

VENTIL

ISSN 1318 - 7279

Letnik 31 / 2025 / 4 / Avgust

Testna analiza
hidravličnega ventila

Večagentno
načrtovanje poti

Vzdrževanje
hidravličnih naprav

Hidravlična olja

industrijska

olja in maziva



WWW.OLMA.SI

OLMA77
SINCE 1947

ŠIROK IZBOR VENTILOV

ZA HIDRAVLIČNE POGONE VOZIL IN NJIHOVA HIDRAVLIČNA ORODJA



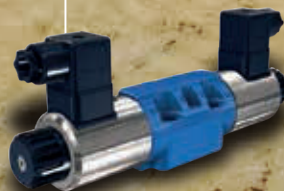
Izmenjevalni
ventil



Ventil za hidravlično
zaporo koles



4/3 Potni
ventil



6/2 Potni
ventil



ZASNOVANI IN PROIZVEDENI V SLOVENIJI



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

www.poclain-hydraulics.com



SLOVENIJA MED ZVEZDAMI IN DELCI: NOVE PRILOŽNOSTI ZA ZNANOST IN INDUSTRIJO V ESI IN CERN-U



Slovenija je letos postala polnopravna članica dveh pomembnih organizacij. V začetku leta smo postali 23. polnopravna članica Evropske vesoljske agencije (ESA), ki je bila ustanovljena pred točno pol stoletja, junija pa še 25. polnopravna članica Evropske organizacije za jedrske raziskave (CERN), ki je lani obeležila sedemdesetletnico delovanja. Polnopravno članstvo v obeh organizacijah odpira nove priložnosti tako za akademsko okolje, raziskovalne inštitute kot tudi za gospodarske subjekte.

ESA spodbuja mednarodno sodelovanje med evropskimi državami na področju vesoljskih raziskav in tehnologij ter njihove uporabe v vesolju v miroljubne namene. Njen letošnji proračun znaša 7,7 milijard evrov, pri čemer se je v zadnjih štirih letih povečal za polovico, kar odraža naraščajoče zavedanje glede pomembnosti vesoljskih programov v Evropi. Slovenija sodeluje z ESO od leta 2009, pridružena članica je od leta 2016. Letos je ob pristopu v polnopravno članstvo plačala enkratni znesek 1,7 milijona evrov, članarina pa se je povišala s pol milijona na 2,8 milijona evrov.

Podobno kot za ESO tudi polnopravno članstvo Slovenije v CERN-u pomeni izjemno priznanje naši znanosti in raziskovalcem. Poslanstvo CERN-a je izvajati vrhunske raziskave na področju te-

meljne fizike. Čeprav je Slovenija v okviru Jugoslavije že bila celo ustanovna članica in je Jugoslavija leta 1961 iz CERN-a izstopila, se je leta 2016 Slovenija vrnila kot pridružena, letos pa je postala polnopravna članica. Pristop v obe organizaciji ni bil pogojen samo s plačilom članarine, pač pa je morala Slovenija izpolniti še zahtevne pristopne pogoje.

Kako intenzivno se bo razvijalo sodelovanje, bo pokazal čas. V tem trenutku ima sprejetje v polnopravno članstvo takšnih organizacij predvsem velik simbolni pomen, saj predstavlja potrditev uspešnosti dosedanjega sodelovanja, razvitosti in organiziranosti našega okolja ter priznavanje strokovnosti in kvalitete naših raziskovalcev in podjetij. Z ESO kot tudi s CERN-om zaenkrat sodeluje le nekaj deset slovenskih podjetij in raziskovalcev, kar glede na število vseh slovenskih podjetij in raziskovalcev ni prav velik delež. Polnopravno članstvo pa pravzaprav šele odpira nove priložnosti za podjetja s področij visoke tehnologije, inženiringa, informacijske tehnologije in drugih naprednih tehnologij, ki se lahko pojavijo kot dobavitelji ali kot raziskovalno-razvojni partnerji. Za posameznike pa predstavlja članstvo nove možnosti za zaposlitve, saj se lahko vključijo bodisi kot raziskovalci bodisi kot osebje v podpornih službah.

Nove vključitve Slovenije v takšna združenja nas uvrščajo tja, kjer si želimo biti: na razviti zahod. Če so na začetku tisočletja partnerji iz zahodnoevropskih držav pri prijavih na mednarodne projekte vsakič znova morali preverjati, ali je Slovenija na seznamu držav, ki omogoča partnerstvo z našimi inštitucijami, danes temu še zdaleč ni več tako. V letih po padcu železne zaves, ki se je raztezala vzdolž našega meridiana, smo pri zahodnih partnerjih veljali za periferno državo. Za mlajšo generacijo zahodnoevropskih raziskovalcev

pa je značilno, da se je to dojemanje perifernosti premaknilo daleč proti vzhodu in so kvečjemu presenečeni, če Slovenija na katerem od spisov manjka. Takšna vključitev torej ni pomembna samo zato, da število sodelujočih raziskovalcev in podjetij povečamo z današnjih dvajset na dvesto, pač pa tudi zaradi ugleda države, ki ga takšno članstvo krepi.

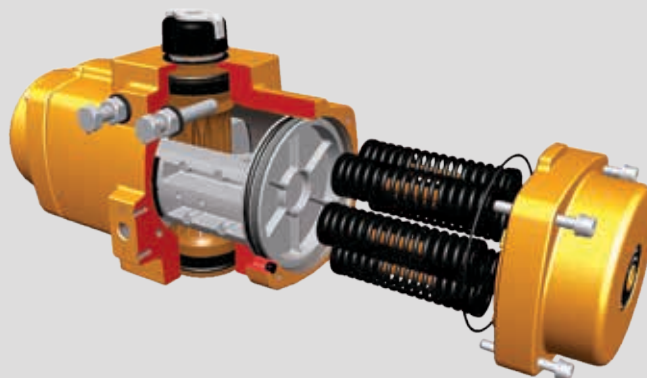
Čeprav se zaradi takšnega vključevanja Slovenije v mednarodne organizacije povečuje število raziskovalcev, ki sodelujejo v mednarodnih projektih, lahko to predstavlja tudi prikrito past bega možganov. Če raziskovalci odhajajo v tujino v iskanju boljše kariere brez ohranjanja stikov z domačim raziskovalnim okoljem, lahko statistični podatki nakazujejo pozitiven trend, medtem ko v resnici izgubljam vrhunsko usposobljene domače kadre. Vključevanje slovenskih raziskovalcev v mednarodne projekte prinaša koristi le, če ti raziskovalci ohranijo stike z domačim raziskovalnim in poslovnim okoljem. Brez tega gre namreč zgolj za odliv kadrov, pri katerem država plačuje za tujo korist, česar se – bodimo iskreni – organizacije, ki nas sprejmejo v svoje vrste, tudi nadejajo. Z morda politiko spodbud in podpor lahko Slovenska vesoljska pisarna pri MGTŠ, pristojna za ESO, ter MVZI in GZS, pristojna za CERN, zasledujejo te cilje v okviru danih pravil obeh organizacij, a na koncu odločitev posameznika še bolj kot to določa dejansko stanje v državi: kako urejeno je raziskovalno področje, kakšne so možnosti za kariere ter kako resno država jemlje znanost. In tu zopet naletimo na širša družbena vprašanja, začenši že s tem, koliko našega javnega denarja smo pripravljeni vložiti za znanost in tovrstne raziskave.

Miroslav Halilović

© Avtorji 2025. CC-BY 4.0



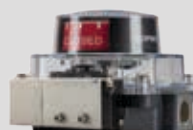
EL Matic™



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

DOGODKI • POROČILA • VESTI

Poletna šola strojništva	194
--------------------------------	-----

PREDSTAVITEV

Slovenska tovarna umetne inteligence: razširitev ekosistema za umetno inteligenco v Sloveniji	196
---	-----

NOVICE • ZANIMIVOSTI

Janez Škrlec

Intenzivno povezovanje znanosti in gospodarstva je lahko odličen generator inovacij in tehnološkega razvoja	206
--	-----

HIDRAVLICNI VENTILI

Jan Bartolj, Domen Strenčan, David Homar, Franc Majdič

Dodajalna tehnologija v praksi: Testna analiza hidravličnega ventila z inovativno ventilsko ploščo	210
--	-----

VEČAGENTNO NAČRTOVANJE POTI

Andrej Zdešar, Matevž Bošnjak, Viktor Zaletelj, Rok Vrabič, Gregor Klančar

Večagentno načrtovanje poti za skupino avtomatsko vodenih vozičkov v industrijskem okolju s polnilnicami	216
---	-----

VZDRŽEVANJE HIDRAVLIKE

Franc Majdič

Vzdrževanje hidravličnih naprav – 15. del	226
---	-----

HIDRAVLICNA OLJA

Aleš Hrobat, Jošt Mohorko, Vito Tič, Milan Kambič

Podaljšanje uporabne dobe hidravličnega olja in vpliv na energetska učinkovitost	230
--	-----

AKTUALNO IZ INDUSTRIJE

Premiki v vse smeri (ELESA+GANter)	234
Precizni, izravnalni in okretni (ELESA+GANter)	235
Kaj so pnevmatski dušilci zvoka in kako delujejo? (S3C)	236

NOVOSTI NA TRGU

Electrak® HD zanesljivo nadzoruje uravnoteženje tudi pri najzahtevnejših obremenitvah (INOTEH)	237
THOMSON LINEAR: Najnovejši aktuator H-Track za aplikacije v pomorstvu (INOTEH)	237

PODJETJA PREDSTAVLJAJO

Focus-1 – pametni ventil za novo industrijsko dobo (GIA-S)	238
Vitalni elementi hidravličnega sistema (HENNLICH)	240
Kompaktni adsorpcijski sušilniki za lokalno pripravo stisnjenega zraka na mestu uporabe (OMEGA AIR)	242

LITERATURA • STANDARDI • PRIPOROČILA

Nove knjige	245
-------------------	-----

POLETNA ŠOLA STROJNIŠTVA 2025

Med 26. in 29. avgustom 2025 je Fakulteta za strojništvo UL gostila več kot 100 rado-vednih osnovnošolk in osnovnošolcev tretje triade iz vse Slovenije, ki so z vso energijo zavihali rokave in se preizkusili v ustvarjalnosti, tehnologiji ter inženirstvu.



Utrinek z delavnice Dekleta za dekleta: robotska izdelava silikonskih kalupov za čokoladne praline

V 12 raznolikih delavnicah so udeleženke in udeleženci:

- ▶ gradili enostavno jadralno letalo – od zasnove do izdelka,
- ▶ sodelovali v delavnici Dekleta za dekleta: robotska izdelava silikonskih kalupov za čokoladne praline,
- ▶ spoznavali zasnovo in izdelavo zobniškega prenosa,
- ▶ raziskovali svet visokozmogljivega računalništva (HPC),
- ▶ izdelali svojo mini leseno kitaro,
- ▶ razvijali pametno solarno rožico,
- ▶ skonstruirali toplotni pogonski stroj,
- ▶ izdelali mini vetrno elektrarno,
- ▶ preizkusili 3D-tiskanje izdelkov,
- ▶ ustvarjali okrasne in promocijske predmete z laserskim graviranjem,
- ▶ izdelali in modelirali prenosno vremensko po-

stajo

- ▶ ter spoznavali uporabo računalniških orodij za prenosnike moči.

Glavno sporočilo? Znanje oživi s praktičnim ustvarjanjem! Udeležence je navdihnili sodelovanje z mentorji in odkrivanje strojništva kot ustvarjalne ter raznolike discipline.

Poletna šola strojništva je znova dokazala, da gre za enega najbolj navdihujočih programov za osnovnošolke in osnovnošolce v Sloveniji – program, ki spodbuja radovednost, krepi inovativnost in povezuje mlade, ki bodo soustvarjali tehnološko prihodnost.

Z navdušenjem že zremo naprej – se vidimo na naslednji Poletni šoli strojništva 2026!



Udeleženci so najprej izdelke zasnovali, nato izdelali in nazadnje tudi preizkusili.

www.fs.uni-lj.si

© Avtorji 2025. CC-BY 4.0

RAZVIT IN IZDELAN V SLOVENIJI

YASKAWA

GP20

GLAVNE PREDNOSTI

- Vitka in robustna zasnova
- Uporaba v različnih robotskih aplikacijah
- 20 kg nosilnosti
- Velik polmer dosega: 1.802 mm
- Hiter / visoki pospeški in pojemki
- Enostaven zagon, uporaba in vzdrževanje

YASKAWA Slovenija d.o.o. www.yaskawa.si



Controlled by
YRC1000

SLOVENSKA TOVARNA UMETNE INTELLIGENCE: RAZŠIRITEV EKOSISTEMA ZA UMETNO INTELLIGENCO V SLOVENIJI

Skupno podjetje za evropsko visokozmogljivo računalništvo (EuroHPC JU) je 12. marca 2025 objavilo, da je bila za sofinanciranje izbrana slovenska prijava za vzpostavitev Slovenske tovarne umetne inteligence, ki vključuje superračunalnik, prilagojen za umetno inteligenco. Projekt bosta sofinancirala Skupno podjetje EuroHPC in Republika Slovenija (Ministrstvo za digitalno preobrazbo, Ministrstvo za visoko šolstvo, znanost in inovacije) v okviru pobude za evropske tovarne umetne inteligence, ki tako šteje že trinajst tovarn. Superračunalnik bo IZUM v sodelovanju z Institutom »Jožef Stefan« in Arnesom namestil v novem računalniškem centru, ki ga bo Arnes zgradil na območju Dravskih elektrarn v Mariboru. Pri vzpostavitvi tovarne umetne inteligence sodelujejo kot partnerji IJS, Univerza v Ljubljani, Univerza v Mariboru, Univerza v Novi Gorici, IZUM, Arnes, Univerza na Primorskem, Fakulteta za informacijske študije Novo mesto, Gospodarska zbornica Slovenije in Tehnološki park Ljubljana.



Novi slovenski superračunalnik, ki bo poganjal tovarno umetne inteligence, bo nameščen v Arnesovem podatkovnem centru prihodnosti na območju Dravskih elektrarn v Mariboru.

Tovarne umetne inteligence so dinamični ekosistemi, ki spodbujajo inovacije, sodelovanje in razvoj na področju umetne inteligence. Slovenska tovarna umetne inteligence (Slovenian AI Factory – SLAIF) bo izboljšala slovenske kapacitete na področju umetne inteligence: v okviru projekta bo vzpostavljen vrhunski superračunalnik, ki bo optimiziran za razvoj storitev umetne inteligence, ter dinamičen ekosistem s podporo za uporabo storitev umetne inteligence v podjetništvu, raziskovalni dejavnosti in javnih ustanovah. S superračunalnikom bomo do leta 2027 nadomestili trenutni sistem EuroHPC Vega, tako da bo v Sloveniji še naprej in brez prekinitev na voljo vrhunska infrastruktura za superračunalniške obdelave ter hrambo velikih podatkov. Po trenutnih ocenah bo novi sistem v mešani natanč-

nosti za aplikacije na področju umetne inteligence zmogel 1018 računskih operacij s plavajočo vejico na sekundo (10 eksaflop/s), v dvojni natančnosti za superračunalniške aplikacije pa 100 petaflop/s. Sistem bo oskrbovan z električno energijo iz bližnje hidroelektrarne. Tako bomo s trajnostnim načrtovanjem in uporabo obnovljivih virov zmanjšali učinek na okolje, ne da bi ogrozili mesto Slovenije v vrhu znanstvenih raziskav, razvoja ter inovacij v povezavi z umetno inteligenco. Superračunalnik bo dodatno opremljen z vmesniki za infrastrukturo kot storitev (računalniški oblak), tako da bodo podjetja lahko storitve umetne inteligence neposredno vključevala v svoje procese. V drugi fazi (2028–2029) projekt predvideva nadgradnjo sistema, kar bo podaljšalo življenjsko dobo in povečalo tehnološko konkurenčnost superračunalnika.

Povezovanje strojnega učenja in superračunalništva

Projekt SLAIF ne prinaša le strojne opreme: v njegovem jedru je razvoj celovitega ekosistema za umetno inteligenco, ki bo povezal znanje na področjih strojnega učenja in superračunalništva v Sloveniji. Raziskave in razvoj na področju umetne inteligence v Sloveniji namreč potekajo v več ustanovah, ki pa se bodo v okviru projekta SLAIF povezale v enotno jedro. Tako bo projekt premostil tudi razlike med izobraževalnim sektorjem in gospodarstvom. SLAIF bo na področju umetne inteligence in superračunalništva ponujal vse – znanje, infrastrukturo in podatke – na enem mestu, in sicer za gospodarske družbe, zagonska podjetja, raziskovalce in javni sektor.

SLAIF in gospodarstvo

Slovenska tovarna umetne inteligence bo v okviru projekta SLAIF spodbujala vpeljavo umetne inteligence in z njo povezanih inovacij na različnih gospodarskih področjih. Poglavitni cilj projekta je, da Slovenija ostane med vodilnimi državami pri digitalni preobrazbi z uporabo umetne inteligence. Projekt bo igral osrednjo vlogo pri zelenem prehodu, kjer je umetna inteligenca ključnega pomena pri optimizaciji energetskih sistemov, spremljanju stanja v okolju, pametnem kmetijstvu in spodbujanju trajnostnega razvoja v različnih gospodarskih disciplinah. V zdravstvu in biotehnologiji bo projekt SLAIF podpiral analize raznolikih medicinskih podatkov in spodbujal uvajanje personalizirane medicine, slovenska farmacevtska industrija pa bo s pomočjo orodij za odkrivanje zdravil na osnovi umetne inteligence hitreje razvijala nove pristope v zdravljenju. SLAIF bo podpiral tudi uvajanje in uporabo jezikovnih tehnologij v digitalne storitve, medije in kreativni sektor, ter uvajanje metod umetne inteligence v različne znanstvene discipline, npr. z orodji za razvoj novih materialov.

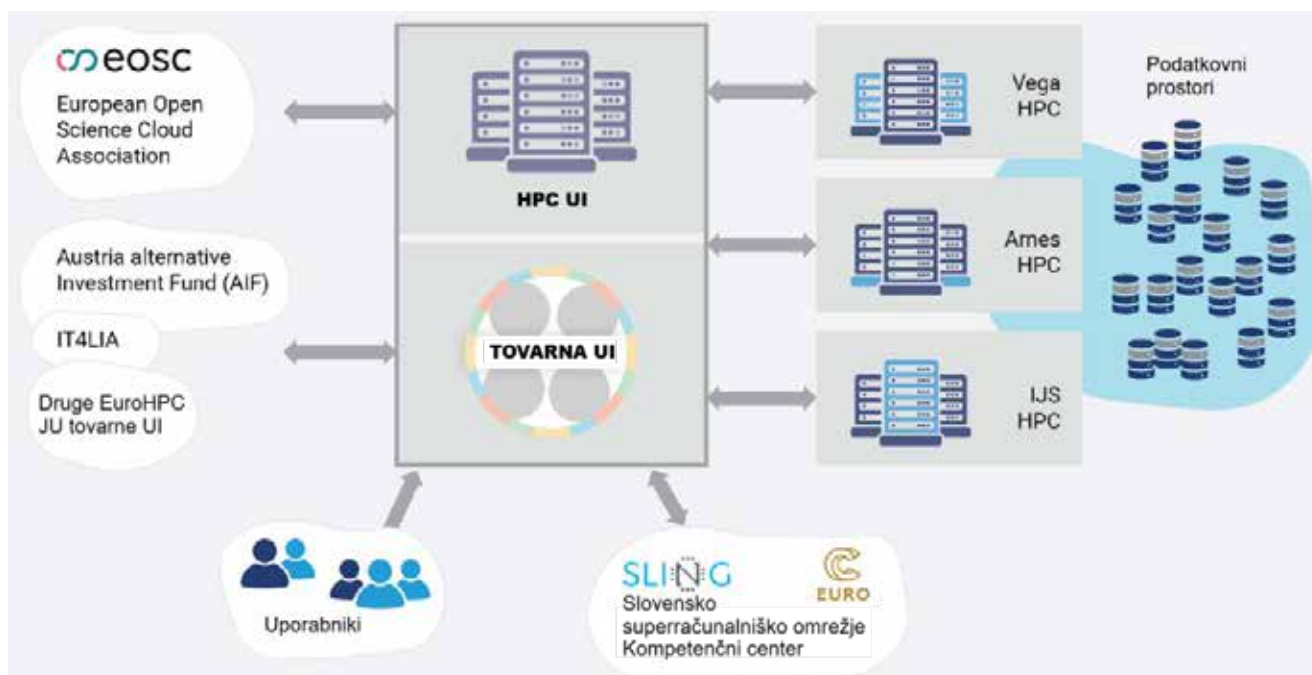
Katere storitve prinaša SLAIF?

Slovenska tovarna umetne inteligence bo vzpostavlja celovit podporni sistem, s katerim bo spodbujala uvajanje umetne inteligence na ciljnih gospodarskih področjih in v znanstvenoraziskovalni dejavnosti. Med drugim bo vključeval svetovalne in podporne storitve za posamezna področja, dostop do zbirke predpripravljenih modelov, zbirke podatkov ter dostop do prilagojenih oblčnih storitev umetne inteligence. Podjetjem in raziskovalcem bo omogočila

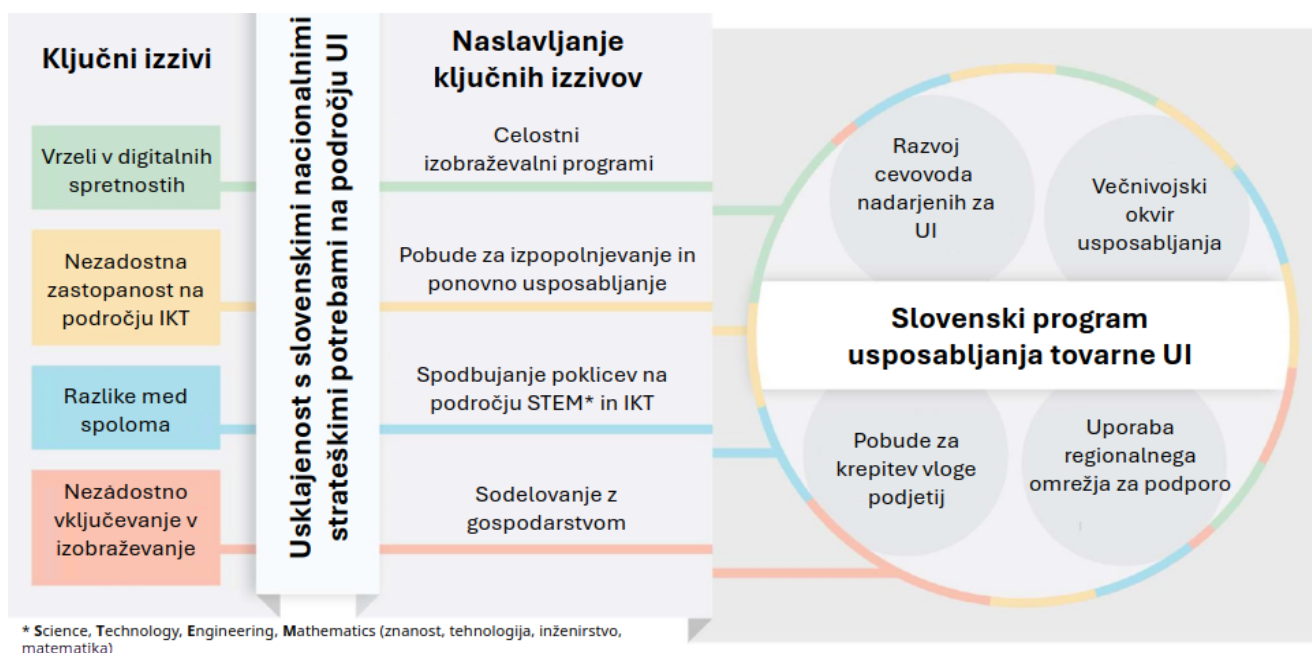
uporabo superračunalniških kapacitet, neposreden dostop do analitičnih orodij na osnovi umetne inteligence in dostop do prilagojenih programov za učenje modelov umetne inteligence za posamezna področja, da bodo lahko brez težav uvajali nove rešitve na področju umetne inteligence. Podjetja in raziskovalci bodo imeli na voljo tudi fizične storitve in infrastrukturo, ki jih bo tovarna umetne inteligence vzpostavila na kampusih svojih partnerjev, npr. pisarniške prostore za sodelovanje, kjer bodo lahko zagonska podjetja razvijala in testirala svoje rešitve na osnovi umetne inteligence. Z analizami uspešnih projektov na posameznih gospodarskih področjih, dostopom do orodij umetne inteligence in viri, ki bodo na voljo kot storitve v oblaku, pa bo tovarna umetne inteligence znižala vstopni prag za velika in za majhna podjetja.

