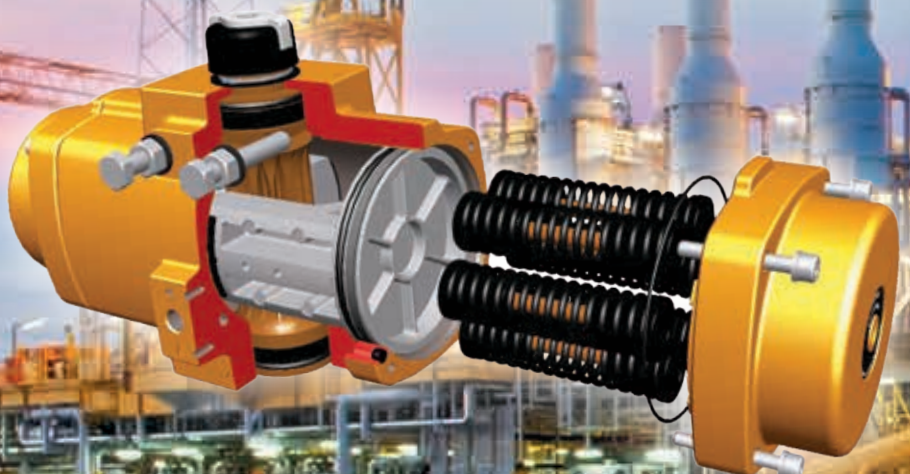


VENTIL

04
2026

ELMatic™

EMERSON™
Process Management



INTERVJU

Igor Petrović – mentor, ki
vzgaja zmagovalce

KONSTRUIRANJE HIDRAVLIČNIH KOMPONENT

Konstruiranja hidravličnega
ventila za dodatno izdelavo

MODERNI PNEVMATIČNI SISTEMI

Proizvodni pnevmatični
sistemi in procesi

VZDRŽEVANJE HIDRAVLIČNIH NAPRAV

Omejitve univerzalnih
motornih olj v hidravličnih
sistemih



BETTIS™

ppt commerce

HIDRAVLIKA IN PROCESNA TEHNIKA
PRODAJA • PROJEKTIRANJE • SERVIS

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

ZAVORNE REŠITVE

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

VSESTRANSKOST / VARNOST / ENOSTAVNOST UPORABE / ERGONOMIJA



Ventil za delavno zavoro



Ventil za parkirno zavoro



Ventil za polnjenje akumulatorja



Zavorni ventil za dvolinijski zavorni sistem – traktor



NOVO



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

www.poclain-hydraulics.com





Poletje brez varnostne rezerve

V osemdesetih letih je NASA začela izvajati polete programa Space Shuttle, ki naj bi z večkrat uporabnim plovilom omogočil rutinski in ekonomičen dostop do vesolja. Tempo poletov se je hitro povečeval: leta 1985 so jih opravili devet, za leto 1986 pa jih je NASA načrtovala že petnajst. Odprave so bile že tako pogoste, da je medijska pozornost začela upadati. V okviru programa Učitelj v vesolju so v sedemčlansko posadko 25. odprave vključili srednješolsko učiteljico, ki naj bi iz orbite izvedla dve televizijski učni uri. Medijsko močno spremljana odprava se je začela 28. januarja 1986. Challenger je po 73 sekundah razpadel.

Analiza nesreče je razkrila, da je odpovedalo tesnjenje spoja na raketnem pospeševalniku. Pri kompleksnih napravah tehnična odpoved sama po sebi ni nič nenavadnega, pri Challengerju pa so zanimivejše okoliščine pred njo. Poškodbe tesnil so na raketoplanih opazili že leta 1981. Težava ni bila le v njih, ampak tudi v konstrukciji spoja, ki se je ob porastu tlaka deformiral toliko, da je tesnilo le stežka sledilo nastali špranji. Težava se je ponavljala na številnih poletih, a so namesto spremembe konstrukcije raje ugotavljali, ali je kljub poškodbam varnostna rezerva še zadostna. Vsaka nova uspešna misija je odgovorne tolažila, da problem ni kritičen. Tako je program tekel dalje do hladnega jutra 28. januarja, ko so bila tesnila zaradi mraza premalo prožna. Inženirji so nevarnost poznali in izstrelitev odsvetovali, odgovorni pa so se odločili drugače.

Primerov, pri katerih gledamo stran in si nočemo priznati očitnega, ker bi morali spremeniti svoje ravnanje ali nazore, je precej. Omenjeni primer zelo spominja na problematiko gozdnih požarov: samo leta 2025 je v EU in drugih evropskih državah pogorela površina, nekoliko večja od Slovenije, nadpovprečna požarna sezona pa se nadaljuje tudi letos. Evropski informacijski sistem za gozdne požare EFFIS v okviru Copernicusa spremlja požarno nevarnost in aktivne požare ter pristojnim omogoča hitrejše ukrepanje. V EU se uveljavlja upravljanje gorljive vegetacije, ustvarjanje čistlin in

varnostnih območij ob naseljih, države pa imajo vzpostavljene tudi sisteme medsebojne pomoči. A vse to ne odpravlja dejavnika, zaradi katerega postajajo požarne razmere vse nevarnejše: segrevanja podnebja. Podobnost s Challengerjem ni v sami katastrofi, ampak v našem odzivu na opozorila. Posamezen ekstrem še razumemo kot izjemo. Naslednjega tudi. Ko se izjeme ponavljajo, pa namesto vprašanja, zakaj se sistem spreminja, pogosto le povečujemo zmogljivosti za obvladovanje posledic.



Vsaka nova uspešna misija je odgovorne tolažila, da problem ni kritičen.

Problem podnebnih sprememb že dolgo ni predvsem tehničen, ampak družben. Če gospodarsko uspešnost enačimo predvsem z vedno večjo materialno proizvodnjo in porabo, se prej ali slej zaletimo v omejenost naravnih virov in sposobnost okolja, da sprejema naše emisije in odpadke. Draga energija resda krni konkurenčnost izvoznikov, toda ali je draga tudi v objektivnem smislu, če lahko za dvajset evrov preletim Evropo in se mi bolj splača kupiti nov gospodinjinski aparat kot popraviti starega? Morda v njeno ceno preprosto nismo vključili vseh posledic njene porabe.

Očitno bo moralo biti dovolj resno, preden se bo kaj zares spremenilo. Morda se prav tu skriva še ena nevarnost. Mlajši spremembe podnebja doživljajo brez našega spomina na nekdanjo normalnost. Moja hči me je potolažila z mislijo, ob kateri sem se obenem zamislil in zgrozil: ne pritožuj se nad vročino in raje uživaj v letošnjem poletju, saj boš glede na trend tako hladnega le redko še kdaj doživel.

Miroslav Halilović

© Avtorji 2025. CC-BY 4.0

VENTILOV UTRIP

DOGODKI

- 226 Tehnologija čistih prostorov – nevidni steber slovenskega gospodarstva
- 228 Dnevi industrijske robotike 2026
- 230 Tehnološka mreža Tehnologija vodenja procesov: podelitev nagrad in priznanj za najboljša diplomska in magistrska dela 2026
- 232 Dan meroslovja 2026 v Portorožu
- 234 17. Industrijski forum IRT – slovenska industrija je konkurenčna



234

INTERVJU

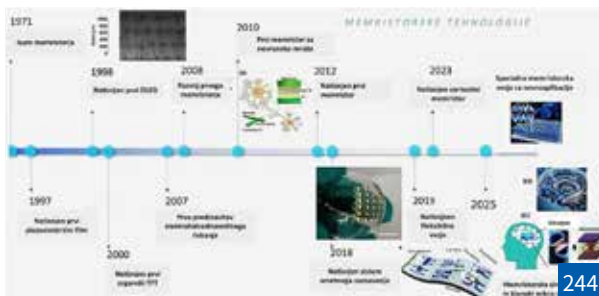
- 238 Igor Petrović – mentor, ki vzgaja zmagovalce



238

NOVICE IN ZANIMIVOSTI

- 242 Predsednik vlade RS Janez Janša obiskal Institut "Jožef Stefan"
- 244 Memristorji za revolucionarno tehnološko prihodnost



244

- 246 Tovarne prihodnosti se preusmerjajo k modelu »človek v zanki«

ZNANSTVENI PRISPEVKI

KONSTRUIRANJE HIDRAVLIČNIH KOMPONENT

- Jan Bartolj, Aljaž Žafran, Nikola Vukašinović, Franc Majdič
- 248 Večkriterijski postopek konstruiranja hidravličnega ventila za dodajalno izdelavo

MODERNI PNEVMATIČNI SISTEMI

- Marko Šimic, Miha Pipan, Niko Herakovič
- 254 Novi pristopi, tehnologije in trendi v proizvodnih pnevmatičnih sistemih in procesih



254

STROKOVNI PRISPEVKI

VZDRŽEVANJE HIDRAVLIČNIH NAPRAV

- Franc Majdič
- 264 Tribološke in funkcionalne omejitve univerzalnih motornih olj v hidravličnih sistemih



264

MAZANJE

- Milan Kambič
- 267 Preprečevanje težav in napak pri mazanju



267

IZ INDUSTRIJE

AKTUALNO V INDUSTRIJI

ELESA+GANTER

- 272 Prihodnost industrije presega standardne rešitve



272

ENERGE

- 273 Hidravlični momentni ključi za kontrolirano privijanje vijčnih zvez

INOTEH

- 274 Plinske vzmeti – učinkovita rešitev za nadzor gibanja

NOVOSTI NA TRGU

ELESA+GANTER

- 276 Nova generacija zaskočnih sornikov

ELESA+GANTER

- 277 Kapacitivni ali optični? Izberite pravi nivojski senzor

PARKER HANNIFIN

- 278 Parker PE06M – nova generacija proporcionalnih hidravličnih ventilov za natančno regulacijo tlaka



278

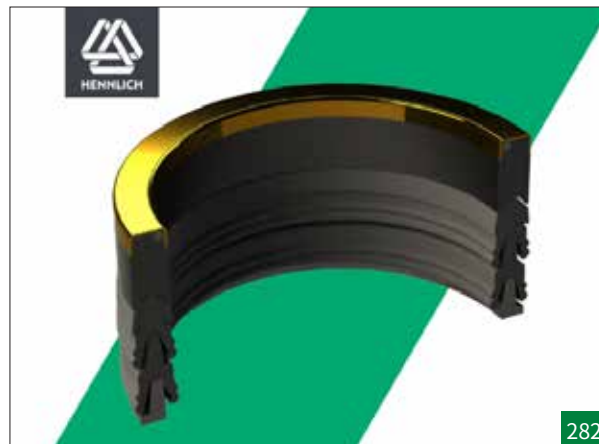
PODJETJA PREDSTAVLJAJO

GIA-S

- 280 GIA-S – ekskluzivni zastopnik razpočnih diskov Fike

HENNLICH

- 282 Hallite OptiSeal® – napredna rešitev tesnjenja za najzahtevnejše industrijske aplikacije (HENNLICH)



282

INGVAR

- 284 Ročno varjenje MIG/MAG s sistemoma Fortis in TPS/i podjetja Fronius



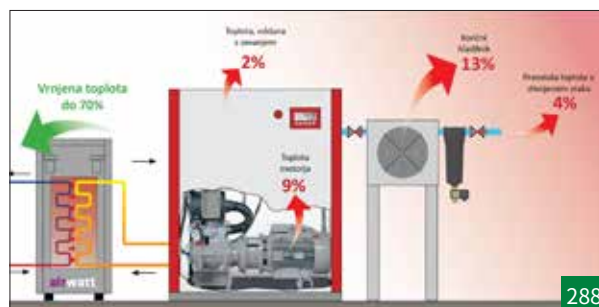
284

MIEL Elektronika

- 286 E2B induktivni senzor

OMEGA AIR

- 288 Izkoriščanje odpadne toplote pri vijčnih kompresorjih



288

SMC

- 290 SMC 4-bar Factory v praksi

Tehnologija čistih prostorov – nevidni steber slovenskega gospodarstva, ki ustvari 6 % BDP-ja

Prva mednarodna strokovna konferenca s področja tehnologije čistih prostorov v Sloveniji

Slovenija se utrjuje kot močno evropsko središče farmacevtske in biotehnoške industrije, kjer sektor čistih prostorov že danes prispeva 6 % BDP-ja. Ob investicijah v višini 2 milijardi evrov pa se pri nas soočamo s kritičnim izzivom: pomanjkanjem vrhunsko usposobljenega kadra s specifičnim znanjem o tehnologiji čistih prostorov. Tudi o tem ključnem izzivu je tekla beseda med udeleženci prve mednarodne strokovne konference s področja tehnologije čistih prostorov (Cleanroom Technology) v Sloveniji »ČISTI PROSTORI DANES IN JUTRI: inovacije, trajnost, odličnost ter skladnost z regulativo«.

Zadnja dva dneva v marcu je namreč na Brdu pri Kranju v organizaciji Slovenskega združenja za tehnologijo čistih prostorov več kot 20 vrhunskih tujih in domačih strokovnjakov ter več kot 160 slušateljev iz vrst industrije, raziskovalnih institucij in akademskega okolja soustvarjalo prihodnost panoge, ki predstavlja hrbtenico slovenske farmacevtske, biotehnoške in elektronske industrije.

Tehnologija čistih prostorov je v sodobni industriji postala nepogrešljiv temelj za proizvodnjo zdravil, cepiv, polprevodnikov in naprednih materialov. V Sloveniji ta sektor že zaposluje več deset tisoč ljudi in ustvarja do 6 % BDP-ja. Ker vodilna farmacevtska podjetja pri nas delno že izvajajo razvojne projekte v skupni vrednosti več kot dve milijardi evrov, postaja vprašanje vrhunsko usposobljenega kadra z znanjem o tehnologiji čistih prostorov – o pravilnem načrtovanju, izgradnji ter obratovanju in vzdrževanju čistih prostorov, o delovanju in ravnanju zaposlenih v teh prostorih, ... – strateškega pomena. Povpraševanja po tovrstnem znanju je vedno več, kadra z ustreznimi kompetencami in znanji pa še vedno primanjkuje.

»Prav zato smo z namenom povezovanja znanja, investicij in mladih talentov v Sloveniji organizirali prvo mednarodno strokovno konferenco in v njenem okviru tudi posebno srečanje za mlade – za dijake in študente tehničnih usmeritev, bodoče strokovnjake in inženirje. Želimo jim namreč približati poklicno delovanje na področju tehnologije čistih prostorov in jim prikazati, da so možnosti za njihovo poklicno kariero na tem področju izjemno široke, dobre zaposlitve pa zagotovljene,« poudarja mag. Nataša Štirn,



Udeleženci konference so z zanimanjem prisluhnili prav vsem predavateljem

predsednica Slovenskega združenja za tehnologijo čistih prostorov, in dodaja: »Brez znanja o čistih prostorih ne moremo proizvesti niti enega sodobnega zdravila ali čipa. Danes v Sloveniji ne gradimo le prostorov, ampak tudi kariere za mlade inženirje.«

Zobozdravstvo v breztežnosti in roboti v sterilnih prostorih: Kako so mladi spoznavali tehnologijo prihodnosti

Dogodek za mlade Cleanroom Roadmap Experience 2026 je bil zasnovan kot most med akademskim znanjem in realnim industrijskim okoljem, kjer se teorija neposredno sreča z vrhunsko prakso. Več kot 90 dijakov gorenjskih srednjih šol tehniških usmeritev in študentov naravoslovnih znanosti Univerze v Ljubljani

in Mariboru je preko šestih interaktivnih postaj spoznalo celoten življenjski cikel čistega prostora / visokotehnoškega okolja – od 3D-načrtovanja proizvodnega obrata (čistega prostora) do sterilne proizvodnje varnih izdelkov v tem prostoru. Hkrati so jim bili predstavljeni tudi poklici, ki so pri tem pomembni.

V sproščenem vzdušju so mladi imeli priložnost za neposredne pogovore s predstavniki vodilnih podjetij, vpetih v življenjski cikel čistih prostorov, kot so IMP Promont, Naya Life Sciences, Bosplast, Iskra PIO ter Metronik, Klimer Štirn in Lek. Ta podjetja so jim iz prve roke predstavila konkretne inženirske izzive, poklice prihodnosti ter razvojne projekte v skupni vrednosti več kot 2 milijardi evrov, ki bodo v prihodnje zahtevali visoko usposobljene kadre s področij elektrotehnike, strojništva,



Cleanroom Roadmap Experience za dijake in študente - podjetja pri predstavitvi poklicev, povezanih s tehnologijo čistih prostorov

mehatronike, računalništva, kemije in farmacije z dodatnimi znanji s področja tehnologije čistih prostorov.

K vsebini za mlade so pomembno prispevali še humanoidni robot Max, ki je mlade popeljal v svet robotizacije in digitalne prihodnosti, navdihujoča karierna zgodba inženirke leta 2023 Ljupke Vrteve in Hana Prtenjak, študentka Fakultete za strojništvo v Ljubljani, z zanimivim slovenskim študentskim projektom SpaceDent o tem, da je tudi v breztežnostnem prostoru mogoče zagotoviti ustrezen nadzor nad kontaminacijo in s tem tudi varno izvajanje zobozdravstvenih posegov v mikrogravitaciji.

Vrhunski predavatelji osvetlili ključne izzive in razvojne smeri Cleanroom Technology

Konferenca je v dveh dneh preko štirih vsebinskih sklopov z interaktivnimi predavanji in paneli predstavila aktualne izzive in razvojne smeri na področju tehnologije čistih prostorov. V prvem sklopu »Regulativna usklajenost v čistih prostorih GMP« je bil poudarek na zagotavljanju skladnosti z vedno strožjo mednarodno regulativo ter na strategijah za nadzor in preprečevanje kontaminacije. Drugi sklop »Inovacije na področju skladnosti« je pokazal, kako lahko podjetja zahteve regulative uspešno izvajajo v praksi. Predavatelji so pred-

stavili vlogo mednarodnih standardov ter izpostavili dobre prakse pri njihovem uvajanju v industriji. V sklopu »Inženirske rešitve – pametno načrtovanje HVAC sistemov, avtomatizacija in robotika« so bili predstavljeni sodobni pristopi k načrtovanju in gradnji čistih prostorov: od projektiranja, izgradnje do implementacije, vključno z uporabo digitalnih tehnologij, kot so virtualna resničnost, digitalni dvojčki in napredno modeliranje. Zadnji sklop »Inovativno obvladovanje kontaminacije – napredek iz Slovenije« pa je predstavil konkretne primere naprednih tehnoloških rešitev in ključne izzive panoge pri nas. Poseben poudarek je bil namenjen tudi vlogi zaposlenih pri zagotavljanju sterilnosti in kakovosti procesov.

Izjave častnih govorcev na konferenci

Nataša Štirn, predsednica Slovenskega združenja za tehnologijo čistih prostorov: »Čisti prostori danes niso več zgolj tehnična infrastruktura. So okolje, kjer nastajajo zdravila, kjer se razvijajo napredne tehnologije in kjer neposredno vplivamo na zdravje ljudi. Zato smo na konferenci govorili o nečem bistveno širšem: o odgovornosti, kakovosti in zaupanju. V zadnjih letih se namreč na področju tehnologije čistih prostorov soočamo z velikimi spremembami – z vedno strožjo regulativo, vedno večjimi pričakovanji

glede obvladovanja tveganj ter s hitrim tehnološkim razvojem, ki odpira nove možnosti, a hkrati prinaša nova vprašanja. Zato je povezovanje stroke ključnega pomena. Odprli smo prostor dialoga, kjer smo izmenjavali izkušnje ter skupaj iskali rešitve na zahtevna vprašanja, ki bodo oblikovale prihodnost naše panoge.«

Vesna Nahtigal, generalna direktorica Gospodarske zbornice Slovenije: »Prva mednarodna konferenca s področja tehnologije čistih prostorov kaže, da je ta panoga v Sloveniji dozorela strokovno, razvojno in ambicijsko. Na enem mestu je združila industrijo, raziskovalno okolje, inženiring, regulativo in mlade talente. Posebej pozdravljam vključevanje mladih, saj brez novih kadrov in zgodnjega stika z industrijo ni prihodnosti. To jasno kaže, da v panogi razmišljajo strateško in dolgoročno. Na Gospodarski zbornici Slovenije verjamemo, da ima Slovenija na tem področju vse ključne gradnike za preboj. A za to potrebujemo tudi stabilno, predvidljivo in razvojno poslovno okolje. Letošnja konferenca je začetek tesnejšega sodelovanja, novih partnerstev in konkretnih korakov. Verjamem, da bomo skupaj poskrbeli, da bo tehnologija čistih prostorov v Sloveniji in širše umeščena tja, kamor sodi – v sam vrh sodobnih industrijskih in raziskovalnih praks.«

Hasim Solmaz, predsednik Mednarodne konfederacije društev za kontrolo kontaminacije (ICCCS): »Glede na več kot 50-letno zgodovino ICCCS imamo med člani več kot 27 različnih držav. Med njimi je tudi Slovenija, ki na tem področju trenutno doživlja pravi razcvet. Je zelo aktivna tako na domačih tleh kot v mednarodnem merilu. Veseli me, da sem tudi sam lahko priča njihovim razvojnim dosežkom. Slovenija je glede na svojo velikost v primerjavi z drugimi državami našimi članicami veliko bolj aktivna kot večina ostalih ter mednarodni skupnosti na področju tehnologije čistih prostorov in nadzora kontaminacije ponuja zelo veliko. Med drugim Slovensko združenje za tehnologijo čistih prostorov sodeluje tudi pri oblikovanju mednarodnih standardov, pri razvoju in izvedbi izobraževanj, organizira strokovne dogodke in tudi na tak način veliko prispeva k nadaljnjemu razvoju naše panoge.«

Taktik, d. o. o.

© Avtorji 2026. CC-BY 4.0

Dnevi industrijske robotike 2026

Dnevi industrijske robotike 2026 so tradicionalno potekali na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani med 30. marcem in 1. aprilom. Letošnja že 22. izvedba dogodka, ki ga organizira Laboratorij za robotiko, je študentom ponovno ponudila priložnost za praktično delo z roboti ter soočenje z aktualnimi izzivi iz industrijskega okolja.



Udeleženci in organizatorji prireditve Dnevi industrijske robotike 2026

Dogodek, zasnovan kot robotski hekaton, je privabil študente različnih fakultet Univerze v Ljubljani, ki so se letos spopadli z izzivom, pripravljenim v sodelovanju s podjetjem Revoz d. d. in povezanim z avtomobilsko industrijo. DIR26 je znova potrdil svoj pomen kot priložnost za povezovanje študentov, industrije in akademskega okolja, hkrati pa je udeležencem omogočil pridobivanje praktičnih izkušenj in novih veščin za hitro in uspešno integracijo robotskih tehnologij.

DIR26 se je v ponedeljek začel z uvodnim nagovorom organizatorjev hekatona. Tehnični direktor podjetja Revoz d. d. g. Tomaž Blatnik je predstavil podjetje, seznanil študente z izzivom in predstavil opremo, ki je na voljo udeležencem. Posebna pozornost je bila namenjena tudi varnosti v robotiki. Letošnji izziv je predstavljal razvoj robotske celice za manipulacijo električnih motorjev za nov električni Twingo, pri čemer je bil poudarek na zaznavi mest za prijemanje ter na zanesljivem prijemanju in manipulaciji električnega motorja. Izziv je odražal realne zahteve sodobne proizvodnje, kjer sta ključni zanesljivost manipulacije in prilagodljivost na spremenljivost položaja in orientacije objekta.

Na tekmovanju je sodelovalo pet ekip, vsaka sestavljena iz petih študentov. Prvi dan so se ekipe posvetile predvsem zasnovi svojih rešitev in spoznavanju izziva. Na voljo so imele industrijske robote, ustrezno periferijo, senzorske sisteme ter dostop do 3D-tiskalnikov za izdelavo prilagojenih mehanskih komponent in prijema. Pri delu so jim pomagali tudi mentorji, študenti višjih letnikov magistrskega študija robotike. Letošnji izziv je od ekip zahteval načrtovanje celovite robotske rešitve za avtomatizirano manipulacijo e-motorja, kar je vključevalo zaznavanje položaja objekta, razvoj ustreznega prijemala, programiranje robota ter zagotavljanje varnega delovanja celice.

Drugi dan je bil namenjen intenzivnemu razvoju in integraciji posameznih sklopov rešitve. Ekipe so uporabljale različne pristope: od uporabe kamer in globinskih senzorjev za lokalizacijo e-motorja do razvoja prilagodljivih pnevmatskih in mehanskih prijema ter zasnov varnostnih rešitev. Študenti so si razdelili naloge s področij programiranja, strojnega vida, mehanskega konstruiranja in pripravo predstavitve. Ob tehničnih izzivih pa so pogosto sodelovali vsi člani ekipe. Pomembno vlogo so imeli mentorji in sodelavci Laboratorija za robotiko,

ki so ekipam pomagali pri odpravljanju težav in izvedbi idej. Vzdušje je bilo skozi celoten dogodek intenzivno, a hkrati ustvarjalno in sodelovalno.

Tretji dan so ekipe svoje končne rešitve predstavile strokovni komisiji, sestavljeni iz predstavnikov Laboratorija za robotiko in strokovnjakov iz podjetja Revoz. Vse ekipe so uspešno razvile delujoče koncepte za manipulacijo e-motorja, pri čemer so nekatere posebej izstopale po dovršeni zasnovi prijemal, premišljeni integraciji strojnega vida, učinkoviti organizaciji delovne celice in poudarku na varnosti. Predstavljene rešitve so pokazale veliko tehničnega znanja, inovativnosti in razumevanja realnih zahtev sodobnega industrijskega okolja. Po predstavitvah sta sledili slavnostna razglasitev rezultatov in podelitev nagrad, pri katerih so sodelovali predstojnik Laboratorija za robotiko prof. dr. Marko Munih, dekan Fakultete za elektrotehniko prof. dr. Marko Topič in predstavnik podjetja Revoz g. Tomaž Blatnik.

Prvo mesto je osvojila ekipa »Slabo plačani strokovnjaki«, ki je prepričala s premišljeno zasnovo celotne postavitve in učinkovitim konceptom prijemala. Njihova rešitev je temeljila na izkoriščanju obstoječih nosilnih točk e-motorja, s čimer so zagotovili stabilen prijem in hitro manipulacijo, hkrati pa so posebno pozornost namenili tudi varnosti delovnega procesa z uporabo optičnih skenerjev in ustrezno umestitvijo AGV-sistema. Rešitev je izstopala po poudarku na kratkem času cikla, stabilnosti med transportom ter možnosti uporabe strojnega vida za nadaljnjo optimizacijo sistema.

Drugo mesto je osvojila ekipa »Lobo rab«, ki je predstavila tehnično dovršeno rešitev z neposredno komunikacijo med nadzornim računalnikom in robotom ter z uporabo več senzorskih pristopov za zaznavo položaja motorja in odlagalnega mesta. Njihov sistem je vključeval dinamično zaznavanje pozicije, prilagodljivo pnevmatsko prijemalo in dobro zasnovan proces pobiranja ter odlaganja motorjev, pri čemer so izpostavili tudi možnost neprekinjenega dovajanja palet in varno delovanje brez poseganja v celico. Rešitev je pokazala visoko stopnjo integracije robotskega vida, prijemalne tehnike in celovite zasnove robotske celice.

Tretje mesto je pripadlo ekipi »Piškotki robotki«, ki je razvila zanesljiv sistem za avtomatizirano manipulacijo e-motorja z lastno zasnovo prijemala. Njihova rešitev je temeljila na pnevmatskem paralelnem prijemu s stožčastim vodilnim elementom za samoporavnavo ter gumijastimi vložki za večje trenje in boljšo stabilnost med prenosom. Poleg tega so premišljeno uredili delovni prostor z vidika zaznave, saj so uporabili črno podlago za zmanjšanje odsefov in s tem izboljšali delovanje kamere. Njihov sistem je izstopal po praktičnosti, ponovljivosti manipulacije in dobri mehanski prilagoditvi nalogi.

Vse ekipe so pokazale veliko mero tehničnega znanja, inovativnosti in razumevanja industrijskega problema ter predstavile premišljene koncepte, ki združujejo robotski vid, ustrezno zasnovo prijemal, varnostne vidike in učinkovito avtomatizacijo manipulacije e-motorja.

Ob tekmovalnem delu dogodka so se v avli fakultete predstavili tudi sponzorji, ki so študentom in obiskovalcem približali svoje tehnološke rešitve, razvojna področja in možnosti sodelovanja. Takšna spremljevalna vsebina je dodatno obogatila



Delo z industrijskimi roboti

dogajanje in prispevala k povezovanju med študenti in predstavniki industrije. Dogodek je z odzivom javnosti in medijev še dodatno okrepil svojo prepoznavnost.

Dnevi industrijske robotike 2026 so se sklenili v zelo pozitivnem vzdušju in potrdili, da tovrstni dogodki predstavljajo pomembno stičišče med študenti, raziskovalnim okoljem in industrijo. Udeleženci so posebej izpostavili aktualnost izziva in dragocene praktične izkušnje, ki so jih pridobili pri razvoju rešitev, organizatorji pa so poudarili visoko stopnjo angažiranosti ekip in uspešen prenos znanja v reševanje konkretnega industrijskega problema. Dogodek je ponovno potrdil pomen neposrednega povezovanja med akademskim prostorom in podjetji, saj ne omogoča le prepoznavanja perspektivnih kadrov in odpira priložnosti za nadaljnje sodelovanje, temveč hkrati izpostavlja tudi visoko raven praktičnega znanja študentov ter njihovo sposobnost reševanja kompleksnih industrijskih problemov.

Posebna zahvala gre generalnim sponzorjem iz Revoza d. d. in ostalim podpornikom: RLS, ABB, Amiteh, Iskraemeco, HALDER, IC Elektronika, Fanuc, ADD ProS, Yaskawa, Domel, MEREL, MIEL, LTH Casting. Njihova podpora je omogočila izvedbo tekmovanja hekaton, zagotovila nagrade in opremo ter prispevala k uspehu dogodka. Več informacij o DIR26 je na voljo na spletni strani <https://www.dnevirobotike.si/>.

Janez Podobnik, Aleš Zore, Matjaž Mihelj,
Marko Munih, Sebastjan Šlajpah,
vsi Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko

© Avtorji 2026. CC-BY 4.0



Tehnološka mreža Tehnologija vodenja procesov: podelitev nagrad in priznanj za najboljša diplomska in magistrska dela 2026

Tehnološka mreža Tehnologija vodenja procesov (TM TVP) je tudi letos, že štirinajsto leto zapored, podelila nagradi za najboljše magistrsko in najboljše diplomsko delo na področju tehnologije vodenja.

O mrežah in poslanstvu

Grozd *Kompetenčni center za sodobne tehnologije vodenja (KC STV)* razpisuje nagrade Tehnološke mreže Tehnologija vodenja procesov (TM TVP) za najboljša diplomska in magistrska dela na področju tehnologije vodenja.

Tehnološka mreža Tehnologija vodenja procesov je konzorcij, ki od leta 2003 povezuje javne raziskovalne institucije in podjetja na področju avtomatizacije, informatizacije in kiberneizacije sistemov v Sloveniji. Aktivnosti mreže so usmerjene v spodbujanje prenosa znanja in tehnologij v industrijsko prakso ter razvoj produktov in storitev za prodajo na trgu. Z letom 2024 je delovanje TM TVP vključeno v grozd KC STV, kjer se TM TVP ohranja kot blagovna znamka

S podeljevanjem nagrad KC STV vzpodbuja kvalitetno delo in odličnost mladih, ki začenjajo s svojim raziskovalnim in strokovnim delom na področju tehnologij vodenja.

Področja nagrajevanja

Nagrade se razpisujejo na širših področjih delovanja mreže:

- ▶ avtomatizacija strojev in naprav,
- ▶ vodenje kompleksnih sistemov in tehnoloških procesov,

- ▶ inteligentni sistemi in procesi v pametnih tovarnah,
- ▶ diagnostika, prognostika in samovzdrževanje strojev in naprav,
- ▶ avtonomna vozila,
- ▶ podpora logističnim procesom v podjetjih,
- ▶ tehnologije vodenja za pametno upravljanje z energijo, večjo kakovost bivanja in manjše onesnaževanje okolja,
- ▶ sodobne IKT v sistemih vodenja (npr. internet stvari, ume tarjena inteligenca, oblačne tehnologije, velepodatki),
- ▶ tehnologije in znanja za razvoj novih orodij in gradnikov za sisteme vodenja,
- ▶ druga področja, povezana s problematiko vodenja sistemov in procesov.

Podelitev nagrad in predstavitev nagrajenih del sta potekali 22. aprila 2026 v okviru dogodka *Dnevi avtomatike in umetne inteligence* na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani.

Nagrajenci in priznanja

Nagrada za najboljše diplomsko delo

Prejemnik: NIKI ZMAZEK

Naslov: Načrtovanje in implementacija regulacijskega sistema za dušenje nihanj mostnega žerjava



Na sliki z leve proti desni: dr. Gorazd Karer, Urban Kolman, Niki Zmazek, Gregor Mlinarič, David Hožič in Rudi Panjtar

Ustanova: Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko

Mentorstvo: prof. dr. Jožef Ritonja; somentorstvo: asist. dr. Robert Brezovnik

Povzetek: Mostni žerjavi predstavljajo srce vsakega večjega industrijskega objekta. Vsako sekundo prenašajo tone materiala v vseh treh smereh. Njihova učinkovitost je v veliki meri definirana z izkušnostjo žerjavista. Breme med pospeševanjem, še posebej pri zaustavljanju, močno niha, zaradi česar natančno pozicioniranje tovora postane loterija. Takšno nihanje pomeni resne izgube časa in produktivnosti, ki so v zahtevni sodobni industriji preprosto nedopustne. Namen diplomske naloge je sistematičen pristop k izdelavi protinijalnega sistema mostnega žerjava. Naloga obsega teoretični del, numerični del in realizacijo na industrijskem desettonskega žerjavu. Rezultati niso le simulacije, ampak so odzivi realnega desettonskega mostnega žerjava, na katerega je bil implementiran protinijalni sistem. V nalogi je izpeljan nelinearni matematični model mostnega žerjava, izvedeni sta linearizacija tega modela in določitev lineariziranega modela odstopanj. Na podlagi lineariziranega modela je izvedena sinteza z regulatorjem stanj po metodi LQR. Realiziran protinijalni sistem je preizkušen na mostnem žerjavu. Rezultati potrjujejo pravilnost in uspešnost predstavljenega pristopa.

Priznanje za magistrsko delo

Prejemnik: DAVID HOŽIČ

Naslov: Razvoj strategij umetne inteligence za igranje namiznega nogometa v pravem okolju

Ustanova: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko

Mentorstvo: doc. dr. Andrej Zdešar; somentorstvo: asist. dr. Matevž Bošnjak

Povzetek: Namizni nogomet je vsem dobro poznana igra, ki se včasih obravnava tudi kot šport. V igri navadno tekmujejo dve ekipi, ki upravljata palice za manipulacijo žoge v nasprotnikov gol. Včasih dveh ekip ni moč najti — na primer na javnem kraju ali za samostojno vadbo — zato je smiselno eno stran mize namiznega nogometa avtomatizirati s sistemom za zaznavo žoge in palic ter s sistemom za vodenje palic preko motorjev.

Magistrsko delo obravnava razvoj agentov umetne inteligence za igranje namiznega nogometa na avtomatizirani mizi proti človeškemu nasprotniku. Agenti so bili razviti z metodami spodbujevalnega učenja — zvrst strojnega učenja iz poskusov — v simuliranem okolju, ki je bilo pred učenjem usklajeno z dinamiko pravega sistema z identifikacijo dinamičnih parametrov sistema. Razvite so bile strategije za tri palice (vratar, obramba in napad), pri čemer je bila posebna pozornost namenjena prenosu naučenih strategij iz simulacije v pravo okolje. Slednje zaznamujejo šum tipal, napake v kalibraciji, časovni zamiki in druge motnje. Vpliv časovnih zakasnitev je bil zmanjšan z napovednimi modeli za ocenjevanje stanj. Razvite strategije so bile preizkušene tako v simulaciji kot tudi v pravem okolju proti človeku.

Priznanje za magistrsko delo

Prejemnik: URBAN KOLMAN

Naslov: Uporabniški vmesnik za robotski sistem pobiranja ko-

sov v razsutem stanju iz zabojnika

Ustanova: Univerza v Mariboru, FER in Fakulteta za strojništvo

Mentorstvo: izr. prof. dr. Uroša Župerl, izr. prof. dr. Aleš Hace; somentorstvo: dr. Rok Pahič

Povzetek: Naloga obravnava razvoj modularnega spletnega grafičnega vmesnika za upravljanje robotskega sistema za pobiranje kosov iz zabojnika. Vmesnik, razvit v JavaScriptu, temelji na komunikaciji z ROS2 ter omogoča 3D-vizualizacijo robota in oblaka točk zaznanih objektov. Uporabniku omogoča enostavno nastavljanje parametrov ter upravljanje projektov, shranjenih v podatkovni bazi. Z integracijo VNC odjemalca je omogočen dostop do aplikacije za parametrično modeliranje kosov in določanje pobiranih točk. Sistem je bil uspešno implementiran v industriji, kjer izboljšuje učinkovitost in fleksibilnost procesa.

