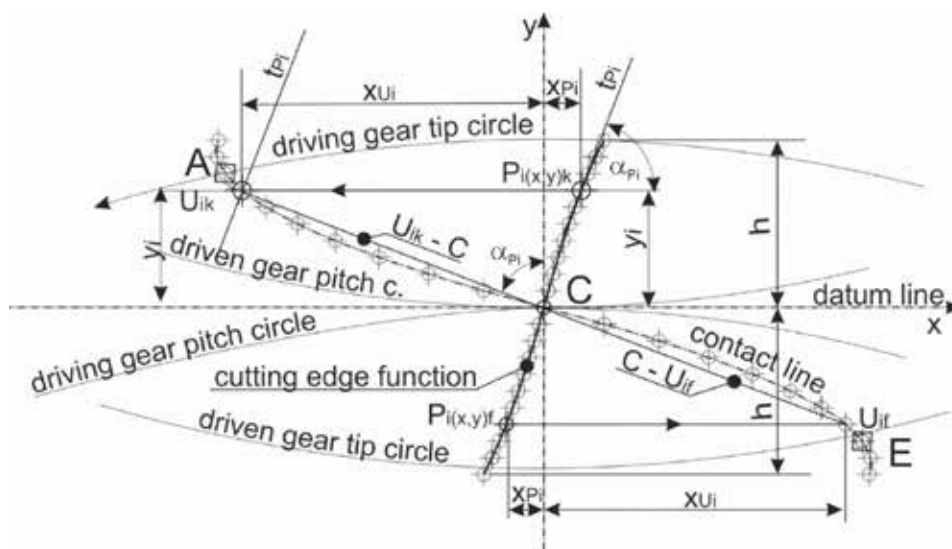


Figure 2 : Cutting edge function and the corresponding path of contact

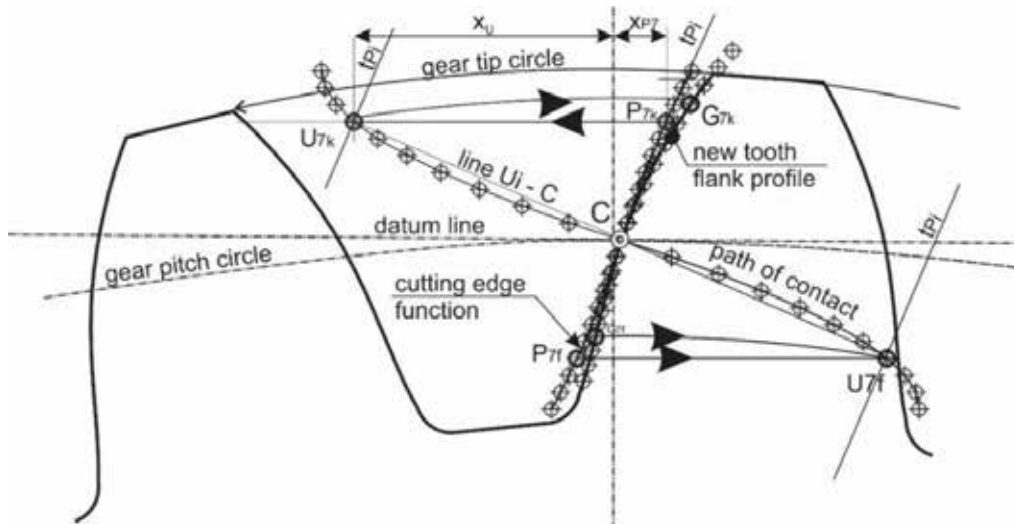


Figure 3 : Generation of points Gi on the tooth flank takes place at the location of points Ui on the path of contact

and  $n$  is the exponent. Both parameters are decisive for the characteristics of the profile function  $y_{pi}$ . Two halves join in the pitch point  $C$  to form a single function  $y_{pi}$ . The coordinates of points in the dedendum part are of identical magnitude, but their sign is reversed. In any point  $P_i$  on the profile, a tangent  $t_{pi}$  can be drawn with slope  $\alpha_{pi} = \text{atan}(y'_{pi})$ . As the rack cutter moves horizontally, it reaches the point  $U_i$  on the path of contact, in which the normal to tangent  $t_{pi}$  crosses the pitch point  $C$ . The tooth flank thereby satisfies the fundamental law of gearing. The abscissa  $x_{Ui}$  of point  $U_i$  on the path of contact is determined from the ordinate  $y_{pi}$  and the slope of the tangent  $\alpha_{pi}$ :

$$x_{Ui} = y_{pi} \cdot \tan(\alpha_{pi}) = -y_{pi} \cdot y'_{pi} \tag{4}$$

The process of machining the workpiece in points  $U_i$  with the cutting edge generates the tooth flank surface along the path of contact as determined by Eq. (1).

To calculate the velocity of every point  $G$  on the tooth flank while on the path of contact  $U_i$ , the radius  $r_{Ui}$ , i.e. the distance from the gear centre, is needed:

$$r_{Ui} = (x_{Ui}^2 + (r_0 \pm y_{Ui})^2)^{0.5}, \tag{5}$$

where  $r_0$  is the radius of the gear pitch circle. Eq. (5) is valid for the addendum part (plus operator in the parentheses) and the dedendum part (minus operator in the parentheses) of both the driving and the driven gear.

### Shaping S-gear tooth flanks

As the point  $P_i$  on the cutting edge reaches the path of contact in point  $U_i$  (Fig. 2, 3, and 4), profile generating takes place on the workpiece and point  $G_i$  emerges on the gear tooth flank. The point  $G_i$  on the gear must travel the path  $s$  until it reaches the cutting point  $U_i$ :

$$s = x_{pi} + x_{Ui} \tag{Fig. 2} \tag{6}$$

The new point on the tooth flank  $G_i$  also travels the same path over a circular arc until it reaches the final position on the gear. The arc angle  $\varphi_{0UGi}$  is determined as follows:

$$\varphi_{0UGi} = s/r_0 = (x_{pi} + x_{Ui})/r_0 \tag{7}$$

### Generating S-gear tooth flanks by milling

The starting points for generating S-gear tooth flanks by milling are a composition of the cutting edge and the path of contact as shown and functionally linked in Fig. 2, 3 and 4, the requirement for the cutting edge profile function to satisfy Eq. 1, and tooth flank generation by rolling motion. In this case, the points  $P_i$  on the cutting edge generate points  $G_i$  on the tooth flank of the gear being cut, the machining itself taking place in points  $U_i$  on the path of contact. The location of points  $G$  on the finished teeth flanks is determined by coordinates  $x_{Gi}$  and  $y_{Gi}$  for the tooth addendum part:

$$x_{Gi} = r_{Ui} \cdot \sin \varphi_{Gi}, y_{Gi} = r_{Ui} \cdot \cos \varphi_{Gi} - r_0 \tag{8}$$

The coordinates  $x_{Gj}$  and  $y_{Gj}$  for the dedendum part are pole-symmetric.

The derivation of equation (8) is explained using Fig. 4 showing the most important design features.

### Gear tooth flank profile calculation procedure

First, the cutting edge's basic function as defined in [1] is calculated using real data:

1. The size factor  $a_p$  is selected from the range

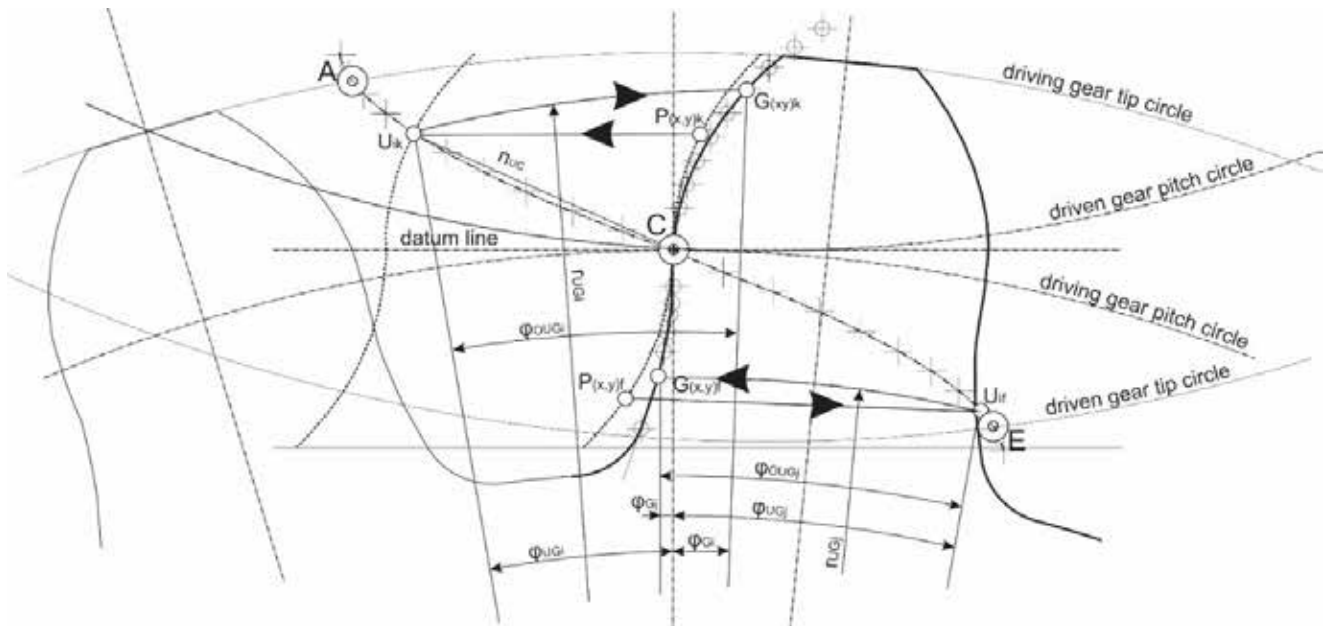


Figure 4 : Geometric parameters defining the gear tooth flanks

- 1,2-1,6; recommended value is  $a_p = 1,4$ .
2. Value for  $\alpha_0$  is selected:  $\alpha_0 = 70^\circ$ ,  $\tan(\alpha_0) = 2,747$
3. The radius of gear pitch circle  $r_0$  is determined;  $r_0 = z \cdot m / 2$  ( $z$  = number of teeth,  $m$  = module)
4. The ordinates  $y_i$  of points  $P_i$  are determined along the addendum part of the cutting edge: 10 points  $P_i$  were distributed between the tooth tip and point C in 0,1 mm intervals. The profile is invariant to the module, e.g. for  $m = 5$  mm these intervals are multiplied by 5.
5. In the dedendum part of the tooth, the point ordinates  $y_i$  are distributed using the same intervals, but in the reverse direction from point C to the bottom of the fillet.
6. The abscissa  $x_i$  is calculated for all points  $P_i$  using Eq. 2.
7. The derivative  $y'_i$  is calculated for all points  $P_i$  using Eq. 3.
8. The abscissas  $x_{U_i}$  of all points on the path of contact  $U_i$  are calculated using Eq. 4.
9. The radii  $r_{U_i}$  (distance from the gear centre) in respective points  $U_i$  on the path of contact are calculated using Eq. 5.
10. The angles  $\varphi_{OU_{Gi}}$  and  $\varphi_{OU_{Gj}}$  are calculated for the addendum and dedendum part of the tooth, respectively.
11. The angles  $\varphi_{UGi}$  and  $\varphi_{UGj}$  are calculated for the addendum and dedendum part, respectively.
12. The angles  $\varphi_{Gi}$  and  $\varphi_{Gj}$  are calculated for the addendum and dedendum part, respectively.

Using the data obtained under points 1 to 12 and Eq. 8, the coordinates of the points on the gear tooth flank  $G_i(x, y)$  are calculated for all points  $P_i$  on the cutting edge (10 points for the addendum and 10 points for the dedendum part):

$$(9a)$$

$$\varphi_{OU_{Gi}} = (x_{P_i} + x_{U_i}) / r_0; \varphi_{UGi} = \text{atan}(x_{U_i} / (r_0 + y_i)); \varphi_{Gi} = \varphi_{OU_{Gi}} - \varphi_{UGi}$$

In the root part, the flank is generated before the tooth bisector and the following angles are formed:

$$(9b)$$

$$\varphi_{OU_{Gj}} = (x_{U_j} - x_{P_j}) / r_0; \varphi_{UGj} = \text{atan}(x_{U_j} / (r_0 - y_j)); \varphi_{Gj} = \varphi_{OU_{Gj}} - \varphi_{UGj}$$

### Slope of tangent $\alpha_{kGt}$ in points $G_i(x, y)$ on the new tooth flank profile

Considering the selected base tooth profile, the value of tangent slope in any point  $P_i$  on the curve can be determined as  $y'_{P_i}$ , yielding the slope of the tangent  $\alpha_{kGt}$  in any point  $G_i$  on the tooth flank as follows for the addendum part:

$$\alpha_{Gi} = \text{atan}(y'_{P_i}) - \varphi_{OU_{Gi}} \quad (10a)$$

and for the dedendum part:

$$\alpha_{Gi} = \text{atan}(y'_{P_j}) + \varphi_{OU_{Gj}} \quad (10b)$$

The slope of the tangent  $\Upsilon$  on the cutting edge in pitch point C is particularly important and values between  $65^\circ$  and  $75^\circ$  are usually used. The slope of the tangent in the pitch point ( $x_{P_i} = 0$ ) is as follows:

$$\tan \Upsilon = n \cdot a_p \cdot (1 - x_{P_i})^{1/n} = n \cdot a_p$$

The exponent  $n$  corresponding to the selected value of  $a_p = 1,4-1,5$  is therefore:

$$n = \tan \Upsilon / a_p \quad (11)$$

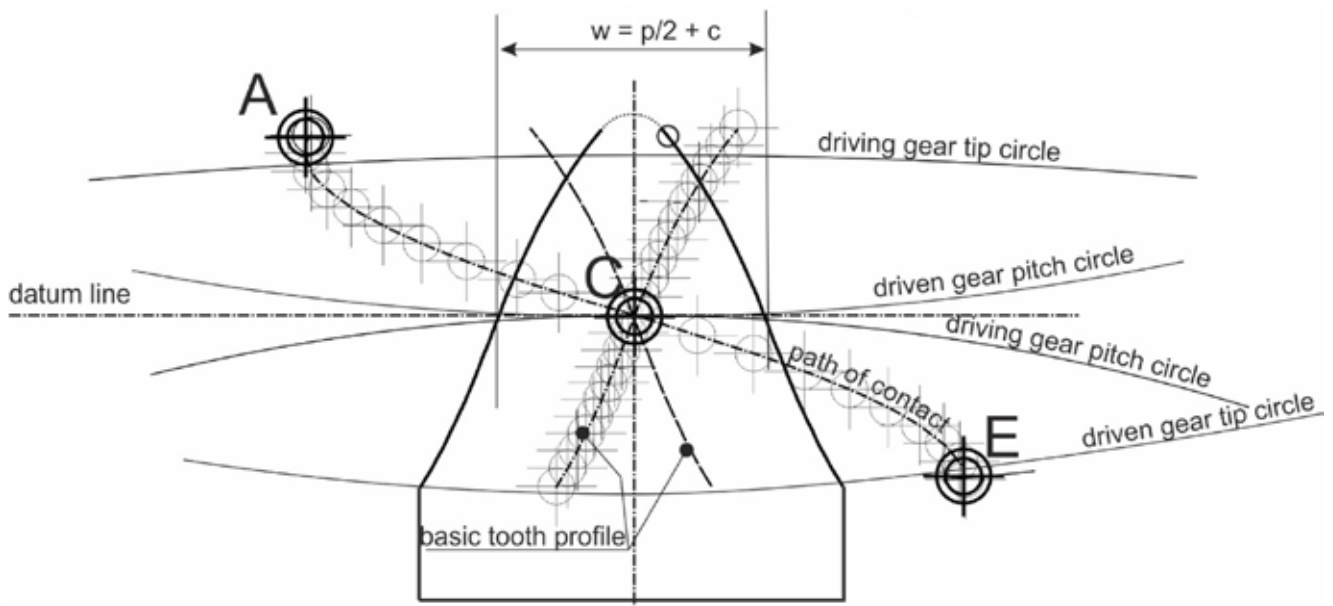


Figure 5 : Profile of the cutter used for machining S-gear tooth spaces

### The shape of cutters for the S-gear tooth spaces

The profile of cutters as shown in Fig. 5 is determined from the cutting edge function and the path of contact, Fig. 3, passing through the pitch point C. The right-hand cutting edge on Fig. 5 was used to generate the left-hand flank of the tool, while its mirrored counterpart, which also passes through the pitch point C, was used to obtain the right-hand flank of the cutting tool. The distance between both

tooth flanks equals the tooth space  $w$ , consisting of half the pitch  $p$  plus the gear's operating backlash  $c$ , as determined by the standard.

Fig 6. shows an S-gear pair designed according to the procedure presented in this paper. The driving gear has 16 and the driven pinion 40 teeth. The path of contact intersects the driving gear's tip circle in point A. Here the root of the driving gear tooth starts engaging with the tip of the driven gear. The path of contact ends in point E where it intersects

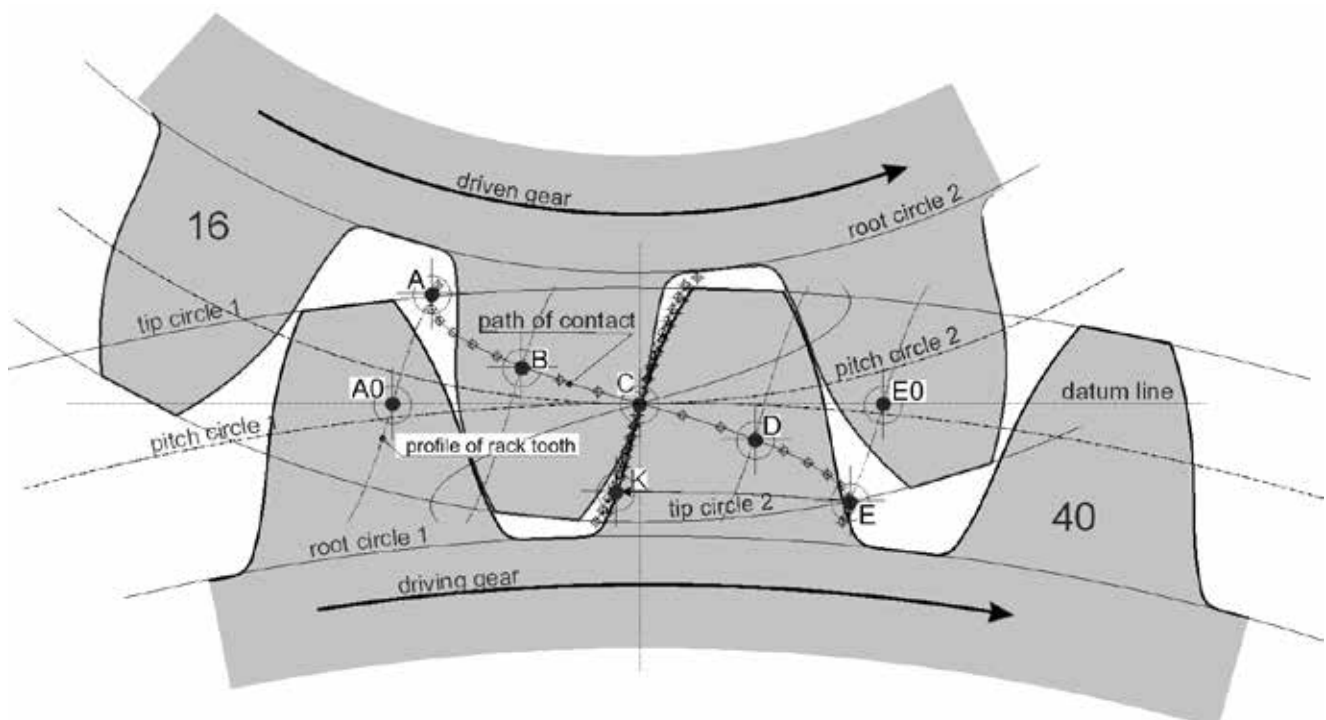


Figure 6 : S-gear pair teeth,  $m = 5$  mm (enlarged)

the driven gear's tip circle. The length of the path of contact depends on the gear module. In this pair, both gears have the same module and they therefore share a path of contact of the same shape and length. Power is transmitted by rolling motion of the driven gear's flank on the driving gear's flank. In contrast, in involute gears the point of contact in the pitch point C is stationary and the tooth flanks are sliding in the direction of the helix.

## Helical S-gears

Ordinary helical gears are characterised by an involute tooth flank profile in the plane perpendicular to the axis. Their teeth are set at an angle relative to the axis and take the shape of a helix with helical spaces in between. This section presents the new helical S-gears.

The left-hand side of *Figure 7* shows a section through the teeth and the spaces of a helical S-gear through the pitch point C plane and the datum line, the direction of generation by rolling motion and the direction of tooth space milling executed by the rack teeth. The right-hand side of *Figure 7* right shows a vertical section A-E through the helical gear and the tooth space profile in the direction of reciprocating generating motion. It also shows the path of contact in the same plane, beginning in point A and ending in point E. The path of contact

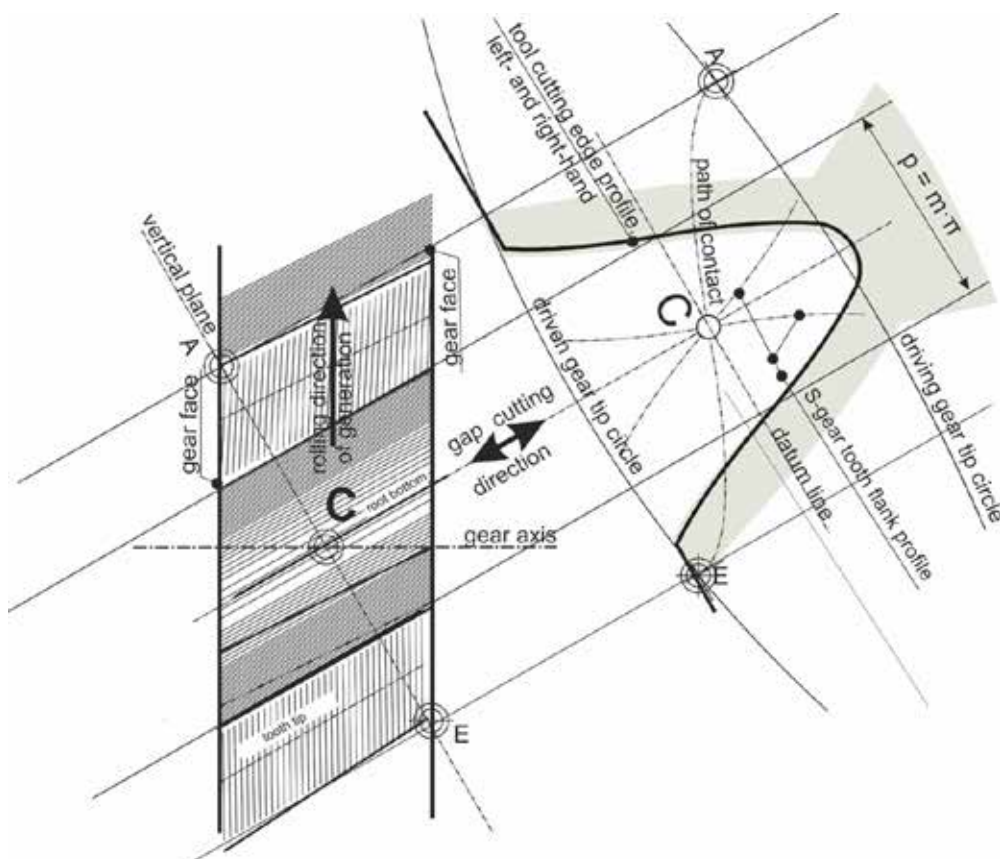
begins at the tip circle of the driving gear (A) and ends at the tip circle of the driven gear (E). The abscissas of points  $U_i$  on the path of contact are multiplied by  $1/\cos \beta$  when using this method. It must be noted that milling generates points G on the new gear flanks along the whole path of contact, removing material over the length of the flank.

## Friction testing of S-modified gear pairs with identical paths of contact

The main advantage of S-modified gear pairs lies in the fact that the relative motion in contact points on the tooth flanks is rolling and friction is largely absent, all the way from the start of meshing in point A to the end of engagement in point E.

The helical S-gears presented in this paper were milled using a corresponding custom-made cutter whose datum line executed rolling motion on the gear's pitch circle. The profile of the custom-made cutters used to machine the tooth spaces was constructed following the S-gear design rules, Fig. 2, 3 and 4. Company Perovšek, d.o.o. manufactured the gears on ordinary gear-milling machines. Both gears in a pair were manufactured using the same tool to obtain the same path of contact.

The test bed consisted of the driving gear fitted on the output shaft and the driven gear fitted on the



*Figure 7* : Characteristics of helical S-gear manufacturing

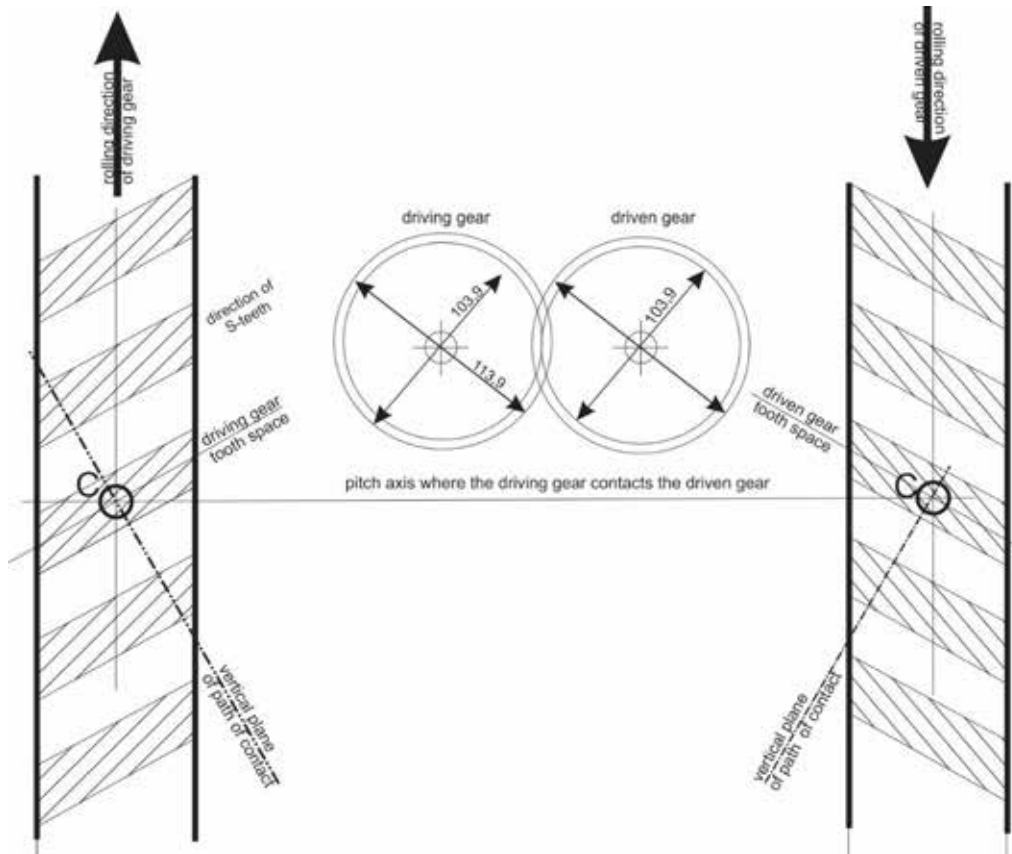


Figure 8 : Test of resistance to rotation of modified S-gears under no external load



Figure 9 : A different test helical S-gear pair: driving gear  $z_1 = 28$ , driven gear  $z_2 = 16$



Figure 10 : A helical S-gear pair with perpendicular shafts as used in centrifuges

input shaft. Friction losses in the gear transmission were monitored and they turned out to be negligible. It was therefore confirmed that this gear pair transmits torque by rolling motion on the path of contact, thereby saving energy. Fig. 8 shows corresponding schematics and Fig. 9 a prototype helical gear pair.

### Helical gear pairs with perpendicular shafts

This gear drive type consists of two cylindrical gears with helical teeth fitted to perpendicular shafts.

They are often used in centrifuge drives (e. g. Alfa-Laval) and our implementation uses a large driving gear with 60 teeth on the horizontal shaft and a smaller driven gear with 20 teeth on the vertical shaft, Fig. 10. The module of our gear mechanism is  $m = 5$  mm, the angle of left-hand helix angle on the large driving gear is  $b_1 = 30^\circ$ , and the right-hand helix angle on the small driven gear is  $b_2 = 60^\circ$ . Our goal was to test the manufacturability of such S-gears and the resulting gear pair shown in Fig. 10 proved to be a success.



## Conclusions

In this paper we have presented the design and the essential elements of our S-gears that were under development for more than 10 years and are now feasible for industrial manufacturing. Previous research of S-gears focused mainly on smaller steel or plastic gears with modules  $m \leq 1$  mm, while present work also covers larger gears. The presented subject matter does not claim to be complete, but the author believes that the gear specialists may find it useful and will be able to complement it as necessary. The author is also ready to answer any questions. He believes that S-gears will be

able to fill some niches where involute gears are not a good fit and wishes a lot of success to all users of S-gears.

## References

- [1] Hlebanja, J., Hlebanja, G. (2010). Spur gears with a curved path of contact for small gearing dimensions. VDI-Bericht 2108: 4th International Conference on Gears, Garching near Munich, Germany, Oct. 4-6, 2010: Europe invites the world. VDI-Verlag, Düsseldorf, p. 1281-1294.
- [2] Hlebanja, J. (1974). Erzeugung von Zahnflank-

## Nomenclature

Figure 1	
AE	path of contact
C	pitch point
K	involute function start point
$T_1$	center of involute curvature radius in point C
$T_i$	center of involute curvature radius in point i
$r_U$	tip circle radius
$r_g$	base circle radius
Figure 2	
$P_i$	point on the rack profile (cutting edge)
$U_i$	point on the path of contact
$U_{ik}$ C and $CU_{jk}$	normal to tangent $t_{P_i}$
$t_{P_i}$	tangent to cutting edge in point $P_i$
$\alpha$	angle of tangent $t_{P_i}$
h	tooth tip/root height
Figure 3	
$U_{7k}$ , $U_{7f}$	points on path of contact where points $G_{7k}$ and $G_{7f}$ are generated
Figure 4	
$\varphi_{OUGi, j}$	angle of circular arc between $U_{ik, f}$ and $G_{k, f}$
$\varphi_{UGi, j}$	angle of circular arc between $U_{ik, f}$ and axis y
$\varphi_{Gi, j}$	angle of circular arc between $G_{k, f}$ and axis y
$r_{UGi, j}$	radius in point $G_{i, j}$
Figure 5	
p	pitch
c	backlash
w	tooth space
Figure 6	
$x_i$ , $y_i$	Cartesian coordinates originating in the pitch point C
$a_p$	size factor
n	exponent
$\alpha_{P_i}$	slope of tangent $t_{P_i}$
$r_{U_i}$	radius in point $U_i$ , measured from the gear centre
$r_o$	pitch circle radius
$\varphi_{OUGi}$	arc of travel of point $G_i$
$\varphi_{Gi}$	slope of tangent $t_{G_i}$

- enprofilen durch Rollkurven. *Antriebstechnik*, vol. 13, no. 2, p. 111-117.
- [3] Hlebanja, J. (1991). Influence of the path of contact shape on sliding conditions between tooth flanks. *JSME International conference on motion and power transmission*, Hiroshima
- [4] Hlebanja, J. (1976). Konkav-konvexe Verzahnung. Ermittlung der Zahnflanken und einige Grenzfälle. *Antriebstechnik*, vol. 15, no. 6, p. 324-329.
- [5] Niemann G., Winter H. (1988). *Maschinenelemente*, Band 2, chapter Sonderverzahnung nach Hlebanja, p. 43.
- [6] Hlebanja J, Okorn I. (1996). Investigation of tooth surface durability of non-involute spur gears. *Proceedings of International Conference on Gears*, p. 443-450.
- [7] Hlebanja J, Okorn I. (1999). Charakteristische Eigenschaften von Zahnrädern mit stetig gekrümmter Eingriffslinie. *Antriebstechnik*, vol. 38, nr. 12, p. 55-58.
- [8] Okorn I. (2000). Research of tooth flank durability of gears with progressively curved path of contact. Ph.D. Thesis (in Slovene). University of Ljubljana
- [9] Hlebanja J., Hlebanja G. (2002). Lubrication efficiency of S-Gears. *VDI-Bericht 1665*. VDI-Verlag, Düsseldorf, p. 1065-1076.
- [10] Hlebanja J., Hlebanja G. (2005). Tooth flank durability of internal S-gears. *VDI-Bericht 1904*. VDI-Verlag, Düsseldorf, p. 385-394.
- [11] Hlebanja J., Hlebanja G. (2005). Anwendbarkeit der S-Verzahnung in Getriebebau. *Antriebstechnik*, vol. 44, nr. 2, p. 34-38.
- [12] Hlebanja J., Hlebanja G. (2008). Constructive measures to increase the load-carrying capacity of gears, *Proceedings of 48. anniversary of the Faculty of technical sciences*, Novi Sad, Serbia.
- [13] Hlebanja J., Hlebanja G. (2009). Konkav-konvexe Sonderverzahnung, Vorteile und Nachteile gegenüber Evolventenverzahnung. *Proceedings of International Conference on Power Transmission '09*
- [14] Hlebanja G. (2011). Specially Shaped Spur Gears: A Step Towards Use in Miniature Mechatronic Applications. *Proceedings of 7th International Scientific Conference on Research and Development of Mechanical Elements and Systems IRMES*, p. 475-480
- [15] Hlebanja G., Kulovec S., Duhovnik J. (2014). S-gears made of polymers. *Proceedings of the 1st international conference on polymer tribology*, Bled, Slovenia
- [16] Zorko D., Kulovec S., Tavčar J., Duhovnik J. (2017). Different teeth profile shapes of polymer gears and comparison of their performance. *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing*, vol 11, no. 6.
- [17] Hlebanja G., Kulovec S. (2018). Thermal behaviour of plastic S-shaped gears in comparison with involute gears. *Proceedings of 3rd international conference on polymer tribology*, Portorož, Slovenia. This research was co-founded by the Republic of Slovenia and the European Regional Development Fund.
- [18] Hlebanja G., Hlebanja J. (2013). Influence of axis distance variation on rotation transmission in S-Gears: example of heavy-duty gears, *VDI-Bericht 2199*, VDI-Verlag, Düsseldorf, p. 669-679.
- [19] Hlebanja G., Kulovec S., Duhovnik J. (2016). Experimental determination of plastic S-gear characteristics. *Proceedings of 2nd international conference on polymer tribology*, Ljubljana, Slovenia.
- [20] Duhovnik J., Zorko D., Sedej L. (2016). The effect of teeth profile shape on polymer gear pair properties. *Tehnički vjesnik*, vol. 23, no. 1., p. 199-207.
- [21] Hlebanja G., Hlebanja J. (2012). Contact circumstances of the highly loaded, low speed gears, *Proceedings of KOD 2012*, p. 21-26.
- [22] Hlebanja J., Hlebanja G. (1994). Efficiency and maximal transmitted load for internal lantern planetary gears. *Proceedings of International gearing conference*, p. 117-120.
- [23] Hlebanja J., Hlebanja G. (1994). Planetary gearing. patent no. 9300152 with Slovenian Intellectual Property Office (SIPO).
- [24] Hlebanja J., Hlebanja G. (2012). Contribution to the development of cylindrical gears. *Proceedings of 4th international conference Power transmissions*, Sinaia, Romania, p. 309-320
- [25] Hlebanja G., Kulovec S., Hlebanja J., Duhovnik J. (2014). S-gears made of polymers. *Ventil*, vol 20. no. 5, p. 358-367

### Dedication to Professor Winter (6. 1. 1921 – 14. 11. 1999)

Alternatives for involute gears have been sought in the expert circles for many years. Our idea to shape the cutting edge using a particular mathematical function proved to be successful to a certain extent. In my endeavours, I have enjoyed a lot of support from Prof. Prof. em. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Hans Winter and his associates at FZG. Professor Winter was a world-renowned scientist in the field of development of gear technology and modern technical systems. Upon the presentation of this review of the state-of-the-art in S-gear development, the late professor Winter deserves all acknowledgement and the author expresses his appreciation for professor Winter's contribution to the development of gear technology.