SLAIF za razvoj talentov in znanja

Ena od osrednjih nalog SLAIF je razvoj strokovnega znanja na področju umetne inteligence. Uvedli bomo specializirane izobraževalne module za študente, raziskovalce ter strokovne delavce v gospodarstvu. V sodelovanju s slovenskimi univerzami, raziskovalnimi organizacijami in vodilnimi gospodarskimi družbami bomo ponujali praktično izobraževanje, ki je predpogoj, če želimo zagotoviti, da bo na tem področju dovolj visoko usposobljenih strokovnjakov. S pripravištvu, programerskimi tekmovanji (hackathoni) in delavnicami, ki jih bomo organizirali z gospodarskimi družbami, bomo povečali strokovno usposobljenost na področju umetne inteligence v Sloveniji ter pripravili naslednjo generacijo izvedencev, ki bodo lahko vodili razvoj umetne inteligence v Sloveniji z inovacijami in gospodarsko rastjo.



Ekosistem, v katerega je umeščena tovarna umetne inteligence.



Tovarna umetne inteligence prinaša tudi program usposabljanja na področju umetne inteligence.

Dostopnost in upravljanje podatkov

Med ključnimi prioritetami SLAIF sta tudi dostopnost podatkov in upravljanje s podatki na način, ki bo zagotavljal varen in odprt dostop do podatkovnih zbirk, potrebnih za razvoj umetne inteligence, tako da bodo lahko raziskovalci in podjetja razvijali zanesljive in varne modele umetne inteligence. Slovenska tovarna umetne inteligence bo delovala v skladu z načeli FAIR: podpirala bo pobude za izmenjavo podatkov, vendar bo zagotavljala tudi spoštovanje pravil zasebnosti. V sodelovanju s širšim evropskim ekosistemom bo izboljšala dosegljivost podatkov ter sodelovanje na področju varne priprave in izmenjave podatkov.

Dejavnost tovarne umetne inteligence bo vključevala in povezovala vrhunske računalniške kapacitete za umetno inteligenco, sodelovanje z gospodarstvom, razvoj strokovnjakov in dostop do podatkov, tako da bo Slovenija vzpostavljena kot vodilna sila na področju umetne inteligence v regiji. Spodbujala bo gospodarsko in znanstveno konkurenčnost in zagotavljala, da bo umetna inteligenca služila potrebam gospodarstva, raziskovalcev in družbe kot celote – v skladu s širšimi evropskimi cilji suverenosti na področju umetne inteligence in trajnostne digitalizacije.

Ekosistem evropskega superračunalništva in kontinent umetne inteligence

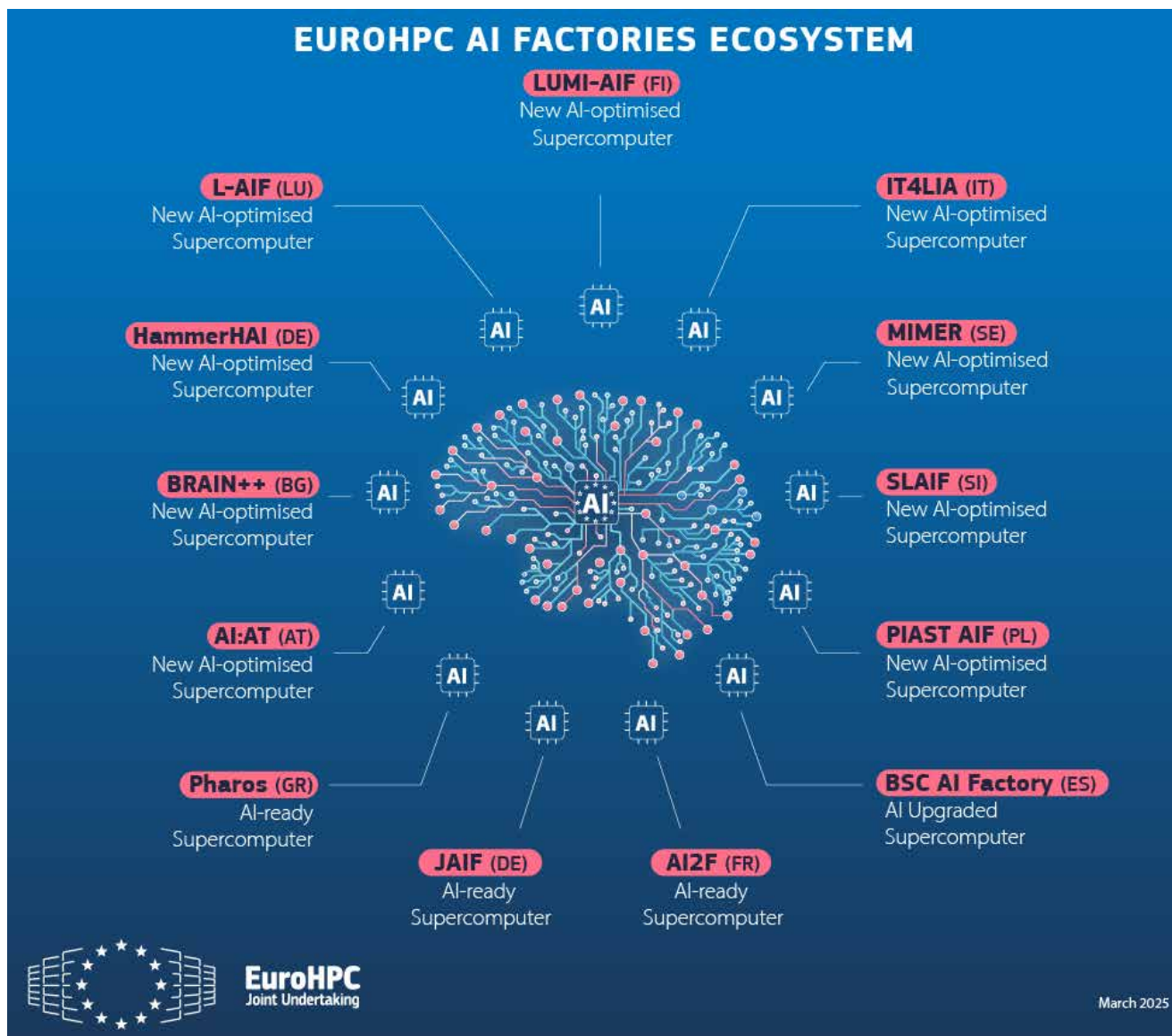
Evropska unija je vzpostavila širok ekosistem v okviru pobude za razvoj infrastrukture za superračunalništvo, umetno inteligenco in kvantno računalništvo ter vrste investicij in projektov, ki jih EU izvaja

s pomočjo skupnega podjetja za evropsko visokozmogljivo računalništvo (EuroHPC JU). Slovenija se je v ta ekosistem izredno dobro vključila, saj smo vzpostavili prvega od skupnih superračunalnikov (sistem Vega, IZUM, Maribor), v okviru konzorcija SLING pa smo v projektih EUROCC in EUROCC2 vzpostavili nacionalni kompetenčni center za superračunalništvo. Slovenske ustanove so izredno aktivne v centrih odličnosti in sodelujejo s številnimi superračunalniškimi centri. V sodelovanju s centrom CINECA v Bologni je Slovenija tudi partner pri vzpostavitvi superračunalnika Leonardo in tovarne umetne inteligence. Projekte sofinancira Ministrstvo za visoko šolstvo, znanost in inovacije.

Vzpostavitev slovenske tovarne umetne inteligence ne bo vpeta le v nacionalno infrastrukturo SLING, ampak v celotno evropsko mrežo tovarn umetne inteligence, zato je pomemben korak, ki bo slovenskim raziskovalcem in podjetnikom še bolj na široko odprl dostop do najsodobnejših in najnaprednejših tehnologij na področju superračunalniških simulacij in storitev umetne inteligence.

Povezave:

- ▶ Novica na spletnih straneh Skupnega podjetja EuroHPC
- ▶ Projekt sofinancirata Ministrstvo za visoko šolstvo, znanost in inovacije ter Ministrstvo za digitalno preobrazbo
- ▶ Prvi Arnesov podatkovni center prihodnosti bo lociran v Mariboru
- ▶ Izbranih prvih sedem projektov v okviru razpisa EuroHPC AI Factory
- ▶ Evropski superračunalniki Skupnega podjetja EuroHPC



Evropske tovarne umetne inteligence se povezujejo v širok ekosistem.

- Projekti Skupnega podjetja EuroHPC
- Slovenski superračunalnik Vega
- Slovensko nacionalno superračunalniško omrežje SLING
- Nacionalni kompetenčni center za superračunalništvo

Viri:

Projekt SLAIF, IJS, IZUM, Arnes

© Avtorji 2025. CC-BY 4.0

POSVET

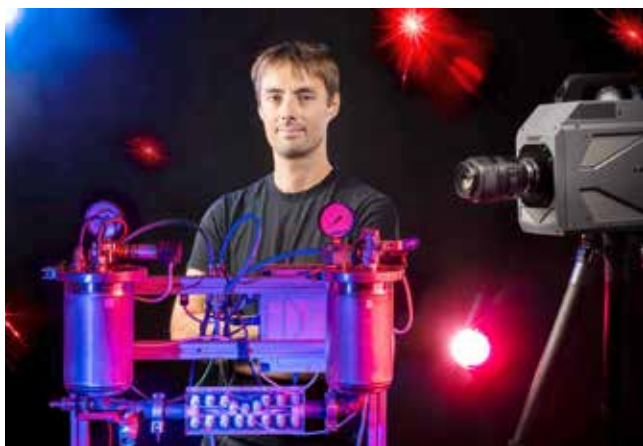
AVTOMATIZACIJA STREGE IN MONTAŽE 2025 - ASM '25

04. decembra 2025
na Gospodarski zbornici Slovenije v Ljubljani

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

PROF. DR. MATEVŽ DULAR – EDINI SLOVENEK Z DVEMA PROJEKTOMA ERC PROOF OF CONCEPT

Evropski raziskovalni svet (ERC) je izbral projekt PureWater, ki ga vodi prof. dr. Matevž Dular s Fakultete za strojništvo Univerze v Ljubljani, za financiranje v okviru razpisa ERC Proof of Concept (PoC). Gre za pomembno priznanje inovativnosti in uporabne vrednosti raziskav, ki združujejo napredno znanost in reševanje globalnih izzivov. Projekt obravnava eno ključnih vprašanj sodobnega sveta – dostop do varne in čiste vode.



Prof. dr. Matevž Dular

Projekt PureWater obravnava enega najpomembnejših globalnih izzivov – onesnaženost vode – z razvojem kompaktne naprave, ki združuje kavitacijo in netermično plazmo (CAP) za učinkovito, varno in energetsko varčno dezinfekcijo vode. Gre za nadaljevanje uspešnega temeljnega raziskovalnega projekta CABUM, s katerim je ekipa dokazala, da kavitacija z mehanskimi silami uspešno uničuje mikroorganizme, pri čemer se učinki še okrepijo z natančnim nadzorom pogojev. V projektu PureWater bo ta tehnologija nadgrajena z vžigom plazme v območju nizkega tlaka, kar dodatno poveča učinkovitost dezinfekcije.

Namen projekta je razvoj kompaktne pilotne naprave, ki bo omogočala varno, energetsko učinkovito in dolgotrajno zanesljivo dezinfekcijo vodnih siste-

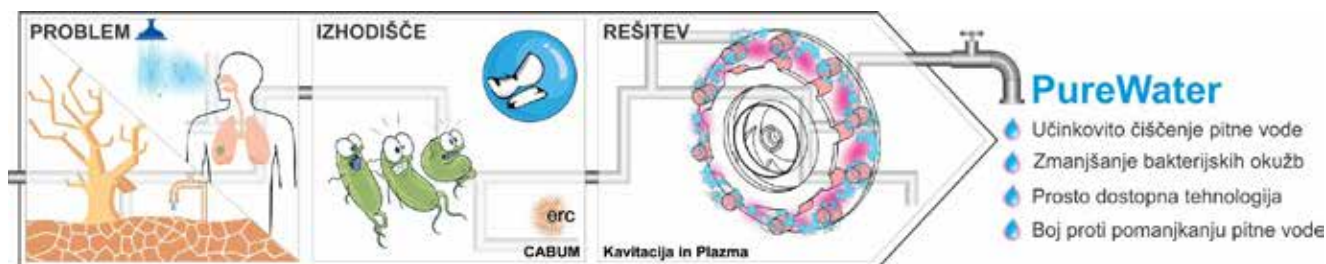
mov v javnih in industrijskih objektih z visokim tveganjem za pojav bakterije *Legionella pneumophila*, hkrati pa bo predstavljala prosto dostopno rešitev za decentralizirano čiščenje pitne vode v socialno in infrastrukturno ogroženih okoljih.

»Prejeto financiranje ERC Proof of Concept je izjemno priznanje za našo ekipo in potrditev, da ima naš projekt velik potencial za vpliv v realnem svetu,« je povedal prof. dr. Matevž Dular.

Projekt bo potekal v sodelovanju z raziskovalci z Biotehniške fakultete UL s ciljem razvoja robustne, prenosljive in zanesljive tehnologije, ki bo omogočila dostop do čiste vode tudi v najzahtevnejših pogojih.

S tem dosežkom je prof. dr. Dular postal edini raziskovalec v Sloveniji, ki je prejel dva projekta ERC Proof of Concept, kar dodatno potrjuje njegov izjemen prispevek k razvoju trajnostnih rešitev za globalne izzive.

Dekan Fakultete za strojništvo prof. dr. Jernej Klemenc je ob razglasitvi rezultatov ERC poudaril: »Projekt PureWater predstavlja rezultat večletnega sistematičnega raziskovalnega dela in uspešnega interdisciplinarnega sodelovanja. Pomembna dodana vrednost projekta bo prenos odličnih bazičnih raziskav v konkretno aplikacijo. Združuje vrhunsko znanstveno odličnost, tehnološko inovativnost ter jasno usmerjenost v trajnostni razvoj. Dejstvo, da se je projekt oblikoval in izvajal prav na naši fakulteti, potrjuje visoko raven raziskovalnih zmogljivosti, strokovnega znanja in kadrovskega potenciala, ki jih premore slovenski raziskovalni prostor.«



Grafični povzetek projekta PureWater. Rešitev problema dostopa do pitne vode temelji na rezultatih ERC projekta CABUM, v okviru projekta PureWater pa bodo kavitacijsko tehnologijo nadgradili z uporabo plazme.



Kavitacija in plazma v laboratorijski napravi

Projekt PureWater predstavlja pomemben korak za slovensko znanost, saj dokazuje, da lahko domače raziskave pomembno prispevajo k reševanju globalnih izzivov. Hkrati odpira vrata za tehnološki prenos, gospodarsko sodelovanje in trajnostne rešitve prihodnosti.

Rektor Univerze v Ljubljani prof. dr. Gregor Majdič je ob tem dodal: »Izjemno sem vesel, da smo na UL pridobili nov projekt ERC, najprestižnejši projekt Evropske unije, kar dokazuje mednarodno uspešnost in prebojnost UL. Hkrati pa mi je v veliko zadovoljstvo, da je projekt pridobil raziskovalec, ki je predhodno že vodil projekte ERC. Nov projekt je namreč nadaljevanje predhodnih raziskav, ki jih bo s tem projektom poskusil pripeljati v vsakdanje življenje. Na ta način ta projekt lepo kaže potek znanstvenega raziskovanja od čisto osnovnih raziskav, s katerimi je raziskovalec začel v svojem prvem projektu ERC, do poskusa prenosa znanja v vsakdanje življenje za korist celotne družbe. Seveda pa ta pretok pogosto ni tako hiter kot v tej konkretni raziskavi, zato je izjemnega pomena, da tako v Sloveniji kot v celotni EU ohranjamo močno financiranje osnovnih raziskav, saj le te lahko prinesejo povsem nove, prebojne rezultate.«

www.fs.uni-lj.si

Foto: Katja Bidovec in Arne Hodalič

© Avtorji 2025. CC-BY 4.0



Jubilejna mednarodna konferenca **Fluidna Tehnika/Fluid Power 2025**

17. in 18. september 2025,
Maribor, Kongresni center Habakuk

Od prve konference Fluidna tehnika organizirane v letu 1995, so te do danes prerasle v tradicionalni, mednarodno priznani strokovni dogodek s področja fluidne tehnike, hidravlike in pnevmatike. Na področju stroke so se uveljavile kot pokazatelj trendov razvoja in raziskovalnih dosežkov ter spoznanj in ponudbe, ne samo pri nas v Sloveniji, temveč tudi v Evropi in po svetu.

Letos praznujemo lep jubilej – 30-obljetnico od prve izvedbe konference Fluidna tehnika. Jubilej je še toliko pomembnejši, saj letos praznujemo tudi 30-letnico ustanovitve Fakultete za Strojništvo in 50-letnico ustanovitve Univerze v Mariboru. Temu primerno bomo slavnostno tudi izvedli konferenco.

Vabimo Vas, da se kot udeleženec, razstavljaivec ali kot pokrovitelj jubilejne mednarodne konference Fluidna tehnika 2025 udeležite tega osrednjega dogodka naše branže.

Skladno s sloganom konference »Vedno v toku dogodkov« se bomo posvetili aktualnim problemom: aktualno stanje v Svetu in Evropi ter vplivi na branžo, digitalizacija in trajnost na področju fluidne tehnike ter nove rešitve, energetska učinkovitost komponent in sistemov, hidravlika na področju energetike, pnevmatika ... Sodelovanje so že najavili vodilni tuji in domači strokovnjaki s področja stroke.



Podrobnejše informacije o konferenci ter temah in okvirnem programu ter spremljajočih dogodkih, lahko najdete na domači spletni strani konference:

<http://ft.fs.um.si>.

Za organizacijski odbor jubilejne FT2025
Prof. dr. Darko Lovrec

EKIPA EDVARD RUSJAN TEAM PREJELA NAGRADO INŽENIRSKA ISKRA 2025

18. junija je na Ministrstvu za vzgojo in izobraževanje potekala podelitev nagrad inženirska iskra 2025, ki jih podeljuje iniciativa Inženirke in inženirji bomo! za izjemne dosežke pri spodbujanju mladih k inženirstvu, tehnologiji, naravoslovju in inovativnosti.



Utrinek s podelitve nagrade Inženirska iskra 2025



Med letošnjimi prejemniki je tudi ekipa Edvard Rusjan Team s Fakultete za strojništvo Univerze v Ljubljani, ki že vrsto let navdušuje s svojim delom in uspehi na mednarodnem letalskem tekmovanju Design, Build, Fly (DBF). Letos aprila so v Arizoni (ZDA) med kar 112 ekipami najuglednejših svetovnih univerz dosegli izjemno 8. mesto, kar jih uvršča med najboljše v zgodovini slovenskih udeležb na tem tekmovanju.

Poleg odlične uvrstitve pa priznanje prepoznava tudi širšo zgodbo ekipe: večletno timsko delo, prenos znanja med generacijami študentov, izvirne pristope in sposobnost uporabe znanja v realnih inženirskih izzivih. Ekipi je uspelo ustvariti letalnik, ki uspešno prestane tako aerodinamične kot strukturne izzive, pri tem pa ohranja natančno zasnovano konstrukcijo in funkcionalnost.

Pomemben del tega uspeha je mentor viš. pred. dr. Igor Petrović, ki kot vodja Laboratorija za aeronavtiko in Letalske šole FS UL (SI.ATO.029) študentom ne nudi le tehničnega znanja, ampak tudi dragocen vpogled v regulativne in varnostne vidike sodobnega letalstva. S svojo strokovnostjo, predanostjo in jasno vizijo jih že vrsto let vodi skozi zahtevne in inovativne projekte in spodbuja k iskanju naprednih, praktičnih rešitev.

Iskrene čestitke celotni ekipi in mentorju! Vaša zgodba je lep primer, kako s povezovanjem znanja, ustvarjalnosti in timskega duha nastajajo vrhunski rezultati in navdih za nove generacije mladih inženirjev.

www.fs.uni-lj.si

Foto: Andrej Križ

© Avtorji 2025. CC-BY 4.0

icm

IFAM - INTRONIKA-ROBOTICS

14.-16.10.2025

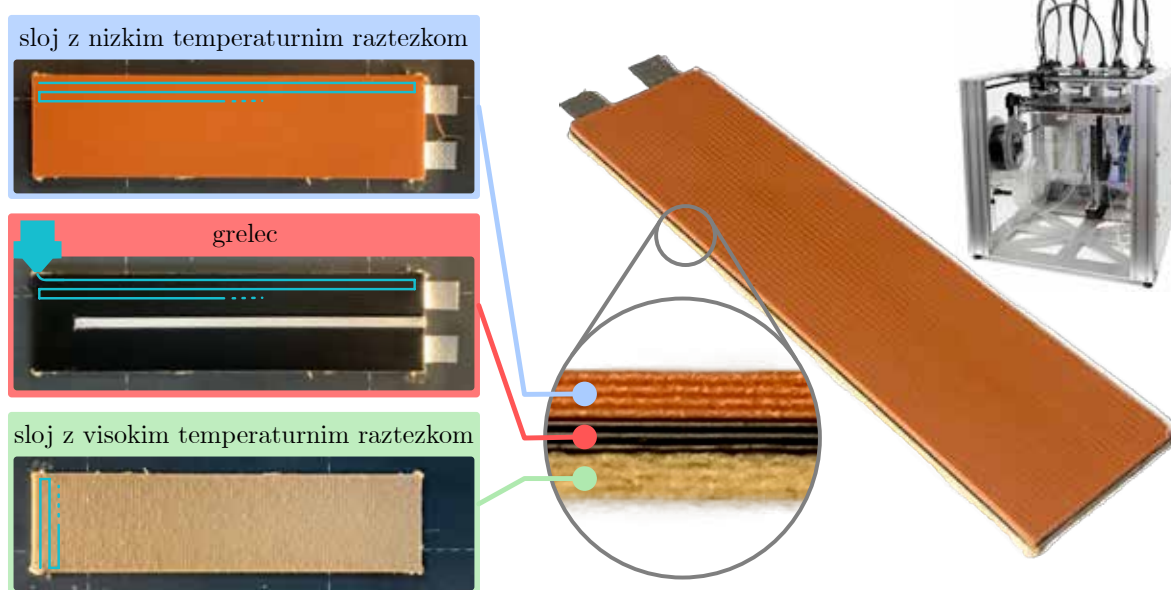
Novi Sad, Srbija

www.icm.si

INOVATIVNA METODA 3D-TISKANJA

PAMETNIH STRUKTUR, KI SPREMINJAJO OBLIKO

Raziskovalci iz Laboratorija za dinamiko strojev in konstrukcij LADISK so razvili inovativno metodo 3D-tiskanja mehkih aktuatorjev, ki pod vplivom električne napetosti spreminjajo obliko. Gašper Krivic in prof. dr. Janko Slavič sta razvila postopek, ki omogoča izdelavo celotnega aktuatorja v enem samem procesu tiskanja, kar odpira pot k razvoju pametnih struktur prihodnosti.