Nagrada za najboljše magistrsko delo

Prejemnik: GREGOR MLINARIČ

Naslov: Sistemi za podporo odločanju pri optimizaciji proizvodnje penicilina

Ustanova: Univerza v Ljubljani, FMF in Fakulteta za računalništvo in informatiko

Mentorstvo: izr. prof. dr. Lovro Šubelj; somentorstvo: dr. Miha Glavan

Povzetek: V skladu s smernicami industrije 5.0 se razvoj tehnoloških rešitev usmerja v podporo zaposlenim v proizvodnem okolju. V zadnjem času je večji poudarek namenjen razvoju podpornih sistemov, ki operaterjem olajšajo vodenje procesa tako, da spremljajo njihove aktivnosti in jim v ključnih trenutkih predlagajo ustrezne korekcijske ukrepe. V nalogi so bili razviti različni sistemi za podporo odločanju, ki so bili testirani na primeru simulacijskega okolja IndPenSim za proizvodnjo penicilina. Ti sistemi ob vnaprej določenih časih (vsakih 24 ur) operaterjem predlagajo korekcijske ukrepe. Predstavljene so bile tri družine sistemov za podporo odločanju, ki temeljijo na optimizaciji napovednega modela, GNN priporočilnih sistemih in hibridnih metodah. Rezultati kažejo, da je mogoče z uporabo teh pristopov povečati končni izplen penicilina, pri čemer še zlasti izstopa hibridni pristop, ki združuje prednosti preostalih dveh metod. V primerjavi z obstoječo literaturo predlagane metode dosegajo izplene, primerljive z doslej najzmogljivejšimi modeli, obenem pa zahtevajo bistveno manj posegov v proces. Navedene ugotovitve potrjujejo primernost pristopov tudi za uporabo pri drugih procesih.

Zahvala in vabilo

Organizatorji se zahvaljujemo vsem članom, ki so sodelovali pri promociji razpisa, in mentorjem, ki so se odzvali na razpis s prijavo kandidatov. Vse mentorje in podjetja vabimo, da tudi naslednje leto prijavijo najboljša diplomska in magistrska dela na razpis za nagrade TM TVP.

Dr. Gorazd Karer, predsednik Komisije za nagrade in priznanja KC STV
Rudi Panjtar, direktor KC STV

© Avtorji 2026. CC-BY 4.0

V okviru Dneva meroslovja 2026 v Portorožu obeležili podpis Meterske konvencije leta 1875 v Parizu

Urad RS za meroslovje je 20. 05. v Portorožu organiziral dogodek Dan meroslovja, ko se spominjamo podpisa pomembne mednarodne pogodbe – Meterske konvencije, sklenjene leta 1875 v Parizu.

S podpisom Meterske konvencije je bil postavljen pomemben mejnik naše zgodovine. Takrat je bil ustanovljen Mednarodni urad za uteži in mere v Parizu (BIPM), hkrati pa so bili vzpostavljeni osnovni pogoji za poenotenje merskih enot in mednarodno primerljivost merjenj.

Namen letošnjega dogodka je bilo ozaveščanje javnosti o temeljni vlogi merjenja pri podpori znanosti, industriji in oblikovanju javnih politik. Tema dogodka »Zanesljive meritve so temelj učinkovitih politik« poudarja povezavo med meroslovjem in na dokazih temelječim upravljanjem. Merjenje je temelj informiranega odločanja. Od trgovine in inovacij do javnega zdravja in novih tehnologij zanesljivo merjenje predstavlja dokazno osnovo, na kateri temeljita zdrava politika – in javno zaupanje.

Zanesljivi podatki, utemeljeni na sledljivih in točnih meritvah, so ključni za to, da lahko oblikovalci politik sprejemajo informirane odločitve na področju javnega zdravja, varstva okolja, energetike in gospodarske regulacije. Brez verodostojnega

merjenja politike ne morejo temeljiti na dokazih, javno zaupanje v institucije pa se lahko začne krhati.

Udeležence dogodka je v uvodu nagovoril predsednik Državnega sveta RS Marko Lotrič, ki je med drugim povedal: »Danes se soočamo z izzivi, ki presegaajo meje posameznih držav: digitalizacija, umetna inteligenca, kibernetna varnost, prehod v zeleno energijo, nove tehnologije merjenja in nadzora. Vse to zahteva, da meroslovni sistemi ostanejo zanesljivi, sledljivi in odporni, hkrati pa dovolj prilagodljivi, da sledijo hitremu razvoju. Na nacionalni ravni pa je naša naloga, da te spremembe pravočasno razumemo, jih prenesemo v prakso in zagotovimo, da bodo koristile ljudem, gospodarstvu in družbi kot celoti.«

Dr. Samo Kopač, v. d. direktorja Urada RS za meroslovje, ki v samostojni Sloveniji deluje že 35 let, je v uvodnih besedah povedal: »Letošnji dogodek Dan meroslovja nas je opomnil, da zaupanje v politike ni mogoče brez zaupanja v meritve. Odločanje na podlagi dokazov zahteva stabilen meroslovni sistem,



Skupinska fotografija sodelujočih; Foto: Benjamin Beci (Državni svet)



Sodelujoči na okrogli mizi; Foto: Benjamin Beci (Državni svet)

ki povezuje državo, industrijo, znanost in širšo javnost. Na dogodku smo govorili o tem, kako se spreminjajo meroslovne zahteve, kako se razvija zakonodaja in kako lahko skupaj poskrbimo, da bodo meritve tudi v prihodnje ostale zanesljive temelj zaupanja, varnosti in kakovosti življenja.«

Na dogodku Dan meroslovja 2026 so svoja bogata strokovna znanja s področja meroslovja iz prakse delili strokovnjaki različnih področij:

Dušanka Škrbič, zaposlena na Uradu RS za meroslovje, je predstavila zgodovino Urada ob 35-letnici delovanja. Mag. Roman Flegar, prav tako zaposlen na Uradu RS za meroslovje in prejemnik posebnega priznanja za vodenje delovne skupine pri Mednarodni organizaciji za zakonsko meroslovje (OIML), je predstavil posodobitev mednarodnega priporočila OIML R 91 Merilniki hitrosti, ki določa tehnične in preskusne zahteve za merilnike hitrosti v cestnem prometu. Izr. prof. dr. Tea Zuliani, predstavnica Instituta Jožef Stefan, pa je predstavila aktualno temo s področja meroslovja za varnost hrane v krožnem gospodarstvu – ciljne in presejalne metode za onesnaževala v hrani in embalaži.

Vsi predavatelji so ne glede na področje dela poudarili, da so točna in zanesljiva merjenja del vsakega vidika sodobnega življenja ter so izredno pomembna, saj nam omogočajo sprejemanje premišljenih odločitev, ki vodijo v boljši jutri in ustvarjanje kakovostnejšega življenja za naše naslednje generacije.

V okviru dogodka je potekala tudi okrogla miza z aktualno temo: »Zanesljive meritve so temelj učinkovitih politik.«

V razpravi so sodelovali:

- ▶ mag. Matjaž Čemažar, predsednik uprave Domel Holding, d. d.,
- ▶ mag. David Batič, vodja Sektorja za razvoj in monitoring

trga, Agencija za energijo,

- ▶ Breda Goršek, vodja Sektorja za prost pretok blaga in storitev, Ministrstvo za gospodarstvo, turizem in šport,
- ▶ dr. Samo Kopač, v. d. direktorja Urada RS za meroslovje.

Udeleženci okrogle mize so razpravljali o preslikavi meritev v odločitve v delovnih okoljih in oblikovanju politik na ravni posameznih organizacij in države kot celote. Prav tako so zrl v prihodnost, ki prinaša vedno nove izzive, npr. nove direktive EU, napredne tehnologije, kot sta umetna inteligenca in digitalizacija merilnih podatkov, ki so podpora za bolj informirano, hitrejšo in zanesljivejšo oblikovanje politik.

Sklepne ugotovitve

Dogodek je ponudil priložnost za okrepitev sodelovanja, za izmenjavo izkušenj, pogled v prihodnost in vprašanje, kako lahko meroslovje še naprej krepi zaupanje – zaupanje v meritve, institucije, odločitve in politike, ki oblikujejo naš vsakdan.

Dogodek je ponovno pokazal, da meroslovje povezuje tradicijo, znanje in izkušnje preteklih generacij s tehnološkimi inovacijami in izzivi prihodnosti ter ostaja eden ključnih elementov razvoja sodobne družbe.

Udeleženci so se strinjali, da meroslovje presega tehnične okvire in pomembno prispeva k razumevanju sveta, razvoju tehnologij, skrbi za okolje ter krepitvi zaupanja v družbi. V času hitrih sprememb namreč prav točne, zanesljive in sledljive meritve omogočajo skupno razumevanje realnosti in odgovorno odločanje.

Urad Republike Slovenije za meroslovje

© Avtorji 2026. CC-BY 4.0

17. Industrijski forum IRT – slovenska industrija je konkurenčna

Letošnji že 17. Industrijski forum IRT je v Portorožu zbral vodilne strokovnjake, menedžerje in inženirje slovenske industrije. V ospredju razprav so bili ključni izzivi, s katerimi se sooča domače gospodarstvo v globalni tekmi: od visokih stroškov dela in energentov do nujnosti hitrejše digitalizacije, integracije umetne inteligence in vzgoje prihodnjih tehničnih kadrov.

Ključno sporočilo dvodnevne dogodka je, da je slovenska industrija (lahko) konkurenčna, vsekakor pa bi bilo treba delati v smeri, da taka ostane tudi v prihodnje. Uvodni del Industrijskega foruma IRT je zaznamoval pregled makroekonomskega stanja, ki ga je predstavil Bojan Ivanc, glavni ekonomist GZS. Predelovalne dejavnosti v Sloveniji ustvarijo kar 43 milijard evrov prihodkov letno (22 % BDP) in zagotavljajo 205.000 delovnih mest, kar predstavlja tretjino vseh investicij v zasebnem sektorju. Kljub temu pa se industrija sooča z resnimi strukturnimi izzivi.



Otvoritvena slovesnost 17. Industrijskega foruma IRT

»Prihodnost ni abstraktna, dogaja se v proizvodnih halah,« je poudaril Ivanc. Med glavnimi ovirami je izpostavil pomanjkanje povpraševanja, ostro konkurenco iz Azije, visoko rast stroškov dela (ki v dodani vrednosti dosegajo že 64 %) ter nizke naložbe v raziskave, razvoj in digitalizacijo. Slovenska dodana vrednost na zaposlenega znaša okoli 65.000 evrov, medtem ko nekatere države EU presegajo 120.000 evrov. Za letošnje leto Ivanc napoveduje 1,5-odstotno rast, a opozarja, da bodo morala slovenska podjetja pokazati več drznosti in pospešeno iskati nove tržne niše.

Okrogla miza: Kje in kako je lahko Slovenija konkurenčna?

Osrednji dogodek letošnjega že 17. Industrijskega foruma IRT je bila okrogla miza z naslovom »Izziv konkurenčnosti – ali lahko slovenska pamet premaga globalno maso?« Vodilni predstavniki slovenske industrije in gospodarstva so razpravljali o ključnih orožjih za boj na globalnem trgu: o agilnosti, umetni

inteligenci (UI) in prehodu s prodaje izdelkov na celovite storitve. Ključno sporočilo je jasno – s ceno in količino proti velikom ne moremo konkurirati, lahko pa jih prehitimo z inovativnostjo in drznostjo.

Klemen Benedičič iz orodjarne Domel je poudaril, da je ključ do preživetja slovenske industrije v odmiku od klasične prodaje izdelkov. »Ne prodajamo več le orodja, temveč kupcu prodamo storitev in celovito rešitev. S ceno in količino ne moremo konkurirati globalni masi, odločajo hiter razvoj in ustrezna podpora kupcem,« je dejal Benedičič. Kot odgovor na vprašanje, kako tradicijo povezati z novimi tehnologijami, je izpostavil umetno inteligenco (UI), ki je v orodjarstvu že močno prisotna kot del digitalizacije. Če znamo bogate izkušnje in znanje zaposlenih povezati z UI, se produktivnost drastično poveča. Glavni izziv ostajajo investicije, saj azijski trgi v razvoj vlagajo bistveno hitreje in več.

Produktivnejši od deloholikov, a nujno potrebujemo boljšo davčno politiko

Zanimiv pogled na sodelovanje z azijskimi velikani je ponudil Robert Rošer, vodja proizvodnega centra Hisense Europe. Po njegovem mnenju je družba Gorenje pod kitajskim okriljem znova zaživela, s slovenskim znanjem pa so zgradili tovarno kuhalnikov, ki služi kot zgled celotni skupini. Gorenje tako ostaja glavni kompetenčni center za kuhalno tehniko znotraj družbe Hisense v Evropi.



Okrogla miza

Izpostavil je, da produktivnost dela ni glavna težava Slovenije. Čeprav kitajska proizvodna podjetja delajo v režimu 24/7 in tamkajšnji zaposleni veljajo za izjemne deloholike, Rošer poudarja slovensko učinkovitost: »Upal bi si trditi, da smo na enoto časa bolj produktivni kot Kitajci. Ne odloča namreč to, da si na delovnem mestu 10 ur, ampak kaj takrat narediš.« Svojo ekipo zato nenehno spodbuja k večji prilagodljivosti in drugačnosti. »Nismo dovolj drzni. Potrebujemo 80- do 85-odstotne rešitve takoj, popravljali in spreminjali jih bomo pozneje. Inženirji se pogosto ujamejo v lastno past – narediti 100-odstotni izdelek.« Od recepta za boljšo konkurenčnost izpostavlja tudi vlogo države. Za ohranitev konkurenčnosti Rošer od nove vlade pričakuje boljšo davčno politiko in zaježitev stroškov energije.

Nišna vloga Slovenije in obvladovanje stroškov

Glavni izvršni direktor GZS Mitja Gorenšek je pomiril strahove pred kitajsko prevlado. »Kitajci so ambicioznejši, ker so v drugačni razvojni fazi, medtem ko v zrelih okoljih, ki dosežejo visok standard, ambicioznost naravno nekoliko upade,« je dejal in poudaril, da kljub temu slovenska industrija ostaja nepogrešljiv člen globalnih verig – skoraj ni avtomobila na evropskih cestah brez slovenskih komponent. Gorenšek je kot največje trenutne zapore slovenske konkurenčnosti izpostavil hitro rast stroškov dela: »Dvig minimalne plače za 16,5 % ter dodatni stroški (obvezno zdravstveno zavarovanje, božičnice) so močno udarili podjetja, ki poslujejo na robu.« Medtem ko se bodo cene energentov dolgoročno normalizirale, stroški dela ne bodo (več) upadli, zato gospodarstvo nujno upa na razbremenitev z dohodninsko reformo.

Slovenija kot center za najkompleksnejša zdravila

Gašper Babič, vodja ITOT področja Malih molekul v Novartis, kjer vodi kar 12 proizvodnih lokacij, vidi največjo prednost Slovencev v agilnosti in hitrem sprejemanju umetne inteligence. »Slovinci smo zelo inovativni, hitro se naučimo novih tehnologij in hkrati 'odučimo' starih vzorcev. To moramo izkoristiti in sistematično prenoviti izobraževalni sistem,« meni Babič.

Glede tveganja, da bi Novartis zaradi slabših gospodarskih pogojev zapustil Slovenijo, ostaja optimističen. »UI, robotika in avtomatizacija lahko tečejo kjerkoli, odločal pa bo razvoj novih izdelkov. Ker se vsa najbolj kompleksna zdravila skupine Novartis trenutno proizvajajo prav v Sloveniji, je to naš glavni adut.« Babič je opozoril še na pomen ESG standardov (okoljsko, družbeno in upravljavko delovanje) – čeprav ZDA zelene komponente skoraj nimajo, bo v EU brez izpolnjevanja teh pogojev v prihodnje vedno manj naročil.

Zaključek okrogle mize je bil pomenljiv: slovenska pamet lahko premaga globalno maso, vendar le pod pogojem, da država zagotovi spodbudno in konkurenčno davčno okolje, podjetja pa v tekmo vstopijo z večjo mero drznosti, hitrejšimi investicijami v UI ter ponudbo celostnih rešitev z visoko dodano vrednostjo.

Nagrada TARAS: Inovacija za podatkovne centre prihodnosti

Prestizžno nagrado TARAS, ki nagraduje najuspešnejše sodelovanje med gospodarstvom in raziskovalno-razvojno sfero, sta

prejela podjetje Danfoss Trata in Laboratorij za fluidno tehniko Fakultete za strojništvo Univerze v Ljubljani. Danfoss Trata je za namen hlajenja vročih komponent v strešniških omarah podatkovnih centrov razvil izdelek CoolTrain, ki zagotavlja konstanten pretok hladilnega medija, hidravlično uravnoteženje sistema ter tlačno neodvisno regulacijo pretoka, hkrati pa omogoča integracijo brez potrebe po vzdrževanju. Ključni pogoj za nemoteno delovanje sistema pa je izjemno visoka stopnja čistosti hladilnega medija (glikola). Ker tehnične zahtevnosti in pogojev za kontrolo čistoče komponent ni bilo mogoče doseči z napravami, ki so trenutno na trgu, se je podjetje povezalo z ekipo Laboratorija za fluidno tehniko FS UL. Fakulteta je najprej izdelala podroben pregled obstoječih rešitev industrijskih čistilnih naprav, nato pa so skupaj razvili povsem novo, inovativno čistilno napravo. Ekipa s fakultete je projekt izpeljala v celoti na ključ – od začetnega razvoja do končne validacije in same izdelave. Rešitev je bila razvita v izjemno kratkem času (11 mesecev) in je takoj postala tržni uspeh.



Utrinek s podelitve nagrade TARAS

Vzgoja kadrov: »Ne ubijajmo radovednosti otrok!«

Izjemno odmevno predavanje je imela Nuša Bremec iz podjetja MAHLE Electric Drives Bovec, nominiranka za Inženirko leta 2025. Predstavila je svoj projekt ra.stem in tehnični krožek v Bovcu, kjer otroke uči programiranja krmilnikov, spajkanja in izdelave robotov. Opozorila je na zastarelost šolskega sistema (nekateri učbeniki so še iz leta 1997) in pozvala stroko ter starše k spremembi miselnosti: »Imamo otroke v vati. Dajte jim računalnike in tehnične izzive, dovolite jim raziskovati. Ne ubijajmo radovednosti otrokom, svet gre naprej, nismo več v Avstro-Ogrski.«

Po njenem mnenju morajo šole z naravoslovnimi dnevi in najrazličnejšimi krožki ponuditi več možnosti za pravo raziskovanje. Predlagala je predvsem več posluha za interese otrok. »Zapomnite si eno stvar: pojdite kdaj nazaj v osnovno šolo in se globoko zamislite nad tem, kaj in kako učimo otroke. Ne ubijajmo njihove naravne radovednosti,« je bil njen zaključni poziv zbranim inženirjem in gospodarstvenikom v Portorožu.

Tehnološki trendi in kibernetska varnost

Udeleženci so se seznanili tudi z globalnimi premiki na področju robotike. Sponzor foruma, podjetje ABB (predstavnik Robert Logar), je razkril pomembno novico, da je ABB svojo robotiko odcepil v ločeno podjetje, ki ga je globalno prevzela japonska skupina Softbank. Ta premik prinaša ogromen pospešek naložbam v razvoj s poudarkom na fizični umetni inteligenci (fizični AI), ki velja za ključni člen do realizacije splošne umetne inteligence (ASI).

Popoldanski del foruma je bil v znamenju kibernetske varnosti v industriji. Strokovnjaki iz podjetja Smart Com (Peter Ceferin, Kristina Ober, Igor Mlakar, Žiga Perko) so s praktičnimi primeri v sodelovanju s podjetjema TKI Hrastnik in Alpacem Cement predstavili nujnost gradnje odpornih industrijskih omrežij, izvajanja varnostnih pregledov ter usklajevanja poslovanja z Zakonom o informacijski varnosti (ZInfV-1).

Od napredne robotike do digitalnih dvojčkov in umetne inteligence

Drugi dan 17. Industrijskega foruma IRT je prinesel izjemno dinamičen in strokovno bogat program, razdeljen na več vzporednih sekcij. Predavanja so bila usmerjena v praktične rešitve za digitalizacijo, avtomatizacijo in optimizacijo proizvodnih procesov s poudarkom na prenosu znanja med razvojnimi centri, fakultetami in industrijo.

Podjetja so predstavila visokotehnološke rešitve, kot so ro-

botske celice za čiščenje in barvanje peščenih jeder (Yaskawa), avtomatizirane livarske celice z izjemno zapiralno silo (LTH Castings) ter robotsko šokiranje izdelkov (Kolektor Mobility). Podjetje ABB je predstavilo koncept AVR (Autonomous Versatile Robotics), vprašanje optimizacije notranje logistike s pomočjo avtonomnih vodenih vozil (AGV in AMR) pa je s primeri iz avtomobilske industrije (Škoda, Toyota) osvetlilo podjetje ServisControl.

Pomemben del programa je bil posvečen prehodu v krožno gospodarstvo. Podjetje BSH Hišni aparati Nazarje je predstavilo uvajanje alternativnih polimerov v serijsko proizvodnjo. Fakulteta za tehnologijo polimerov pa je z različnimi partnerji predstavila napredne študije o izboljšanju lastnosti mehansko recikliranega materiala PA66 in ojačitvi recikliranega PETG z odpadnimi duroplasti.

Organizatorji so se ob zaključku zahvalili vsem predavateljem, pokroviteljem (z družbama ABB in Fanuc na čelu) ter številnim udeležencem, ki so s svojo prisotnostjo in plodnimi razpravami soustvarili vrhunski utrip dogodka. Industrijski forum IRT ostaja ključna platforma za prenos znanja iz teorije v proizvodne hale, kjer se dejansko kuje naša prihodnost.

Zgodba o uspehu, inovacijah in povezovanju slovenske industrije se bo nadaljevala. Organizatorji vas zato že zdaj toplo vabijo, da se ponovno zberemo, izmenjamo nove izkušnje in začrtamo prihodnje smernice na 18. Industrijskem forumu IRT prihodnje leto – v Portorožu se spet zberemo 7. in 8. junija 2027!

Miran Varga, IRT3000

© Avtorji 2026. CC-BY 4.0



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
- vsak novi naročnik prejme majico in ovratni trak



ZA SAMO 20€ DOBITE:

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



Revija v hrvaškem jeziku

DIGITALNA NAROČNINA



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

BUTIK IRT3000



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

NAROČITE SE!



051 322 442



info@irt3000.si



www.irt3000.si/narocilo-revije

WWW.IRT3000.COM



Machinery Oil Filtration Specialist

- **Electrostatic Varnish removal systems**
- **Oil condition monitoring & varnish testing equipment**
- **Depth filtration systems for Hydraulik, Lubricating & Motor oil systems**
- **Oil and equipment cleaning services**
- **Rental of filtration & varnish system equipment**
- **Air Conditioners for Hydraulik & Lubricationg systems**

«KLEENTEK

fluitec

DC
DES-CASE

DC
R M F
SYSTEMS
A Des-Case Brand

INTRIBO

• **www.majeric.eu** • **+386 41 896 662** • **info@majeric.eu**

Powered by STORMIA D.O.O.

Mentor, ki vzgaja zmagovalce

Višji predavatelj dr. Igor Petrović o mentorstvu, zaupanju in tem, zakaj največji uspeh ekipe Edvard Rusjan niso letala, temveč ljudje

Helena Grahek

Ko študentska ekipa Edvard Rusjan Fakultete za strojništvo Univerze v Ljubljani na mednarodnem tekmovanju Design/Build/Fly poseže po najvišjih mestih, večina vidi predvsem vrhunsko letalo in odličen rezultat. Za tem uspehom pa stojijo meseci načrtovanja, analiz, testiranja, neuspešnih poskusov in neštete ure prostovoljnega dela, ki jih gledalci praviloma ne vidijo. Za vsakim uspešnim letalom stojijo tudi mentorji. Njihova vloga presega strokovno usmerjanje. Ustvarjajo okolje, v katerem študenti prevzemajo odgovornost, razvijajo samozavest in se učijo razmišljati kot inženirji.



Dr. Igor Petrović – koncentracija med pripravi na tekmovalni let Brvinca

Ekipo že četrto leto kot mentor spremlja višji predavatelj dr. Igor Petrović. Z njim smo se pogovarjali o tem, kako nastaja zmagovalno letalo, zakaj so napake nepogrešljiv del razvojnega procesa in kaj študenti iz takšnega projekta pridobijo za vse življenje.

Ob pogovoru hitro postane jasno, da ta zgodba ni le zgodba o letalih, temveč predvsem o ljudeh – o mladih, ki se skozi razvoj, napake in uspehe učijo razmišljati kot inženirji. Zato največji uspeh ekipe Edvard Rusjan niso pokali ali uvrstitve, temveč generacije diplomantov, ki znanje, pridobljeno pri projektu, danes prenašajo v podjetja, raziskovalne laboratorije in nove tehnološke zgodbe.

Ekipa Edvard Rusjan

Študentska ekipa Fakultete za strojništvo UL na tekmovanju Design/Build/Fly sodeluje od leta 2008. Vsako leto razvije novo brezpilotno letalo, ki ga predstavi na enem najuglednejših mednarodnih letalskih študentskih tekmovanj. Projekt povezuje študente različnih področij, ki z razvojem, izdelavo in testiranjem pridobivajo izkušnje, ki jih predavalnica ne more ponuditi.

Ventil: Ekipa Edvard Rusjan že vrsto let sodi med najboljše na svetu. Kaj vam kot mentorju pomeni, da ste del te zgodbe?

Igor Petrović: Ko sem leta 2022 prevzel mentorsko vlogo, sem vedel, da prihajam v ekipo z bogato tradicijo in visokimi pričakovanji. Študentska ekipa Edvard Rusjan na tekmovanju Design/Build/Fly neprekinjeno sodeluje že od leta 2008. V tem času so številne generacije študentov in mentorjev skupaj ustvarjale ugled, ki ga ekipa uživa danes.

Največjo vrednost vidim prav v tej kontinuiteti. Vsaka nova generacija prinese svoje ideje, energijo in znanje, hkrati pa gradi na izkušnjah svojih predhodnikov. To je ena največjih prednosti ekipe.

Pretekli uspehi nam dajejo samozavest, obenem pa nas opominjajo, da rezultat nikoli ni samoumeven. Na tekmovanju ne odloča samo dobra ideja ali kakovostna tehnična rešitev. Pomembni so tudi vreme, čas, usklajevanje projekta s študijskimi obveznostmi in številni dejavniki, na katere nimamo vpliva.

Posebej sem ponosen, da naši rezultati potrjujejo, da lahko študenti Univerze v Ljubljani razvijajo znanje in kompetence



Mentor zmagovalne ekipe DBF, višji predavatelj dr. Igor Petrović, na slavnostnem sprejemu na Fakulteti za strojništvo UL

na ravni najboljših svetovnih inženirskih univerz. To je priznanje študentom, mentorjem in celotni fakulteti. Ob takšnih trenutkih pa se vedno znova spomnim tudi prvega uspešnega poleta. Ko prvič vidiš veselje študentov, ko po več mesecih dela letalo uspešno vzleti, je občutek težko opisati.

Ventil: Brvinc ni samo letalo, ampak zgodba o ideji, ki jo je bilo treba prevesti v delujoč stroj. Katere rešitve so letos najbolj prispevale k uspehu?

Igor Petrović: Čeprav je na koncu najbolj opazno letalo, je letošnji rezultat predvsem posledica dobro organiziranega razvojnega procesa. Ključni dejavniki so bili jasna organizacija ekipe, premišljena časovnica in izjemna predanost vseh članov. Ekipa je bila razdeljena na posamezna področja – od aerodinamike, konstrukcije in pogona do elektronike, izdelave, simulacij ter financ in odnosov z javnostmi. Vsaka skupina je reševala svoje izzive, hkrati pa smo na rednih sestankih usklajevali odločitve, saj sprememba na enem področju skoraj vedno vpliva tudi na druga. Veliko časa smo namenili modeliranju in eksperimentalni potrditvi rešitev. Šele ko smo z meritvami potrdili, da naši modeli zanesljivo napovedujejo obnašanje letala, smo sprejeli ključne konstrukcijske odločitve. Poseben izziv je letos predstavljala naloga z vleko zastave. Poleg optimizacije aerodinamike in pogonskega sklopa smo raziskovali vpliv različnih materialov in dolžin zastave na vodljivost ter doseg letala. Del testiranja smo zato izvedli tudi v večjih vetrovnikih zunaj fakul-

tete, pri čemer so nam pomembno pomagali slovenski industrijski partnerji. Takšno sodelovanje študentom omogoča dragocen stik z gospodarstvom že med študijem. Na koncu pa o uspehu ne odločajo le dobra zasnova, kakovostno poročilo ali izdelava letala. Pomembni so tudi natančno izvedeni testni leti, usklajeno delo celotne ekipe in predvsem ogromno prostovoljnega dela, ki ga študenti vložijo skozi vse leto.

Ventil: Projekt združuje aerodinamiko, konstrukcijo, elektroniko, optimizacijo mase ... Kako študenti v tej »inženirski džungli« najdejo skupni jezik in iz teorije ustvarijo nekaj, kar dejansko poleti – in zmaga?

Igor Petrović: Ključ je v sistematičnem inženirskem pristopu. Čeprav se tekmovalna naloga vsako leto spremeni, razvojni proces ostaja podoben. Najprej sledita analiza pravil in določitev osnovnega koncepta, nato testiranja in preverjanje rešitev, zatem podrobna zasnova, izdelava letala ter preizkušanje v realnih razmerah. Vsak korak pomeni prenos teoretičnega znanja v prakso. Prav pri takšnem projektu študenti prvič zares občutijo, kako kompleksno je razviti izdelek, ki mora delovati tudi zunaj laboratorija. Na papirju je mogoče marsikaj, v praksi pa je treba sprejeti številne kompromise in vsako odločitev tudi preveriti. Pomembno vlogo imajo izkušnje starejših članov ekipe, mentorjev in strokovnjakov z različnih področij. Lani smo razvoj letala prvič predstavili tudi zainteresirani strokovni javnosti ter pridobili dragocene komentarje raziskoval-



Zadnje priprave za izboljšanje rezultata Brvinca pri nalogi na tleh, ki nam je zagotovila končno 1. mesto



Merjenje lokacije oslonilne točke v laboratorijskem poskusu z industrijsko konopljo, za izdelavo digitalnega modela polja



Letenje z brezpilotnim letalnikom nad poljem koruze, za izdelavo modela polja

cev in predstavnikov industrije, ki so pomembno prispevali k izboljšanju končne rešitve.

Velika prednost ekipe je tudi njena interdisciplinarnost. Poleg študentov strojništva sodelujejo še študenti drugih fakultet Univerze v Ljubljani, ki prispevajo znanje s svojih področij. Prav povezovanje različnih strok je ena največjih prednosti sodobnega inženirstva.

Ventil: Poročilo pri tem tekmovanju ni zgolj formalnost, ampak pomemben del končne ocene. Kako študente naučite razmišljati kot inženirji – da svoje odločitve ne le sprejemajo, ampak jih znajo tudi strokovno utemeljiti?

Igor Petrović: Poročilo je v marsičem primerljivo z raziskovalnim člankom ali diplomskim delom. Ni dovolj predstaviti končne rešitve – pokazati je treba tudi pot do nje in argumentirati, zakaj je bila izbrana prav ta. Vsaka skupina pripravi svoj del poročila, v katerem predstavi uporabljene metode, rezultate analiz in razloge za sprejete odločitve. Posebej pomembno se mi zdi, da študenti opišejo tudi dileme in kompromise, saj prav ti predstavljajo bistvo inženirskega dela. Dobra rešitev namreč skoraj nikoli ni najboljša z vseh vidikov hkrati. Na pripravljeno poročilo podam pripombe in predloge za izboljšave, končna odločitev pa ostane v rokah študentov. Tako prevzamejo odgovornost za svoje delo in se naučijo svoje odločitve tudi argumentirano zagovarjati. Ker je poročilo omejeno na 60 strani, se naučijo še ene pomembne veščine – jasno in jedrnatost predstaviti bistvo. Prav sposobnost ločiti pomembno od manj pomembnega je ena ključnih kompetenc vsakega inženirja. Po koncu tekmovanja zelo podrobno analiziramo komentarje ocenjevalcev AIAA. Čeprav so si včasih tudi nasprotujoči, predstavljajo dragoceno povratno informacijo, ki jo vključimo v razvoj in pripravo poročila za naslednje leto.



Dober inženir ni tisti, ki zna izračunati rešitev, ampak tisti, ki zna pojasniti, zakaj je izbral prav to rešitev.

Ventil: Ekipe deluje skoraj kot start-up: omejen proračun, ogromno dela in jasen cilj. Kje kot mentor postavite mejo med tem, da študente usmerjate, in tem, da jim pustite, da sami poiščejo rešitve?

Igor Petrović: Vsak mentor razvije svoj način dela. Sam verjamem, da je moja naloga predvsem prenos znanja in usmerjanje pri pomembnih strokovnih dilemah. Letalo pa mora biti na koncu rezultat dela študentov. Največkrat se vključim takrat, ko ekipa obravnava zahtevnejše strokovne izzive. Na sestankih skušam predvsem razumeti njihov način razmišljanja. Namesto da bi ponujal hitre odgovore, raje postavljam vprašanja, opozorim na dejavnike, ki jih morda še niso upoštevali, ali priporočim literaturo, ki jim lahko pomaga do rešitve. Tudi mentor se pri raziskovanju pogosto znajde pred vprašanji, na katera ni enostavnega odgovora. Prav zato skušam študente voditi predvsem z vprašanji in ne z gotovimi rešitvami. Verjamem, da največ znanja pridobimo takrat, ko do rešitve pridemo sami. Večina članov ekipe po koncu študija sicer ne bo več razvijala tekmovalnih letal. Zagotovo pa bodo pri svojem delu reševali kompleksne in neznane probleme. Prav sposobnost sistematičnega razmišljanja in iskanja rešitev je po mojem mnenju največja vrednost takšnih projektov.

Ventil: Na sprejemu ekipe je bil nagovor vodje Jakoba Erhartiča zelo oseben in ganljiv. Kako sami doživljate svojo mentorsko vlogo – ne le pri prenosu znanja, ampak tudi pri oblikovanju mladih inženirjev?

Igor Petrović: Prav želja po poučevanju in raziskovanju je bila eden glavnih razlogov, da sem ostal na fakulteti. Veliko zadovoljstvo mi predstavlja, če lahko svoje znanje in izkušnje prenesem na mlajše generacije ter jim pomagam pri njihovem strokovnem in osebnem razvoju. Pogosto razmišljam tudi o svojih študijskih letih – kaj me je kot študenta najbolj spodbudilo, kaj mi je pomagalo napredovati in kaj bi danes naredil drugače. Dobre prakse skušam ohraniti, manj dobre pa izboljšati. Pomembno ogledalo našega dela so tudi povratne informacije študentov. Poleg številčnih ocen v študentskih anketah so pogosto prav njihovi komentarji tisti, ki ponudijo najbolj dragocene usmeritve za izboljšanje pedagoškega pristopa. Največje zadovoljstvo pa ni dobra uvrstitev na tekmovanju.

Najlepši trenutki so tisti, ko vidiš študenta, ki je pred nekaj leti nekoliko negotovo vstopil v ekipo, danes pa samozavestno vodi razvoj pomembnega dela letala ali svoje znanje prenaša mlajšim kolegom. Takrat veš, da projekt ni ustvaril le dobrega letala, ampak tudi dobrega inženirja.



Največje zadovoljstvo ni dobra uvrstitev na tekmovanju. Najlepši trenutki so tisti, ko vidiš študenta, ki je pred nekaj leti negotovo vstopil v ekipo, danes pa samozavestno vodi razvoj pomembnega dela letala.

Ventil: Če bi morali izpostaviti eno stvar, ki jo študenti pridobijo s takšnim projektom – nekaj, kar presega tehnično znanje – kaj bi to bilo?

Igor Petrović: Predvsem način razmišljanja. Tehnično znanje, ki ga uporabijo pri razvoju tekmovalnega letala, bodo pozneje verjetno uporabljali na drugih področjih. Način reševanja problemov pa ostane. Naučijo se, da je tudi na videz nerešljiv izziv mogoče razdeliti na manjše, obvladljive korake, preveriti predpostavke, analizirati rezultate in na podlagi podatkov sprejeti najboljšo odločitev. Ob tem spoznajo še nekaj zelo pomembnega – razvoj skoraj nikoli ne poteka brez napak. Neuspešni poskusi niso poraz, ampak del procesa. Ključno je, da jih znamo analizirati, razumeti in pridobljene izkušnje uporabiti pri naslednjem koraku. Če študent po koncu projekta ne osvoji le znanja o letalih, ampak predvsem samozavest, da zna reševati tudi najzahtevnejše inženirske izzive, potem je projekt dosegel svoj namen.

Ko letalo ekipe Edvard Rusjan vzleti, je njegov polet videti le nekaj minut. Znanje, samozavest in izkušnje, ki jih študenti pridobijo med njegovim nastajanjem, pa ostanejo z njimi za vse življenje. Prav v tem je največja vrednost takšnega projekta – in največji uspeh mentorjev, ki ga soustvarjajo.