## Pravila za oblikovanje S-Ozobj

### Razširjeni povzetek:

Zobniki z ukrivljeno ubirnico so bili izdelani za potrebe težke industrije pred več desetletji. Izkazalo se je, da lahko taki zobniki uspešno nadomestijo evolventne zobnike. Takratne grafične metode konstruiranja zobnikov in orodij pa je bilo nujno nadomestiti z analitičnimi metodami. Profil boka zoba zobnice predstavlja definicijo rezalnega orodja. Tako je bilo utemeljeno, da se bok zobnice definira s polsimetrično parabolično funkcijo. Funkcija vsebuje dva parametra, s katerima se lahko oblika te funkcije (posledično pa tudi oblika zob zobnika) spreminja. To sta eksponent in faktor velikosti. Za nek bok zoba zobnice obstaja zgolj ena sama ubirnica, iz nje pa lahko izpeljemo zunanje ali notranje zobnike s poljubnim številom zob. Iz praktičnih razlogov lahko modul jemljemo kot mersko enoto.

Posebej je poudarjena razlika med evolventnimi in S-zobniki, izkaže se namreč, da imajo med ubiranjem zob gonilnega pastorka z gnanim zobnikom evolventni zobniki razmeroma kratek korenski del pastorka z majhnimi krivinskimi radiji nasproti precej daljšim vrhom gnanega zobnika, kar je s stališča trajnosti takega zobnika neugodno.

V članku je natančno opisan postopek, kako pride od analitično definirane polsimetrične oblike boka zoba zobnice do ubirnice in zob dveh zobnikov s poljubnima številoma zob, ki ubirata. Pri tem je pomen definicije boka zoba zobnice v tem, da omogoča numerični izračun. To ne velja samo za obliko bokov zob in protizob, ampak tudi za računanje krivinskih radijev, drsnih hitrosti, bočnih tlakov, ocene minimalnega oljnega sloja, ocene t. i. bliskovne temperature, dela trenja itd., kar sicer v prispevku ni prikazano.

Poseben pomen ima oblika osnovnega orodja za zobčanje S-zobnikov, to je zobate letve. Pomembna je možnost uporabe istega orodja za zobnike s poljubnim številom zob in še posebej pri poševnih in poševnozobih zobnikih z mimobežnimi (v tem primeru pravokotno postavljenimi) osmi, t. i. vijačnimi zobniškimi pari.

Največja prednost S-ozobja je v tem, da je pri relativnem gibanju v kontaktu več kotaljenja in manj drsenja in posledično manj trenja. To velja tudi za poševnozobe zobnike. Izdelan je bil tudi prototip para jeklenih vijačnih zobnikov za multiplikator z mimobežnima pravokotnima osema z modulom 5 mm. Gonilni zobnik ima 60 zob in  $\beta = 30^\circ$ , gnani zobnik pa 20 zob in kot  $\beta = 60^\circ$ .

### Ključne besede:

prenos moči, evolventni zobniki, S-zobniki, poševnozobi zobniki, vijačni zobniški par

# časopis industrija

## Vaša sigurna pot do tržišča v Srbiji



**Promovišite svoj posao i predstavite  
Vašu kompaniju.**  
Najnovije vesti, intervjui, reportaže  
sa sajmova u Srbiji i regionu,  
predstavljanje kompanija, sve na  
jednom mestu.

**www.industrija.rs**  
[www.facebook.com/casopis.industrija](http://www.facebook.com/casopis.industrija)

---

Pokličite nas:  
**ČASOPIS INDUSTRIJA**  
 Lazara Kujundžića 88,  
 11030 Beograd, Srbija

tel/fax. + 381 11 305 88 22  
 mob. + 381 60 344 84 28  
 e-mail: [office@industrija.rs](mailto:office@industrija.rs)

# RAZVOJ IN RAZISKAVE PROTOTIPA STEWARTOVE PLOŠČADI

Jan Pustavrh, Aljoša Peperko, Franc Majdič

## Izvleček:

V Laboratoriju za fluidno tehniko (LFT) smo najprej izdelali miniaturni model Stewartove ploščadi. Na podlagi te miniaturne električno gnane in krmiljene Stewartove ploščadi smo se odločili izdelati hidravlični prototip ploščadi tipa 6-6, ki omogoča simulacijo v šestih prostostnih stopnjah. Sestavljena je iz dveh nepravilnih šesterokotnikov in šestih aktuatorjev. V našem primeru smo uporabili hidravlične valje in hidravlični agregat ter elektrohidravlični krmilni sistem. Ploščad smo postavili na stojalo, na katero smo postavili vse sestavine, ki so potrebne za njeno delovanje. Najzahtevnejši del pri izvedbi projekta je bila izdelava krmilnega dela, saj se ves čas med delovanjem giblje vseh šest hidravličnih valjev.

## Ključne besede:

Stewartova ploščad, 6 prostostnih stopenj, hidravlične sestavine, simulatorji

## 1 Uvod

Ker si brez tehnike ne moremo predstavljati življenja, človek ves čas teži k razvoju, da si olajša vsakdanjik. Najprej je kot prevozna sredstva uporabljal živali, konje, osle, vole itd. Ker je človek v zgodovini ves čas težil k izboljšanju in razvoju, je začel izdelovati različna prevozna sredstva na lastni pogon, med drugimi tudi sredstva za potovanje po zraku, kot npr. jadra, letala ipd.

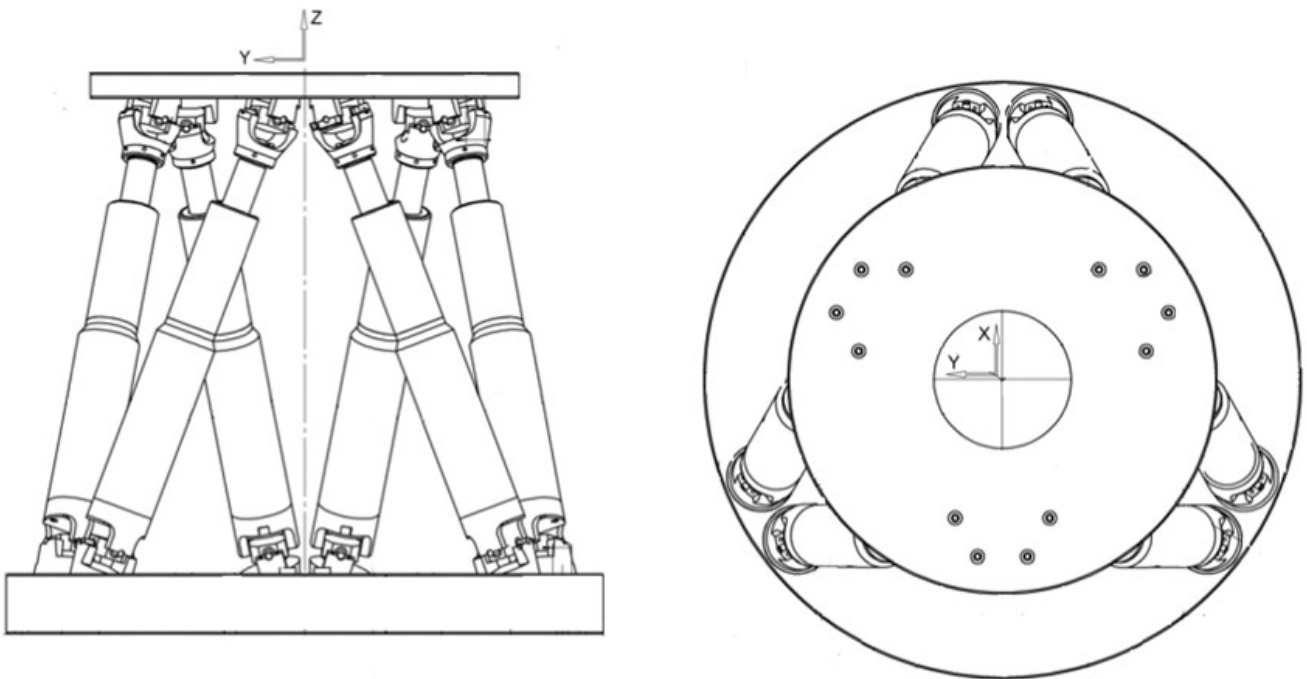
Zametki letalstva segajo že v prazgodovino s preprostimi projektili, razvoj letalstva pa se je zgodil šele v 20. stoletju. Prve leteče naprave so bili baloni na vroč zrak, ki so jih razvili več kot sto let pred letali. Leta 1900 je bil izdelan prvi zrakoplov, ki ga je izdelal Ferdinand von Zeppelin. Zrakoplov se je od balona razlikoval po tem, da je imel motor, ki ga je poganjal. Prvo jadralno letalo je leta 1891 izdelal Otto Lilenthal [1]. Leta 1903 je poletelo prvo letalo, ki ga je poganjal lastni pogon. Do največjega razvoja v letalstvu je prišlo med vojnam. Med 1. svetovno vojno je bilo izdelanih več kot 18.000 letal, prav tako pa se je zgodil velik napredek v letalstvu tudi med 2. svetovno vojno. Kasneje so izdelali tudi potniška letala. Za namene šolanja so tako že okoli leta 1910 zgradili prvi center za šolanje pilotov na tleh. V ta namen se uporablja Stewartova ploščad [2], ki omogoča simulacijo v šestih prostostnih stopnjah. Stewart je v svojem članku leta 1965 [2] opisal mehanizem s

šestimi prostostnimi stopnjami ter predlagal, da se uporablja kot simulator letenja za šolanje pilotov helikopterja. Čeprav tovrstne naprave običajno imenujejo Stewartova ploščad, je Stewartov predlagani mehanizem le drugačna konfiguracija sistema, ki ga je razvil že Gough [3] leta 1947. Gough je bil tudi eden izmed recenzentov Stewartovega članka, v svojem komentarju pa navaja, da je leta 1949 zasnoval podoben stroj za testiranje pnevmatik. Stroj je bil izdelan v letih 1954 in 1955. Stewartova ploščad se uporablja za različne namene, npr. za simulatorje letenja, kot ključna tehnologija nekaterih obdelovalnih strojev, za simulacije v kinodvoranah, pri simulacijah potresov, pri mehanskih bikih, v ortopedski kirurgiji, merilni tehniki ipd. Uporaba simulatorjev je vedno bolj povezana tudi z virtualnim svetom, saj se lahko tako še bolj približamo realnim pogojem.

## 2 Opis strukture

Stewartova ploščad (SP) (*slika 1*) omogoča simulacijo šestih prostostnih stopenj. V veliki meri se uporablja za šolanje pilotov ter dodatna usposabljanja. Zaradi hitre industrijske rasti in v želji po doživetju nemogočega se omenjene ploščadi danes uporabljajo tudi v zabaviščnih parkih, filmskem svetu, igrih ipd. SP je sestavljena iz pomicne ploščadi, ki je povezana s fiksno (nepomično) osnovno ploščadjo preko šestih nog – aktuatorjev (hidravličnih valjev). S spremembo dolžine nog (aktuatorjev) se omogoči gibanje zgornje premikajoče se ploščadi. Zaradi kompleksnejših položajev ploščadi oz. aktuatorjev je potrebno uporabiti univerzalne zglobe. Vsaka od šestih nog platforme je hidravlični valj (HV). Vsak HV je možno krmiliti ločeno, da se izvedejo zelene pozicije in pomiki.

Jan Pustavrh, dipl. inž.; doc. dr. Aljoša Peperko, prof. mat., doc. dr. Franc Majdič, univ. dipl. inž.; vsi Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo

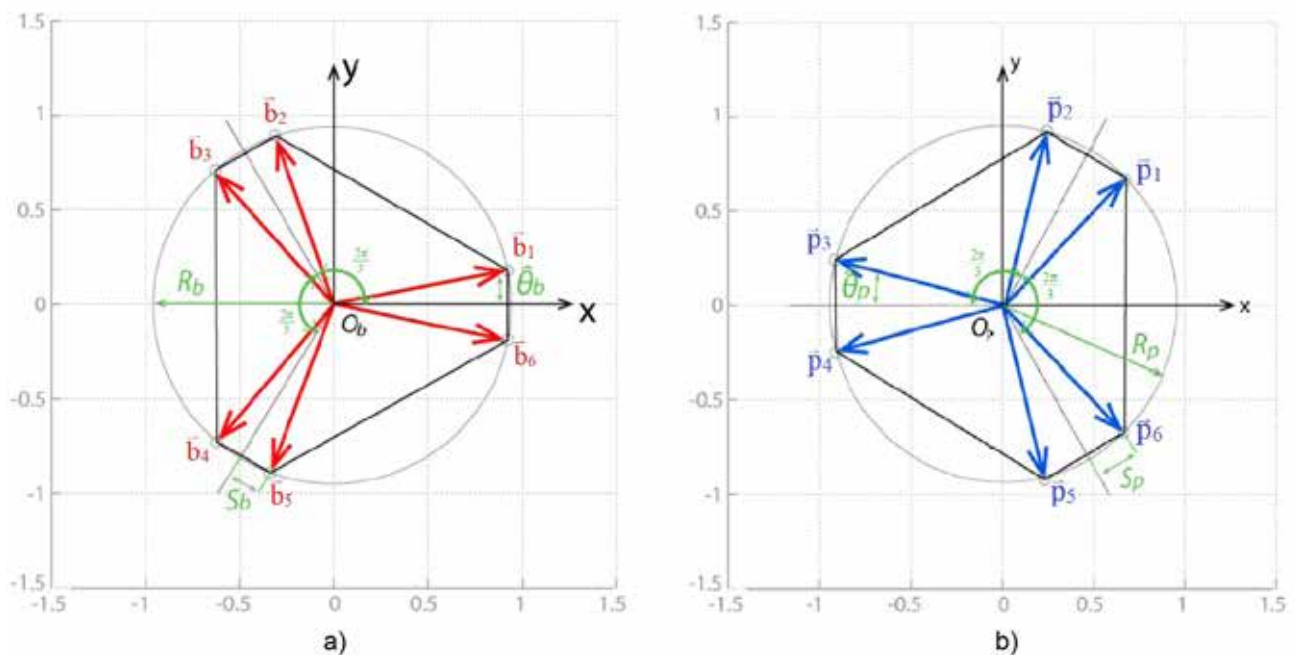


Slika 1 : Splošen model Stewartove ploščadi [4]

### 3 Matematično ozadje

Matematično ozadje delovanja Stewartove ploščadi je zelo zahtevno in pomembno pri njenem snovanju in krmiljenju. Pri zapisu matematičnega modela smo pregledali dostopno literaturo in si na koncu največ pomagali z znanstvenim člankom o šestprostostnih mehanizmih [5]. Končni rezultat pri matematičnem popisu delovanja Stewartove ploščadi je dolžina  $i$ -te noge, v našem primeru hidravličnega valja.

Za izračun dolžine  $i$ -te noge je potrebno vnaprej določiti nekaj podatkov, in sicer radij pomične in nepomične ploščadi, višino med koordinatnim sistemom na nepomični in pomični ploščadi ter kot med sosednjima vpetjema ( $\theta$ ) na nepomični in pomični ploščadi. Višino med fiksnim koordinatnim sistemom na nepomični in premikajočim se koordinatnim sistemom na pomični ploščadi zapišemo v vektorski obliki z enačbo (1). Koordinatam  $X$  in  $Y$  lahko prištevamo ali odštevamo  $\Delta X$  oz.  $\Delta Y$ , medtem



Slika 2 : a) Nepomična ploščad s koordinatnim sistemom  $O_b$ , šestimi vpetji  $\vec{b}_i$  ( $i = 1, \dots, 6$ ) ter kotom med sosednjima vpetjema  $\theta_b$ , b) pomična ploščad s koordinatnim sistemom  $O_p$ , šestimi vpetji  $\vec{p}_i$  ( $i = 1, \dots, 6$ ) ter kotom med sosednjima vpetjema  $\theta_p$  [5]

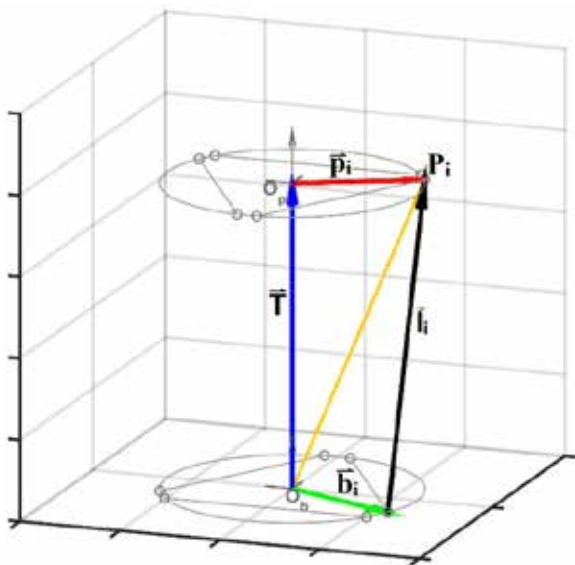
ko koordinati Z le prištevamo  $\Delta Z$ . Vektorsko zapišemo vpetja ( $\vec{b}_i$  ( $i = 1, \dots, 6$ )) na nepomični ploščadi (slika 2a) glede na koordinatni sistem na nepomični ploščadi ter vpetja ( $\vec{p}_i$  ( $i = 1, \dots, 6$ )) na pomični ploščadi (slika 2b) glede na koordinatni sistem na pomični ploščadi. Rotacijska matrika po enačbi (2) predstavlja zelo pomemben del pri izračunu dolžine nog.

$$\vec{T} = \begin{bmatrix} X \pm \Delta X \\ Y \pm \Delta Y \\ Z + \Delta Z \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$R_p^B = \begin{bmatrix} C\gamma C\beta & -S\gamma C\alpha + C\gamma S\beta S\alpha & S\gamma S\alpha + C\gamma S\beta C\alpha \\ S\gamma C\beta & C\gamma C\alpha + S\gamma S\beta S\alpha & -C\gamma S\alpha + S\gamma S\beta C\alpha \\ -S\beta & C\beta S\alpha & C\beta C\alpha \end{bmatrix} \quad (2)$$

Pri tem S predstavlja kotno funkcijo sinus in C kotno funkcijo kosinus, koti  $\alpha$ ,  $\beta$  in  $\gamma$  predstavljajo nagib okoli vzdolžne osi (ang. roll), nagib okoli prečne osi (ang. pitch) in zasuk okoli navpične osi letala (ang. yaw). Vektor, ki določa i-to nogo, izračunamo z enačbo (3). Vse potrebne veličine za izračun vektorja, ki določa i-to nogo, so prikazane na sliki 3.

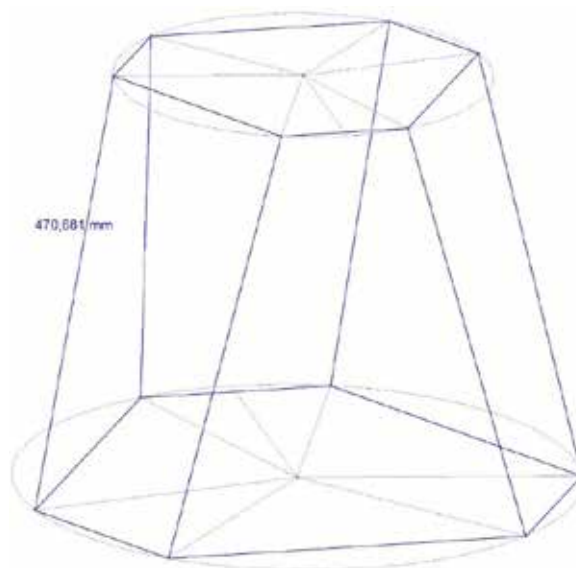
$$l_i = \vec{T} + R_p^B \cdot \vec{p}_i - \vec{b}_i \quad (3)$$



Slika 3 : Potrebne veličine za izračun dolžine i-te noge [5]

## Dejanski prikaz preračuna dolžine i-te noge

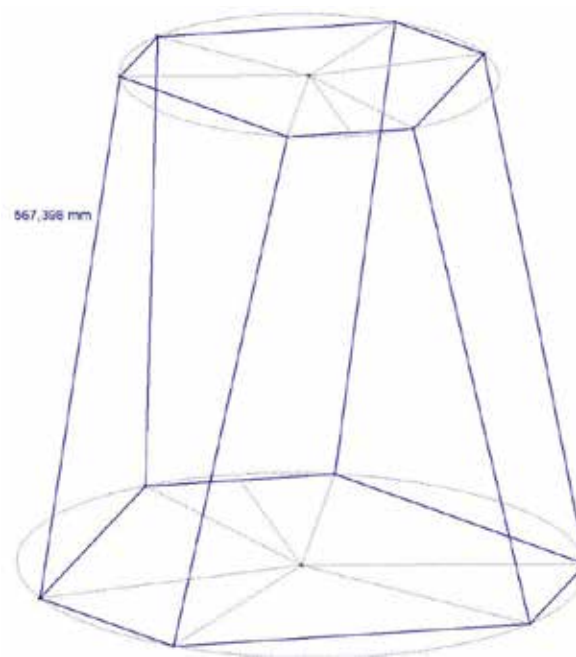
Prikazali bomo preračun dolžine i-te noge pri izvedbi delovnega giba vseh šestih hidravličnih valjev, to pomeni, da bodo dolžine vseh šestih hidravličnih valjev enake. Pri preračunu je potrebno uporabiti enačbo (3), v kateri  $\vec{T}$ , predstavlja krajevni vektor z izhodiščem v koordinatnem sistemu na nepomični ploščadi ter koncem v koordinatnem sistemu na pomični ploščadi,  $R_p^B$  je rotacijska matrika (2),  $\vec{p}_i$  predstavlja krajevni vektor vpetja na pomični



Slika 4 : Prikaz dolžine i-te noge na Stewartovi ploščadi v začetni legi (paličje)

ploščadi glede na koordinatni sistem na nepomični ploščadi in  $\vec{b}_i$  predstavlja krajevni vektor vpetja na nepomični ploščadi glede na koordinatni sistem na nepomični ploščadi. V enačbo (3) vstavimo vse predhodno našete veličine ter dobimo dolžino i-te noge za Stewartovo ploščad, ko so hidravlični valji v začetni legi, kar je prikazano z enačbo (4).

$$l_1 = \begin{bmatrix} 0 \pm \Delta X \\ 0 \pm \Delta Y \\ 0 + \Delta Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 281,908 \\ 102,606 \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} -52,094 \\ 295,442 \\ 0 \end{bmatrix} = 470,681 \text{ mm} \quad (4)$$



Slika 5 : Prikaz dolžine i-te noge na Stewartovi ploščadi v končni legi (paličje)

Na *sliki 4* je prikazana dolžina *i*-te noge v začetni legi. Kot lahko vidimo s slike, je preračun zelo natančen. Na modelu v modelirniku je odstopanje nekaj manj kot 2 mm.

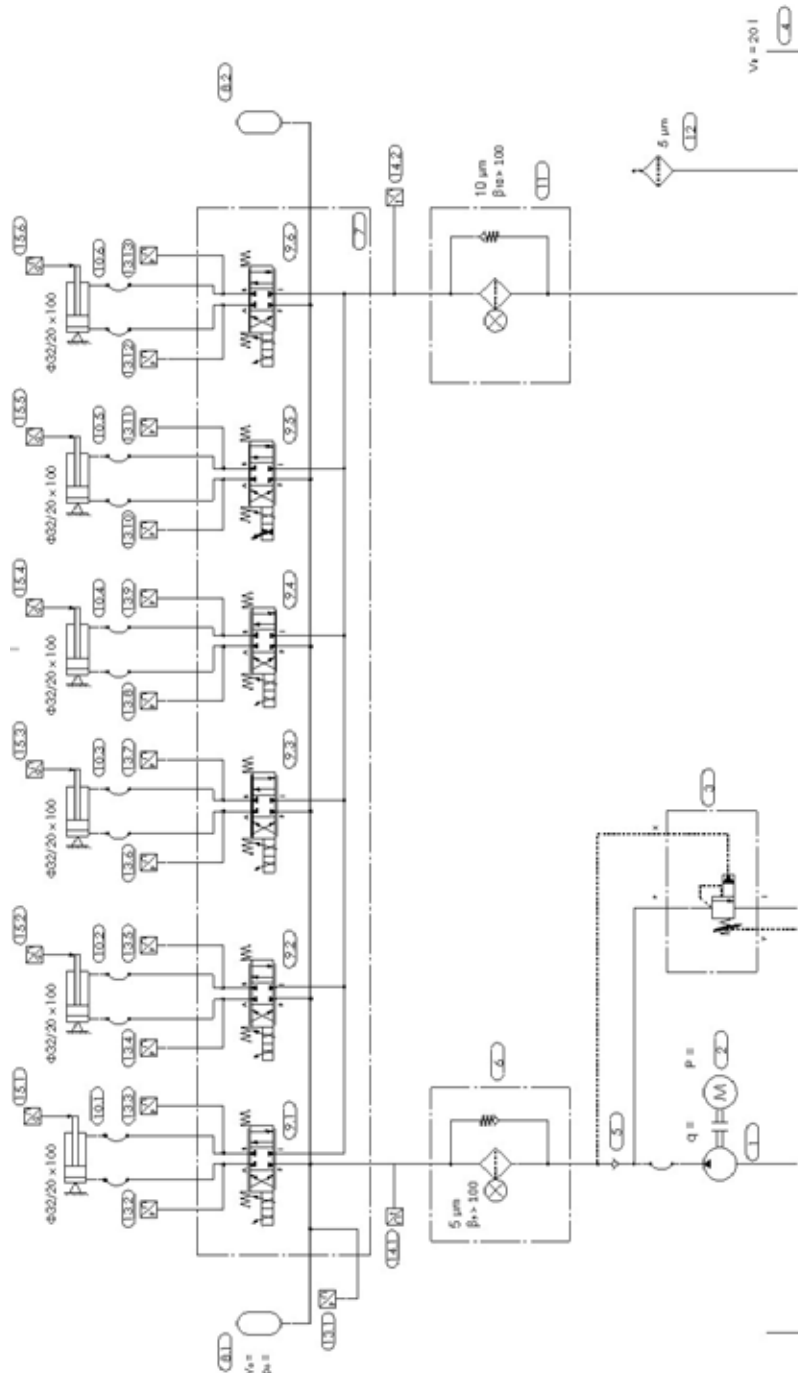
Po opravljenem delovnem gibu je potrebno vektorju  $\vec{T}$  prišteti koordinato  $\Delta Z$ , ki je v našem primeru 100, saj hidravlični valji omogočajo 100 mm delovnega giba. Preračun in rezultat po opravljenem delovnem gibu sta prikazana z enačbo (5).

$$l_1 = \begin{bmatrix} 0 \pm \Delta X \\ 0 \pm \Delta Y \\ 0 + 100 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 281,908 \\ 102,606 \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} -52,094 \\ 295,442 \\ 0 \end{bmatrix} = 567,398 \text{ mm} \quad (5)$$

Na *sliki 5* je prikazana dolžina *i*-te noge v končni legi. Kot lahko vidimo s slike, je preračun zelo natančen. Na modelu v modelirniku je odstopanje nekaj več kot 4 mm.

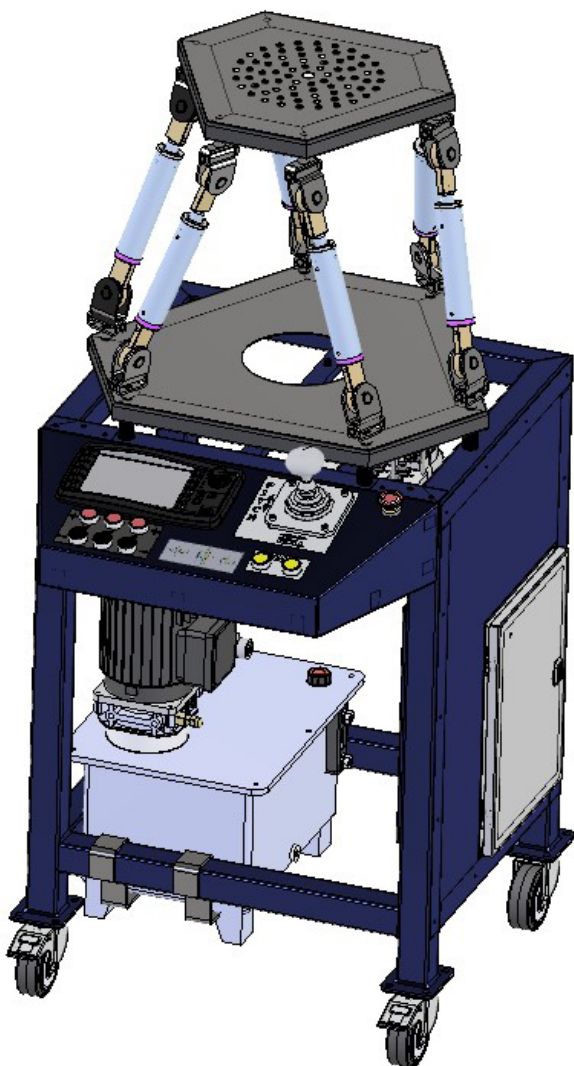
#### 4 Zasnova ploščadi

Snovanja prototipa ploščadi smo se lotili z izhodiščnimi gabaritnimi merami in izbiro sestavin. Na podlagi izbranih sestavin smo izdelali hidravlično shemo (*slika 6*), ki je enostavna glede na kompleksnost sistema.



*Slika 6* : Hidravlična shema prototipa Stewartove ploščadi

Hidravlično energijo Stewartove ploščadi (slika 6) ustvarja hidravlični agregat (16), ki ga v osnovi sestavlja hidravlična črpalka (1) s pretokom 11,4 l/min. Poganja jo 4 kW električni motor (2). Črpalka črpa hidravlično olje iz rezervoarja (4) s prostornino 25 l. Če Stewartova ploščad ne deluje oz. je v mirujočem stanju, hidravlični agregat pa vseeno deluje, se olje vrača v rezervoar (4) skozi varnostnorazbremenilni ventil (3). Pred dotokom olja do visokotlačnega filtra (6) imamo še protipovratni ventil (5), ki varuje črpalko pred hidravličnim udarom. Olje, ki teče skozi visokotlačni filter (6), nadaljuje svojo pot do hidravličnega bloka (7), na katerem imamo šest proporcionalnih potnih ventilov (9.1, 9.2, 9.3, 9.4, 9.5 in 9.6) ter dva hidravlična akumulatorja (8.1 in 8.2) kapacitete po 1,5 l, ki se najprej napolnita s hidravličnim oljem. Krmilni bati v proporcionalnih ventilih (9.1, 9.2, 9.3, 9.4, 9.5 in 9.6) se premaknejo iz svoje osnovne lege, ko proporcionalne elektromagnetne tuljave prejmejo električni signal iz PLC-krmilnika. S prejemom ukaza in premikom krmilnih batov proporcionalnih ventilov ti omogočijo gibe batnic hidravličnih valjev (10.1, 10.2, 10.3, 10.4, 10.5 in 10.6). Med vračanjem batnic hidravličnih valjev v



**Slika 7 :** Model celotnega sestava Stewartove ploščadi (685 x 617 x 1505 mm)



**Slika 8 :** Končan prototip hidravlične Stewartove ploščadi (685 x 844 x 1505 mm)

prvotno lego se olje vrača skozi hidravlični blok (7), na katerem so proporcionalni ventilski vložki (9.1, 9.2, 9.3, 9.4, 9.5 in 9.6), ter na koncu skozi nizkotlačni povratni hidravlični filter (11) do rezervoarja (4).