Postopek 3D-tiskanja trislojnega elektrotermičnega aktuatorja. Levo so prikazani posamezni sloji z označeno smerjo nanosa materiala, kar je ključno za doseganje optimalnih mehanskih in termičnih lastnosti: zgornji sloj z nizkim temperaturnim raztezkom, srednji grelni sloj iz električno prevodnega polimera in spodnji sloj z visokim temperaturnim raztezkom. V sredini je prikazan končni aktuator s povečavo preseka, ki prikazuje notranjo trislojno strukturo. Desno je prikazan 3D tiskalnik z več ekstruzijskimi glavami, ki omogoča izdelavo celotnega aktuatorja v enem neprekinjenem procesu.

Elektrotermični aktuatorji so naprave, ki pretvarjajo električno energijo v mehansko gibanje s segrevanjem. Tradicionalno njihova izdelava zahteva več proizvodnih korakov, kar omejuje fleksibilnost oblikovanja in povečuje stroške. Dosedajni pristopi so zahtevali ločeno izdelavo posameznih slojev, njihovo lepljenje in dodatno obdelavo, kar je proces podražilo in podaljšalo čas izdelave.

Nova metoda, ki sta jo razvila raziskovalca s Fakultete za strojništvo, omogoča 3D-tiskanje celotnega aktuatorja v enem samem neprekinjenem procesu. Tiskalnik najprej nanese spodnji sloj iz materiala z visokim temperaturnim raztezkom, nato srednji grelni sloj iz električno prevodnega polimera, na koncu pa še zgornji sloj iz materiala z nizkim temperaturnim raztezkom. Ključno je, da se vsi trije sloji natisnejo zaporedno brez prekinitev ali dodatnega sestavljanja – celoten aktuator nastane v enem samem proizvodnem koraku. Ko na grelni sloj priključimo električno napetost, se ta segreje, različno

temperaturno raztezanje slojev pa povzroči kontrolirano upogibanje aktuatorja.

»Naš pristop je revolucionaren, ker prvič omogoča popolnoma avtomatizirano izdelavo elektrotermičnih aktuatorjev brez dodatnih korakov sestavljanja,« pojasnjuje Gašper Krivic, glavni avtor raziskave, objavljene v ugledni reviji *International Journal of Mechanical Sciences* (IF = 9.4). »Razvili smo tudi teoretični model, ki natančno napoveduje obnašanje aktuatorja in upošteva časovno odvisne lastnosti materialov, kar doslej ni bilo mogoče.«

Raziskava odpira možnosti za razvoj pametnih struktur, ki se lahko aktivno prilagajajo zunanjim obremenitvam. Potencialne aplikacije vključujejo mehko robotiko, prilagodljive metamateriale, pametne prijemalne naprave in aktivno vodene pametne strukture.

www.fs.uni-lj.si

© Avtorji 2025. CC-BY 4.0

PESKOVNIK POKAZAL MOČ MLADIH INOVACIJ – ZAKLJUČNA PREDSTAVITEV NAVDUŠILA S SVEŽIMI IDEJAMI

V Peskovniku, odprtem laboratoriju Fakultete za strojništvo Univerze v Ljubljani, je 12. junija potekala zaključna predstavitev študentskih projektov letnega semestra in dveh izbranih projektov, ki bosta zaživela v poletnih mesecih. Dogodek je znova dokazal, da so študentke in študenti polni inovativnih idej in tehničnega znanja, ki pomembno prispevajo k razvoju sodobnih tehnologij.



Utrinek s predstavitev študentskih projektov v Peskovniku

Uvodna nagovora sta podala takratni dekan prof. dr. Mihael Sekavčnik in prof. dr. Janko Slavič, takratni prodekan za znanstvenoraziskovalno dejavnost in mednarodno sodelovanje. Oba sta poudarila pomen interdisciplinarnega sodelovanja in praktičnega učenja ter izpostavila pomembnost proaktivne in povezovalne komunikacije med študentkami in študenti.

Sledile so predstavitve projektov, kot so veleslalomski smuči, peletni ekstruder, grafični kalkulator, dizajniranje in izdelava mize za ročni nogomet ter surf deska, ki so navdušili s svojo izvirnostjo in izvedbo. Predstavljena sta bila tudi nova projekta, izbrana na poletnem razpisu: dvoosni robot za podiranje pločevink z uporabo računalniškega vida in kompozitno veslo za kajak.

Posebno pozornost so pritegnile tudi študentske ekipe DBF – Edvard Rusjan Team, Superior Engine-

ering – Formula Student in H2 Grand Prix – H2hydro-man, ki so predstavile svoje dosežke in ambiciozne načrte za prihodnost.

Zaključek dogodka je minil v sproščenem in ustvarjalnem vzdušju, kjer so se udeleženske in udeleženci povezovali in izmenjevali ideje za prihodnje projekte.

Dogodki, kot je predstavitev projektov v Peskovniku, potrjujejo, da je prihodnost inženirstva v rokah mladih, ki s svojo radovednostjo, interdisciplinarnim pristopom in inovativnim razmišljanjem že danes oblikujejo rešitve za jutri. Fakulteta za strojništvo UL s podporo takšnim iniciativam ne le krepi znanje in kompetence študentov, temveč aktivno soustvarja okolje, kjer se znanost, praksa in podjetniški duh povezujejo v trajnostni tehnološki napredek.

www.fs.uni-lj.si

© Avtorji 2025. CC-BY 4.0

NOVA MAGNETNA KOMPONENTA

RAZISKOVALCEV INSTITUTE »JOŽEF STEFAN«

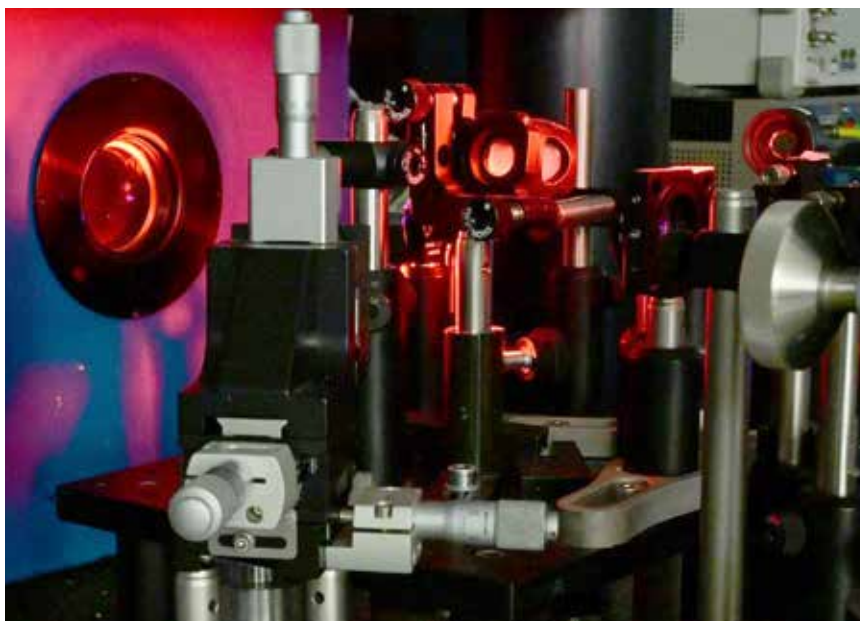
Raziskovalci Instituta »Jožef Stefan« in Nanocentra (Center odličnosti nanoznanosti in nanotehnologije) pod vodstvom doc. dr. Tomaža Mertlja so odkrili novo magnetno komponento, ki se pojavi na stiku molekularnih polprevodnikov s kobaltom. Ta komponenta močno in pomembno vpliva na lastnosti tankih magnetnih filmov, zato odkritje odpira nove poti za razvoj nanoskopskih magnetnih naprav z ukrojenimi lastnostmi.

Elektroni niso samo električno nabiti delci, ampak tudi kvantne vrstave oziroma kvantni magneti s kvantizirano vrtilno količino, imenovano »spin«. Zaradi njihovega električnega naboja in majhne mase so odlični nosilci električnih tokov in s tem pogonjajo sodobno civilizacijo tako v energetiki kot v digitalni informacijski tehnologiji. Pri spintronskih tehnologijah pa igra ključno vlogo kvantni magnetizem elektronov, »spin«, ki lahko prenaša in shranjuje informacije z manjšimi energijskimi izgubami.

Spintronske tehnologije so že uveljavljene na področju bralnih glav trdih diskov, ki so temelj za shranjevanje velike količine podatkov v podatkovnih centrih. Uveljavljajo se tudi na področjih tehnologij za zaznavanje. Za nadaljnji napredek spintronskih tehnologij pa je potrebno razviti pristope, ki bodo izboljšali možnosti za izdelavo nanoskopskih spintronskih elementov s točno določenimi, ukrojenimi, magnetnimi lastnostmi. Med take elemente spadajo npr. magnetni senzorji ter aktivni in pasivni elementi spintronskih vezij.

Ena od vsestranskih strategij za doseg tega cilja je tudi uporaba stikov med organskimi molekulami in kovinami. Čeprav širom po svetu že več desetletij raziskujejo vpliv organskih molekul na magnetne lastnosti kovinskih tankih filmov, pa še vedno manjka natančen vpogled v fiziko magnetizma na stiku med magnetnimi kovinami in molekulami.

Za napredek na tem področju so raziskovalci na Institutu »Jožef Stefan« in v Nanocentru



Detajl eksperimentalne postaje za lasersko ultrahitro magnetooptično spektroskopijo v visokih magnetnih poljih superprevodnega magneta

uporabili inovativen pristop, kjer so z ultrahitro magnetooptično spektroskopijo odprli vpogled v dinamične lastnosti plastovitih struktur iz molekularnih polprevodnikov in kobalta. Vpogled v dinamično obnašanje v kombinaciji z razvojem teoretičnega modela je pokazal obstoj neodvisne magnetne komponente na stiku, ki je do sedaj ni bilo možno izluščiti s standardnimi statičnimi metodami.

Jedro raziskav so izvedli v okviru mednarodnega evropskega projekta z akronimom INTERFAST, ki spada v širši kontekst okvirnega programa Evropske unije za raziskave in inovacije Obzorje 2020. Za raziskave je bilo ključno sodelovanje z raziskovalnimi skupinami na Inštitutu za študij nanostrukturiranih materialov v

Bologni (CNR-ISMN), Univerzi v Leedsu (University of Leeds) in Tehnični univerzi v Dortmundu (TU Dortmund). O rezultatih so poročali v uglednih revijah *Science Advances* in *Nature Communications*.

Polona Strnad,
Institut »Jožef Stefan«

© Avtorji 2025. CC-BY 4.0

REVILJA ZA FLUIDNO TEHNIKO, AVTOMATIZACIJO IN MEHATRONIKO
VENTIL

INTENZIVNO POVEZOVANJE ZNANOSTI IN GOSPODARSTVA JE LAHKO ODLIČEN GENERATOR INOVACIJ IN TEHNOLOŠKEGA RAZVOJA

Janez Škrlec

V času, ko se srečujemo z novimi raziskovalnimi področji, ki bodo izjemno pomembna za novodobne industrije, je nujno potrebno prepoznati področja z velikim potencialom. V tem primeru se nikakor ne moremo izogniti velikemu razvojnemu potencialu, ki je povezan z bioniko in biomimetiko. Bionika namreč odpira novo dobo, v kateri se artefakti učijo od naravnih sistemov.



Inteligentna omrežja povezujejo napredne sisteme in naprave (Foto: Shutterstock)

Janez Škrlec, inž., Uredništvo revije Ventil

© Avtorji 2025. CC-BY 4.0

Danes je najhitrejši znanstveni in tehnološki razvoj sicer značilen za področja nanosistemov in materialov v industriji, informacijskih in komunikacijskih sistemov, uporabe generativne umetne inteligence

in tudi za področja, ki imajo neposreden vpliv na človeka, okolje, energetiko, zdravstvo, urbanizacijo in industrijsko infrastrukturo. Ni več naključje, da se pospešuje želja po zamenjavi človeka s stroji in roboti. Prepoznavna se ogroženost potencial na področju bionike, povezan z zdravstvom, medicino, industrijo in drugimi področji. Umetna inteligenca se je uvrstila na 1. mesto na seznamu 10 najboljših tehnoloških trendov za mala in srednje velika podjetja za leto 2025, ki ga je pripravila skupina SMB Group. Mala in srednje velika podjetja vidijo umetno inteligenco kot pot do boljše analize podatkov, boljšega odločanja in izboljšane dostopnosti do informacij. Orodja umetne inteligence uporabljajo tudi za povzemanje informacij, racionalizacijo nalog, prepoznavanje odstopanj in kategorizacijo podatkov. Seveda pa je učinek implementacije novih tehnologij, vključno z umetno inteligenco, odvisen tudi od učinkovitega povezovanja znanosti in gospodarstva.

Izpostavljena področja, ki bodo pomembno vplivala na industrijo in družbeni razvoj v prihodnosti

Če upoštevamo nujnost digitalizacije in digitalne transformacije s procesi, ki postajajo nov format za razvoj in tehnološko prestrukturiranje svetovnega gospodarstva, se srečamo s smernicami, ki napovedujejo velike spremembe. Ustvarja se nezadržni vstop NBIC-konvergence in DARQ-tehnologije v ospredje tehnološkega razvoja. Če izkoristimo pomembnost podatkov in napovedi Frost & Sullivan, pridemo do imperativa in posebne izdaje Top 50 prelomnih tehnologij, ter analize, zasnovane za spodbujanje globalnih priložnosti za pospešeno rast. Njihova raziskava namreč učinkovito deluje kot navigacijsko orodje, ki se osredotoča na pomen načrtovanja uporabe tehnologij in razumevanje možnega vpliva tehnologije na vrsto dejavnikov. Posledica NBIC-konvergence lahko pomeni preobrazbo za človeštvo, velik globalni napredek, ki ga je mogoče povezati v trden nabor tehnologij in vzpostavitev enotnih standardov za socialno blaginjo in okolje. Eden ključnih trendov v razvoju tehnološkega razvoja je vsekakor povezan z NBIC-konvergenčnimi projekti in DARQ-tehnologijo, ki ustvarjajo ne le sredstva za preobrazbo družbe in človeka, temveč povečujejo tveganja, ki zahtevajo celostne pristope. Tehnološka konvergenca danes združuje ločene tehnologije, ustvarja učinkovitost, odpira nove trge in znižuje stroške. Primer: tehnološka konvergenca energetske industrije bo sestavljena iz tehnologij porazdeljenih virov energije, interneta stvari IoT, industrijskega interneta stvari IIoT, zmanjšanja stroškov tehnologije, tehnologije veriženja blokov in drugega. Tudi disruptivne tehnologije oblikujejo dejavnike družbenega razvoja in ustvarjajo pogoje za človekov obstoj in naravno

okolje. Razvoj avtomatizacije in robotike, digitalne transformacije, biotehnologije, bionike in kognitivne znanosti ustvarja novo energetsko varnost za države, družbene subjekte in naravno okolje. Tehnologije za proizvodnjo, predelavo in distribucijo energije ustvarjajo skoraj neomejeno perspektivo rekonfiguracije obstoječih oblik življenja in njihove varnosti.

Slovenija bi morala prepoznati pomembnost razvoja novih ved, kot sta bionika in biomimetika

Če se samo še na kratko zaustavimo pri bioniki kot interdisciplinarnem področju, ki združuje inženirstvo in znanost o življenju, se srečamo z izstopajočimi trendi, v katere se štejejo bionski koncepti razvoja humanoidnih robotov, bionskih humanoidov, mehke robotike, kooperativnih robotov, eksoskeletov, pametne bionske protetike, vsadkov, umetnih organov, možganskih vmesnikov, razvitih (BCI) z memristorskimi tehnologijami, in drugo. Na področju razvoja bioničnih robotov je danes med vodilnimi v svetu podjetje Festo. Njihovi inženirji verjamejo, da lahko s proučevanjem narave in naravnih sistemov vedenja, gibanja in komunikacijskih tehnik sesalcev, žuželk in plazilcev zgradijo pametne tovarne z napredno avtomatizacijo, torej tovarne prihodnosti. Uvedba avtomatizacije in robotov v industrijo je ljudem pomagala, da so se osredotočili na dela, ki zahtevajo odločanje, reševanje problemov, intuicijo, prepričevanje ali kognitivne sposobnosti. Zanimiv je še en pogled na nedavni razvoj robotike, še zlasti za področje industrijske robotike, ki je v zadnjih letih doživela revolucionaren napredek predvsem v proizvodnih procesih in dvig učinkovitosti na ravni brez primere. Izstopajoči trendi robotike so tudi avtonomni sistemi – preoblikovanje industrij z zmanjšanim človeškim posredovanjem; mehka robotika – ustvarjanje prilagodljivih robotov za varnejše interakcije; rojeva (swarm) robotika – sodelujoči roboti, ki delajo v velikih skupinah za skupne cilje; medicinska in bionična robotika – revolucija v zdravstvu z robotsko podprtimi operacijami in rehabilitacijami; integracija umetne inteligence (UI) in robotike – izdelava inteligentnih in prilagodljivih robotov z UI; eksoskeleti in pomožne naprave – pomoč posameznikom z motnjami mobilnosti; robotika v izobraževanju – izboljšanje učnih izkušenj in izobraževanja STEM; socialni roboti in roboti spremljevalci – zagotavljanje čustvene podpore in druženja; okoljska robotika – spopadanje z okoljskimi izzivi. V zaključne misli lahko vključim tudi pot v biodigitalno konvergenco kot novo področje, ki raziskuje združitev naravnega in umetnega oziroma interakcijo med digitalnimi in biološkimi tehnologijami ter sistemi. Tudi na tem področju se obeta velik napredek.

KAKŠNA JE ENERGIJSKA UČINKOVITOST IN POSLEDIČNO STROŠEK OSKRBE S STISNJENIM ZRAKOM V VAŠEM PODJETJU?

Simon Strgar

Povzetek

Podjetja v Sloveniji in tujini pogosto nimajo časa ali znanja, da bi svoj denar lahko uspešno investirala v optimizacijo oskrbe s stisnjenim zrakom. Zato pogosto namesto v učinkovito rabo električne energije za stisnjen zrak svoje ukrepe usmerjajo v varčevanje pri nakupu opreme za pripravo stisnjenega zraka in njeno pomanjkljivo vzdrževanje. Negativna posledica tovrstnega ravnanja je nezanesljiva oskrba s stisnjenim zrakom, za katero podjetja plačujejo več, kot je potrebno. Pozitivno pa je, da imamo v Sloveniji veliko primerov dobrih praks, ki jih z današnjim stanjem tehnike lahko še presežemo.

Bilo je leto 2014

Dobro se spominjam, kako smo se pred več kot desetimi leti z mojstrom, imenujmo ga Franc, srečali v kompresorski postaji njihovega podjetja. »*Tlak v sistemu niha, pretok ne zadostuje za potrebe tehnologije, olje in kondenzat nam uhajata v sistem, kompresorji crkujejo, rezervnih pa nimamo ... in za vse v podjetju krivijo mene,*« nam je uvodoma opisal takratno situacijo. »*Kako je pa z energijsko učinkovitostjo oskrbe s stisnjenim zrakom?*« sem ga vprašal. »*Koga briga, nam se ustavljajo stroji v laboratoriju in proizvodnji, in to moram rešiti,*« je odgovoril Franc. »*Aha, tole bo še ena polomija, iz katere ne bo nič,*« sem si mislil, pokimal in obljubil, da bom pomagal.

Minilo je deset let

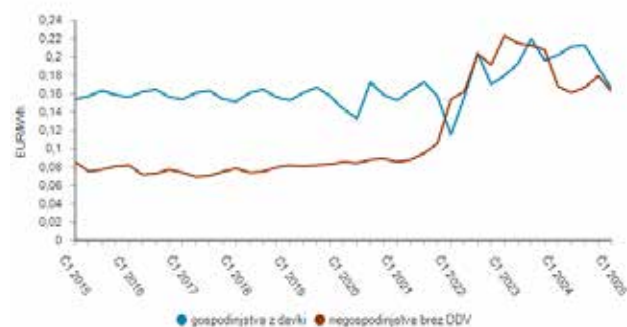
Kdor se je že kdaj resno posvetil optimizaciji oskrbe s stisnjenim zrakom, ve, da poleg energijske učinkovitosti procesa na ekonomiko oskrbe s stisnjenim zrakom najbolj vpliva cena električne energije, ki v obdobju 10-ih let predstavlja 70-80 % celotnih stroškov oskrbe s stisnjenim zrakom. Posledično

se nikoli ne varčuje pri investiranju in vzdrževanju opreme, ki mora v vsej življenjski dobi delovati zanesljivo in varno, ob tem pa zagotavljati energijsko in posledično ekonomsko učinkovitost procesa. Varčuje se z učinkovitim pretvarjanjem električne energije v stisnjen zrak in se z dobavitelji neizprošno pogaja za čim nižjo ceno električne energije.

Energijsko-ekonomska učinkovitost oskrbe s stisnjenim zrakom je pridobila na pomembnosti v času, ko so se cene elektrike za industrijske uporabnike v času epidemije covid 19 več kot potrojile (glej spodnji diagram). Podjetja so posledično za stisnjen zrak plačevala tudi do 5-krat več kot nekaj mesecev pred tem, zato se je zavedanje o pomenu energijske učinkovitosti procesa povečalo. Mi smo se v teh zelo negotovih časih »plazili« tako po zaprašenih kot po lepo urejenih kompresorskih postajah, izvajali meritve, analizirali podatke in izdelovali študije ekonomske upravičenosti ter tehnične izvedljivosti predlaganih optimizacijskih ukrepov.

Predvsem pa smo implementirali številne rešitve, ki so v slovenski industriji izboljševale standarde oskrbe s stisnjenim zrakom.