Helena Grahek, Univerza v Ljubljani,
Fakulteta za strojništvo

© Avtorji 2026. CC-BY 4.0

FLUIDNA TEHNIKA • NAPREDNO INŽENIRSTVO IN TEHNOLOGIJE
VENTIL

dnevi STROJNIŠTVA

Tehniški muzej Slovenije
22. – 27. september 2026



Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo
Aškerčeva cesta 6, 1000 Ljubljana

www.fs.uni-lj.si

Predsednik vlade RS Janez Janša obiskal Institut "Jožef Stefan"

21. julija 2026 je Institut "Jožef Stefan" obiskal predsednik vlade Republike Slovenije g. Janez Janša. V ospredju pogovorov z direktorjem Instituta prof. dr. Leonom Cizljem so bili vloga znanosti in raziskav pri razvoju Slovenije, pomen dolgoročnih vlaganj v raziskovalno infrastrukturo in vrhunske kadre ter možnosti za še tesnejše sodelovanje med državo in največjo slovensko znanstvenoraziskovalno ustanovo. Predsednik vlade g. Janez Janša si je ob obisku ogledal tudi raziskovalni reaktor TRIGA.

Danes je Institut "Jožef Stefan" obiskal predsednik vlade Republike Slovenije g. Janez Janša. V ospredju pogovorov z direktorjem instituta prof. dr. Leonom Cizljem so bili vloga znanosti in raziskav pri razvoju Slovenije, pomen dolgoročnih vlaganj v raziskovalno infrastrukturo in vrhunske kadre ter področja, na katerih bi institut lahko še intenzivneje sodeloval z državo: energetika, umetna inteligenca ter družbena odpornost, povezana z zdravjem, okoljem, hrano, kritičnimi materiali in obrambo.

Prof. dr. Leon Cizelj z ekipo je predstavil najpomembnejše dosežke na ključnih raziskovalnih področjih instituta: od fizike in reaktorske tehnike, elektronike in informacijskih tehnologij, kemije, biokemije, materialov in okolja. Še posebej je bil izpostavljen raziskovalni reaktor TRIGA, ki letos obeležuje 60 let delovanja. Na srečanju so predsedniku vlade predstavili tudi vizijo in načrte za novi raziskovalni reaktor in njegov pomen pri izobraževanju novih generacij jedrskih strokovnjakov, podpori projektu JEK2 ter aktualni jedrski elektrarni, raziskavah materialov, proizvodnji radioizotopov ter podpori mednarodnim projektom in sodelovanju z vodilnimi raziskovalnimi ustanovami po svetu.

»Brez vas ni slovenske znanosti,« je na srečanju poudaril predsednik vlade Janez Janša. »Vlada podpira prizadevanja Instituta 'Jožef Stefan' pri načrtovanju investicij v strateško raziskovalno infrastrukturo.«



Predsednik vlade RS, Janez Janša in dr. Leon Cizelj, direktor Instituta "Jožef Stefan"



»Na Institutu 'Jožef Stefan' verjamemo, da vrhunska znanost in raziskovanje ustvarjata največjo vrednost takrat, ko ju uspešno povezujemo s potrebami družbe in gospodarstva. Znanje in izkušnje ter raziskovalna odličnost IJS lahko Sloveniji pomagajo na področju energetike, umetne inteligence in digitalizacije ter na področjih, ki so ključna za večjo družbeno odpornost. Za to pa potrebujemo dolgoročno razvojno vizijo, stabilno podporo raziskavam in tesno sodelovanje države, znanosti ter gospodarstva,« je povedal prof. dr. Leon Cizelj.

Pogovor je tekел tudi o pomenu vlaganj v raziskovalno infrastrukturo, prenosu znanja v gospodarstvo ter vlogi vrhunske znanosti pri krepitvi tehnološke

suverenosti in konkurenčnosti Slovenije v evropskem in globalnem prostoru.

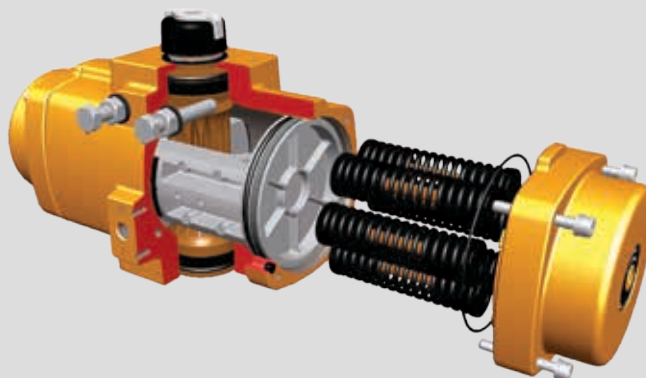
www.ijs.si

© Avtorji 2026. CC-BY 4.0





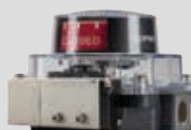
EL Matic™



BETTIS™



FISHER®



Dantorque

HYTORK®

Shafer®

ppt commerce

HIDRAVLIKA IN PROCESNA TEHNIKA
PRODAJA • PROJEKTIRANJE • SERVIS

PPT commerce, d.o.o.

Celovška cesta 334, 1210 Ljubljana – Šentvid

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

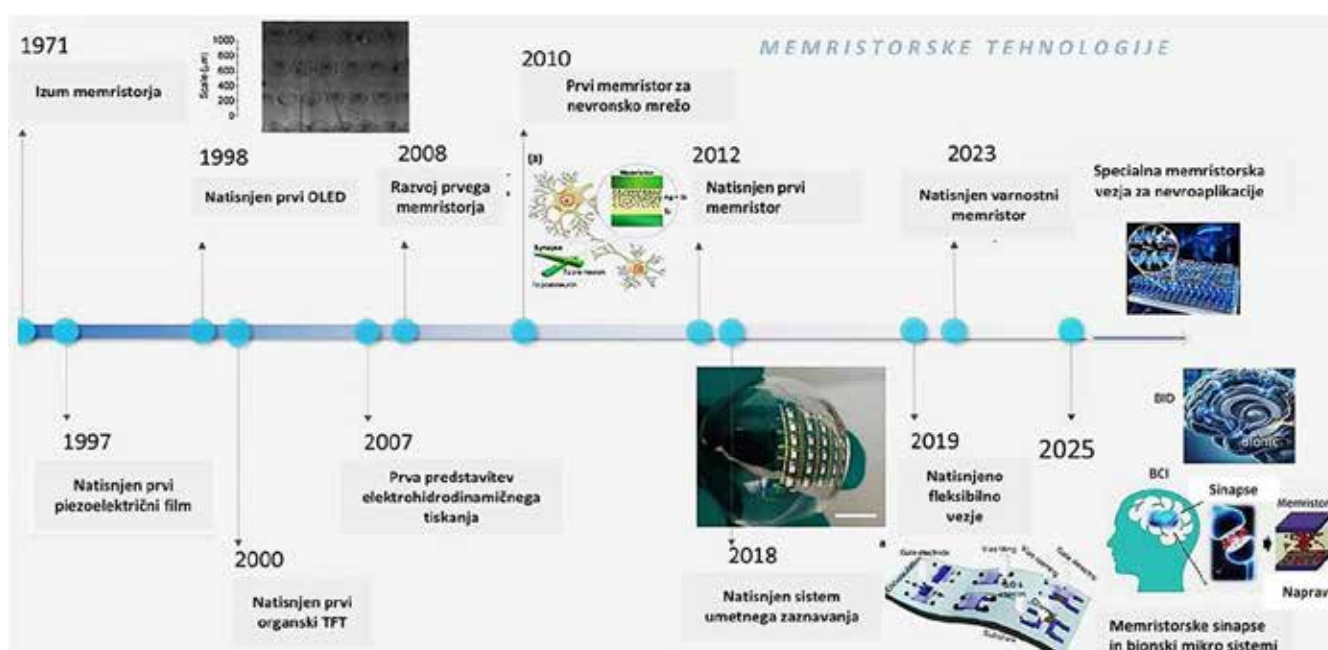
e-mail: info@ppt-commerce.si

www.ppt-commerce.si

Memristorji za revolucionarno tehnološko prihodnost

Janez Škrlec

Izzivi na področju memristorjev in memristorskih vezij so vse večji. Memristor je četrti temeljni element v elektrotehniki (poleg upora, kondenzatorja in tuljave). Odkrit je bil pozno, šele leta 1971. Izraz memristor izhaja iz angleške besede (memory resistor) in predstavlja upor s spominom oz. pomnilniški upor. Leta 2008 je skupina iz laboratorijev HP objavila, da bo začela razvijati preklopni memristor, že leta 2011 je najavila tudi komercialno razpoložljivo tehnologijo.



Grafični prikaz razvoja memristorjev skozi čas in skozi aplikativnost memristorskih vezij. (Memristor ali ang. Memory resistor) je četrti element v elektrotehniki. Pri nas ga imenujemo polnilniški upor ali upor s spominom. Grafiko pripravil, Janez Škrlec

Leta 2012 pa je skupina raziskovalcev iz laboratorijev HRL in univerze iz Michigana najavila prvo delujoče memristorsko vezje, uporabno v nevromorfni arhitekturi. Od tu naprej se je začel revolucionarni razvoj različnih memristorjev, ki vzdržujejo uporovno stanje na podlagi preteklega toka. Memristorji so glede na zasnovo razvrščeni v več vrst: kot molekularni in ionski tankoplastni, spinski in magnetni memristorji, optični in tudi kot biomemristorji. Memristorji so odvisni od lastnosti materialov, uporabljajo se tudi polimerni materiali. Memristorji imajo številne odlične lastnosti: v obliki vezij porabijo ekstremno malo energije, skoraj ne ustvarjajo toplote, imajo visoko shranjevalno zmogljivost in hitrost. Uporabljajo se v

različnih aplikacijah, v digitalnih pomnilnikih, logičnih vezjih, bioloških in nevromorfni sistemih in drugje. Njihova uporaba bo zelo široka v bioniki, nevronskih mrežah, analogni elektroniki, v programirni logiki in obdelavi signalov. Memristorska vezja imajo sposobnost shranjevanja analognih in digitalnih podatkov na enostaven in energetsko učinkovit način.

Uporaba memristorjev in memristorskih vezij izjemno pomembna v bioniki

Uporaba memristivnih naprav na področju bionike je vedno bolj razširjena, saj imajo hitro delovanje, preprosto strukturo in visoko gostoto, kar jim omogoča učinkovito posnemanje funkcij zaznavanja, spomina in računanja. Danes poznamo tudi integracijo digitalnih memristorjev v senzorskih sistemih preko tankoplastnih ali mikro/nano naprav. Izjemen tehnološki dosežek pomenijo tudi bionični senzorski sistemi, ki temeljijo na memristorjih, vključno z umetnimi sinapsami in

Janez Škrlec, inž., Razvojno raziskovalna dejavnost, Zgornja Poljskava

© Avtorji 2026. CC-BY 4.0

nevromorfnim računalništvom. V zadnjem času postajajo sistemi vse kompleksnejši, vključno z umetnim vidom, vohalnim in okušalnim sistemom za spremljanje zdravja. Novi memristorski senzorski sistemi predstavljajo najsodobnejšo paradigmo, kjer je senzorična strojna oprema neposredno povezana s pomnilnikom in v mnogih primerih z nevromorfno obdelavo. Z združevanjem sposobnosti zaznavanja okoljskih dražljajev (sila, svetloba, plin, vlaga, toplota ...) je omogočeno memristorsko shranjevanje podatkov in posnemanje sinaptičnih vedenj. Ti sistemi integrirajo računalniške procese neposredno v senzorjih, kar ima za posledico takojšnjo obdelavo podatkov na mestu zaznavanja. Seveda pa so memristorske tehnologije uspešno integrirane v vedno bolj napredne bionične sisteme. V nevromorfnem računalništvu memristorji ponujajo možnost gradnje vezij, ki posnemajo vzporedne računske zmogljivosti človeških možganov. Ta potencialni preboj vodi do pomembnega napredka na področju umetne inteligence, kar bo omogočilo učinkovitejšo in energetsko varčnejšo obdelavo podatkov in procesov v primerjavi s tradicionalnimi mikroprocesorji.

Bionični sistemi z uporabo memristorskih tehnologij dosegajo pomembne tehnološke preboje

Bionična imitacija človeškega živčnega sistema vključuje ustvarjanje umetnih biohibridnih sistemov, ki posnemajo strukturo, delovanje in signalne mehanizme bioloških živcev in sinaps, da bi tako obnovili ali izboljšali človeške senzorično-motorične sposobnosti. To vrhunsko področje danes združuje bioniko, nevroinženiring, znanost o materialih in umetno inteligenco. Razvoj je usmerjen v vzpostavitev dvo-smerne komunikacije med človeškim živčnim sistemom in robotskimi napravami. Bionične memristorske platforme se v zadnjem času pojavljajo tudi kot temeljna tehnologija v nevromorfnem računalništvu, ki premošča vrzel med konvencionalno elektroniko in biološkimi sistemi. V kontekstu tega se izpostavlja tudi umetni vid, ki je ključnega pomena za večino aplikacij umetne inteligence. Konvencionalni sistemi umetnega vida se namreč soočajo z izzivi pri obdelavi informacij v realnem času zaradi fizične ločitve senzorjev, pomnilnikov

in procesorjev, kar povzroča nastanek velike količine redundantnih podatkov, pa tudi pretvorbo in prenos podatkov med temi tremi komponentami, ki porabijo večino časa in energije. Danes se srečamo tudi z optoelektronskimi memristorji in njihovo zmožnostjo realizacije integriranega senzorsko-računalniškega pomnilnika. Memristorska vezja hitro napredujejo od akademskih raziskav do industrijskih aplikacij in služijo kot ključna tehnologija za visoko učinkovite pospeševalnike umetne inteligence. Napredek inteligentnih sistemov zahteva učinkovite računalniške arhitekture in učinkovito simulacijo biomimetičnih funkcij za izboljšanje splošne inteligence. Strokovnjaki na osnovi razvoja memristorskih vezij razvijajo napredne koncepte samozavedanja, gre za obliko bionično prilagodljivih mehanizmov učenja. Memristorji služijo v tem primeru kot temeljne enote v vezju in omogočajo simulacijo funkcij, podobnih biološkim nevronom in sinapsam. Pomagajo pri izvajanju ključnih funkcij, kot so filtriranje informacij, integracija in sinaptična plastičnost s pomočjo jedrnih struktur vezij in učinkovitih računalniških metod. Vloga bionike v uporabi in razvoju memristorskih vezij je izjemno pomembna tako pri doseganju naprednih kognitivnih sposobnosti, krmljenja umetnih bionskih okončin, nevroprotektiki, implantabilnih vsadkih, umetnih organih, sistemih za izboljšanje sluha, vida in vmesnikov možgani-računalnik (BCI). Med te tehnologije sodijo tudi bionski programabilni vsadki, ki se vgrajujejo v človeško telo. Gre za senzorične, mehanske in električne komponente za nadomestitev, obnovitev ali izboljšanje bioloških funkcij. Bionski programabilni vsadki pa zagotavljajo terapevtske posege, nevrostimulacije, ciljno doziranje zdravilnih učinkovin v obolele celice ali tkiva. Pomemben dosežek je v zadnjem času tudi preboj na področju biomemristorjev, ki uporabljajo organske, biološko pridobljene materiale za posnemanje sinaptičnih in nevronskih funkcij ter omogočajo neposredno povezovanje z živimi celicami za visoko učinkovito nevromorfno računalništvo in biorazgradljivo elektroniko. Bionski sistemi z memristorji integrirajo biološko navdihnjene elektronske komponente, da bi posnemali človeški živčni sistem. Te arhitekture se odlikujejo po izjemni energetski učinkovitosti, senzorični obdelavi in računalništvu v pomnilniku, kar utira pot naprednim nevronskim protetikam, robotiki in vmesnikom med možgani in strojem.

POSVET

AVTOMATIZACIJA STREGE IN MONTAŽE 2026 - ASM '26

03. decembra 2026

na Gospodarski zbornici Slovenije v Ljubljani



SCAN ME

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

Tovarne prihodnosti se preusmerjajo k modelu »človek v zanki«

Janez Škrlec

Kako tovarne prihodnosti revolucionirajo proizvodnjo: »človek v zanki« je operativni model, kjer sistemi umetne inteligence in človeški delavci sodelujejo pri nalogah v proizvodnji.



Fotografija: umetna inteligenca

Namesto popolne avtomatizacije pametna proizvodnja združuje človeško presojo s strojno inteligenco za boljšo varnost, prilagodljivost in kompleksno odločanje. V modelu »človek v zanki« (Human in the Loop) se delovna sila iz ročnih operaterjev spreminja v kognitivne nadzornike.

Tovarne prihodnosti predstavljajo konvergenco naprednih tehnologij za ustvarjanje visoko avtomatiziranih, inteligentnih in trajnostnih proizvodnih sistemov. Dve glavni ogrodtji, ki spodbujata ta razvoj, sta konvergenca NBIC in tehnologije

DARQ. Oboje preoblikuje načrt brezpilotne proizvodnje v zaprtih prostorih. Govorimo tudi o »temnih tovarnah«, ki delujejo 24 ur na dan, 7 dni v tednu.

Konvergenca NBIC v proizvodnji združuje nano-, bio-, informacijske in kognitivne znanosti. V sodobni proizvodnji te tehnologije že brišejo mejo med fizičnim in biološkim stvarjanjem ter optimizirajo celoten industrijski življenjski cikel. Nanotehnologija že omogoča proizvodnjo mikrokomponent in nanomaterialov z brezhibno natančnostjo, integrirano v pametne dobavne verige. Biotehnologija v sektorjih, kot sta biofarmacija in sintezna biologija, se pri proizvodnji zanaša na sterilne, robotske procese. Pomembno vlogo v konvergenčnih tehnologijah dobivata tudi bionika in biomimetika. Informacijska tehnologija se osredotoča na omrežja velikih podatkov in interneta stvari ter zagotavlja stalno spremljanje v realnem času in prilagodljive odzive na povpraševanje trga. Kognitivna

Janez Škrlec, inž., Razvojno raziskovalna dejavnost, Zgornja Polskava

© Avtorji 2026. CC-BY 4.0

znanost z umetno inteligenco (UI) omogoča kognitivno modeliranje, omogoča strojem učenje, samopopravljanje in sprejemanje operativnih odločitev. Tehnologije DARQ (blokovne verige, umetna inteligenca, razširjene resničnosti in kvantno računanje) postajajo temelj sodobnega industrijskega okolja in podjetjem omogočajo neposredni vzpon do visokotehnoloških inovacij in izdelkov.

Preusmerjanje k modelu »človek v zanki«

Tovarne prihodnosti se preusmerjajo k modelu »človek v zanki« (HITL – Human in the Loop), pri čemer se delovna sila iz ročnih operaterjev spreminja v kognitivne nadzornike. Namesto popolne avtomatizacije pametna proizvodnja združuje človeško presojo s strojno inteligenco za boljšo varnost, prilagodljivost in kompleksno odločanje. »Človek v zanki« (HITL) v proizvodnji je operativni model, kjer sistemi umetne inteligence in človeški delavci skupaj sodelujejo pri nalogah. Umetna inteligenca obdeluje podatke in daje priporočila, vendar človeški strokovnjak ohrani pooblastilo za preverjanje, spreminjanje ali izvedbo končne odločitve – kar zagotavlja varnost, odgovornost in natančnost v kompleksnih proizvodnih okoljih. V zadnjem desetletju je bil implicitni cilj proizvodne tehnologije odstranitev človeka. Tovarna z ugasnjenimi lučmi je bila seveda hit, človeški delavci pa so bili pogosto obravnavani kot vir spremenljivosti, ki ga je treba s tehnologijo nekoliko odstraniti. Ta logika naj bi se zdaj spremenila prav z uvajanjem HITL. Ker agenti umetne inteligence in avtomatizacija komodificirajo rutinsko delo (vnos podatkov, razporejanje, osnovni pregled), vrednost človeškega delavca ne izginja – temveč strmo narašča. Vendar se narava te vrednosti spreminja. Odmikamo se od uporabe ljudi kot slabih robotov – dragocenih le zaradi svojih rok in oči – in se preusmerjamo k modelu, kjer je človeška presoja primarni rezultat delovne sile. »Človek v zanki« je arhitektura, ki omogoča ta premik. Ni rezervno sredstvo za primer, ko umetna inteligenca odpove. Je trajni operacijski sistem za svet, kjer je fleksibilnost pomembnejša od rutinske učinkovitosti.

Čas prinaša napredek

Predolgo je industrija delavce na prvi liniji obravnavala kot biološke stroje. Od njih smo zahtevali, da opravljajo ponavljajoča se opravila, si zapomnijo kompleksne standardne operativne postopke in ročno premestijo vrzel med nepovezanimi sistemi. To je bila edina prednost, ki jo imajo ljudje in je umetni inteligenci manjkala – presoja. Umetna inteligenca je odlična pri obdelavi ogromnih naborov podatkov, zaznavanju subtilnih vzorcev (kot so trendi vibracij) in hitrem izvajanju logike. Ljudje so odlični pri niansiranju, kontekstu, etiki in obvladovanju dogodkov, nepričakovanih scenarijev, ki jih še noben model ni videl. Arhitekture modela HITL nam omogočajo, da prenehamo uporabljati ljudi za stvari, v katerih je umetna inteligenca dobra, in jih v celoti osredotočimo na odločitve z visokim vzvodom.

Ironija avtomatizacije

V inženirstvu obstaja paradoks, znan kot »ironije avtomatizacije« (skovala ga je Lisanne Bainbridge v svojem prelomnem članku iz leta 1983). Navaja, da bolj, ko je avtomatiziran sistem napreden, bolj pomemben postane človeški operater – ne manj. Zakaj? Ker avtomatizacija učinkovito obravnava rutinske, ponavljajoče se jasno načrtovane naloge, človeku pa ostanejo le kompleksni, dvoumni in zelo tvegani robni primeri, ki jih mora rešiti. Če se tovarna v celoti zanaša na avtonomno umetno inteligenco, lahko serija surovin z nekoliko drugačnimi kemičnimi lastnostmi povzroči, da model proizvede na tisoče slabih delov. Človek v zanki opazi nianso in spremeni model in prilagodi parametre na podlagi fizične intuicije. Razvoj pametnih tovarn se z modelom »človek v zanki« (HITL) in umetno inteligenco ne zaključí. Prihajajo hibridna inteligenca, rojeva inteligenca, napredni možganski vmesniki, amorfno računalništvo in še bi lahko naštevali.

Študentska tehniška konferenca

Na Fakulteti za strojništvo, Univerze v Ljubljani bo dne 10. 09. 2026 ob 9. uri organizirana Študentska tehniška konferenca »ŠTeKam«, na kateri bodo študentje prve in druge stopnje ter mladi raziskovalci tehnike in drugih študijskih smeri ter dijaki zaključnih letnikov predstavili rezultate svojega raziskovalnega dela.

Gre za že tradicionalno, dvanajsto študentsko tehniško konferenco. V lanskem letu je bilo predstavljenih in v zborniku izdanih 42 prispevkov, ki so pokrivali od tehničnih do ne tehničnih področij, tako slovenskih kot tujih fakultet. Med udeleženci so bili dijaki in študenti iz Gimnazije Bežigrad, Gimnazije Jesenice ter s trinajstih fakultet Univerze v Ljubljani in Univerze v Mariboru. Med njimi so Fakulteta za strojništvo (UL in UM), Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko (UM), Fakulteta za elektrotehniko (UL), Fakulteta za računalništvo in informatiko (UL), Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo (UL), Fakulteta za matematiko in fiziko (UL), Biotehniška fakulteta (UL), Medi-

cinska fakulteta (UL), Pedagoška fakulteta (UL), Filozofska fakulteta (UL) ter Ekonomska fakulteta (UL). Mednarodno dimenzijo dogodku sta dodali Tehniška univerza v Münchnu in Institut "Jožef Stefan". Tematike prispevkov so bile zelo raznolike, kar je dalo konferenci poseben pridih, saj so študentje in raziskovalci videli možnosti interdisciplinarnega povezovanja različnih tem in področij med seboj.

Tudi v letu 2026, bodo vsi sprejeti prispevki objavljeni v zborniku, ki bo zaveden v COBISS-u.

Posebej bo nagrajena tudi najboljša predstavitev na konferenci.

Več informacij najdete na spletni strani: <https://www.fs.uni-lj.si/studij/raziskovalna-dejavnost-studentov/studentska-tehniska-konferenca-stekam/>

Organizacijski odbor:

doc. dr. Tomaž Berlec, univ. dipl. inž. str.
Izr. prof.dr. Miha Brojan, univ. dipl. inž. str.
as. dr. Boštjan Drobnič, univ. dipl. inž. str.

Večkriterijski postopek konstruiranja hidravličnega ventila za dodajalno izdelavo

Jan Bartolj, Aljaž Žafran, Nikola Vukašinović, Franc Majdič

Izvleček:

V prispevku je predstavljen postopek konstruiranja hidravličnega ventila za kovinske dodajalne tehnologije, ki povezuje parametrično modeliranje, CFD-analizo, topološko optimizacijo in večkriterijsko vrednotenje. Na primeru ventila NG10 je bilo analiziranih 15 položajev izvrtine krmilnega bata glede na tlačni padec, turbulentno kinetično energijo in maso. Rezultati so pokazali, da vertikalni položaj bolj vpliva na maso, bočni odmik pa na hidravlična kriterija. Ker optimumi niso sovpadali, sta bili uporabljeni Pareto in utežena analiza. Kot najbolj uravnotežena se je izkazala konfiguracija z $Z = 40$ mm in $X = 5$ mm.

Ključne besede:

dodajalne tehnologije, hidravlični ventil, CFD, topološka optimizacija, večkriterijsko vrednotenje

1 Uvod

Ozadje problema

Kovinske dodajalne tehnologije (DT) omogočajo izdelavo hidravličnih komponent z geometrijami, ki jih s konvencionalnimi proizvodnimi postopki ni mogoče izdelati. Pri hidravličnih ventilih to omogoča načrtovanje prostorsko zahtevnih notranjih tokovnih kanalov, zmanjšanje tlačnih izgub ter optimizacijo zunanje geometrije z namenom zmanjšanja mase komponente. Zaradi teh prednosti DT predstavljajo eno ključnih razvojnih smeri sodobne hidravlike.

Kljub večji geometrijski svobodi razvoj hidravličnih komponent za DT postane bistveno zahtevnejši. Poleg hidravličnih lastnosti je treba hkrati upoštevati konstrukcijsko togost, pretočnost skozi komponento ter maso in proizvodne omejitve procesa izdelave. Izboljšanje posameznega kriterija zato pogosto povzroči poslabšanje drugega, zaradi česar optimum posameznega kriterija ni nujno tudi globalno najboljša konstrukcijska rešitev.

V literaturi se računalniška dinamika tekočin (CFD) pogosto uporablja za optimizacijo notranjih kanalov, medtem ko se topološka optimizacija uporablja predvsem za zmanjšanje mase zunanje geometrije. Oba postopka se praviloma izvajata ločeno, funkcionalni elementi, kot je položaj izvrtine krmilnega bata, pa so običajno obravnavani kot nespremenljivi.

vi konstrukcijski parametri. Posledično primanjkuje enoten razvojni postopek, ki bi omogočal sistematično vrednotenje konstrukcijskih izvedb ob hkratnem upoštevanju hidravličnih, konstrukcijskih in proizvodnih kriterijev.

Namen raziskave je bil razviti in predstaviti strukturiran postopek konstruiranja hidravličnih komponent za DT, ki povezuje parametrično modeliranje, CFD-vrednotenje, topološko optimizacijo in večkriterijsko vrednotenje konstrukcijskih variant. Postopek je bil prikazan na primeru hidravličnega ventila velikosti NG10, pri katerem je bil položaj izvrtine krmilnega bata obravnavan kot konstrukcijska spremenljivka. Predlagani pristop omogoča sistematično primerjavo konstrukcijskih variant in izbiro najprimernejše rešitve glede na projektne prioritete.

Predstavljeni postopek temelji na predhodno objavljenem konferenčnem prispevku Bartolj in sod. [1], ki je bil za namen strokovne objave vsebinsko prilagojen in dopolnjen.

2 Pregled literature

Geometrijske možnosti dodajalnih tehnologij je mogoče učinkovito izkoristiti le z namenskim konstruiranjem za dodajalno izdelavo (angl. Design for Additive Manufacturing – DfAM). Pristop DfAM poleg funkcije komponente upošteva značilnosti izbranega proizvodnega procesa, kot so smer gradnje, previsne površine, podporne strukture, anizotropija materiala in potreba po naknadni obdelavi. Diegel in sod. [2], [3] poudarjajo, da neposredna izdelava geometrij, zasnovanih za konvencionalne postopke, praviloma ne izkoristi ključnih prednosti DT. Konstrukcijo je zato treba obravnavati celovito ter že v začetni fazi povezati funkcionalne zahteve in proizvodne omejitve.

Na področju hidravlike so bile možnosti kovinskih DT prikazane predvsem pri razvoju hidravličnih blokov in ventilov z

Jan Bartolj, mag. inž., Aljaž Žafran, mag. inž., **izr. prof. dr. Nikola Vukašinović**, univ. dipl. inž., **izr. prof. dr. Franc Majdič**, univ. dipl. inž.; vsi Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo



© The Authors 2026. CC-BY 4.0

<https://doi.org/10.5545/Ventil-32-2026-4.28>

optimiranimi notranjimi kanali ter zmanjšano maso. Biedermann in sod. [4], [5] so razvili avtomatiziran postopek generiranja notranjih tokovnih poti ob upoštevanju omejitev previsnih površin. Arena in sod. [6] so na primeru hidravličnega bloka za podvozje letala povezali preoblikovanje komponente za DT, numerično vrednotenje in konstrukcijsko kvalifikacijo ter dosegli več kot 40-odstotno zmanjšanje mase. Podobne raziskave so pokazale, da je mogoče z namensko zasnovo notranjih kanalov zmanjšati tlačne izgube, z uporabo topološke optimizacije pa odstraniti konstrukcijsko odvečen material.

Obstoječe raziskave praviloma obravnavajo optimizacijo notranjih tokovnih poti in zmanjšanje mase zunanje konstrukcije kot ločena koraka. Funkcionalni elementi hidravličnih komponent so pri tem večinoma določeni vnaprej in med optimizacijo ostanejo nespremenjeni. Manjka pa strukturiran postopek, ki bi spremembo njihovega položaja povezal s hidravličnim in konstrukcijskim vrednotenjem ter omogočil izbiro rešitve na podlagi več nasprotujočih si kriterijev.

3 Metodologija

3.1 Razvojni postopek

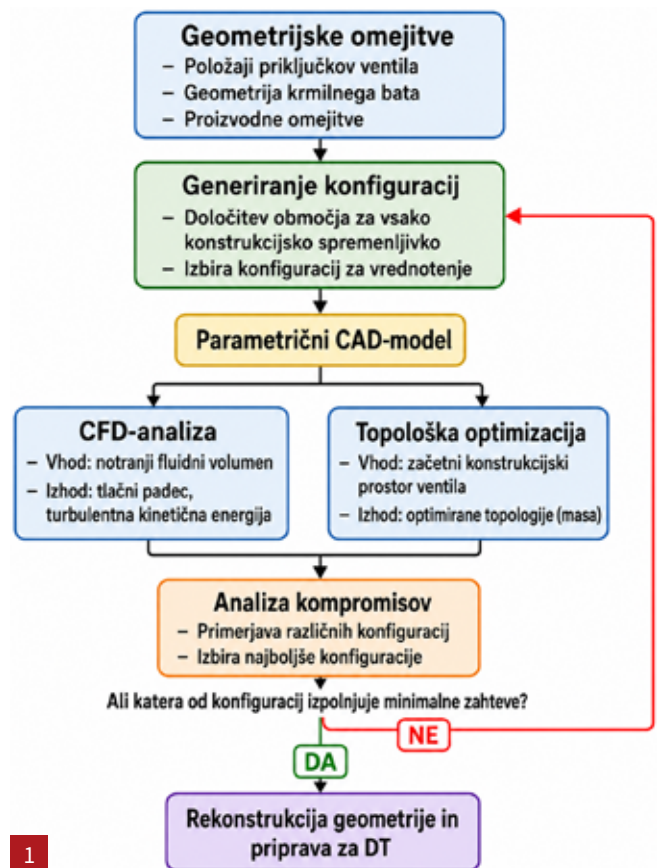
Razvojni postopek je povezoval parametrično konstruiranje, računalniško dinamiko tekočin (CFD), topološko optimizacijo (TO) in večkriterijsko vrednotenje konstrukcijskih variant. Najprej so bile določene funkcionalne in standardizirane omejitve komponente ter izbrane konstrukcijske spremenljivke. Na njihovi podlagi so bile parametrično generirane geometrijske variante, iz katerih sta bila za vsako varianto pripravljena strukturni model in model notranje geometrije.

Iz rezultatov CFD-analize in TO so bili pridobljeni kriteriji za večkriterijsko vrednotenje. Rezultati so bili normalizirani, Pareto analiza pa je bila uporabljena za izločitev dominiranih rešitev. Preostale variante so bile ovrednotene z uteženo analizo in razvrščene glede na izbrane projektne prioritete. Izbrana rešitev je bila nato geometrijsko rekonstruirana in prilagojena za izdelavo z DT. Če nobena varianta ni izpolnila minimalnih funkcionalnih ali proizvodnih zahtev, se je postopek vrnil v fazo parametričnega modeliranja. Celoten potek je prikazan na *sliki 1*.

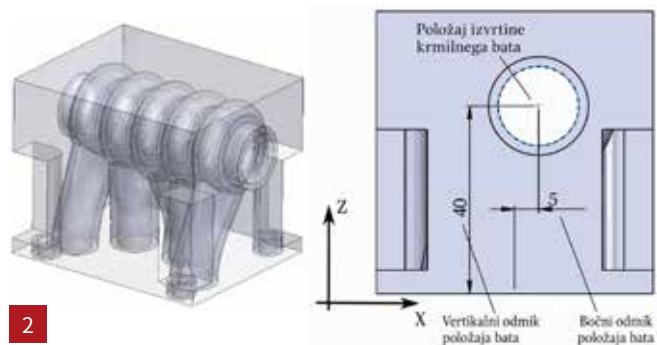
3.2 Obravnavana komponenta in konstrukcijski prostor

Postopek je bil preizkušen na hidravličnem proporcionalnem potnem ventilu velikosti NG10 oziroma CETOP 5. Položaji in geometrije priključkov so bili določeni skladno s standardom ISO 4401 [7], medtem ko so izvrtina krmilnega bata, pritrdilna mesta in prostor za elektromagnetne tuljave predstavljali osnovne funkcionalne omejitve konstrukcije.

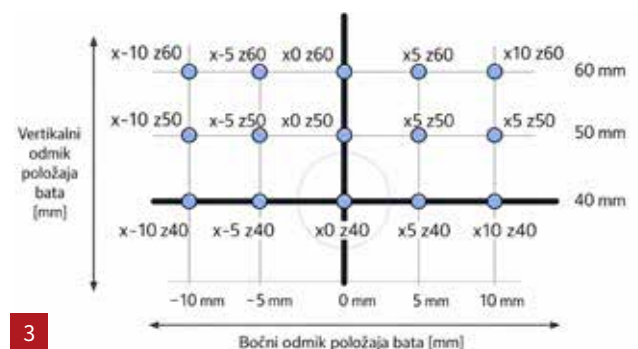
Kot aktivni konstrukcijski spremenljivki sta bila izbrana bočni odmik izvrtine krmilnega bata (X) in njen vertikalni položaj (Z). Obravnavanih je bilo pet bočnih in tri vertikalne lege, kar je tvorilo konstrukcijski prostor s skupno 15 variantami. Razporeditev obravnavanih položajev je prikazana na *sliki 3*.



Predlagani potek razvoja hidravličnih komponent, prilagojenih za izdelavo z DT



Notranjost parametričnega modela ventila na levi in prikaz konstrukcijskih spremenljivk na desni; vse mere so v milimetrih.



Obravnavani konstrukcijski prostor položaja izvrtine krmilnega bata, določen s petimi bočnimi in tremi vertikalnimi odmiki

3.3 Parametrično modeliranje

Geometrija ventila je bila izdelana kot parametrični model, pri katerem je bilo mogoče sistematično spreminjati položaj izvrtine krmilnega bata. Notranja geometrija okoli bata in povezave med standardiziranimi priključki so bile generirane glede na izbrani vrednosti parametrov (X) in (Z). Za vsako varianto sta bila iz iste geometrijske osnove pripravljena fluidni (notranji) volumen za CFD-analizo in konstrukcijski model za TO. Uporaba skupnega parametričnega modela je zagotovila primerljivost variant in zmanjšala odstopanja, ki bi lahko nastala zaradi njihovega ločenega ročnega modeliranja.