Nalivno odzračevalni filter (12) preprečuje vnos nečistoč oziroma delcev iz okolice preko odzračevanja v hidravlični sistem že na samem začetku in med delovanjem hidravlike. Za delovanje ter nadziranje smo v sistem vgradili tudi nekaj merilnikov. To so merilniki tlaka na dovodu olja iz rezervoarja (13.1) ter na vhodnih (A) oz. izhodnih (B) vodih hidravličnih valjev (13.2, 13.3, 13.4, 13.5, 13.6, 13.7, 13.8, 13.9, 13.10, 13.11, 13.12 in 13.13). Poleg tlaka bomo merili še vhodno in izhodno temperaturo olja (14.1, 14.2).

Model prototipa Stewartove ploščadi je prikazan na sliki 7.

Snovanja smo se lotili z izdelavo nepomične in pomične ploščadi, pri katerih je bilo potrebno upoštevati parametre, ki smo jih uporabili pri matematičnem preračunu. Zaradi možnosti doseganja



kompleksnejših položajev ploščadi smo zasnovali tudi univerzalni zglob.

Za prototip smo uporabili šest proporcionalnih ventilskih vložkov, ki smo jih privijačili v hidravlični blok, ki smo ga zasnovali sami. Izdelali smo tudi varnostno-razbremenilni blok, v katerega smo privijačili varnostno-razbremenilni ter protipovratni ventil. Zaradi lažjega transporta smo ploščad privijačili na stojalo, ki je na kolesčkih. Stojalo je zasnovano tako, da nosi vse sestavine, ki so potrebne za delovanje ploščadi.

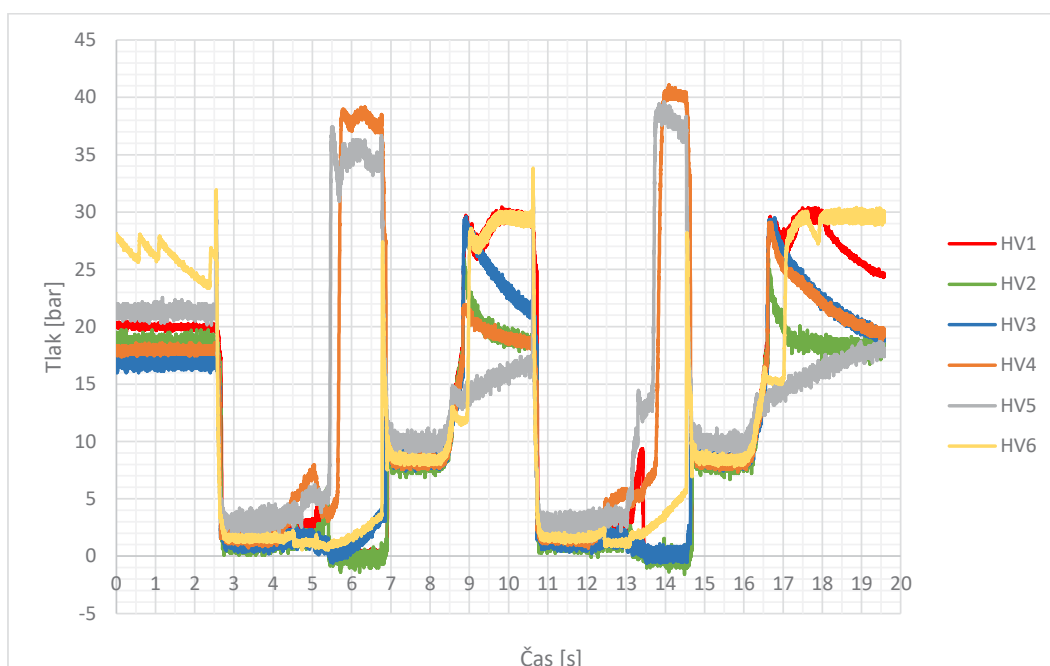
Najtežji del pri realizaciji projekta je bila izdelava krmilnega dela. Krmilni del je zelo zahteven, saj se ves čas med delovanjem giblje vseh šest hidravličnih valjev, ki morajo delovati povezano. Ves čas med delovanjem pa je potrebno poznati tudi pozicije hidravličnih valjev, da lahko dosežemo želene »manevre«. V ta namen smo v sistem vgradili šest vrvičnih enkoderjev. Piko na i smo sistemu dodali s panelom, na katerega smo vgradili krmilno ročico, nekaj tipk, stikalo za izklop v sili ter displej. Na zaslonu, vgrajenem na ploščad, lahko vidimo položaj vsakega hidravličnega valja, zaženemo hidravlični agregat, ga izključimo ter tudi krmilimo ploščad. *Slika 8* prikazuje fotografijo končanega prototipa Stewartove ploščadi.

## 5 Delovanje ploščadi

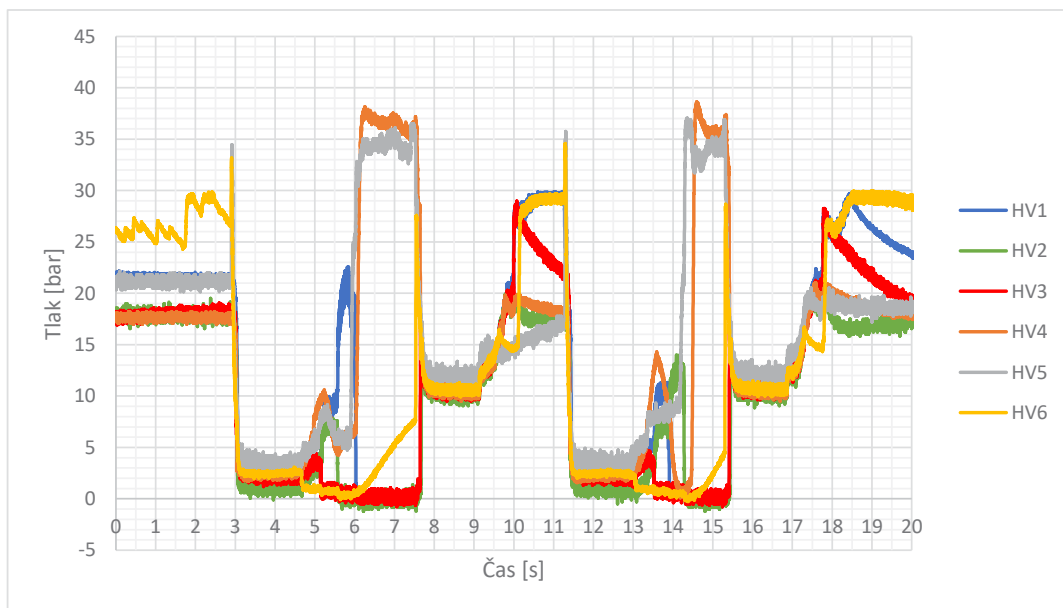
Kot smo že omenili, smo imeli veliko težav z izdelavo krmilnega dela. Sistem je zahteven, ker se med delovanjem ves čas giblje vseh šest hidravličnih valjev, ki z izvlačenjem ali z uvlačenjem batnic povzročajo gibanje zgornje premikajoče se ploščadi. Poleg giba-



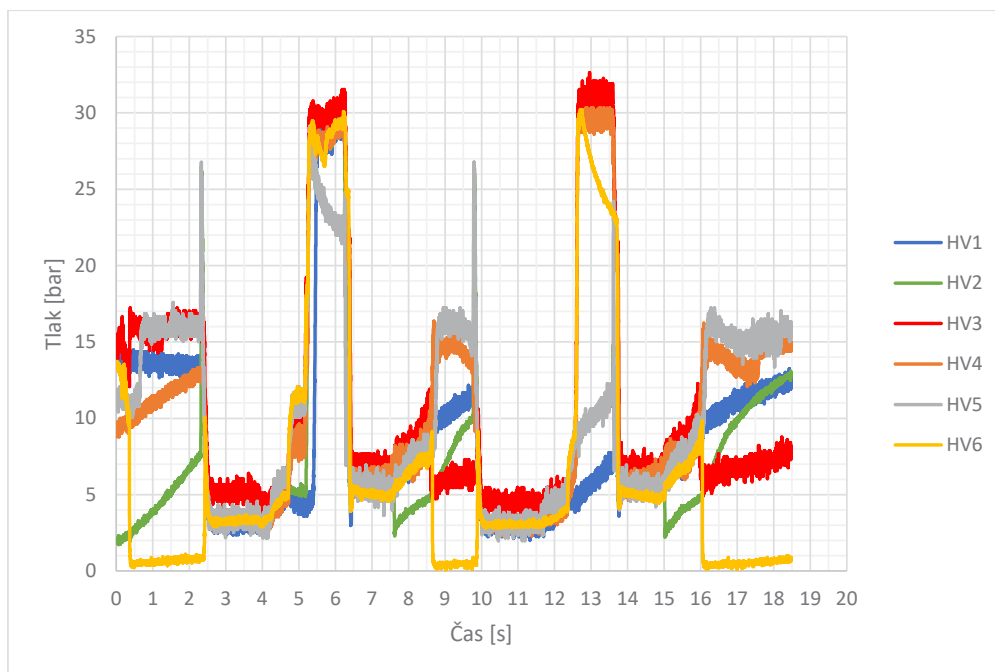
*Slika 9* : Hidravlični prototip Stewartove ploščadi (685 x 844 x 1600 mm)



*Figure 10* : Izmerjeni tlak v odvisnosti od časa pri delovnem gibu in obremenitvi 0 kg



Slika 11 : Izmerjeni tlak v odvisnosti od časa pri delovnem gibu in obremenitvi 20 kg



Slika 12 : Izmerjeni tlak v odvisnosti od časa pri povratnem gibu in obremenitvi 0 kg

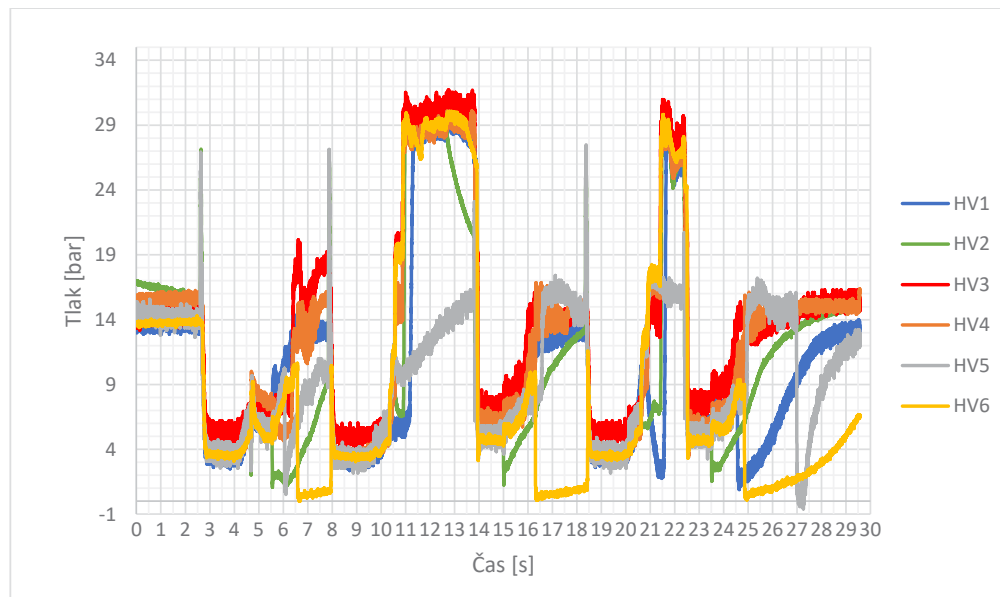
nja vseh valjev se je pojavil tudi problem usklajenosti gibov hidravličnih valjev.

Pri prvem zagonu Stewartove ploščadi (slika 9) smo morali paziti na nevarnost zvitja zgornje premikajoče se ploščadi, zato smo na začetku opravili nekaj premikov brez zgornje ploščadi, valji so bili vpeti le na nepomični ploščadi. Ker je sistem deloval pravilno, smo namestili premikajočo se ploščad ter preizkusili njeno delovanje. Glede na omenjene težave in številne pomisleke smo delo opravili odlično. Ploščad zaenkrat še ne deluje popolnoma usklajeno, vendar lahko z njo

prikažemo vse »manevre«, ki jih lahko opravi letalo.

## 6 Eksperimentalni del

Med delovanjem ploščadi smo opravili tudi nekaj začetnih meritev (slika 10, 11, 12 in 13), ki smo jih izvedli tako, da smo vseh šest batnic hidravličnih valjev istočasno izvlekli in uvlekli. Naredili smo meritve z neobremenjeno ploščadjo ter z obremenitvijo 10 kg in 20 kg. Z grafov je razvidno, da nismo uspeli doseči popolne usklajenosti delovanja hidravličnih



**Slika 13 :** Izmerjen tlak v odvisnosti od časa pri povratnem gibu in obremenitvi 20 kg

valjev, vendar smo dosegli cilj, da smo zagnali prototipno ploščad ter opravili gibe ploščadi.

## 7 Zaključek

Želja po izdelavi »industrijske« ploščadi se je rodila iz želje po simuliranju na področju letalstva in pridobivanju novih izkušenj na področju nam še neznanega. Cilj je bil izdelati delujočo Stewartovo ploščad, na kateri se bo v prihodnosti lahko izobraževalo, raziskovalo in izpopolnjevalo ... Zastavljeni cilj je bil dosežen nad pričakovanji. Stewartova ploščad je izdelana in potrjeno je njeno delovanje. V prihodnosti si želimo izdelati večjo ploščad, na katero bi bilo mogoče postaviti kabino manjšega letala ter izpopolniti znanje na področju večprostostnih simulatorjev. Vabimo vse zainteresirane, ki bi potrebovali tako ploščad.

## Viri

- [1] O. Lilenthal. Encyclopedia Britannica. Dostopno na: <https://www.britannica.com/biography/Otto-Lilienthal>, ogled 30. 4. 2020.
- [2] D. Stewart, A platform with six degrees of freedom, v: Proceedings of the IMechE, vol. 180, Pt. 1, No. 15, 1965–1966, str. 371–385.
- [3] V. E. Gough, Discussion in London: automobile stability, control, and tyre performance, v: Proceedings of the IMechE's Automobile Division, 1956, str. 392–394.
- [4] Z. Bingul, O. Karahan: Dynamic modeling and simulation of Stewart platform. Mechatronics Engineering, Kocaeli University, Turkey, 2012.
- [5] R. M. L. Garcia, V. T. Valente, M. R. Sobczyk, E. A. Perondi: Control of an electrohydraulic stewart platform manipulator as vessels motion simulator. Florianópolis, SC, Brazil, 2016.

## Development and research of the prototype of the Stewart platform

### Abstract:

Simulations of human emotions under real conditions are very popular nowadays. A simulation of six degrees of freedom was made possible by the development of the Gough-Stewart platform in 1947. The electrically driven miniature Stewart platform was first produced in the Laboratory for fluid power and controls in 2019. Based on this experience, a hydraulic prototype of the Stewart platform with six degrees of freedom was produced. It consists of two irregular hexagon frames and six actuators. In this case six hydraulic cylinders, a hydraulic power unit and an electro-hydraulic control system were used. The platform was placed on a stand on which all components necessary for its operation were mounted. The most demanding part of the project was the production of the control part, as all six hydraulic cylinders are constantly moving during operation. After a prototype of the Stewart platform had been manufactured, a test run was carried out and the first measurements are presented in the article. In the future, in-depth research will be conducted on the reaction of differently loaded upper platforms to their dynamic control. It is also planned to build a larger hydraulic platform on which the cockpit of a smaller aircraft will be installed.

### Keywords:

Stewart platform, 6 degrees of freedom, hydraulic components, simulators

# VPLIV INDEKSA VISKOZNOSTI RAZLIČNIH HIDRAVLICNIH TEKOČIN NA OBRATOVALNO TEMPERATURNO PODROČJE

Darko Lovrec

## Izveček:

Viskoznost hidravlične tekočine spada med njene najpomembnejše snovne lastnosti. Izbira primerne viskoznosti tekočine za določen primer uporabe pa spada med najpomembnejše naloge hidravlika. Vrednost viskoznosti pri izbiri tekočine pa ni edini pomemben parameter. Izredno pomembno je poznati, kako se viskoznost spreminja s temperaturo – obnašanje viskoznost-temperatura. Slednje podaja VI – indeks viskoznosti.

Prispevek obravnava vpliv vrednosti indeksa viskoznosti različnih hidravličnih tekočin na širino obratovalnega temperaturnega področja hidravlične naprave. V uvodu sta podana pomen in način ugotavljanja indeksa viskoznosti ter prikazane dejanske vrednosti indeksa viskoznosti za običajna mineralna hidravlična olja kakovostne ravni HLP oziroma HM in različne ISO viskoznostne razrede. V nadaljevanju prispevka so za primerjavo obravnavane značilne vrednosti indeksa viskoznosti še drugih vrst hidravličnih tekočin: za mineralno olje vrste HV z izboljšanim obnašanjem viskoznost-temperatura ter za hidravlične tekočine vrste HE in HF. V zadnjem delu prispevka so predstavljene prednosti uporabe ionskih tekočin, ki so novejša, okolju prijazna in težko vnetljiva tekoča maziva, za katera je značilen visok indeks viskoznosti in posledično široko obratovalno temperaturno področje ter zelo nizka točka strdišča.

## Ključne besede:

hidravlične tekočine, indeks viskoznosti, določanje, obratovalno temperaturno področje, mineralna olja, ionske tekočine

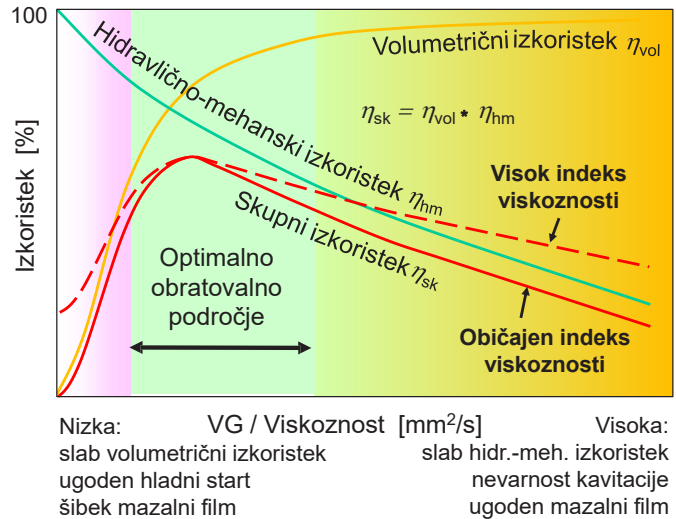
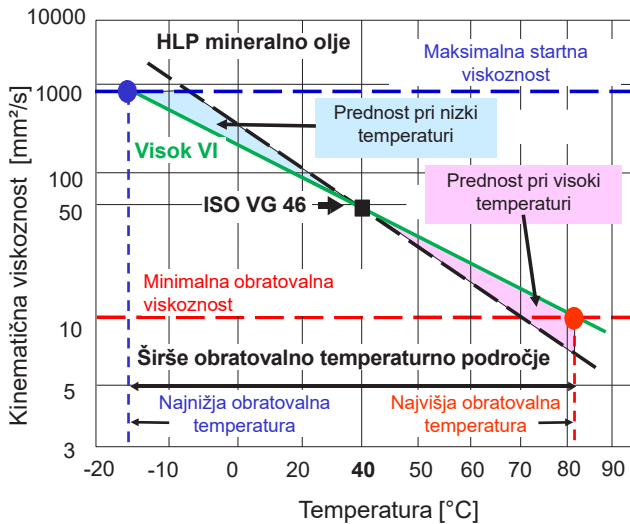
## 1 Uvod – pomen viskoznosti in indeksa viskoznosti

Viskoznost je zagotovo najpomembnejša snovna lastnost hidravlične tekočine (in tekočih maziv nasploh), saj »podaja« sposobnost tekočine oz. maziva, da vzpostavlja, zagotavlja in ohranja mazalni film ter zmanjšuje trenje in posledično obrabo sestavnih delov hidravličnih komponent. To nalogo mora opravljati oz. zagotavljati pri različnih obratovalnih temperaturah in različnih obremenitvah. Definirana je kot merilo za upor tekočine pod delujočim tlakom proti tečenju, njena vrednost pa je podana z razmerjem med delujočo strižno napetostjo in gradientom strižne hitrosti. Viskoznost tekočine je odvisna od vrste, možne kontaminacije z drugimi tekočinami, procesov staranja, glede obratovalnih pogojev pa od višine obratovalnega tlaka, strižne hitrosti, temperature in drugih pogojev.

Med omenjenimi vplivi je izrazita odvisnost viskoznosti od temperature, t. i. obnašanje viskoznost-temperatura (VT-obnašanje). Kako se viskoznost spreminja s temperaturo, podaja indeks viskoznosti – VI. Po definiciji je indeks viskoznosti brezdimenzijsko število, ki podaja, kako se viskoznost hidravlične tekočine spreminja s temperaturo, in načeloma velja za vsa tekoča maziva in tekočine, ki jih uporabljamo za prenos sil in gibanja. Tako velja: večja, kot je vrednost indeksa viskoznosti (visok indeks viskoznosti), manjša je sprememba viskoznosti tekočine za dano spremembo temperature in obratno. Pri tekočini z majhno vrednostjo indeksa viskoznosti (nizek indeks viskoznosti) se bo ob spreminjanju temperature občutno spreminjala tudi njena viskoznost. Nasprotno pa temperaturne spremembe ne bodo veliko vplivale na viskoznost tekočine z visokim indeksom viskoznosti.

Z naraščanjem temperature viskoznost upada in tekočina postaja vse bolj tekoča, kar zelo vpliva na lastnosti mazalnega filma, trenje in velikost puščanja komponent. Nasprotno pa pri nizkih temperaturah viskoznost narašča, kar vodi do problemov pri sesanju črpalk, do večjih uporov pri pretakanju, pri zelo

Prof. dr. Darko Lovrec, univ. dipl. inž., Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo



Slika 1: Vpliv višine indeksa viskoznosti na izkoristek in potencialne nevarnosti pri delovanju hidravlične naprave

nizkih temperaturah pa lahko v skrajnem primeru pride tudi do zaustavitve pretoka zaradi strditve tekočine (t. i. strdišče). Slednje lahko povzroči blokado filtra in posledično lom hidravličnega sistema ali naprave zaradi pojava intenzifikacije tlaka ali pa »suhi« tek črpalke in odpoved zaradi poškodb kavitacije. [1]

Razen teh skrajnih posledic pa v obratovalnem stanju tako prenizka kot previsoka viskoznost povzročata občutno poslabšanje izkoristka naprave, tako volumetričnega kot hidravlično-mehanskega in skupnega izkoristka. Pomembnost indeksa viskoznosti in vpliv viskoznosti na izkoristek hidravlične naprave prikazuje slika 1.

Višje vrednosti indeksa viskoznosti povzročajo ugodnejše obnašanje viskoznosti od temperature, t. i. ugodno VT-obnašanje, kar pomeni manjše spreminjanje viskoznosti s temperaturo. Gledano s stališča črpalke, ki ob startu hidravličnega sistema prva prične opravljati delo in je med obratovanjem najbolj in trajno obremenjena, visoka vrednost indeksa viskoznosti pomeni manj problemov tako ob zagonu kot med trajnim obratovanjem. To je še posebej pomembno, če gre za zaostrene obratovalne pogoje, kot so nizke temperature na eni strani in višje obratovalne temperature na drugi.

## 2 Določanje indeksa viskoznosti

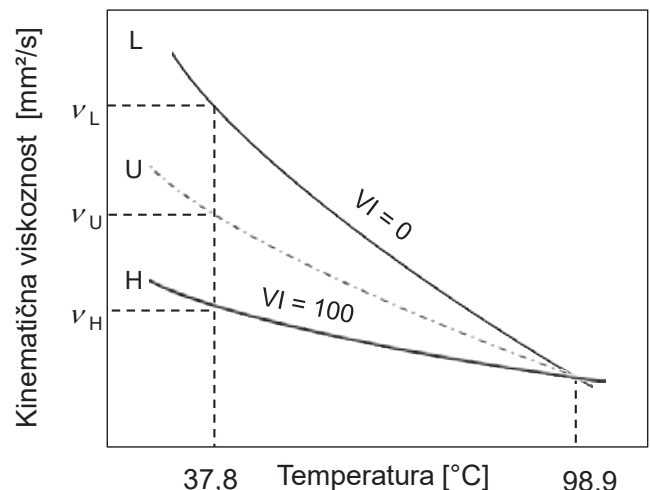
Določanje indeksa viskoznosti temelji na merjenju kinematične viskoznosti tekočine, ki jo običajno izvajamo s kapilarnimi viskozimetri, npr. s Cannon-Fenskejevimi viskozimetri, iz katerih tekočina izteka le zaradi lastne težnosti. Meritev je enostavna, hitra in natančna, postopek pa izvajamo skladno s standardom ASTM D-445. Standardni temperaturi merjenja sta 40 °C in 100 °C, potrebujemo pa približno 100 ml vzorca tekočine. Podatka za kinematično viskoznost pri obeh temperaturah sta tudi osnova za določanje indeksa viskoznosti. [2]

Viskoznost izračunamo na podlagi konstante viskozimetra  $K$  in s štoparico izmerjenega pretočnega časa  $t$  med oznakama na viskozimetru. Pretočni čas merimo v sekundah, z natančnostjo 0,1 sekunde. Za vsako določitev viskoznosti potrebujemo 2 ali 3 meritve oziroma meritve ponavljamo, dokler razlika dveh izmerjenih časov ni manjša od 0,2 %. Srednja vrednost meritev se uporablja za izračun kinematične viskoznosti po enačbi (1).

$$v = K t \tag{1}$$

$v$  [mm<sup>2</sup>/s] - kinematična viskoznost  
 $K$  [mm<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>] - konstanta viskozimetra  
 $t$  [s] - povprečna vrednost meritve časa

Indeks viskoznosti lahko obravnavamo tudi kot merilo za »stabilnost« viskoznosti pri temperaturnih spremembah hidravlične tekočine. Zaželen visok indeks viskoznosti oz. velika številčna vrednost pomeni, da ima tekočina boljše viskozno stabilnost pri temperaturnih spremembah (= manjša sprememba viskoznosti pri spremembi temperature).



Slika 2: Princip določanja indeksa viskoznosti [3]

Postopek določanja indeksa viskoznosti izhaja iz primerjave obnašanja viskoznost-temperatura različnih baznih mineralnih olj. Že leta 1920 je bilo znano, da so bila pennsylvanska bazna olja boljše od teksaških. Pennsylvanska bazna olja so imela najboljše viskozno-temperaturne karakteristike, medtem ko so imela teksaška najslabše, saj se je njihova viskoznost močno spreminjala s temperaturo. Da imajo različna olja različen potek oz. različen naklon krivulje (desetiška skala za vrednost viskoznosti) oz. premice (logaritmična skala za vrednost viskoznosti), prikazuje slika 2 – ASTM-diagram. [3]

Z vidika tehnike se je pojavila potreba po parametru, ki bi za določeno mineralno olje natančno podajal odvisnost viskoznosti od temperature. Leta 1929 je bil v ta namen vpeljan indeks viskoznosti. Indeks viskoznosti je empirični parameter, ki primerja določeno vrsto olja z dvema referenčnima oljema, katerih viskoznost se zelo različno spreminja s temperaturo. Referenčni olji sta bili izbrani tako, da imata eno od njiju indeks viskoznosti enak 0, drugo pa 100 pri temperaturi 100 °F (37,8 °C), vendar imata pri temperaturi 210 °F (98,89 °C) enako viskoznost kot olje, ki mu določamo indeks viskoznosti, kot prikazuje slika 2.

Ker sta pennsylvansko in teksaško olje imeli enako viskoznost pri 210 °F (98,9 °C), sta bili izbrani kot referenčni olji. Baznemu olju iz Pennsylvanije je bila za indeks viskoznosti dodeljena vrednost VI = 100, medtem ko je bila teksaškemu baznemu olju dodeljena vrednost VI = 0. Indeks viskoznosti lahko izračunamo z enačbo (2).

$$VI = \frac{(L - U)}{(L - H)} \cdot 100 \quad (2)$$

Kinematično viskoznost opazovanega olja najprej izmerimo pri temperaturi 40 °C (parameter  $U$ ) in nato pri 100 °C. Nato iz tabele ASTM D 2270-4 določimo parametra  $L$  in  $H$  glede na viskoznost opazovanega olja pri 100 °C. Ko podatke vstavimo v enačbo (2), dobimo izračunano vrednost indeksa viskoznosti opazovanega olja [4]. Enak postopek določanja vrednosti indeksa viskoznosti uporabljamo tudi za druge vrste hidravličnih tekočin.

Indeks viskoznosti večine pridobljenih in uporabljanih rafiniranih mineralnih olj na tržišču je približno 100, medtem ko imajo večpodročna in sintetična

olja vrednost indeksa viskoznosti približno 150 (ali tudi več). Vrednosti indeksa viskoznosti za različne hidravlične tekočine so različne, prav tako so različni tudi poteki krivulj oz. premic.

### 3 Vrednosti indeksa viskoznosti običajnih mineralnih hidravličnih olj

Popolnoma formulirana hidravlična tekočina je sestavljena iz mešanice osnovne tekočine in dodatka/ov. V primeru mineralnih hidravličnih olj je to bazno olje in določen paket dodatkov. Pri tem je potrebno omeniti, da je kvaliteta baznega olja odvisna od nahajališča surove nafte, prav tako se razlikujejo tudi paketi dodatkov različnih proizvajalcev. Ameriški inštitut za nafto (API – American Petroleum Institute) osnovne tekočine razvršča v pet skupin – API 1509, Dodatek E. Razlika med skupinami temelji na metodi rafiniranja surove nafte, količini nasičenih snovi, viskoznosti in deležu žvepla. Proizvodi predelave surove nafte predstavljajo skupine od I do III v Tabeli 1. Standard API povzemajo tudi proizvajalci hidravličnih tekočin in proizvodov. [5]

Zaradi različnih proizvodnih postopkov, različnih baznih olj in paketov dodatkov imajo tekočine različno vsebnost nasičenih snovi in posledično tudi različne vrednosti indeksov viskoznosti. Tekočine iz skupine I do III imajo lahko tudi dodatke za izboljšanje indeksa viskoznosti, kar poveča njegovo vrednost. Skupini IV in V predstavljata sintetične tekočine. Pri tem vsebuje skupina IV polialfaolefinska (PAO) bazna olja in skupina V vse druge tekočine, ki ne sodijo v skupine od I do IV; sem spadajo na primer biološko hitreje razgradljive tekočine vrst HEES, HETG in HEPR.

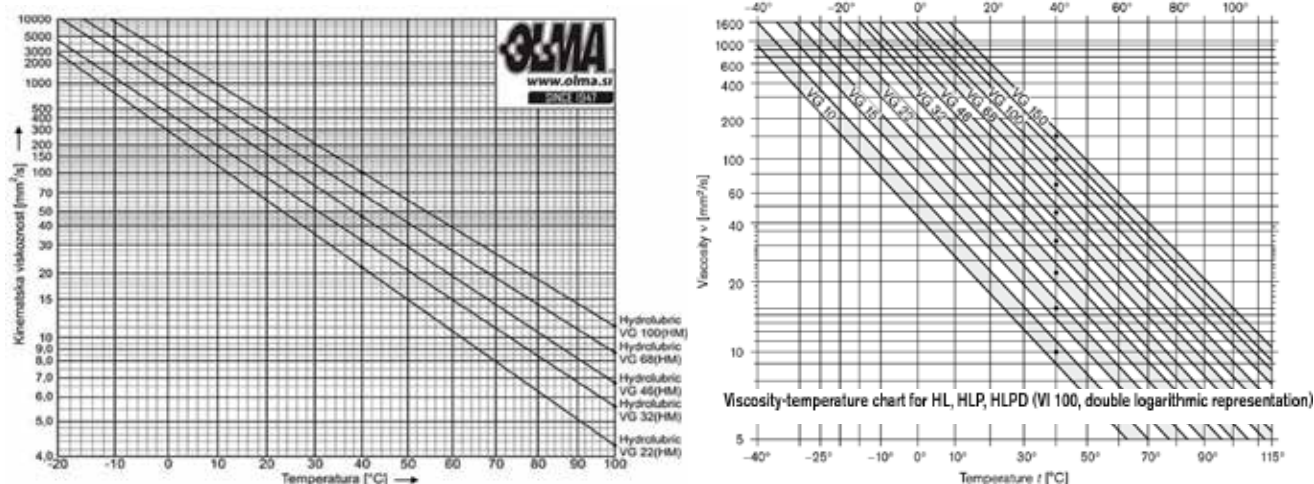
Na vrednost indeksa viskoznosti tako vpliva kar nekaj faktorjev, ki npr. pri mineralnem hidravličnem olju istega razreda viskoznosti (VG) pripeljejo do različnih nagibov linije v diagramu viskoznost-temperatura (VT) in posledično do širšega ali ožjega obratovalnega temperaturnega področja.

Splošna izjava, ki jo pogosto zasledimo v literaturi, da je vrednost indeksa viskoznosti za mineralna hidravlična olja okoli 100, je tako zelo »ohlapna«. Enako velja za linije, prikazane v VT-diagramu: te niso idealno vzporedne in enakomerno odmaknjene druga od druge, odvisno od razreda viskoznosti. Znan

Tabela 1: Specifikacija baznih olj po API [5]

Vrsta olja	Mineralna bazna olja			Sintetična bazna olja	
	I	II	III	IV <sup>1)</sup>	V
Zasičenost	<90 %	>90 %	>90 %	100 %	Vse druge vrste tekočin, vključno HEES, HEPG, HEPR
Indeks viskoznosti	80 do 120	80 do 120	>120	>135	
Žveplo	>0,03 %	<0,03 %	<0,03 %	-/-	
Način pridobivanja	rafinirano s topilom	hidrotretirano	hidrokrekirano	sintetizirano	
Polarnost	visoka	nizka	nepolarna	nizka	običajno visoka

<sup>1)</sup> Skupina IV – polialfaolefini



Slika 3 : VT-diagram proizvajalca olja (levo) oz. proizvajalca hidravličnih črpalk (desno)

podatek o (različni) številki šarže hidravličnega mineralnega olja istega viskoznostnega razreda (znano bazno olje in znan paket dodatkov) lahko pojasni, zakaj so izmerjene vrednosti indeksa viskoznosti za olje različne oz. kolikšne so za določeno šaržo. Ta podatek uporabniku olja praviloma ni znan.