Merilo energijske učinkovitosti oskrbe s stisnjenim zrakom imenujemo specifična moč. Pove nam, ko-



Simon Strgar, AERiTAS | HPE, d. o. o., Ljubljana

© Avtorji 2025. CC-BY 4.0

REPUBLIKA SLOVENIJA
STATISTIČNI URAD

Cene električne energije, Slovenija. Vir: Statistični urad RS (<https://www.stat.si/StatWeb/News/Index/13666>)

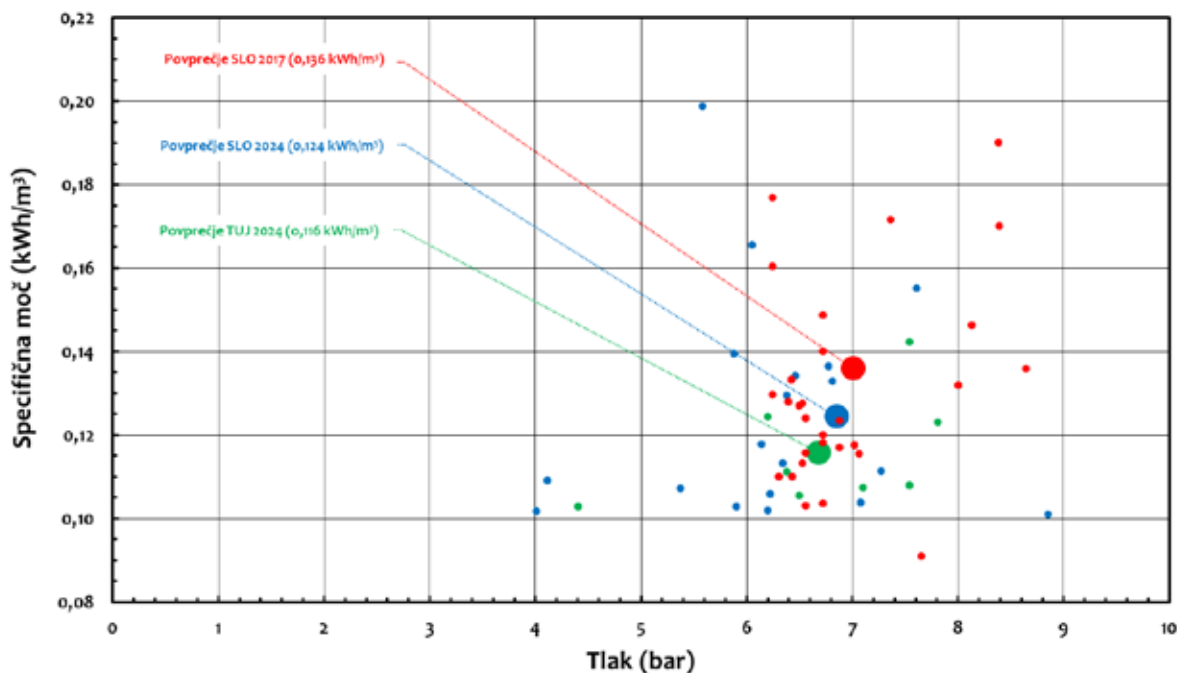


Diagram prikazuje energijsko učinkovitost oskrbe s stisnjenim zrakom v slovenskih in tujih podjetjih v odvisnosti od tlaka stisnjenega zraka v sistemu. Čeprav se je povprečna specifična moč v Sloveniji v obdobju 2017–2024 izboljšala za 8,5 %, je bila v letu 2024 še vedno za 7,5 % slabša kot v tujini, kar pomeni vsaj dvojje:

- ▶ da optimizacija oskrbe s stisnjenim zrakom v slovenskih podjetjih daje pozitivne rezultate,
- ▶ da lahko v Sloveniji trenutno energijsko učinkovitost oskrbe s stisnjenim zrakom še izboljšamo.

liko enot električne energije potrebujemo za eno enoto stisnjenega zraka, in je kazalnik učinkovitosti pretvarjanja električne energije v stisnjen zrak. Višja, kot je vrednost tega kazalnika, manj učinkovit je proces.

Danes

Z mojstrom Francem, ki počasi odhaja v zasluženi pokoj, se vsaj enkrat letno srečamo v isti kompresorski postaji kot pred dobrim desetletjem. Ponosni smo, ko zremo v zaslon, ki prikazuje ključne kazalnike oskrbe njihovega podjetja s stisnjenim zrakom. Zanesljivost in varnost procesa sta 100-odstotni, tlak v sistemu je stabilen, pretok zraka zadosten, rezerva zagotovljena, v sistemu ni ne olja in ne kondenzata. Energijska učinkovitost procesa je za 28 % boljša kot nekoč, v optimizacijske ukrepe vloženi denar pa se je podjetju že v celoti povrnil. S spremembami, za katere so se odločili v strahu in dvomu, so danes vsi v podjetju zadovoljni. Tudi Frančev

šef, vodja vzdrževanja in direktor podjetja. Težave, ki so zbližale naše poslovne poti, so le še anekdota iz preteklosti.

Pa vi, kdaj ste se nazadnje posvetili optimizaciji oskrbe vašega podjetja s stisnjenim zrakom in analizirali ključne kazalnike tega procesa? Če je od takrat minilo že več let ali do sedaj sploh še niste izmerili, kakšna je učinkovitost oskrbe s stisnjenim zrakom v vašem podjetju, niste edini. V marsikaterem podjetju se namreč zgodi, da za ta proces ob vseh ostalih nalogah in zadolžitvah enostavno zmanjka časa ali ustreznega znanja.

A ni nujno, da tako tudi ostane, saj smo tu mi, specialisti za optimizacijo oskrbe podjetij s stisnjenim zrakom. Vse, kar morate narediti, je, da se odločite trenutno stanje izboljšati in nas povabite k sodelovanju. To je namreč edina naloga, ki je pri optimizaciji oskrbe s stisnjenim zrakom ne moremo narediti namesto vas.






rešitve na področju komprimiranega zraka

01 563 20 63 | info@hpe.si | www.hpe.si







servis in prodaja • kompresorji • merilna tehnika • tlačne posode

DODAJALNA TEHNOLOGIJA V PRAKSI: TESTNA ANALIZA HIDRAVLICNEGA VENTILA Z INOVATIVNO VENTILSKO PLOŠČO

Jan Bartolj, Domen Strenčan, David Homar, Franc Majdič

Izvleček:

Študija proučuje uporabo dodajalnih (oz. aditivnih) tehnologij pri izdelavi hidravličnih komponent, z osredotočenostjo na 3D-tiskane ventile in priključne plošče z integriranimi tlačnimi senzorji. Aditivne tehnologije, kot sta Metal Binder Jetting (MBJ) in Selective Laser Melting (SLM), omogočajo oblikovno svobodo, konsolidacijo delov in optimizacijo notranje geometrije za zmanjšanje tlačnih izgub ter mase. V raziskavi so izdelani in testirani kovinski ventili, izdelani s postopkom MBJ, ki omogoča visoko produktivnost in izdelavo kompleksnih struktur brez podpor. Primerjava s SLM razkriva prednosti MBJ zaradi večjih izdelovalnih hitrosti, nižjih stroškov in manjši potrebi po podpornih strukturah. Meritve pretoka in tlaka so pokazale, da ima aditivno izdelana ventilska plošča za približno 4 MPa nižji padec tlaka pri enakem pretoku, kar pomeni večjo učinkovitost. Poleg tega je 3D-tiskano ohišje ventila za 67 % lažje od konvencionalno izdelanega. Rezultati potrjujejo, da so aditivno izdelane komponente primerne za serijsko uporabo v hidravlični industriji, saj ponujajo boljše izkoristke, krajše čase montaže in možnost oblikovne optimizacije, kljub višjim stroškom v primerjavi s konvencionalnimi deli.

Ključne besede:

Aditivne tehnologije, optimizacija geometrije, hidravlični ventili, priključne plošče, meritve

1 Uvod

Aditivna proizvodnja na podlagi uporabe aditivnih tehnologij se hitro širi na nova področja. Več 3D-tiskalnikov na isti lokaciji lahko omogoča serijsko proizvodnjo. Svoboda, ki jo aditivne tehnologije omogočajo konstrukterjem za optimizacijo, je izjemno privlačna za različne inženirske discipline. Za področje hidravlike je še posebej zanimiva možnost optimizacije notranje geometrije in konsolidacije več delov v eno samo enoto.

Optimizacija notranje oblike omogoča učinkovito usmerjanje pretoka tekočine skozi komponente in zmanjšanje tlačnih izgub, kar povečuje učinkovitost sistema. Povezanost delov in optimizacija zunanje

geometrije pa pripomoreta k zmanjšanju mase tako hidravlične sestavine kot celotnega hidravličnega sistema in skrajšanju časa sestavljanja.

V študiji primerjamo meritve konvencionalno izdelane priključne plošče ventila in priključne plošče, izdelane z aditivno tehnologijo, pri čemer imajo plošče integrirana tlačna zaznavala. Glavni razlog za integracijo senzorjev je dejstvo, da je v prejšnjih raziskavah prišlo do pomembnih odstopanj med rezultati CFD-simulacij in dejanskimi meritvami 3D tiskanih ventilov. Ugotovili smo dva možna vzroka za odstopanja: prvi je hrapavost notranjih površin kovinskih 3D natisnjenih kanalov, drugi pa netočnost meritev zaradi neustrezne postavitve tlačnih merilnih zaznaval. Ta raziskava se osredotoča na razvoj in testiranje 3D tiskanega ventila (*Slika 1*), izdelanega s postopkom vezave kovinskega prahu (Metal Binder Jetting – MBJ).

Za potrebe testiranja je bila s tehnologijo selektivnega laserskega taljenja (Selective Laser Melting – SLM) natisnjena tudi priključna ventilska plošča, ki je prikazana na *sliki 2*. Posebnost te plošče je v tem, da so priključki za tlačne senzorje integrirani neposredno vanjo, kar omogoča sprotno spremljanje tlaka na vstopu in izstopu brez potrebe po dodatnih priključkih ali naknadnih predelavah. Takšna

Jan Bartolj, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo; Domen Strenčan, dr. David Homar, univ. dipl. inž., oba Solid World d. o. o., Radomlje; Izr. prof. dr. Franc Majdič, univ. dipl. inž., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo



© The Authors 2025. CC-BY 4.0

<https://doi.org/10.5545/Ventil-31-2025-4.04>



Slika 1 : 3D tiskan topološko optimiran hidravlični ventil, narejen s postopkom brizganja veziva

integracija izpostavlja oblikovno prilagodljivost, ki jo omogočajo tehnologije aditivne proizvodnje.

Eksperimentalno delo je vključevalo meritve pretoka in tlačnih padcev skozi ventil z uporabo hidravličnega olja ISO VG 46. Podatki o tlaku so bili zbrani preko integriranih senzorjev in uporabljeni za oceno tokovnih karakteristik ter za prepoznavanje morebitnih izgub ali nepravilnosti v delovanju ventila.

2 Tehnologija MBJ

Metal Binder Jetting (MBJ) je tehnologija aditivne proizvodnje izdelkov, ki združuje visoko produktivnost z izjemno oblikovno svobodo in primernostjo za serijsko proizvodnjo. Postopek temelji na nanašanju kovinskega prahu v tankih slojih, vezavi določenih delov s tekočim vezivom ter naknadnem sintranju za utrjevanje materiala. Tehnologija je nastala na osnovi znanj iz tehnologije brizganja kovin (Metal Injection Molding – MIM), saj uporablja podobne praške in metode sintranja, pri čemer ni potrebe po brizganju v kalupe.

2.1 Proces MBJ

- **Priprava materiala:** Uporablja se kovinski prah z velikostjo delcev med 15 µm in 45 µm. Za tisk ventila je bil uporabljen material 17-4 PH (EN 1.4542 / X5CrNiCuNb16-4) – prah nerjavnega jekla z dobro mehansko trdnostjo in odpornostjo proti koroziji, primerno za sintranje.
- **Tiskanje:** Prah se nanaša v slojih debeline od 50 µm do 100 µm. Inkjet tiskalna glava selektivno nanaša tekoče vezivo na območja, kjer nastaja končni kos.
- **Utrjevanje »zelenih« kosov:** Po tisku kosi prestopajo toplotno utrjevanje, pri katerem se vezivo mehansko in kemijsko stabilizira pri temperaturi 170 °C. Ta korak omogoča varno ravnanje z zelenimi kosi.
- **Odstranjevanje odvečnega prahu (ang. de-powdering):** Odvečni nevezan prah se ročno odstrani s stisnjenim zrakom, čopiči in mehkim orodjem. Ta metoda omogoča nežno čiščenje



Slika 2 : Priključna ventilska plošča, izdelana iz nerjavnega jekla, 3D natisnjena s postopkom selektivnega laserskega taljenja

kompleksnih geometrij brez poškodb. V postopku MBJ se več kot 98 % nevezanega prahu preseje in ponovno uporabi v nadaljnjih tiskalnih ciklih. Ta visoka stopnja ponovne uporabe pomembno prispeva k učinkovitosti rabe materiala in znižanju stroškov.

- **Toplotno odstranjevanje veziva in sintranje:** Odstranjevanje veziva (debinding) in sintranje potekata zaporedno v isti peči. Najprej se vezivo termično razgradi, nato pa se kovinski delci sintrajo pri temperaturah do 1350 °C. Končna gostota materiala presega 99 % teoretične maksimalne vrednosti.

2.2 Primerjava s tehnologijo SLM

Tehnologija MBJ se pogosto primerja z drugimi metodami aditivne proizvodnje izdelkov, zlasti s selektivnim laserskim taljenjem (SLM). SLM omogoča višjo natančnost in trdnost, zato je primerna za dele, ki so izpostavljeni velikim mehanskim obremenitvam. Vendar pa je postopek počasnejši, dražji in zahteva odstranjevanje podpornih struktur. Po drugi strani je MBJ primernejši za serijsko proizvodnjo, saj omogoča večjo pretočnost, manj geometrijskih omejitev in hitrejši potek izdelave. Razlike med tehnologijama MBJ in SLM so povzete v preglednici 1.

2.3 Materiali v procesu MBJ

V tehnologiji MBJ so najpogostejše uporabljeni prahovi teh materialov:

- **17-4 PH (nerjavno jeklo):** kombinacija mehanske trdnosti in odpornosti proti koroziji,
- **316L (avstenitno nerjavno jeklo):** primerno za biomedicinske in prehranske aplikacije,
- **H13 (orodno jeklo):** za orodja za tlačno litje,
- **Inconel 625/718:** za uporabo pri visokih temperaturah.

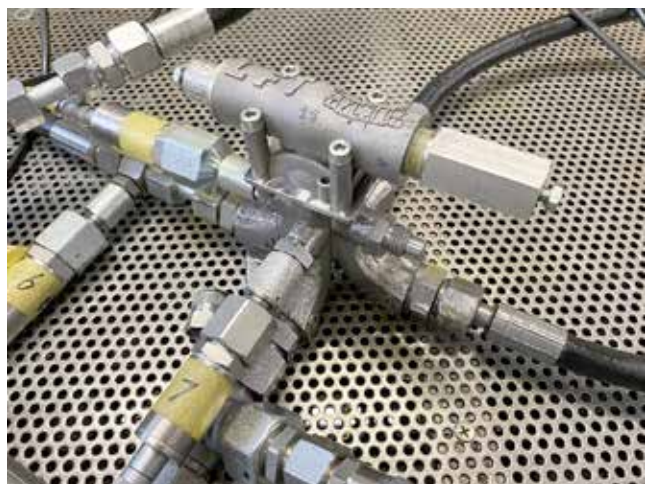
Preglednica 1 : Primerjava tehnologij MBJ in SLM

Lastnost	MBJ	SLM
Vir energije	brez (vezivo + sintranje)	laser
Hitrost	zelo visoka	nižja (točkovno taljenje)
Podporne strukture	niso potrebne	obvezne
Zaostale napetosti	zelo nizke	visoke (zaradi toplotnih gradientov)
Hrapavost površine	mat videz, fina površina	bolj groba površina
Mehanske lastnosti	primerljive s kovinskim brizganjem (MIM)	zelo dobre, odvisne od parametrov
Priporočena uporaba	serijska proizvodnja, orodja, funkcionalni prototipi	visoko natančni deli, kompleksna notranja geometrija

Tehnologija MBJ je zaradi svoje sposobnosti sočasnega tiskanja več kosov, odprave potrebe po podpornih strukturah ter velikega nabora materialov primerna za različne panoge, kot so avtomobilska industrija, orodjarstvo in hidravlika.

3 Testiranje

Preizkušanje je bilo opravljeno na preizkuševališču ob uporabi mineralnega olja, ki ima 30 kW instalirane moči in je omejeno na tlak 35 MPa. Pri najvišjem doseženem tlaku lahko zagotovimo približno 50 l/



Slika 3 : 3D natisnjen 4/3-potni ventil, spodaj ventilska plošča in integrirana tlačna zaznavala v sestavu na preizkuševališču med testiranjem



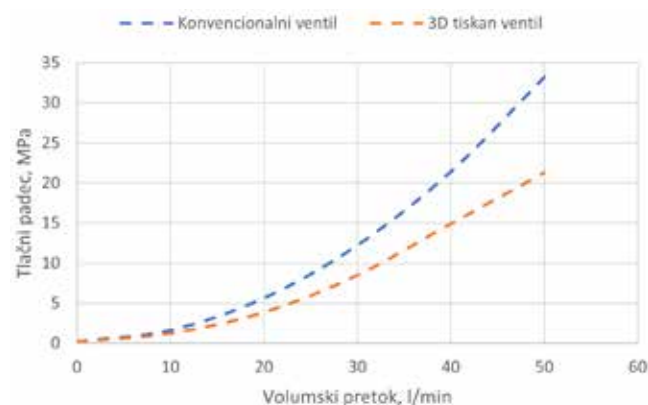
Slika 4 : Prikaz sestavnih delov ventila, uporabljenega pri testiranju

min pretoka. *Slika 3* prikazuje sestav ventila in ventilske plošče z integriranimi senzorji, ki je bil uporabljen med preizkušanjem.

Ventila z ventilsko ploščo in integriranimi senzorji med testiranjem prikazuje *slika 4*. Sklop je zgrajen iz naslednjih elementov: 1. ohišje ventila, 2. jedro vijaka za pozicioniranje krmilnega bata ventila, 3. pozicijski vijak, 4. krmilni bat, 5. podložka, ki potiska drsnik v sredinski položaj, 6. vzmet iz nerjavečega jekla, 7. dve 1-milimetrski podložki za zagotavljanje prednapetosti vzmeti, 8. tesnilna podložka, 9. jedro vijaka za pozicioniranje krmilnega bata, 10. protipozicijski vijak, 11. pritrdilni vijaki, 12. statična O-tesnila.

4 Rezultati

Rezultat eksperimentalne meritve padca tlaka skozi konvencionalni in 3D natisnjen ventil je prikazan na *sliki 5*. Jasno je vidna razlika v zmogljivosti med konvencionalno izdelanim ventilom in ventilom, proizvedenim z uporabo Metal Binder Jetting (MBJ). Meritve so bile izvedene pri 90-odstotnem odprtju krmilnega bata. Ena najpomembnejših ugotovitev je zmanjšanje padca tlaka za približno 4 MPa pri prostorninskem pretoku 30 l/min pri aditivno izdelanem (AM) ventilu, praktično pa v celotnem območju meritve. Ta izboljšava je ključna in



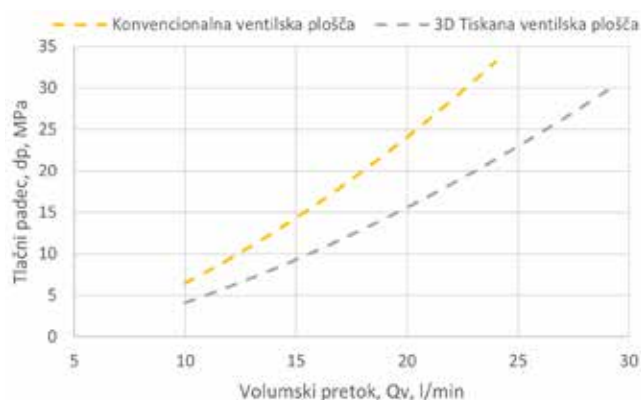
Slika 5 : Izmerjene karakteristike konvencionalnega in 3D natisnjenega hidravličnega ventila

je posledica optimizirane notranje geometrije, ki je bila zasnovana posebej za aditivno proizvodnjo in je ne bi bilo mogoče izdelati s konvencionalnimi odzemnimi metodami.

Poleg izboljšanih tokovnih zmogljivosti je ventil, izdelan z metodo Metal Binder Jetting (MBJ), pokazal tudi znatno zmanjšanje mase za 67 % v primerjavi s konvencionalnim ventilom. To je bilo doseženo z uporabo oblikovne optimizacije, ki jo omogoča oblikovna svoboda, značilna za proces MBJ.

5 Primerjava konvencionalne in 3D tiskane ventilske plošče

Aditivno izdelana ventilska plošča je prav tako pokazala jasne prednosti pred konvencionalno izdelano, kot je prikazano na *sliki 6*. Zaradi pretoku prilagojene notranje geometrije lahko opazimo izboljšane tokovne značilnosti z zmanjšano turbulenco in nižjimi tlačnimi izgubami. Poleg tega je plošča bistveno lažja, kar prispeva k zmanjšanju celotne teže sistema in olajša rokovanje med montažo in testiranjem. Ključna funkcionalna izboljšava je integracija tlačnih senzorjev neposredno v geometrijo plošče, kar omogoča natančnejše in bolj dosledne meritve tlaka brez dodatnih priključkov ali zunanjih povezav. Ta integracija predstavlja povezanost delov, kjer se več komponent in funkcij združi v en sam tiskani del, s čimer se poenostavi tako zasnovna kot tudi proces montaže. Rezultati obeh meritev, ki sta bili izvedeni pri 30-odstotni odprtosti ventila, so prikazani na *sliki 6*. Jasno je razvidno, da 3D tiskana plošča omogoča natančnejše merjenje značilnosti ventila zaradi integriranih senzorjev. Pri pretoku 20 l/min znaša ta razlika skoraj 10 MPa.



Slika 6 : Izmerjene karakteristike ventila na konvencionalno izdelani in pri 3D natisnjeni ventilski plošči. 3D natisnjena ventilska plošča uporablja integrirana tlačna zaznavala.

6 Zaključki

Iz predstavljenih rezultatov lahko zaključimo, da je v hidravliki smiselno uporabljati aditivno izdelane (AM) ventile in ventilske plošče namesto konven-

cionalno izdelanih delov. Kot je že omenjeno, obstaja veliko prednosti: od lažjega montažnega procesa do boljše zmogljivosti in natančnejših meritev. Komponente AM so deloma omejene le zaradi višjih stroškov, vendar pa, kot jasno kaže ta študija, nizka raven merilne natančnosti, dosežena s konvencionalno ploščo, naredi uporabo plošče AM z integriranimi senzorji bolj smiselno, zlasti pri višjih pretokih.