3.4 CFD-vrednotenje

CFD-vrednotenje je bilo izvedeno s stacionarnim, nestisljivim in enofaznim modelom toka vode. Za opis turbulence je bil uporabljen model $k-\omega$ SST, ki omogoča zanesljivo napoved tokovnih pojavov v območjih z ločevanjem toka in v bližini sten. Analize so bile izvedene pri štirih pretokih od 60 do 120 l/min in odprtju krmilnega bata 3 mm. Za vse konfiguracije so bili uporabljeni enaki robni pogoji, strategija mreženja in numerične nastavitve. Računska mreža je obsegala približno 4 milijone elementov, konvergenca pa je bila dosežena pri padcu ostankov pod 10^{-5} . Kot kriterija hidravličnega vrednotenja sta bila določena tlačni padec in turbulentna kinetična energija.

3.5 Topološka optimizacija

TO je bila izvedena za vseh 15 variant z enakimi materialnimi, obremenitvenimi in proizvodnimi omejitvami. Uporabljen je bil material MS1 [8], komponenta pa je bila obremenjena z

notranjim tlakom 35 MPa ter pripadajočimi silami na končnih površinah in pritrdilnih mestih. Radialna deformacija vodilne površine krmilnega bata je bila omejena, funkcionalne površine, priključki in pritrdilna območja pa so bili izključeni iz optimizacijskega prostora.

Za upoštevanje izdelave z DT sta bili določeni najmanjša velikost konstrukcijskega člena 2 mm in omejitev previsnih površin 45° . Rezultat TO je bila končna masa posamezne variante, ki je bila skupaj s hidravličnima kriterijema uporabljena v večkriterijskem vrednotenju.

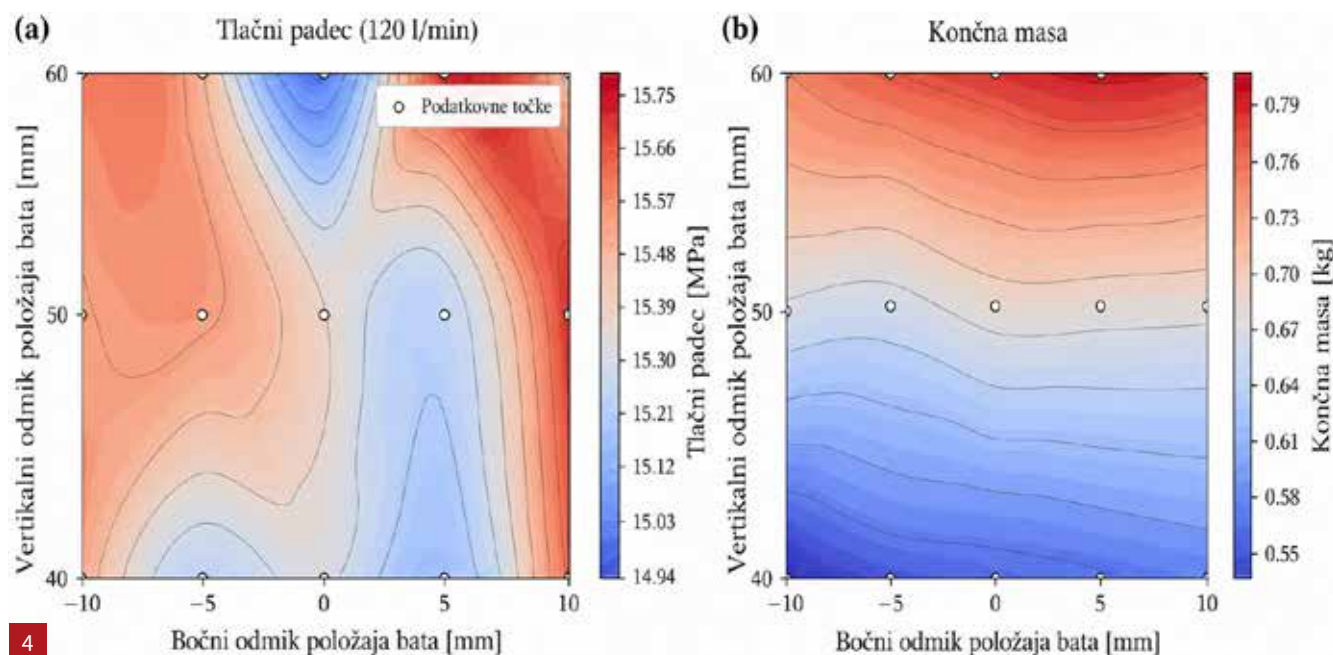
4 Rezultati

4.1 Vpliv konstrukcijskih spremenljivk

Vpliv bočnega in vertikalnega odmika položaja izvrtine krmilnega bata na tlačni padec in končno maso je prikazan na *sliki 4*. Bočni odmik je izraziteje vplival na tlačni padec, medtem ko je vertikalni odmik bistveno močnejše vplival na maso topološko optimirane konstrukcije. Najnižji tlačni padec je bil dosežen pri varianti $X = 0$ mm in $Z = 60$ mm, najmanjša masa pa pri varianti $X = -10$ mm in $Z = 40$ mm. Najnižja turbulentna kinetična energija je bila dosežena pri varianti $X = 5$ mm in $Z = 40$ mm, kar pomeni, da se optimumi posameznih kriterijev niso ujemali. Rezultati potrjujejo, da izbira položaja izvrtine krmilnega bata hkrati vpliva na hidravlične in konstrukcijske lastnosti ventila ter da končne rešitve ni mogoče določiti na podlagi enega samega kriterija.

4.2 Najuspešnejše variante

Med obravnavanimi variantami so se najboljše izkazale variante 1, 2, 3, 4 in 13. Njihove vrednosti so zbrane v *tabeli 1*.



Vpliv bočnega in vertikalnega odmika položaja izvrtine krmilnega bata na (a) tlačni padec pri pretoku 120 l/min in (b) končno maso topološko optimirane konstrukcije

Tabela 1 : Najuspešnejše konstrukcijske variante

Varianta	Višina [mm]	Bočni odklik [mm]	Tlačni padec [MPa]	TKE [m ² /s ²]	Masa [kg]	Glavna prednost
1	40	-10	15,5	120,2	0,552	najmanjša masa
2	40	-5	15,23	137,2	0,576	ugoden kompromis mase in Δp
3	40	0	15,32	115,4	0,58	uravnotežena rešitev
4	40	5	15,15	95,3	0,589	najmanjša disipacija TKE
13	60	0	14,95	180	0,79	najmanjši tlačni padec

5 Razprava

Najboljše vrednosti posameznih kriterijev niso bile dosežene pri isti varianti, saj zmanjšanje tlačnega padca, turbulentne kinetične energije in mase zahteva različne geometrijske rešitve. Večkriterijska primerjava vseh variant je prikazana na *sliki 5*. S Pareto analizo so bile kot optimalne določene variante 1, 2, 3, 4 in 13, pri katerih pa izboljšanje enega kriterija povzroči poslabšanje vsaj enega drugega. Za izbor končne rešitve so bile vrednosti kriterijev najprej normalizirane na interval med 0 in 1:

$$r_{ij} = \frac{(f_{ij} - f_{j,\min})}{(f_{j,\max} - f_{j,\min})}$$

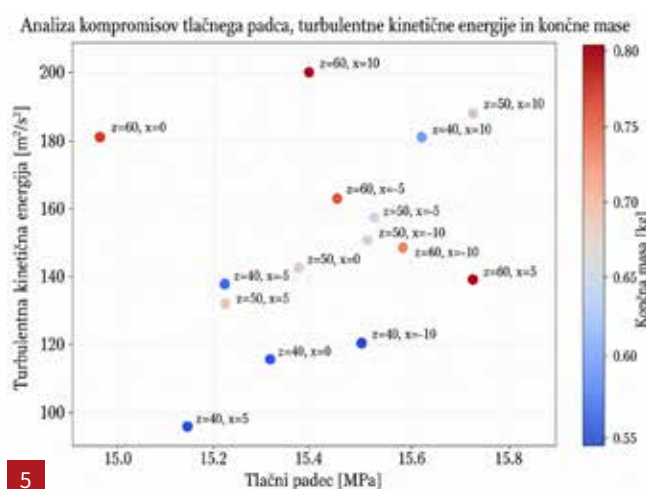
kjer je f_{ij} vrednost kriterija j za varianto i , $f_{j,\min}$ in $f_{j,\max}$ pa najmanjša in največja vrednost posameznega kriterija. Normalizirana vrednost 0 tako predstavlja najboljši, vrednost 1 pa najslabši rezultat znotraj obravnavanega nabora variant.

Skupna ocena posamezne variante je bila določena kot utežna na vsota normaliziranih kriterijev:

$$S_i = w_{\Delta p} \cdot \Delta p_i^* + w_k \cdot k_i^* + w_m \cdot m_i^*$$

pri čemer velja:

$$w_{\Delta p} + w_k + w_m = 1$$



Analiza kompromisov med tlačnim padcem, turbulentno kinetično energijo in končno maso za obravnavane konstrukcijske konfiguracije. Barva točk predstavlja končno maso posamezne konfiguracije.

Pri tem je S_i skupna utežena ocena variante $w_{\Delta p}$, w_k in w_m pa uteži posameznih kriterijev. Te določajo relativno pomembnost tlačnega padca Δp , turbulentne kinetične energije k in mase m . Vrednosti Δp_i^* , k_i^* in m_i^* predstavljajo normalizirane rezultate variante i , pri čemer nižja vrednost pomeni ugodnejši rezultat. Vsota uteži je enaka 1, zato povečanje pomembnosti enega kriterija zmanjša relativni vpliv preostalih. Najnižja vrednost S_i predstavlja najprimernejšo varianto za izbrani sklop projektnih prioritet. Pri enakovrednem upoštevanju vseh treh kriterijev se je kot najbolj uravnotežena izkazala varianta 4. Varianta 1 je primernejša pri prioriteti majhne mase, varianta 13 pa pri prioriteti najmanjšega tlačnega padca. Takšen pristop zato ne določa univerzalno najboljše rešitve, temveč omogoča izbiro konstrukcije glede na zahteve konkretne uporabe.

Za preverjanje vpliva projektnih prioritet na izbor končne rešitve je bila izvedena še analiza scenarijev različnih kombinacij uteži posameznih kriterijev. Obravnavani so bili primeri z enakomerno porazdeljenimi utežmi ter scenariji, pri katerih je bila izraziteje poudarjena pomembnost tlačnega padca, turbulentne kinetične energije oziroma mase. Rezultati so prikazani v *tabeli 2*.

Rezultati kažejo, da se je pri enakomerno porazdeljenih utežeh ter pri zmerni prioriteti hidravličnih ali konstrukcijskih kriterijev kot optimalna izkazala konfiguracija $x = 5$ mm in $z = 40$ mm. Do spremembe izbora je prišlo šele pri izraziti prevladi posameznega kriterija, pri čemer je bila konfiguracija $x = -10$ mm in $z = 40$ mm optimalna ob prioriteti najmanjše mase, konfiguracija $x = 0$ mm in $z = 60$ mm pa ob prioriteti najmanjšega tlačnega padca. To potrjuje, da izbrana konfiguracija predstavlja robusten kompromis med obravnavanimi hidravličnimi in konstrukcijskimi kriteriji.

Tabela 2 : Vpliv različnih uteži kriterijev na izbiro optimalne konstrukcijske konfiguracije

Scenarij uteži	$w_{\Delta p}$	w_k	w_m	Optimalna konfiguracija
Enake uteži	0,33	0,33	0,33	X = 5 mm, Z = 40 mm
Prioriteta tlačnega padca	0,8	0,1	0,1	X = 0 mm, Z = 60 mm
Prioriteta turbulence	0,1	0,8	0,1	X = 5 mm, Z = 40 mm
Prioriteta mase	0,1	0,1	0,8	X = -10 mm, Z = 40 mm
Hidravlična učinkovitost	0,6	0,25	0,15	X = 5 mm, Z = 40 mm



6

Končna rekonstruirana geometrija izbrane variante ($Z = 40 \text{ mm}$, $X = 5 \text{ mm}$) po topološki optimizaciji

6 Zaključek

Predstavljen je bil strukturiran postopek konstruiranja hidravličnega ventila za kovinske DT, ki povezuje parametrično modeliranje, CFD-analizo, TO in večkriterijsko vrednotenje. Analiza 15 variant je pokazala, da vertikalni položaj izvrtine krmilnega bata izraziteje vpliva na maso, bočni odmik pa na tlačni padec in turbulentno kinetično energijo.

Ker optimumi posameznih kriterijev niso sovpadali, je bila končna izbira izvedena s Pareto in uteženo analizo. Kot najbolj uravnotežena rešitev se je izkazala varianta $Z = 40 \text{ mm}$ in $X = 5 \text{ mm}$, medtem ko sta bili drugi varianti primernejši pri izraziti prioriteti najmanjše mase oziroma najmanjšega tlačnega padca. Rezultati potrjujejo, da je položaj funkcionalnih elementov smiselno obravnavati kot aktivno konstrukcijsko spremenljivko ter da je pri razvoju hidravličnih komponent za DT potreben sočasen pregled hidravličnih, konstrukcijskih in proizvodnih kriterijev.

Viri

- [1] J. Bartolj, A. Zafran, N. Vukasinovic, and F. Majdic, "Influence of Spool Bore Position on the Structural and Hydraulic Performance of an Additively Manufactured NG10 Valve," in CAD'26 Proceedings, El Paso: U-turn Press LLC, May 2026, pp. 65–70. doi: 10.14733/cadconfP.2026.65-70.
- [2] O. Diegel, A. Nordin, and D. Motte, A Practical Guide to Design for Additive Manufacturing. Singapore: Springer Singapore, 2019. doi: 10.1007/978-981-13-8281-9.
- [3] O. Diegel, J. Schutte, A. Ferreira, and Y. L. Chan, "Design for additive manufacturing process for a lightweight hydraulic manifold," Addit. Manuf., vol. 36, p. 101446, Dec. 2020, doi: 10.1016/j.addma.2020.101446.
- [4] M. Biedermann, P. Beutler, and M. Meboldt, "Automated Knowledge-Based Design for Additive Manufacturing: A Case Study with Flow Manifolds," Chem. Ing. Tech., vol. 94, no. 7, pp. 939–947, Jul. 2022, doi: 10.1002/cite.202100209.
- [5] M. Biedermann, P. Beutler, and M. Meboldt, "Routing multiple flow channels for additive manufactured parts using iterative cable simulation," Addit. Manuf., vol. 56, p. 102891, Aug. 2022, doi: 10.1016/j.addma.2022.102891.
- [6] M. Arena, P. Ambrogiani, V. Raiola, F. Bocchetto, T. Tirelli, and M. Castaldo, "Design and Qualification of an Additively Manufactured Manifold for Aircraft Landing Gears Applications," Aerospace, vol. 10, no. 1, Jan. 2023, doi: 10.3390/aerospace10010069.
- [7] International Organization for Standardization, "ISO 4401:2005 Hydraulic fluid power — Four-port directional control valves — Mounting surfaces," Geneva, Switzerland, 2005.
- [8] EOS GmbH, "EOS Maraging-Steel MS1," Krailling/Munich, Mar. 2025.

A Multi-Criteria Design Methodology for Hydraulic Valves Manufactured by Additive Manufacturing

Abstract:

A design workflow for a hydraulic valve manufactured using metal additive technologies is presented. The method combines parametric modelling, CFD analysis, topology optimisation and multi-criteria evaluation. Fifteen control spool bore positions of an NG10 valve were assessed according to pressure drop, turbulent kinetic energy and mass. The vertical position primarily influenced mass, whereas the lateral offset had a stronger effect on the hydraulic criteria. Since the individual optima did not coincide, Pareto and weighted analyses were applied. The configuration with $Z = 40 \text{ mm}$ and $X = 5 \text{ mm}$ provided the most balanced solution.

Keywords:

additive manufacturing, hydraulic valve, CFD, topology optimisation, multi-criteria evaluation

INDUSTRIJSKI FORUM **IRT** 2027

NEPOGREŠLJIV VIR INFORMACIJ ZA STROKO

Predstavitev strokovnih prispevkov

Strokovna razstava | Aktualna okrogla miza

Podelitev priznanja TARAS

FORUM ZNANJA IN IZKUŠENJ

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



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



Portorož, 7. in 8. junij 2027

www.forum-irt.si

Novi pristopi, tehnologije in trendi v proizvodnih pnevmatičnih sistemih in procesih

Marko Šimic, Miha Pipan, Niko Herakovič

Izvleček:

Naraščajoče zahteve po energijsko učinkovitejših, prilagodljivejših in inteligentnejših industrijskih sistemih spodbujajo intenziven razvoj in inovacije na področju pnevmatike. Razvoj miniaturnih 3D tiskanih in mehkih pnevmatičnih aktuatorjev omogoča lahke, prilagodljive in varne rešitve za uporabo v robotiki ter biomedicinskih aplikacijah. Proporcionalna in digitalna pnevmatika se nadalje razvijata v smeri industrije 4.0, pri čemer metode spodbujevalnega učenja izboljšujejo prilagodljivost krmilnih sistemov. Metode za zmanjšanje porabe energije – vključno s prekinitvenim dovajanjem stisnjenega zraka, pnevmatičnimi vezji z izklopnimi ventili za regulacijo delovnega tlaka, optimiranim dimenzioniranjem komponent ter novimi pristopi dušenja pretoka. Izračun prijemalne sile na podlagi trajektorije gibanja ter analiza ogljičnega odtisa izdelka prispevata k uveljavljanju trajnostnih praks. Področje mehke robotike dodatno bogatijo nove zasnove aktuatorjev, podatkovno podprti modeli ter nelinearne strategije krmiljenja. Eksperimentalni rezultati potrjujejo praktično uporabnost in učinkovitost predstavljenih tehnologij. Pregled tako potrjuje pnevmatiko kot vsestransko, učinkovito in okoljsko odgovorno tehnološko platformo za sodobno avtomatizacijo, ki z integracijo interneta stvari (IoT), digitalnih dvojčkov in hibridnih sistemov predstavlja pomemben temelj prihodnjih fluidnotehničnih rešitev.

Ključne besede:

pnevmatika, energijska učinkovitost, robotika, inteligentno krmiljenje, avtomatizacija, trajnost

1 Uvod

Pnevmatika je že dolgo temelj industrijske avtomatizacije zaradi nizke cene investicije, preproste montaže in uporabe, prijaznosti do okolja, robustnosti ter enostavnega vzdrževanja komponent. Pnevmatični sistemi se široko uporabljajo v proizvodnji, pakiranju, robotiki in procesni industriji za naloge, kot so strega, montaža, posebni pristopi varnega delovanja sistemov, prijemanje in ravnanje z občutljivimi materiali ali sestavnimi deli in izdelki kompleksnih oblik.

Njihove prednosti vključujejo enostavno distribucijo in prenos energije stisnjenega zraka po industrijskem okolju, ugodno razmerje med močjo in maso, hitre odzivne čase ter inherentno varnost v eksplozijsko ogroženih ali higiensko občutljivih okoljih. Pnevmatične sisteme je tudi enostavno vzdrževati s cenovno ugodnimi nadomestnimi deli in nenazadnje preprosto pretvorbo med linearnim in rotacijskim gibanjem. Njihova skladnost in mehki princip delovanja pa jih naredita posebej primerne za sodelujoče in človeku varne aplikacije [1], [2].

1.1 Trenutno stanje

Pnevmatični sistemi imajo v primerjavi s hidravličnimi in električnimi pogoni določene prednosti, ki so odvisne od zahtev aplikacije in obratovalnih pogojev, zaradi katerih so zelo primerni za širok spekter industrijskih aplikacij. Prav tako pnevmatični sistemi delujejo s stisnjenim zrakom, ki predstavlja sekundarni dokaj čist in varen energijski medij za prenos energije in je zato primeren tudi za uporabo v vnetljivih okoljih. Stisnjeni zrak se pripravlja s kompresorji, zato je njegova energijska in okoljska učinkovitost neposredno odvisna od učinkovitosti kompresorskega sistema ter vira električne energije. Pnevmatični sistemi so zato varnejši zlasti v eksplozijsko ogroženih ali higiensko občutljivih okoljih, kar odpravlja tveganje toksičnih izpustov ali požara.

Električni pogoni običajno omogočajo višjo natančnost pozicioniranja in energijsko učinkovitost, medtem ko pnevmatični sistemi pogosto izstopajo po robustnosti, enostavni izvedbi ter ugodnem razmerju med funkcionalnostjo in stroški pri številnih industrijskih aplikacijah. Pnevmatični sistemi so mehansko preprosti, odporni na preobremenitve in lahko zaradi akumuliranega stisnjenega zraka v sistemu nadaljujejo delovanje tudi med kratkotrajnimi izpadi električne energije.

Sodobni pnevmatični sistemi so modularni in enostavni za vzdrževanje, zato so primerni tako za obsežno industrijsko avtomatizacijo kot tudi za manjše, mobilne ali zagonske projekte. Široka uporaba v panogah, kot so avtomobilska industrija, elektronika, živilskopredelovalna industrija, petrokemija, farmacija, HVAC-sistemi (ang. Heating, Ventilation, and Air Con-

Izr. prof. dr. Marko Šimic, univ. dipl. inž., doc. dr. Miha Pipan, univ. dipl. inž., prof. dr. Niko Herakovič, univ. dipl. inž., vsi Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo



© The Authors 2026. CC-BY 4.0

<https://doi.org/10.5545/Ventil-32-2026-4.29>

ditioning – ogrevanje, prezračevanje in hlajenje) ter transport (zlasti zračni zavorni sistemi), potrjuje njihovo vsestranskost in zanesljivost.

Kljub nekaterim zmotam o hrupu, puščanju ali kompleksnosti delovanja so pravilno načrtovani pnevmatični sistemi čisti, učinkoviti in razmeroma tihi. Njihova mehanska preprostost omogoča hitro odpravljanje napak in prilagoditve, kompaktne in lahke komponente pa predstavljajo prednost v aplikacijah, kjer sta prostor in mobilnost ključnega pomena [1].

Poleg prednosti se je treba zavedati slabosti oziroma pomanjkljivosti pnevmatičnih sistemov. Stisljivost zraka lahko vodi do zmanjšane natančnosti in pojava »stick-slip« učinka, zlasti pri nizkih hitrostih aktuatorjev. Omejitve delovnega tlaka pogosto zahtevajo večje komponente za doseganje enake izhodne sile kot pri hidravličnih sistemih. Ustrezna priprava zraka je ključnega pomena za preprečevanje onesnaženja z vlago, oljem in delci, delovanje tesnil in drugih komponent pa je lahko občutljivo na temperaturna nihanja.

Pnevmatični sistemi so prav tako dovzetni za uhajanje zraka, kar lahko zmanjša učinkovitost in poveča stroške energije, še posebej zaradi razmeroma visoke energijske zahtevnosti stiskanja zraka. Poleg tega so lahko manj primerni za aplikacije, ki zahtevajo zelo natančno krmiljenje gibanja ali sile, saj je regulacija hitrosti in položaja na splošno manj natančna kot pri električnih ali hidravličnih pogonih. Hrup kompresorjev in ventilov je lahko prav tako problematičen, če ni ustrezno obvladovan, sistemi pa so lahko v določenih okoljih občutljivi na prah in vibracije [2].

Izbira med pnevmatičnimi, hidravličnimi in električnimi pogoni je vedno odvisna od zahtev glede sile, hitrosti, natančnosti, energijske učinkovitosti, investicijskih stroškov in pogojev delovanja posamezne aplikacije.

1.2 Industrijska pnevmatika in ključne tehnologije

Vsak industrijski pnevmatični sistem vključuje ključne podsisteme in komponente, kot so kompresorske postaje za proizvodnjo (generacijo) zraka, regulacijski tlačni in pripravi sistemi za regulacijo delovnega tlaka in ustrezno pripravo zraka, hranilniki za hranjenje tlačne energije (globalno in lokalno), distribucijsko omrežje cevi ter končni porabniki, to so pnevmatični sistemi v proizvodnji (slika 1).

Vsak od teh podsistemov in komponent mora biti skrbno načrtovan, da se zagotovijo učinkovitost, stabilnost ter dolgoročno, trajnostno delovanje pnevmatičnega sistema.

Tehnološki napredek iz zadnjih 10 let, kot nakazuje tudi izbrana literatura, je predvsem usmerjen v inovacije na področju nadzora in spremljanja procesov, vpeljavajo naprednih pristopov z umetno inteligenco za predvidevanje delovanja, obrabe, odpovedi in vzdrževanja sistemov. Za doseganje povečane učinkovitosti sistemov in vpliva na življenjsko dobo komponent se razvija področje zasnov novih aktuatorjev, inteligentnega krmiljenja in strategij za varčevanje z energijo [4]. Integracija teh sistemov s tehnologijami industrije 4.0, kot so internet stvari (IoT), digitalni dvojčki in strojno učenje, je odprla nove možnosti za razvoj prilagodljivih, učinkovitih in trajnostnih rešitev avtomatizacije pnevmatičnih sistemov [5], [6], [7]. Sodobne platforme danes omogočajo brezhibno integracijo z naprednimi komponentami, kot so večfunkcijski ventolni otoki in merilniki pretoka, ki so združljivi s programirljivimi logičnimi krmilniki (PLK). Ti razvojni dosežki omogočajo centralizirano in poenostavljeno upravljanje več pnevmatičnih ventilov in aktuatorjev. Omogočajo zajem podatkov na stroju v realnem času in se lahko uporabljajo za operativno analizo, napovedno diagnostiko in sprotno optimizacijo delovanja sistemov. Poleg tega povezovanje podatkov pnevmatičnih sistemov z višjimi informacijskimi nivoji, kot so ERP (načrtovanje virov



1

Industrijska pnevmatika – principiela shema stisnjenega zraka z glavnimi pnevmatičnimi podsistemi [3].

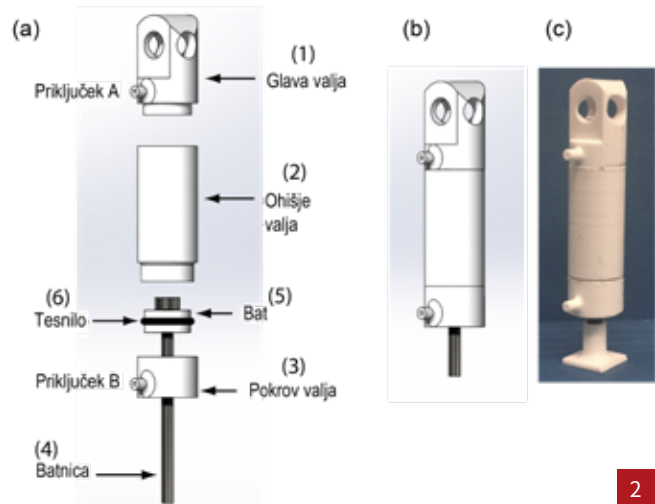
podjetja), MES (sistemi za upravljanje/krmiljenje proizvodnje) in druge digitalne platforme, povečuje transparentnost ter omogoča učinkovitejše odločanje v proizvodnih okoljih [8].

Ta pregled si prizadeva sintetizirati te tehnološke razvojne smeri, izpostaviti trende ter opredeliti priložnosti za nadaljnje raziskave in industrijsko uporabo pnevmatike na področju avtomatizacije. Pri pripravi pregleda je bila uporabljena kombinacija znanstvenih člankov, konferenčnih prispevkov in strokovne literature s področja pnevmatike, fluidne tehnike in industrijske avtomatizacije. Prednost so imeli novejši viri, objavljeni predvsem v obdobju 2019–2025, ki predstavljajo aktualne raziskovalne dosežke in industrijske razvojne smernice. Izbor literature je bil usmerjen v področja energijske učinkovitosti, inteligentnega krmiljenja, digitalizacije, mehke robotike ter trajnostnih pristopov v pnevmatičnih sistemih.

2 Stanje na področju tehnike in naprednih pristopov

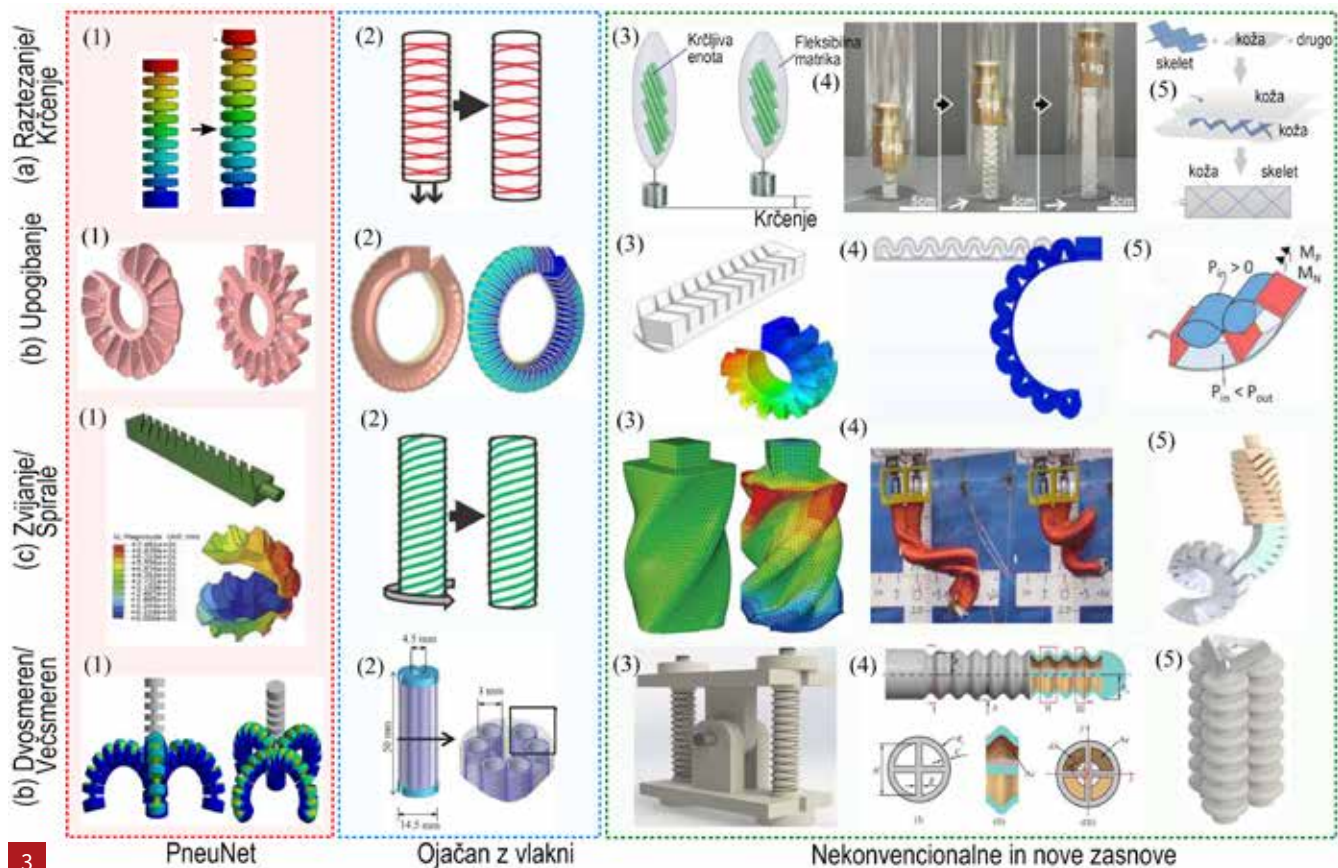
2.1 Pnevmatični aktuatorji

Nedavni razvoj na področju pnevmatičnih aktuatorjev je bistveno razširil njihove zmožnosti zlasti glede miniaturizacije, prilagodljivosti in integracije z mehki materiali. Ti napredki omogočajo nove aplikacije v robotiki, biomedicinskih napravah in lahkih sistemih za avtomatizacijo.



3D natisnjen aktuator: (a) glavne komponente, (b) sestav in (c) 3D natisnjen realen aktuator [5]

Ena najbolj obetavnih smeri je uporaba aditivnih tehnologij za izdelavo kompaktnih in lahkih pnevmatičnih aktuatorjev. Nall in Bhounsule [5] sta predstavila 3D natisnjen dvostransko delujoč pnevmatični aktuator z razmerjem med močjo in maso, primerljivim s komercialnimi rešitvami (slika 2). Masa aktuatorjev je le 0,012 kg, pri delovnem tlaku 0,4 MPa dosega izhodno moč 2 W in je bil uspešno integriran v robotiko. Takšni aktuatorji ponujajo prednosti, kot so hitro prototipiranje in pri-



Dizajn mehkih aktuatorjev: (a) krčenje in raztezanje: (1), (2), (3), (4) in (5); (b) upogibanje: (1), (2), (3), (4) in (5); (c) sukanje in zvijanje: (1), (2), (3), (4) in (5); (d) dvosmerni in večsmerni princip: (1), (2), (3), (4) in (5) [6]

lagoditev, integracija strukturnih in funkcionalnih komponent ter nizkocenovna izdelava z uporabo cenених 3D-tiskalnikov. Zato so posebej primerni za izobraževanje robotike, nosljive naprave in raziskovalno delo na področju mehke robotike.

Mehka robotika in biomedicinske aplikacije so se uveljavile kot ključno področje, kjer imajo pnevmatika in pnevmatični aktuatorji osrednjo vlogo.

Aktuatorji, pogosto izdelani iz elastomerov ali tekstila, omogočajo varno in prilagodljivo interakcijo z ljudmi (*slika 3*) [6]. Posebej so primerni za biomedicinske aplikacije, kot so naprave za asistiranje in kirurška orodja.

Nedavne raziskave se osredotočajo na razvoj funkcijsko gradiranih materialov za doseganje spremenljive togosti, antagonističnih sistemov aktuatorjev, izdelanih s stereolitografijo, ter mehkih robotov, gnanih z zgorevanjem, namenjenih aplikacijam z visoko potisno silo. Ti aktuatorji izkoriščajo inherentno skladnost mehkih materialov, kar omogoča kompleksna gibanja in varno fizično interakcijo. Kljub temu ostajajo izzivi pri modeliranju njihovega nelinearnega obnašanja ter doseganju natančnega krmiljenja.

Integracija miniaturnih in mehkih aktuatorjev v robotske sisteme je privedla do novih aplikacij, kot so tako imenovani »skalarni« roboti z visoko energijsko učinkovitostjo [5] ter manipulatorji v obliki lovk, pa tudi kompaktni aktuatorji za nosljive eksoskelete in proteze [6]. Te aplikacije poudarjajo vsestranskost pnevmatičnega pogona na področjih, kjer so masa, varnost in prilagodljivost ključnega pomena.

Za obvladovanje kompleksnosti mehkih in mikroaktuatorjev se raziskovalci vse pogostejše zatekajo k podatkovno vodnemu modeliranju in naprednim strategijam krmiljenja. Spodbujevalno učenje in nevronske mreže se uporabljajo za izboljšanje prilagodljivosti in zmogljivosti sistemov.

2.2 Inteligentno krmiljenje in integracija v industriji 4.0

Integracija inteligentnega krmiljenja in digitalnih tehnologij preoblikuje pnevmatične sisteme v prilagodljive, učinkovite in medsebojno povezane komponente, primerne za sodobno av-

tomatizacijo. Ta napredek izhaja iz potrebe po večji natančnosti, energijski učinkovitosti in učinkoviti integraciji po principu industrije 4.0.

2.2.1 Proporcionalna in digitalna pnevmatika

Tradicionalno preklopno tehniko vse bolj nadomeščajo proporcionalni in digitalni krmilni ventilski sistemi, ki omogočajo natančnejšo regulacijo delovnega tlaka in pretoka. Proporcionalni ventili, pogosto krmiljeni z analognimi signali ali s pulzno širinsko modulacijo (PWM), omogočajo zvezno krmiljenje sile in hitrosti aktuatorjev.

Nedavni razvoj vključuje modularne sisteme in uporabo PWM-krmiljenja za zvezno regulacijo pretoka, ki omogoča izredno hitro preklapljanje (do 1500 Hz). [9]

Ena izmed možnih alternativ hidravličnim sistemom je tudi pnevmatični sistem, zasnovan za dinamično preizkušanje trdnosti materialov, zlasti materialov z nizko trdnostjo, kot so naravna vlakna (*slika 4a*). Sistem uporablja pnevmatični valj za apliciranje cikličnih obremenitev in natezno-tlačnih zveznih obremenitev. Sila je krmiljena s proporcionalnim tlačnim ventilem in PID-regulatorjem, implementiranim na PLK, združitvim z Arduino sistemom (*slika 4b*).