Običajni videz VT-diagrama proizvajalca olja ali hidravličnih črpalk, kakršne običajno najdemo v njihovih podatkovnih listih, prikazuje slika 3.

Dejansko vrednost indeksa viskoznosti točno določenega proizvoda lahko ugotovimo z opisano meritvijo viskoznosti in izračunom indeksa viskoznosti. Za določanje vrednosti indeksa viskoznosti mineralnih hidravličnih olj z različno stopnjo viskoznosti in šarže smo uporabili hidravlična mineralna olja vrste Hydrolubric VG (proizvajalca OLMA, d. o. o.). Za merjenje smo uporabili olja različnih viskoznostnih razredov po ISO (VG 22, VG 32, VG 46, VG 68 in VG 100), pri čemer je bilo olje VG 46 dveh različnih šarž. Natančne vrednosti viskoznosti kot tudi gostote uporabljenih mineralnih olj, izmerjene v laboratoriju proizvajalca, so podane v Tabeli 2.

Za splošno rabo in obratovalne pogoje lahko za določanje širine temperaturnega obratovalnega področja uporabljamo VT-diagrame, ki jih podajajo proizvajalci

mineralnih olj ali črpalk, in tako uporabimo načelno izjavo oz. podatek, da znaša indeks viskoznosti mineralnega hidravličnega olja okoli vrednosti 100. Vsekakor pa je dobro poznati interpretacijo indeksa viskoznosti in ozadje pojavljanja razlik pri vrednosti indeksa viskoznosti.

V primerih, ko pa ne gre več za običajne obratovalne pogoje, bodisi za področje nizkih temperatur (hladni start črpalke) ali visokih temperatur (mejno področje mazanja), pa postanejo te podrobnosti pomembne. Problem lahko rešimo z dodatki za izboljšanje indeksa viskoznosti mineralnih hidravličnih olj (oz. obnašanja viskoznost-temperatura) ali pa z uporabo druge vrste hidravlične tekočine. Slednje se izkaže kot edina možnost ob dodatni zahtevi glede okoljske sprejemljivosti tekočine ali ob zahtevi zagotavljanja požarne varnosti sistema.

#### 4 Indeks viskoznosti in VT-obnašanje poboljšanih mineralnih olj in drugih vrst hidravličnih tekočin

V poglavju 3 smo omenili, da so lahko vrednosti indeksa viskoznosti primerljivega hidravličnega mineralnega olja različne od šarže do šarže – razlika

Tabela 2 : Izmerjene vrednosti viskoznosti in gostot testiranih hidravličnih olj

Razred viskoznosti ISO	Viskoznost pri 40 °C [mm²/s]	Viskoznost pri 100 °C [mm²/s]	Indeks viskoznosti [-]	Gostota pri 20 °C [kg/m³]
VG 22 / Š1	21,18	4,27	107	856,80
VG 32 / Š1	34,91	6,04	114	862,30
VG 46 / Š1	46,98	6,97	104	876,20
VG 46 / Š2	47,07	7,37	119	879,40
VG 68 / Š1	70,07	8,83	98	881,00
VG 100 / Š1	94,01	10,66	96	888,30

Opomba: Š1 – šarža 1, Š2 – šarža 2

v vrednosti indeksa viskoznosti za olje ISO VG 46 je prikazana v Tabeli 2. Olje šarže Š2 ima višjo vrednost indeksa viskoznosti ( $VI = 119$ ) kot olje šarže Š1 ( $VI = 104$ ) ter pričakovano boljše VT-obnašanje in posledično širše obratovalno temperaturno področje, ki ga določa črpalka s svojima najvišjo in najnižjo dopustno vrednostjo viskoznosti. Vpliv vrednosti indeksa viskoznosti ter razliko v širini obratovalnega področja za primer treh različnih vrst hidravličnih črpalk v tržni kvaliteti prikazuje *slika 4*.

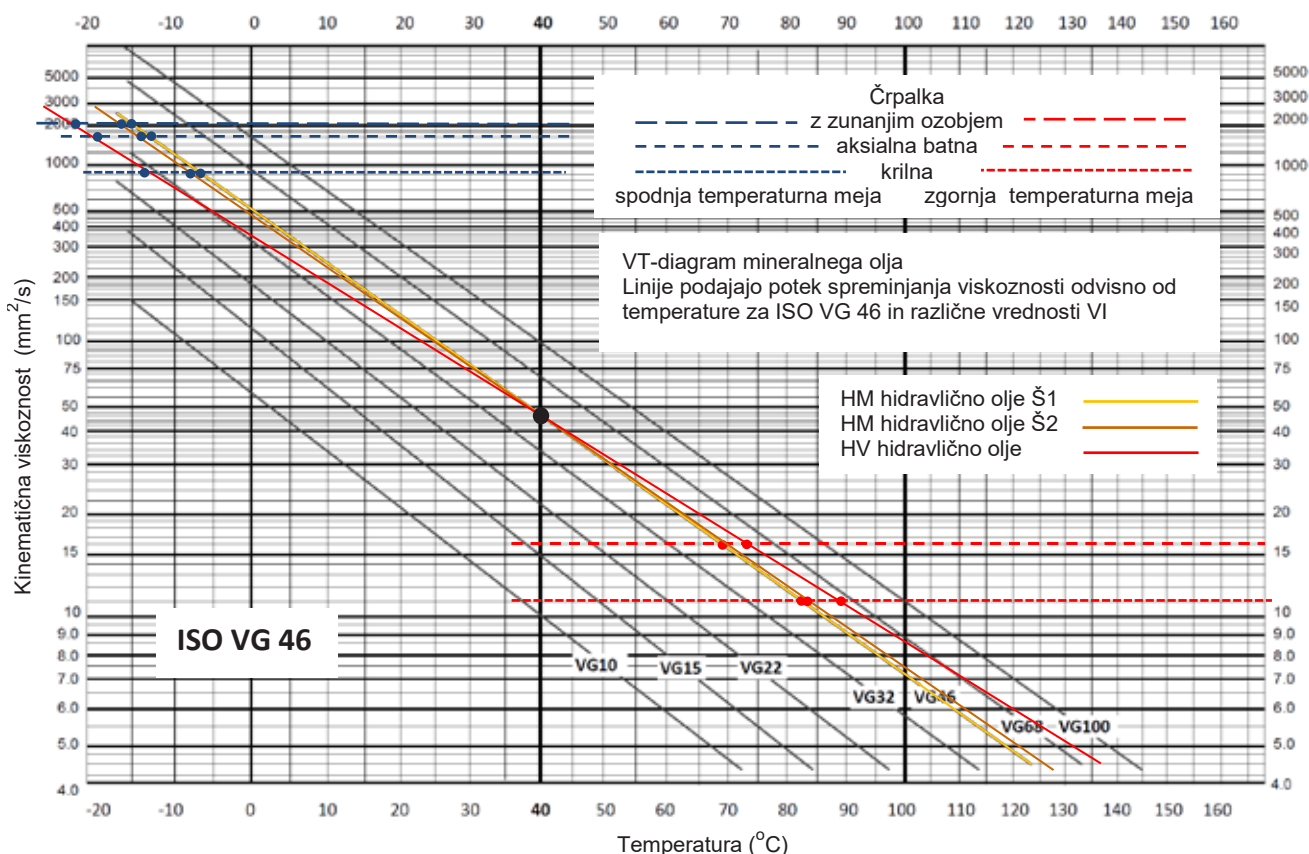
S praktičnega gledišča so razlike v vrednostih indeksa viskoznosti mineralnih olj istega kvalitetnega razreda, enakega razreda viskoznosti, a različnih šarž, glede širine temperaturnega obratovalnega področja malenkostne. Skladno s podatki navedenimi v Tabeli 2 te razlike zajemajo tudi vrednosti, podane v Tabeli 1, ter lastne izmerjene vrednosti mineralnih hidravličnih olj različnih viskoznostnih razredov. Tako tudi praktično za vsa mineralna hidravlična olja posplošeno velja, da vrednosti indeksa viskoznosti današnjih rafiniranih mineralnih olj na trgu znašajo približno 100. Z višjimi vrednostmi indeksa viskoznosti ( $>135$  - Tabela 1) pa že pokrivamo temperaturno področje dveh ali treh gradacij viskoznosti - večpodročna olja. Na ta način lahko z oljem istega viskoznostnega razreda razširimo obratovalno temperaturno področje (mineralna olja vrste HV oz. HVLP).

Minimalne zahteve za hidravlična olja HV oz. HVLP predpisujejo standardi ISO 11158 oz. DIN 51523-3, DIN 51524 [6]. Skladno s standardom morajo tovrstna olja imeti indeks viskoznosti vsaj 140 ali višje. Pre-

gled ponudbe tovrstnih olj na tržišču razkriva dokaj velik razpon vrednosti indeksa viskoznosti: od vsaj 140, kot ga predpisuje standard, lahko tudi do 250. Slednjega proizvajalec označuje kot olje za uporabo v ekstremnih temperaturnih pogojih. Običajno so vrednosti med 150 in 180, podatek o vrednosti indeksa viskoznosti določenega olja je običajno naveden v podatkovnem listu proizvalca.

Načeloma velja, da dosežemo višje vrednosti indeksa viskoznosti z izbiro baznih olj, ki imajo že po naravi visoko vrednost indeksa viskoznosti (in tudi ceno), ter z ustreznim dodatkom. Ti pa so lahko različni. Dodatki, običajno so to polimerni aditivi, ki jih proizvajalci uporabljajo za izboljšanje vrednosti indeksa viskoznosti, so polimetakrilati (PMA), poliizobutilen (PIB), radialni poliizoprenski, olefinski sopolimeri (OCP) in drugi. Kot vidimo, obstaja več različnih vrst dodatkov in vsak bo imel svoj učinek.

Dodatki (imenovani tudi modifikatorji) za izboljšanje indeksa viskoznosti se običajno uporabljajo v večpodročnih motornih oljih, oljih za mazanje zobniških prenosnikov, oljih za mazanje samodejnih menjalnikov, oljih za servovolane, mazivih in nekaterih hidravličnih tekočinah. Pri nižji temperaturi ti dodatki omogočajo, da tekočina lažje teče in tako hitreje doseže ležaje ter jih zadovoljivo maže, pri hidravličnih črpalkah pa omogočajo lažje sesanje ob zagonu. Pri višji obratovalni temperaturi bo imela tekočina višjo viskoznost, kar zagotavlja potrebno debelino oz. trdnost mazalnega filma, ki zagotavlja nižje trenje.



**Slika 4** : Vpliv vrednosti indeksa viskoznosti za hidravlična olja vrst HM in HV



Žal so ti modifikatorji običajno občutljivi na temperaturo. Pri nizkih temperaturah se polimerne verige v modifikatorjih strdijo ali zložijo in nimajo velikega vpliva na viskoznost tekočine. Pri višjih temperaturah se polimeri širijo, kar pomaga zvišati viskoznost in posledično ohraniti trdnost mazalnega filma. S tem je rešen problem zagotavljanja mazalnega filma pri višjih temperaturah, pri nizkih temperaturah pa problem hladnega starta črpalke ostaja in ga je potrebno reševati z drugimi vrstami dodatkov - npr. s t. i. izboljševalci točke tečenja (pour point depressant additives). [7], [8]

Ena glavnih težav pri dodatkih za izboljšanje VT-obnašanja je, da so občutljivi na mehanske strižne obremenitve. Te se pojavljajo pri toku tekočine skozi zaslonke in njim podobne oblike. Takšno delovanje lahko sčasoma razgradi polimere in zniža viskoznost tekočine. Strokovnjaki zato pogosto priporočajo dodatke, ki so stabilni na strižne obremenitve, da bi tako zagotovili, da tekočine z visokim indeksom viskoznosti učinkujejo, kot je bilo mišljeno. Odpornost dodatkov za izboljšanje indeksa viskoznosti na strižne obremenitve preverjajo z različnimi testi. [9], [10], [11]

Če je potrebno zagotoviti višjo požarno varnost hidravličnega sistema ali večjo biološko sprejemljivost hidravlične tekočine, mineralna hidravlična olja odpadejo. Potrebno je uporabiti druge vrste hidravličnih tekočin, npr. HF in HE. Druge vrste hidravličnih tekočin imajo druge značilne vrednosti viskoznosti

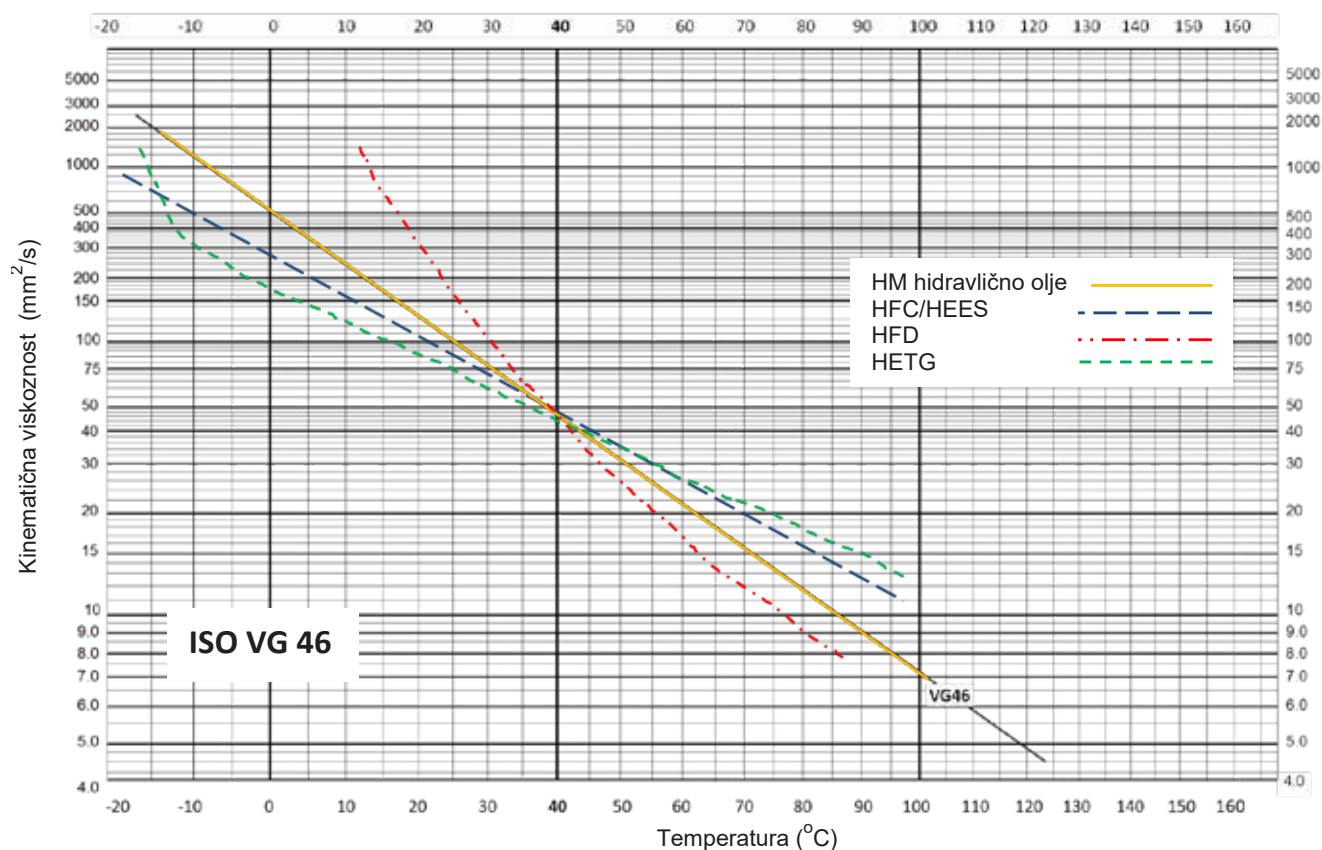
in drugačne poteke VT-obnašanja. VT-linija ni nujno premica, lahko je krivulja.

Potek VT-linij za različne vrste hidravličnih tekočin prikazuje *slika 5*. Pri mineralnem olju vrste HLP oz. težko vnetljivi tekočini vrste HFC poteka VT-linija preko relativno širokega področja temperature kot ravna premica. [12], [13]

V primeru tekočine HFD nimamo več opravka s premico, temveč s krivuljo. Ta narašča v spodnjem temperaturnem področju progresivno, njena viskoznost je tam veliko bolj temperaturno odvisna kot pri drugih vrstah tekočine. Pri biološko razgradljivih tekočinah HE prihaja pri nizkih temperaturah zaradi delne kristalizacije molekule do opaznega porasta viskoznosti sicer dokaj položnega poteka VT. Potek VT za estre naravnega izvora (HETG) ni linearen na celotnem področju temperatur. Zato potekov VT-linij, ki jih podajajo proizvajalci za različne tekočine, ne smemo avtomatično podaljšati izven podanega področja, če je npr. VT-diagram podan samo do 0 °C, izven področja morda premočrtna zakonitost ne velja več.

## 5 Indeks viskoznosti in VT-obnašanje ionskih tekočin

Vsaka od do sedaj omenjenih hidravličnih tekočin ni »idealna« in ima vsaj eno od »pomanjkljivosti«. Mineralnim oljem lahko npr. z dodatki (tudi občutno)



Slika 5: Odvisnost kinematične viskoznosti od temperature za različne hidravlične tekočine

izboljšamo VT-obnašanje, a samo v »smeri« višje viskoznosti pri višjih obratovalnih temperaturah. Za izboljšanje VT-obnašanja oz. možnost uporabe tekočine pri nižjih temperaturah (npr. pod cca  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) je potrebno dodati drugo vrsto dodatkov (za znižanje točke tečenja). Razen tega, da so potrebni dvojni različni dodatki, so dodatki za izboljšanje VT-obnašanja občutljivi na strižne obremenitve in sčasoma izgubijo svojo učinkovitost. Razen tega pa mineralna olja niso ognjevarna in najprijaznejša do okolja.

Hidravlične tekočine vrste HE imajo že v osnovi višji indeks viskoznosti (glej sliko 5) in bolj položne VT-linije kot mineralna olja, a pri tem moramo ostati, saj jih ni smiselno »doaditivirati«, ker potem izgubijo svojo okoljsko prijaznost. Naravni estri pa postanejo pri temperaturah pod  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  lojasti – pojavljati se pričnejo voskasti kosmiči, ki povzročajo probleme pri delovanju hidravličnega sistema. Vse tekočine vrste HE na osnovi estrov tudi niso deklarirane kot ognjevarne.

Tudi določene HF-tekočine imajo ugodno VT-obnašanje, predvsem tiste na osnovi vode. Nekatere od teh lahko uporabljamo tudi pri temperaturah nekaj pod  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  (npr. HFC nekje do  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), druge pa ne (npr. HFA). V smeri višjih temperatur pa je obratovalno temperaturno področje omejeno zaradi problema izhlapevanja in nevarnosti kavitacije. Prav tako je potrebno biti pozoren na način in pogoje skladiščenja teh tekočin. Podobno velja za uporabo čiste vode kot alternativne hidravlične tekočine, za katero veljajo enake omejitve, dodatno k temu pa je potrebno z izbiro primernih materialov ali zaščitnih oblog na gradnikih obvladovati obseg puščanja in trenje. V primerjavi z drugimi hidravličnimi tekočinami pa je kinematična viskoznost vode tudi izredno nizka ( $0,66\text{ mm}^2/\text{s}$  pri  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) [14], kar povzroča dodatne izzive pri izdelavi ozkih toleranc in rež v hidravličnih komponentah. Z energetskega vidika in trenda uporabe nižjeviskoznih hidravličnih tekočin je njena nizka viskoznost po eni strani prednost, prav tako je tudi zanemarljiva odvisnost viskoznosti od temperature.

V primeru uporabe visokohitrostnih črpalk, npr. pri mobilni hidravliki, ali v primeru uporabe hitrostno reguliranih konstantnih črpalk v stacionarnih hidravličnih sistemih, pa tudi pri dolgih hidravličnih ceveh, bo nižja viskoznost uporabljene hidravlične tekočine povečala učinkovitost delovanja celotnega sistema. Pri uporabi tekočine nižjega viskoznostnega razreda, npr. ISO VG 32 ali ISO VG 22, pride še posebej do izraza visok indeks viskoznosti. To še posebej velja za mobilne stroje in druge hidravlične naprave, ki obratujejo pri nizkih temperaturah.

Kot hidravlične tekočine, ki združujejo dobre lastnosti HV, HE in HF tekočin, a brez njihovih pomanjklivosti, so ionske tekočine. V zadnjem obdobju so dobro prestale vse trajnostne teste in se vse bolj uveljavljajo v praktičnih rešitvah.

ionske tekočine (IL) predstavljajo novo vrsto tekočih visokotehnoloških materialov, maziv, z izjemnimi snovnimi in obratovalnimi lastnostmi. V smislu dobrih mazalnih lastnosti imajo visoko točko zavaritve, majhno obrabno kaloto, glede drsnih lastnosti imajo nizek koeficient trenja tudi pri višjih obratovalnih temperaturah. S smiselno izbiro materialov in konstrukcijskih ukrepov, kakršne poznamo npr. pri nekaterih HF-tekočinah, ni problemov s protikorozijsko zaščito in združljivostjo z materiali, kakršne uporabljamo v hidravličnih sistemih. Razen tega so v primerjavi z drugimi vrstami hidravličnih tekočin tudi okolju prijazne, saj ionske tekočine sestavljajo ioni in kationi organskega izvora, imajo primerno (sintetizirano) osnovno viskoznost in (po naravi) visok indeks viskoznosti. Tako so brez kakršnih koli dodatkov temperaturno zelo stabilne, negorljive, viskoznost pa se s spreminjanjem temperature zelo malo spreminja. Dodatno k temu pa imajo izredno nizko točko tečenja, nižjo vsaj od  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ , kar omogoča start naprave in njeno delovanje pri izredno (ekstremno) nizkih temperaturah okolja. [15] do [19]

V *Tabeli 3* je podan le del rezultatov lastnih raziskav, ki se nanašajo na kinematično viskoznost in indeks viskoznosti za določene preizkušene ionske tekočine. Vrednosti so podane samo za tiste preizkušene IL, ki so izkazale vse prej omenjene snovne lastnosti, potrebne kot pogoj za uporabo v hidravličnih sistemih. Za neposredno primerjavo so prikazane tudi vrednosti za mineralno hidravlično olje vrste HM/HLP, za dva različna razreda viskoznosti.

Prva analizirana ionska tekočina IL1, o kateri pogosto poročajo v literaturi, je 1-etil-3-metilimidazolijev etilsulfat ( $\text{EMIM-EtSO}_4$ ). Na podlagi rezultatov, podanih v *Tabeli 3*, je razvidno, da ima IL1  $\text{EMIM-EtSO}_4$  pri isti temperaturi nekoliko nižjo viskoznost kot mineralno olje (na spodnji tolerančni vrednosti razreda VG 46), vendar veliko višjo vrednost indeksa viskoznosti, kakršen je značilen že za mineralna olja vrste HV. To dokazuje, da je njeno VT-obnašanje veliko boljše kot pri klasičnem mineralnem olju. Vrednosti teh dveh parametrov že kažejo smer k tekočini s širokim razponom področja obratovalnih temperatur. Tudi za vse druge IL velja, da imajo že v osnovi višje vrednosti indeksa viskoznosti, kot ga imajo mineralna hidravlična olja.

S svojimi vrednostmi izstopa IL6, ki ima enako viskoznost kot mineralno olje razreda ISO VG 22, a veliko višji indeks viskoznosti. Izmerjena viskoznost pri  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  v primeru mineralnega olja ISO VG 22 znaša  $4,41\text{ mm}^2/\text{s}$ , v primeru IL6 pa  $7,729\text{ mm}^2/\text{s}$ . Takšna vrednost za najnižjo še dovoljeno kinematično viskoznost v primeru mineralnega olja odgovarja temperaturam med  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Pri enakih temperaturah je v primeru IL6 trdnost mazalnega filma večja kot v primeru mineralnega olja. Vpliv indeksa viskoznosti na širino območja delovne temperature je prikazan na *slikah 6* in *7*.

Slika 6 prikazuje širino območja obratovalne temperature pri uporabi standardnega mineralnega hi-

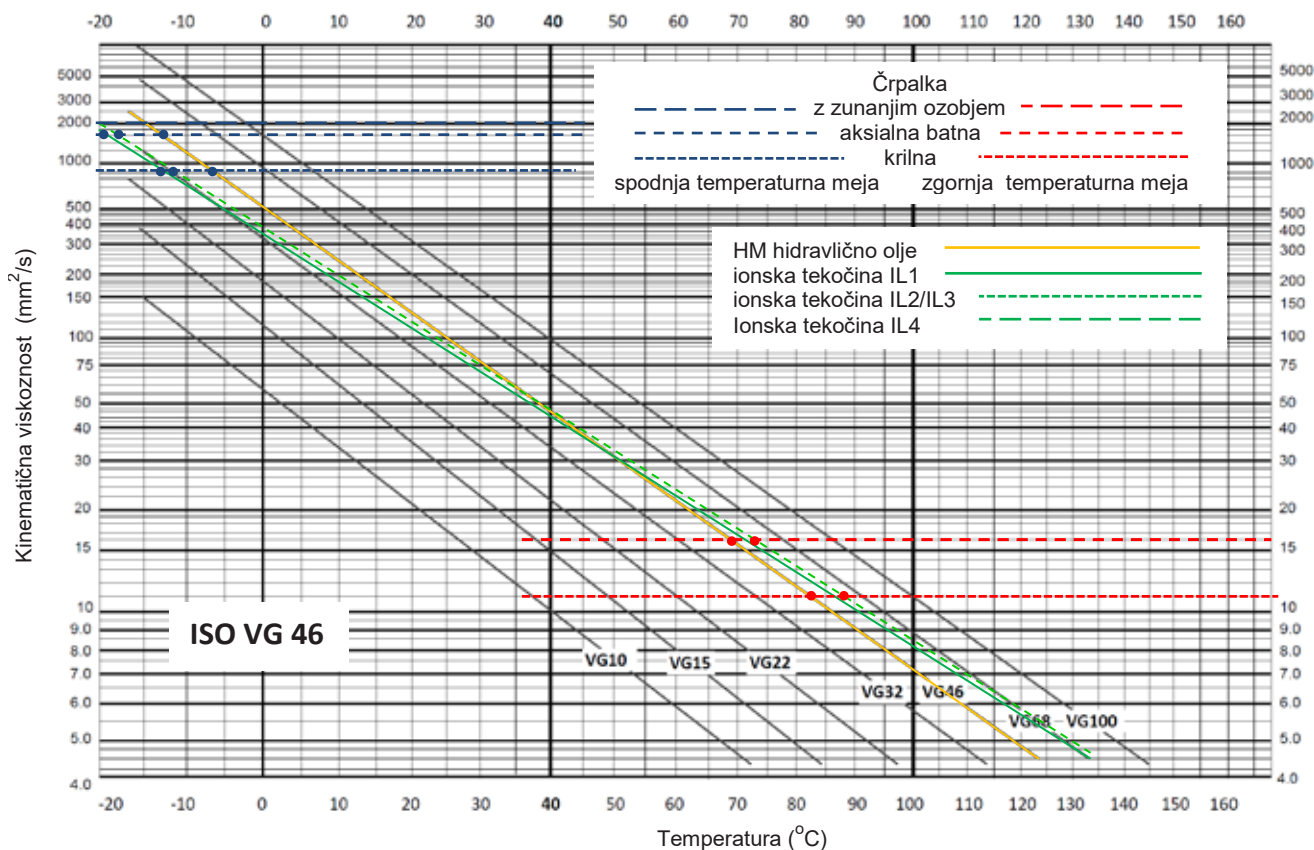
**Tabela 3 :** Primerjava vrednosti kinematične viskoznosti in indeksa viskoznosti za mineralni olji in nekaj testiranih IL

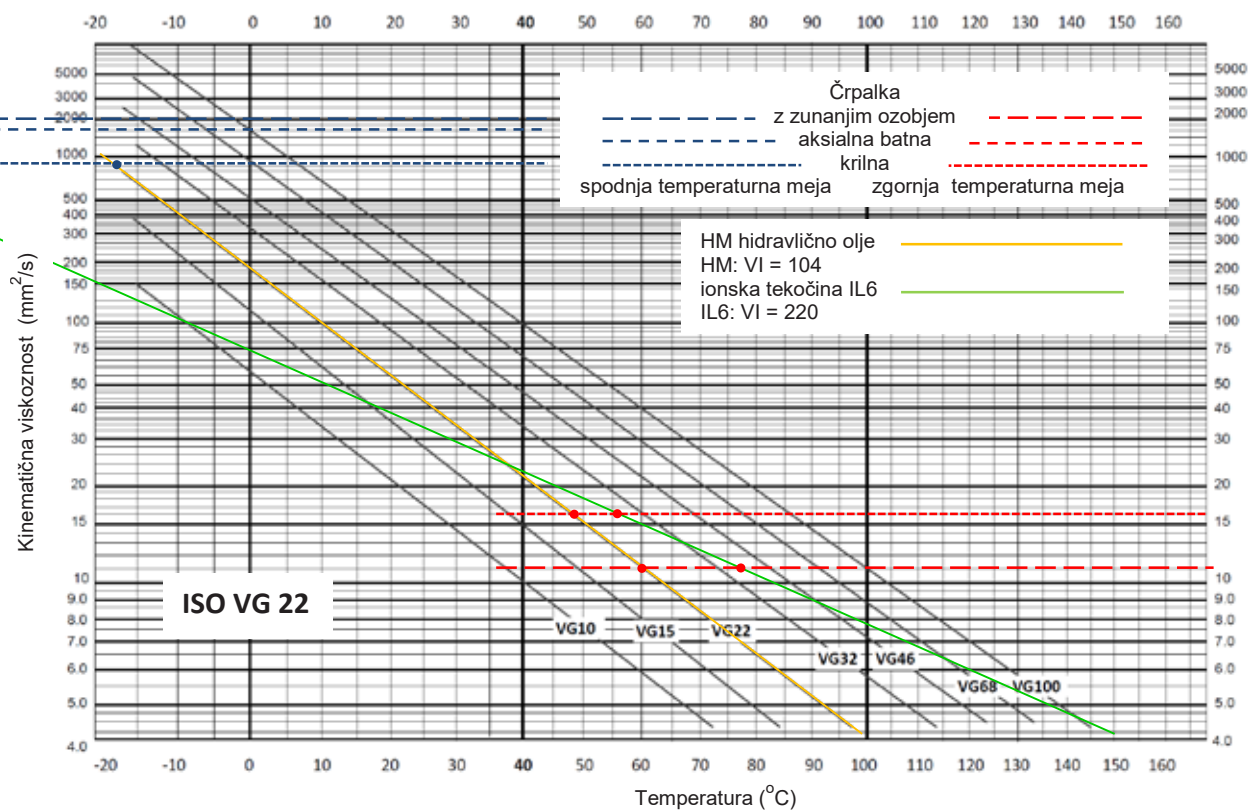
Lastnost [enota] metoda	Viskoznost 40 °C [mm <sup>2</sup> /s] ASTM D 445	Indeks viskoznosti [-] ASTM D 2270
Vrsta tekočine		
Mineralno olje HM ISO VG 46	47,07	104
Mineralno olje HM ISO VG 22	22,10	107
IL1 EMIM-EtSO <sub>4</sub>	42,44	168
IL2 18PI163 (TOMA-DBP + 40 % NMP)	47,36	155
IL3 17PI045	46,59	155
IL4 B2002b	45,23	140
IL5 EMIM-TFSI	71,89	132
IL6 B2002a	19,97	220

dravličnega olja ISO VG 46 in primere ionskih tekočin istega viskoznostnega razreda. Mejne vrednosti dovoljenih viskoznosti so podane za tri različne vrste hidravličnih črpalk - za običajno krilno črpalko, za aksialno batno črpalko in za zobniško črpalko z zunanjim ozobjem. Dopusne vrednosti viskoznosti za posamezno črpalko so navedene v podatkovnem listu proizvajalca črpalke. Najvišja vrednost viskoznosti določa začetno viskoznost pri najnižjih vrednostih začetne temperature (tako imenovana dopustna viskoznost hladnega zagona). Najnižja vrednost viskoznosti je vrednost, ki še vedno zagotavlja zadostno mazanje in trdnost mazalnega filma v sami komponenti pri najvišji obratovalni tem-

peraturi. V obravnavanem primeru so uporabljene mejne vrednosti podane v podatkovnih listih istega proizvajalca vseh treh tipov črpalk in načeloma splošno veljajo za iste vrste črpalk.

V primerjavi z mineralnim hidravličnim oljem imajo ionske tekočine veliko višji indeks viskoznosti (glej vrednosti, podane v Tabeli 3), zato je območje delovne temperature veliko širše - praktično pokrivajo tri ali več razredov viskoznosti mineralnih olj. Čeprav je primerljiv učinek možno doseči tudi z uporabo večpodročnih olj s specialnimi dodatki, lahko zaradi teh dodatkov za izboljšanje viskoznosti dosežemo druge neželene stranske učinke.