Viri

- [1] O. Diegel, A. Nordin, D. Motte, A Practical Guide to Design for Additive Manufacturing, Springer Singapore, Singapore, 2019. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-8282-6>.
- [2] M. Arena, P. Ambrogiani, V. Raiola, F. Bocchetto, T. Tirelli, M. Castaldo, Design and qualification of an additively manufactured manifold for aircraft landing gears applications, Aerospace 10 (2023) 69. <https://doi.org/10.3390/aerospace10010069>.
- [3] G. Matthiesen, D. Merget, M. Rückert, K. Schmitz, J. H. Schleifenbaum, Additive manufacturing processes in fluid power – properties and opportunities demonstrated at a flow-optimized fitting, in: Proc. Int. Conf. Hydraulics and Pneumatics – HERVEX, 2018, pp. 1–6. ISSN 1454-8003.
- [4] U. Hofmann, M. Fankhauser, S. Willen, D. Inniger, C. Klahn, K. Löffel, M. Meboldt, Design of an additively manufactured hydraulic directional spool valve: an industrial case study, Virtual Phys. Prototyp. 18 (2023) 1–18. <https://doi.org/10.1080/17452759.2023.2167905>.
- [5] Tappeiner Z.*, Donners M., Schmid M., Schmitz K., Resource saving process route for integrated hydraulic components. HyRes Project poster; RWTH Aachen University; Octubre 2014. Available from: HyRes – Resource saving Process Route for Integrated Hydraulic Components [Internet]. RWTH Aachen University; [cited 2025 Jul 30]. Na voljo na: <https://acam.rwth-campus.com/wpcontent/uploads/sites/11/2014/10/HyRes Resource saving Process Route for Integrated Hydraulic Components.pdf>.
- [6] K. Wegener, M. Zäh, P. Frankenberger, H. Heußner, K. Hufnagl, C. Kokeisl, P. Mayr, M. Schmidt, J. Seitz, F. Vollertsen, T. Graf, Advanced manufacturing processes: New insights into additive and hybrid manufacturing, Addit. Manuf. 35 (2020) 101530. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2020.101530>.
- [7] S. Lloyd, "Least squares quantization in PCM," in IEEE Transactions on Information Theory, vol. 28, no. 2, pp. 129–137, March 1982, doi: 10.1109/TIT.1982.1056489.
- [8] Han, J.; Kamber, M.; Pei, J. Data Mining: Concepts and Techniques; Morgan Kaufmann Publishers Inc.: Burlington, MA, USA, 2011
- [9] Pušnik, T.; Hace, A. Region-Based Approach for

Machining Time Improvement in Robot Surface Finishing. Appl. Sci. 2024, 14, 9808. <https://doi.org/10.3390/app14219808>

[10] Stradovnik, S.; Hace, A. Task-Oriented Evaluation of the Feasible Kinematic Directional Capabilities for Robot Machining. Sensors 2022, 22,

4267. <https://doi.org/10.3390/s22114267>.

[11] Stradovnik, S.; Hace, A. Workpiece Placement Optimization for Robot Machining Based on the Evaluation of Feasible Kinematic Directional Capabilities. Appl. Sci. 2024, 14, 1531. <https://doi.org/10.3390/app14041531>

Additive Technology in Practice: Test Analysis of a Hydraulic Valve with an Innovative Valve Plate

Abstract:

The study investigates the use of additive manufacturing technologies in the production of hydraulic components, focussing on 3D-printed valves and manifolds with integrated pressure sensors. Additive technologies such as Metal Binder Jetting (MBJ) and Selective Laser Melting (SLM) enable design freedom, component consolidation and optimisation of internal geometry to reduce pressure losses and mass. In the study, metal valves were manufactured and tested using the MBJ process, which enables high productivity and the production of complex structures without supports. A comparison with the SLM process shows the advantages of the MBJ process through higher production speeds, lower costs and a reduced need for support structures. Flow and pressure measurements showed that the additively manufactured valve manifold has a lower pressure drop of around 4 MPa at the same flow rate, which means greater efficiency. In addition, the 3D-printed valve body is 67% lighter than the conventionally manufactured one. The results confirm that additively manufactured components are suitable for series use in the hydraulics industry, as they offer better efficiency, shorter assembly times and the possibility of design optimisation despite higher costs compared to conventional parts.

Keywords:

Additive technologies, geometry optimization, hydraulic valves, connection plates, measurements



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



Vabljeni na premiero

tehnološke evolucije v obrambni industriji

Obiščite SIDEC 2025, prvi mednarodni sejem in konferenco obrambnih tehnologij nove generacije v regiji. Spoznajte ključne domače in mednarodne strokovnjake ter predstavnike oboroženih in varnostnih sil, s poudarkom na inovacijah na področju naprednih obrambnih rešitev.

Na dogodku boste imeli priložnost srečati:

- visoke častnike partnerskih in tujih vojsk, odgovorne za procese opremljanja na odločevalski ravni,
- domače in tuje vojaške atašeje,
- domače in tuje ekonomske svetovalce,
- civilne strokovnjake s področja raziskav in razvoja.

OSREDOTOČILI SE BOMO NA ŠTIRI GLAVNA PODROČJA:



**KIBERNETSKA
VARNOST**



**TEHNOLOGIJE
PRIHODNOSTI
(R&R)**



**ENERGETSKA
UČINKOVITOST
& ODPORNOST**



**UMETNA
INTELIGENCA**

VEČAGENTNO NAČRTOVANJE POTI ZA SKUPINO AVTOMATSKO VODENIH VOZIČKOV V INDUSTRIJSKEM OKOLJU S POLNILNICAMI

Andrej Zdešar, Matevž Bošnak, Viktor Zaletelj, Rok Vrabič,
Gregor Klančar

Izvleček:

V članku je predstavljen pristop, ki omogoča učinkovito načrtovanje poti za več agentov. Okolje je opisano z grafom, ki predstavlja omrežje cest in križišč za vozila različnih oblik in hitrosti. Načrtovanje temelji na algoritmu za načrtovanje poti z varnimi intervali, prioritetami in varnimi mesti, kar omogoča vseživljenjsko delovanje. Algoritem je kompleten in daje skoraj optimalne poti, ki so časovno in prostorsko zvezne. Algoritem smo dopolnili z ocenjevanjem energije baterije, kar omogoča iskanje le izvedljivih planov. Z dopolnitvijo algoritma za implicitno iskanje plana do optimalnega cilja iz nabora ciljev pa lahko dosežemo izbiro varnega mesta ali polnilnice že med načrtovanjem poti. Predlagani pristop je praktično uporaben v raznovrstnih realnih industrijskih scenarijih pri nalogah razvažanja materiala znotraj industrijskega okolja, pri čemer upoštevamo, da morajo agenti med izvajanjem nalog po potrebi tudi v polnilnice. Analizirali smo tudi računsko učinkovitost algoritma glede na število vozil in velikost zemljevida. Rezultati kažejo, da je predstavljeni pristop računsko učinkovit tudi pri velikem številu vozil in v primeru velikih zemljevidov.

Ključne besede:

načrtovanje poti, večagentni sistem, avtomatsko vodeni vozički, industrijska logistika, grafi, varni intervali, varna mesta, polnilnice, prioritete

1 Uvod

Sodobni industrijski proizvodni obrati in skladišča vse pogostejše uporabljajo skupino avtomatsko vodenih vozičkov (agentov) za razvoz materiala med delovnimi postajami. Za ustrezen in nemoten transport so potrebne napredne rešitve večagentnega načrtovanja poti, ki zagotavljajo (čim bolj) optimalne poti brez trkov in zastojev. Med načrtovanjem poti moramo upoštevati tudi trenutno energijo vsakega posameznega vozila, tako da vozilo nalogo lahko opravi, sicer pa moramo poskrbeti za polnje-

nje vozila, če to nima več dovolj energije za opravljanje nalog. To torej zahteva še načrtovanje poti do najbolj primerne polnilnice.

Računska zahtevnost optimalnih algoritmov za večagentno načrtovanje poti, ki temeljijo na različicah algoritma A^* [1, 2], narašča eksponentno s številom agentov, zato so ti primerni le za majhne skupine agentov. Računska zahtevnost običajno omilimo z uvedbo suboptimalnih pristopov, ki načrtujejo pot vsakega agenta ločeno, in nato rešujejo morebitne konflikte z uvedbo prometnih pravil, lokalnega večagentnega usklajevanja, pogajanja ali prioritete [1, 2, 3]. Dodaten izziv predstavlja t. i. vseživljenjsko načrtovanje poti, kjer bodoče naloge niso znane vnaprej, in moramo zagotoviti neprekinjeno delovanje, tako da ne pride do nerešljivih situacij tudi v prihodnosti [4, 5].

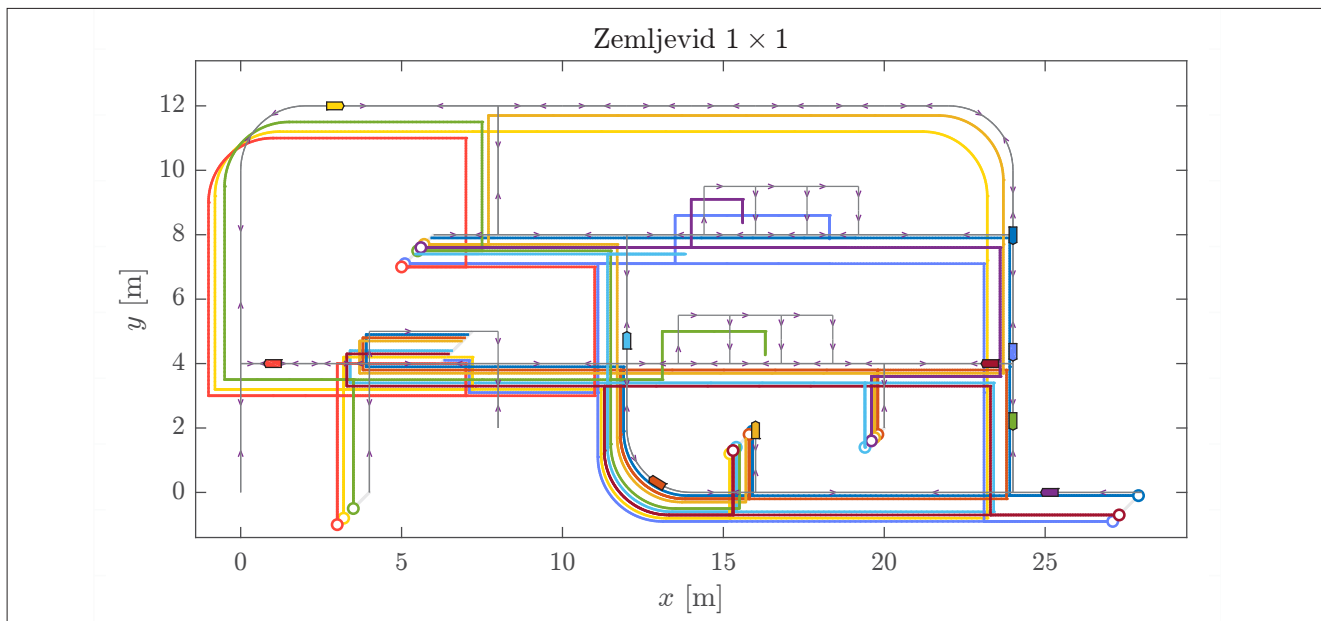
V članku je predstavljen računsko učinkovit algoritem za načrtovanje poti večagentnega sistema, ki temelji na algoritmu načrtovanja poti z varnimi intervali [6]. Algoritem je prirejen za okolje, opisano z grafom, ki predstavlja omrežje križišč in cest (*slika 1*). Načrtovanje poti omogoča iska-

Doc. dr. Andrej Zdešar, univ. dipl. inž., **dr. Matevž Bošnak**, univ. dipl. inž., oba Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko; **Viktor Zaletelj**, Epilog, d. o. o., Ljubljana; **doc. dr. Rok Vrabič**, univ. dipl. inž., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo; **prof. dr. Gregor Klančar**, univ. dipl. inž., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko



© The Authors 2025. CC-BY 4.0

<https://doi.org/10.5545/Ventil-31-2025-4.05>



Slika 1: Primer okolja, opisanega z grafom, v katerem se giblje 10 agentov

nje časovno in prostorsko zveznih planov, ki so blizu optimalnim rešitvam. Z vpeljavo prioritet in varnih mest smo dosegli, da je načrtovanje poti kompletno tudi v vseživljenjskem načinu delovanja. Vpeljana varna mesta lahko v praksi funkcionirajo kot polnilnice za polnjenje baterij, servisne postaje, mesta za umik idr. Predstavljeni algoritem načrtovanja poti ima vgrajen mehanizem za ocenjevanje porabe energije in omogoča implicitno izbiro optimalne polnilnice že med samim načrtovanjem poti.

2 Vseživljenjsko večagentno načrtovanje poti

V nadaljevanju je na kratko predstavljeno prioriteto načrtovanje poti z varnimi intervali za okolje, ki je opisano z grafom. Algoritem načrtovanja poti je bil nadgrajen še z vmesnimi cilji in z varnimi mesti, da smo dosegli vseživljenjsko delovanje [7]. Predlagani pristop je računsko učinkovit in je praktično uporaben za različne naloge, kot so zaporedne dostave, prevzemi in dostave v predpisanih vrstnih redih [8] idr. Omogočena je tudi izvedba načrtovanja poti v polnilnice [9], ki jih definiramo v varnih mestih. V ta namen smo algoritem še dodatno dopolnili s sprotnim ocenjevanjem porabe energije in modelom polnjenja baterij v polnilnicah. Algoritem za načrtovanje poti smo razširili tudi z implicitnim iskanjem optimalne rešitve do kateregakoli izmed nabora ciljev. Predstavljene rešitve so uporabljene za izvedbo strategije izbire varnih mest in polnilnic. Z uporabo polnilnic lahko s predstavljenim pristopom zagotovimo, da agentom nikoli ne zmanjka energije za opravljanje nalog, tako da nikoli ne pride do zastojev.

2.1 Opis okolja in predstavitev problema

Okolje opišemo z grafom $G = \langle E, V \rangle$, kjer so V vozlišča (križišča povezav) in E povezave (ceste med vozlišči). Povezave so usmerjene in utežene s trajanjem vožnje. Za vsako usmerjeno povezavo $e \in E$ predpišemo neposredno dosegljive povezave iz končnega vozlišča $v_k \in V$ povezave e oz. povezave, ki vodijo do usmerjene povezave e čez njeno začetno vozlišče $v_z \in V$. V splošnem tako lahko niso možni prehodi med vsemi povezavami, ki se stikajo v določenem vozlišču. Agenti se lahko gibljejo le v predpisanih smereh povezav.

Predpostavljamo še, da se trki med agenti lahko zgodijo le v okolici vozlišč, sicer pa ne more priti do trka med vozili na različnih povezavah, razen če gre za par usmerjenih povezav, ki predstavljata dvosmerno cesto. V primeru sekajočih se povezav lahko graf nekoliko preoblikujemo z vpeljavo dodatnih vozlišč na sečiščih povezav. Graf opremimo z informacijo o t. i. bližnjih vozliščih, ki so tako skupaj, da lahko pride do trkov med agenti, ki so v okolici kateregakoli izmed bližnjih vozlišč. S takšno predstavitevjo zemljevida lahko zapišemo skoraj poljubno okolje, v katerem se po urejenih progah vozi skupina vozil.

V članku se ukvarjamo z načrtovanjem nabora nekonfliktnih planov $\{\pi_1, \dots, \pi_k, \dots\}$ v G za skupino agentov. Vsak plan π_k se začne v vozlišču $v_{start,k} \in V$ ali na lokaciji $I_{start,k} \in [0, 1]$ znotraj ceste $e_{start,k} \in E$, kjer se nahaja agent k , in gre čez zahtevane vmesne cilje ($v_{cilj,k}(1), v_{cilj,k}(2), \dots, v_{cilj,k}(N-1)$), če so ti podani, do končnega ciljnega vozlišča $v_{cilj,k}(N)$, $v_{cilj,k} \in V$, ali končne lokacije $I_{cilj,k}$ na cesti $e_{cilj,k} \in E$. Običajna naloga, ki jo obravnavamo v tem delu, zahteva prevoz med prevzemnim mestom P in dostavnim mestom

D , pri čemer se agent na začetku v splošnem ne nahaja na prevzemnem mestu P . Med načrtovanjem poti moramo upoštevati še, da imajo agenti omejeno količino energije, ki je shranjena v bateriji. Za baterijo z nivojem polnosti $c(t) \in [0\%, 100\%]$ predpostavljamo preprost model: baterija se prazni proporcionalno s prepotovano razdaljo ($\Delta c = -\zeta_p \Delta d$, ζ_p je faktor praznjenja baterije) in se v polnilnici polni s konstantno močjo ($\Delta c = \zeta_p \Delta t$, ζ_p je faktor polnjenja baterije). V okolju imamo na voljo vsaj eno ali več polnilnic, ki se nahajajo v vozliščih ali na cestah. Med načrtovanjem poti moramo tako po potrebi oz. glede na nivo baterije $c(t)$ poiskati tudi pot do najprimernejše proste polnilnice, ki jo lahko dosežemo.

Rezultat načrtovanja poti je časovni načrt poti oz. plan $\pi = (a_1, a_2, \dots, a_n)$, ki vsebuje zaporedje akcij a_i . Te opišejo pot s podanim hitrostnim profilom od starta do cilja z zelenimi lokacijami v ustreznih časovnih trenutkih. Akcijo opišemo z $a_i = (t_i, e_i, l_i)$, kjer t_i podaja želen čas prihoda na lokacijo, ki je podana s položajem l_i znotraj povezave $e_i \in E$. Akcija a_i opisuje premik, če se lokacija glede na a_{i-1} spremeni, tj. $e_i \neq e_{i-1} \vee l_i \neq l_{i-1}$. Sicer akcija a_i predstavlja čakanje za čas $t_i - t_{i-1}$ na mestu $l_i = l_{i-1}$ znotraj povezave $e_i = e_{i-1}$.

2.2 Prioritetno načrtovanje poti z varnimi intervali

Za določitev planov za več agentov smo izhajali iz algoritma za *načrtovanje poti z varnimi intervali* (NPVI) [6]. Varni interval definira maksimalni neprekinjen časovni interval, v katerem je neko vozlišče dostopno. Posamezno vozlišče ima lahko enega ali več varnih intervalov, ki so ločeni z intervali zasedenosti. Interval zasedenosti definira časovni interval, ko vozlišče zaseda nek agent. Unija varnih in zasedenih intervalov predstavlja celotno časovno os. NPVI pri raziskovanju grafa razlikuje stanja $s = (v, VI)$, ki so definirana kot skupek vozlišča $v \in V$ in enega od njegovih varnih intervalov VI . V posamezno vozlišče lahko vstopimo večkrat (v različnih varnih intervalih).

V prvem koraku algoritma postavimo začetno stanje $s_{start} = (v_{start}, VI_{start})$ z začetnim vozliščem v_{start} na odprti seznam. Za vsako stanje s vodimo evidenco (g, h, s_p, t_p, c) , ki vsebuje najmanjšo ceno g (potovalni čas) od začetnega stanja s_{start} do trenutnega stanja s , stanje starša s_p , heuristično oceno cene h od trenutnega stanja s do cilja v_{cilj} (ocenjen čas potovanja) in najkrajši možen čas prihoda t_p v stanje s znotraj varnega intervala VI ter oceno nivoja baterije c glede na izbrano pot od začetnega stanja s_{start} . V vsaki iteraciji z odprtega seznama vzamemo stanje $s_i = (v_i, VI_i)$ z najnižjo skupno ceno $f_i = g_i + h_i$ in zanj poiščemo možne naslednike, ki jih dodamo na odprti seznam. Pri načrtovanju poti privzeto optimiziramo potovalni čas, lahko pa bi (dodatno) upoštevali tudi potrebno energijo za izvedbo poti in/ali tudi še dolžino poti.

Nivo baterije c_i v stanju s_i ocenimo glede na začetno stanje baterije c_{start} in predvideno porabo energije po

prepotovani poti. V tem delu predpostavljamo, da se baterija prazni le glede na prepotovano razdaljo, lahko pa bi upoštevali tudi bolj kompleksen model praznjenja baterije. V primeru čakanja v vozlišču ali na cesti, ki je označena kot polnilnica, upoštevamo, da se baterija polni po izbranem modelu polnjenja. Čas čakanja v polnilnici lahko predpišemo vnaprej glede na oceno potrebne energije ali pa ga določimo implicitno glede na minimalni želeni nivo baterije C_p po končanju polnjenja. Pri tem upoštevamo, da omejitev $c \in [0\%, 100\%]$ ni nikoli kršena.

Ključno pri implementaciji algoritma NPVI je določitev naslednjih stanj za širitev iskanja. Za trenutno stanje s_i določimo, v katera nova vozlišča lahko pridemo in v kateri varni interval lahko vstopimo. Pri tem preverimo, da na povezavi do naslednjega vozlišča ni konflikta (npr. trka z drugim vozilom) oz. v primeru konflikta preverimo, če ga je možno preprečiti z ustreznim čakanjem v vozlišču v_i . Upoštevamo torej le tista sosednja vozlišča, ki jih agent (po povezavah z upoštevanimi hitrostnimi omejitvami in brez trkov z drugimi agenti) lahko doseže v varnih intervalih. Zavržemo pa tudi tista vozlišča, za dosego katerih pade ocenjeni nivo baterije c od začetka plana do trenutnega vozlišča pod minimalno dovoljeno vrednost C_d . Dodatno predpišemo tudi minimalni želeni nivo baterije $C_k \geq C_d$ v končnem cilju, s čimer lahko dosežemo, da ima agent v končnem stanju dovolj energije za še neznane naslednje naloge – npr. glede na minimalno potrebno energijo, da agent iz končne lokacije doseže vsaj eno izmed polnilnic. Nivo baterije v območju $C_d < c(t) < C_k$ je možen le, če je del plana tudi polnjenje oz. čakanje v polnilnici.

Če z odprtega seznama vzamemo stanje s ciljnim vozliščem $v_{cilj} = v_i$, končamo preiskovanje grafa, saj obstaja pot do cilja. V tem primeru najdemo najboljši plan π s pregledom prednikov, ki vodijo od ciljnega stanja s_{cilj} do začetnega stanja s_{start} . Če izčrpamo odprti seznam, preden najdemo ciljno vozlišče, iskana pot ne obstaja ali ni dosegljiva (agent nima dovolj energije).

Ko vpeljemo še prioritete, dosežemo razklopljenost večagentnega načrtovanja poti, kar bistveno zmanjša računsko kompleksnost [1, 2]. Prioritete obenem ponujajo tudi možnost, da agenti opravljajo bolj ali manj pomembne naloge z različnimi prioritetaми. Problem načrtovanja poti tako lahko rešujemo za vsakega agenta ločeno ob upoštevanju gibanja ostalih višjeprioritetnih agentov. Torej: ko za agenta najdemo primeren plan, nastavimo ustrezne intervale zasedenosti vseh vozlišč, ki so povezana s stanji plana. Pri naslednjem nižjeprioritetnem načrtovanju poti nato upoštevamo posodobljene intervale zasedenosti vozlišč.

Z rekurzivno uporabo algoritma za načrtovanje poti lahko dosežemo tudi iskanje poti od starta v_{start} do več zaporednih ciljev $(v_{cilj}(1), v_{cilj}(2), \dots, v_{cilj}(N))$.

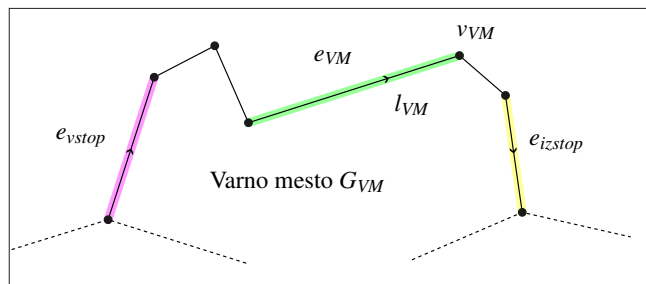
Ko dosežemo prvi cilj v_{cilj} (1) in dobimo načrt poti π_{cilj} (1), nadaljujemo z iskanjem plana π_{cilj} (2) od trenutnega cilja v_{cilj} (1) do naslednjega cilja v_{cilj} (2) itd. Če najdemo pot do končnega cilja v_{cilj} (N), združimo posamezne plane v celoten plan $\pi' = (\pi_{cilj}(1), \pi_{cilj}(2), \dots, \pi_{cilj}(N))$. Algoritem večagentnega načrtovanja poti smo priredili tudi tako, da lahko iščemo optimalno pot do kateregakoli izmed nabora ciljev. To enostavno dosežemo tako, da med načrtovanjem poti onemogočimo hevristiko ($h = 0$), iskanje pa prekinemo, ko dosežemo prvega izmed ciljev v podanem naboru. Ker algoritem iskanja v tem primeru ne uporablja hevristike, je iskanje malce bolj dolgotrajno, a običajno vseeno precej hitreje, kot če bi poiskali poti do vsakega cilja ločeno.