Uporabniški vmesnik na dotik omogoča intuitivno upravljanje in spremljanje v realnem času. Eksperimentalni preizkusi potrjujejo natančno regulacijo do maksimalne sile 11 kN (zvezna tlačna regulacija dosega $\pm 1\%$ linearnosti v celotnem obratovalnem območju od 0,05 MPa do 0,75 MPa). Zagotavlja zanesljivo delovanje pri nizkofrekvenčnem trajnostnem preizkušanju dinamične utrujenosti materialov. Sistem predstavlja stroškovno učinkovito in prenosno rešitev za laboratorije, ki se osredotočajo na preizkušanje materialov z nizko trdnostjo ali naravnih materialov. [10]

Za podobne sisteme, predstavljene na sliki 4, se uveljavlja digitalna pnevmatika, krmiljena s piezoventili. Ti so krmiljeni z binarno metodo in uporabo pametnih ventilskih terminalov. Sistemi omogočajo natančno in programabilno krmiljenje in so pogosto integrirani z vgrajenimi senzorji in mikrokrmilniki, kar omogoča povratne informacije in diagnostiko v realnem času. [11], [12]



a) Pnevmatična naprava



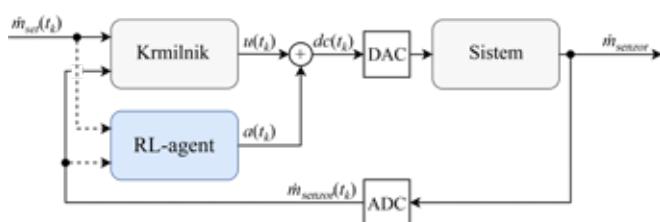
b) Proporcionalni tlačni ventil

4

Pnevmatična naprava za dinamično utrujanje materialov [10]

2.2.2 Umetna inteligenca in adaptivno krmiljenje

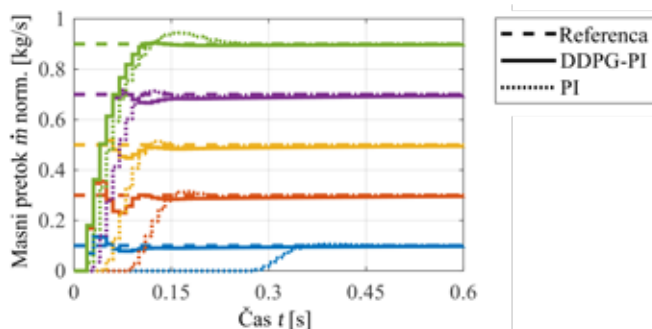
Eden najbolj obetavnih trendov na področju inteligentnega krmiljenja je uporaba spodbujevalnega učenja (ang. RL – Reinforcement Learning) in nevronske mreže (NN). Allmendinger in Erhard [13] sta predstavila hibridni pristop krmiljenja, pri katerem je bil agent na osnovi metode DDPG (ang. Deep Deterministic Policy Gradient) naučen v virtualnem okolju za izboljšanje delovanja klasičnega PI/PID-regulatorja pri regulaciji masnega pretoka (slika 5).



5 Struktura in glavne komponente modela strojnega učenja [13]

Krmilnik, izboljššan z RL, je dosegel stabilnejši odziv in boljšo prilagodljivost na spremenljive pogoje, kot so spremembe vstopnega tlaka in temperature tuljave (slika 6).

Ta pristop poudarja potencial podatkovno vodenega krmiljenja za kompenzacijo nelinearnosti in negotovosti, izboljšanje robustnosti in prilagodljivosti ter omogoča samodejno nastavljanje in napovedno obnašanje pnevmatičnega sistema.



6 Primerjava krmilnih sposobnosti med izboljšanim DDPG-PI in običajnim PI-krmiljenjem [13]

2.3 IoT, IIoT, digitalni dvojčki in pametna pnevmatika

Novi trend pnevmatike z industrijskim internetom stvari (IIoT) in tehnologijami digitalnih dvojčkov omogoča napovedno vzdrževanje, oddaljeno spremljanje in optimizacijo sistema. Pametni pnevmatični sistemi so opremljeni z vgrajenimi senzorji za tlak, masni pretok, temperaturo in položaj aktuatorjev, ki s pomočjo trenutno industrijsko uveljavljene brezžične 5G-tehnologije posredujejo podatke v oblak za nadaljnjo analitiko [14]. Tehnologija 5G in prihajajoča 6G-tehnologija sta še posebej pomembni za modularne proizvodne sisteme in po-

razdeljena krmilna omrežja [15]. Glavni akterji na področju pnevmatike, kot sta FESTO in SMC, sta predlagala in razvila pametne večnivojske platforme s podporo IIoT (inteligentne naprave z vgrajenimi senzorji in robnimi računalniki; nivo za krmiljenje in upravljanje stroja s PLC, vodno/izhodnimi napravami ter nivo podatkovne analitike v oblaku za spremljanje in izvajanje ukrepov v realnem času, diagnostike, predvidenega vzdrževanja in optimizacije energije [16].

Glavne prednosti so:

- ▶ zgodnje odkrivanje notranjega puščanja in obrabe komponent,
- ▶ optimizacija energijske rabe,
- ▶ spremljanje in diagnostika v realnem času.

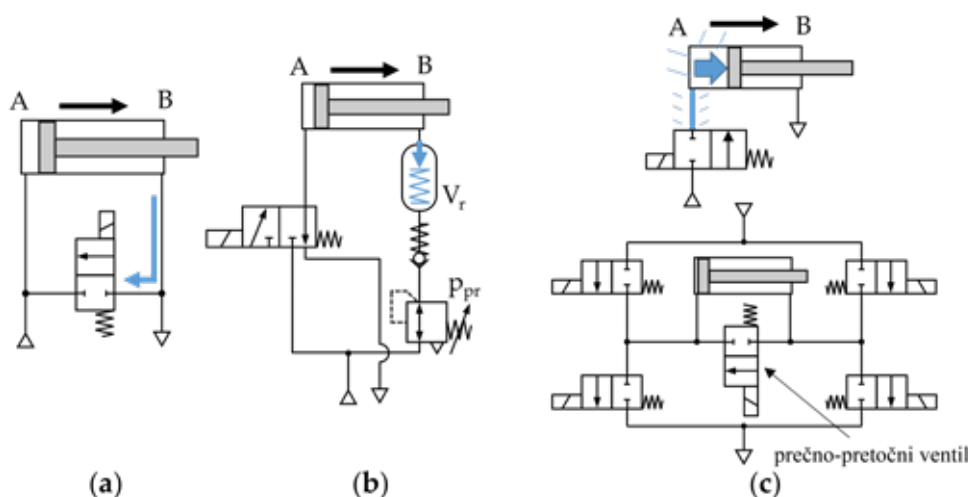
Digitalni dvojčki, digitalne replike fizičnih pnevmatičnih sistemov, omogočajo simulacijo, testiranje in optimizacijo strategij krmiljenja sistemov pred njihovo dejansko implementacijo. To močno skrajša čas zagona in poveča zanesljivost sistema. Sodobni pnevmatični sistemi se vse bolj integrirajo v kibernetsko-fizične sisteme (CPS), kjer v arhitekturi povratne zanke komunicirajo z digitalnimi krmilniki, senzorji in aktuatorji. Hibridni sistemi, ki združujejo pnevmatično in električno aktiviranje, prav tako pridobivajo na veljavi in ponujajo prednosti obeh tehnologij v smislu natančnosti in energijske učinkovitosti. Te integracije podpirajo širše cilje industrije 4.0, vključno z modularno in rekonfigurabilno avtomatizacijo, decentraliziranim krmiljenjem in robnim računalništvom ter izboljšanim sodelovanjem med človekom in strojem [8], [16], [17], [18], [19].

2.4 Energijska učinkovitost pnevmatičnih sistemov

Energijska učinkovitost je postala eno osrednjih vprašanj pri načrtovanju pnevmatičnih sistemov, kar je posledica naraščajočih stroškov energije, ciljev trajnostnega razvoja in potrebe po konkurenčni industrijski avtomatizaciji. Tradicionalni pnevmatični sistemi so pogosto deležni kritik zaradi svoje nizke energijske učinkovitosti, ki se običajno giblje med 5 in 20 % [20], [21], [22], [23], [24], [25]. Pomembno je poudariti, da stisnjeni zrak ni primarni vir energije, temveč energijski nosilec, pri katerem se zaradi procesa kompresije in distribucije pojavljajo znatne energijske izgube. Zato je optimizacija pnevmatičnih sistemov ključna za zmanjšanje skupne porabe energije.

Nedavne raziskave so uvedle več inovativnih strategij za znatno zmanjšanje porabe zraka in izboljšanje celotne zmogljivosti sistema. Ena izmed možnih in preprostih rešitev so energijsko varčna vezja (slika 7). Omenjena vezja vključujejo vezave, ki po svoji zasnovi odstopajo od standardnih pnevmatičnih vezij in katerih namen je zmanjšati količino stisnjenega zraka, dovajanega v sistem [21].

Ena izmed najučinkovitejših metod za izboljšanje energijske učinkovitosti je uporaba prekinitvenega dovajanja zraka. Namesto neprekinjenega dovajanja stisnjenega zraka skozi celoten hod aktuatorja ta metoda uporablja nadzorovane impulze zraka, pri čemer lahko aktuator učinkoviteje izkorišča ekspanzijsko energijo zraka. Gryboš in Leszczyński sta pokazala, da je s takšnim pristopom mogoče zmanjšati porabo stisnjenega



7

Osnovni principi energijskih vezij: (a) skrajšan povratni tok, (b) shranjevanje zraka na izstopni strani in (c) zgoraj: prekinjen princip pri iztegu valja, spodaj: ekspanzijski most z dodatnim prečno-pretočnim ventilom [21] 2

zraka za do približno 60 % v obravnavanih eksperimentalnih pogojih in pri ustrezno izbranih parametrih krmiljenja, hkrati pa ohraniti zahtevano raven zmogljivosti sistema [22]. Avtorja sta razvila dinamični model in ga eksperimentalno preverila ter pokazala, da profili hitrosti in sile aktuatorja ostanejo znotraj sprejemljivih meja, medtem ko se potrebna energija bistveno zmanjša.

Slika 8 prikazuje tok eksergije v klasičnih pnevmatičnih sistemih in sistemih s prekinitvenim dovajanjem zraka, pri čemer je razviden premik energijskih izgub iz dušilnega ventila v distribucijski pnevmatični podsistem oziroma cevovode.

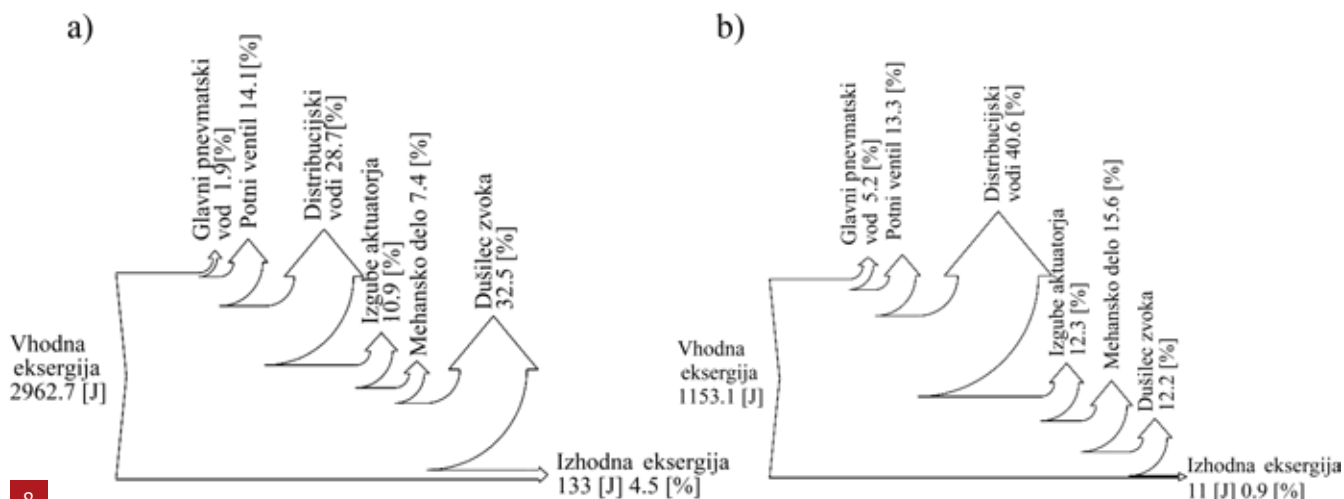
Pravilno dimenzioniranje pnevmatičnih aktuatorjev in ventilov je še en ključni dejavnik pri zmanjševanju energijskih izgub. Predimenzionirani aktuatorji porabijo več zraka, kot je potrebno, zlasti pri nalogah, ki vključujejo gibanje. Doll in sodelavci [7] so predstavili PFR (razmernik pnevmatične frekvence) kot kazalnik za optimizacijo dimenzioniranja aktuatorjev na podlagi dolžine hoda, obremenitve in prehodnega časa. Njihova metoda zagotavlja, da aktuator deluje znotraj učinkovitega dinamičnega območja, s čimer se preprečuje prekomerna poraba stisnjenega zraka ob hkratnem ohranjanju zahtevane zmogljivosti sistema.

Poleg tega se kot obetavne kažejo tudi kombinirane strategije dušenja pretoka, kot je prilagodljivo dušenje na dovodni in odvodni strani. Reese in sodelavci [26] so razvili novo pnevmatično vezje (slika 9b), ki združuje hitroodzračevalne ventile (HOV), dušenje zraka na izpustu in krmiljenje dovodnega zraka, pri čemer so dosegli znatne prihranke stisnjenega zraka brez poslabšanja delovnega cikla (ohranitev časa cikla).

Druge strategije, prikazane v [22], vključujejo uporabo regulacije protitlaka in sistemov za rekuperacijo energije. Z uvedbo nadzorovanega protitlaka v izhodni cevi je mogoče ponovno uporabiti del energije ekspanzije in zmanjšati porabo zraka. Te metode so še posebej učinkovite v sistemih z visokofrekvenčnim aktiviranjem ali dolgimi dolžinami hoda pnevmatičnih valjev.

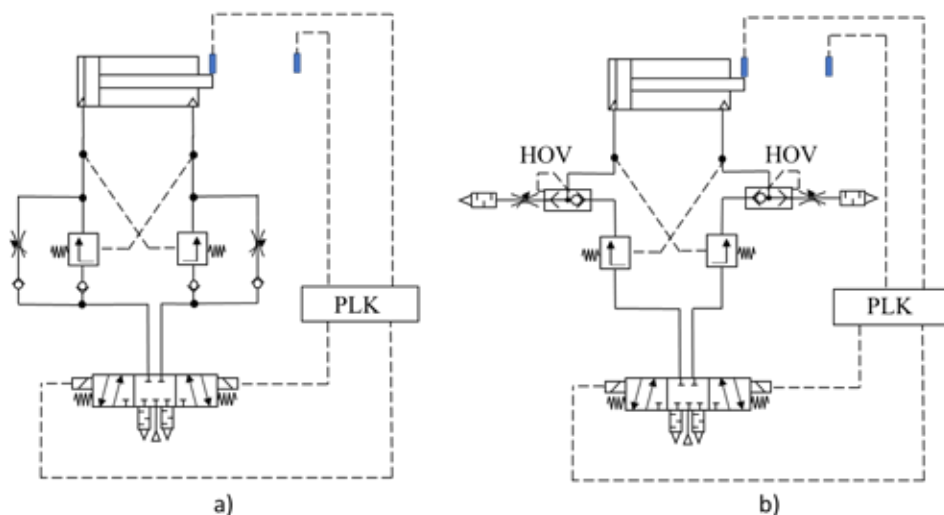
3 Trendi za prihodnost

Razvoj pnevmatičnih sistemov oblikuje konvergenca tehnoloških, okoljskih in ekonomskih dejavnikov. Ker se industrije preusmerjajo k pametnejšim, bolj trajnostnim in digitalno integriranim operacijam, je pnevmatika pripravljena prevzeti novo vlogo v sistemih naslednje generacije industrijske avtomatizacije.



8

Sankeyev diagram: a) eksergijski tokovi v klasičnem in b) prekinitvenem dovajanju zraka v pnevmatičnem sistemu [22]



9

Adaptivno dušenje na dovodu: a) originalno vezje in b) vezje s hitrood-zračevalnimi ventili [26]

cije. Tukaj so predstavljeni tipični primeri, osredotočeni na trajnost in ekološko ozaveščeno zasnovo tovarn, celotnih pnevmatičnih postrojenj ali posameznih pnevmatičnih sistemov.

Nedavni trend, ki ga podpirajo vsi večji akterji na področju pnevmatike, je osredotočen na zmanjšanje dovodnega tlaka s tradicionalnih 0,6 MPa na 0,4 MPa (tako imenovana tovarna z delovnim tlakom 0,4 MPa) [23], [24], [25]. Cilj tega je znatno zmanjšanje porabe energije, obratovalnih stroškov in emisij CO₂. Ker proizvodnja stisnjene zraka predstavlja veliko energijsko potratno in industrijsko obremenitev, lahko že manjše znižanje delovnega tlaka vodi do bistvenega povečanja učinkovitosti (za vsak 0,1 MPa znižanja dovodnega ali delovnega tlaka se v povprečju porabi 6–8 % manj specifične moči, potrebne za generiranje delovnega tlaka). Omenjena vrednost predstavlja tipično oceno iz industrijske prakse, dejanski prihranki pa so odvisni od karakteristik kompresorske postaje, stopnje puščanj in profila porabe stisnjene zraka v obratu.

Uvedba principa tovarne z delovnim tlakom 0,4 MPa zahteva fazni pristop, začenši z oceno potreb po tlaku in pretoku v celotnem industrijskem obratu ter podrobnim preverjanjem načel delovanja vseh pnevmatičnih komponent pod nižjim delovnim tlakom. Lokalizirano krmiljenje, shranjevanje zraka in manjše spremembe komponent pogosto omogočajo učinkovito delovanje obstoječe opreme pri nižjih delovnih tlakih in zato prilagoditve niso zahtevne ali niso potrebne. Ko je potrjena stabilnost na ravni stroja, podsistema, se lahko dovodni tlak v celotni tovarni postopoma zniža, kar zmanjša obremenitev kompresorja kompresorske postaje in s tem povezano porabo energije. Ta prehod vključuje tudi ponovno opredelitev standardov načrtovanja sistemov pod obratovalnimi pogoji z nižjim delovnim tlakom. Kjer je občasno potreben višji delovni tlak, se lahko uporabijo lokalni tlačni ojačevalniki. Takšen koncept tovarne ni le tehnična nadgradnja, temveč strateški korak k bolj trajnostni in učinkoviti proizvodnji. [23], [24], [27]

Naslednji pristop k trajnosti vključuje kvantifikacijo emisij toplogrednih plinov, povezanih s pnevmatičnimi komponentami. Sprink in Schmitz [28] sta izvedla analizo ogljičnega odtisa izdelka (ang. PCF – Product Carbon Footprint) različnih pnevmatičnih aktuatorjev (valjev) in ventilov od začetka do konca njihove življenjske dobe. Njuna študija je pokazala znatno

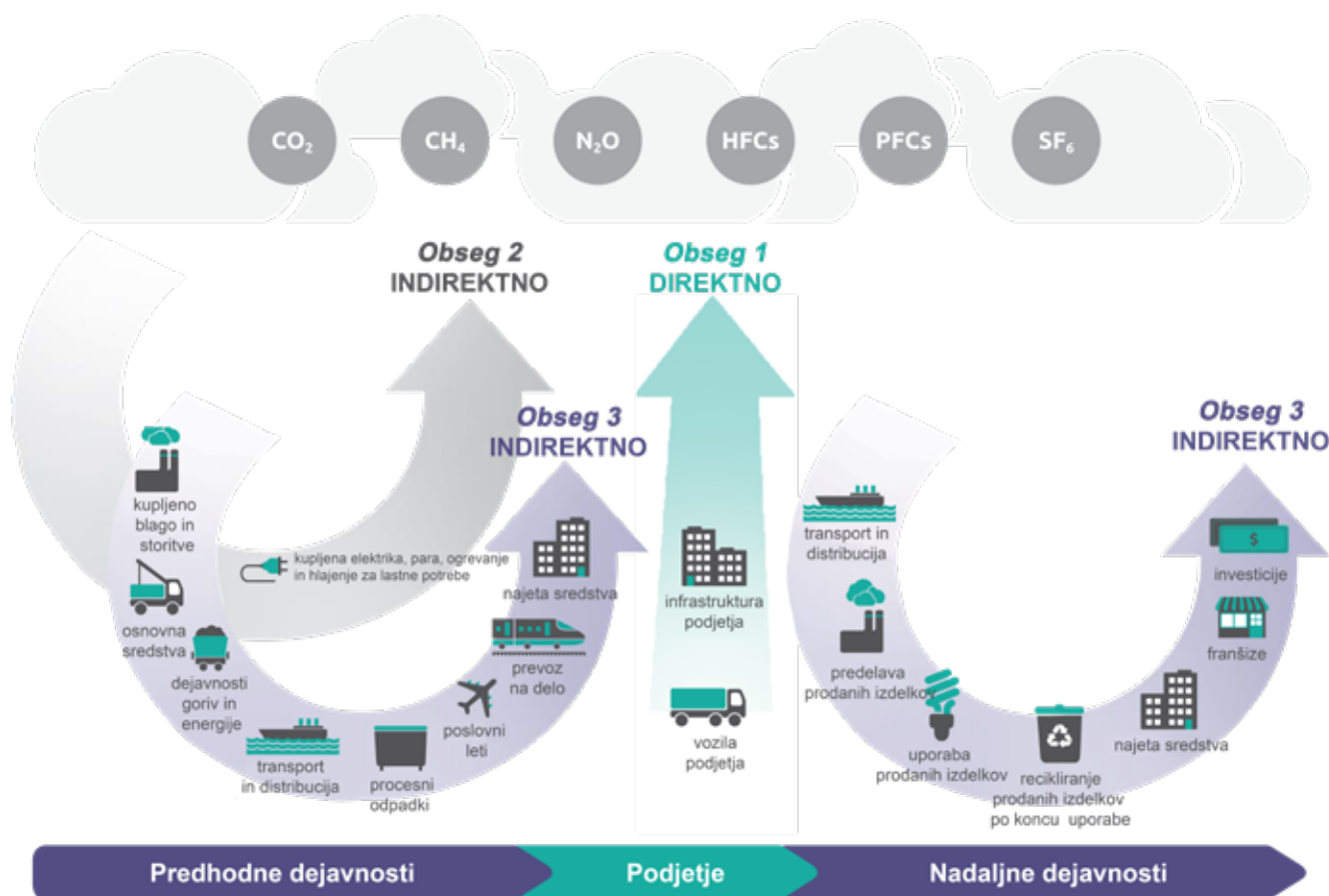
variabilnost emisij, odvisno od izvora materiala, proizvodnih procesov in kakovosti vhodnih, merjenih podatkov. Da bi zagotovili primerljivost, so avtorji poudarili potrebo po standardiziranih sistemskih mejah, preglednem poročanju o predpostavkah in uporabi primarnih podatkov, kjer je to mogoče. Slika 10 prikazuje sistemsko mejo, uporabljeno v njuni analizi PCF, ki zajema pridobivanje surovin, proizvodnjo komponent in montažo. Ta okvir podpira ocene trajnosti in strategije digitalne integracije.

Integracija analize PCF z digitalnimi orodji, kot so digitalni dvojčki in platforma za internet stvari, omogoča spremljanje okoljskega vpliva v realnem času. To podpira informirano odločanje pri načrtovanju, nabavi in delovanju. Poleg tega proizvajalci vedno bolj ponujajo nizkoogljične alternative, kot so komponente iz recikliranih materialov ali proizvedene z uporabo obnovljive energije.

Drugi možni pristop k trajnosti je optimizacija sile prijema (potrebne sile držanja) v pnevmatičnih sistemih. Eberhardt in sodelavci [29] so predlagali metodo za izračun potrebne sile držanja z vakuumskimi prijemali pri robotski aplikaciji in upoštevanjem kota držanja prijemanca med robotsko strego (slika 11). Primer prikazuje, kako lahko sprememba v velikosti 6° rotacije vpliva na dobrih 17 % manj potrebne sile prijemanja ali sile med strego objektov.

S prilagajanjem sile prijema dejanski dinamični obremenitvi vzdolž poti robota ali katere koli druge strežne naprave se je mogoče izogniti nepotrebnim porabi zraka, kar vodi tako do prihranka energije kot tudi do manjše obrabe komponent pnevmatičnih sistemov. Ta metoda podpira trajnostno avtomatizacijo, nov standard za dimenzioniranje robotskih pnevmatičnih prijemal. V obravnavanem primeru je bila ocenjena možnost podaljšanja življenjske dobe komponent do približno 10 %, odvisno od dejanske uporabe in obremenitev sistema. Glavni izziv predstavlja prilagodljivo krmiljenje potrebnega dovoda zraka in s tem velikosti podtlaka v sistemu ali krmiljenje vakuumske črpalke v realnem času.

Na podlagi predstavljenih naprednih pristopov in trendov razvoja v pnevmatiki, opisanih v [30], [31], [32], lahko povzamemo:

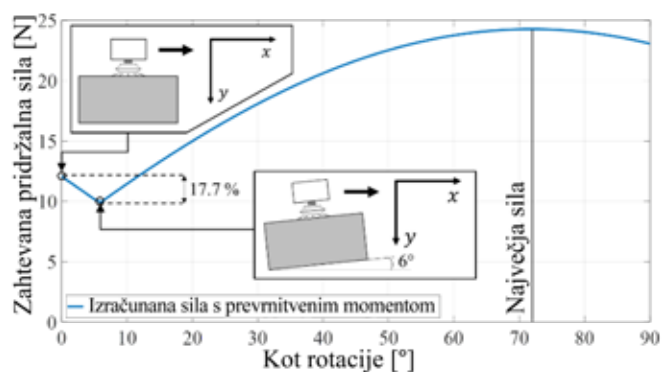


10 Sistemska meja za analizo ogljičnega odtisa izdelka (PCF) – življenjski cikel pnevmatičnih komponent [28]

- ▶ Miniaturizacija, ki jo podpirata mehka robotika in mikro-proizvodnja, širi pnevmatiko na področja mobilne/nosljive elektronike in biomedicine s poudarkom na nizkotlačnem, kompaktnem in varnem aktiviranju.
- ▶ Razvite so nove strategije za izboljšanje učinkovitosti pnevmatičnih sistemov, kot so preprečevanje puščanja, uporaba pravilno dimenzioniranih komponent in vzdrževanje. Te poudarjajo tudi vlogo pametnih orodij za spremljanje, kot so merilniki pretoka FLUX in ventili, ki jih podpira internet stvari, pri zmanjševanju porabe energije in omogočanju napovednega vzdrževanja.
- ▶ V robotiki se zdaj uporabljajo nova pnevmatična prijemala, ki v kompaktnem ohišju, krmiljena preko IO-Link povezave, integrirajo ventile, senzorje absolutnega položaja in zaznavanje delov. Te enote zagotavljajo visoke hitrosti ciklov (do 500 prijemov/min za RPG). Po navedbah proizvajalcev in predstavljenih primerih uporabe lahko takšni sistemi v specifičnih aplikacijah porabijo do 90 % manj stisnjenega zraka kot primerljive konvencionalne rešitve. Hkrati omenjeni sistemi podpirajo napovedno vzdrževanje z vgrajeno diagnostiko.
- ▶ Uporaba senzorjev pretoka zraka v kombinaciji z modularnimi sistemi, ki jih podpira IIoT (industrijski internet stvari), in tehnologijo 5G, omogoča preprosto integracijo in spremljanje v realnem času za zmanjšanje porabe stisnjenega zraka (prihranek 10–20 % energije in emisij).
- ▶ Uporaba naprednih materialov in premazov znatno izboljšuje vzdržljivost in zmogljivost pnevmatičnih komponent.
- ▶ Trenutni pristopi se osredotočajo na integracijo pnevma-

tike v kibernetsko-fizične sisteme preko digitalnih dvojčkov, kar omogoča spremljanje v realnem času, simulacijo in napovedno vzdrževanje. Ta digitalna orodja izboljšujejo zmogljivost in so usklajena s cilji industrije 4.0.

- ▶ Pojavljajo se hibridni pnevmatsko-električni sistemi, ki združujejo gostoto moči pnevmatike z natančnostjo električnih aktuatorjev, zlasti v sodelovalnih robotih in modularni avtomatizaciji.
- ▶ Umetna inteligenca izboljšuje krmiljenje pnevmatičnih sistemov in naprav s samodejno prilagodljivimi algoritmi, ki se prilagajajo v realnem času, kar omogoča pametnejše odkrivanje napak, avtonomno in učinkovito načrtovanje sistemov.



11 Zmanjšana potrebna sila držanja s pametno poravnavo prijemalnega predmeta [29]

- Trajnost spodbuja uporabo recikliranih ali biološko zasnovanih materialov in načel krožnega načrtovanja, kar podpirajo vse večje zahteve po preglednem poročanju o ogljičnem odtisu.

4 Zaključki

Razvoj pnevmatičnih sistemov v zadnjih letih zaznamujejo številni tehnološki napredki, ki pomembno prispevajo k večji učinkovitosti, prilagodljivosti in inteligentnosti teh sistemov. Integracija miniaturnih 3D tiskanih in mehkih aktuatorjev (pnevmatičnih valjev) širi področje uporabe pnevmatike na robotiko, biomedicino in nosljive naprave, kjer so majhna masa, prilagodljivost in varno delovanje bistvenega pomena. Hkrati napredne strategije vodenja, zlasti pristopi, ki temeljijo na spodbujevalnem učenju (RL) in digitalni pnevmatiki, pomembno izboljšujejo prilagodljivost, natančnost in energijsko učinkovitost pnevmatičnih sistemov. Ker gre za pregledni članek, predstavljeni rezultati in številčne vrednosti izhajajo iz različnih raziskovalnih in industrijskih študij ter jih ni mogoče neposredno posplošiti na vse pnevmatične aplikacije, kljub temu jasno nakazujejo razvojne smeri in potencial sodobnih pnevmatičnih sistemov.

Energijska učinkovitost ostaja ena osrednjih razvojnih usmeritev in priložnosti. Pristopi, kot so prekinitevno dovajanje stisnjenega zraka, optimirano dimenzioniranje aktuatorjev, kombinirani pristopi in vezja z dušenjem in protitlakom ter uporaba nižjih delovnih tlakov (npr. sistemi, primerni za delovni tlak 0,4 MPa), omogočajo pomembne prihranke zraka in energije. S tem se ne zmanjšujejo le obratovalni stroški, temveč se hkrati podpira uresničevanje trajnostnih ciljev.

Digitalizacija pnevmatične sisteme vse bolj preoblikuje v pametne kibernetsko-fizične sisteme. Integracija senzorjev industrijskega interneta stvari (IIoT), omrežij 5G, digitalnih dvojčkov sistemov in procesov ter umetne inteligence omogoča prediktivno vzdrževanje, sprotno spremljanje stanja ter optimizacijo delovanja na podlagi podatkov. Poleg tega trajnost postaja pomembno merilo pri načrtovanju sistemov, kar potrjuje metode za ocenjevanje okoljskih vplivov skozi življenjski cikel, kot je analiza ogljičnega odtisa izdelka (PCF), ter razvoj okolju prijaznejših materialov in energijsko učinkovitih strategij krmiljenja.

V prihodnje pnevmatični sistemi predstavljajo enega ključnih gradnikov industrije 4.0, ki jo zaznamujejo hibridni aktuatorski sistemi, inteligentna diagnostika, modularne arhitekture in okoljsko odgovorno načrtovanje. Ti dosežki potrjujejo, da pnevmatika ni zgolj tradicionalna tehnologija, temveč vsestranska, prilagodljiva in trajnostna tehnološka platforma, pripravljena na izzive in zahteve avtomatizacije naslednje generacije.

Literatura

- [1] SMC (2019). 8 Advantages of Pneumatic Systems, SMC Pneumatics USA- Orange Coast Pneumatics. https://www.smcpcneumatics.com/8-Advantages-of-Pneumatic-Systems_b_31.html.
- [2] Nuryasin, A. (2025). Advantages and Disadvantages of Pneumatic Systems in Industrial Automation. PT Bawalaksana Central Industrial. <https://bawalaksana.co/advantages-and-disadvantages-of-pneumatic-systems/>.
- [3] MADER (2018). Optimale Drucklufttechnik und Pneumatik in der Lebensmittel- und Getränkeindustrie. <https://www.mader.eu/aktuell/2018/branchenpaket-leitfaden-fuer-effiziente-druckluft-der-lebensmittel-und->.
- [4] Singh, A. P. A., Gameti, N., Gupta, S. (2024). Future Trends in Industrial Hydraulics and Pneumatics: Implications for Operations and Maintenance. *International Journal of Technical Innovation in Modern Engineering and Science*, 10 (10), 15–25. doi: <https://ijtimes.com/index.php/ijtimes/article/view/3442>.
- [5] Nall, C. L., & Bhounsule, P. A. (2019). A Miniature 3D Printed On-Off Linear Pneumatic Actuator and Its Demonstration into a Cartoon Character of a Hopping Lamp. *Actuators*, 8(4), 72. doi: <https://doi.org/10.3390/act8040072>.
- [6] Xavier, M. S. et al. (2022). Soft Pneumatic Actuators: A Review of Design, Fabrication, Modeling, Sensing, Control and Applications, *IEEE Access*, vol. 10, pp. 59442–59485, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3179589.
- [7] Doll, M., Neumann, R., Gauchel, W. (2024). Sizing of pneumatic drives under energy efficiency aspects. 4th International Fluid Power Conference, Dresden 2024.
- [8] SMC (2019). Factory Automation Trends. SMC Corporation. <https://www.smc.eu/da-dk/focus-articles/trends>.
- [9] Avram, M., et al. (2020). Trends and perspectives in proportional pneumatics. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* doi: 10.1088/1757-899X/997/1/012034.
- [10] Šitum, Ž., Bača, M. M., Benić, J., Alar, Ž. (2024). Control of a Pneumatic System for Material Strength Testing. 4th International Fluid Power Conference, Dresden 2024.
- [11] FESTO (2024). Pneumatics Makes a Technological Leap with Piezo. <https://press.festo.com/en-US/node/4679>.
- [12] FESTO (2015). Piezo technology in pneumatic valves. https://www.festo.com/tw/en/e/solutions/piezo-technology-shape-the-future-of-automation-id_1519983/.
- [13] Allmendinger, M., Erhard, M. (2024). Reinforcement learning-based PID controller design for mass flow. Control of a Pneumatic System for Material Strength Testing. 4th International Fluid Power Conference, Dresden 2024.
- [14] Rowse, T. (2022). What is Smart Pneumatics? <https://www.rowse-pneumatics.co.uk/blog/post/what-is-smart-pneumatics?srsId=AfmBOoogVomE8SmMzk24IA6gfSINFCIOUgdpKekImgajTcLP7tJGo5Y>.
- [15] Sotiris, M., Lenz, S., Vogt, T., Henze, M. (2025). Secure integration of 5G in industrial networks: State of the art, challenges and opportunities, *Future Generation Computer Systems*, Volume 166. doi: <https://doi.org/10.1016/j.future.2024.107645>.
- [16] EMERSON (2019). Improve Machine Performance with IIoT Solutions. Emerson Electric Co. AVENTICS.
- [17] Weiss Robotics (2025). Smart Pneumatics – Hybrid technologies provide advantages. <https://weiss-robotics.com/smart-pneumatics/>.
- [18] SPS Pneumatic Tools. (2025). The Future of Pneumatic Technology: Trends to Watch in 2025. SPS Enterprises. <https://www.spspneumatictools.com/future-of-pneumatic-technology-trends-2025>.
- [19] Hufnagl, H., Čebular, A., Stemler, M. (2021). Trends in pneumatics - digitalization. International conference Fluid Power 2021. doi: <https://doi.org/10.18690/978-961->

- 286-513-9.
- [20] Nuryasin, A. (2024). How to improve pneumatic system efficiency for green manufacturing. PT. Bawalaksana Central Industrial. <https://bawalaksana.co/how-to-improve-pneumatic-system-efficiency/>
- [21] Boyko, V., Wener, J. (2023). Energy Efficiency of Pneumatic Actuating Systems with Pressure-Based Air Supply Cut-Off. *Actuators*, 13, 44. doi: <https://doi.org/10.3390/act13010044>.
- [22] Gryboś, D., Leszczyński, J. (2024). Exergy analysis for the intermittent air supply in pneumatic machines. 4th International Fluid Power Conference, Dresden 2024.
- [23] SMC (2024). 4-Bar Factory – Accept the Challenge. SMC Corporation <https://www.smc.eu/fi-fi/solutions/energy-efficiency/4-bar-factory>.
- [24] SMC (2024). Energy efficiency – Energy Optimization with SMC strategy. SMC Corporation. <https://www.smc.eu/fi-fi/solutions/energy-efficiency>.
- [25] FESTO (2025). Compressed Air Energy Efficiency Audit. FESTO Corporation. https://www.festo.com/us/en/e-support/additional-services/compressed-air-energy-efficiency-audit-id_2012747/.
- [26] Reese, C., Reinertz, O., Schmitz, K. (2024). Feasibility study and experimental validation of a novel combined throttling approach. 4th International Fluid Power Conference, Dresden 2024.
- [27] Schipiour, S. (2024). Transformative Advancements in Pneumatic Systems – Trends, Technologies, and Industry Applications. *Fluid Power Journal*. <https://fluidpowerjournal.com/transformative-advancements-in-pneumatic-systems/>.
- [28] Sprink, J., Schmitz, K. (2024). Product carbon footprint of hydraulic and pneumatic components – challenges in accounting and comparability. 4th International Fluid Power Conference, Dresden 2024.
- [29] Eberhardt, T., Stegmaier, V., Schaaf, W., Verl, A. (2024). A trajectory-specific approach for calculating the required holding force for surface grippers. 4th International Fluid Power Conference, Dresden 2024.
- [30] Brezni, R. (2022). On the Air: How Smart Pneumatics Saves Costs and Helps the Planet, *Fluid Power Journal*. <https://fluidpowerjournal.com/on-the-air-how-smart-pneumatics-saves-costs-and-helps-the-planet/>.
- [31] Melzer, F. (2022). When the Future of Robotics Becomes Pneumatics. *Tech Briefs – Engineering Solutions for Design & Manufacturing*. <https://www.techbriefs.com/component/content/article/46682-when-the-future-of-robotics-becomes-pneumatics>.
- [32] Motion Control & Drives (2024). Latest trends in pneumatics systems. *South African Instrumentation and control*. <https://www.instrumentation.co.za/21217r>.