**Slika 6 :** Obratovalno temperaturno področje hidravličnega olja HM in ionskih tekočin; vse viskoznostnega razreda ISO VG 46



**Slika 7 :** Obratovalno temperaturno področje hidravličnega olja HM in ionske tekočine z visokim indeksom viskoznosti; obe viskoznostnega razreda ISO VG 22

Podobna primerjava je prikazana na sliki 7, vendar v primeru nižje viskozne tekočine – razred ISO VG 22. V tem primeru je temperaturno področje uporabe ekstremno široko. Trend razvoja hidravličnih tekočin gre v smeri uporabe energetsko učinkovitih hidravličnih tekočin, za katere je značilna uporaba tekočin z nižjo viskoznostjo, a visokim indeksom viskoznosti in s tem pokrivanjem širokega razpona obratovalnih temperatur, z boljšimi mazalnimi lastnostmi, večjo prijaznostjo do okolja, manjšim vplivom temperature na obnašanje naprave in višjim skupnim izkoristkom celotnega hidravličnega sistema. Nekatere izbrane ionske tekočine v celoti izpolnjujejo te zahteve.

## 6 Zaključek

Za neoporečno delovanje hidravlične naprave je izredno pomembna uporaba hidravlične tekočine primerne viskoznosti. Tako prenizka kot previsoka vrednost viskoznosti povzročata številne pomanjkljivosti v delovanju naprave: na področju nizkih obratovalnih temperatur, ali, nasprotno, na področju visokih obratovalnih temperatur. Problem je možno zmanjšati z uporabo hidravličnih tekočin z višjo vrednostjo indeksa viskoznosti.

V prispevku je poglobljeno predstavljena problematika indeksa viskoznosti in VT-obnašanje običajnih in poboljšanih mineralnih olj ter drugih vrst hidravličnih tekočin. Na podlagi dejansko izvedenih meritev so pojasnjene razlike v vrednosti indeksa viskoznosti.

sti mineralnih olj iste vrste in istega razreda viskoznosti. V nadaljevanju je prikazan pomen dodatka za izboljšanje obnašanja viskoznost-temperatura in korist v smislu doseganja širšega področja obratovalnih temperatur. Za primerjavo so prikazani tudi poteki spreminjanja viskoznosti v odvisnosti od temperature za druge vrste hidravličnih tekočin.

Kot novejša možnost za doseganje izredno širokega področja obratovalnih temperatur se kot hidravlične tekočine uveljavljajo ionske tekočine. Širina področja obratovalnih temperatur je v prispevku prikazana za nekaj različnih vrst ionskih tekočin. Navedene so njihove značilne vrednosti indeksa viskoznosti, potek VT-linij in širina področja obratovalnih temperatur pa sta podana v primerjavi z mineralnim hidravličnim oljem. Ker so organske sestave, veljajo za »zelena maziva«, razen tega pa je točka vnetišča občutno višja kot pri mineralnih oljih.

## Viri

- [1] Lovrec, D.: Fizikalno ozadje delovanja hidravličnih sistemov. 1. izd. Maribor: Univerzitetna založba Univerze: Fakulteta za strojništvo, 2018. VIII, 208 strani, ISBN 978-961-286-193-3. [COBISS.SI-ID 95187969].
- [2] ASTM D445-19: Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids (and Calculation of Dynamic Viscosity).
- [3] Stachowiak, W. G, Batchelor, W. A.: Engineering Tribology, 2nd edition, Butterworth-Heinemann, 2001. ISBN 0-7506-7304-4.

- [4] ASTM D2270-10: Standard Practice for Calculating Viscosity Index from Kinematic Viscosity at 40 oC and 100 oC.
- [5] Danfoss: Hydraulic Fluids and Lubricants, Technical information Danfoss, št. publikacije: 520L0463 | BC00000093en-US0801, 44 strani, julij 2016.
- [6] DIN 51524/3: Pressure fluids – Hydraulic oils – Part 3: HVLP hydraulic oils, Minimum requirements.
- [7] Canter, N.: Viscosity Index Improvers, Tribology & Lubrication Technology, September 2011, 10 strani.
- [8] Rudnick, R. L.: Lubricant Additives – Chemistry and Applications, Second Edition, CRC Press – Taylor & Francis Group, 2009, ISBN: 978-1-4200-5964-9, 776 strani.
- [9] Savant Labs: Shear Stability and Viscosity Loss, <https://www.savantlab.com/testing-highlights/testing-shear-stability-and-viscosity-loss/> (ogled: 1. 7. 2020).
- [10] Exxon Mobil Corporation: Hydraulic fluid shear stability; 2008, HY8011SH.
- [11] Ripa, M., Spanu, C., Ciortan, S.: Characterisation of Hydraulic Oils by Shear Stability and Extreme Pressure Tests, Tribology in industry, Volume 30, No. 3 & 4, 2008, str. 48-54.
- [12] Murrenhoff, H.: Fundamentals of Fluid Power, Part 1: Hydraulics, Shaker Verlag, ISBN: 978-3-8440-4817-9, IFAS, Aachen, 2016.
- [13] Rimmelman, A.: Die Entwicklung und Untersuchung von biologisch schnellabbaubaren Druckuebertragungsmedien auf Basis von synthetischen Estern, doktorska disertacija, RWTH Aachen, Wissenschaftsverlag Mainz, 2000.
- [14] Crittenden, J. C., Trussell, R. R., & all.: MWH's Water Treatment: Principles and Design, Third Edition Copyright © 2012 John Wiley & Sons, Inc, 2012, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/9781118131473.app3>.
- [15] Kambič, M., Kalb, R., Tič, V., Lovrec, D.: Compatibility of ionic liquids with hydraulic system components. Advances in production engineering & management, ISSN 1854-6250, Vol. 13, No. 4, str. 492-503, 2018, <https://doi.org/10.14743/apem2018.4.306>.
- [16] Haizhong, W., Qiming, L., Cheng, F. et al.: Friction and wear behaviors of ionic liquid of alkylimidazolium hexafluorophosphates as lubricants for steel/steel contact, Wear, Volume 256, Issues 1-2, January 2004, str. 44-48, [https://doi.org/10.1016/S0043-1648\(03\)00255-2](https://doi.org/10.1016/S0043-1648(03)00255-2).
- [17] Kambič, M., Kalb, R., Lovrec, D.: Lubrication properties of ionic liquids suitable for use within hydraulic systems, Proceedings of International Conference Fluid Power 2015, Congress centre Habakuk, Maribor, Slovenia. Maribor: Faculty of Mechanical Engineering, str. 79-93, 2015.
- [18] Lovrec, D., Tič, V.: Ionic liquids as wide operating temperature range lubricant, New technologies, development and application III, ISSN 2367-3370, Vol. 128, Springer, 2020, vol. 128, str. 348-359, doi: 10.1007/978-3-030-46817-0\_40.
- [19] Lovrec, D., Kalb, R., Tič, V.: Basic aspects when using ionic liquids as a hydraulic fluid, 12th International Fluid Power Conference, 2020, Dresden, Symposium, Vol. 1., str. 273-282, <https://tud.qucosa.de/api/qucosa%3A70916/attachment/ATT-0/>.

## Influence of the viscosity index of different hydraulic fluids on the operating temperature range

### Abstract:

The viscosity of a hydraulic fluid is one of its most important material properties. The choice of the appropriate viscosity of the fluid for a particular application is one of the most important tasks of a hydraulic engineer. But the viscosity value itself is not the only important parameter when choosing the fluid. It is extremely important to know how the viscosity changes with temperature – viscosity-temperature behaviour. The latter is given by the VI – the viscosity index.

The paper presents the influence of the viscosity index of different hydraulic fluids on the width of the temperature operating range of a hydraulic device. The significance and method of determining the viscosity index is explained in the introduction, while the actual values of the viscosity index for common mineral hydraulic oils of ISO HLP quality and various ISO viscosity classes are shown. In the continuation of the paper, the typical values of the viscosity index of other types of hydraulic fluids are discussed for comparison: for mineral oil type HV with improved temperature-viscosity behaviour, and for HE and HF types of hydraulic fluid. The last part of the paper presents the advantages of using ionic liquids, which are newer, environmentally friendly and fire-resistant liquid lubricants, which are characterized by a high viscosity index and consequently a wide temperature operating range and a very low solidification point.

### Keywords:

hydraulic fluids, viscosity index, determining, operating temperature range, mineral oils, ionic liquids

### Zahvala

Raziskava sta podprli podjetji OLMA d.o.o. iz Ljubljane in proionic GmbH iz Grambacha / Avstrija, ki sta zagotovili vse vzorce mineralnih olj in ionskih tekočin ter tako omogočili izvedbo raziskave. Še posebej smo hvaležni podjetju OLMA d.o.o., ki nam je omogočilo uporabo njihove opreme in naprav ter z nami delilo osebne izkušnje pri izvedbi meritev.

# ANALIZA PARAMETROV LASERSKEGA KALJENJA NA ROBOTSKI CELICI

Matej Babič, Roman Šturm

## Izvelek:

Poznavanje integritete površinskega sloja izdelkov je pomembno pri aplikacijah, ki vključujejo trenje, mazanje in obrabo. Višja trdota površine izdelka direktno vpliva na manjšo obrabo te površine. Z ekonomskega vidika je velikokrat ceneje uporabiti poceni material, ki mu s površinskim kaljenjem dvignemo trdoto, kot uporabiti trdnejši in trši material, ki ne potrebuje dodatne površinske obdelave. Z laserskim kaljenjem lahko pri kovinskih materialih, kot je npr. jeklo, bistveno povečamo trdoto na površini. Prednosti laserskega kaljenja sta manjši vnos energije na enoto volumna v primerjavi s klasičnim kaljenjem in čistost postopka, saj pride do martenzitne transformacije s samokaljenjem. V članku bo predstavljena analiza procesnih parametrov laserskega kaljenja na robotski celici, pri čemer je bil celoten postopek krmiljen z optičnim pirometrom, ki je zasledoval temperaturo na površini obdelovanca. Pri raziskavi sta se spreminjali hitrost pomika laserskega snopa in temperatura na površini obdelovanca, meril pa se je potek trdote v globino.

## Ključne besede:

robotska celica, laser, mikrostruktura, trdota, kaljenje

## 1 Uvod

Lasersko kaljenje z robotsko celico je postopek površinske toplotne obdelave kovin, ki dopolnjuje običajne postopke plamenskega in indukcijskega kaljenja. Pri postopku robotskega laserskega kaljenja se laserski žarek z nastavljivo pozicijo goriščne točke vodi čez površino obdelovanca s pomočjo CNC krmiljenega večosnega sistema ali robota. Z merjenjem temperature v geometriji žarka je zagotovljen enakomeren dovod toplote na površino izdelka. Laserski žarek velike moči se uporablja za hitro in selektivno segrevanje kovinske površine, ki mu sledi samokaljenje, kar lahko ustvari zakaljeno strukturo do globine 1,5 mm in z vrednostmi trdote do 65 HRc. Vodenje laserskega žarka po površini obdelovanca je izvedeno naprej in nazaj z določenim zamikom po sistemu cik-cak, kar ustvarja lasersko sled na površini obdelovanca. Za doseganje večje globine utrjevanja – kaljenja – je potrebno imeti večje prostornine oz. mase obdelovanca, ker samo dovolj velika masa zagotavlja hitro odvajanje toplote in s tem kaljenje na večjih globinah. Martenzitna mikrostruktura površine jekla zagotavlja povečano trdnost in trdoto proti sredini materiala, kjer je mikrostruktura pretežno feritno-perlitna. Za samo lasersko kaljenje so potrebne sorazmerno majhne gostote moči. Postopek utrjevanja lahko vključuje obdelavo lokalnih ali pa tudi obsežnih površin ob-

delovanca. Zato je laserski žarek oblikovan tako, da obseva čim večje območje. Obsevano območje je običajno pravokotne oblike. Pri robotski laserski toplotni obdelavi se gibanje laserskega snopa po površini obdelovanca izvaja s pomočjo robota. Pri tem se laser uporablja kot vir toplote, ki hitro poviša temperaturo površine izdelka v avstenitno območje. Toplotno segrevanje površinske plasti, ki mu sledi hitro kaljenje, povzroči nastanek utrjene transformacijske plasti. S hitrim segrevanjem površine izdelka in nato ohlajevanjem, samokaljenjem, se spremeni mikrostruktura in s tem trdota površine. Površina materiala je po laserskem utrjevanju gladka, tako da ne potrebuje naknadnega postopka obdelave z brušenjem. Prednosti laserskega utrjevanja površine lahko na kratko strnemo: laser je vir energije z izjemnimi lastnostmi (brezkontaktna metoda, nadzorovan vnos energije, velika zmogljivost, stalen proces, natančno pozicioniranje), nižji stroški za dodatno obdelavo, brez uporabe hladilnih sredstev ali kemikalij, ohranjena velika žilavost izdelka, postopek je mogoče avtomatizirati in vključiti v proizvodni postopek, vrhunska odpornost proti obrabi tako utrjenih površin. Ena od prednosti uporabe laserjev v postopku toplotne obdelave je, da je mogoče toplotno obdelati selektivna območja površine, ne da bi bilo treba segrevati celotno površino. Ker je laser mogoče natančno nadzorovati, dimenzijsko in usmerjeno, je najučinkovitejši, če ga uporabimo za selektivno utrjevanje določenega območja, ne pa za segrevanje celotnega izdelka. Pri tem ni veliko deformacije materiala, saj vhodne energije na enoto volumna ni preveč. Robotska laserska tehnologija kaljenja je še posebej primerna za selektivno utrjevanje zapletenih oblikovanih delov, zobnikov, vrtin ali robov in aplikacij, pri katerih

**Doc. dr. Matej Babič**, prof. mat., Fakulteta za informacijske študije, Novo mesto;

**Prof. dr. Roman Šturm**, univ. dipl. inž., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo



Slika 1: Robotska laserska celica za kaljenje

je minimalni vnos toplote v okoliški material kritičen. Robotsko lasersko kaljenje se uporablja na železnih zlitinah, primernih za kaljenje, največkrat na jeklih z vsebnostjo ogljika več kot 0,2 mas. %, pa tudi na litem železu.

## 2 Eksperimentalno delo

Eksperimente laserskega kaljenja smo napravili na vzorcih malo legiranega orodnega jeklu 42CrMo4, oznaka po DIN standardu 1.7225. Kemijska sestava materiala (mas. %) je bila sledeča: 0,38–0,45 % C, maks. 0,4 % Si, 0,6–0,9 % Mn, maks. 0,025 % P, maks. 0,035 % S in 0,15–0,3 % Mo. Za vodenje laserskega snopa po površini obdelovanca smo uporabili robotsko lasersko celico RV60-40 (Reis Robotics Company) (slika 1). Maksimalna moč laserske celice je 3000 W. Kalili smo z močjo 1500 W. Izbrano jeklo smo z robotsko celico lasersko obdelovali z različnimi hitrostmi pomika in z različnimi kalilnimi temperaturami. Parameter hitrosti pomika laserskega

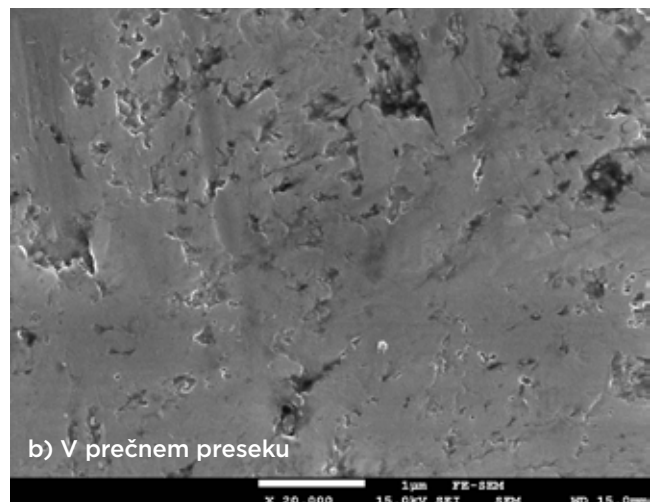
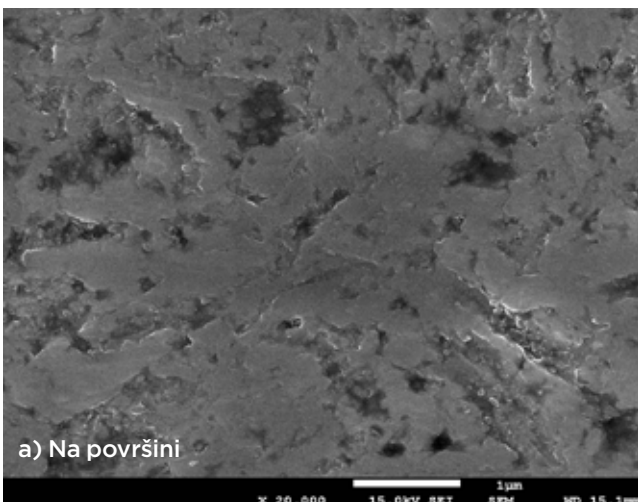


Slika 2: Robotsko lasersko kaljen vzorec s hitrostjo 2 mm/s in kalilno temperaturo 1000 °C

žarka smo spreminjali na intervalu  $v \in [2, 5] \text{ mm/s}$  s korakom 1 mm/s, parameter kalilne temperature pa na intervalu  $T \in [1000, 1400] \text{ °C}$  s korakom 100 °C. Makro posnetek lasersko kaljenih vzorcev je prikazan na sliki 2. Za vrednotenje dobljene mikrostrukture pod mikroskopom smo potem vsak vzorec prečno na laserske sledi prerežali, vstavili v bakelit, ga brusili, polirali in jedkali.

Poliranje in jedkanje je potekalo na Inštitutu za kovinske materiale in tehnologije (IMT). Naredili smo posnetke mikrostrukture površine in po preseku kaljenega območja. Slike smo naredili z rastrskim elektronskim mikroskopom SEM tipa JSM-7600F podjetja JEOL. Kaljena mikrostruktura v obeh primerih je videti primerljivo enako (slika 3).

Nas je zanimalo, kako se spreminja trdota martenzita v globino glede na različno določeno kalilno temperaturo na površini obdelovanca in na hitrost pomika laserskega žarka z robotsko celico. Posebej nas je zanimala mejna globina, ko še lahko go-



Slika 3: Kaljena mikrostruktura robotsko lasersko kaljenega vzorca

vorimo o kaljeni mikrostrukturi. To smo vrednotili z meritvami trdote v globino. Za meritve trdote smo uporabili obtežbo 0,1 kg. Mejno globino kaljenja smo določili na osnovi enačbe 1, ki določa trdoto 50 % deleža martenzita v mikrostrukturi, kar je meja v trdoti med kaljeno in nekaljeno mikrostrukturo. Enačba poda trdoto, merjeno po postopku Rockwell HRc, kjer % C predstavlja masni delež ogljika v jeklu. To trdoto potem s pomočjo primerjalne tabele pretvorimo v trdoto, merjeno po postopku Vickers HV.

$$H_{50\% \alpha'} = 44\sqrt{\text{mas. \% C}} + 14 \quad (1)$$

Za preiskovano jeklo predstavljajo trdote med 42-47 HRc (410-470 HV) spodnjo mejo, ko še govorimo o kaljeni mikrostrukturi.

### 3 Rezultati in diskusija

V tabeli 1 so predstavljeni parametri laserske obdelave z robotsko celico. Vzorce smo označili s P1-P20. Drugi stolpec v tabeli 1 predstavlja kalilno temperaturo, tretji stolpec pa hitrosti pomika laserskega snopa. Tabela 2 prikazuje meritve trdote za različne parametre hitrosti in temperature laserskega kaljenja na različnih globinah. V zakaljenem sloju se gibljejo trdote med 410 in 1000 HV 0.1. Z rdečo barvo so označene meritve trdote, kjer material ni več zakaljen oz. mikrostruktura vsebuje manj kot 50

% martenzita. Iz tabele lahko takoj ugotovimo, da prihaja do nepričakovanih rezultatov pri različnih

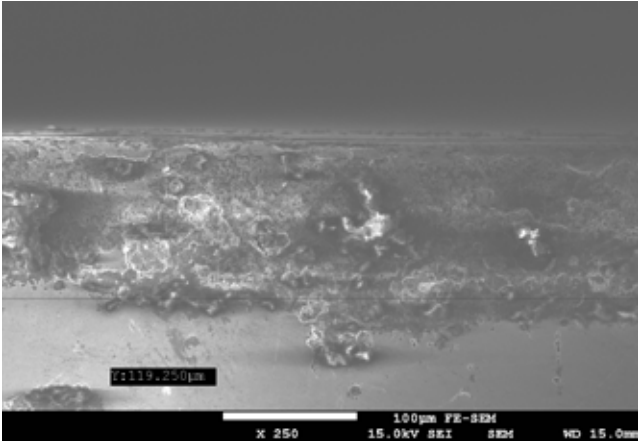
Tabela 1 : Parametri laserske obdelave z robotsko celico

Vzorec	Temperatura (°C)	Hitrost (mm/s)
P1	1000	2,0
P2	1000	3,0
P3	1000	4,0
P4	1000	5,0
P5	1100	2,0
P6	1100	3,0
P7	1100	4,0
P8	1100	5,0
P9	1200	2,0
P10	1200	3,0
P11	1200	4,0
P12	1200	5,0
P13	1300	2,0
P14	1300	3,0
P15	1300	4,0
P16	1300	5,0
P17	1400	2,0
P18	1400	3,0
P19	1400	4,0
P20	1400	5,0

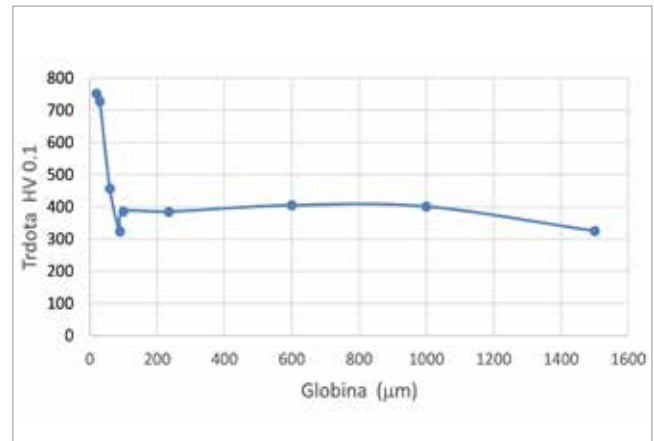
Tabela 2 : Meritve trdote na različnih globinah

Vzorec	Trdota HV 0.1 na globini								
	20 μm	30 μm	60 μm	90 μm	100 μm	235 μm	600 μm	1000 μm	1500 μm
P1	697	679	670	638	693	661	634	550	312
P2	720	704	705	686	694	693	672	520	309
P3	621	613	609	619	612	602	615	501	306
P4	706	706	708	719	747	755	624	490	302
P5	801	729	728	602	639	614	632	560	320
P6	660	738	723	657	772	647	633	534	315
P7	712	625	599	602	595	612	614	510	317
P8	642	611	605	603	620	659	633	495	306
P9	752	728	457	324	386	385	405	401	325
P10	927	874	801	876	818	376	360	350	319
P11	685	770	719	731	737	711	605	550	320
P12	990	915	763	388	338	309	346	330	312
P13	755	791	731	719	712	691	716	550	326
P14	997	979	970	938	993	961	934	580	319
P15	692	740	721	748	746	712	662	532	318
P16	650	704	691	738	702	651	601	482	309
P17	905	810	866	708	793	883	881	650	350
P18	855	829	865	898	924	997	820	623	336
P19	810	778	709	760	658	617	505	450	320
P20	852	810	826	347	308	330	315	302	292





a) Optična meja, SEM

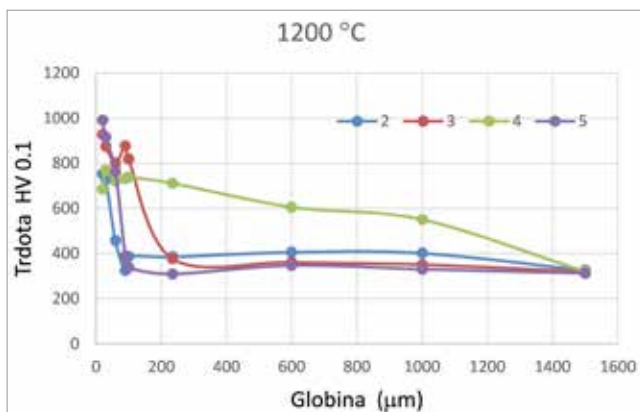


b) Meritve trdote od površine v globino

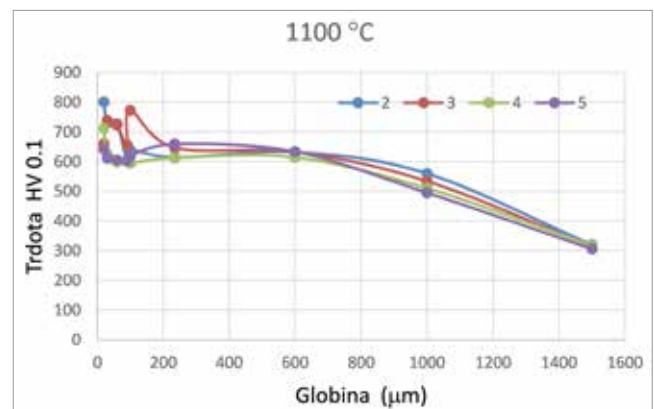
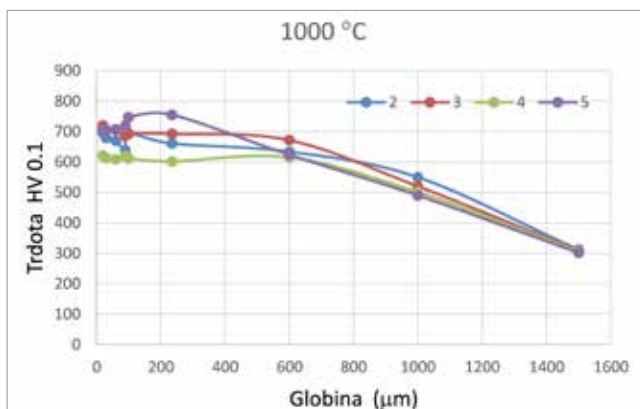
Slika 4 : Prečni presek kaljene površine ( $T = 1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $v = 2\text{ mm/s}$ )

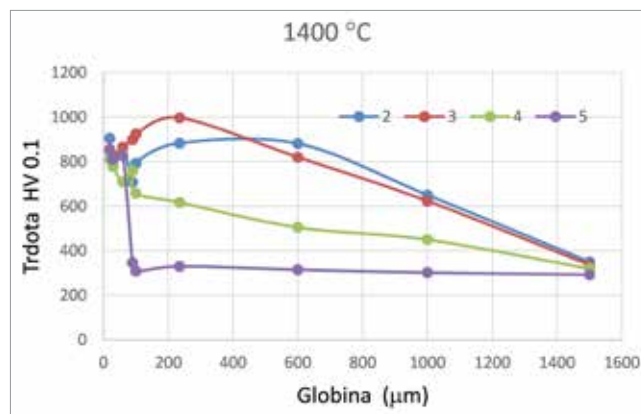
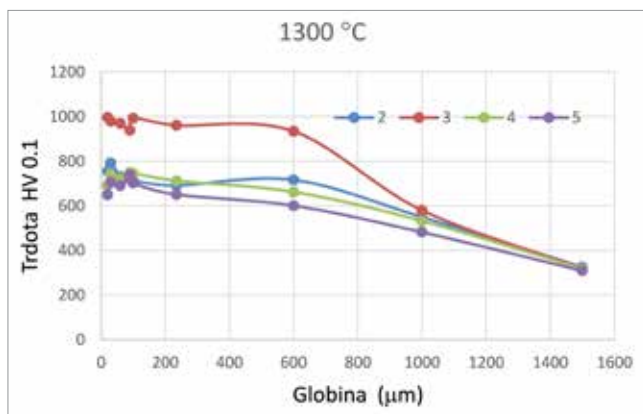
pogojih laserske obdelave. Na *sliki 4a* je lepo vidna optična meja med kaljenim materialom – martenzitom – in osnovnim nekaljenim materialom, ki je na globini okrog  $120\text{ }\mu\text{m}$ . Kakšna pa je resnično prava globina, da lahko govorimo o zakaljenem materialu, pa povedo meritve trdote v globino. V tem primeru je zakaljena globina okrog  $60\text{ }\mu\text{m}$ , kar je vidno na *sliki 4b*. Na *sliki 5* so prikazani še poteki trdote

v globino v primeru vseh različnih hitrosti pomika laserskega snopa in pri  $t = 1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Jasno se vidi, da je nekaj narobe, ko povežemo pričakovane rezultate meritev trdote z obdelovalnimi parametri. Največjo globino kaljenja dosežemo pri hitrosti pomika  $4\text{ mm/s}$ , ki ni ne najvišja in ne najnižja hitrost obdelave.

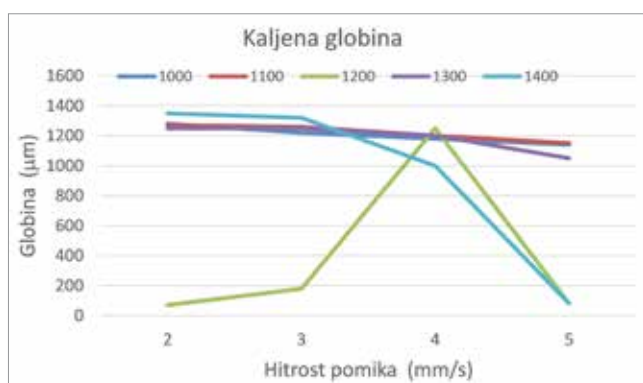
Slika 5 : Potek trdote pri različnih hitrostih pomika laserskega snopa,  $T$  (na površini) =  $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 

Na *sliki 6* so prikazani dobri poteki trdote v globino, saj materialu zvezno pada trdota v globino pri določeni temperaturi kaljenja ( $1000\text{ in }1100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) in pri vseh izbranih hitrostih pomika med  $2\text{ in }5\text{ mm/s}$ . Najvišje trdote v površinskem sloju se gibljejo med  $600\text{--}700\text{ HV }0.1$ . Pri vseh obdelovalnih pogojih so dosežene globine kaljenja okrog  $1,2\text{ mm}$ . Na *sliki 7* je v primeru hitrosti pomika laserskega snopa največja dosežena trdota na nivoju  $1000\text{ HV }0.1$ , pri vseh ostalih parametrih pa okrog  $700\text{ HV }0.1$ . Globina kaljenja je pri vseh izbranih hitrostih pomika laserskega snopa na nivoju  $1,2\text{ mm}$ . Ko pa pogledamo krivulje poteka trdote v globino pri kalilni temperaturi  $1400\text{ }^{\circ}\text{C}$ , lahko ugotovimo, da je pri hitrostih pomika  $2\text{ ali }3\text{ mm/s}$  oblika krivulje podobna predhodnim opisom. Pri višjih hitrostih pomika ( $4\text{ in }5\text{ mm/s}$ ) pa trdota hitro pade od površine v globino na nivo trdote osnovnega materiala.

Slika 6 : Potek trdote v globino pri temperaturah kaljenja  $1000\text{ in }1100\text{ }^{\circ}\text{C}$



Slika 7: Potek trdote v globino pri temperaturah kaljenja 1300 in 1400 °C



Slika 8: Dosežena globina kaljenja pri različnih obdelovalnih parametrih

Na *sliki 8* je prikazana še dosežena globina kaljenja pri različnih obdelovalnih parametrih. Iz grafa lahko jasno zaključimo, da določen parameter obdelave ne daje zanesljivih podatkov. Kot smo ugotovili že prej, je največje odstopanje dosežene globine kaljenja pri kalilni temperaturi 1200 °C glede na hitrost pomika laserskega snopa. Enako se v primeru kaljenja na temperaturi 1400 °C največja dosežena globina kaljenja začne hitro zmanjševati s povečevanjem hitrosti pomika laserskega snopa. Na osnovi tega grafa lahko zaključimo, da optični pirometer ne daje zanesljivih podatkov o temperaturi na površini obdelovanca. Če pirometer zazna višjo temperaturo, kot je v resnici, laserski izvor emitira nižjo gostoto energije. Posledično se segreje manjša globina jekla v avstenitno območje in zato so tudi dosežene globine kaljenja manjše.

## 4 Zaključek

Glavni cilj laserskega kaljenja materialov s pomočjo robotske celice je poleg povečanja površinske trdote in zagotovitve odpornosti delov proti obrabi, da zagotovimo učinkovit in natančen postopek s kontroliranimi rezultati kaljenja. Trdota ma-

teriala je pomembna mehanska lastnost, ki vpliva tudi na trdnost materialov. Z robotskim laserskim kaljenjem želimo dosežati visoke površinske trdote in povišane trdote v primerni globini. S tem zmanjšamo koeficienta trenja in povečamo nosilne sposobnosti površinskih slojev. V prispevku smo predstavili, kako parametri robotske laserske celice, temperatura in hitrost, vplivajo na trdoto v globino kaljenega materiala. Pri tem pa lahko ugotovimo, da brez predhodno opravljenih eksperimentov za vrednotenje učinkov parametrov laserskega procesa na doseženo trdoto na določeni globini ne smemo slepo zaupati »in-situ« merilnim instrumentom, ki krmilijo proces laserskega kaljenja.

## Viri

- [1] J. Grum, P. Žerovnik, R. Šturm: Measurement and Analysis of Residual Stresses after Laser Hardening and Laser Surface Melt Hardening on Flat Specimens; Proceedings of the Conference "Quenching '96", Ohio, Cleveland, 1996.
- [2] D. Steiner Petrovič, R. Šturm: Fine-structured morphology of a silicon steel sheet after laser surface alloying of Sb powder. *Strojniški vestnik*, jan. 2014, vol. 60, no. 1, pp. 5-11.
- [3] D. Bucevac, B. Matovic, B. Babic, V. Krstic: Effect of post-sintering heat treatment on mechanical properties and microstructure of SiC-TiB 2 composites. *Materials Science and Engineering: A*, 2014; 528(4): 2034-2041.
- [4] J. D. Kim, M. H. Lee, S. J. Lee, W. J. Kang: Laser transformation hardening on rod-shaped carbon steel by Gaussian beam, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 2009, Vol. 19, Issue 4, p. 941-945.
- [5] J. C. Ion et al.: *Laser processing of engineering materials*, Elsevier Butterworth - Heinemann, Oxford, UK, 2005, p. 221-224.