Ključno za računsko učinkovito izvedbo algoritma je tudi, da se vsi trki preverjajo implicitno le s preverjanjem časovnih intervalov. Glede na oblike, dimenzije in hitrosti agentov lahko vnaprej določimo minimalni varnostni čas (s katerim razširimo intervale zasedenosti), ki zagotovi, da se trki v okolici vozlišč nikoli ne zgodijo. Poudariti velja, da je predstavljeni pristop večagentnega načrtovanja poti uporaben tudi za heterogeno skupino vozil (različne dimenzije in hitrosti vozil), kar tudi ne poveča računske zahtevnosti.

2.3 Varna mesta in polnilnice

Varno mesto (VM) definiramo kot področje v prostoru (in grafu), kamor se agent po končani nalogi lahko varno umakne, če je potrebno, in neovirajoče v nedogled čaka na naslednjo nalogo. V varno mesto lahko vstopijo (in to samo enkrat na svoji poti) le agenti, ki načrtujejo pot s ciljem v njem, sicer ga ne smejo prečkati. Splošna struktura varnega mesta je prikazana na sliki 2. Varno mesto predstavimo z grafom $G_{VM} = \{V_{VM}, E_{VM}\}$, ki ni del osnovnega grafa ($E \cap E_{VM} = \emptyset$), a ga lahko iz grafa G dosežemo le po usmerjenih vstopnih cestah $e_{vstop} \in E_{VM}$ ter zapustimo le po usmerjenih izstopnih cestah $e_{izstop} \in E_{VM}$, ki vodijo nazaj v graf G . Določimo lahko tudi več vhodnih in izhodnih cest. Znotraj G_{VM} izberemo eno varno lokacijo bodisi na eni izmed cest $e_{VM} \in E_{VM}$ bodisi v vozlišču $v_{VM} \in V_{VM}$, ki omogoča neovirajoče čakanje. Med načrtovanjem poti do varnega mesta dovolimo iskanje tudi čez vstopne povezave $e_{vstop} \in E_{VM}$, ki vodijo v graf G_{VM} . Če začnemo iskanje znotraj G_{VM} , pa dovolimo iskanje tudi čez izstopne povezave $e_{izstop} \in E_{VM}$, ki vodijo do osnovnega grafa G . Da preprečimo večkratne vožnje čez varno mesto, iskanja ne nadaljujemo pri stanjih, ki se končajo v varni lokaciji. Definiramo lahko tudi več varnih mest.

Pri načrtovanju posameznega plana vedno poiščemo še plan π_{VM} od zadnjega cilja v_{cilj} (N) do enega izmed varnih mest. Končni rezultat je tako plan $\pi = (\pi', \pi_{VM})$. Ta pristop omogoča, da znotraj G ne pride do blokad agentov (npr. v slepih ulicah). S tem postane načrtovane poti kompletno, torej iskanje vedno najde pot, če ta obstaja oz. je dosegljiva. Me-



Slika 2 : Splošna struktura varnega mesta

nimo, da je agent v času izvajanja plana π_{VM} prost, če še ni znotraj varnega mesta, zato se lahko izvajanje tega dela plana kadarkoli prekine, če je možno najti plan do novih zelenih ciljev. Če to ni možno, se agent še vedno lahko umakne v VM in od tam nadaljuje kasneje.

Vsakemu varnemu mestu predpišemo tudi kapaciteto agentov, ki jih lahko sprejme, tako da neovirajoče čakajo na cesti e_{VM} oz. na cesti pred v_{VM} v varnem mestu. Za izvedljivost mora biti skupna kapaciteta vseh varnih mest večja ali enaka številu vseh agentov N_A . Iskanje plana π_{VM} lahko omejimo le v izbrano varno mesto ali pa v kateregakoli izmed nabora varnih mest. S predstavljenim splošnim konceptom lahko izvedemo serijska in vzporedna varna mesta. Če onemogočimo preverjanje trkov na določenih cestah znotraj G_{VM} , je možna izvedba tudi t. i. virtualnih varnih mest. S takšnimi varnimi mesti lahko nadzor nad upravljanjem z agenti prepustimo zunanjemu (avtonomnemu) nadzornemu sistemu, kar omogoča poveztljivost med različnimi sistemi.

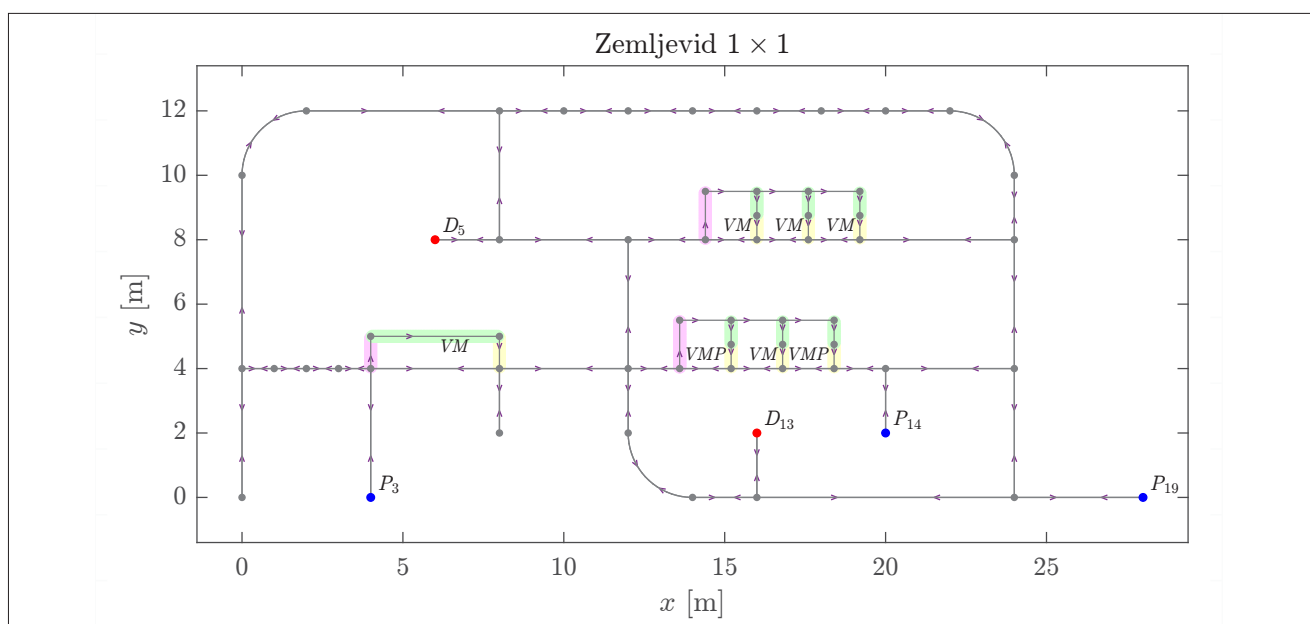
Z vpeljavo prioritete in varnih mest je omogočeno tudi vseživljenjsko delovanje, ko se naloge pojavljajo sproti in niso vnaprej znane. Osnovni koraki, ki skrbijo za dodeljevanje nalog, so:

Korak 1: Če so na voljo nove naloge in je prost vsaj en agent (ki je obiskal vse cilje in se pelje proti varnemu mestu ali že čaka v njem in je na voljo), dodelimo agentu najnižjo prioriteto.

Korak 2: Poiščemo plan za novo nalogo z izbranim agentom.

Korak 3: Če najdemo nov plan, dodelimo agentu novo nalogo, posodobimo rezervacije varnih mest, prekinemo morebitno izvajanje trenutnega plana, sprostimo zasedenosti za neizvedeni preostanek trenutnega plana in nastavimo intervale zasedenosti za novi plan ter ga začnemo izvajati. Nadaljujemo s korakom 1.

Korak 4: Če novega plana ne najdemo, nadaljujemo trenutno pot proti varnemu mestu ali v njem nadaljujemo čakanje. Za določen čas onemogočimo dodeljevanje nalog temu agentu. Nadaljujemo s korakom 1.



Slika 3 : Zemljevid 1x1 (58 vozlišč, 68 povezav, 3 prevzemna mesta P , 2 dostavni mesti D) s serijskim varnim mestom in vzporednim varnim mestom ter vzporednim varnim mestom z dvema polnilnicama

Varna mesta so praktično uporabna tudi kot polnilnice ali servisna mesta. Varnim mestom lahko torej priredimo tudi eno ali več storitev, ki jih ponujajo. Postavitev polnilnic v varna mesta se zdi logična izbira, saj varna mesta po definiciji omogočajo neovirajoče čakanje. Varno mesto s polnilnico (VMP) torej obravnavamo kot poseben tip VM -ja, ki omogoča polnjenje baterij. Primer nekaj možnih izvedb varnih mest je prikazan na *sliki 3*.

2.4 Strategija izbiranja polnilnic

V primeru, ko se upošteva tudi energija agentov, strategijo dodeljevanja nalog nekoliko spremenimo, da po potrebi omogočimo tudi polnjenje baterij v polnilnicah. V nadaljevanju je predstavljena ena možna strategija dodeljevanja nalog, ki vključuje tudi načrtovanje poti v polnilnice, ko je to potrebno ali zahtevano.

Ko nivo baterije pade pod določeno minimalno spodnjo vrednost C_m , mora agent oditi v VMP , preden začne izvajati naslednjo nalogo. Pri polnjenju predpišemo minimalni zgornji nivo baterije C_p , ki ga mora agent doseči, preden se polnjenje lahko zaključi in agent nadaljuje z izvajanjem nalog. Če nivo baterije pade pod kritično spodnjo mejo C_o , agent obstoji in ne more več izvajati nalog – potreben je poseg operaterja, zato tega stanja nikoli ne želimo doseči. Zato predpišemo spodnji nivo baterije $C_d \geq C_o$ z nekaj rezerve, tako da pri načrtovanju poti vedno najdemo le poti, ki so dosegljive. Nivo $C_k \geq C_d$ izberemo tako, da agent iz kateregakoli varnega mesta lahko doseže vsaj eno polnilnico.

Če imamo na voljo več VM -jev, lahko agentu dodelimo VM vnaprej. Možno je izvesti mnogo strategij,

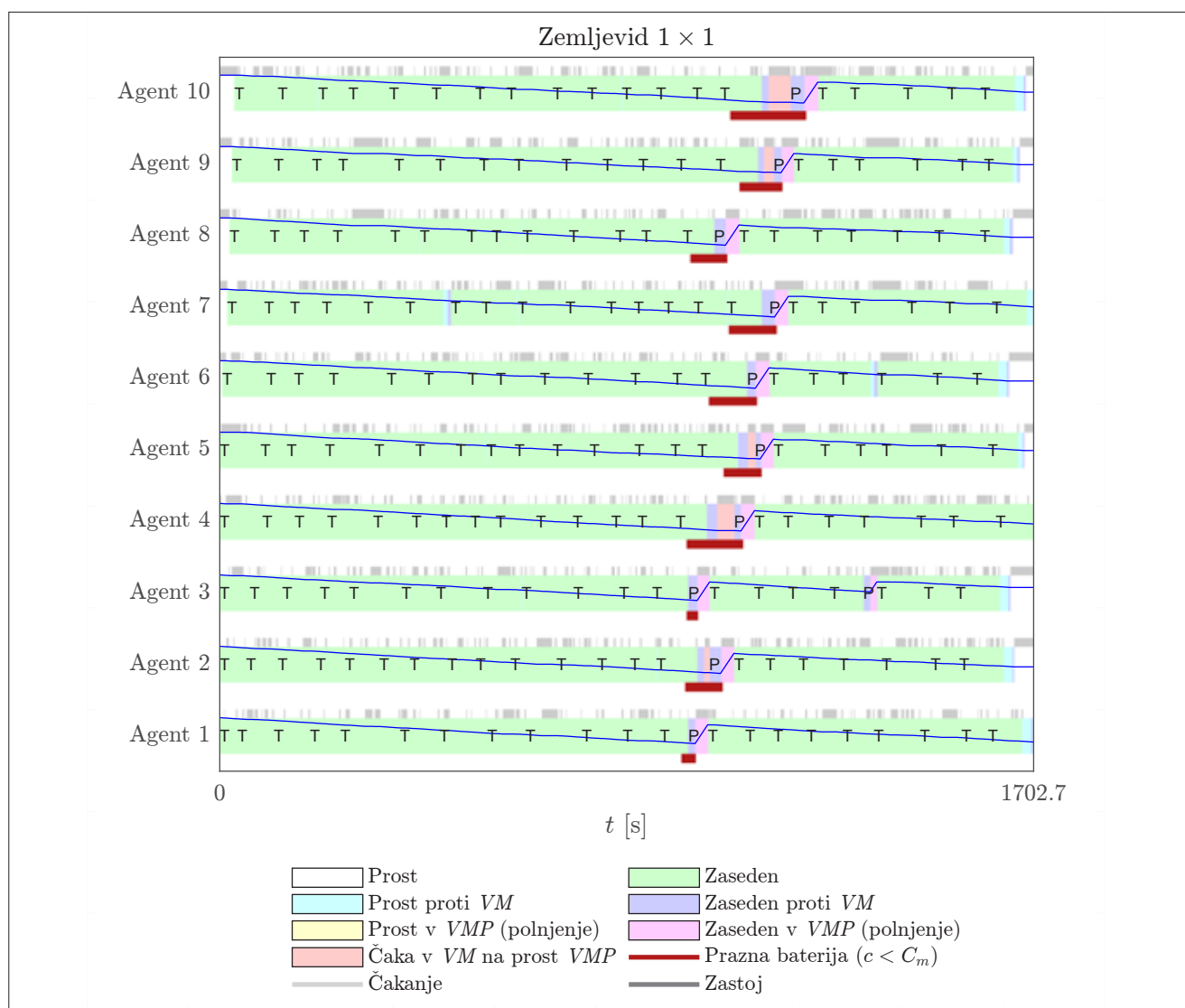
ki so odvisne od oddaljenosti vstopnega vozlišča v_{stop} in/ali izstopnega vozlišča v_{izstop} določenega VM -ja od agenta, prevzemnih in/ali dostavnih mest, tipa in zasedenosti VM -ja, nivoja baterije itd. Kot je bilo omenjeno, predstavljeni algoritem omogoča tudi implicitno iskanje optimalne poti do najboljšega cilja iz nabora ciljev. Zato v tem delu uporabimo strategijo implicitnega iskanja poti do najbolj optimalnega varnega mesta, ki ponuja zelene storitve (le čakanje ali tudi polnjenje baterije) in je na voljo (trenutno število vozil v varnem mestu je manjše od njegove kapacitete). Drugi korak za dodeljevanje nalog tako nekoliko spremenimo:

Korak 2.1: Če je nivo agentove baterije pod spodnjo mejo ($c(t) < C_m$), namesto nove naloge izberemo nalogo polnjenja in poiščemo pot do ene izmed prostih polnilnic v VMP -ju. Dokler agent ne doseže polnilnice, ne sme prevzeti nobene nove naloge. Nadaljujemo s korakom 3.

Korak 2.2: K ciljem v nalogi dodamo za zadnji del poti med nabor ciljev vse proste VM -je. Če ne najdemo izvedljive poti, k ciljem v nalogi dodamo za zadnji del poti med nabor ciljev še vse proste VMP -je. Če ne najdemo izvedljive poti, namesto nove naloge izberemo nalogo polnjenja in poskusimo poiskati le pot do katerekoli proste polnilnice v VMP -ju.

3 Simulacijski eksperimenti

S simulacijo smo preverili delovanje večagentnega načrtovanja poti za izvajanje transportnih nalog s predstavljeno strategijo izbiranja varnih mest in polnilnic, ki implicitno išče optimalno rešitev v naboru VM -jev in/ali VMP -jev. Vsaka naloga zah-



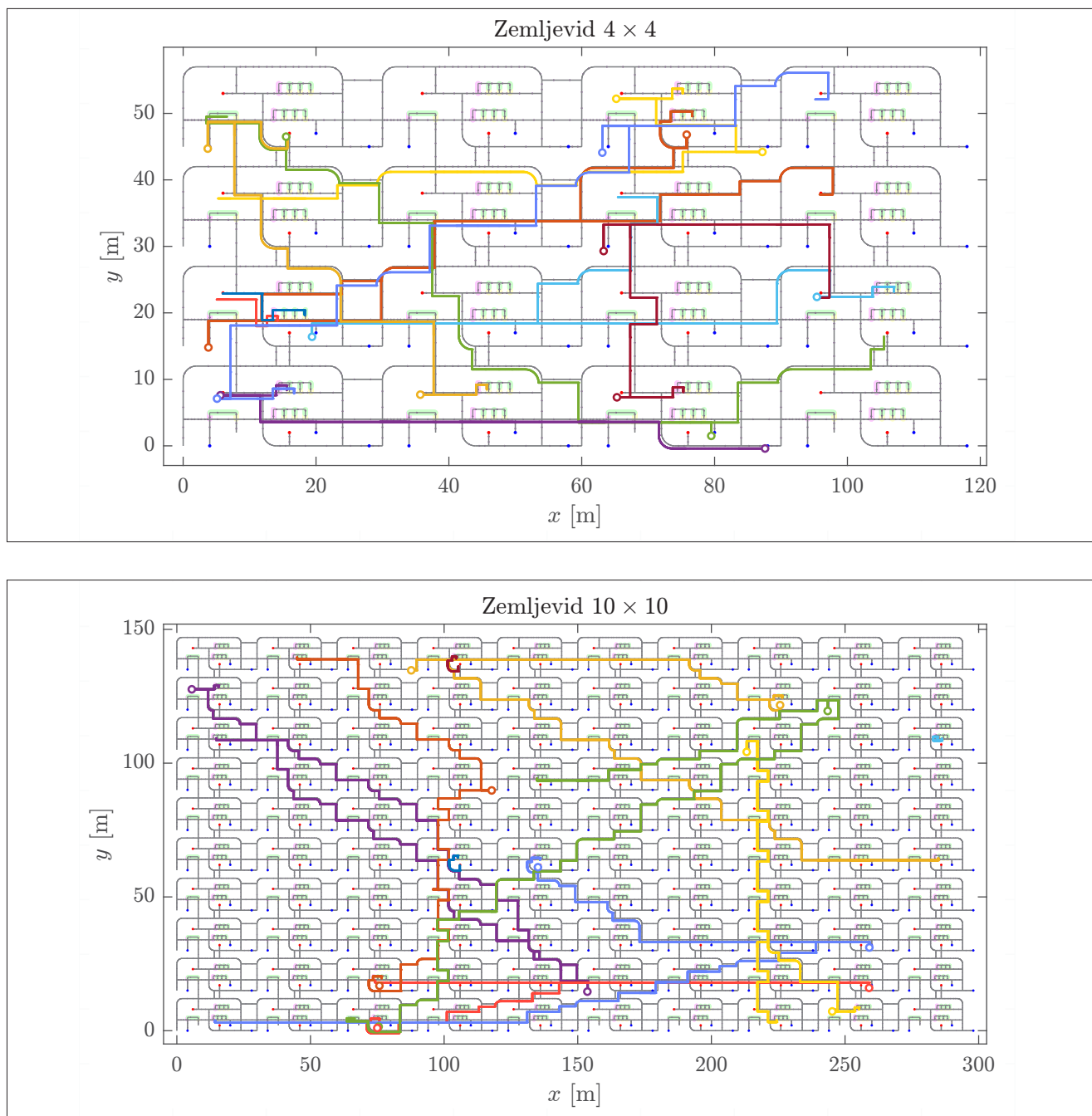
Slika 4 : Časovni potek stanj agentov in stanj baterij (modra polna črta) pri izvajanju 200 nalog na zemljevidu 1x1 (T označuje trenutek dodelitve nove transportne naloge, P pa trenutek dodelitve naloge polnjenja baterije)

teva plan vožnje π_p s trenutne lokacije agenta na naključno izbrano prevzemno mesto P , nato π_D na naključno dostavno mesto D in končno π_{VM} v varno mesto VM ali VMP . Celoten plan vsake naloge je torej $\pi = (\pi_p, \pi_D, \pi_{VM})$. Med delovanjem agenti po potrebi opravljajo tudi polnjenje svojih baterij. Izbrali smo naslednje parametre za simulacijo: dolžina vozila 0,48 m, širina vozila 0,24 m, hitrost vozila 1 m/s, varnostni faktor 2, faktor praznjenja baterije $\zeta_d = 0,001 \text{ m}^{-1}$, faktor polnjenja baterije $\zeta_p = 0,02 \text{ s}^{-1}$, kritični nivo baterije $C_o = 2 \%$, minimalni ocenjeni nivo baterije $C_d = 5 \%$, minimalni končni ocenjeni nivo baterije $C_k = 15 \%$, mejni nivo baterije $C_m = 30 \%$, minimalni nivo baterije po polnjenju $C_p = 80 \%$.

Na zemljevidu, ki je prikazan na sliki 3, smo simulirali izvajanje 200 naključnih nalog, ki jih opravlja $N_A = 10$ agentov. Slika 4 prikazuje časovne poteke stanj vseh agentov in tudi nivoje vseh baterij. Na sliki 4 so označeni tudi časovni trenutki dodeljevanja novih nalog in nalog polnjenja. Ko nivo bate-

rije pade pod mejni nivo C_m , se sproži iskanje plana do polnilnice. Če so vse polnilnice zapolnjene, opazimo, da gre agent v varno mesto, kjer čaka na prosto polnilnico – z izvajanjem novih nalog pa nadaljuje šele, ko baterija zopet doseže minimalni nivo napolnjenosti C_p . Čeprav vsak plan na koncu vsebuje tudi pot do varnega mesta, se izvajanje tega dela plana skoraj nikoli ne izvede ali pa se izvede le delno (razen, ko je zahtevano polnjenje). Običajno se takoj, ko je to mogoče, agentu dodeli nova naloga.