New approaches, technologies and trends in production pneumatic systems and processes

Abstract:

The growing demand for more energy-efficient, flexible and intelligent industrial systems is driving intensive development and innovation in the field of pneumatics. The development of miniature 3D-printed and soft pneumatic actuators enables lightweight, flexible and safe solutions for use in robotics and biomedical applications. Proportional and digital pneumatics are further developing towards Industry 4.0, with reinforcement learning methods improving the adaptability of control systems. Methods for reducing energy consumption, including intermittent compressed air supply, shut-off circuits for pressure regulation, optimized component sizing and new flow damping approaches. Calculation of gripping force based on motion trajectory and analysis of the product's carbon footprint contribute to the implementation of sustainable practices. The field of soft robotics is further enriched by new actuator designs, data-driven models and nonlinear control strategies. Experimental results confirm the practical applicability and effectiveness of the presented technologies. The review thus confirms pneumatics as a versatile, efficient and environmentally responsible technology platform for modern automation, which, through the integration of the Internet of Things (IoT), digital twins and hybrid systems, represents an important foundation for future fluid technology solutions.

Keywords:

Pneumatics, energy efficiency, robotics, intelligent control, automation, sustainability

Zahvala in financiranje

Raziskava je bila izvedena v okviru raziskovalnega programa Inovativni proizvodni sistemi in procesi, št. financiranja (P2-0248), ki ga financira Republika Slovenija – Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport.



Tribološke in funkcionalne omejitve univerzalnih motornih olj v hidravličnih sistemih

Franc Majdič

Izvleček:

Univerzalno motorno olje lahko deluje zadovoljivo tudi kot hidravlično olje. Če je univerzalno motorno olje uporabljeno kot hidravlično samo zaradi njegovega visokega indeksa viskoznosti (VI) – torej zaradi stabilne kinematične viskoznosti ne glede na temperaturne spremembe, potem to ni prava rešitev. Vse je seveda povezano z dodatki, ki dvigujejo indeks viskoznosti. Ti dodatki so relativno velike molekule, ki pri nizkih temperaturah ne zgostijo olja, pri višjih temperaturah pa tvorijo dolge verige molekul, kar posledično povečuje kinematično viskoznost olja. Prvi dodatki za povečanje indeksa viskoznosti, ki so bili uporabljeni v letu 1940, so bili iz stopljene gume. Dobri so bili za uporabo v motornem olju. Dodatki za dviganje indeksa viskoznosti so se v letih razvoja zelo izboljšali. Vendar so kljub temu tudi danes še vedno občutljivi na strižne napetosti med pretakanjem. Z vidika strižnih napetosti so hidravlične kapljevine najbolj obremenjene, zato se uporabljajo izboljševalci skupine VI.

Ključne besede:

motorno olje, hidravlično olje, dodatki, indeks viskoznosti

V zadnjem prispevku o vzdrževanju hidravličnih naprav smo pisali o razliki med namenskimi in univerzalnimi hidravličnimi olji. Hidravlično olje je drugačno od vseh drugih maziv, ker mora zagotavljati dve glavni funkciji: prenos energije in mazanje. Poleg omenjenega pa mora preprečevati penjenje, izločanje zračnih mehurčkov, mora biti termično, oksidacijsko in hidrolitično stabilno, imeti mora dobre protiobrabne lastnosti, dobro filtrabilnost in demulzibilnost, nuditi mora dobro korozijsko zaščito in stabilno viskoznost ter zagotavljati ustrezno debelino mazalnega filma. Vse to je zelo pomembno za zagotavljanje dolge uporabne dobe hidravličnih sistemov.

Izboljševalci skupine VI so dragi dodatki za pripravo uporabnih olj. Čeprav bi bilo mogoče izdelati univerzalno motorno olje, ki bi bilo stabilno na strižne obremenitve in bi ga lahko uporabljali v hidravličnem sistemu, bi bilo to preveč za uporabo v motorju, saj bi zato še dodatno povečalo njegovo ceno [1].

Če povzamemo: dodatki skupine VI izboljšajo motorna olja ter olja za avtomatske in ročne menjalnike, ki pa niso tipično strižno stabilni, ko se uporabljajo v hidravličnih sistemih. To pomeni, da se pri uporabi teh olj v hidravličnih sistemih dodatki skupine VI sčasoma izrabijo in izgubijo svojo ključno lastnost izboljšave indeksa viskoznosti.

Če temperaturno področje uporabe hidravličnega sistema dikтира uporabo univerzalnega (večgradnega) olja, motorno olje

ni najbolj primerno za to. V takem primeru priporočamo uporabo univerzalnega (večgradnega) hidravličnega olja [2, 3].

Uporaba detergentov in dodatkov cinka

Dodatki cinka (ZDDP) so protiobrabni in protioksidacijski. Dodatki detergentov pa skrbijo za razprševanje netopnih snovi, kot so npr. saje. To preprečuje odlaganje delcev znotraj omejenih površin.

Delci v suspenziji se lahko ujamejo v filtri, če so dovolj veliki, ali pa se odstranijo ob menjavi olja. V dizelskih motorjih izločene saje in mulj povzročajo, da olje hitro postane črno. Če se tako olje ne menja dovolj pogosto, sajaste tvorbe tvorijo obrabo sklopov ventilov in drugih elementov. Prav tako je težava, če je olje nasičeno s sajami in se te začnejo odlagati na notranjih delih motorja.

Tudi detergenti stremijo k temu, da nase vežejo manjšo količino vode, namesto da bi jo izločili. Veliko je govora o smiselnosti uporabe detergentov z namenom izločanja ali neizločanja vode. Pri hidravličnih oljih je izločanje vode nujno. Tako se izločena voda lahko izpusti iz hidravličnega rezervoarja. Podjetje Caterpillar (*slika 1*) ima nasprotni pogled. V mobilni hidravliki obstaja velika verjetnost, da prosta voda pride v hidravlični sistem. Zato v podjetju Caterpillar trdijo, da je boljše obdržati emulzirano vodo v olju [1].

Veliko proizvajalcev hidravličnih komponent se strinja s Caterpillarjem. Bosch-Rexroth, eden izmed svetovno prepoznavnejših proizvajalcev hidravličnih komponent, je v svojih tehničnih navodilih z naslovom »Hidravlične kapljevine na naftni osnovi za aksialne batne enote« zapisal: »Naslednje kapljevine so primerne za mobilne stroje: HLP-kapljevine z dodanimi

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



© The Authors 2026. CC-BY 4.0

<https://doi.org/10.5545/Ventil-32-2026-4.30>



1 Caterpillarjevi mobilni stroji za vožnjo in delo zunaj cestnih površin

detergenti.« V istem dokumentu je tudi opozorilo, da preveč emulgirane vode v mineralnem hidravličnem olju lahko povzroči nastanek pare pri visoko obremenjenih komponentah. To pa vsekakor ni zaželeno. Podjetje Caterpillar priporoča uporabo lastnega mineralnega hidravličnega olja z oznako HYDO ADVANCE 10 kot prvo izbiro ali pa motorno olje za dizelske motorje po specifikaciji API-CD ali boljše. Odsvetujejo pa uporabo industrijskega hidravličnega olja, ki vsebuje premalo cinka in izloča vodo, kar Caterpillar ne priporoča. Tovarniško priporočeno olje HYDRO vsebuje vsaj 1200 ppm (angl. *parts per million*) cinka. Motorna olja za dizelske motorje po specifikaciji API CG-4 in CH-4 imajo 1400 ppm cinka. Večina industrijskih hidravličnih kapljev in ima vsebnost cinka zelo nizko, v območju med 300 ppm in 600 ppm. Za kvalitetno hidravlično olje pa ni pomembna samo količina cinka, temveč tudi njegova kvaliteta. Gre za kemično zgradbo in stabilnost v paketu dodatkov, ki je prav tako pomembna kot količina cinka. Podjetje Komatsu se strinja s priporočili podjetja Caterpillar in prav tako za njihove hidravlične sisteme priporoča motorno olje 10 W po specifikacijah API CD ali novejših. Z drugimi besedami: tudi Komatsu za njihove stroje priporoča večjo količino cinka ter detergentov v olju. Olje 10 W ima kinematično viskoznost 37 mm²/s pri 40 °C.

Tretji največji proizvajalec hidravličnih mobilnih strojev, Hitachi, pa ima drugačna priporočila. Oni priporočajo svoje lastno hidravlično olje, ki je brez vsebnosti cinka – Super EX 46 HN. V tem primeru gre za hidravlično mineralno olje ISO VG46, ki vsebuje dodatek za dvig indeksa viskoznosti (VI = 125). Ta viskoznostni razred je za vroča področja prenizek. Podatki proizvajalca Hitachi ne govorijo o vezavi ali izločanju vode iz olja. Njihovo olje naj bi bilo brez cinka, kar je prednost, saj naj bi bilo olje z dodatkom cinka ob prisotnosti vode nestabilno in se začne razgrajevati pri temperaturah med 90 °C in 100 °C. Organsko-fosfatni protiobrabni dodatek, kot je trikrezilni fosfat (TCP), ostane aktiven do temperature 200 °C. Tako formulirano Hitachijevo hidravlično olje se zelo dobro obnese pri visokih temperaturah in ob prisotnosti vode v olju.

Kakšen pristop je pravilen? Da odgovorimo na to vprašanje, je treba najprej odgovoriti na druga podvprašanja. Ali so dodatki cinka (ZDDP) škodljivi za hidravlični sistem? Dokazano je cink

zelo dober protiobrabni dodatek za daljšo uporabno dobo. Je cenovno ugoden in učinkovit. Vse kaže, da bo še tudi v prihodnje popularna izbira cinka kot dodatka za hidravlično olje. Uporaba dodatka cinka je vprašljiva pri hidravličnih sistemih, ki vsebujejo eksotične kovine ali pa v sistemih z visoko temperaturo in vsebnostjo vode.

Naslednji pomislek je, ali so dodatki detergentov škodljivi za hidravlični sistem? Odgovor ni enostaven. Najprej je vprašanje vsebnosti vode. Če poskrbimo, da je olje suho – brez vsebnosti vode in ga dovolj pogosto menjamo, ni problemov pri uporabi detergentov kot dodatkov hidravličnemu olju.

Pri motornem olju je znano, da detergenti kot dodatki ne pripomorejo k čiščenju notranjosti motorja. Ta trditev velja za motorje, ki so od začetka uporabljali motorno olje z dodatki detergentov. Če motorno olje najprej uporablja dodatke brez detergentov, pa je drugače. Dodatki detergentov so se začeli uporabljati po letu 1960. Takrat so se popravila motorjev drastično povečala. Motorji, ki so do takrat uporabljali olja brez detergentov, so po menjavi z novim detergentiranim oljem zelo hitro odpovedali. Razlog je bil v odplakovanju naloženih zgostenin znotraj motorja, ki so med drugimi vsebovala trde delce. Ti so hitro in zelo opazno poškodovali drsne ležaje motorja. Na podlagi te opisane izkušnje ni priporočljiva menjava standardnega mineralnega hidravličnega olja z motornim oljem, ki vsebuje detergente.

Povzetek glavnih ugotovitev

- ▶ Če imate hidravlično napravo, ki deluje v širokem temperaturnem območju, ob uporabi univerzalnega olja z visokim indeksom viskoznosti preverite njegovo strižno stabilnost.
- ▶ Olja z dodatki detergentov vežejo nase vodo (jo emulgirajo) in so tipična za mobilne hidravlične stroje. Olja brez detergentov pa vode nase ne vežejo in so tipična za industrijsko hidravliko. Olja z visoko vsebnostjo detergentov, kot so to motorna olja, niso škodljiva za hidravlične sisteme. Težava pa se lahko pojavi, če smo pred tem oljem v hidravlični napravi uporabljali olja brez detergentov. Novo olje z dodatki detergentov lahko splakne usedline,

v katerih so običajno tudi trdi obrabni delci. To pa lahko povzroči pospešeno obrabo hidravličnih sistemov.

- Dodatek cinka hidravličnemu olju (ZDDP) je univerzalen, poceni in zelo učinkovit za zmanjšanje obrabe. Za mobilno-hidravlične stroje se priporoča dodatek cinka v koncentraciji 1200 ppm ali več (slika 2). Pri industrijskih hidravličnih napravah pa je običajna koncentracija dodatka cinka v hidravličnem olju med 300 ppm in 600 ppm. Razlika o priporočeni vsebnosti cinka med mobilnimi stroji in industrijsko hidravliko ima več razlogov v varčevanju motorjev z notranjim zgorevanjem kot pa v boljšem izkoristku in trajnosti hidravličnih sistemov. Pri mobilnih hidravličnih strojih je namreč težnja, da bi se na celotnem

stroju uporabljalo eno samo olje (motor z notranjim zgorevanjem, hidravlični sistem, zobniški prenosniki ...).

Viri

- [1] Casey, B.: Insider secrets to hydraulics, Brendan Casey, West Perth, 2002.
- [2] Pezdinik, J., Majdič, F.: Hidravlika in pnevmatika, skripta, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana, 2011.
- [3] Findeisen, D.: Ölhydraulik, 5. Auflage, Berlin, 2005.
- [4] Teknoxgroup vir: <https://www.teknoxgroup.com/> zadnjič ogledano: 31. 07. 2026.

Tribological and functional limitations of universal engine oils in hydraulic systems

Abstract:

Universal motor oil can also function satisfactorily as hydraulic oil. However, if universal motor oil is used as hydraulic oil solely because of its high viscosity index (VI) – that is, because of its stable kinematic viscosity regardless of temperature changes – then this is not the right solution. This is, of course, related to the additives that increase the viscosity index. These additives are relatively large molecules that do not thicken the oil at low temperatures, but at higher temperatures form long molecular chains, which consequently increase the kinematic viscosity of the oil. The first viscosity index improvers, used in 1940, were made from melted rubber and were suitable for use in motor oil. Viscosity index improvers have been greatly refined over years of development. However, even today they remain sensitive to shear stresses during pumping. From the perspective of shear stresses, hydraulic fluids are subjected to the highest loads, which is why Group VI improvers are used.

Keywords:

engine oil, hydraulic oil, additives, viscosity index

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

Preprečevanje težav in napak pri mazanju

Milan Kambič

Izvleček:

Učinkovito mazanje je eden ključnih pogojev za zanesljivo in dolgo uporabno dobo industrijskih strojev ter naprav. Čeprav so se maziva, mazalni sistemi in diagnostične metode v zadnjih letih bistveno razvili, ostajajo napake pri mazanju pomemben vzrok okvar ležajev, zobniških prenosov in hidravličnih sistemov. Najpogostejše so posledica neustrezne izbire maziva, nepravilnega odmerjanja, kontaminacije, pomanjkljivega spremljanja stanja maziva ter nezadostno usposobljenega osebja. V članku so predstavljeni najpogostejši vzroki za težave pri mazanju, njihov vpliv na zanesljivost opreme ter ključni preventivni ukrepi, s katerimi je mogoče zmanjšati obrabo, podaljšati uporabno dobo komponent in izboljšati učinkovitost vzdrževanja.

Ključne besede:

mazanje, napake, mazalni sistemi, hidravlični sistemi

1 Uvod

Osnovna naloga mazanja je zmanjševanje trenja in obrabe med gibajočimi se površinami ter zaščita strojnih elementov pred korozijo, pregrevanjem in prezgodnjo odpovedjo. Pravilno izbrano in uporabljeno mazivo bistveno podaljša uporabno dobo opreme, zmanjša porabo energije ter stroške vzdrževanja. Nasprotno pa lahko neustrezno mazanje povzroči povečano trenje, višje temperature, poškodbe komponent in nenatčrtovane zaustavitve proizvodnje.

Po ocenah strokovnjakov je kar med 60 in 80 % vseh okvar ležajev neposredno povezanih z napakami pri mazanju, kot so napačna izbira maziva, kontaminacija, degradacija maziva ali nepravilna aplikacija [1]. Zato predstavlja učinkovito upravljanje mazanja eno najpomembnejših področij sodobnega vzdrževanja.

2 Najpogostejše težave in napake pri mazanju

2.1 Uporaba neustreznega maziva

Ena najpogostejših napak je izbira maziva, ki ne ustreza zahtevam aplikacije. Napačna viskoznost, neustrezni aditivi ali napačna konsistenca masti lahko povzročijo nezadostno tvorbo mazalnega filma, povečano obrabo in pregrevanje komponent [2].

V sodobni industriji je izbira maziva vse zahtevnejša zaradi novih specifikacij, sprememb zakonodaje in razvoja aditivnih tehnolo-

gij. Zato je nujno upoštevati priporočila proizvajalcev opreme, delovne temperature, obremenitve ter okoljske pogoje.

Posledice napačne izbire maziva vključujejo:

- ▶ povečano trenje in obrabo,
- ▶ višje delovne temperature,
- ▶ zmanjšano energijsko učinkovitost,
- ▶ skrajšano uporabno dobo komponent,
- ▶ večje tveganje za odpoved opreme.

2.2 Nepravilna količina maziva

V praksi se pogosto pojavljata tako mazanje s premajhno kot tudi s preveliko količino maziva.

Pomanjkanje maziva povzroči neposreden stik kovinskih površin, povečano trenje, obrabo in nastanek toplote [3]. Posledice so pospešene poškodbe ležajev, zobnikov in drugih strojnih elementov. Mnogi vzdrževalci zmotno verjamejo, da večja količina masti pomeni boljšo zaščito [4]. V resnici prekomerno mazanje povzroča dvig temperature, povečano porabo energije, poškodbe tesnil ter možnost vdora nečistoč [5], [6]. Posebej pogosta je prekomerna količina masti v kotalnih ležajih (slika 1).



Prekomerno mazanje kotalnega ležaja (Vir: [7])

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



© The Authors 2026. CC-BY 4.0

<https://doi.org/10.5545/Ventil-32-2026-4.31>

Pravilno količino maziva je treba določiti na osnovi konstrukcije elementa, delovnih pogojev in priporočil proizvajalca.

2.3 Kontaminacija maziva

Kontaminacija velja za enega najpomembnejših vzrokov pre-zgodnjih odpovedi mazanih sistemov. Med najpogostejše kon-taminante sodijo:

- ▶ trdni delci,
- ▶ voda,
- ▶ procesne tekočine,
- ▶ produkti obrabe,
- ▶ zrak.

Kontaminanti pospešujejo obrabo, povzročajo korozijo ter zmanjšujejo učinkovitost aditivov v mazivu [3]. Voda v mazi-vu povzroča korozijo, oksidacijo olja in zmanjšanje mazalnih lastnosti (slika 2).

Posebej problematičen je vdor vlage skozi neustrezne odzra-čevalnike. Standardni odzračevalniki pogosto ne preprečujejo vdora finih delcev in vlage, kar povzroča oksidacijo olja, koro-zijo ter nastanek usedlin. Številni industrijski sistemi še vedno uporabljajo neustrezne odzračevalnike, ki omogočajo vdor vlage in trdnih delcev v olje [5].



2

Vdor vode v olje – nastanek emulzije (Vir: [7])

Za zmanjšanje kontaminacije so priporočljivi:

- ▶ učinkovita filtracija,
- ▶ sušilni odzračevalniki,
- ▶ čista skladišča maziv,
- ▶ zaprti sistemi za pretakanje,
- ▶ redne analize olja.

2.4 Pomanjkanje postopkov in standardizacije

Tudi najboljši program mazanja ne more biti uspešen brez ja-sno definiranih postopkov. Pomanjkanje dokumentiranih na-vodil vodi do različnih načinov izvajanja mazanja, odvisno od posameznega vzdrževalca.

Dokumentirani postopki za skladiščenje, pretakanje, vzorče-nje in odstranjevanje maziv so temelj učinkovitega programa mazanja [5]. Dokumentirani postopki morajo zajemati:

- ▶ skladiščenje maziv,
- ▶ prevzem in kontrolo novih maziv,
- ▶ označevanje maziv,
- ▶ menjavo in dolivanje,
- ▶ odvzem vzorcev,
- ▶ odstranjevanje odpadnih maziv.

Pomemben element standardizacije je tudi sistem označeva-nja maziv in mazalnih mest, ki zmanjšuje možnost zamenjav in navzkrižne kontaminacije.

2.5 Pomanjkljiv nadzor nad stanjem maziva

Maziva pogosto obravnavamo kot potrošni material, ki ga po vnosu v sistem pozabimo spremljati. Tak pristop zmanjšuje možnosti zgodnjega odkrivanja težav. Redno spremljanje sta-nja maziva omogoča pravočasno zaznavanje:

- ▶ oksidacije,
- ▶ vdora vode,
- ▶ kontaminacije s trdimi delci,
- ▶ degradacije aditivov,
- ▶ povečane obrabe komponent.

Analiza olja [8] omogoča spremljanje stanja maziva in stroja ter zgodnje odkrivanje okvar, vendar le ob pravilno izbranih mestih vzorčenja in ustrezni metodologiji odvzema vzorcev [5], [9].

2.6 Pomanjkanje usposobljenosti osebja

Velik delež napak pri mazanju izhaja iz pomanjkljivega po-znavanja tribologije in osnov mazanja [10]. Nepravilna izbira maziva, napačna interpretacija priporočil proizvajalcev ali ne-poznavanje vpliva kontaminacije lahko povzročijo pomembne stroške.

Sodobni programi mazanja zato vključujejo:

- ▶ redno strokovno usposabljanje,
- ▶ certificiranje osebja,
- ▶ periodične presoje mazalnih praks,
- ▶ spremljanje ključnih kazalnikov uspešnosti.

3 Posledice neustreznega mazanja

Neustrezno mazanje povzroča povečano trenje, obrabo, višje obratovalne temperature, zmanjšano energijsko učinkovitost ter nenačrtovane zastoje proizvodnje [3]. Napake pri mazanju se ne odražajo le v neposrednih okvarah komponent, ampak povzročajo tudi širše poslovne posledice:

- ▶ povečane stroške vzdrževanja,
- ▶ višjo porabo energije,
- ▶ zmanjšano razpoložljivost opreme,

- ▶ nenačrtovane zastoje proizvodnje,
- ▶ večje tveganje za varnostne incidente,
- ▶ negativne vplive na okolje zaradi uhajanja maziv in pogo-
stejših menjav.

Posebej pomemben je pojav prezgodnjih odpovedi. Komponenta sicer ne odpove katastrofalno, vendar ne doseže predvidene uporabne dobe [1]. Takšne odpovedi pogosto ostanejo spregledane, čeprav predstavljajo pomemben vir skritih stroškov.

Poleg neposrednih stroškov popravil lahko neustrezno mazanje povzroči tudi izgubo kakovosti izdelkov, zmanjšano produktivnost ter zamude pri dobavah.

4 Kako preprečiti napake pri mazanju

Uspešen program mazanja temelji na načelu »pravo mazivo, v pravi količini, ob pravem času in v čistem stanju«.

Ključni ukrepi vključujejo:

- ▶ pravilno izbiro maziva glede na zahteve aplikacije,
- ▶ določitev optimalnih intervalov in količin mazanja,
- ▶ preprečevanje kontaminacije,
- ▶ uporabo ustreznih filtracijskih in odzračevalnih sistemov,
- ▶ uvedbo analiz olja in spremljanja stanja,
- ▶ standardizacijo postopkov,
- ▶ označevanje maziv in mazalnih mest,
- ▶ avtomatizacijo mazanja, kjer je to smiselno,
- ▶ redno izobraževanje osebja,
- ▶ izvajanje mazalnih pregledov in presoj.

5 Primeri najpogostejših napak pri mazanju v industrijski praksi

Izkušnje iz industrijskih obratov kažejo, da se težave pri mazanju najpogosteje pojavljajo na ležajih elektromotorjev, reduktorjih, hidravličnih sistemih in centralnih mazalnih sistemih. Čeprav so vzroki pogosto znani, se napake zaradi pomanjkljivega nadzora ali neustreznih postopkov še vedno pogosto ponavljajo.

5.1 Ležaji elektromotorjev

Pri elektromotorjih je ena najpogostejših napak prekomerno mazanje kotalnih ležajev. V praksi se pogosto uporablja načelo »več masti pomeni boljše mazanje«, kar povzroča povečano segrevanje ležaja, poškodbe tesnil in pospešeno staranje masti. Posledica so povečane vibracije, višja poraba električne energije in prezgodnja odpoved ležaja.

Pogosta težava je tudi uporaba neustrezne masti ali mešanje različnih vrst masti brez predhodne ocene njihove združljivosti [11].

5.2 Reduktorji

Pri industrijskih reduktorjih so najpogostejše težave povezane z uporabo neustrezne viskoznosti olja ter kontaminacijo z ob-



Obraba zobnika zaradi neustreznega mazanja (Vir: [7])

rabnimi delci in vlago. Zaradi visokih obremenitev zobniških parov lahko že manjša odstopanja od predpisane viskoznosti povzročijo porušitev mazalnega filma in pospešeno obrabo zobnikov, kot je jamičenje (ang. pitting), prikazano na *sliki 3*.

V številnih primerih analize olja razkrijejo povečane koncentracije železa, bakra ali silicija, kar kaže na obrabo zobnikov oziroma vdor prahu v sistem.

5.3 Hidravlični sistemi

Pri hidravličnih sistemih je največ težav povezanih s čistostjo hidravličnega olja. Trdni delci in voda povzročajo obrabo črpalk, konvencionalnih in zvezno delujočih ventilov, hkrati pa zmanjšujejo zanesljivost delovanja sistema. Umazan filter kaže na prisotnost delcev v hidravličnem sistemu (*slika 4*). Dodatno težavo predstavljajo previsoke delovne temperature, ki pospešujejo oksidacijo olja in zmanjšujejo njegovo uporabno dobo.

Raziskave kažejo, da je velik delež okvar hidravličnih sistemov povezan prav s kontaminacijo tekočine in z neustreznim vzdrževanjem filtracijskega sistema [4].



Kontaminiran filtrski element hidravličnega sistema (Vir: [7])

5.4 Centralni mazalni sistemi

Centralni mazalni sistemi omogočajo natančno in ponovljivo doziranje maziva, vendar le ob ustreznem nadzoru njihovega delovanja (*slika 5*). V praksi se pojavljajo zamašitve vodov,



Centralni mazalni sistem (Vir: [7])

poškodbe dozirnikov, prisotnost zraka v sistemu ter odpovedi črpalk. Če takšne napake niso pravočasno zaznane, lahko posamezna mazalna mesta ostanejo brez maziva, kar pogosto vodi do hudih poškodb opreme.

Zato je priporočljiva uporaba merilnikov pretoka, tlačnih stikal in sistemov za spremljanje delovanja mazalnega sistema v realnem času [1].

5.5 Ekonomski učinki napak pri mazanju

Neustrezno mazanje ne povzroča zgolj tehničnih težav, temveč tudi pomembne ekonomske posledice. Noria Corporation navaja, da je med 60 in 80 % vseh okvar ležajev neposredno ali posredno povezanih z mazivom oziroma načinom mazanja [1]. Stroški takšnih okvar običajno bistveno presegajo stroške samega maziva, saj vključujejo izgubo proizvodnje, rezervne dele, delo vzdrževalcev ter morebitne okoljske in varnostne posledice.

6 Zaključek

Mazanje je bistveno več kot zgolj dodajanje olja ali masti v stroj. Predstavlja celovit proces, ki vključuje pravilno izbiro maziva, njegovo skladiščenje, uporabo, spremljanje stanja in stalno izboljševanje postopkov. Analiza najpogostejših napak kaže, da so ključni vzroki za težave nepravilna izbira maziva, neustrezna količina, kontaminacija, pomanjkanje nadzora in nezadostna usposobljenost osebja.

Z uvedbo sistematičnega programa mazanja, podprtega z diagnostiko maziv, standardiziranimi postopki in stalnim izo-

brazevanjem, je mogoče bistveno podaljšati uporabno dobo opreme, zmanjšati stroške vzdrževanja ter izboljšati zanesljivost opreme, s tem pa zmanjšati skupne stroške lastništva ter prispevati k trajnostnemu in konkurenčnemu poslovanju podjetij.

Izkušnje iz industrijske prakse in rezultati laboratorijskih analiz maziv potrjujejo, da je mogoče s sistematičnim pristopom k mazanju pomembno zmanjšati število okvar in stroške vzdrževanja.

Viri

- [1] „What Exactly is a Lubrication Failure?“, Corporation, Noria, [Elektronski]. Available: <https://www.machinerylubrication.com/Read/967/lubrication-failure>. [Poskus dostopa 2. 6. 2026.]
- [2] „5 common lubrication errors“, DropsA GmbH, [Elektronski]. Available: <https://dropsa-schmiertechnik.de/en/blog/posts/5-fehler-bei-schmierung.html>. [Poskus dostopa 2. 6. 2026.]
- [3] „The most common lubrication problems and their consequences“, Nortek S.A., [Elektronski]. Available: <https://nortekfluids.com/the-most-common-lubrication-problems-and-their-consequences/>. [Poskus dostopa 2. 6. 2026.]
- [4] M. Kambič, „Količina in interval mazanja ležajev z mastjo“, IRT3000, Izv. 91/92, pp. 82–84, 2019.
- [5] W. Cash, „5 common lubrication problems and how to fix them“, Noria Corporation, [Elektronski]. Available: <https://www.machinerylubrication.com/Read/29528/common-lubrication-problems>. [Poskus dostopa 2. 6. 2026.]
- [6] „5 Lubrication Problems and How to Avoid Them“, Pennine Lubricants Limited, [Elektronski]. Available: <https://www.penninelubricants.co.uk/news/5-lubrication-problems-and-how-to-avoid-them/>. [Poskus dostopa 2. 6. 2026.]
- [7] „OpenAI, ChatGPT (različica GPT-5.4), orodje za pripravo grafičnih ponazoritev v članku na osnovi avtorjeve zasnove in navedenih literaturnih virov“, [Elektronski]. Available: <https://openai.com/>. [Poskus dostopa 30. 3. 2026.]
- [8] M. Kambič, „Laboratorijske analize maziv“, IRT 3000, Izv. 124, pp. 46–48, 2022.
- [9] M. Kambič, „Vzorčenje“, IRT 3000, Izv. 122, pp. 50–52, 2022.
- [10] „Most common hydraulic equipment lubrication mistakes and how to avoid them“, Valvoline Global Operations, [Elektronski]. Available: <https://www.valvolineglobal.com/en-eur/most-common-hydraulic-equipment-lubrication-mistakes/>. [Poskus dostopa 2. 6. 2026.]
- [11] M. Kambič, „Zdržljivost mazalnih masti“, IRT3000, izv. oktober, pp. 150–151, 2018.



Ali ste vedeli?

Od 60 do 80 % vseh okvar kotalnih ležajev je povezanih z nepravilnim mazanjem.

Prekomerno mazanje ležaja povzroči enako resne težave kot pomanjkanje maziva.

Že majhna količina vode v olju pospeši oksidacijo, korozijo in staranje maziva. Tudi najboljše mazivo ne more zaščititi stroja pred posledicami kontaminacije.

Pravo mazivo v pravi količini ob pravem času ostaja temelj uspešnega vzdrževanja.

Preventing Lubrication Problems and Failures

Abstract:

Effective lubrication is one of the key prerequisites for the reliable operation and long service life of industrial machinery and equipment. Despite significant advances in lubricants, lubrication systems, and condition monitoring techniques, lubrication-related failures remain a major cause of damage to bearings, gearboxes, and hydraulic systems. The most common causes include the use of unsuitable lubricants, incorrect lubricant quantities, contamination, inadequate lubricant condition monitoring, and insufficient personnel training. This paper presents the most frequent lubrication-related problems, their impact on equipment reliability, and the main preventive measures that can reduce wear, extend component service life, and improve maintenance efficiency.

Keywords:

lubrication, lubrication failures, lubrication systems, hydraulic systems



Hidravlična olja
srce hidravličnih sistemov

OLMA
www.olma.si

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

Quaker Houghton
Forward Together

MOTUL
Baraldi

tribo-chemie

setral
COMPANIES IN COOPERATION

SLOVENOIL

STORM

POSVET

AVTOMATIZACIJA STREGE IN MONTAŽE 2026 - ASM '26

03. decembra 2026
na Gospodarski zbornici Slovenije v Ljubljani

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



SCAN ME

Nov material za industrijo prihodnosti: manjša masa, visoka zmogljivost, brez kompromisov

V nenehno spreminjajočem se industrijskem okolju, kjer so učinkovitost, vzdržljivost in optimizacija stroškov ključne zahteve, postaja uporaba visokozmogljivih polimerov vse pomembnejši dejavnik. Napredek na področju raziskav polimerov je omogočil razvoj tehničnih termoplastov in naprednih umetnih mas, ki pogosto predstavljajo najučinkovitejšo rešitev za širok spekter industrijskih aplikacij.

Dodana vrednost SUPER termoplasta

Zahvaljujoč dolgoletnim strokovnim izkušnjam in najsodobnejšemu lastnemu laboratoriju so bili za zagotavljanje visoke zmogljivosti in zanesljivosti razviti termoplasti nove generacije, ki temeljijo na znanju iz avtomobilske, letalske in elektronske industrije. Za te materiale so značilne izjemne mehanske lastnosti, temperaturna odpornost, odpornost na kemikalije in korozijo ter električna izolacija.

Standardni deli iz SUPER termoplasta proizvajalca Elesa+Ganter so pogosto idealna rešitev za aplikacije, ki zahtevajo visoko zmogljivost, nizko težo in dolgo življenjsko dobo. Področja uporabe segajo od orodjarskih strojev in avtomatizacije do embalažne in živilske industrije.

Uporaba SUPER termoplasta predstavlja pomemben korak naprej pri razvoju industrijskih komponent. Ti materiali, ojačani s steklenimi vlakni, zagotavljajo visoko natezno, tlačno in upogibno trdnost ter hkrati ohranjajo stabilne lastnosti v celotni življenjski dobi. Zaradi odlične kemične odpornosti so še posebej primerni za agresivna okolja in aplikacije z visokimi obremenitvami.

Njihova majhna masa prispeva k zmanjšanju skupne mase strojev oz. sistemov, izboljšuje energijsko učinkovitost ter poenostavlja montažo in vzdrževanje. Nizek koeficient trenja v kombinaciji z gladko, neporozno površino zmanjšuje obra-



bo in omogoča delovanje brez mazanja. Poleg tega so zaradi odličnih električnih izolacijskih lastnosti posebej primerni za okolja, kjer je zahtevana električna izolacija.

Tudi z ekonomskega vidika prinašajo pomembne prednosti: nizki proizvodni stroški, preprosta obdelava in nizka poraba energije naredijo standardne dele iz SUPER termoplasta rešitev z visoko dodano vrednostjo za naslednjo generacijo industrije.

Standardni navojni deli iz SUPER termoplasta

Pomemben korak naprej predstavlja tudi uporaba tega materiala pri navojnih komponentah, med katere sodijo navojni vijaki in palice, narebričeni vijaki, nivelirne noge, pozicionirni elementi ter ekscentrični vpenjalniki. Zaradi svoje vsestranskosti SUPER termoplast izpolnjuje širok spekter zahtev in hkrati zagotavljajo visoko zmogljivost.

Preverjena inovativnost in kakovost

Oddelek za raziskave in razvoj tesno sodeluje z internim prekusnim laboratorijem in spremlja vsako fazo razvoja – od numeričnih simulacij z metodo končnih elementov in izdelave prototipov z uporabo pilotnih kalupov do validacije posameznih komponent. Vsak izdelek je podvržen strogim mehanskim, toplotnim, kemičnim, udarnim in vzdržljivostnim preizkusom.

Vir:

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

© Avtorji 2026. CC-BY 4.0

GEDORE GTS – hidravlični momentni ključi za nadzorovano privijanje vijačnih zvez

GEDORE GTS so hidravlični momentni ključi, namenjeni natančnemu privijanju vijačnih zvez v energetiki, težki industriji in infrastrukturi. Hidravlični pogon omogoča doseganje visokih navorov ob kompaktni zasnovi, majhni masi in visoki ponovljivosti rezultatov. Orodje deluje v kombinaciji s hidravličnimi agregati do tlaka 800 bar, kar zagotavlja zanesljivo in nadzorovano privijanje tudi pri najzahtevnejših aplikacijah.



Hidravlične glave LDH 4K pogon od 3/4" do 2.1/2" zagotavljajo napore od 60 do 27.000 Nm

Posebna prednost sistema je ugodno razmerje med velikostjo in navorom. Kompaktna konstrukcija omogoča delo v prostorsko omejenih prostorih, kjer uporaba klasičnih momentnih ključev ali multiplikatorjev ni mogoča. Modularna zasnova omogoča prilagajanje reakcijskih ročic in različnih izvedb glav posamezni aplikaciji.