- [6] S. Martínez, A. Lamikiz, I. Tabernero, E. Ukar: Laser Hardening Process with 2D Scanning Optics, *Physics Procedia*, 2012, Vol. 39, p. 309–317.
- [7] L. Orazi, A. Fortunato, G. Cuccolini, G. Tani: An efficient model for laser surface hardening of hypo eutectoid steels, *Applied Surface Science*, 2010, Vol 256, Issue 6, p. 1913–1919.
- [8] T. Didenko, “Laser surface melting – modelling and experimental verification of the melted zone shape and size, and chemical homogeneity”, PhD Thesis, AGH University of Science and Technology, Kraków, 2006 (in Polish).
- [9] T. Didenko, J. Kusinski and G. Kusinski, “Multiphase model of heat and mass transport during laser alloying of iron with electrodeposited chromium layer”, *Proc. Multiscale and Functionally Graded Materials Conf. 1*, 640–646 (2006).
- [10] L. A. Dobrzanski, M. Bonek, E. Hajduczek and A. Klimpel, “Alloying the X40CrMoV5-1 steel surface layer with tungsten carbide by the use of a high power diode laser”, *Applied Surface Science* 247, 328–332 (2005).
- [11] J. M. Lackner, W. Waldhauser, A. Alamanou, Chr. Teichert, F. Schmied, L. Major and B. Major: “Mechanisms for selfassembling topography formation in low-temperature vacuum deposition of inorganic coatings on polymer surfaces”, *Bull. Pol. Ac.: Tech.* 58, 281–294 (2010).
- [12] T. Burakowski, W. Napadłęk, A. Wozniak and I. Kalman: “Experimental determination of the effect of density of power laser  $\lambda = 1064$  nm on the effectiveness of laser steel one pulse texturing 41Cr4”, *Proc. Electrotechnical Institute 256*, 7–21 (2012) (in Polish).
- [13] M. Rozmus-Gornikowska, J. Kusinski, and M. Blicharski: “The influence of the laser treatment on microstructure of the surface layer of an (X5CrNi18-10) austenitic stainless steel”, *Archives of Metallurgy* 56 (3), 717–721 (2011).
- [14] Y. K. Zhang, J. Z. Lu, X. D. Ren, H. B. Yao and H. X. Yao, “Effect of laser shock processing on the mechanical properties and fatigue lives of the turbojet engine blades manufactured by LY2 aluminum alloy”, *Materials and Design* 30 (5), 1697–1703 (2009).

## Analysis parameters of laser hardening on robot cell

### Abstract:

Characterization of the surface topography of materials is important in applications involving friction, lubrication, and wear. The essential feature is the hardness of materials. Hardness is a measure of the resistance to localized plastic deformation caused by mechanical indentation or abrasion. However, the hardness of the materials can be increased by a heat treatment-tempering process. We will present robotic laser quenching, which, contrary to known heat-curing processes, high-frequency quenching, electrical heating, melt quenching, and other methods, is not a mass quenching process but a surface process. The article presents the influence of the speed and temperature parameter of a robot laser cell on the material hardness depth.

### Keywords:

robot-cell, laser, microstructure, hardness, hardening

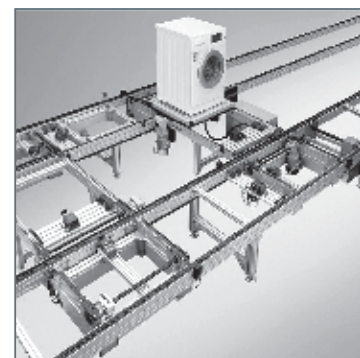
# Rexroth

## 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

# GRELCI OLJA

Milan Kambič

V nekaterih primerih uporabe maziv je praktično nemogoče, da bi bilo olje pri temperaturi okolice še tekoče. Tak primer so med drugim tudi visoko viskozna olja za mazanje zobniških prenosnikov v zimskem času. V takšnih primerih je priporočljiva uporaba grelcev olja. Pred uporabo ali izbiro grelca pa moramo upoštevati več stvari. V nekaterih primerih je uporaba teh naprav namreč škodljiva tako za opremo kot tudi za uporabljeno olje.

## Zakaj uporabiti grelec olja?

Pri mazanju strojnih elementov je zelo pomembno, da olje ostane tekoče in opravi svojo nalogo v opremi. V nasprotnem primeru se viskoznost olja pri nizkih temperaturah tako poveša, da je tečenje omejeno ali povsem onemogočeno, zaradi česar pride do prekomerne obrabe strojnih elementov. Glavna naloga grelcev je, da z ogrevanjem olja zagotavljajo tečenje olja tudi pri nizkih temperaturah okolice.

## Viskoznost, indeks viskoznosti, točka tečenja

Za ustrezno tečenje olja je pomembna tudi izbira primerne viskoznosti olja. Če bo strojni del ves čas obratoval pri zelo nizkih temperaturah, si lahko za zagotavljanje tečenja pomagamo z izbiro nižje viskoznostne gradacije, ki je usklajena z nizkimi temperaturami okolice. Naslednji pomemben dejavnik je indeks viskoznosti olja, ki nam pove, koliko se viskoznost olja spremeni s spremembo temperature. Če se viskoznost nikoli ne bo povešala toliko, da olje ne bi več teklo, potem grelca olja ne potrebujemo. Temperaturo, pri kateri olje na teče več, podaja točka tečenja, ki jo preprosto lahko določimo z laboratorijsko meritvijo, pri kateri vzorec olja postopoma ohlajamo tako dolgo, da olje ne teče več. V primeru strojev, ki obratujejo pri nizkih temperaturah, je točka tečenja olja zelo pomembna. Če je možno, izberimo olje s točko tečenja vsaj za 9 °C nižjo, kot je pričakovana najnižja temperatura okolice [1].

## Kontaminanti

Kontaminanti ne vplivajo le na viskoznost in splošno stanje olja, temveč tudi na točko tečenja. Eden običajnih kontaminantov v olju so usedline, ki dvigajo njegovo viskoznost. Možni kontaminanti so tudi gorivo, glikol in podobne tuje tekočine.

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



Slika 1 : Cevni grelci olja [2], [3]

## Vrste grelcev olja

V industriji uporabljamo dve glavni vrsti grelcev olja. Prva in najbolj pogosto uporabljena vrsta so potopni grelci, ki so nameščeni v rezervoarju. Dolžina grelca in s tem sposobnost ogrevanja je odvisna od pričakovane temperature in količine olja v rezervoarju. Tovrstne grelce moramo regulirati termostatsko, sicer se olje ob grelcu lahko pregreje. Nastavljena temperatura mora biti visoka le toliko, da olje ostane tekoče, ne pa previsoka, saj bi v tem primeru povzročili previsoko oksidacijo in termično degradacijo olja ob vročih stenah grelca. Večina teh grelcev mora biti popolnoma potopljena v

## Ali ste vedeli?

- ▶ Glede na rezultate ankete na spletni strani [www.MachineryLubrication.com](http://www.MachineryLubrication.com) 66 % strokovnjakov za mazanje uporablja v svojih obratih grelce olja.
- ▶ Gostota toplotnega toka je fizikalna veličina, ki pove, koliko toplote na enoto površine preteče v časovni enoti med dvema telesoma v stiku.
- ▶ Zniževalci točke tečenja so aditivi, ki preprečujejo zgoščevanje olja pri nizkih temperaturah, na ta način pa znižujejo točko tečenja olja.
- ▶ Uporaba grelcev olja ni vedno potrebna, čeprav so temperature nizke. Uporabimo jih le tedaj, ko ni druge možnosti.

**Preglednica 1** : DA in NE pri grelcih olja [1]

DA	NE
Pravilna velikost grelca na osnovi ciljne temperature in velikosti rezervoarja.	Predimenzioniranje grelca zaradi enostavnosti uporabe.
Uporaba termostatov za kontrolo toplote in gostote toplotnega toka.	Preprosto vključimo stikalo in pustimo grelec vključen ves čas.
Občasno nadzorujemo grelce in se prepričajmo, da delujejo.	Pozabimo na grelce in predpostavimo, da delujejo.
Namestimo nivojska stikala za grelce, ki morajo biti stalno popolnoma potopljene v olje.	Dopustimo, da se nivo olja zniža pod grelec in pride do predčasne okvare.
Uporabimo grelce samo takrat, ko ni druge možnosti za zagotovitev tečenja olja.	Uporaba grelcev pri mazivih, ki so nagnjena k oksidaciji, ali na strojih, ki so močno kontaminirana z gorivom.

olja. V nasprotnem primeru se zaradi pregrevanja poškodujejo.

Na nevarnost termične/oksidacijske degradacije olja vplivajo štirje dejavniki: temperatura olja, termična/oksidacijska stabilnost olja (odvisno od baznega olja in aditivov), viskoznost olja (nizko viskozna olja so manj kritična) in temperatura površine grelca (gostota toplotnega toka). Pri pregledu grelca vsaka obloga ali koksni ostanek na površini nakazuje na previsoko temperaturo površine grelca. Dobro pravilo je vzdrževanje največ 2,4 W/cm<sup>2</sup> pri nizko viskoznih in/ali hitro gibajočih se oljih in 1,6 W/cm<sup>2</sup> pri mirujočih in/ali visoko viskoznih oljih.

Druga vrsta grelcev je zunanjih, se pravi nameščene zunaj oljne kopeli. Tudi ti morajo biti uravnavani termostatsko. Nevarnost lokalnega pregrevanja je v tem primeru manjša, saj olje stalno teče skozi grelec. Slabost pa je, da običajno porabijo več energije, ogrevanje olja pa traja dalj časa.

### Kdaj je uporaba grelca olja smiselna?

Uporaba grelca je smiselna, kadar olje obratuje v ekstremno hladnem okolju, vendar pa to ne pomeni, da jih je vedno potrebno uporabiti za vse takšne primere. Ne uporabimo jih, če uporabljamo olje tega ne zahteva. Kadar je zagotovljeno teče-

nje olja pri vseh temperaturah, bi uporaba grelca pomenila le dodatno obremenitev olja in skrajšanje njegove uporabne dobe. Tudi v primeru goriva v olju ne uporabljamo grelcev, dokler ne preprečimo njegovega vstopa v olje.

### Zaključek

Z izbiro ustreznega grelca olja in uporabljenega olja lahko zagotovite, da bo vaša oprema dobro delovala pri vseh pričakovanih temperaturah. Ne pozabite, da grelci niso edina rešitev za vse težave z visoko viskoznostjo olja zaradi nizkih temperatur. Če pa opravljate domačo nalogo in redno pregledujete grelce in olja, lahko svojemu programu mazanja zagotovite velike koristi.

### Viri

- [1] Wes Cash. When to use an oil heater. Machinery Lubrication 12/2016.
- [2] Cevni grelci. Dostopno na WWW: <http://vimosi.si/Stran.aspx?id=14&lang=SI> [26. 3. 2019].
- [3] Oil heaters, industrial heaters, multipurpose heaters. Dostopno na WWW: <http://www.rashmiheaters.com/oil-heaters.html#pretty-Photo> [26. 3. 2019].

## ROTACIJSKI NANOS OBLOG S FLUORIRANIMI POLIMERNIMI MATERIALI – ROTOLIV

ROTOLIV je preprosta metoda formiranja zaščitne plasti materiala na notranje površine kovinskih elementov. Pri oblivanju elementov ter posod dobi notranja obloga dejansko obliko osnovnega elementa. Pri pravilni izdelavi se polimerni material odlično sprime s kovinsko osnovo, kar mu omogoča uporabo tudi pri podtlakih do določene temperature.



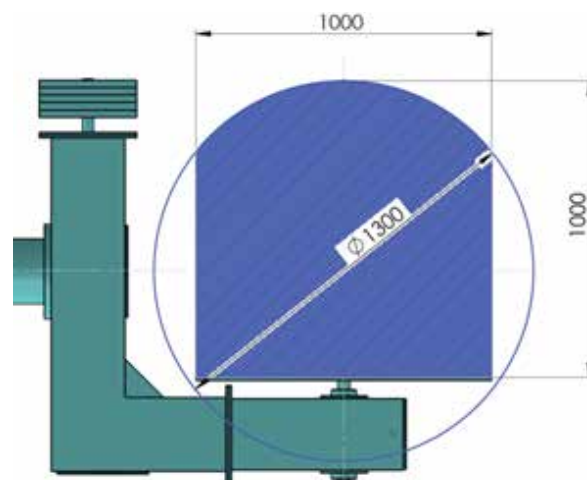
Reducirno koleno z odcepom z zaščitno oblogo, izdelano po postopku ROTOLIV

Prednosti ROTOLIV postopka so številne:

- ▶ Možnost zaščite elementov kompleksnih, nestandardnih oblik.
- ▶ Možnost zaščite procesne opreme (reaktorji, posode, priključki ...).
- ▶ Končna obloga brez varov ali šivov ter dodatnih spojnih mest.
- ▶ Homogena debelina obloge.
- ▶ Debelina obloge je od 2 mm do 8 mm.
- ▶ Izredno gladka površina obloge.
- ▶ Uporaba pri povišanih temperaturah.
- ▶ Močna vez obloge s podlago.
- ▶ Možnost uporabe pri podtlaku.
- ▶ Manjša prepustnost obloge.
- ▶ Daljša življenjska doba zaščitnih izdelkov.

Prevleka je termoplastični kopolimer – ETFE, pridobljen s polimerizacijo etilena in tetrafluoroetilena, ki je odporen proti abraziji in mehanskim vplivom. Obloga je zelo odporna na obrabo in staranje, prav tako tudi na večino anorganskih ter organskih baz in kislin pH 2-14. Obstojna je do temperature 150 °C, odvisno od koncentracije medija.

ROTOLIV se uporablja v kemijski in farmacevtski, petrokemijski ter prehrabni industriji za zaščito cevvodov, posod, reaktorjev, ventilov, črpalk in rezervoarjev za čisto vodo in tudi za rezervoarje za zelo čiste kemikalije.



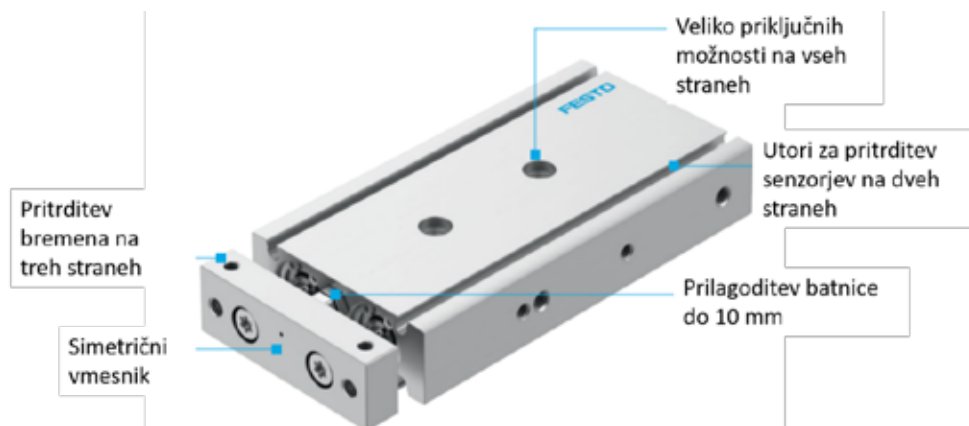
Dimenzijske omejitve ROTOLIV procesa

### Vir:

Cinkarna Metalurško-kemična industrija Celje, d.d., Kidričeva 26, 3001 Celje, Slovenija, T: +386 (0)3 427 66 44, F: +386 (0)3 427 66 39, internet: <http://www.cinkarna.si/>, g. Luka Fideršek, g. Roman Deželak

## DVOJNI VALJ DGTZ

Cilj podjetja FESTO je povečanje produktivnosti uporabnikov njihovih izdelkov. Uporabniki pnevmatičnih komponent so nakazali, kakšne so njihove želje. Da bi izpolnili njihova pričakovanja, so pri FESTU razvili prostorsko optimiziran dvojni pnevmatični valj DGTZ, ki je kompakten in trpežen.



**Slika 1:** Dvojni valj DGTZ

Valj DGTZ odlikujejo kompaktna konstrukcija, simetrični vmesniki, dobra prilagodljivost, dolga življenjska doba brez vzdrževanja, kakovost in atraktivna cena. Je kratek, ozek in ploščat – konstrukcija, ki se popolnoma prilagaja zahtevam.

Vse to zadovoljuje uporabnike valjev DGTZ, jim omogoča prihranek prostora in poenostavi proces konstruiranja sistemov. Enostavno ga je naročiti, vključiti v konstrukcijo sistema in upravljati.

### Tehnični podatki:

**Nominalna velikost:** 10 – z dolžino gibov: 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80

**Nominalne velikosti:** 16, 20, 25, 32 – z dolžino gibov: 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100

**Način delovanja:** dvostransko delujoč valj  
**Blaženje:** P (elastičen blažilni obroč/plošča na obeh straneh)

**Utor za senzorje:** C – utor (10, 16, 20) in T – utor (25 in 32)

**Vodilo:** GF – drsno vodenje

**Pritrditev bremena:** Plošča – jarem na enem koncu

### Vir:

FESTO, d. o. o., Blatnica 8, 1236 Trzin, tel.: 01 530 21 00, faks: 01 530 21 25, e-mail: info\_si@festo.com, <http://www.festo.com>, g. Bogdan OpaškarKidričeva

POSVET

# AVTOMATIZACIJA STREGE IN MONTAŽE 2020 - ASM `20

10. decembra 2020

na Gospodarski zbornici Slovenije v Ljubljani

# NOVA SERIJA UNIVERZALNEGA KRMILNIKA – OMRON CP2E

Novi programirljivi mikrokrmilnik (PLC) CP2E je zasnovan predvsem za podporo zaje-manja podatkov in za komunikacijo med napravami v proizvodnji. Primeren je za veliko temperaturno območje delovanja, kar omogoča uporabo v najzahtevnejših in speci-alnih aplikacijah. Ima integrirane vhodno-izhodne vmesnike, več vrst komunikacije in omogoča direktno krmiljenje servoos - vse to z naprednim programskim orodjem in IoT-povezljivostjo za kompaktne naprave.



**Slika 1 :** CP2E-serija univerzalnega krmilnika, primernega za IoT-aplikacije

Zmogljivosti povezanih naprav se lahko vizuali-zirajo s preprostim programiranjem, ki pomaga povečati produktivnost in kakovost v proizvodnji. Podjetja, ki uporabljajo kompaktne naprave v svoji proizvodnji, imajo pogosto potrebo po združeva-nju proizvodnih podatkov, vizualizaciji zmogljivo-sti naprav ter zaščiti pred nenadnimi napakami in zaustavitvami.

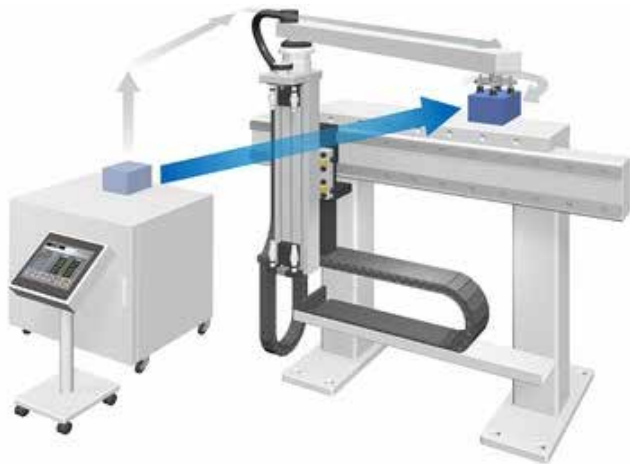
CP2E omogoča cenovno sprejemljivo nadgradnjo naprav z IoT-funkcionalnostjo. Zbira proizvodne podatke in deli potrebne informacije z naprava-mi v omrežju. Preddefinirani programski podatki v obliki funkcijskih blokov zmanjšajo čas razvoja in povečajo kvaliteto s standardizacijo. To omogo-ča, da pripravi napravo za kompleksno krmiljenje z zmanjšanjem časa za programiranje, testiranje, odpravo programskih napak in vzdrževanje. Še več: razširjeno temperaturno območje delovanja zagotavlja zanesljivo uporabo v napravah, ki de-lujejo izven proizvodnega okolja, kjer so okoljski dejavniki (temperatura, vlaga) še zahtevnejši.

CP2E je programsko kompatibilen s predhodno manj zmogljivo (HW in SW) serijo CP1 (*slika 1*).

Osnovne značilnosti:

1. Izboljšana povezljivost z napravami preko Ethernet ali serijske komunikacije:
  - a) vgrajena dva Ethernet vmesnika z izbirno funkcijo: Host- ali HMI-povezljivost;
  - b) vgrajeni do trije serijski vmesniki v obliki op-cijskih kartic, kar omogoča odprto povezljivost s serijskimi napravami.
2. Preprostejše programiranje kompleksnejših na-prav:
  - a) v programskem orodju so na voljo Omron funkcijski bloki za pozicioniranje in krmilje-nje;
  - b) poenostavljeno pozicioniranje: 4-osno pozi-cioniranje z linearno interpolacijo;
  - c) pozicioniranje v točki (markici) z eno samo instrukcijo;
  - d) vgrajena PID-regulacija z autotuning funkci-onalnostjo za stabilno temperaturno regula-cijo.
3. Preprosta instalacija – zanesljive rešitve za vsa industrijska in druga okolja:
  - a) razširjena delovna temperatura povečuje za-





**Slika 2 :** Kompleksno krmiljenje s krmilnikom CP2E je enostavno realizirano z uporabo Omron know-how funkcijskih blokov za linearno interpolacijo in s funkcijo 4-osnega pozicioniranja.

- nesljivost delovanja v specialnih aplikacijah; delovanje brez baterije (samo osnovno napajanje) znižuje stroške vzdrževanja;
- b) vgrajen LED-indikator z vhodno-izhodnimi signali za hitro diagnosticiranje delovanja sistema;
- c) avtomatska detekcija napak povečuje učinkovitost naprave in preprečuje zaustavitev CPU-enote.

Z dodano IoT-funkcionalnostjo v širokem naboru izdelkov podjetje Omron skupaj z uporabniki oz. naročniki pospešuje uvedbo inteligence v proizvodnjo s t. i. »inovativno avtomatizacijo«, kar omogoča doseganje večje produktivnosti.

**Vir:**

MIEL Elektronika, d. o. o., Efenkova cesta 61, 3320 Velenje, tel.: +386 3 777 70 00, fax: +386 3 777 70 01, internet: www.miel.si, e-pošta: info@miel.si



Vse za avtomatizacijo proizvodnje



**Sistemi za avtomatizacijo**

- Industrijski računalniki
- Krmilniki za avtomatizacijo strojev
- Programirljivi logični krmilniki (PLC)
- Distribuirane I/O enote
- Vmesniki Človek-stroj (HMI)
- Sysmac Studio

**Stikalne komponente**

- Elektromehanski releji
- Polprevodniški releji
- Niskonapetostni preklopniki
- Stikala in tipke
- Terminalni bloki

**Varnostna tehnika**

- Naprave za zaustavljanje in nadzor v sili
- Varnostna stikala
- Varnostna vrata
- Varnostne preproge - serija UMA
- Varnostni senzorji
- Varnostni logični krmilni sistemi
- Varnostni izhodi

**Pogonska tehnika**

- Krmilniki gibanja
- CNC krmilniki
- Servo sistemi
- Frekvenčni pretvorniki

Za višjo produktivnost. ✓



**Komponente za nadzor delovanja**

- Senzorji in regulatorji temperature
- Napajalniki
- Brezprekinitveno napajanje (UPS)
- Časovniki
- Števci
- Programirljivi releji
- Digitalni prikazovalniki
- Naprave za spremljanje energije

**Senzorika**

- Fotoelektrični senzorji
- Senzorji barve in označb
- Senzorji s svetlobnimi vodniki
- Senzorji za površine
- Optični senzorji in ojačevalniki
- Induktivni senzorji
- Mehanski senzorji in mejna stikala
- Senzorji za procesne veličine

**Robotika**

- Industrijski roboti
- Linearne osi
- Mobilni roboti

**Nadzor in preverjanje kakovosti**

- Identifikacijski sistemi
- Sistemi za kontrolo kvalitete
- Merilni senzorji
- Verifikacijski sistemi
- Vision sistemi in industrijske kamere



## SMC NA PODROČJU ROBOTOV IN KOBOTOV

Uporaba tradicionalnih industrijskih robotov in kolaborativnih robotov – kobotov (co-bots, collaborative robots) – po svetu stalno narašča. Do sedaj je že presegla številko 2,4 milijona aktivnih robotov v proizvodnih sistemih, kjer opravljajo različne naloge in pripomorejo k večji produktivnosti. [1](Vir: IFR (International Federation of Robotics), objava 20. jan. 2020)



Slika 1: UR + certificiran komplet magnetnega prijemala serije MHM

Evropa sega v sam svetovni vrh s povprečjem 114 aktivnih robotov na 10.000 zaposlenih. Na evropskem tržišču je do leta 2022 predvidena 14-odstotna rast dodatne integracije robotov. [2] (Vir: IFR (International Federation of Robotics), objava: 20. mar. 2020)

Uporaba tradicionalnih industrijskih robotov in kolaborativnih robotov nikoli ne bo nadomestila človeške sposobnosti strateškega razmišljanja in ustvarjalnosti, vendar pa lahko ljudje in roboti delajo in sodelujejo z roko v roki in si nenazadnje delijo tudi delovni prostor.

Podjetje SMC, ki sledi trendom pri razvoju in uporabi kolaborativnih robotov, predstavlja novosti na področju prijemalne tehnike.

Prilagodljivost, enostavna integracija in hitro delovanje so zahteve, ki jih vedno postavlja industrija pri avtomatizaciji. Te tri lastnosti so prav tako poglavite za kolaborativne robote. SMC v nadaljevanju predstavlja novosti za podjetja vseh velikosti, ki uporabljajo kobote znamke Universal Robots (UR).

Predstavljene novosti SMC prijemal je certificiralo in odobrilo podjetje Universal Robots (UR) in omogočajo s sistemom UR + programom »plug-and-play« enostavno in hitro integracijo v vaš sistem.

### 1 Magnetno prijemalo serije MHM

Ko klasični vakuumski sistemi ali mehanska prijemala ne zagotavljajo ustrezne varnosti delovanja prijema, magnetno prijemalo serije MHM zagotavlja držanje obdelovalca z magnetno silo in možnost prenosa obdelovancev, ki imajo različne oblike površine. Njegova izjemna zasnova preprečuje deformacijo obdelovanca, saj se magnetna sila nastavlja z debelino naslonskega obroča. Izjemnost prijema je držanje obdelovanca v primeru izklopa ali izgube dovoda zraka. Programski vmesnik – dodatek URCap – pa zagotavlja vizualizacijo in enostavnost integracije in programiranja v vašem sistemu.

Enostavno programiranje in hitra namestitvev omogočata kratke čase namestitve in hiter zagon procesa. Po standardu: ISO9409-1-50-4-M6 (slika 1).

### 2 Dvoprstno prijemalo serije JMZH2-X7400B

Dvoprstno prijemalo serije JMZH2-X7400B zagotavlja kompaktnost, majhnost in lahko izvedbo z visoko silo oprijema (43,5 N) z uporabo integriranega miniaturnega ventila in mehanizma za nastavitev hitrosti zapiranja in odpiranja prijema ter nadzora položaja odprtosti prijema. Programski vmesnik – dodatek URCap – pa zagotavlja vizualizacijo in



**Slika 2 :** UR + certificiran komplet dvoprstnega prijemala serije JMHZ2-X7400B

enostavnost integracije in programiranja v vašem sistemu.

Enostavno programiranje in hitra namestitvev omogočata kratke čase namestitve in hiter zagon procesa.

Po standardu: ISO9409-1-50-4-M6 (slika 2).

### 3 Vakuumsko prijemalo serije ZXP-X1

V kompaktnem ohišju sta vakuumski generator in kombinacija dveh ventilov, ki omogočata generiranje vakuuma ter izpih obdelovanca ob odlaganju za hitrejši in dinamičen proces prenosa obdelovancev. Nadzor podtlaka se izvaja s podtlacnim senzorjem, ki zagotavlja povratno informacijo o prijemu obdelovanca. Sistem omogoča montažo od 1 do 5 vakuumskih priseskov za prenos obdelovancev. Z uporabo varčevalnega vakuumskega ventila ZP2V-B6-05 dosežemo prenos izdelkov tudi, ko niso v uporabi vsi seski. Programski vmesnik - dodatek URcap - pa zagotavlja vizualizacijo in enostavnost integracije in programiranja v vašem sistemu.

Enostavno programiranje in hitra namestitvev omogočata kratke čase namestitve in hiter zagon procesa.

Po standardu: ISO9409-1-50-4-M6 (slika 3).



Razumevanje izzivov naših strank in raznolikosti izdelkov, ki jih uporabljajo, spodbujata naše prizadevanje za nenehen razvoj novosti, za katere so značilne majhna teža, kompaktnost in energijska varčnost. Za vse to skrbi naša globalna infrastruktura, s katero smo prisotni v 83 državah in z 2.000 inženirji zagotavljamo in nudimo strokovno tehnično pomoč. Mednarodna pokritost vzbuja pri naših kupcih veliko zadovoljstvo in zaupanje, saj je tehnična pomoč zagotovljena po vsem svetu.

Več s področja robotike in izdelkov najdete na naši spletni strani: <https://www.smc.eu/sl-si/resitve/products-for-robotics>.

#### Vir:

SMC Industrijska Avtomatika, d. o. o., Mirnska cesta 7, 8210 Trebnje, tel.: +386 7 3885 421, M.: +386 40 477 800, faks: +386 7 3885 435, e-pošta: a.dajcman@smc.si, internet: www.smc.si, www.smc.eu, g. Aleš Dajčman



Varčevalni vakuumski ventil  
ZP2V (dodatna oprema ZP2V-B6-05)

**Slika 3 :** UR + certificiran komplet vakuumskega prijemala serije ZXP-X1

## PR200 MINI-PLC: MAJHNA REŠITEV, VELIKI REZULTATI

Majhen programirljiv krmilnik PR200 podjetja akYtec nudi fleksibilnost velikih krmilnih sistemov v kompaktnější obliki. Rele je na voljo v številnih različicah in je primeren za različne industrijske aplikacije.



*Majhen krmilnik PR200 podjetja akYtec popolnoma ustreza regulacijskim zahtevam od avtomatizacije doma do industrijskih aplikacij*

Z majhnim krmilnikom PR200 podjetje akYtec zagotavlja rešitev za majhne in velike nadzorne naloge. PR200 nadzoruje svoje rezultate glede na stanje vhoda, ki temeljijo na senzorskih podatkih in glede na program. Krmilnik PR200 prepriča s svojo kompaktnostjo in modularnostjo. Predstavlja se kot večnamenska alternativa za drag nadzorni sistem, ki lahko prevzame popoln nadzor stroja. V ta namen je PR200 mogoče razširiti z dodatnimi moduli za vhode in izhode, če je to potrebno.

### Dobra rešitev za vsako nalogo

S krmilnikom PR200 podjetje akYtec iz Hannovra zagotavlja dobro rešitev za mala in velika nadzorna opravila. Krmilnik je opremljen s priročno delovno enoto, sestavljeno iz LCD-zaslona, šestih funkcijskih tipk in, če je potrebno, dveh RS485-vmesnikov za povezavo do Modbus omrežja. Ta PLC se lahko uporablja na primer pri avtomatizaciji zgradb za nadzor razsvetljave in v tehničnih sistemih, kot so črpalke, stiskalnice ali transportni trakovi.

Rele je na voljo v različnih različicah za DC- in AC-napetost, samo z digitalnimi ali s kombinacijo digitalnih in analognih vhodov in izhodov. PR200 ima delovno temperaturno območje od  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $+55\text{ }^{\circ}\text{C}$ , primerno je za vgradnjo na DIN-tračnice in je zaščiteno pred vibracijami. Programiranje krmilnika se izvaja v jeziku funkcijskih blokov s programsko opremo akYtec Alp, ki je na voljo brezplačno. Ta kompaktni regulator se lahko razširi z dodatnimi vhodnimi in izhodnimi moduli, kot so moduli Mx110 ali PRM, ki delujejo kot glavni ali podrejeni v omrežju Modbus.

### Vir:

akYtec GmbH, Vahrenwalder Str. 269 A, 30179 Hannover, internet: [www.akytec.de/en](http://www.akytec.de/en), tel.: +49 (0) 511 / 16 59 672-1; Materm, d. o. o., Fram, Dobrava 4, 2323 Fram, T: +386 260 890 10, E: [info@materm.si](mailto:info@materm.si) <https://materm.si/content/krmilni-rele-serija-pr200-8-x-digitalni-vhod-6-x-relejski-izhod-ura>

# ECOWAVE



## 6.-8.10.2020

Ljubljana, Slovenija

[ecowave@icm.si](mailto:ecowave@icm.si)

## MOŽNOST PREVERJANJA IN MERJENJA PRETOKA Z NOVIM **HVF-E** VIZUALNIM INDIKATORJEM PRETOKA

Novi vizualni indikator in merilnik pretoka HVF-E z vgrajenim senzorjem pretoka je uporaben pri aplikacijah, ki potrebujejo nadzor oz. merljivost pretočnosti, kot so namljalni sistemi, ogrevalni ali hladilni sistemi, stroji za mešanje vode in detergentov ali pri aplikacijah samodejnega polnjenja rezervoarjev s tekočino.



*HVF-E vizualni indikatorji pretoka s senzorji pretoka*

HVF-E - tehnične lastnosti:

- ▶ priključki, ohišje in držalo senzorja so iz tehnopolimera,
- ▶ os in rotorski propeler sta iz polipropilena,
- ▶ prozorno cevasto okno je primerno tudi za uporabo z raztopinami na osnovi glikola,
- ▶ senzor ima zaščito po IP67 standardu,
- ▶ medeninasti priključki s cilindričnimi plinskimi navoji,
- ▶ sponke so iz nerjavečega jekla AISI 304.