Delovanje večagentnega načrtovanja poti smo preizkusili še na dveh večjih zemljevidih 4x4 ter 10x10 (slika 5), ki sta zgrajena iz kopij osnovnega zemljevida (slika 3). Na sliki 6 so prikazani časovni poteki stanj še v primeru, kjer je $N_A = 10$ agentov opravilo 200 transportnih nalog na zemljevidu 4x4. V tem primeru je potrebnih več polnjenj, saj so razdalje do prevzemnih in dostavnih mest daljše. Ker so poti daljše, potrebujemo tudi več časa kot v prime-



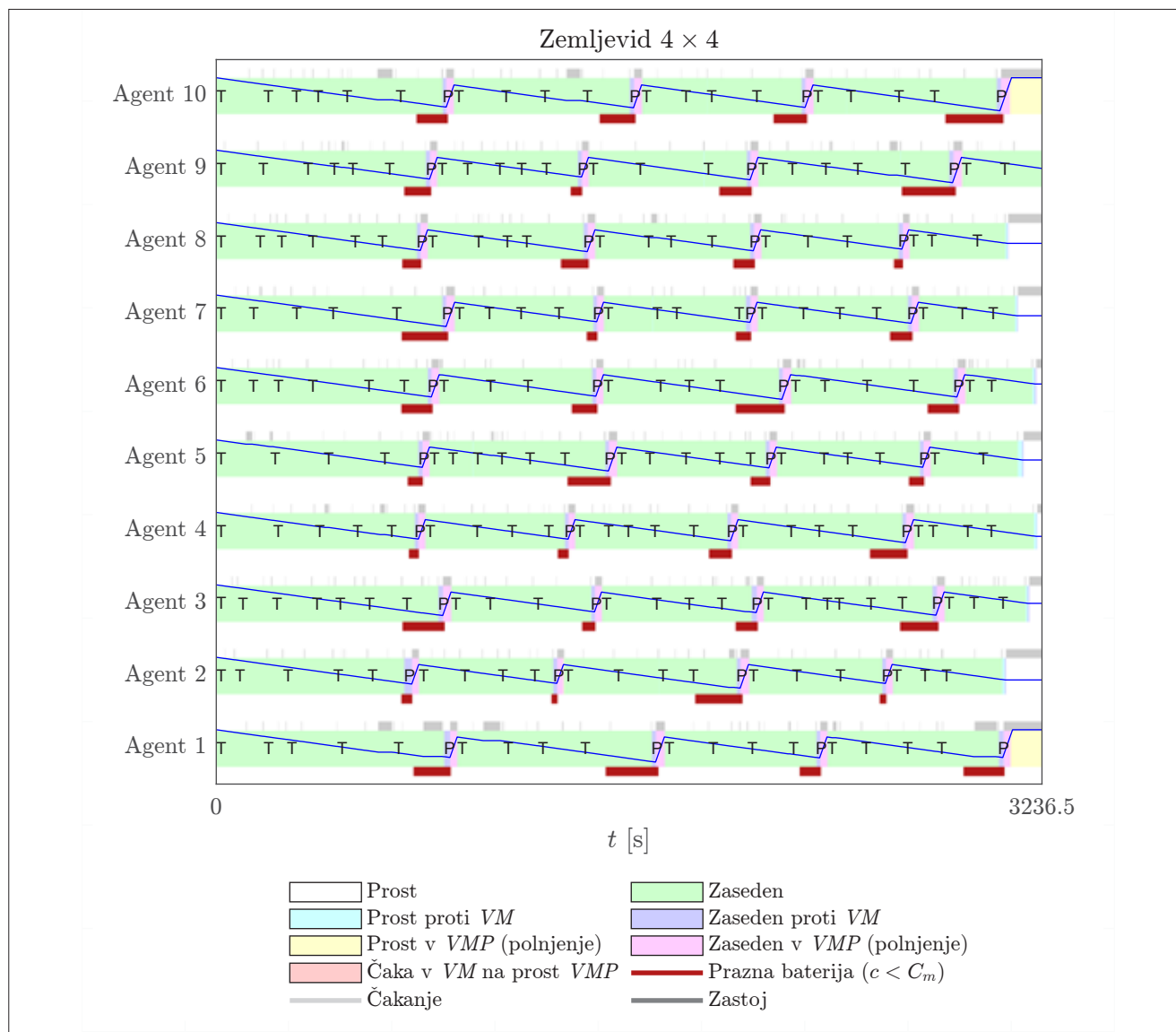
Slika 5 : Zemljevid 4×4 (928 vozlišč, 1160 povezav, 48 prevzemih mest, 32 dostavnih mest, 80 VM-jev, 32 VMP-jev) in zemljevid 10×10 (5800 vozlišč, 7340 povezav, 300 prevzemih mest, 200 dostavnih mest, 500 VM-jev, 200 VMP-jev) z nekaj vrisanimi plani

ru zemljevida 1×1 , da opravimo vse naloge. Noben agent nikoli ne čaka v varnem mestu na prosto polnilnico, saj vedno najdemo prosto polnilnico. Vendar vse polnilnice lahko ne bi bile dosegljive. To je posledica dejstva, da imamo več polnilnih mest kot agentov in da so naloge razporejene enakomerno po celotnem prostoru ter da je C_k dovolj velik, da lahko iz vsakega varnega mesta dosežemo celo več polnilnic.

S pomočjo zemljevidov 4×4 in 10×10 smo analizirali še računsko učinkovitost trenutne izvedbe al-

goritma. Uporabili smo različno število agentov, ki opravljajo transportne naloge. Simulacijsko analizo smo izvedli na računalniku z Intel Core i7-6700HQ in 16 GiB delovnega spomina. Slika 7 prikazuje čase načrtovanja poti t_c in čas izvedbe vseh nalog t_e na zemljevidu 4×4 za 2000 nalog ter na zemljevidu 10×10 za 12000 nalog pri različnem številu agentov N_A – tu smo uporabili veliko število nalog, da dobimo statistično reprezentativne rezultate.

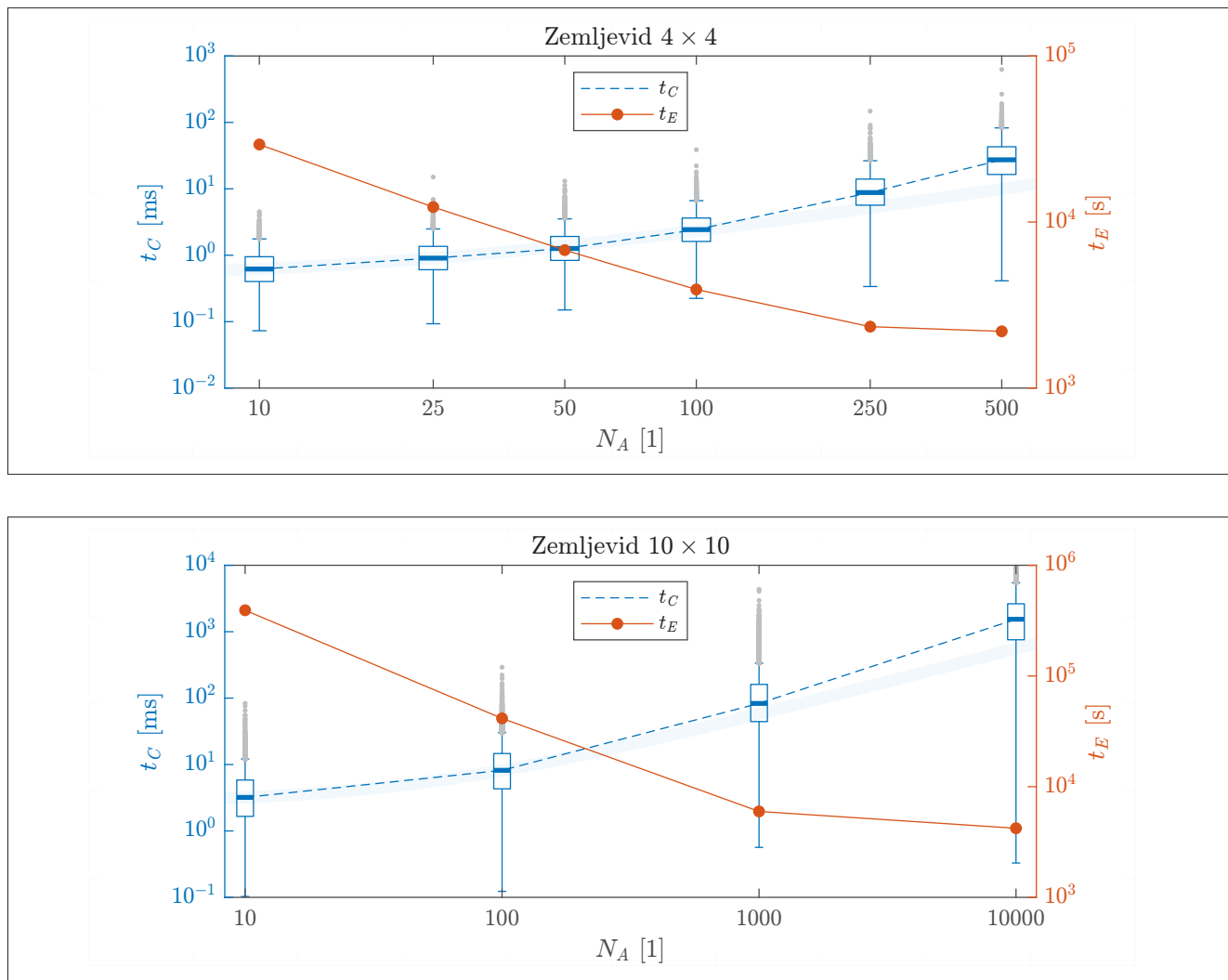
Iz podatkov o časih t_e za izvedbo vseh nalog (slika 7) lahko ugotovimo, da dvakrat več agentov lahko



Slika 6 : Časovni potek stanj agentov in stanj baterij pri izvajanju 200 nalog na zemljevidu 4x4 (glej opis na sliki 4)

opravi naloge skoraj dvakrat hitreje. Učinkovitost je odvisna od nalog, ki so v simuliranem primeru imele enakomerno izbrana ciljna mesta. Na zemljevidu 4x4 se pri 100 agentih čas t_E skrajša skoraj na deseto časa glede na 10 agentov – pri večanju števila agentov pa je prihranek časa zaradi naporov koordinacije ustrezno manjši. Tudi na velikem zemljevidu 10x10 opazimo, da 1000 agentov v primerjavi z 10 agenti lahko opravi skoraj 100-krat več nalog v enakem časovnem obdobju. To drži le, dokler ni agentov glede na velikost zemljevida preveč – v primeru zemljevida 4x4 se to zgodi pri 100 agentih, na zemljevidu 10x10 pa pri 1000 agentih. Če je agentov preveč, postane promet zelo zgoščen, zato je potrebno veliko dodatnega čakanja pri koordinaciji vozil, da ne pride do trkov. Za določen zemljevid torej ni smiselno uporabiti preveč agentov, saj na ta način ne moremo doseči izvedbe bistveno več nalog v eni časovni enoti.

Na sliki 7 opazimo tudi, da računska zahtevnost t_C narašča linearno s številom uporabljenih agentov. To je res, vse dokler ne dosežemo nasičenja, ko se računska zahtevnost poveča – a uporaba preveč agentov tudi ni smotrna. Glede na optimalne pristope v literaturi [1], kjer računska zahtevnost narašča eksponentno, je to za praktično uporabo obetaven rezultat. Razlogov za linearno naraščanje računske kompleksnosti je več. Vsak plan vnese nove intervale zasedenosti, ki lahko, ne pa vedno, razdrobijo varne intervale, kar povzroči dodatne vejitve stanj pri nižjeprioritetnih načrtovanjih poti. Kasneje se načrtovanje poti izvede le, ko določen agent opravi nalogo in postane prost ter je na voljo nova naloga. Takrat algoritem lahko pobriše znaten del intervalov zasedenosti v preteklosti, ki niso relevantni za prihodnost. To sprosti spomin in zmanjša število stanj, ki jih je potrebno pregledati med načrtovanjem poti.



Slika 7 : Čas načrtovanja poti t_C in čas izvedbe vseh nalog t_E glede na število agentov N_A na zemljevidu 4×4 z 2000 nalogami in zemljevidu 10×10 z 12000 nalogami

4 Zaključek

Predstavili smo izvedbo algoritma za večagentno načrtovanje poti. V članku je predstavljeno, kako lahko vpeljana varna mesta koristno uporabimo kot polnilnice. V algoritmu načrtovanja poti smo vključili implicitno iskanje planov do nabora možnih ciljev in ocenjevanje nivoja baterije. To omogoča načrtovanje poti, ki so dosegljive glede na trenutni nivo baterije in izvedbo načrtovanja poti v najprimernejšo polnilnico glede na ocenjene energijske potrebe. Predstavljeni algoritem je kompleten, omogoča vseživljenjsko delovanje in je praktično uporaben v različnih scenarijih. S simulacijskimi eksperimenti smo pokazali, da je trenutna izvedba algoritma za večagentno načrtovanje poti računsko zelo učinkovita in deluje hitro tudi za velike zemljevide z veliko agenti.

Viri

- [1] G. Sharon, R. Stern in sod. Conflict-Based Search for Optimal Multi-Agent Pathfinding. *Artificial Intelligence*, zv. 219, str. 40–66, 2015.
- [2] A. Andreychuk, K. Yakovlev in sod. Multi-Agent Pathfinding with Continuous Time. *Artificial Intelligence*, zv. 305, št. 103662, str. 1–32, 2022.
- [3] T. Žužek, R. Vrabič in sod. Simulation-Based Approach for Automatic Roadmap Design in Multi-AGV Systems. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, zv. 21, št. 4, str. 6190–6201, 2024.
- [4] V. Digani, L. Sabattini in sod. Ensemble Coordination Approach in Multi-AGV Systems Applied to Industrial Warehouses. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, zv. 12, št. 3, str. 922–934, 2015.
- [5] A. Zdešar, T. Žužek in sod. Vidiki koordiniranega načrtovanja poti na podlagi prioritet in časovnih oken za optimizacijo logistike avtomatsko vodenih vozil. V *Zbornik trinajste konference Avtomatizacija v industriji in gospodarstvu (AIG)*, str. 1–9. Društvo avtomatikov Slovenije, 2023.
- [6] M. Phillips in M. Likhachev. SIPP: Safe Interval Path Planning for Dynamic Environments. V *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, str. 5628–5635, 2011.
- [7] M. Bošnjak, A. Zdešar in sod. Vseživljenjsko večagentno načrtovanje poti.

gentno planiranje poti avtomatsko vodenih vozil v intralogistiki. Ventil: revija za fluidno tehniko in avtomatizacijo, zv. 29, št. 4, str. 246–253, 2023.

- [8] M. Bošnjak, A. Zdešar in sod. Managing Just-In-Sequence Micro-Logistics with Multi-Agent Path-Finding. V IEEE International Conference on Automation Science and Engineering (CASE),

str. 404–409. 2024.

- [9] A. Zdešar, M. Bošnjak in sod. Vpeljava varnih mest za vseživljenjsko večrobotsko planiranje poti v interni logistiki. V Zbornik triintridesete mednarodne Elektrotehniške in računalniške konference (ERK), str. 163–166. Slovenska sekcija IEEE; Fakulteta za elektrotehniko, 2024.

Multi-agent path planning for a fleet of automated guided vehicles in industrial setting with charging stations

Abstract:

The paper presents an approach that enables efficient multi-agent path planning. The environment is described by a graph that represents a network of roads and crossroads for vehicles of different shapes and velocities. The multi-agent pathfinding approach is based on a safe interval path planning algorithm with priorities and safe locations, which together allow for lifelong operation. The algorithm is complete and it produces near-optimal plans that are continuous in time and space. We have extended the algorithm with battery energy estimation, which allows finding only feasible plans. Since we also added an option that implicitly selects an optimal goal in a set of goals, we can achieve selection of a safe location or charging station already during planning. The proposed approach is practically applicable in a wide variety of realistic industrial scenarios for material handling within industrial setting, where charging of the agents during execution of the tasks is also considered. We also analysed the computational efficiency of the algorithm with respect to the number of vehicles and the size of the map. The results show that the presented approach is computationally efficient even in the case of a large number of vehicles and large maps.

Keywords:

path planning, multi-agent system, automated guided vehicles, industrial logistics, graphs, safe intervals, safe locations, charging stations, priorities

Zahvala

Avtorji se zahvaljujemo za finančno podporo Javni agenciji za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije in podjetju Epilog d. o. o. (št. L2-60153 in P2-0219).



Clean visions.



Inovativni sistemi stavbnega pohištva za sodobno arhitekturo.

Lasten razvoj, natančna izdelava in strokovna montaža vhodnih vrat, oken, steklenih fasad, zimskih vrtov in pregradnih sten.



VZDRŽEVANJE HIDRAVLIČNIH NAPRAV – 15. DEL

Franc Majdič

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

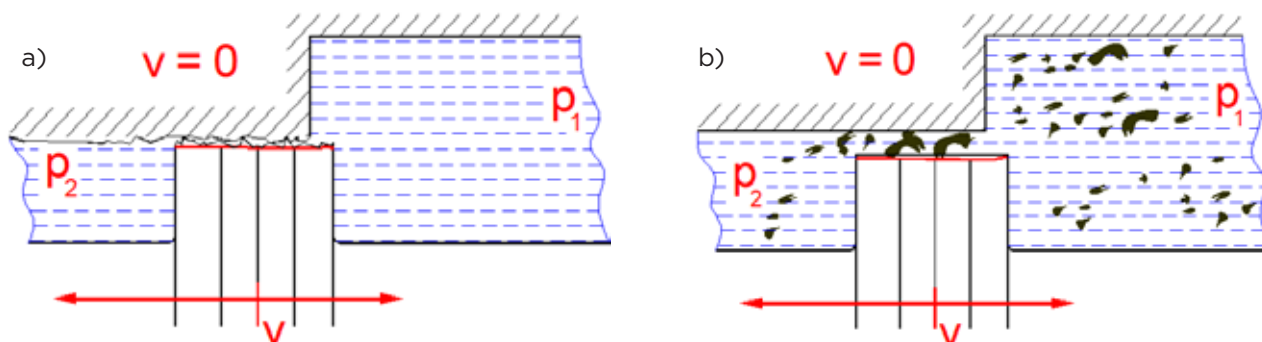
Povzetek:

V 15. delu vzdrževanja hidravličnih naprav bomo pisali o obrabi znotraj hidravličnih komponent, predvsem hidravličnih črpalk in drsniških ventilov. Vsi stroji se med delovanjem obrabljajo, izjema pri tem niso niti hidravlični. S tega vidika je namen proaktivnega vzdrževanja, da upočasni obrabo hidravličnih komponent in podaljša njihovo uporabno dobo. Da bi bili pri tem učinkoviti, je pomembno, da razumemo obrabne mehanizme in pogoje, pri katerih se komponente obrabljajo. Intenzivna obraba posledično skrajšuje uporabno dobo komponent. V prispevku bomo predstavili možne vrste obrab znotraj hidravličnih komponent, kako jih zmanjšati, in vrste mazanja, da dosežemo čim daljše delovanje hidravličnih strojev.

1 Vzroki za obrabo hidravličnih komponent in kako jo zmanjšati

Abrazivna obraba pomeni praskanje in razenje drsniških mazanih površin. Delimo jo na dvo- in tritelesno abrazijo. Dvotelesna abrazija (*slika 1a*) se pojavi, ko se dve mazani drsni površini dotakneta, običajno je

to posledica izrivanja oljnega filma. Tritelesna abrazija (*slika 1b*) se pojavi, ko se v režo med dve drsni površini zagosti trd delec in brazdi po drsni površinah. Posledica abrazivne obrabe (dvo- in tritelesne) je povečanje tesnilne reže znotraj hidravlične komponente, kar vodi v večje notranje puščanje, povečane volumetrične izgube in povišanje delovne temperature hidravlične kapljevine.



Slika 1 : Abrazivna obraba: a) dvotelesna in b) tritelesna

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



© The Authors 2025. CC-BY 4.0

<https://doi.org/10.5545/Ventil-31-2025-4.06>

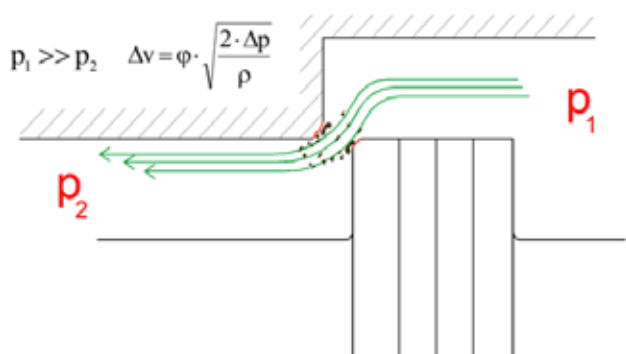
Adhezivna obraba pogosto izhaja iz dvotelesne abrazije. Ko se mazalni film med dvema drsnima površinama odstrani, se ti dve površini začneta obrabljati (dvotelesna abrazija). Rezultat brazdenja in poškodb drsniških površin vodi v višje trenje in poviša-



Slika 2 : Utrujnostna obraba – fizikalni princip

no temperaturo. Če sta trenje in ustvarjena toplota dovolj visoka, pride do adhezivnega – tornega zvara dveh drsnih površin. Čeprav je popolno zvarjenje dveh drsnih površin mogoče, je precej bolj pogost adhezivni prenos materiala (z mikroskopsko višjih vršičkov hrapavosti) z ene drsne površine na drugo.

Utrujnostna obraba (slika 2) se pojavi pri zelo obremenjenih mazanih kontaktih – posebej v ležajih in zobnikih, v hidravliki predvsem znotraj hidravličnih črpalk in motorjev. Točkovne obremenitve povzročijo najprej elastične deformacije drsne površine. Dolgotrajne dinamično-spreminjajoče se elastične napetosti drsnih površin sčasoma povzročijo utrujnostne poškodbe, kot so površinske razpoke in kasnejše lomljenje drsne površine.

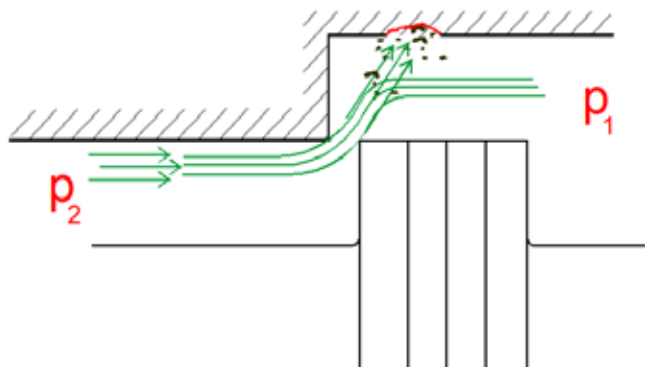
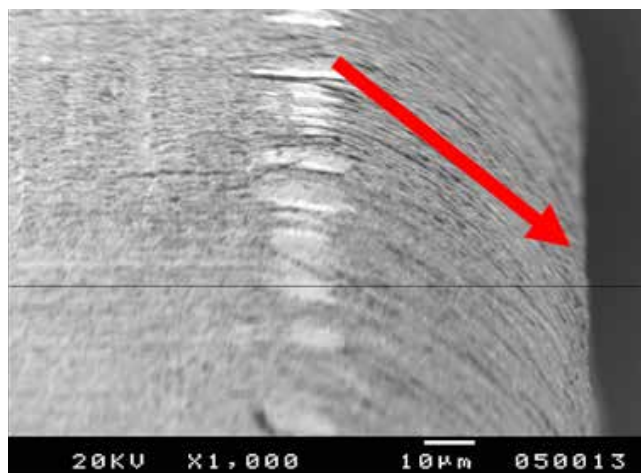


Slika 3 : Erozivna obraba znotraj hidravličnih sestavin: a) fizikalni princip, b) povečana slika erozijsko obrabljenega krmilnega roba bata potnega ventila – SEM

Erozijska obraba se pojavi predvsem takrat, ko je v hidravlični kapljevini velika količina zelo majhnih – kot mulj velikih trdih delcev (manjših od 2 mikrometra). Ko s trdimi delci kontaminirana kapljevina z veliko hitrostjo potuje mimo mazanih drsnih površin, predvsem na krmilnih robovih ventilov, erozivno odnaša material v tesnilni reži. Erozivna obraba (slika 3) znotraj hidravličnih sistemov je podobna klasični polirni pasti, ki polira in odnaša material. Posledice erozivne obrabe so povečana tesnilna reža, večje notranje puščanje hidravlične kapljevine in njena višja delovna temperatura.