Različni načini krmiljenja (ročno (LHU-M)), avtomatsko (LHU-A) in modularno krmiljenje Solution (LHU-S)



Kasetne glave LDK – izredno nizka višina. Za dimenzije od 32 do 130 mm in napore od 160 do 24.000 Nm.

Hidravlične glave LDH s pogonom od 3/4" do 2 1/2" pokrivajo območje navorov od 60 do 27.000 Nm. Nizka konstrukcija omogoča uporabo na težko dostopnih mestih, standardni udarni nastavki pa zagotavljajo široko uporabnost. Nastavljiva reakcijska ročica in vrtljiv priklop za dvojno visokotlačno cev dodatno izboljšata ergonomijo dela.

Kasetne glave LDK so zasnovane za uporabo v aplikacijah z zelo omejenim razpoložljivim prostorom. Na voljo so velikosti od 32 do 130 mm in zagotavljajo napore od 160 do 24.000 Nm. Sistem zamenljivih kaset omogoča hitro prilagoditev različnim velikostim vijakov, vrtljiv priklop pa zagotavlja večjo prilagodljivost in lažje delo v zahtevnih montažnih pogojih.

Hidravlične pogonske enote LHU zagotavljajo potrebno moč za vse modele momentnih ključev GEDORE. Dvo- in tristo-penjske črpalke omogočajo visoke pretoke ter tlak do 800 bar. Sodobni motorji v oljni kopeli in patentirani sistem zračnega hlajenja zagotavljajo zanesljivo delovanje tudi pri dolgotrajnih obremenitvah.

Na voljo so trije načini krmiljenja: ročno (LHU-M), avtomatsko (LHU-A) in modularno krmiljenje Solution (LHU-S), ki omogoča konfiguracijo postopkov preko zaslona ter beleženje parametrov privijanja.

Kupcem zagotavljamo predstavitve, servis, kalibracijo in tehnično podporo za celoten program GEDORE Torque Solutions.

Vir:

Energe, d.o.o., Cesta na Brdo 85, 1000 Ljubljana, info@energe.si, T: 01 256 10 56, Andrej Drobež, www.energe.si

© Avtorji 2026. CC-BY 4.0

FLUIDNA TEHNIKA • NAPREDNO INŽENIRSTVO IN TEHNOLOGIJE
VENTIL

Plinske vzmeti – učinkovita rešitev za nadzor gibanja

Zanesljivost, varnost in prilagodljivost v sodobni industriji

V sodobni industriji so plinske vzmeti nepogrešljiv element aplikacij, kjer so ključni varno gibanje, ergonomsko upravljanje in zanesljivo delovanje. Uporabljajo se za dvigovanje, spuščanje, pozicioniranje in blaženje gibanja v številnih panogah – od strojništva in avtomobilske industrije do medicinske opreme, pohištva in industrijskih naprav.



Njihova največja prednost je enakomerna sila skozi celoten hod, ki omogoča gladko in nadzorovano gibanje brez sunkovitih obremenitev. Ker delujejo brez zunanjega vira energije, predstavljajo energijsko učinkovito rešitev, ki zahteva zelo malo vzdrževanja in zagotavlja dolgo življenjsko dobo.

Sodobne plinske vzmeti so na voljo v različnih izvedbah, med katerimi so standardne, zaklepne in vlečne plinske vzmeti. Z izbiro ustrezne dolžine, hoda in sile jih je mogoče natančno

Bansbach

Podjetje Bansbach® easylift že več kot 60 let razvija in proizvaja plinske vzmeti različnih vrst. Portfelj izdelkov se je skozi leta nenehno širil (plinske vzmeti, električni aktuatorji, easymotion, posebni pnevmatski sistemi, mikrohidravlika ...).

Certificirana kakovost, ki izpolnjuje najvišje zahteve, na primer v letalski industriji, pohištveni industriji ali medicinski tehnologiji, predstavlja temelj mednarodnega uspeha z oznako »Made in Germany« (proizvedeno v Nemčiji).

prilagoditi posamezni aplikaciji. To proizvajalcem omogoča optimizacijo konstrukcije, izboljšanje ergonomije in večjo varnost uporabnikov.

Kompaktna zasnova, tiho delovanje in učinkovito blaženje gibanja zmanjšujejo obrabo mehanskih komponent ter prispevajo k večjemu udobju pri uporabi. Zaradi robustne konstrukcije in kakovostnih materialov so plinske vzmeti primerne tudi za uporabo v zahtevnih industrijskih okoljih.

Plinske vzmeti so pomemben element sodobnih konstrukcijskih rešitev za nadzor gibanja. Zaradi svoje prilagodljivosti, dolge življenjske dobe in enostavne integracije zagotavljajo varno, učinkovito in zanesljivo delovanje v širokem spektru industrijskih aplikacij.

Vir:

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

© Avtorji 2026. CC-BY 4.0



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.inoteh.si

Inoteh d.o.o. K Železnici 7 2345 Bistrica ob Dravi

Strojniški vestnik

Journal of Mechanical Engineering

Namen in področje revije

Mednarodna revija Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering (SV-JME) objavlja izvirne znanstvene in (mini) pregledne članke, ki obravnavajo področja znanosti o materialih, mehanike, kinematike, termodinamike, energetike in okolja, mehatronike in robotike, mehanike tekočin, tribologije, kibernetike, industrijskega inženirstva ter strukturnih analiz.

Revija sledi novim trendom in napredku ter uveljavljeni praksi na področju strojništva, pa tudi na tesno povezanih področjih, kot so elektrotehnika, gradbeništvo in procesno inženirstvo, medicina, mikrobiologija, ekologija, kmetijstvo, transportni sistemi, letalstvo in druga področja. S tem ustvarja edinstven forum za interdisciplinarni in multidisciplinarni dialog.

Osnovne informacije

Revija izhaja v 6 dvojnih številkih na leto. Celotna besedila člankov so na spletni strani dostopna v obliki HTML.

Letna naročnina na tiskan izvod revije, ki vključuje tudi spletni dostop:
za ustanove in tujino 100,00 €, za fizične osebe in študente 50,00 €. Dostava je vključena v ceno.

Vsak prejeti članek je ovrednoten v postopku strokovnega recenziranja in sprejet na podlagi kakovostnih meril. SV-JME je indeksirana v več bazah: v bazi SCI-Expanded je uvrščena v 3. četrtino (Q3) na področju strojništva, ter v bazi SCOPUS uvrščena v 3. četrtino (Q3) na področjih strojništva in materialov.

ISSN 0039-2480 & ISSN 2536-3948 (online)



<https://www.sv-jme.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



Z več kot 30-letnimi izkušnjami na področju hidravlike, pnevmatike in linearne tehnike vam zagotavljamo vrhunske in zanesljive rešitve, prilagojene vašim specifičnim potrebam. Naša tehnologija temelji na inovacijah, energetski učinkovitosti in trajnostnem pristopu, s katerim vam pomagamo optimizirati delovanje sistemov ter zmanjšati vpliv na okolje.

Nova generacija zaskočnih sornikov

Zaskočne sornike najdemo povsod. Pri Elesu+Ganterju je na voljo širok nabor izvedb za najrazličnejše zahteve, ponudbo pa zdaj dopolnjuje še nov model: zaskočni sornik z ročico za aktiviranje.



Zaskočni sorniki sodijo med klasične standardne komponente, nepogrešljive v številnih industrijskih aplikacijah. Pri Elesu+Ganterju so na voljo v najrazličnejših izvedbah, vodilni proizvajalec standardnih komponent pa nenehno razvija nove rešitve za specifične zahteve uporabnikov.

Nov model zaskočnega sornika GN 823 predstavlja izvedbo z upravljalno ročico. Ta omogoča upravljanje z enim prstom z dvigom ali pritiskom ročice tudi pri uporabi debelih rokavic ali kadar elementa ni mogoče videti. Takšna rešitev je posebej

uporabna na težko dostopnih mestih, na primer pri nastavljanju invalidskih vozičkov, kjer nastavitvenih elementov pogosto ni mogoče videti. Ročica hkrati jasno nakazuje način uporabe, zato je upravljanje intuitivno in uporabniku prijazno.

GN 823 je na voljo v dveh izvedbah za vgradnjo: za privijanje s kratkim standardnim ali finim navojem od M10 do M16 ter z navojno prirobnico z dvema stranskima pritrdilnima luknjama. Vse ključne komponente, vključno z vodom, zaskočnim sornikom in pritiskno vzmetjo, so izdelane iz nerjavnega jekla, odpornega proti koroziji. Črna ročica iz polifitalamida (PPA), ojačana s steklenimi vlakni, zagotavlja visoko odpornost tudi v zahtevnih obratovalnih razmerah. Pri vijaki izvedbi je mogoče ročico zasukati za 360 stopinj, prirobnici različica pa ponuja funkcijo zaščite proti vrtenju. To pomeni, da je ročica vzporedna ali pravokotna na smer montaže, kar med drugim podpira slepo upravljanje.

Za umik sornika oz. za njegovo sprostitev se ročica tipa B pritiska navzdol za približno 60 stopinj. Ročico tipa C je mogoče uporabiti za sprostitev zaskočnega sornika s pritiskom ali dvigom. Če ročico dvignete še bolj in jo premaknete preko mrtve točke, ostane v tem položaju in prepreči ponovni zaskok sornika.

Zaskočni sorniki z ročico so na voljo s premeri sornika od 4 do 10 mm. Model GN 823 je primeren tako za aplikacije, ki zahtevajo natančno pozicioniranje, kot za robustna industrijska okolja. Številne izvedbe in premišljene konstrukcijske podrobnosti omogočajo prilagoditev najrazličnejšim zahtevam uporabe ter potrjujejo praktičnost in vsestranskost rešitve GN 823.

Vir:

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

© Avtorji 2026. CC-BY 4.0


FS

 UNIVERZA V LJUBLJANI
Fakulteta za strojništvo


LABORATORIJ ZA FLUIDNO TEHNIKO

Raziskave • Testiranje • Prototipiranje


 Numerične
simulacije

 Eksperimentalno
testiranje

 Izdelava
prototipov


Naslov: Aškerčeva ulica 6, 1000 Ljubljana, Slovenija



Telefon: +386 1 4771 411


 E-pošta: franc.majdic@fs.uni-lj.si

OD SIMULACIJE DO PROTOTIPA



Kapacitivni ali optični? Izberite pravi nivojski senzor

Zanesljivo zaznavanje prisotnosti in nivoja tekočin je temeljna zahteva v številnih industrijskih sektorjih, vključno s strojegradnjo. Da bi izpolnili te zahteve, smo pri Elesu+Ganter razvili dva nova izdelka: kapacitivni nivojski senzor HSC, idealen za električno prevodne tekočine, kot je voda, in neprevodne tekočine, kot sta olje ali dizel; oziroma optični nivojski senzor HSO, idealen za prozorne tekočine. Oba zagotavljata natančnost in robustnost, vendar se razlikujeta po principu delovanja in področjih uporabe.



HSC – kapacitivni nivojski senzor

Nivojski senzor HSC temelji na kapacitivni tehnologiji. V rezervoar ali posodo, v kateri se meri nivo tekočine, se neposredno vstavi prevodna elektroda, prevlečena s PTFE. Princip delovanja temelji na spremembi električne kapacitivnosti: sonda in okoliške kovinske stene tvorijo kondenzator, katerega kapacitivnost se spreminja glede na nivo tekočine.

Z naraščanjem nivoja tekočine se ustrezno poveča tudi električna kapacitivnost sonde. To omogoča natančen zajem podatkov. Kapacitivnost je nizka, ko je rezervoar prazen, in visoka, ko je poln.

Ta rešitev je še posebej vsestransko uporabna: primeren je za prevodne tekočine, kot je voda (različica W), pa tudi za olja in dizelska goriva (različica O). Območje delovne temperature je od -30 do +125 °C, najvišji tlak pa je lahko 50 bar.

HSO – optični nivojski senzor

Optični senzor nivoja HSO zazna prisotnost oziroma odsotnost tekočin. To se doseže z izkoriščanjem razlike v lomu ustvarjenega infrardečega žarka. Če tekočina ni prisotna, se žarek v celoti odbije nazaj do sprejemnika. Če je prisotna, se lomni količnik prizme spremeni. Pri tem se del infrardečega žarka razprši v tekočino, kar spremeni rezultat.

Ta tehnologija ne zahteva neposrednega stika s tekočino. Zaradi prilagodljivih možnosti namestitve – vodoravne in navpične – je zanesljiva in praktična rešitev tudi v zahtevnih pogojih, saj prenese tlak do 100 bar in temperature med -30 in +110 °C.



Obe rešitvi imata več skupnih prednosti: kompaktno izvedbo, preprosto konstrukcijo, odsotnost mehanskih delov, ki so nagnjeni k obrabi, nizko porabo energije in minimalno vzdrževanje.

HSC in HSO ponujata dve različni rešitvi za zaznavanje nivoja tekočin. Prva je namenjena vsestranski uporabi in odpornosti v zahtevnih okoljih, medtem ko je druga namenjena aplikacijam, kjer sta potrebni visoka točnost in zanesljivost.

S tema dvema novima nivojskima senzorjema strankam ponujamo zanesljive standardizirane dele, ki ustrezajo naj-sodobnejšim tehničnim zahtevam in so primerni za številne aplikacije.

Vir:

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

© Avtorji 2026. CC-BY 4.0

Parker PE06M – nova generacija proporcionalnih hidravličnih ventilov za natančno krmiljenje tlaka

Parker je svojo ponudbo hidravličnih komponent razširil z novo serijo proporcionalnih hidravličnih reducirnih ventilov PE06M, razvito za sodobne industrijske in mobilne hidravlične sisteme. Ventil je zasnovan za aplikacije, kjer so ključni hitra odzivnost, natančno krmiljenje tlaka ter zanesljivo delovanje tudi v zahtevnih obratovalnih pogojih. Nova serija predstavlja učinkovito rešitev za proizvajalce strojev, ki želijo izboljšati natančnost krmiljenja, zmanjšati energijske izgube in povečati zmogljivost hidravličnih sistemov.

Ventil serije PE06M je direktno krmiljen proporcionalni ventil z drsnim elementom, ki omogoča zelo natančno krmiljenje sekundarnega tlaka. Zaradi linearne karakteristike, nizke histereze in kratkega odzivnega časa ventil zagotavlja stabilno delovanje tudi pri hitro spreminjajočih se obremenitvah in pretokih. Njegova pomembna prednost je izjemno nizka minimalna nastavljiva vrednost tlaka, ki omogoča natančno krmiljenje sile in tlaka tudi v občutljivih aplikacijah, kjer so ključne ponovljivost procesa, kakovost izdelkov in visoka stopnja avtomatizacije.

Ventil je namenjen vgradnji na priključno ploščo po standardu ISO 6264 v velikosti NG06 (CETOP 03). Omogoča pretoke do 40 l/min pri padcu tlaka 10 bar, največji vstopni tlak znaša 350 bar, regulirani tlak pa do približno 170 bar. Z notranjim puščanjem, manjšim od 25 cm³/min pri 200 bar, učinkovito zmanjšuje energijske izgube in prispeva k večji učinkovitosti hidravličnega sistema. Kombinacija teh lastnosti omogoča natančno krmiljenje tudi v aplikacijah z visokimi zahtevami glede stabilnosti tlaka in ponovljivosti delovanja.

Serija PE06M je na voljo z različnimi izvedbami elektromagnetov in električnih priključkov (Deutsch, DIN in AMP) za napa-



Parker ventil PE06M

jalni napetosti 12 V in 24 V. Izbrane izvedbe dosegajo stopnjo zaščite IP69K, na voljo pa so tudi različice z zaščitno diodo in dodatno protikorozijsko zaščito, kar omogoča uporabo v najzahtevnejših mobilnih aplikacijah ter v okoljih z visoko stopnjo vlage, prahu ali mehanskih obremenitev.

Nova serija ventilov je primerna za številne industrijske in mobilne aplikacije. Med njimi so natančno krmiljenje sile hidravličnih cilindrov, omejevanje navora hidravličnih motorjev, napajanje sekundarnih tlačnih sistemov ter zavorni sistemi v gozdarski, rudarski in drugi delovni mehanizaciji. Zaradi hitrega odziva na spremembe pretoka ventil izboljšuje odzivnost stroja, zmanjšuje energijske izgube ter omogoča optimizacijo velikosti hidravličnih akumulatorjev, kar lahko prispeva k nižjim stroškom celotnega sistema.

S serijo PE06M Parker nadaljuje razvoj naprednih hidravličnih rešitev, ki združujejo visoko zmogljivost, prilagodljivost in dolgo življenjsko dobo. Nova generacija proporcionalnih ventilov predstavlja učinkovito rešitev za proizvajalce strojev in sistemske integratorje, ki pri načrtovanju sodobnih hidravličnih sistemov zahtevajo visoko natančnost krmiljenja, zanesljivo delovanje in maksimalno energetske učinkovitost.

Vir:

Parker Hannifin Sales CEE s.r.o., Češka republika – Podružnica Novo mesto, e-mail: parker.slovenia@parker.com, spletna stran: www.parker.com, Miha Šteger

© Avtorji 2026. CC-BY 4.0



Smo pooblaščen in ekskluzivni zastopnik ter strateški partner podjetja OMRON. Že več kot 35 let dobavljamo našim strankam v industriji najnovejšo tehnologijo in napredne rešitve na področju industrijske avtomatizacije, robotizacije in digitalizacije proizvodnje.



Svojim partnerjem in uporabnikom ponujamo preko 200.000 elementov za avtomatizacijo, svetovanja, načrtovanja ali izvedbo celovitih rešitev, ki omogočajo rast produktivnosti, optimizacijo proizvodnih procesov ter večjo konkurenčnost na globalnem trgu.

MIEL® - Zanesljiv partner za pametno, povezano in učinkovito industrijo.

Sistemi za avtomatizacijo

Industrijski računalniki
Programirljivi krmilniki PLC
Distribuirane I/O enote
Rešitve za oddaljeni dostop

Varnost v avtomatizaciji

Varnostne svetlobne zaves
Varnostna stikala
Varnostni krmilni sistemi
2D laserski skenerji LiDAR

Strojni vid

Industrijske kamere
Vision senzorji
Pametne kamere
Napredni sistemi strojnega vida

Signalizacija

Signalni stolpiči
Zvočni alarmi
Signalne luči

Pogoni in krmilja

Servo sistemi
Frekvenčni pretvorniki
Krmilniki gibanja

Krmilne in nadzorne komponente

Napajalniki
Temperaturni regulatorji
Časovniki
Števci
Nadzor energije in stanja veličin

Sledljivost v proizvodnji

Sistemi za identifikacijo in verifikacijo
Čitalniki 1D/2D/QR kode
Laserski označevalniki

IoT in mrežne komunikacije

Usmerjevalniki
Modemi
Stikala in pretvorniki

Robotika

Podajalniki sestavnih delov
Kolaborativni roboti
Mobilni roboti
Industrijski roboti

Senzorika

Fotoelektrični, induktivni, mehanski,
merilni senzorji
Senzorji za oznake in barve
Senzorji z optičnimi vlakni in
ojačevalniki

Preklopna tehnika

Elektromehanski, polprevodniški
in merilni releji
Stikala in tipkala
Terminalni bloki

Programska oprema

CX-One
Sysmac studio
Fleet Management AMR

Naše strokovno znanje, dolgoletne izkušnje in sodelovanje z globalnimi partnerji zagotavljajo zanesljive in inovativne rešitve, ki so prilagojene zahtevam sodobne avtomatizacije v različnih branžah – od strojegradnje, avtomobilske, elektro in prehranske industrije, do farmacije, energetike in infrastrukture.

Podjetje GIA-S d. o. o. je postalo ekskluzivni zastopnik razpočnih diskov Fike v Sloveniji

V industrijskih procesih največ pozornosti namenjamo opremi, ki neposredno vpliva na delovanje sistema: ventilom, črpalkam, izmenjevalnikom toplote ... Obstajajo pa tudi elementi, ki večino svojega življenjskega cikla ostajajo neopaženi, dokler jih sistem ne potrebuje. Takrat lahko bistveno vplivajo na zaščito opreme, neprekinjeno delovanje proizvodnje in predvsem na varnost ljudi.

Ena od takšnih komponent so razpočni diski.

V podjetju GIA-S d. o. o. smo razširili naš program procesne opreme in zaščitnih rešitev ter postali ekskluzivni zastopnik in distributer izdelkov in rešitev podjetja Fike na slovenskem trgu. Fike velja za enega vodilnih svetovnih proizvajalcev razpočnih diskov in sistemov za zaščito pred nadtlakom ter že več kot 80 let razvija rešitve za najzahtevnejše industrijske aplikacije.



Fike razpočni disk

Kaj pravzaprav je razpočni disk?

Razpočni disk je varnostni element, namenjen zaščiti tlačne opreme pred nevarnim nadtlakom ali podtlakom. Gre za natančno izdelano membrano, ki se pri predhodno določeni tlačni vrednosti kontrolirano pretrga in s tem zaščiti procesno opremo pred poškodbami.

Čeprav je princip delovanja preprost, so zahteve v sodobni industriji vse prej kot to.

Farmacevtska, biotehnoška in prehrabna industrija danes zahtevajo izjemno visoko stopnjo procesne varnosti, sledljivo-

sti in higijene. Vsak element, ki prihaja v stik s procesom, mora izpolnjevati stroge zahteve glede čistoče, odpornosti proti koroziji in možnosti čiščenja s sistemi CIP in SIP. Prav zato standardne izvedbe pogosto niso dovolj.

Zakaj Fike?

Podjetje Fike je med pionirji sodobne tehnologije razpočnih diskov. Njihove rešitve najdemo v farmacevtskih obratih, kemični industriji, energetiki, proizvodnji hrane in pijač ter številnih drugih kritičnih procesih po vsem svetu.

Posebnost Fike rešitev je lastna patentirana tehnologija G2, ki omogoča izjemno natančnost sprožitve, dolgo življenjsko dobo in zanesljivo delovanje tudi pri zelo zahtevnih tlačnih ciklih. Določeni modeli lahko prenesejo več kot 100.000 tlačnih ciklov, kar zagotavlja visoko zanesljivost in dolgo obratovno dobo.

Poseben poudarek na farmacevtski industriji

Razpočni diski Fike so na voljo tudi v higienskih izvedbah, namenjenih farmacevtskim, biotehnoškim in drugim procesom z najvišjimi zahtevami glede čistosti in varnosti.

Ti so zasnovani tako, da ne vsebujejo mrtvih kotov, vdolbin ali drugih površin, na katerih bi se lahko zadrževal produkt oziroma bi lahko prihajalo do razmnoževanja mikroorganizmov. Na voljo so tudi elektropolirane izvedbe z izjemno gladko površino, namenjene najzahtevnejšim aseptičnim procesom. Poleg tega omogočajo uporabo v postopkih čiščenja in sterilizacije CIP/SIP, ki predstavljajo standard v sodobni farmacevtski industriji.

Več kot le zaščita pred nadtlakom

Razpočni diski se pogosto uporabljajo tudi v kombinaciji z varnostnimi ventili, kjer zagotavljajo dodatno zaščito pred korozivnimi mediji, zmanjšujejo uhajanje medija v okolje in podaljšujejo življenjsko dobo dragih varnostnih ventilov. Takšna rešitev lahko pomembno zmanjša stroške vzdrževanja in poveča zanesljivost obratovanja.



Program zaščite pred prekomernim tlakom

Fike rešitve odslej bližje slovenskim uporabnikom

Z novim partnerstvom želimo slovenskim podjetjem ponuditi neposreden dostop do vrhunskih rešitev podjetja Fike ter strokovno tehnično podporo pri izbiri ustrezne opreme za posamezno aplikacijo.

Ne glede na to, ali gre za farmacevtski reaktor, sterilni procesni sistem, tlačno posodo, cevovod ali zaščito varnostnega



ventila, lahko z našo pomočjo določimo optimalno rešitev glede na procesne pogoje, medij, temperaturo, tlak in zahtevane standarde.

Primož Živkovič, GIA-S, d. o. o., Grosuplje

© Avtorji 2026. CC-BY 4.0

MOTOMAN NEXT

YASKAWA

AI vodeni roboti: NOVA DOBA

Prilagodljivi roboti s pomočjo umetne inteligence (AI) z uporabo senzorjev in kamer zaznavajo okolico, se prilagodijo in z uporabo lastnih veščin samostojno opravljajo naloge.



YASKAWA Slovenija d.o.o. • T: +386 (0)1 83 72 410 • YSL-info@yaskawa.eu • www.yaskawa.si

Hallite OptiSeal® – napredna rešitev tesnjenja za najzahtevnejše industrijske aplikacije

Roman Puc

Sodobne industrijske aplikacije postavljajo vedno višje zahteve glede zanesljivosti, varnosti in učinkovitosti kritične opreme. Zato podjetja vse pogosteje iščejo inovativne rešitve, ki zagotavljajo zanesljivo zaščito opreme, osebja in okolja tudi v najzahtevnejših obratovalnih pogojih. Z desetletji izkušenj pri zagotavljanju naprednih tesnilnih rešitev za zahtevne delovne pogoje je podjetje HENNLICH skupaj s proizvajalcem Hallite vaš zanesljiv partner pri reševanju tudi najzahtevnejših industrijskih izzivov.

Raziskave o materialih, inženirsko projektiranje in proizvodnja

Hallite svojo široko ponudbo prilagojenih tesnil in tesnilnih sklopov razvija na podlagi obsežnih raziskav ter z uporabo najnaprednejših proizvodnih zmogljivosti v panogi. Projektna skupina podjetja HENNLICH vam v sodelovanju s podjetjem Hallite in svojim strokovnim znanjem zagotavlja celovito podporo pri razvoju in optimizaciji tesnilnih rešitev, prilagojenih zahtevam vaše aplikacije.

1. Strokovno znanje na področju materialov

Inženirska ekipa Hallite z upoštevanjem najnovejših dosežkov na področju raziskav o materialih zagotavlja tesnilne rešitve, ki prenesejo širok razpon tlakov, temperatur in medijev.

Portfelj materialov vključuje spojine, odobrene po standardih API, NACE, ISO in NORSOK, ki jih globalna ekipa strokovnjakov za materiale nenehno posodablja in razvija v skladu z najnovejšimi tehnološkimi dosežki.

2. Inženirsko projektiranje

Hallite razvija in proizvaja elastomerna tesnila, plastične komponente ter kovinske tesnilne elemente po meri. Kot vodilno podjetje na področju inovativnih in visoko zmogljivih inženirskih rešitev združuje napredno znanost o materialih, vrhunsko konstrukcijsko zasnovo in napredne proizvodne procese, s katerimi zagotavlja zanesljive rešitve tudi za najzahtevnejše aplikacije.

Dolgoletne izkušnje na področju razvoja in konstruiranja so omogočile razvoj robustnega tesnilnega sistema, ki je odporen proti nihanjem temperature, tlaka in delovnih medijev, hkrati pa zagotavlja vrhunsko, visoko zmogljivo tesnjenje.

3. Proizvodnja

Vsaka prilagojena rešitev temelji na obsežnih zmogljivostih strojne obdelave in brizganja. Visoko usposobljeni proizvodni strokovnjaki in programerji uporabljajo edinstvene zasnove za natančno preoblikovanje naprednih materialov v končne izdelke, ki ustrezajo vašim specifikacijam.

Napredna CNC obdelovalna oprema bistveno povečuje proizvodno prilagodljivost, vsestranskost in nadzor nad procesi. Različni proizvodni postopki in metode omogočajo učinkovito proizvodnjo, visoko kakovost ter natančen nadzor toleranc. Hallite uporablja več kot 30 različnih metod oblikovanja in proizvodnih postopkov.



Zgradba sistema Hallite OptiSeal®

Roman Puc, Hennlich, d. o. o., Kranj, puc@hennlich.si

© Avtorji 2026. CC-BY 4.0



2

Komplet tesnil, ki se pogosto uporablja pri ventilih, kjer je potrebno zagotavljati požarno varnost.

Osnovna konfiguracija

Sistem OptiSeal® je visoko zmogljiva tesnilna rešitev z nizkim trenjem za celoten spekter uporabe. To široko uporabljeno tesnilo z vzmetnim prednapenjanjem ponuja prednosti, ki segajo od izboljšane združljivosti z mediji do vrhunske učinkovitosti v širokem temperaturnem območju.

Osnovna zasnova vključuje plašč v obliki črke U (slika 1) iz inertnih termoplastičnih materialov, posebej izbranih glede na aplikacijo. Kovinska vzmet zagotavlja prednapetje plašča in omogoča tesnjenje pri nizkih sistemskih tlakih. Pri višjih tlakih pa se tesnilo dodatno aktivira s tlakom medija, kar zagotavlja zanesljivo tesnjenje v celotnem območju tlakov.

S kombiniranjem sistema OptiSeal® z drugimi specialnimi komponentami, kot so elementi proti iztiskanju, obroči PakRing, V-obroči, adapterji, puše in ležaji, lahko uporabniki dosežejo razširjen obseg delovanja.

S širokim razponom premerov, prilagodljivimi višinami in posebnimi geometrijami je sistem OptiSeal® mogoče konfigurirati za skoraj vsako vgradnjo, zato je idealna izbira za tesnjenje v zahtevnih aplikacijah.

Sistem Hallite OptiSeal® združuje napredno znanje o materialih, inovativno inženirsko zasnovo ter vrhunske proizvodne procese za zagotavljanje zanesljivega tesnjenja tudi v najzahtevnejših delovnih pogojih. Zaradi širokega temperaturnega in tlačnega območja delovanja ter odlične kemične odpornosti predstavlja optimalno rešitev za številne industrijske aplikacije. Njegova prilagodljivost, dolga življenjska doba in možnost kombiniranja z dodatnimi tesnilnimi elementi uporabnikom omogočajo doseganje najvišjih standardov učinkovitosti in varnosti.



AVTOMATSKI DAJALNIKI MAZIVA LAGD

- » Za uporabo na prostorsko omejenih mestih.
- » Vizualni nadzor nad porabo.
- » Polnitev z mastjo ali oljem.
- » Za EX okolje, certifikat ATEX.
- » Nastavitev in izračun količine doziranja.



www.hennlich.si

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

Oglaševalci

DAX, d. o. o., Trbovlje	295	OMEGA AIR, d. o. o., Ljubljana	221, 289
DIGITEH, d. o. o., Ljubljana	291	Parker Hannifin, Češka Republika -	
GIA-S, d. o. o., Grosuplje	221	Podružnica Novo mesto	221
HENNlich, d. o. o., Kranj	283	POCLAIN HYDRAULICS, d. o. o., Žiri	221, 222
ICM, d. o. o., Griže	292	PPT COMMERCE, d. o. o., Ljubljana	221, 243
INGVAR, d. o. o., Ljubljana	285	PROFIDTP, d. o. o., Škofljica	236, 253, 296
INOTEH, d. o. o., Bistrica ob Dravi	274	STORMIA, d. o. o., Ptuj	237
JAKŠA, d. o. o., Ljubljana	266	STROJNISTVO.COM, Ljubljana	263
La & Co., d. o. o., Limbuš	221, 275	UL, Fakulteta za strojništvo	241, 245, 275, 276
MIEL Elektronika, Velenje	221, 279, 287	UNIFOREST, d. o. o., Prebold	294
OLMA, d. o. o., Ljubljana	221, 271	YASKAWA, d. o. o., Ribnica	281

Vrhunska tehnologija v vaših rokah: ročno varjenje MIG/MAG s sistemoma Fortis in TPS/i podjetja Fronius

Ročno varjenje MIG/MAG je kljub vse večji avtomatizaciji ključni dejavnik v številnih proizvodnih okoljih. Vseprisod, kjer se visoke zahteve glede kakovosti, varilne zmogljivosti in prilagodljivosti srečujejo z najrazličnejšimi uporabami in geometrijami sestavnih delov, vrhunski varilni sistemi podjetja Fronius v kombinaciji z obrtniškim znanjem zagotavljajo natančne rezultate.



Vrhunska tehnologija Fronius, zasnovana za različne zahteve – Fortis in TPS/i prepričata s prijaznostjo do uporabnika, raznolikostjo modelov in stabilnim varilnim oblokom.

Varjenje MIG/MAG spada med najpogostejše uporabljene postopke v industrijski obdelavi kovin. Kadar so potrebne visoke hitrosti varjenja, produktivnost in vsestranskost, ta postopek obločnega varjenja prepriča s široko uporabnostjo. Enostavna uporaba v kombinaciji z visoko zmogljivostjo spajanja kovin naredi ročno varjenje MIG/MAG za prednostni postopek pri spajanju jekla, aluminijevih zlitin in nerjavečega jekla. Prav v času, ko proizvodni procesi, vzdrževanje, montaža in popravila postajajo vse bolj kompleksni in morajo varilci delati vse bolj prilagodljivo, ročno varjenje ponovno pridobiva na pomenu. »Med obratovanjem proizvodnje je vsaka varilna naloga drugačna. Material, sestavni deli in zahteve se nenehno spreminjajo. Zato smo razvili rešitve, ki se prilagodijo in zagotavljajo zanesljive rezultate,« poudarja Philipp Schlör, produktni vodja pri Fronius International. Dva od teh virov varilnega toka sta

Fortis in TPS/i, ki prepričujeta s sodobnim nadzorom procesa, intuitivnim upravljanjem in maksimalno stabilnostjo varilnega obloka.

Fortis in TPS/i: idealna rešitev MIG/MAG za vsako delo

Varilni sistemi Fortis in TPS/i, zasnovani za uporabo v proizvodnji, so namenjeni različnim zahtevam, odlikuje pa jih vrhunska tehnologija Fronius. Stabilen varilni oblok in trajna kakovost sta del standardne opreme. Katera naprava je prava, je odvisno izključno od posameznih varilnih zahtev.

Zlasti za mala in srednje velika podjetja je vsakdanje varjenje pogosto pravi izziv. Varilne naloge in potrebni varilni postopki se včasih spreminjajo iz dneva v dan. Za to je primeren Fortis, ki se prilagaja spreminjajočim se uporabam in uporabnike pri tem optimalno podpira. Z močjo do 500 amperov, standardnimi in pulznimi varilnimi procesi, različico Duo, večprocesno zmogljivostjo in popolno povezljivostjo je Fronius Fortis robustna vsestranska rešitev za vsakodnevno varjenje.

Medtem ko Fortis brezhibno opravlja vse standardne naloge, je pri zahtevnejših nalogah priporočljivo, da se varilcem omo-



Vse na enem mestu: naj gre za varilni gorilnik, varilno napravo ali zaščitno opremo. Fronius ne zagotavlja le vrhunske tehnologije, temveč tudi varnost in udobje varilcev.



Pri podjetju Fronius se visokokakovostna oprema dopolnjuje s celovito podporo in servisom, da se lahko dolgoročno in učinkovito odzivamo na spreminjajoče se zahteve na področju varjenja.

goči uporaba naprave TPS/i. Na voljo so posebni postopki Cold Metal Transfer (CMT), Low Spatter Control (LSC) ali Pulse Multi Control (PMC), ki s svojimi asistenčnimi sistemi in posebnimi varilnimi karakteristikami ne zagotavljajo le stabilnega varilnega obloka z minimalno brizganja, temveč omogočajo tudi varjenje tankih pločevin ali toplotno občutljivih varilnih spojev. Z jakostjo varilnega toka do 600 amperov, zmožnostjo PushPull in FlexDrive za dolge razdalje je TPS/i pravi celovit paket za kompleksne ročne varilne naloge in visokokakovostne zveze.

Zaradi združljivosti z novim Fronius Velocity Assistant, skrajšano Velo, je TPS/i optimalna izbira tudi za aplikacije z dolgimi vari. Velo varilcem pomaga na več načinov, saj pomočnik določa hitrost varjenja in razdaljo varilnega gorilnika ter ju ohranja konstantni. To omogoča višje hitrosti varjenja ob nespremenjeni kakovosti. Zlasti v industrijskem okolju Velo tako poveča varnost procesa in znatno razbremeni varilce.

TPS/i je že danes pripravljen na izzive in zahteve prihodnosti. Pametna oprema, modularna zasnova in številne možnosti razširitve – med drugim za avtomatizirano varjenje – zagotavljajo prilagodljivost in učinkovitost.

Rešitve za ročno varjenje MIG/MAG na enem mestu

Fronius prepriča ne le z inovativno tehnologijo, temveč tudi s storitvami in podporo. »Na željo so na voljo dodatne storitve, kot so preskusi varjenja, pomoč pri zagonu ali redni pregledi opreme, da se zagotovita dolga življenjska doba in stalna kakovost,« tako Philipp Schlor povzema koncept »vse na enem mestu« pri Froniusu. Z več kot 60 različicami varilnih gorilnikov v različnih izvedbah, zaščitno opremo in odsesovalnimi sistemi sta zagotovljena tudi udobje in varnost varilcev.