Vizualne indikatorje s senzorjem pretoka je mogoče namestiti v kateri koli položaj. Operater lahko na račun pregledovalnega okna iz borosilikatnega stekla kadarkoli vizualno preverja pretok tekočine.

Vrtenje propelerja je mogoče že pri najmanjšem pretoku, ki je odvisen od vrste tekočine in njene viskoznosti.

Induktivni senzor, ki je popolno-

ma ločen od območja prehajanja tekočine in je v primeru poškodbe zamenljiv, zaznava vrtenje dveh kovinskih sponk iz nerjavečega jekla, nameščenih na rotorju, kar daje signal PLC-ju preko PNP-signala. Natančnost in ponovljivost merjenja je  $\pm 3\%$ .

Merilnik HVF-E se lahko uporablja kot del varnostnega sistema za preverjanje, ali vodovodni ali tekočinski cevovod deluje pravilno. V primeru okvare lahko PLC identificira značilen signal od HVF-E in ustavi strojni sistem oz. delovanje stroja, s čimer se izognemo okvaram (na primer hladilni sistem, stroj za obdelavo kovin, ...).

Na tem linku si lahko ogledate video, ki prikazuje funkcije in delovanje merilnika HVF-E:  
<https://www.youtube.com/watch?v=0dDWqHS2Kco>

Tehnični podatki so skupaj z risbami in tabelami z dimenzijami na voljo na spletni strani podjetja: [www.elesa-ganter.at](http://www.elesa-ganter.at)

### 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: [aho@elesa-ganter.a](mailto:aho@elesa-ganter.a), internet: [www.elesa-ganter.at](http://www.elesa-ganter.at)

## DODATKI ZA HIDRAVLIČNE SISTEME, SKLADNI Z EVROPSKO DIREKTIVO **ATEX**

Skupina izdelkov ELESA + GANTER ATEX vključuje čepe, odzračevalne pokrovčke in nivojska okna za merjenje nivoja olja, ki ustrezajo zdravstvenim in varnostnim zahtevam v skladu z novo evropsko direktivo 2014/34/UE ATEX (za eksplozivne atmosfere) za opremo iz skupine II, kategorija 2GD.



Izdelki ATEX

Ti izdelki so zasnovani za uporabo v potencialno eksplozivnih atmosferah v pnevmatski, hidravlični, električni in strojni industriji.

Potencialno eksplozivna atmosfera se pojavi, kadar se mešanica zračnih plinov, hlapov, meglic ali prahu pomeša v zmes, ki se lahko vname pri določenih pogojih.

Skupina izdelkov ATEX je bila pred kratkim razširje-

na s popolnoma novim nivojskim oknom HFTX-EX iz prozornega tehropolimera z dodanim zaslonkim reflektorjem iz eloksiranega aluminija v obliki zvezde. Odlikuje ga povečevalna leča s posebno obliko za optimalno vidljivost tudi s stranskih kotov.

Lasersko vgravirana oznaka na izdelkih in izjava o skladnosti potrujeta, da so proizvodi iz te skupine v celoti izdelani v skladu z zahtevami in določbami direktive Evropske unije.

Odzračevalni pokrovčki SFP-EX, nivojska okna za merjenje nivoja olja HGFT-EX in čepe TN-EX so na voljo v rumeni barvi RAL 1021. Barva ne predstavlja zahteve nove direktive, ampak spominja na logotip ATEX.

Tehnični podatki o izdelkih skupaj z risbami in tabelami z dimenzijami so na voljo na spletni strani podjetja preko povezave [www.elesa-ganter.at](http://www.elesa-ganter.at)

### 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: [aho@elesa-ganter.a](mailto:aho@elesa-ganter.a), internet: [www.elesa-ganter.at](http://www.elesa-ganter.at)

# VZMETI d.o.o.

www.vzmetibabosek.si

Tel.: 02/741-66-20

vzmet@siol.net







Tlačne vzmeti od 0,1 - 15 mm premera žice

Natezne vzmeti 0,2 - 15 mm

Torzijske vzmeti 0,4 - 6mm

Izdelki iz žice 2D in 3D 0,2-6mm

## PNEVMATSKI OHLAJEVALNIKI VR/VRX

Pnevmatski ohlajevalniki serije VR/VRX, ki delujejo na principu Vortex Tube, so naj-sodobnejše rešitve za hlajenje s stisnjnim zrakom. Odlične zmogljivosti pretoka in ustvarjene vrednosti  $\Delta T$ , zasnova, pritrilni elementi, ki omogočajo izjemno vsestransko namestitvev in možnost, da jih v patentiranem sistemu kombinirajo z ojačevalniki pretoka zraka AM (z uporabo pretoka vročega zraka) kupcem ponujajo inovativne, učinkovite in cenovno ugodne rešitve za hlajenje kovinskih in plastičnih delov, električnih in elektronskih krmilnih omar ter mehanskih aplikacij. Vse to s preprosto povezavo s stisnjnim zrakom.



Slika 1 : Pnevmatski ohlajevalniki VR/VRX

### Karakteristike:

- ▶  $\Delta T$  v primerjavi s temperaturo dovodnega zraka do  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  za hladni zrak in  $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$  za vroči zrak,
- ▶ enostaven za vgradnjo s prirobnicami ali magnetom,
- ▶ patentirani sistem za odvajanje vročega zraka v kombinaciji z ojačevalniki serije AM,
- ▶ izdelan iz korozijsko odpornega materiala,
- ▶ brez gibljivih delov in zato ni nobene obrabe,
- ▶ električni ali kemični izdelki za ohlajevanje niso več potrebni,
- ▶ brez iskrenja ali drugih motenj,
- ▶ takojšnje delovanje,
- ▶ zanesljivo in brez vzdrževanja.

Pnevmatske ohlajevalnike proizvajalca AIREKA vključuje v svoj prodajni program podjetje INOTEH. Pri podjetju INOTEH kupci dobijo tudi informacije o drugih proizvodih proizvajalca AIREKA.

### Vir:

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



### 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.

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

## KOMPAKтна REŠITEV ZA TISK IN VERIFIKACIJO ČRTNIH IN 2D KOD



Berljivost črtne in 2D kode je ključna za podjetja, ki dobavljajo organizacijam z robotiziranim sprejemom blaga (avtomobilska industrija, farmacija ...). Črtne kode morajo biti ne samo berljive, ampak tudi preverjene (verificirane) po ISO/IEC 15416 (oziroma 2D kode po ISO/IEC 15415). Običajno to opravimo z namenskimi verifikatorji enkrat na določeno obdo-

bje. Če verifikatorja v podjetju ni, lahko preverjanje naročimo pri organizaciji GS1. Zavračanje blaga na robotiziranem skladišču zaradi neprebrane kode je zamudno in precej drago, vodi lahko tudi v odpoved sodelovanja. Zato je bilo le vprašanje časa, kdaj se bo pojavil tiskalnik, ki ima vgrajen verifikator po prej omenjenih standardih. To je uspelo podjetju Honeywell z modelom PX940.

Tiskalnik je mogoče enostavno nastaviti za primere odzivanja, ko je koda slaba, meni je intuitiven. Poleg tega shranjuje rezultate črtnih kod, ki si jih lahko ogledamo v spisku po končanem tiskanju. Verifikator je sposoben preveriti do 32 kod na eni nalepki.

Če je nalepka slaba, jo tiskalnik še enkrat potiska pri kalibraciji, tako da po nepotrebnem ne porabljam praznih nalepk.

### Vir:

LEOSS, d. o. o., Dunajska cesta 106, 1000 Ljubljana, T: +386 (0) 1 530 90 37, F: +386 (0) 1 530 90 40, GSM: +386 (0) 40 480 006 E: gasper@leoss.si, internet: www.leoss.si, www.leossb2b.eu

**LA&CO**

Sinergija premikanja. Hidravlika. Pnevmatika. Linearna tehnika.



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

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



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



## SENZORJI PRETOKA EMERSON AVENTICSTM SERIJA AF2

Senzor AF2 je lahko samostojna enota s filtrom ali pa jo na spletni strani AVENTICS prosto konfiguriramo v enoto za pripravo zraka. Meri pretok, porabo zraka v sistemu, trenutni tlak, temperaturo in hitrost medija, signal pa se pošlje, kadar je presežena prednastavljena vrednost. V primeru puščanja lahko hitro odreagiramo!

Podatki se prenašajo preko stikala, analognih signalov (4 do 20 mA) ali IO-Link, Ethernet povezave.

Velik nastavljen barvni zaslon OLED ločljivosti 128 x 128 pikslov jasno prikazuje izmerjene vrednosti, grafe z zgodovino (60 min, 24 h, 7 dni) kot tudi statistične podatke. Možna je rotacija zaslona v korakih po 90°.

Merilno območje pretoka:

5 l/min - 1,060 l/min (standarden)/ 1,590 l/min (razširjen),  
8 l/min - 1,630 l/min (standarden)/ 2,445 l/min (razširjen),  
22 l/min - 4,326 l/min (standarden)/ 6,490 l/min (razširjen).

- ✓ Industrija 4.0
- ✓ Primeren za standardne aplikacije
- ✓ Samostojno ali v enoti za pripravo zraka
- ✓ Enostavna uporaba
- ✓ Majhna velikost



Dovoljeni mediji uporabe so: komprimirani zrak, argon, dušik, helij in ogljikov dioksid.

### Vir:

La & Co. inženiring, proizvodnja, trgovina, d. o. o., Limbuška cesta 2, 2341 Limbuš, tel.: (02) 429 26 60, e-mail info@la-co.si, <https://www.aventics.com/de/en/eur/pneumatics-shop/>, Mitja Kozel

## PULZNI VENTILI EMERSON ASCOTM SERIJA 353



Nova konstrukcija pulznih ventilov serije 353 omogoča hitrejše in učinkovitejše čiščenje vrečastih, žepastih in patronskih filtrov pri odpraševalnih sistemih in filtrskih napravah.

Posebna oblika membrane in konstrukcija brez vzmeti omogoča večji pretok zraka ob hitrejšem odpiranju ventila.

Na voljo so z dimenzijami priključkov G3/4 in G1, z notranjim navojem ali s patentirano objemko, ki omogoča enostavno vgradnjo ventilov.

Visoko kvaliteten material membran omogoča delovanje ventilov v širokem temperaturnem območju od -40 °C do +140 °C.

Glede na zahteve krmiljenja se lahko izbira med elektromagnetno krmiljenimi ali pnevmatično krmiljenimi ventili.

### Vir:

Novak Sistemi, d. o. o., Lebanova 37, 8000 Novo mesto, tel.: 041 710 279, aj-novaksis@iol.net, <https://www.emerson.com/en-gb/catalog/asco-353-en-gb>, Uroš Novak

## RAZSMERNIKI ZA MOBILNE APLIKACIJE **PARKER GVI**

Podjetje Parker kot eno izmed zadnjih novosti predstavlja serijo pretvornikov GVI za mobilne aplikacije. Razsmerniki GVI so namenjeni predvsem za električno krmiljenje, protizdrsne sisteme ter pomožne aplikacije pri električnih in hibridnih vozilih.



*Nizkonapetostni pretvornik GVI*



*Visokonapetostni pretvornik GVI*



*Elektromotor GVM*

Serija GVI je na voljo z zmogljivostjo med 10 in 300 KVA ter nazivno napetostjo od 24 do 650 V DC.

Pretvorniki GVI skupaj z že uveljavljeno serijo elektromotorjev GVM s trajnim magnetom zagotavljajo visok izkoristek in tvorijo učinkovito celovito rešitev za različne mobilne aplikacije.

**Vir:**

Parker Hannifin Sales CEE s. r. o., Češka republika – Podružnica Novo mesto, tel.: 07 337 66 50, faks: 07 337 66 51, e-mail: [parker.slovenia@parker.com](mailto:parker.slovenia@parker.com), spletna stran: [www.parker.com](http://www.parker.com), Miha Šteger

# Zanesljiv partner vaše proizvodnje



Olma d.o.o., Poljska pot 2, 1000 Ljubljana, tel.:(01) 58 73 600, email: [komerciala@olma.si](mailto:komerciala@olma.si), <http://www.olma.si>

# MEHATRONIKA

Prvi priročnik za mehatroniko  
v slovenskem jeziku



POKLIČITE  
(01) 475 95 35  
OBIŠČITE  
[www.pasadena.si](http://www.pasadena.si)


#### Mehatronika

- Prevod izvirnika: Fachkunde Mechatronik
- Vezava: trda
- Strani: 624
- Mere: 170 x 240 mm
- ISBN: 9789616361873

**Cena: 40,00 EUR**

#### Založba Pasadena d.o.o.

Tehnološki park 20, 1000 Ljubljana  
Telefon: (01) 475 95 35  
e-pošta: [knjige@pasadena.si](mailto:knjige@pasadena.si)  
[www.pasadena.si](http://www.pasadena.si)

 Družite se z nami na družabnih omrežjih!

 **pasadena.si**

# BREZKONTAKTNA TIPALA FBS V STROJNI IN LESNI INDUSTRIJI

Podjetje FBS elektronik, d. o. o., iz Velenja je največji proizvajalec industrijskih induktivnih, kapacitivnih in magnetnih tipal v Sloveniji že 30 let. Na posebne zahteve naročnikov v podjetju razvijejo in izdelajo tipala, stikala ter elektronska vezja. Svoj proizvodni program dopolnjujejo s številnimi izdelki tujih proizvajalcev, ki jih zastopajo. S široko paleto senzorjev in drugih izdelkov so pomemben dobavitelj podjetjem, ki izdelujejo različne stroje. Pokrivajo pa tudi številne zahteve pri vzdrževanju. Njihovi izdelki za avtomatizacijo proizvodnih sistemov so zanesljivi in inovativni.



**Slika 1 :** Zaznanje različnih barv lesa s kapacitivnimi stikali

V svojem proizvodnem in prodajnem programu imajo različna kapacitivna, optična, ultrazvočna, magnetna in induktivna tipala. Uporabna so tako pri zaznavanju lesnih izdelkov, pri stregi in transportu materiala, za zaznavanje gibov delov strojev (mejna stikala), za kontrolo in drugo.

V lesni industriji se uporabljajo različna kapacitivna tipala podjetja FBS (*slika 2*):

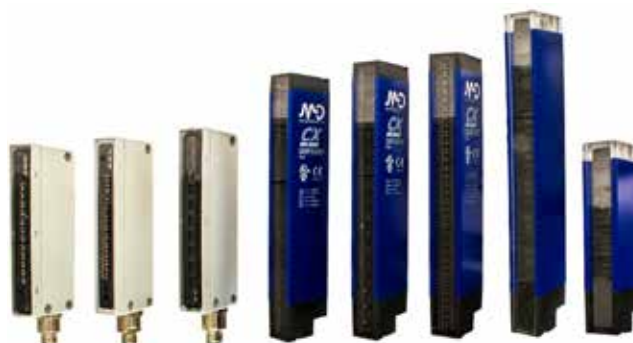
- ▶ za zaznavanje lesnih izdelkov so primerna kapacitivna stikala DCC (enosmerno napajanje) ali ACC (izmenično napajanje) v velikostih M18-M30 oz. premera 80 mm;
- ▶ za doziranje lesne biomase so primerna stikala izvedbe ACC z zakasnitvami vklopa/izklopa do npr. 30 sekund;
- ▶ razdalja zaznavanja kapacitivnih stikal je do 50 mm, zato so za večje razdalje uporabna optična stikala serije FA oz. s funkcijo prekinitve žarka (zrcalne ali svetlobne zapore);
- ▶ za večjo širino zaznavanja lesa so primerni senzorji serij BX10 in BX80 (*slika 3*);

- ▶ za izdelke debeline 2-90 mm ne glede na predhodno obdelavo lesa (naraven, surov les ali barvan lesen izdelek) so primerni senzorji serije BX, ki so dobavljivi tudi za eksplozivno nevarna okolja z Atex certifikatom kategorije 2 in 3 za uporabo v aplikacijah barvanja in lakiranja izdelkov.



**Slika 2 :** Kapacitivna tipala FBS in optična tipala

Za zaznavanje pri stregi in transportu materiala je mogoče uporabiti kapacitivna in optična tipala z navojem M12, M18 ali pa v kvader ohišju (*slika 3*). Široka paleta tipal omogoča zaznavanje za skoraj vse zahteve, tako za zaznavanje izdelkov majhnih



**Slika 3 :** Optične svetlobne zavese BX za tipanje materiala



Slika 4 : Viličasti senzor

dimenzij, velikih razdalj, za zaznavanje izdelkov, kjer je prostor omejen, kakor tudi pri nizkih in visokih temperaturah.

Kot mejna stikala in za kontrolo delovanja strojev so uporabna številna tipala, npr. za kontrolo položaja brusnega papirja na brusilnih strojih so primerni posebej oblikovani viličasti senzorji serije FC4 (slika 4). Za večje razdalje je primeren senzor TOF-SPOT z analognim ali digitalnim izhodom, ki ju je mogoče priključiti na krmilnik.

Induktivna tipala so primerna za natančne nastavitve in s tem za brezhibno delovanja stroja. So v cilindričnem gladkem ohišju 3–30 mm z navojem od M4 x 0,5 do M47 x 1,5 in kvader 8 x 8 x 20 mm serija DSQ pa do 40 x 25 x 78 mm (DCA 78).

Tipi DCA so z enosmernim napajanjem in AC z izmeničnim napajanjem. Pri strojih, kjer so večja mehanska nihanja in vibracije, je primernejša uporaba serije DCE (s povečanim dosegom). Seriji DCC in ACC zahtevata natančne nastavitve (preklopna razdalja je odvisna od materiala zaznavanja).



Slika 5 : Ultrazvočna in induktivna tipala

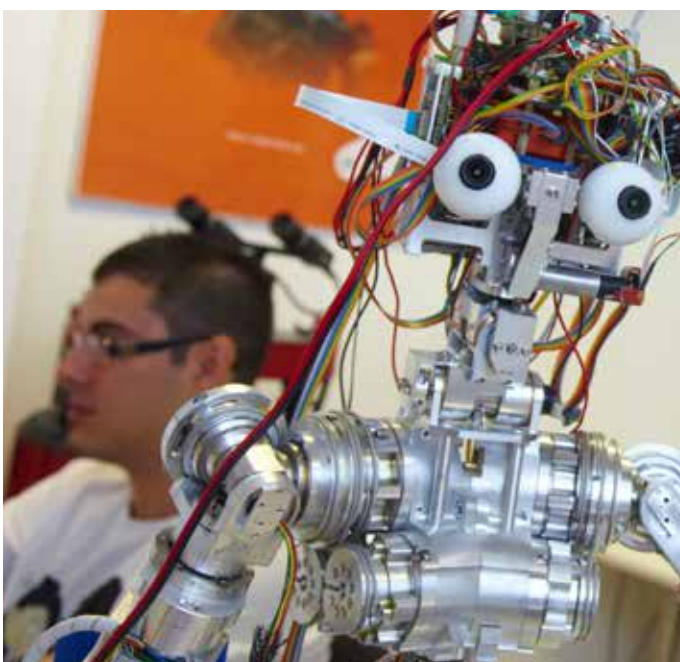
Tam, kjer gibov in razdalj ni mogoče točno nastaviti, se uporabljajo ultrazvočna stikala serij UK in UT, ki zaznavajo les ne glede na barvo in velikost. Tupalna razdalja serije UK1 je 0,04–2,2 m in serije UT 0,6–8 m.

Kadar pride do motenj zaradi svetlečih objektov (folija za zavijanje) ali pa zaradi prahu v okolici, je primerna uporaba ultrazvočnih senzorjev. Serija UK6 v ohišju M18 je cenovno ugodna in je enostavna za montažo. Tipala je mogoče uporabiti na tekočih trakovih za zaznavanje lesenih plošč («desk»).

Prodajni program podjetja FBS elektronik, d. o. o., obsega široko paleto stikal in zaznaval. S svojimi izkušnjami skupaj z naročniki vedno poiščejo optimalne rešitve za njihove potrebe oziroma projekte. Z dobro utečenimi nabavnimi kanali na področju Evrope pa zagotavljajo kratke dobavne roke lastnih izdelkov kakor tudi izdelkov njihovih partnerskih podjetij.

**Vir:**

FBS Elektronik, d.o.o. Prešernova cesta 8, 3320 Velenje, tel.: +386 3 8983 702, mob: +386 64 157 204, fax.: +386 3 8983 718, e-mail: peter.meh@fbselektronik.com, internet: <http://www.fbselektronik.com/>




**BREZPLAČEN DOSTOP DO  
15 NAJBOLJŠIH LABORATORIJEV  
& VEČ KOT 100+ NAJNOVEJŠIH  
ROBOTSКИH PLATFORM**

Prijave zbiramo do 30. SEPTEMBRA 2020  
na [www.terrinet.eu](http://www.terrinet.eu).

# DALJINSKO OGREVANJE Z LESNO BIOMASO

Daljinski sistemi ogrevanja na lesno biomaso so primerni za nadomeščanje klasičnih sistemov, saj je lesna biomasa sorazmerno poceni in razpoložljiv energent, sistemi nje-nega izkoriščanja pa učinkoviti (slika 1). Pri tem je treba posvetiti pozornost tako načrtovanju in razvoju ter izbiri komponent sistema toplotnega ogrevanja kakor tudi stalni optimizaciji in nadzoru stroškov delovanja ogrevalnega sistema.



*Slika 1: Lesna biomasa za daljinsko ogrevanje*

## Projektiranje sistema daljinskega ogrevanja

Da bi bili stroški ogrevanja stroškovno ustrezni in sistem ogrevanja zanesljiv, je treba poleg študija izvedljivosti že v fazi investicije posvetiti pozornost pravih rešitvam ter v nadaljevanju v obdobju uporabe optimizaciji delovanja sistema kakor tudi nadzoru stroškov.

Potrebno je:

- ▶ pravilno zasnovati in dimenzionirati vse komponente biomasnega daljinskega sistema (vir energije, hranilnik, toplovod), tako da lahko skupaj delujejo s čim večjim izkoristkom, hkrati pa se minimizirajo stroški nabave in vgradnje;
- ▶ optimizirati delovanje sistema, kar vključuje pravilno delovanje vira toplote (optimalen izkoristek), hranilnika toplote (prevzemanje bremena konic), vodenje mreže daljinskega ogrevanja in odjemalcev toplotnih postaj;
- ▶ nadzorovati stroške in optimizacijo («fine tuning») sistema, kadar je treba ogrevanje optimalno prilagoditi potrebam odjemalcev in znižati obratovalne stroške.

Podjetje GIA-S skupaj s partnerjem Samson AG že vrsto let razvija sisteme daljinskega ogrevanja na biomaso. Izkušnje, ki so si jih pri tem pridobili, jim omogočajo, da za različne investitorje pripravijo optimalne celostne rešitve od zasnove, izvedbe in optimizacije, upoštevajoč njihove želje in finančne omejitve.

Pri svojem delu se osredotočajo na:

- ▶ izdelavo tehnične rešitve za vse vrste biomasnih sistemov (integracija kogeneracije, obnovljivih virov energije ...);
- ▶ izdelavo nadzornih sistemov za vodenje kotlovnice in toplotnih postaj za mikrosisteme (do pet toplotnih postaj), srednje velike sisteme (do 30 toplotnih postaj) in velike sisteme (do tri ali več tisoč toplotnih postaj);
- ▶ dobavo in postavitev samostojnega obračunskega programa porabljene energije ali sinhronizacijo podatkov o prodani energiji, porabi s sistemom investitorja;
- ▶ dobavo in montažo kompaktnih toplotnih postaj GIAFLEX, multifunkcijskih naprav AIR-SEP in regulacijskih elementov Samson.

## Toplotne postaje

V podjetju so razvili novo serijo toplotnih postaj GIAFLEX, ki vključuje tipske stenske in samostojne rešitve v popolnoma izolirani izvedbi, primerne tako za klasično kot tudi biomasno daljinsko ogrevanje (slika 2). Postaje so izdelane kot zaključene celote s strojno in električno povezanimi elementi in pripadajočo elektroarmaturo. Stenske postaje imajo dve različici: GIAFLEX S in L. Primerne so za toplotne moči od 10 do 120 kW. Izvedbe na samostojnem ohišju GIAFLEX FRAME so za moči do 10 tisoč kW in se lahko povsem prilagodijo zahtevam kupca.

Modularna zgradba toplotnih postaj omogoča fleksibilnost, snemljiva izolacija pa zmanjšuje toplotne izgube ter poenostavlja dostop in servisiranje.



Slika 2 : Toplotna postaja GIAFLEX

## Regulatorji

Postajo krmilijo komunikacijsko sposobni regulatorji Samson Trovis, ki se lahko povežejo s števcem toplote in omogočajo omejevanje toplotne moči na posamezni toplotni postaji. To za dobavitelja toplote pomeni prilagodljivost, saj lahko z enostavnim posegom ustrezno zmanjša nominalno moč toplotne postaje (zakupljeno moč). Regulatorji toplotnih postaj pri odjemalcih so povezani v nadzorni sistem, ki optimizira in omogoča oddaljeno spreminjanje nastavljenih parametrov.

## Zbiranje podatkov in nadzor

Vzporedno z nadzorom toplotnih postaj sta omogočena tudi dostop do podatkov iz kotlovnice in daljinskega omrežja ter njihovo vzorčenje. Podatki o porabljeni energiji pri porabnikih se odčitavajo konstantno in so v vsakem trenutku na razpolago za dnevni, mesečni ali letni obračun. Poraba odje-

malcev in številna stanja so vedno dosegljivi obračunskemu računovodskemu programu upravljalca sistema v podatkovni bazi SQL, za manjše sisteme pa prodajalec energije lahko prejme obračune v preprosti excel preglednici.

Varen do stop do nadzornega sistema je mogoč tudi oddaljeno, preko spletnega brskalnika s pametne tablice, telefona ali osebnega računalnika. Skrajšano povedano: vse informacije so na voljo »varno« in »on-line«.

## Vzdrževanje tlaka v sistemu

Nadaljnje prihranke omogoča naprava AIR-SEP, ki skrbi za vzdrževanje tlaka in pravilno pripravo vode v toplovodnem sistemu. Naprava je zaradi svoje konstrukcije posebej primerna za vgradnjo v toplovodne sisteme, kjer lahko temperature narastejo na 100 °C. S svojim delovanjem vzdržuje optimalen izkoristek prenosa toplote, kar je ključno za skupen izkoristek celotnega sistema.

Podatki o porabljeni energiji so v vsakem trenutku na razpolago za obračun.

## Nadzor po vgraditvi sistema

V GIA-S poudarjajo, da lahko le pravo znanje in pravilne rešitve prinesejo pozitivne učinke za investitorja. To pomeni, da je treba nadzor nad stroški izvajati tudi po vzpostavitvi sistema, ves čas skrbeti za optimizacijo in se prilagajati trenutnim zahtevam. Le tako se doseže najhitrejše povračilo naložbe in zagotovi dobičkonosno obratovanje skozi celotno življenjsko dobo takšnega sistema.

## Zaključek

Podjetje GIA-S je v Evropi vodilno v panogi in je v slovenskem prostoru realiziralo številne sisteme. Njihova regulacijska oprema je vgrajena v več tisoč toplotnih postaj. Več o njihovih dosežkih je mogoče najti na spletni strani: <https://www.giaflex.com>.

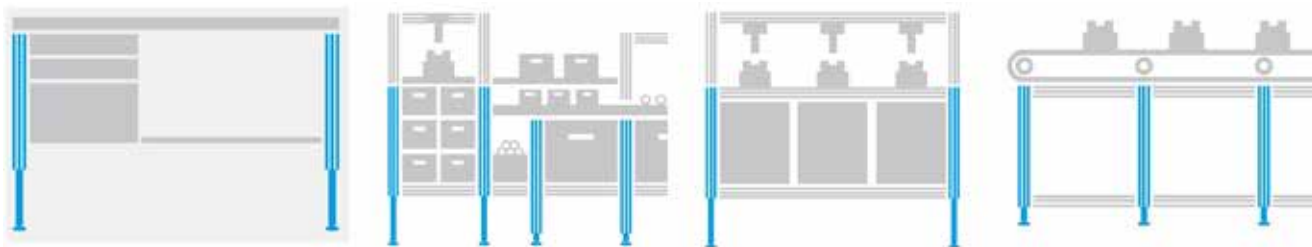
## Vir:

Samson AG; GiA-S Industrijska oprema, d. o. o., Industrijska 5(skladišče in uprava: Industrijska 1K), 1290 Grosuplje, Tel: +386 1 7865 300, Fax: +386 17863 568, e-mail: [info@gia.si](mailto:info@gia.si), internet: [www.samson-slo.com](http://www.samson-slo.com); [www.giaflex.com](http://www.giaflex.com), g. Dušan Lebar

# DVIŽNE NOGE ZA PRILAGODITEV VIŠINE DELOVNIH POVRŠIN UPORABNIKOM

Petra Goljat

V proizvodnji kakor tudi v drugih okoljih, kjer dela človek, je treba za ergonomsko ureditev delovnega mesta pogosto prilagajati višino delovne površine. V ta namen so razviti različni dvižni mehanizmi, ki jih je mogoče uporabiti pri prilagajanju delovnih miz in višine tekočih trakov, strojev in naprav (*slika 1*). Ergonomsko oblikovana delovna mesta preprečujejo nastanek poklicnih bolezni, katerih posledica so odsotnosti z dela. Hkrati pa prilagojena delovna mesta omogočajo povečanje produktivnosti.



**Slika 1:** Dvižni sistem podjetja Suspa ELS3 Heavy Duty za širok spekter uporabe

Podjetje Suspa je za ergonomsko oblikovanje delovnih mest razvilo električno nastavljive dvižne noge ELS Heavy Duty, ki so namenjene za dviganje in spuščanje težkih bremen (*slika 2*). Noge vključujejo mehansko zavoro, ki omogoča nadzorovano spuščanje in zadrževanje večjih obremenitev. Sistem ELS-Heavy-Duty lahko dviga in spušča breme-



**Slika 2:** Dvižni sistem za velike obremenitve je na voljo le v različici BTU (Big Tube Up)

**Petra Goljat**, univ. dipl. inž., HENNLICH, d. o. o., Kranj

na z maso do 800 kg in zagotavlja zvezno prilagajanje višine. Odlikuje ga hitro, tiho in enostavno nastavljanje višine v razponu 500 mm. Deluje s preverjenim krmilnim sistemom SMS SCT4 in ročnim stikalom. Hitrost dviganja in spuščanja je 20 mm/s.

Srebrnosivo lakirane jeklene dvižne noge ELS3 Heavy Duty so zasnovane tako, da se večji zunanji profil dviga navzgor (BTU - Big Tube up), drsi po ožjem notranjem profilu in ga v spuščnem stanju prekri-va. V industrijskih okoljih, polnih prahu in ostalih drobnih delcev, je to najboljša rešitev, saj se med dvema profiloma nabira manj umazanije in prahu.

Za dvigovanje delovnih površin se lahko glede na maso uporabi različno število dvižnih nog (2, 3 ali 4 noge). V tem primeru je nosilnost do 400 kg. Za večje obremenitve se lahko poveže tudi več nog, največja nosilnost je 800 kg.

Dvižne noge ELS Heavy Duty se na nosilni okvir plošče pritrdijo z dvanajstimi navojnimi vijaki M6. Predhodno izvrtane luknje v dvižnih stebrih so v pomoč tudi za pritrditev na po meri izdelan okvir. Okvir mize je na voljo v dimenzijah 1.600, 1.800 in 2.000 mm. Opremljene so lahko z različnimi ročnimi stikali, ki imajo tudi spominsko funkcijo in možnost shranitve štirih različnih višin (*slika 3*).





Slika 3 : Dodatna oprema

Konstrukcija ELS3 Heavy Duty je robustna in prostorsko varčna, hkrati pa izpolnjuje vse zahteve ergonomsko optimiziranega delovnega mesta, ki ga lahko več zaposlenih uporablja izmenično.

Vir: Suspa GmbH, <https://www.suspa.com/unternehmen>

## NOVA ČRPALKA SCHMITT SMP



črpanje tekočin iz posod pod nivojem črpalke

- z magnetno sklopko in brez mehanskih tesnil
- material ohišja, rotorja, glave črpalke: PP
- višina sesanja 7 m
- za strupene, okolju škodljive in jedke medije



HENNLICH



Pokličite nas:

**041 386 003**

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

HENNLICH d.o.o., Ul. Mirka Vadnova 13, 4000 Kranj



4. mednarodna konferenca o tribologiji polimerov, PolyTrib 2020, ki je bila načrtovana za 28. in 29. september 2020 na Bledu, je zaradi izbruha bolezni Covid-19 **prestavljena na kasnejši datum.**

Čeprav je bila konferenca načrtovana šele čez nekaj mesecev, menimo, da bo epidemija koronavirusa takrat še vedno močno vplivala na razmere po svetu. Posledično bi bila lahko potovanje in udeležba na konferenci otežena za mnoge tuje in domače obiskovalce.

Nov datum bo znan, ko se razmere umirijo. Zaenkrat ga še ni mogoče napovedati, ker so bili drugi večji dogodki in konference po svetu prav tako prestavljeni in ne želimo priti v navzkrižje z njihovimi novimi termini.

Vse informacije bodo objavljene na: [www.tint-polytrib.com](http://www.tint-polytrib.com), glede morebitnih vprašanj pa smo vam na voljo na [polytrib@tint.fs.uni-lj.si](mailto:polytrib@tint.fs.uni-lj.si).

Zahvaljujemo se za razumevanje in podporo.

Prof. dr. Mitjan Kalin  
v imenu organizacijskega odbora PolyTriba 2020

# POPOLNA REŠITEV S SENZORJI OMRON IO-LINK

Predstavljamo vam široko paleto visokozmogljivih senzorjev IO-Link, ki v kombinaciji z vsestransko »master« enoto IO-Link omogočajo še lažje doseganje povečanja produktivnosti in učinkovitosti pametnih tovarn.



Slika 1 : OMRON IO-link izdelki

V novo družino senzorjev IO-link spadajo:

- ▶ fotoelektrični senzorji: svetlobni, odsevni, difuzno odsevni,
- ▶ barvni fotoelektrični senzorji,
- ▶ senzorji pretoka,
- ▶ senzorji tlaka,
- ▶ varnostne zavese,
- ▶ bližinski senzorji s standardnim ohišjem
- ▶ in senzorji, odporni na brizganje.

Vsi modeli so na voljo s predhodno ožičenimi povezavami ali pa s standardnimi M8 in M12 vijačnimi ter s t. i. »Smartclick« priključki, ki ponujajo hitrejšo in priročnejšo namestitvev.

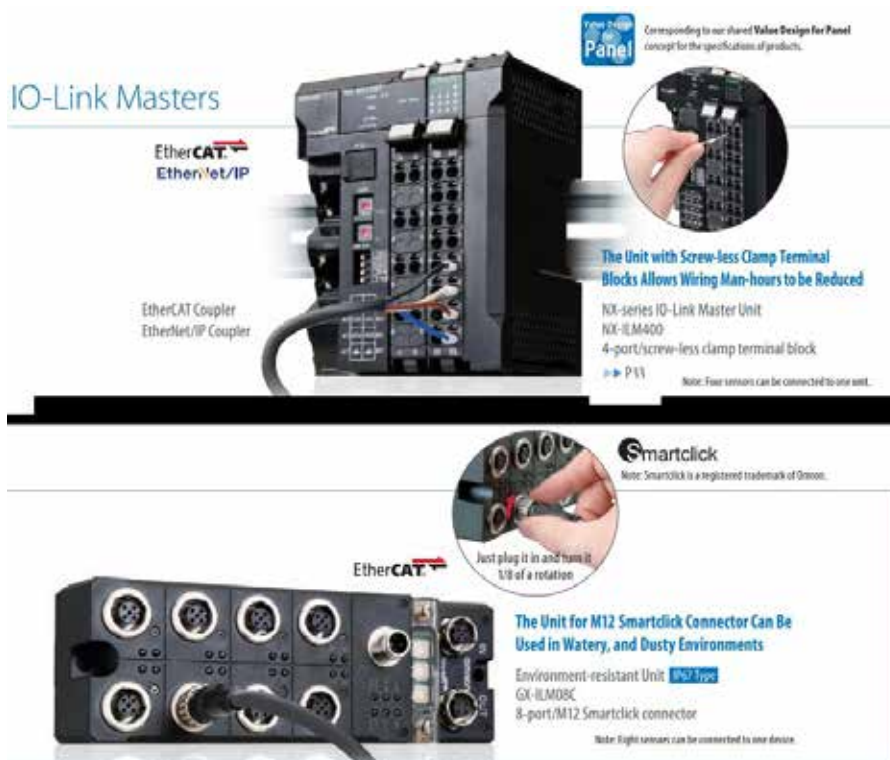
Številne inovativne funkcije, ki jih ponujajo novi senzorji, vključujejo sposobnost nenehne diagnostike

lastnega stanja (serijska številka, vrsta, pregrevanje naprave, umazana zaznavna površina), poročanja dogodkov na mreži in pošiljanje izhodnih podatkov senzorja.

IO-Link je odprt mednarodni standard, ki ga podpira več kot 100 podjetij, vključno z večjimi proizvajalci senzorjev. Omogoča dvosmerno komunikacijo, poleg tega pa podpira tipične signale senzorjev in aktuatorjev ter omogoča njihovo izmenjavo informacij o stanju in delovnih parametrih. To pomeni, da lahko senzor ustvari opozorilo, ko njegova zmogljivost začne upadati, s tem pa omogoča predhodno popravilo, preden pride do zaustavitve stroja. Možnost pošiljanja novih parametrov na senzorje je še posebej uporabna pri strojih, ki upravljajo z več vrstami izdelkov, saj v mnogih aplikacijah odpravlja potrebo po ročnem posredovanju.



Slika 2 : Signalizacija odklopljenega senzora št.12



Slika 3 : »master« enoti IO-Link

Senzorje dopolnjujeta t. i. »master« enoti IO-Link, ki omogočata priklop več senzorjev IO-link na eno napravo, na kateri lahko programer dostopa do vseh senzorjev hkrati.

Omronovi izdelki IO-Link so del celotne platforme za avtomatizacijo podjetja, ki vključuje tudi podporo za EtherCAT in EtherNet/IP. Izdelki IO-Link so za brezhibno integracijo vključeni v programsko okolje Omron's Sysmac Studio, ki ponuja celo-

vite zmogljivosti za konfiguriranje, programiranje, simuliranje in nadzor sistemov za avtomatizacijo.

**Vir:**

MIEL Elektronika, d. o. o., Efenkova cesta 61, 3320 Velenje, tel.: +386 3 777 70 00, fax: +386 3 777 70 01, internet: www.miel.si, e-pošta: info@miel.si, info@miel.si

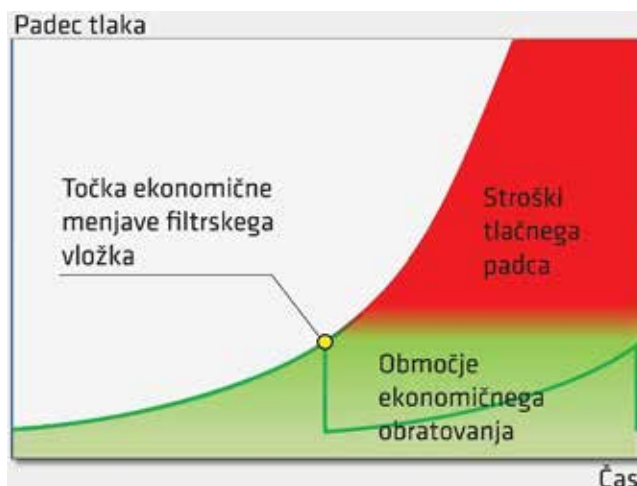
# ENERGETSKA ANALIZA IN KAKO IZBOLJŠATI SISTEM KOMPRESORSKIH POSTAJ – 2. DEL

Različni procesi zahtevajo različno kakovost zraka. Stroški priprave zraka višje kakovosti so višji, zato je pri načrtovanju razvoda stisnjenega zraka smotno združiti sisteme z enakimi ali podobnimi zahtevami.

Na osnovi več kot 30-letnih izkušenj so strokovnjaki OMEGA AIR oblikovali naslednje korektivne ukrepe za zanesljivo izboljšanje učinkovitosti prav vsakega sistema za stisnjeni zrak.

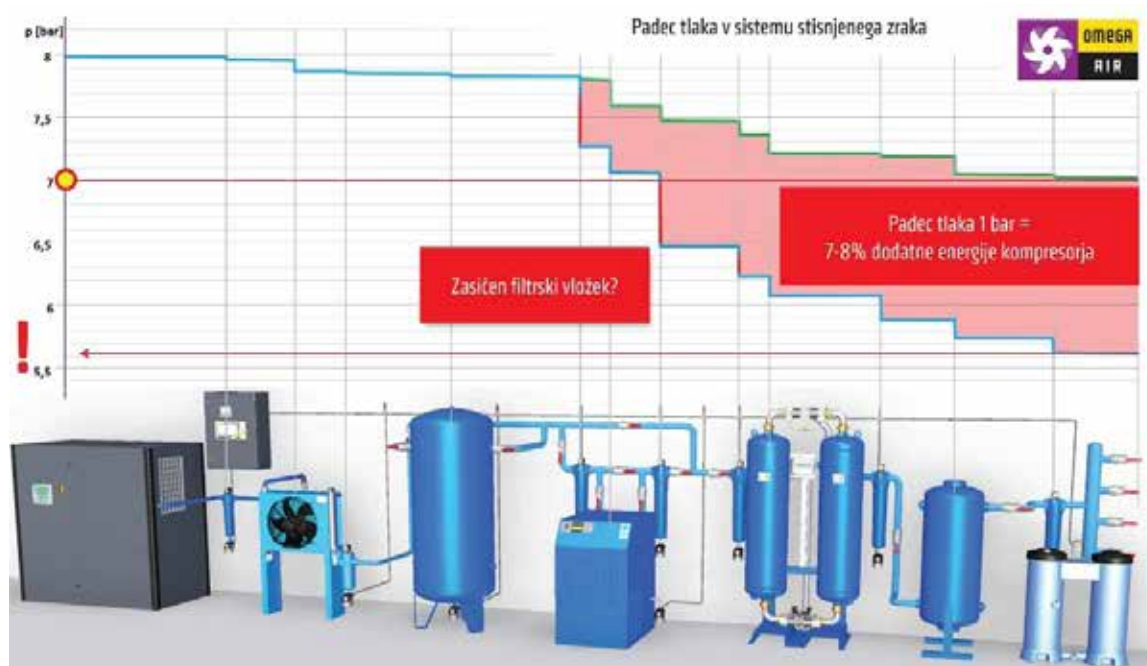
## 1 Redna menjava filterških vložkov v sistemih s stisnjenim zrakom

Nadzor padcev tlaka v razvodni mreži stisnjenega zraka je pomemben dejavnik na poti k energetski učinkovitosti sistema. Pravilo dobre prakse govori, da mora imeti ustrezno zasnovan sistem padeč tlaka manjši od 10 %. Razlika tlaka je merjena od tlačne posode do porabnika (stroja ali orodja). Problem padca tlaka se sčasoma še povečuje, kjer sta pretok in temperatura visoka. Ob visokih temperaturah v poletnih mesecih in ob povečani vlažnosti v sistem stisnjenega zraka prodre še več



Slika 1 : Naraščanje padcev tlaka in točka menjave filterškega vložka

vlage, ki dodatno vpliva na filtracijo. Zato je nujno potrebna izvedba nadzora zasičenosti filterških vložkov, saj je cenovno bolj učinkovita njihova menjava kot pa obratovanje s prevelikimi tlačnimi padci (slika 1).



Slika 2 : Izstopni tlak iz kompresorja mora pokrivati vse padce in izgube do porabnika

## 2 Znižanje maksimalnega obratovalnega tlaka sistema

Izstopni tlak iz kompresorja je eden od najpomembnejših faktorjev, ki vplivajo na učinkovitost kompresorja. Tlak sistema neposredno vpliva na porabo zraka in s tem na vloženo električno energijo kompresorja.

Stisnjeni zrak je običajno proizveden pri maksimalnem tlaku kompresorja (najbolj pogosto pri 7 bar). Po vgradnji kompresorja v sistem običajno nihče več ne skrbi za vrednosti obratovalnih parametrov.

Smiselno je, da je maksimalni obratovalni tlak nastavljen na najvišji tlak, ki je potreben za delovanje porabnikov. K temu tlaku se prišteje še tlak, ki je enak seštevku tlačnih padcev inštalacije od kompresorja do tega porabnika (slika 2).

Znižanje maksimalnega tlaka za 1 bar pomeni 8 % prihranka energije. Zato je zelo pomembno, da sistem obratuje pri zahtevanih tlakih in ne pri višjih. Oprema mora torej obratovati pri najnižjem možnem obratovalnem tlaku, ki ga uporaba še dopušča.

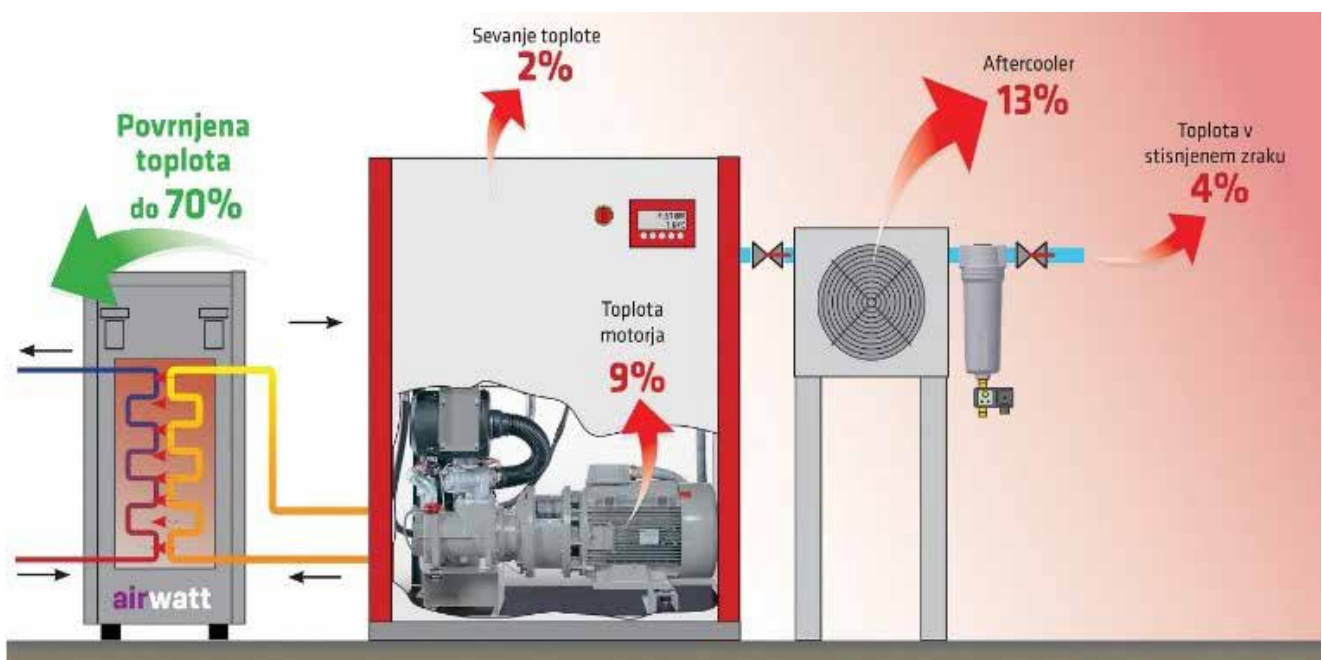
## 3 Sanacija netesnosti sistema za stisnjeni zrak

Transport stisnjenega zraka do končnega porabnika je drag proces, ki zahteva drago opremo. Ta porablja velike količine električne energije in zahteva redno vzdrževanje. Uporabniki se največkrat ne zavedajo, kakšni so njihovi letni stroški obratovanja sistema in koliko lahko prihranijo z izboljšavami.



Slika 3 : Meritve puščanja stisnjenega zraka

Puščanje zraka v sistemu povzroča znatne stroške, saj so lahko izgube tudi do 25 % stisnjenega zraka. Izgube nastanejo zaradi puščanja na spojih ventilov in spojnih elementov, zaradi korozije v ceveh, prepe-



Slika 4 : Postroj za ponovno uporabo odpadne toplote

# OMEGA AIR

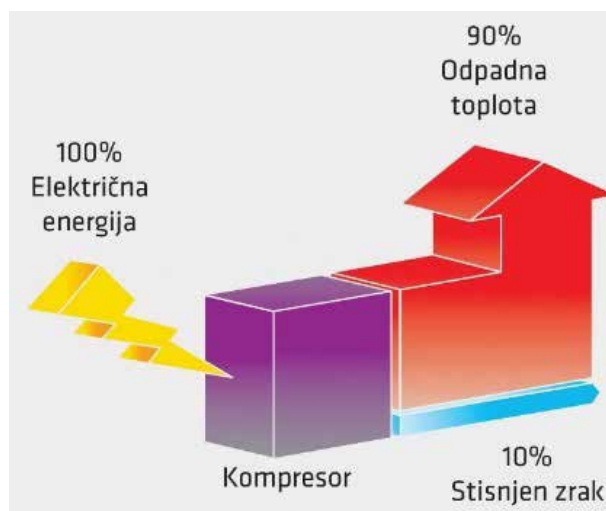
## Air and Gas

relih gibkih cevi, napak na odvajalnikih kondenzata, puščanja na filtrih ali regulatorjih, hitrih spojkah, zaradi slabega varnostnega ventila, na pnevmatskih cilindrih itd.

Mesta puščanja se obnašajo kot šobe, iz katerih zrak izteka z zelo veliko hitrostjo. Taka mesta puščajo vseh 24 ur na dan, 365 dni v letu. Zaradi tega se tlak v sistemu znižuje, kompresor se kljub nedelovanju porabnikov večkrat vklaplja, pri tem pa porablja dragoceno energijo in znižuje stroškovno učinkovitost energetskega sistema.

#### 4 Vgradnja sistemov za izkoriščanje odpadne toplote

Med procesom komprimiranja se zrak segreva. To je enostaven fizikalni proces - toplotna energija je koncentrirana zaradi zmanjševanja prostornine zraka. Skoraj celotna energija (do 90 %), porabljena za pogon kompresorja, se pretvori v toploto (slika 5). Skupna učinkovitost sistema s stisnjenim zrakom je tako le 10-15 %. Za vzdrževanje ustrezne temperature obratovanja mora kompresor prenesti odvečno toploto na hladilni medij, preden zrak vstopi v distribucijski sistem. Ponovno je mogoče izkoristiti kar do 90 % energije.



Slika 5 : Prikaz odpadne toplotne energije

Najenostavnejši način je, da se ta toplota porabi za ogrevanje prostorov, kot so delavnice, skladišča in podobno. Oljno mazani kompresorji ponujajo velik potencial za izkoriščanje odpadne toplote, saj imajo hladilni sistem z zaprtim krogom.

Vroče olje se lahko koristno izrabi za ogrevanje drugih medijev preko prenosnika toplote (slika 4). Prenesena toplota se lahko uporabi za ogrevalne sisteme prostorov, za ogrevanje industrijskih procesov, pripravo sanitarne tople vode itd.

#### 5 Vgradnja sistema za nadzor stisnjene zraka

Ob prvi meritvi parametrov in izdelavi energetske analize stisnjene zraka je večina uporabnikov presenečena ob ugotovitvi, kolikšni so dejanski obratovalni stroški. **Podjetja in tovarne se morajo zavdati, da lahko investicija v nadzorni sistem prihrani ogromno dragocene energije, saj so ti stroški lahko nižji tudi do 25 %.**



**Vijačni kompresorji**

**Hladilniški in adsorpcijski sušilniki**

**Generatorji dušika in kisika**

**Hladilniki vode**



OMEGA AIR d.o.o. Ljubljana

T +386 (0)1 200 68 00  
F +386 (0)1 200 68 50

**OMEGA**

info@omega-air.si

**AIR**

Cesta Dolomitskega odreda 10  
SI-1000 Ljubljana, Slovenija  
www.omega-air.si



Slika 6 : Prikaz parametrov

Naloga vseh dobrih vodij vzdrževanja je poiskati potencialne prihranke na vsaki komponenti opreme, integrirane v sistem. Nadzorni sistem lahko upravlja delovanje več kompresorjev, nadzira pretok in tlak sistema ter temperaturo točke rosišča sistema (slika 6). Seveda so za to potrebna različna tipala, ki odčitavajo obratovalne parametre.

Vzpostavitev nadzornega sistema vključuje tudi nadzor nad obratovanjem posameznih vej sistema. Končni porabniki imajo različne zahteve po kakovosti, tlaku in pretoku zraka, zato je izjemno pomembno, da je sistem optimiziran.

## 6 Redno vzdrževanje po terminskem planu naprave

Večina uporabnikov misli, da je pri sistemu za proizvodnjo stisnjenega zraka njihov največji strošek ravno investicija, vendar temu ni tako. Kadar obravnavamo 10-letno periodo obratovanja sistema s stisnjenim zrakom, je dejstvo, da 75 % stroškov predstavlja energija.

Stroški energije lahko znatno narastejo, če vzdrževanje ni ustrezno:

- ▶ Zasičeni filtrski vložki so vzrok za velike tlačne padce, katerih posledica je potreba po dodatni moči kompresorja za premagovanje teh uporov.
- ▶ Nedelujoči odvajalniki kondenzata ne zagotavljajo zanesljivega odvoda vode iz sistema.
- ▶ Prašno okolje povzroča zasičenje sesalnih in vstopnih filtrov. Posledica je pregrevanje sistema in znižanje zmogljivosti kompresorja.

Da sistem stisnjenega zraka deluje zanesljivo in brez prekinitev, je nujno redno in temeljito vzdrževanje.

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


AX ELEKTRONIKA

# PCB parcele

Najcenejša izdelava  
vašega prototipnega  
vezja v Sloveniji!

telefon: 01 549 14 00,  
e-pošta: [bojan@svet-el.si](mailto:bojan@svet-el.si)



AX elektronika d.o.o  
Špruha 33  
1236 Trzin  
[www.svet-el.si](http://www.svet-el.si)





## ZANIMIVOSTI NA SPLETNIH STRANEH

- [1] [1] **Pnevmatični sistemi po meri** – [www.buerkert.de](http://www.buerkert.de) – Podjetje *Bürkert Fluid Control Systems* ponuja standardne pnevmatične krmilne omarice, ki olajšajo projektiranje procesne avtomatike, vključno za higiensko uporabo. V njihovem novem katalogu so na voljo pregledno predstavljeni vsi potrebni podatki in informacije. Z letošnjim letom so izdelki na voljo tudi v njihovi e-trgovini. Za pnevmatične sisteme za avtomatizacijo v živilski, farmacevtski, birotehnični in kozmetični industriji univerzalne rešitve še niso na voljo. Bürkert Fluid Control Systems pa s svojimi standardnimi higiensko zasnovanimi krmilnimi omaricami (*Hygienic - Design - Schaltschränke (HD) Typ 8614*) obljublja uporabnikom pomembno olajšanje pri projektiranju takšnih sistemov. Izmere, kompaktnost, modularnost gradnje s sestavnimi deli iz nerjavnega jekla, preskušeni in certificirani HD-avtomatizirani sistemi skupaj s podobno zasnovanimi aktuatorji in senzorji zagotavljajo higieno celotnega procesnega polja ter zmanjšujejo zahtevnost vzdrževanja in čiščenja procesnih postrojev.
- [2] **Pnevmatika, ključ do avtomatične superfiniš obdelave** – [www.hydraulicspneumatics.com](http://www.hydraulicspneumatics.com) – Dvojni, modularno zgrajen obdelovalni stroj z dvema zalogovnikoma je idealna rešitev za superfiniš obdelave, kot so fino brušenje, lepnanje, honanje, poliranje in druge ultraprecizne obdelave površin. Osnova stroja je inovativno zasnovana vrteča se miza z dvema zalogovnikoma, ki pospešujeta proizvodnjo, ter s pnevmatično strežno napravo s programsko krmiljenimi pnevmatičnimi valji za vlaganje obdelovancev v ustrezna prijemala. Delovna prijemala pa omogočajo precizno krmiljenje hitrosti in časa delovnih ciklov. Brusilne enote stroja z elektropnevmatičnimi regulatorji omogočajo tudi precizno nastavljanje kontaktnih sil brusilnih diskov in obdelovancev. Ustrezno krmiljenje zagotavljajo krmilna elektronika, občutljiva zaznavala in proporcionalni elektropnevmatični ventili v sklenjenih krmilnih zankah. V prispevku boste podrobno spoznali, kako integrirana elektropnevmatika lahko skrajša proizvodni čas sočasno z izboljšanim procesom obdelave. Kliknite na spletni podnaslov: [bit.ly/HP-19129Gringerforallthedetails](http://bit.ly/HP-19129Gringerforallthedetails).
- [3] **Pravilno krivljenje cevi** – [www.fluid.de](http://www.fluid.de) – (Blum, F.: Rohre richtig biegen) – Pri krivljenju cevodov je nujno treba upoštevati nekaj predpisanih postopkov – točk. Redakcija revije Fluid jih povzema od IHA (Internationale Hydraulik Akademie) na primeru dvakrat ukrivljene cevi v razdalji 200 mm. Postopek je na voljo tudi na videu, na naslovu: [www.fluid.de/tipps-und-tricks/rohre-richtig-biegen](http://www.fluid.de/tipps-und-tricks/rohre-richtig-biegen).
- [4] **Preskušanje gibkih cevodov** – [www.fluid.de](http://www.fluid.de) – (Winkler, H. in Lauther, F. Ur.: So chechen Sie Schlauchleitungen richtig – Auf was Betreiber von Maschinen und Anlagen achten muss) – Varnostni predpisi določajo, da uporabniki naprave in stroje s hidravličnimi gibkimi cevodovi vsaj enkrat na leto preskusijo. Kako to opraviti, vam svetuje mednarodna hidravlična akademija (Internationale Hydraulik Akademie – IHA).
- [5] **Servočrpalke, ki se hitro izplačajo** – [www.baumuller.com](http://www.baumuller.com) – Podjetje *BAUMÜLLER* je ponuja na novo razvite hidravlične servočrpalke. Nova izvedba črpalke je pritrjena neposredno na pogonski elektromotor. Domiselna značilnost, ki obsega še samodejno mazanje in možnost vgradnje zaznavala za preventivno vzdrževanje črpalke, zagotavlja velike prednosti pri vzdrževanju in hitro amortizacijo.
- [6] **Simulacija pogona črpalke s spremenljivo hitrostjo** – [www.hydraulicspneumatics.com](http://www.hydraulicspneumatics.com) – Simulatorji leta letala v vojnih razmerah uporabljajo hidravlične aktuatorje triosnega gibanja v ekstremnih razmerah. Posadka lahko simulira postopke krmiljenja v kritično nevarnih razmerah. Hibridni sistem gibanja kabine lahko simulira ekstremne razmere leta letala s pospeški do 0,5 g ob največjih varnostnih standardih. Pogon temelji na uporabi frekvenčno krmiljene črpalke s spremenljivo iztisnino z uporabo dveh tehnoloških postopkov, ki zagotavljata zanesljivo delovanje hidravlike in energetsko učinkovite dinamike kompaktne elektronike. Vsak podsistem posameznega hidravličnega valja obsega tudi ločen servomotor in črpalčko, priključeno neposredno na valj. Več o tem na spletnem podnaslovu: [bit.ly/HP1219](http://bit.ly/HP1219).
- [7] **Sinhronizacija gibanja hidravličnih valjev** – [www.fluid.de](http://www.fluid.de) – (Lauter, F.: Zylinder synchron bewegen – So teilen Sie den Volumenstrom richtig) – Za sinhronizacijo gibanja dveh hidravličnih valjev le križna povezava cevodov. Kako se zagotavljata paralelna in enakomerna delitev tlaka, tolmači *Jorg Backhaus*, učitelj hidravlikov na mednarodni hidravlični akademiji (Internationale Hydraulik Akademie – IHA) iz Dresdna. Navodilo je podano v štirih točkah: križna povezava cevodov, delitev toka z zobniškim delilnikom toka, mazanje zobniškega sklopa in vgradnja regulatorja toka. Predstavitev je na voljo tudi na naslovu: [www.fluid.de/tipps-und-tricks/volumenstrom-richtig-teilen](http://www.fluid.de/tipps-und-tricks/volumenstrom-richtig-teilen).



- [8] **Sodobno preventivno vzdrževanje** - [www.fluid.de](http://www.fluid.de) - (Fecht, N.: Vorausschauendes Forum - Experten diskutieren über Predictive Maintenance) - Sodobno in uspešno preventivno vzdrževanje je mogoče le z jasnim in natančnim predvidevanjem. Eksperti za to področje so na forumu Gibanje in pogoni (Forum Moti-

on and Drives) na lanskem Hannoversem sejmu podrobno razpravljali o tem. Obravnava je med drugim obsegala uporabo postopkov Retrofit, interneta stvari (IoT) in komunikacije med računalniškimi oblaki pri snovanju in izvedanju sodobnega preventivnega vzdrževanja.

## OGLAŠEVALCI

- ▶ AX Elektronika, d. o. o., Ljubljana .....245, 315
- ▶ FESTO, d. o. o., Trzin..... 237, 320
- ▶ HENNLICH, d. o. o., Kranj..... 309
- ▶ ICM, d. o. o., Vojnik .....249, 296, 319
- ▶ INDMEDIA, d. o. o., Beograd, Srbija.....263
- ▶ INOTEH, d. o. o., Bistrica ob Dravi.....299
- ▶ JAKŠA, d. o. o., Ljubljana .....243
- ▶ La & Co., d. o. o., Limbuš..... 237, 302
- ▶ MIEL Elektronika, d. o. o., Velenje.....237, 293
- ▶ OLMA, d. o. o., Ljubljana.....300
- ▶ OMEGA AIR, d. o. o., Ljubljana..... 237, 314
- ▶ OPL AVTOMATIZACIJA, d. o. o, Trzin ....237, 287
- ▶ PARKER HANNIFIN (podružnica v N. M.), Novo mesto..... 237
- ▶ POCLAIN HYDRAULICS, d. o. o, Žiri.....237, 238
- ▶ PPT COMMERCE, d. o. o., Ljubljana..... 237, 240
- ▶ PROFIDTP, d. o. o., Škofljica..... 251, 253
- ▶ SLOVENSKO DRUŠTVO ZA TRIBOLOGIJU, Ljubljana.....317
- ▶ STROJNISTVO.COM, Ljubljana ..... 250
- ▶ UL, Fakulteta za elektrotehniko ..... 305
- ▶ UL, Fakulteta za strojništvo ..... 246, 309
- ▶ VZMETI, d. o. o., Gorišnica.....298
- ▶ ZALOŽBA PASADENA, Ljubljana ..... 303

**SLOVENSKO DRUŠTVO ZA TRIBOLOGIJU**

# SLOTTRIB 2020



**POSVETOVANJE o TRIBOLOGIJU, MAZIVIH in TEHNIČNI DIAGNOSTIKI,**

ki je bilo načrtovano za 9. junij 2020 v Portorožu v sklopu 12. foruma IRT

je zaradi izbruha bolezni Covid-19 prestavljeno na kasnejši čas.

Hvala za razumevanje !

16.-18.2.2021

GR, Ljubljana, Slovenija








powered by  
**icm**  
www.icm.si

© Ventil 26(2020)4. Tiskano v Sloveniji. Vse pravice pridržane.  
© Ventil 26(2020)4. 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 26  
Year Letnica 2020  
Number Številka 4

Revija je skupno glasilo Slovenskega društva za fluidno tehniko in Fluidne tehnike pri Zdrženju 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: mag. Anton Stušek  
Tehnični urednik: Roman Putrih

Znanstveno-strokovni svet:

- ▶ prof. dr. Maja ATANASIJEVIČ-KUNC, FE Ljubljana
- ▶ prof. dr. Ivan BAJSIČ, Univerza v Novem mestu, Fakulteta za strojništvo
- ▶ doc. dr. Andrej BOMBAČ, FS Ljubljana
- ▶ prof. dr. Peter BUTALA, FS Ljubljana
- ▶ prof. dr. Alexander CZINKI, Fachhochschule Aschaffenburg, ZR Nemčija
- ▶ doc. dr. Edvard DETIČEK, FS Maribor
- ▶ prof. dr. Janez DIACI, FS Ljubljana
- ▶ prof. dr. Jože DUHOVNIK, FS Ljubljana
- ▶ prof. dr. Niko HERAKOVIČ, FS Ljubljana
- ▶ mag. Franc JEROMEN, GZS – ZKI-FT, je upokojen
- ▶ prof. dr. Roman KAMNIK, FE Ljubljana
- ▶ prof. dr. Peter KOPACEK, TU Dunaj, Avstrija
- ▶ mag. Milan KOPAČ, POCLAIN HYDRAULICS, Žiri
- ▶ prof. dr. Darko LOVREC, FS Maribor
- ▶ izr. prof. dr. Santiago T. PUENTE MÉNDEZ, University of Alicante, Španija
- ▶ doc. dr. Franc MAJDIČ, FS Ljubljana
- ▶ prof. dr. Hubertus MURRENHOF, RWTH Aachen, ZR Nemčija
- ▶ prof. dr. Gojko NIKOLIČ, Univerza v Zagrebu, Hrvaška
- ▶ izr. prof. dr. Dragica NOE, FS Ljubljana
- ▶ dr. Jože PEZDIRNIK, FS Ljubljana
- ▶ Martin PIVK, univ. dipl. inž., Šola za strojništvo, Škofja Loka
- ▶ prof. dr. Alojz SLUGA, FS Ljubljana
- ▶ Janez ŠKRLEC, inž., Razvojno raziskovalna dejavnost, Zg. Poljska
- ▶ prof. dr. Brane ŠIROK, FS Ljubljana
- ▶ prof. dr. Željko ŠITUM, Fakultet strojarstva i brodogradnje Zagreb, Hrvaška
- ▶ prof. dr. Janez TUŠEK, FS Ljubljana
- ▶ prof. dr. Hironao YAMADA, Gifu University, Japonska

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

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

Naklada: 1.500 izvodov  
Cena: 4,00 EUR – letna naročnina 24,00 EUR

Revijo sofinancira Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije (ARRS).  
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.

**16.-18.2.2021**

GR, Ljubljana, Slovenija

**IFAM**

**INTRONIKA**

**Robotics**

**ICT4Industry**



powered by

**icm**

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



**FESTO**

**Prilagodljive  
aplikacije**

**Vi iščete zmogljivost in zanesljivost.  
Vi zahtevate prilagodljivost pri snovanju vaših aplikacij.  
Mi vas oskrbimo z modularnim kotnim sedežnim ventilom.**

**→ WE ARE THE ENGINEERS  
OF PRODUCTIVITY.**

Robusten in zmogljiv – kotni sedežni ventil iz nerjavnega jekla. Zahvaljujoč patentiranemu vmesniku se lahko različni aktuatorji in ventili poljubno kombinirajo in poenostavijo uporabo v vaših aplikacijah. Tokovno optimiziran procesni ventil v DN13 (1/2")–DN65 (2 1/2") nudi največjo fleksibilnost pri načrtovanju vaše aplikacije. Na razpolago je za povezovanje z navoji, objemkami, ali varjenimi povezavami ter z batnim ali membranskim aktuatorjem (enostransko ali dvostransko delujoč).

→ [www.festo.com/vzxa](http://www.festo.com/vzxa)

**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