Zaradi vgrajene povezljivosti tako Fortis kot TPS/i brezhibno delujeta z WeldCube, Froniusovim portfeljem programskih rešitev za upravljanje podatkov o varjenju. Raznolike funkcije, ki jih je mogoče prilagoditi individualnim zahtevam, omogočajo pregledne in celovito dokumentirane varilne procese, zmanjšujejo možnosti za napake in povečujejo učinkovitost pri vsakdanjem delu. Z WeldCube Navigator je mogoče delovne postopke voditi korak za korakom, medtem ko WeldCube Air pomaga pri varjenju v skladu s standardi. Z WeldCube Premium so na voljo tudi obsežne analize za ocenjevanje kakovosti, sledljivost in optimizacijo procesov. Poleg tega je dostop do varilnih naprav preko centralnega upravljanja uporabnikov jasno urejen.

Pri vseh teh komponentah Fronius stavi na kakovost in nenehne inovacije. To zagotavljata obsežno testiranje in neposreden stik s strankami.

Več informacij o ročnih virih varilnega toka MIG/MAG podjetja Fronius najdete na: <https://www.fronius.com/en/welding/campaigns/manual-mig-mag-welding>.

Vir:

Ingvar d. o. o., Brnčičeva ul. 5d, 1231 Ljubljana, Slovenija,
Tel.: 01 236 14 20
e-poštni naslov: info@ingvar.si, g. Marko Peclin
Fotografije: Fronius International GmbH

© Avtorji 2026. CC-BY 4.0

Fronius VELO

Nova dimenzija

MIG MAG varjenja

INGVAR

E2B induktivni senzorji

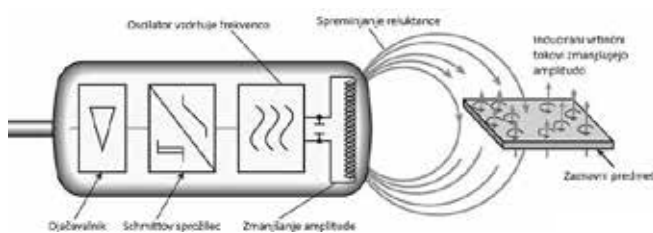
Zanesljiva rešitev za sodobno industrijsko avtomatizacijo

V sodobni industrijski avtomatizaciji imajo senzorji ključno vlogo pri zagotavljanju zanesljivega delovanja strojev, procesov in proizvodnih linij. Med najbolj uporabljene elemente za zaznavanje kovinskih predmetov sodijo induktivni senzorji, ki omogočajo brezkontaktno zaznavo brez mehanske obrabe in z dolgo življenjsko dobo. Med uveljavljenimi rešitvami na trgu izstopa serija E2B podjetja OMRON, ki združuje robustno konstrukcijo, visoko stopnjo zaščite in enostavno integracijo v različne industrijske aplikacije.

Način delovanja

Induktivni senzorji delujejo na osnovi elektromagnetnega polja. Vgrajeni oscilator v senzorju ustvarja visokofrekvenčno elektromagnetno polje. Ko se v to polje približa kovinski predmet, v njem nastanejo vrtnični tokovi, ki zmanjšajo amplitudo oscilatorja v senzorju. Elektronsko vezje zazna spremembo in preklopi izhod senzorja.

Ker pri delovanju ni mehanskega kontakta, je obraba praktično zanemarljiva. Posledično imajo induktivni senzorji dolgo življenjsko dobo ter stabilno delovanje tudi v zahtevnih industrijskih okoljih.



Način delovanja

Serija E2B

Serija E2B predstavlja družino cilindričnih induktivnih senzorjev, namenjenih uporabi v proizvodnih procesih, montažnih linijah, pakirnih strojih, transportnih sistemih ter drugih aplikacijah avtomatizacije.

Senzorji so na voljo v dimenzijah M8, M12, M18 in M30 z različnimi zaznavnimi razdaljami in izvedbami za vgradnjo, poravnano s površino (flush) ali izbočeno (non-flush). Uporabnik lahko izbira med izvedbami z NPN- ali PNP-izhodom ter normalno odprto (NO) ali normalno zaprto (NC) logiko delovanja.

Prednosti E2B

Ena ključnih prednosti senzorjev E2B je njihova robustna mehanska izvedba. Ohišje iz nerjavnega jekla zagotavlja odpornost proti mehanskim poškodbam, koroziji in vplivom agresivnega industrijskega okolja.



E2B senzorji

- ✓ LED-indikator, viden iz vseh smeri.
- ✓ Lasersko vgravirana oznaka izdelka.
- ✓ Odpornost proti vibracijam: IEC 60947-5-2 (10–55 Hz).
- ✓ Delovna temperatura: –25 °C do 70 °C.
- ✓ Stopnja zaščite: IP67.

Visoka stopnja zaščite IP67 omogoča uporabo tudi tam, kjer so prah, vlaga ali občasno izpiranje z vodo. To je posebej pomembno v prehrabni, lesni, kovinskopredelovalni in avtomobilski industriji.

Posebna prednost serije je dobra odpornost proti elektromagnetnim motnjam (EMC). V sodobnih proizvodnih okoljih, kjer delujejo frekvenčni pretvorniki, servopogoni in močni elektromotorji, je odpornost proti motnjam pomemben dejavnik za stabilno delovanje senzorike.

LED-indikator na senzorju omogoča hitro vizualno preverjanje delovanja, kar olajša zagon sistema in servisiranje.

Tipične aplikacije

Induktivni senzorji OMRON E2B se uporabljajo v številnih industrijskih panogah, najpogosteje za:

- ▶ zaznavanje prisotnosti kovinskih obdelovancev,
- ▶ določanje končnih položajev gibljivih delov,
- ▶ štetje izdelkov na transportnih trakovih,
- ▶ zaznavanje položaja pnevmatskih cilindrov,
- ▶ zaznavanje prisotnosti komponent pred montažo,
- ▶ avtomatsko pozicioniranje v proizvodnih linijah,
- ▶ nadzor delovanja robotskih celic.

Zaradi svoje zanesljivosti so primerni tako za enostavne stroje kot tudi za zahtevne avtomatizirane proizvodne sisteme.

Primer uporabe

Na transportnem sistemu za sortiranje kovinskih izdelkov senzor E2B zaznava prihod posameznega izdelka na določeno pozicijo. Signal se prenese na PLC-krmilnik, ki sproži ustrezno sekvenco delovanja manipulatorja. Ker senzor deluje brezkontaktno, ni mehanske obrabe, sistem pa ohranja visoko zanesljivost in natančnost tudi po več zaznav preklonov.

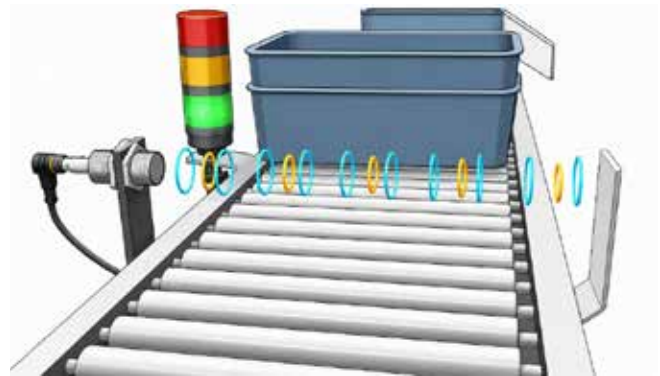
Podobna rešitev se uporablja tudi v CNC obdelovalnih strojih, kjer senzorji preverjajo pravilno pozicioniranje obdelovancev ter prisotnost vpenjalnih elementov pred začetkom obdelave.

Prednosti za uporabnika

Uporaba senzorjev OMRON E2B prinaša več pomembnih koristi:

- ▶ visoka zanesljivost delovanja,
- ▶ dolga življenjska doba brez vzdrževanja,
- ▶ enostavna montaža,
- ▶ dobra odpornost na industrijske vplive,
- ▶ široka izbira dimenzij in izvedb,
- ▶ odlična združljivost z različnimi PLC-sistemi,
- ▶ ugodno razmerje med ceno in zmogljivostjo.

Zaradi teh lastnosti predstavljajo senzorji E2B uveljavljeno izbiro pri načrtovanju novih strojev in posodobitvah obstoječih proizvodnih linij.



Tipične aplikacije

Induktivni senzorji OMRON serije E2B predstavljajo preverjeno rešitev za zanesljivo zaznavanje kovinskih predmetov v industrijski avtomatizaciji. Njihova robustna konstrukcija, odpornost na zahtevne delovne pogoje, preprosta integracija in dolga življenjska doba omogočajo učinkovito uporabo v številnih industrijskih aplikacijah.

Pri načrtovanju sodobnih avtomatiziranih sistemov, kjer sta ključnega pomena zanesljivost in razpoložljivost proizvodnje, serija E2B predstavlja zanesljivo izbiro, ki izpolnjuje zahteve tako proizvajalcev strojev kot tudi končnih uporabnikov.

Vir:

MIEL d.o.o., Industrijska Avtomatizacija OMRON, Ulica svežih idej 4A, 3320 Velenje,
t: +386 3 77 77 000 /006, e: info@miel.si, s: www.miel.si

© Avtorji 2026. CC-BY 4.0

www.miel.si
b2b.miel.si

MIEL®

E2B INDUKTIVNI SENZORJI

20 kosov / paket



E2B M8 Sn = 2mm



E2B M12 Sn = 8mm



E2B M18 Sn = 16mm

OMRON

20

KOSOV

/ PAKET

✓ MULTIPACK pakiranje

✓ NAJNIŽJA CENA na kos

✓ PRIHRANITE s paketom 20 kosov

MAJHEN SENZOR. VELIKA ZMOGLJIVOST.

Izberite kakovost. Izberite **OMRON**.


 VISOKA
NATANČNOST


 DOLGA
ŽIVLJENSKA DOBA


 ODPORNOST NA
ZAHTEVNE POGOJE


 UGODNO RAZMERJE
CENA / ZMOGLJIVOST

NAROČITE ZDAJ!

+386 (0)3 77 77 000

info@miel.si

www.miel.si



Izkoriščanje odpadne toplote pri vijačnih kompresorjih

Izkoriščanje odpadne toplote pri vijačnih kompresorjih je ena od ključnih strategij za izboljšanje energetske učinkovitosti v industriji. Med 80 % in 90 % električne energije, ki jo porabi kompresor, se pretvori v toploto, kar pomeni velik potencial za njeno koristno rabo.

Izkoriščanje odpadne toplote pri vijačnih kompresorjih je odličen način za zmanjšanje emisij CO₂ in povečanje energetske učinkovitosti. Vijačni kompresorji proizvajajo znatne količine toplote, ki jo lahko izkoristimo za ogrevanje prostorov, sanitarne ali tehnološke vode ali za druge industrijske procese.

Prednosti izkoriščanja odpadne toplote:

1. zmanjšanje emisij CO₂ – manjša potreba po dodatnih virih energije pomeni manjšo porabo fosilnih goriv in nižje emisije;
2. znižanje stroškov energije – z uporabljenoto toploto iz kompresorjev se prihrani pri porabi energenta za ogrevanje;
3. trajnostni vidik – podjetja, ki uporabljajo odpadno toploto, lahko izboljšajo svoj okoljski odtis.

Kako nastane odpadna toplota pri vijačnih kompresorjih?

Vijačni kompresorji delujejo tako, da stisnejo zrak s pomočjo rotirajočih vijakov. Pri tem procesu se sprošča velika količina toplote zaradi:

- ▶ stiskanja zraka – ko se zrak stiska, se segreva;
- ▶ trenja in mehanskega delovanja – delovanje notranjih komponent ustvarja toploto;
- ▶ hlajenja olja – olje se v kompresorju hladi s pomočjo ventilatorja in prenosnika toplote olje/zrak. Ogreti zrak pa se lahko koristi za dogrevanje prostorov s toplim zrakom.

Lahko pa ima kompresor tudi toplotni prenosnik olje/voda (rekuperator), ki se koristi za hlajenje olja z vodo – ta se nato lahko izkorišča za dogrevanje povratka v ogrevalnih sistemih ali za ogrevanje sanitarne vode ali dogrevanje tehnološke vode.

Načini izrabe odpadne toplote

1. Ogrevanje vode

Eden najbolj učinkovitih načinov izkoriščanja toplote je ogrevanje vode s pomočjo toplotnih izmenjevalnikov. Ta se lahko uporablja za:

- ▶ sanitarno vodo (umivalniki, prhanje, kuhinja),
- ▶ industrijske procese (čiščenje, predgrevanje materialov, pasterizacija),
- ▶ ogrevanje stavb (sistemi talnega ali radiatorskega ogrevanja).

Primer: 75 kW kompresor lahko zagotovi dovolj toplote za segrevanje več tisoč litrov vode na dan.

2. Ogrevanje prostorov

Kompresorji proizvajajo vroč zrak, ki ga lahko usmerimo v ventilacijski sistem za:

- ▶ neposredno ogrevanje – topel zrak iz kompresorja se preusmeri v delovne prostore;
- ▶ posredno ogrevanje – preko toplotnih izmenjevalnikov segrevamo vodo, ki napaja radiatorski sistem.

3. Sušenje in industrijski procesi

Industrije, ki potrebujejo sušenje (lesna, tekstilna, živilska), lahko uporabijo odpadno toploto za:

- ▶ predgrevanje sušilnega zraka,
- ▶ sušenje materialov in izdelkov,
- ▶ toplotno obdelavo izdelkov.

4. Sodelovanje s toplovodnimi sistemi

V večjih podjetjih lahko presežek toplote oddamo v daljinsko ogrevanje, kar še dodatno zmanjša emisije CO₂.

Koliko lahko prihranimo?

- ▶ Do 70 % odpadne toplote lahko ponovno uporabimo.
- ▶ Zmanjšanje emisij CO₂ za več deset ton letno.

Primer:

Za izračun prihrankov pri izrabi odpadne toplote vijačnega kompresorja moči 75 kW upoštevamo naslednje predpostavke:

- ▶ odpadna toplota kompresorja: od 80 % do 90 % električne energije, ki jo kompresor porabi, se pretvori v toploto;
- ▶ možna izraba toplote: od te toplote lahko do 70 % uporabimo za ogrevanje vode, prostorov ali industrijskih procesov;
- ▶ obratovalni čas: predpostavimo, da kompresor deluje 8 ur na dan, 250 dni na leto.

Izračun razpoložljive toplote:

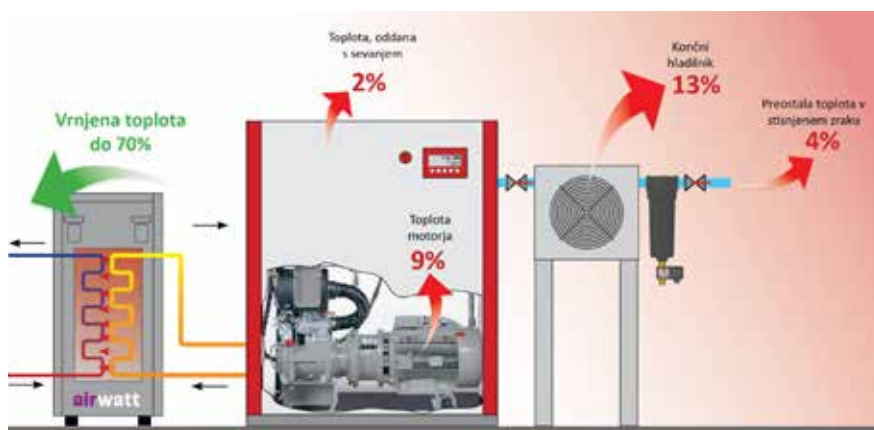
- ▶ poraba električne energije: 75 kW × 8 h/dan = 600 kWh/dan, 600 kWh/dan × 250 dni = 150.000 kWh/leto;

- ▶ razpoložljiva odpadna toplota (90 % izgubljene energije): $150.000 \text{ kWh} \times 0,9 = 135.000 \text{ kWh/leto}$;
- ▶ uporabna toplota pri 70 % izkoristku sistema: $135.000 \text{ kWh} \times 0,7 = 94.500 \text{ kWh/leto}$.

Koliko lahko prihranimo?

Če to toploto uporabimo namesto plina ali električne energije za ogrevanje, izračunamo prihranek glede na energente:

- ▶ če uporabljamo zemeljski plin (izkoristek kotla ~90 %): cena plina: 0,07 €/kWh, $94.500 \times 0,07 = 6.615 \times 0,9 = 5.953 \text{ €}$ prihranka letno;
- ▶ če uporabljamo elektriko za ogrevanje: cena elektrike: 0,15 €/kWh, $94.500 \times 0,15 = 14.175 \text{ €}$ prihranka letno;
- ▶ zmanjšanje emisij CO₂ (če nadomestimo plin, to pomeni 0,2 kg CO₂/



Izkoriščanje odpadne toplote pri vijčnih kompresorjih

kWh): $94.500 \times 0,2 = 18,9 \text{ ton CO}_2$ manj letno.

leto ter zmanjšamo emisije CO₂ za več kot 18 ton letno.

Zaključek

Z izkoriščanjem odpadne toplote iz 75 kW kompresorja lahko prihranimo med 5.953 € (plin) in 14.175 € (elektrika) na

www.omega-air.si

© Avtorji 2026. CC-BY 4.0



OMEGA AIR
more than air

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

RAZPON TLAKOV

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

MEDIJI

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



N₂



O₂



H₂



8-Air



Air



He



CNG



Air



Air



CO₂

SMC 4-bar factory v praksi

Od analize obstoječega stanja do učinkovitega upravljanja stisnjenega zraka

V prejšnjem članku »4-bar factory – sprejmite izziv« smo predstavili, zakaj je znižanje systemskega tlaka pomemben korak k manjši porabi energije. V nadaljevanju se osredotočamo na praktično izvedbo: kje začeti z optimizacijo, katere skupine izdelkov SMC uporabiti in katere podatke potrebujemo za izbiro najustreznejše rešitve.

Prehod na 4 bar ni samo znižanje tlaka na regulatorju. Začne se z analizo obstoječega stanja, pri kateri izmerimo porabo zraka in dinamične spremembe tlaka med standardnim obratovanjem, največjo obremenitvijo ter mirovanjem stroja. Na podlagi teh podatkov določimo največje izgube ter porabnike, ki dejansko potrebujejo višji tlak. Cilj ni na silo doseči tlak 4 bar v sistemu, temveč določiti najnižji tlak, pri katerem stroj še deluje zanesljivo in brez izgube produktivnosti.

Kje začeti na obstoječem stroju?

Na obstoječem stroju najprej preverimo pet tipičnih mest: stalno pihanje, porabo zraka med mirovanjem, cilindre z neobremenjenim povratnim hodom, ejektorje, ki delujejo skozi celoten cikel, ter posamezne porabnike, zaradi katerih je tlak celotnega stroja nastavljen previsoko. Na teh mestih so posegi praviloma najmanj zahtevni, njihov učinek pa najlažje izmerljiv.

Smiselno zaporedje je: najprej izmerimo začetno stanje in nato izvedemo hitre ukrepe na porabnikih ter ponovno preverimo porabo. Tlak nato znižujemo postopoma in ob vsakem koraku spremljamo, kako sprememba vpliva na čas cikla in stabilnost procesa. Če posamezna funkcija pri 4 bar ne dosega zahtevane sile ali hitrosti, najprej odpravimo izgube in preverimo dimenzioniranje. Kadar to ne zadošča, uporabimo lokalno zvišanje tlaka, namesto da bi tlak zvišali v celotnem stroju.

SMC rešitve: od hitrih ukrepov do trajnega nadzora

KNH / KNC – šobe za pihanje

Odrpno cev ali preveliko šobo nadomestimo z namensko šobo



KNA šoba za izpihovanje

in pretok prilagodimo dejanski nalogi. Tako zmanjšamo nepotreben pretok, dobimo bolj usmerjen izpih in tudi manj hrupa. To je eden najpreprostejših ukrepov pri zniževanju porabe stisnjenega zraka.

AS-R / AS-Q – varčno krmiljenje cilindra

Pri cilindru, kjer je obremenjen samo delovni hod, z uporabo AS-R znižamo tlak v neobremenjenem povratnem hodu. AS-Q omogoča hitrejše polnjenje, kadar je pomemben odzivni čas. Pri ustreznih aplikacijah lahko porabo zraka zmanjšamo do 30 % brez zamenjave osnovnega cilindra.

ZK2-A in ZL1/ZL3/ZL6 – energetske učinkovit vakuuma

ZK2-A prekine dovod zraka, ko je zahtevani vakuum dosežen, in ga ponovno vključi šele ob padcu nastavljenih vrednosti. Pri aplikacijah z večjim potrebnim sesalnim pretokom tristopenjski ejektorji ZL izboljšajo razmerje med sesalno zmogljivostjo in porabo zraka ter lahko v primerjavi z enostopenjskimi ejektorji dosežejo primerljivo sesalno zmogljivost z manjšo porabo zraka. Največji prihranek dosežemo s pravilno dimenzioniranim in dovolj tesnim vakuumskim sistemom.



ZK2-A vakuumski ejektor

VBA / VBAE z VBAT – lokalni dvig tlaka

Porabnik, ki potrebuje višji tlak, ločimo od osnovnega 4-bar omrežja in tlak zvišamo samo v njegovi veji. Rezervoar VBAT pokrije kratke konice pretoka, VBAE pa dodatno izrablja del izpušnega zraka. Tako zaradi enega vpenjala, preše ali druge zahtevne funkcije ni potrebe po zviševanju tlaka v celotnem stroju ali obratu.



VBAE ojačevalec tlaka



AMS20/30/40/60 – Sistem za upravljanje stisnjenega zraka

Sistem spremlja pretok, tlak in temperaturo ter omogoča znižanje tlaka v pripravljenosti ali zapiranje dovoda med daljšim mirovanjem. S tem dobimo merljive podatke o prihrankih, znamo porabo zunaj proizvodnega časa in zagotovimo, da optimizacija ni le enkratna nastavitev tlaka, temveč trajen proces izboljševanja.

Znižanje delovnega tlaka je učinkovito le, če ga povežemo z meritvami, optimizacijo porabnikov in lokalnim prilagajanjem tlaka. Z namenskimi šobami, varčnim krmiljenjem cilindrov, učinkovitejšimi vakuumskimi ejektorji, lokalnim zvišanjem tlaka ter sistemom AMS zmanjšamo količino stisnjenega zraka, ki jo mora proizvesti kompresorska postaja. Manjša poraba

AMS sistem za upravljanje z porabo zraka

zraka pomeni manjšo porabo električne energije, nižje obratovalne stroške in manjši posredni CO₂-odtis proizvodnje. Cilj koncepta 4-bar factory zato ni zgolj doseči tlak 4 bar, temveč vsakemu porabniku zagotoviti toliko tlaka, pretoka in energije, kolikor jih dejansko potrebuje za zanesljivo delovanje.

Vir:

SMC Industrijska Avtomatika d. o. o., Mirnska cesta 7, 8210 Trebnje, tel.: +386 7 388 5425, spletna stran: www.smc.si, www.smc.eu, e-pošta: tehnika@smc.si, g. Jan Matko

© Avtorji 2026. CC-BY 4.0



DIGITEH

DIGITALIZACIJA PROIZVODNIH PROCESOV

ZANESLJIV PARTNER NA VAŠI POTI V DIGITALIZIRANO PRIHODNOST



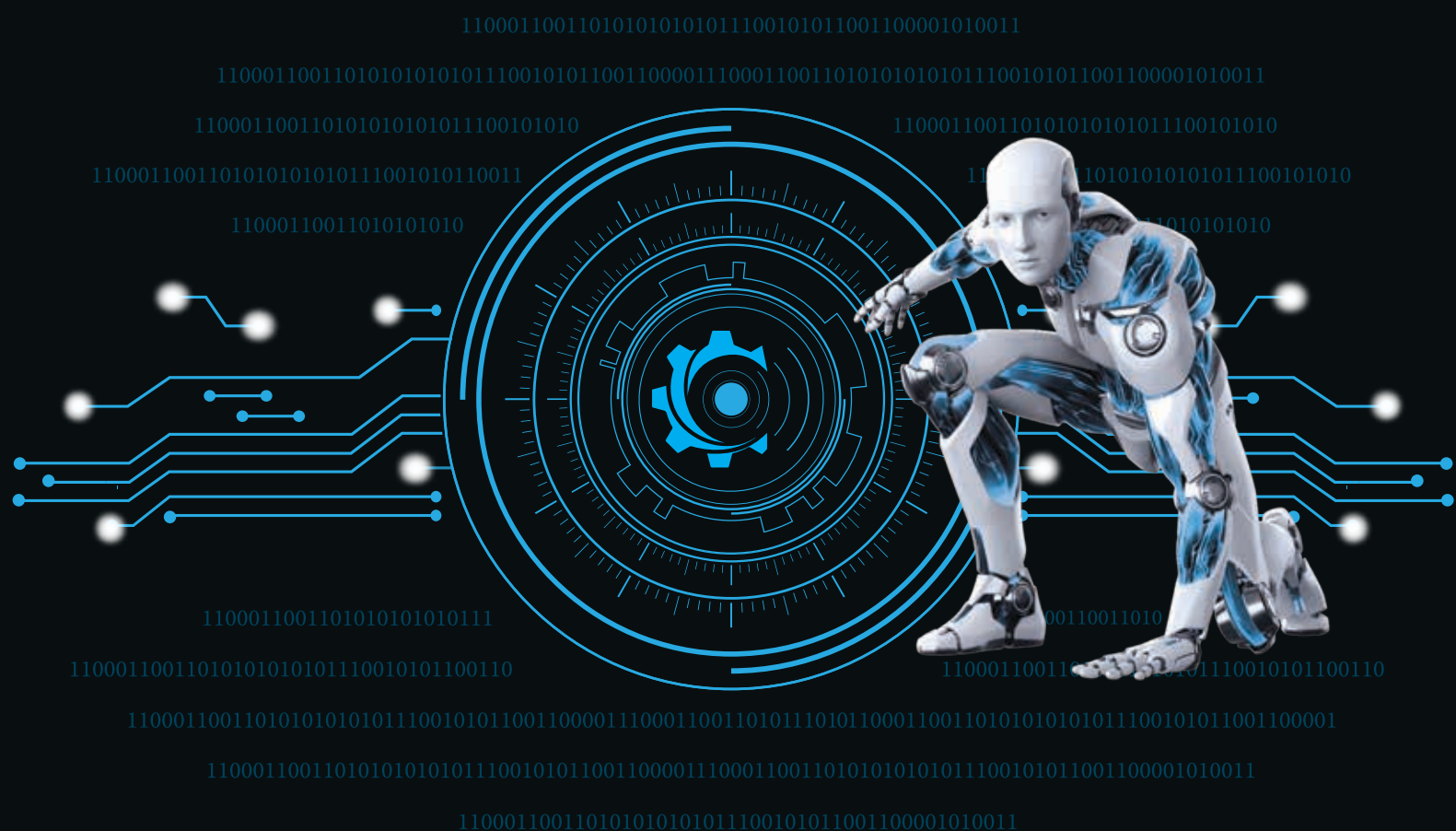
www.digiteh.eu info@digiteh.eu 08 2055 621 Tržaška cesta 315, SI-1000, Ljubljana



IFAM INTRONIKA ROBOTICS MTE

26.-28. 1. 2027

Ljubljana



Revija za fluidno tehniko, napredno inženirstvo in tehnologije
Journal of Fluid Technics, Advanced Engineering and Technologies

Ustanovitelj:

Slovensko društvo za fluidno tehniko
Gospodarska zbornica Slovenije - Združenje kovinske industrije

Izdajatelj in uredništvo:

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo
Uredništvo revije VENTIL
Aškerčeva 6, POB 394, 1000 Ljubljana
Telefon: +(0)1 47 71 704
E-mail: ventil@fs.uni-lj.si
Internet: <http://www.revija-ventil.si>

Glavni in odgovorni urednik: izr. prof. dr. Miroslav Halilović

Pomočnik urednika: izr. prof. dr. Franc Majdič

Tehnični urednik: Roman Putrih

Lektoriranje: dr. Marjeta Humar, Andrea Potočnik

Oblikovanje naslovnice: Pavle Jovanovski, Ljubljana

Prelom in priprava za tisk: Grafex agencija | tiskarna, Izlake

Tisk: Schwarz Print d. o. o., Ljubljana

Marketing in distribucija: Roman Putrih, UL, Fakulteta za strojništvo

© Avtor(ji) 2026. CC-BY 4.0 / © The Authors 2026. CC-BY 4.0

REVIJA JE V ODPRTEM DOSTOPU.



Znanstveni članki v reviji Ventil so recenzirani.

Revija Ventil je indeksirana v podatkovni bazi DOAJ in EBSCO.

ISSN: 2630-4090 (on line) / 1318-7279

UDK: 62-82 + 62-85 + 62-31 / -33 + 681.523 (497.12)

Letnik / Letnica / Številka 32 / 2026 / 4

Naklada: 800 izvodov. Izhaja šestkrat letno.

Cena: 5,00 EUR – letna naročnina 30,00 EUR

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

Na podlagi 25. člena Zakona o davku na dodano vrednost spada revija med izdelke, za katere se plačuje 5-odstotni davek na dodano vrednost.

Uredniški odbor (Editorial Board)

- ▶ prof. dr. Marko Hočevar, UL, Fakulteta za strojništvo
- ▶ prof. dr. Matija Jezeršek, UL, Fakulteta za strojništvo
- ▶ izr. prof. dr. Jože Kutin, UL, Fakulteta za strojništvo
- ▶ izr. prof. dr. Jurij Prezelj, UL, Fakulteta za strojništvo
- ▶ prof. dr. Franci Pušavec, UL, Fakulteta za strojništvo
- ▶ doc. dr. Lidija Slemenik Perše, UL, Fakulteta za strojništvo
- ▶ izr. prof. dr. Marko Šimic, UL, Fakulteta za strojništvo
- ▶ izr. prof. dr. Rok Vrabčič, UL, Fakulteta za strojništvo
- ▶ izr. prof. dr. Nikola Vukašinović, UL, Fakulteta za strojništvo
- ▶ izr. prof. dr. Matevž Zupančič, UL, Fakulteta za strojništvo

Recenzentski odbor (Editorial Review Board)

- ▶ prof. dr. Ivan Bajsič, UL, Fakulteta za strojništvo (upokojen)
- ▶ doc. dr. Tomaž Berlec, UL, Fakulteta za strojništvo
- ▶ doc. dr. Gorazd Karer, UL, Fakulteta za elektrotehniko
- ▶ izr. prof. dr. Damjan Klobčar, UL, Fakulteta za strojništvo
- ▶ izr. prof. Vito Tič, UM, Fakulteta za strojništvo

Znanstveno strokovni svet (Scientific and Technical Advisory Board)

- ▶ dr. Uroš Bohinc, Zavod za gradbeništvo Slovenije
- ▶ dr. Gregor Dolanc, Inštitut Jožef Stefan, Ljubljana
- ▶ prof. dr. Niko Heraković, UL, Fakulteta za strojništvo
- ▶ prof. dr. Matjaž Hriberšek, UM, Fakulteta za strojništvo
- ▶ doc. dr. Matej Huš, Kemijski inštitut, Ljubljana
- ▶ prof. dr. Roman Kamnik, UL, Fakulteta za elektrotehniko
- ▶ prof. dr. Darko Lovrec, UM, Fakulteta za strojništvo
- ▶ dr. Bojan Podgornik, Inštitut za kovinske materiale in tehnologije, Ljubljana
- ▶ prof. dr. Jožef Ritonja, UM, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko
- ▶ Janez Škrlec, inž., Razvojno raziskovalna dejavnost, Zg. Poljskava

Mednarodni znanstveni svet (International Scientific Advisory Board)

- ▶ izr. prof. dr. Sam Coppeters, KU Leuven, Belgium
- ▶ prof. dr. Alexander Czinki, Technische Hochschule Aschaffenburg, Germany
- ▶ izr. prof. dr. Tatiana Minav, Tampere University, Finland
- ▶ prof. dr. Hubertus Murrenhoff, RWTH Aachen, Germany
- ▶ prof. dr. Katharina Schmitz, RWTH Aachen, Germany
- ▶ prof. dr. Željko Šitum, University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, Croatia
- ▶ prof. dr. Hironao Yamada, Gifu University, Japan

Industrijski svet (Industry Advisory Board)

- ▶ mag. Aleš Bizjak, Gospodarska zbornica Slovenije, Združenje kovinske industrije
- ▶ mag. Anže Čelik, Poclain Hydraulics, d. o. o., Žiri
- ▶ Sandi Grobelnik, Uniforest, d. o. o., Prebold
- ▶ Sava Ignjatović, PPT Commerce, d. o. o., Ljubljana-Šentvid
- ▶ dr. Milan Kambič, OLMA, d. o. o., Ljubljana
- ▶ Aleksandra Klemenc, Inoteh, d. o. o., Bistrica ob Dravi
- ▶ Darko Koritnik, DAX, d. o. o., Trbovlje
- ▶ dr. Hubert Kosler, Yaskawa, d. o. o., Ribnica
- ▶ Andrej Lešnjak, Q Techna, d. o. o., Ljubljana
- ▶ Andrej Rotovnik, MIEL Elektronika, d. o. o., Velenje
- ▶ Enej Saksida, OPL, d. o. o., Trzin
- ▶ Edvard Sojer, Omega Air, d. o. o., Ljubljana
- ▶ Matej Tomšič, Hennlich, d. o. o., Kranj

Častni odbor (Honorary Board)

- ▶ prof. dr. Jože Duhovnik, UL, Fakulteta za strojništvo (upokojen)
- ▶ mag. Milan Kopač, Poclain Hydraulics, d. o. o., Žiri (upokojen)
- ▶ izr. prof. dr. Dragica Noe, UL, Fakulteta za strojništvo (upokojena)
- ▶ Bogdan Opaškar (upokojen)
- ▶ dr. Jože Pezdinik, UL, Fakulteta za strojništvo (upokojen)
- ▶ Valter Saksida, OPL, d.o.o., Trzin
- ▶ mag. Anton Stušek (in memoriam), UL, Fakulteta za strojništvo
- ▶ prof. dr. Janez Tušek, TKC, d. o. o., Ljubljana

Nekdanji uredniki

- ▶ mag. Anton Stušek
- ▶ prof. dr. Niko Heraković
- ▶ doc. dr. Tomaž Perme
- ▶ izr. prof. dr. Dragica Noe
- ▶ prof. dr. Janez Tušek

Nekdanji pomočniki urednika

- ▶ mag. Anton Stušek
- ▶ izr. prof. dr. Miroslav Halilović

V naslednji številki 5/2026 - oktober

Ventilov utrip

Janez Škrlec

Bionika ustvarja inovacije, ki jih je navdihnili narava



Znanstveni in strokovni članki

Tadej Tašner

Hidravlični akumulatorji v praksi – izbira, preračun in vgradnja

Iz industrije

Aktualno v industriji

Novosti na trgu

Podjetja predstavljajo

Hennlich, d. o. o.

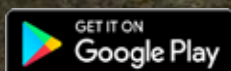
Črpalka iSTEP M, dobitnica nagrade PLUS X AWARD 2026



UNIFOREST CONNECT APP



Poskeniraj QR kodo
in prenesi aplikacijo



www.uniforest.si





www.dax.si

EPSON
EXCEED YOUR VISION

**VSE V DOSEGU.
TUDI CENA.**



T3 SCARA

400 mm 3 kg

KONTROLER V BAZI ROBOTA RAZVOJNO OKOLJE RC+7

INDUSTRIJSKI FORUM IRTADRIA26



Strokovni dogodek za industrijo

Industrijski forum IRT ADRIA je dvodnevni strokovni dogodek, ki ustvarja prostor za izmenjavo informacij, znanj, idej in pogledov na dosežke industrijske panoge. Industrijski forum ima v Sloveniji več kot 15 letno tradicijo, medtem ko se je dogodek na Hrvaškem uveljavil z letom 2025 in pokriva širše področje zahodnega Balkana.

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

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

Program

Prvi dan dogodka je namenjen poslovnim vsebinam. Udeležence kot promotorka inženirskega poklica nagovori aktualna inženirka leta.

Drugi forumski dan potekajo strokovna predavanja v več tematskih sklopih, ki so tesno povezani z vsebinami, o katerih piše revija IRT3000 ADRIA. Osrednja pozornost je namenjena primerom uspešno rešenih konkretnih izzivov iz prakse.

KAJ?

- strokovni dogodek – 2 dni!
- predavanja, mreženje in izmenjava izkušenj
- več kot 20 strokovnih predavanj

ZA KOGA?

- strokovnjake iz proizvodnih podjetij
- predstavnike razvojnih in raziskovalnih institucij
- akademike
- odločevalce iz industrije
- predstavnike branžnih združenj
- vodje proizvodnje
- raziskovalce in razvojnike
- študente in dijake
- vse, ki hočete biti v stiku z napredkom v svoji branži



RAZSTAVA



POSLOVNI DEL



STROKOVNA
PREDAVANJA



RAZISKOVALCI

14. in 15. 9. 2026
Zadar • Hotel KOLOVARE

Glavna pokrovitelj



Pokrovitelj



Medijski partner



Partnerji



Industrijski forum IRT ADRIA | Ulica Ivica Sudnika 7, 10430 Samobor, Hrvaška
tel.: +385 98 409 690 | info@forum-irtadria.com

Prihodnost je tukaj.