Kavitacijska obraba se pojavi zaradi pojava parnih oljnih ali zračnih mehurčkov iz olja, npr. na vstopni – sesalni strani črpalke. Ti mehurčki se na izhodu – na tlačni strani – pod tlakom zmanjšajo. Mikrocurki zračnih mehurčkov, pomešanih v olju, imajo dovolj veliko energijo, da odnašajo (erodirajo) okoliški material s površine (slika 4). Posledično nastanejo poškodbe tesnilnih površin in novi delci, ki v nadaljevanju povzročajo tritelesno abrazijo ter erozijo.

Korozivna obraba se pojavi takrat, ko kemične reakcije povzročijo odnašanje materiala s površine. Rjavenje kovinskih materialov je najbolj pogost primer. Do rjavenja znotraj oljno-hidravličnih sistemov pri-



Slika 4 : Kavitacijska obraba: a) fizikalni princip, b) kavitacijsko obrabljena ventilska plošča zobniške črpalke z notranjim ozobjem

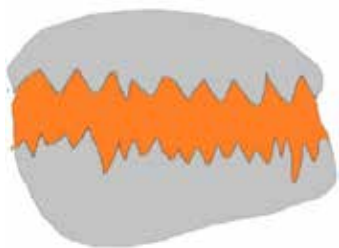


haja ob vstopu vode ali pri povišani temperaturi, ko kemični stranski produkti reagirajo z nekaterimi kovinami. Poleg tega so barvne kovine (broni) lahko občutljive na kemične napade nekaterih dodatkov, še posebej, če je v olju voda.

2 Osnove mazanja hidravličnih komponent

Omenjeno obrabo lahko znatno zmanjšamo z vzdrževanjem ustreznega mazanja. Poznamo tri glavne režime: hidrodinamično, elasto-hidrodinamično in mejno mazanje.

Hidrodinamično mazanje imenujemo tudi mazanje s »polnim« filmom. Obe drsni površini sta ločeni zaradi hidrodinamičnih sil in viskoznosti kapljevine (slika 5). Formiranje hidrodinamičnega filma je odvisno od geometrije površine, hitrosti, obremenitve in viskoznosti maziva. Debelina hidrodinamičnega mazalnega filma je običajno večja od 0,25 mikrometra.

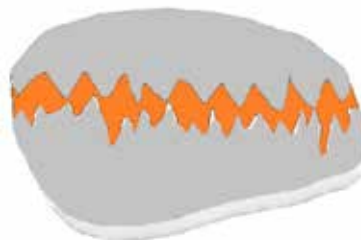


Slika 5 : Polni mazalni film prepreči kovinski kontakt drsnih površin.

Elasto-hidrodinamično mazanje (EHD) se imenuje tako zaradi formiranja hidrodinamičnega filma, ki je odvisen od elastične deformacije drsnih površin. EHD se pojavi, ko se drsne površine zbližajo v točki ali črti, kot je nagibna črta dveh zob zobnikov, ali v krogličnih in valjčnih ležajih. Ker se večji del obremenitve kratkotrajno prenaša preko majhnih površin, je kontaktni tlak zelo visok – vse do 35 tisoč bar. Tako visok kontaktni tlak povzroči, da olje med kontaktom postane trdo (viskoznost se mu ekstremno poveča). Debeline EHD filma so med 0,025 in 1 mikrometer.

Mejno mazanje se pojavi, ko oljni film ne prekrije vseh vršičkov hrapavosti obeh drsnih površin (slika 6). Pri teh pogojih sta trenje in obraba odvisna od kemičnih karakteristik maziva – hidravlične kapljevine. Mejno mazanje se zagotovi z dodatki hidravlični kapljevini, ki reagira z drsno površino, da oblikuje mehke, milnate filme in poveča mazljivost pri mejnih triboloških kontaktih. Ti dodatki se imenujejo protiobrabni (angl. AW – anti-wear) ali proti praskam (angl. anti-scuff). Najbolj uporabljeni protiobrabni dodatek hidravličnemu olju je cink dialkil

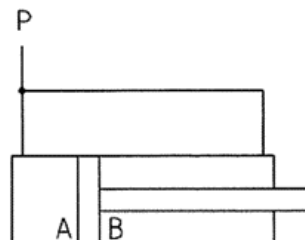
ditiofosfat (ZDDP, angl. Zinc dialkyl dithiophosphate). Pogoji za mejno mazanje so nezaželeni in se jim poskušamo izogniti, kjer je to le mogoče. To rešujemo z ustrežno kinematično viskoznostjo kapljevine, da ta lahko tvori polni mazalni film.



Slika 6 : Mejno mazanje - mazalni film prepreči kovinski kontakt drsnih površin.

Hidrostatično ravnotežje

Hidravlične komponente so edinstvene po tem, da je pri njih pogosto mogoče izravnati ali uravnotežiti hidrostatične sile za zmanjšanje obremenitev na mazanih površinah. Z zmanjšanjem površinske obremenitve v kontaktu lahko dosežemo pogoje za vzdrževanje polnega mazalnega filma. To pomeni, da se mejno mazanje pojavi z manjšo verjetnostjo. Hidrostatična sila je produkt tlaka in površine. Uravnoveženje hidrostatične sile dosežemo z enakim tlakom na nasprotni površini. Diferencialni hidravlični valj na sliki 7 predstavlja ta koncept uravnoveženja tlakov.

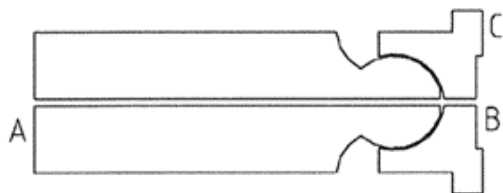


Slika 7 : Hidrostatično uravnovežen diferencialni hidravlični valj z obremenjenima mazalnima površinama.

Efektivna površina bata na strani batnice B predstavlja 75 % površine A. To pomeni, da je sila batnice hidravličnega valja (pri pomikanju ven iz cevi) 25 % sile, ki jo ustvari tlak na površini A. To je posledica uravnoveženja sile zaradi enakega tlaka na površini B. Ob predpostavki, da je viskoznost olja ustrezná, se lahko ustvari polni mazalni film.

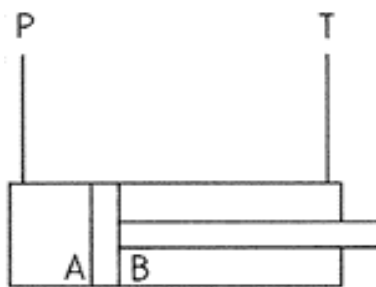
Enak princip se pojavi pri batu aksialne batne črpalke z nagibno ploščo (slika 8). Površina bata A je izpostavljena visokemu sistemskemu tlaku, ki prav tako deluje na površini B – na drsnem čevlju, ki drsi po nagibni plošči (ni prikazana na sliki). Površina B preko izvrtine v batu in čevlju predstavlja uravnoveženje sile. Površina C je drsno mazana površina drsnega čevlja na nagibni plošči. Razmerja

velikosti površin znotraj aksialnih batnih črpalk so različna. Predpostavimo, da je površina B 50 % od površine A in površina C 140 % površine A. To pomeni, da je sila na površini C za 50 % manjša od sile na površini A in se razdeli na 1,4-krat večji površini, tako se obremenitev drsnih površin čevljevca na nagibni plošči znatno zmanjša.



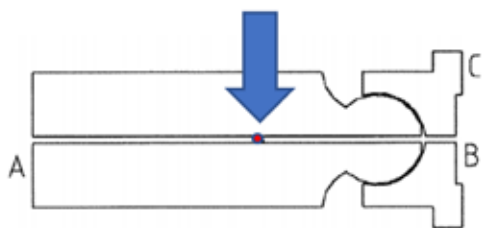
Slika 8 : Prerez bata z drsnim čevljevcom aksialne batne črpalke

Če se hidrostatsko ravnotežje spremeni – pri HV npr. ni tlaka na površini B (slika 9) – se sila na batnici hidravličnega valja poveča na 100 % sile, kar je posledica tlaka na površino bata A (površina kroga). Če je polni mazalni film odvisen od hidrostatskega ravnotežja znotraj HV, potem je v tem neuravnoteženem primeru mejno mazanje. To pa pogosto vodi v dvotelesno abrazijo.



Slika 9 : Hidrostatsko neuravnotežen diferencialni hidravlični valj

Prav tako se hidrostatsko ravnotežje poruši pri aksialni batni črpalci, če nečistoča znotraj hidravlične kapljavine zamaši mazalni kanal v batu z drsnim čevljevcom (slika 10). Posledica je, da se 100-odstotna sila na površini bata A prenese na površino C. Posledica zamašitve mazalnega kanala v batu je mejno mazanje in dvotelesna abrazija med drsnim čevljevcom in nagibno ploščo. To povzroči intenzivno obrabo drsnih čevljevcev in uničenje črpalke (slika 11).



Slika 10 : Prerez zamašenega mazalnega kanala v batu z drsnim čevljevcom pri aksialni batni črpalci



Slika 10 : Preobremenjen drsni čevljevca aksialne batne črpalke zaradi zamašenega mazalnega kanala

3 Sklepne misli

Hidrostatsko balansirani mazalni kontakti so zelo zaželeni v vseh hidravličnih komponentah. Delci znotraj hidravlične kapljavine lahko zamašijo mazalne kanale in povzročijo hidrostatsko neravnotežje ter posledično mejno mazanje, povečane obremenitve površine in povečano obrabo. V omenjenem primeru je najpogostejša adhezivna in abrazivna obraba. Poleg čistoče pa je najpomembnejši dejavnik, ki prepreči omenjeno obrabo, vzdrževanje ustrezne kinematične viskoznosti kapljavine. Ta vpliva na tvorjenje polnega mazalnega filma in prepreči mejno mazanje. Pri tem je vsekakor zelo pomembna uporaba ustrezne hidravlične kapljavine.

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.

REVILJA ZA FLUIDNO TEHNIKO, AVTOMATIZACIJO IN MEHATRONIKO
VENTIL



PODALJŠANJE UPORABNE DOBE HIDRAVLICNEGA OLJA IN VPLIV NA ENERGETSKO UČINKOVITOST

Aleš Hrobat, Jošt Mohorko, Vito Tič, Milan Kambič

Izvleček:

Na uporabno dobo hidravličnega olja imajo velik vpliv pogoji uporabe, prav tako pa njegova sestava. Proizvajalci imamo za proizvodnjo hidravličnih olj na voljo različne skupine baznih olj. Zaradi različnih lastnosti posameznih skupin je tudi uporabna doba končnega izdelka različna.

Prispevek obravnava hidravlična olja na osnovi različnih skupin baznih olj, njihove osnovne značilnosti in razlike med njimi. V nadaljevanju pa predstavlja novo serijo hidravličnih olj Energolubric z vidika podaljšanja uporabne dobe v primerjavi s klasičnimi hidravličnimi olji na mineralni osnovi. Prikazani bodo rezultati primerjalnega testiranja oksidacijske stabilnosti različnih olj. Prav tako bo obravnavan vidik energetske učinkovitosti obratovanja hidravličnega sistema, na katerega vpliva tudi hidravlično olje.

1 Uvod

Bazna olja so osnovna sestavina maziv in hidravličnih olj. Delijo se v več skupin glede na način njihove proizvodnje in lastnosti. Ločimo jih na pet glavnih skupin:

- ▶ skupina I: mineralna bazna olja, pridobljena s tradicionalnimi rafinerijskimi postopki, ki vključujejo destilacijo in obdelavo s topili. Imajo nižjo oksidacijsko stabilnost in večjo vsebnost nečistoč v primerjavi z višjimi skupinami;
- ▶ skupina II: bolj prečiščena mineralna olja, pridobljena s hidrokrekingom, kar jim zagotavlja boljše lastnosti, kot so višja odpornost proti oksidaciji in daljša uporabna doba;
- ▶ skupina III: visoko prečiščena mineralna olja, pridobljena s procesom hidrokrekinga in izomerizacije, zaradi česar se po kakovosti približujejo sintetičnim oljem;
- ▶ skupina IV: sintetična olja na osnovi polialfaolefinov (PAO), ki imajo odlično oksidacijsko stabilnost, nizko hlapnost in širok temperaturni razpon uporabe;
- ▶ skupina V: različna olja, ki niso vključena v sku-

pine I-IV (npr. estrska olja), ki se uporabljajo v specifičnih primerih zaradi izjemnih mazalnih lastnosti in odpornosti proti staranju.

Vsaka skupina baznih olj ima svoje prednosti in slabosti, ki vplivajo na končne lastnosti hidravličnih olj. Izbira ustreznega baznega olja je ključna za doseganje optimalne zmogljivosti in dolge uporabne dobe hidravličnih sistemov [1], [2], [3], [4].

Podaljšanje uporabne dobe mineralnega hidravličnega olja je tesno povezano z njegovo oksidacijsko stabilnostjo. Oksidacija povzroča nastanek kislin, lakov in drugih škodljivih produktov, ki lahko poslabšajo delovanje sistema. Uporaba visoko prečiščenih mineralnih olj ali sintetičnih alternativ s posebej formuliranimi antioksidanti lahko znatno upočasni ta proces, kar podaljša intervale menjave olja in zmanjša stroške vzdrževanja [2], [4].

Poleg tega ima hidravlično olje pomemben vpliv na energetsko učinkovitost hidravličnega sistema. Njegova sestava in viskoznost vplivata na trenje, izgube energije in temperaturo delovanja. Hidravlična olja z nižjo viskoznostjo pri nizkih temperaturah in stabilnimi viskoznostnimi lastnostmi pri visokih temperaturah prispevajo k zmanjšanju porabe energije ter izboljšanju učinkovitosti sistema.

Zaradi teh razlogov se v industriji vse bolj uveljavljajo hidravlična olja, ki temeljijo na baznih oljih višjih skupin in vsebujejo napredne aditive, ki izboljšujejo oksidacijsko stabilnost in energetsko učinkovitost. Takšen primer so v zadnjih letih tudi stroji za brizganje plastike.

izr. prof. dr. Vito Tič, univ. dipl. inž., Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo, Aleš Hrobat, Jošt Mohorko, dr. Milan Kambič, univ. dipl. inž., vsi Olma d. o. o., Ljubljana



© The Authors 2025. CC-BY 4.0

<https://doi.org/10.5545/Ventil-31-2025-4.07>

Stroji za brizganje plastike so energetsko intenzivni, saj vključujejo segrevanje materiala, delovanje hidravličnih pogonov in hlajenje. Merjenje njihove električne porabe nam omogoča [5]:

- ▶ spremljanje porabe v realnem času: tako lahko ugotovimo, kdaj stroj porablja največ energije (ob zagonu, med delovanjem, v stanju pripravljenosti ali ob izklopu);
- ▶ analizo ciklov brizganja: primerjava porabe med različnimi orodji ali izdelki razkrije, kateri programi ali postopki so bolj (ali manj) energetsko učinkoviti;
- ▶ ocenjevanje stroškov na izdelek: če poznamo porabo na cikel, lahko izračunamo, koliko električne energije porabimo za posamezen kos – to je koristno za kalkulacijo stroškov in določanje cen;
- ▶ prepoznavanje odstopanj in napak: nenadna povečanja porabe lahko kažejo na mehansko okvaro, neustrezno vzdrževanje ali spremembe v obratovalnih pogojih;
- ▶ iskanje možnosti za optimizacijo: na primer, če opazimo visoko porabo v času mirovanja, lahko razmislimo o samodejnem preklopu v varčni način ali zmanjšanju tlaka v hidravličnem sistemu.

2 Vpliv oksidacijske stabilnosti na uporabno dobo olja

Oksidacijska stabilnost je ena ključnih lastnosti olja za zanesljivo in dolgotrajno delovanje hidravličnih sistemov. Oksidacija je naraven kemijski proces, pri katerem olje reagira s kisikom – še posebej pospešeno pri višjih temperaturah, v prisotnosti kovinskih delcev ali vode. Posledica je nastanek organskih kislin, lakov, muljev in drugih škodljivih produktov razgradnje, ki povzročajo obrabo, mašijo filtre, zmanjšujejo učinkovitost ventilov ter vplivajo na viskoznost olja. Ti razgradni produkti poslabšajo delovanje hidravličnega sistema, dolgoročno pa lahko povzročijo tudi okvare komponent in višje stroške popravil. Zato je izbira ustreznega hidravličnega olja izjemnega pomena. Uporaba visoko prečiščenih mineralnih olj, izdelanih z modernimi postopki (npr. hidrokrekling), ali prehod na sintetična olja z večjo toplotno in kemijsko odpornostjo omogoča bistveno boljšo zaščito pred oksidacijo. Še dodatno učinkovitost zagotavljajo posebej formulirani antioksidanti, ki upočasnjujejo razgradnjo baznega olja in ohranjajo njegove lastnosti čez daljše časovno obdobje.

Zaradi teh izboljšav se podaljšajo servisni intervali, zmanjšajo se pogostost menjav olja in količina odpadnega olja ter stroški, povezani z vzdrževanjem in zamenjavami filtrov. Poleg tega se poveča zanesljivost delovanja celotnega sistema in zmanjša tveganje za nenačrtovane izpade. Skratka: pravilna izbira olja in razumevanje njegove oksidacijske stabilnosti imata neposreden vpliv na učinkovitost,

varnost in ekonomiko delovanja hidravličnih naprav.



Slika 1 : Instrument RapidOxy 100 za merjenje oksidacijske stabilnosti olj

Oksidacijsko stabilnost različnih hidravličnih olj viskoznoznostnega razreda ISO VG 46 smo merili z instrumentom RapidOxy 100, prikazanim na *sliki 1*.

Oksidacijsko stabilnost smo določili tako, da smo merili čas od začetka testiranja pa do trenutka, ko se je tlak kisika ali sintetičnega zraka v napravi znižal za 10 % glede na začetno vrednost. Rezultati meritev so prikazani v *tabeli 1*. Vidimo lahko, da je oksidacijska stabilnost olj Energolubric neprimerno višja kot pri vseh drugih oljih. V nekaterih primerih celo več kot dvakrat višja. Glede na to ni presenetljivo, da se ta olja pri praktični uporabi ob enakih obratovalnih pogojih odlikujejo z daljšo uporabno dobo kot nekatera druga olja. To pa seveda pomeni nižje skupne stroške ne glede na nekoliko višjo ceno teh olj.

Tabela 1 : Oksidacijska stabilnost različnih olj

Naziv olja	Metoda	Vrednost [min]
Energolubric 3046 ZF	ASTM D8206	1310
Energolubric 2046 ZF	ASTM D8206	1300
Energolubric 4046 ZF	ASTM D8206	1220
Energolubric 2046	ASTM D8206	1067
Hydrolubric VG 46	ASTM D8206	664
Hydrolubric HD 46	ASTM D8206	570
Hydrolubric HLP 46	ASTM D8206	529
Hydrolubric VGS 46	ASTM D8206	672
Hydrolubric HVLP 46	ASTM D8206	787
Hydrolubric VG 46 D	ASTM D8206	536

3 Vpliv hidravličnega olja na energetsko učinkovitost

Stroji, kjer smo merili, oziroma še merimo porabo električne energije, so stroji za brizganje plastike Krauss Maffei 1100 MX, Krauss Maffei 1150 MX in Kraus Maffei KM 1000. Na prvem stroju smo meritve najprej opravili s klasičnim hidravličnim oljem Hydrolubric VG 46, potem pa polnitev zamenjali z vrhunskim, energetsko varčnim oljem Energolubric 2046 in ponovili meritve. Na drugem stroju smo meritve najprej opravili z oljem Hydrolubric VG 46 HC, nato pa z oljem Energolubric 2046.

Na obeh strojih so bile opravljene meritve porabe električne energije najprej na glavnem dovodu električne energije v stroj, ki zajema vse električne porabnike stroja, pri čemer največje porabnike energije predstavljajo elektromotor hidravlične črpalke in grelniki plastične mase.

Meritve so bile opravljene s strojno in programsko opremo Beckhoff, pri čemer se je uporabil modul za merjenje električne energije EL3443 v kombinaciji s SCT6421 – 500 A tokovniki z natančnostnim razredom 0,5. Omenjena strojna in programska oprema omogoča zajemanje in beleženje številnih električnih veličin, kot so napetosti, tokovi, aktivna električna moč in energija ter druge s frekvenco 50 Hz oziroma vsakih 20 ms.

V sklopu vsake meritve porabe električne energije na posameznem stroju ob uporabi klasičnega in energetsko varčnega olja so bile opravljene po 3 meritve z namenom preverjanja ustreznosti in ponovljivosti meritev kakor tudi samega delovanja stroja.

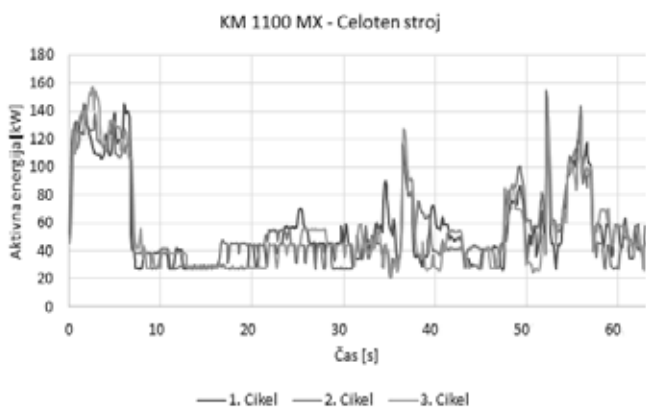
Analiza posameznih meritev je žal pokazala, da merjenje in zajemanje porabe električne energije na glavnem dovodu električne energije v stroj ni bila smiselna in pravilna izbira, saj je praktično nemogoče doseči ponovljivosti delovanja stroja v posameznih ciklih. Stroj namreč vsebuje mnoge re-

Tabela 2 : Primerjava poprečne aktivne energije

KM 1100 MX (30 min interval)	Poprečna aktivna energija [kW]	
Hydrolubric VG 46 – 1. meritev	53,3	53,35
Hydrolubric VG 46 – 2. meritev	53,4	
Energolubric 2046 – 1. meritev	50,7	51,05
Energolubric 2046 – 2. meritev	51,4	

gulacijske kroge, kot npr. za vzdrževanje temperature plastične mase, kjer se grelci vklaplajo v različnih frekvencah in intervalih. To je razvidno s *slike 2*, ki prikazuje meritve aktivne električne energije na stroju KM 1100 MX z uporabo olja Energolubric 2046 v treh zaporednih ciklih delovanja, pri čemer je čas trajanja cikla 63,0 sekunde. Vidimo, da se poraba energije v posameznem ciklu zelo razlikuje, zato je s tem načinom meritve praktično nemogoče doseči ponovljivost in primerljivost meritev.

Čeprav podrobna analiza aktivne energije v posameznih ciklih kaže močno neponovljivost vklopa grelcev, smo kljub temu opravili številčno analizo povprečne aktivne električne energije v polurnem intervalu delovanja stroja, pri čemer je vpliv delovanja grelnikov do neke mere odstranjen, saj takšna meritev vsebuje njihovo povprečno porabo v omenjenem polurnem intervalu. Tabela 2 prikazuje povprečno aktivno energijo pri delovanju stroja KM 1100 MX v 30-minutnem intervalu pri uporabi klasičnega hidravličnega olja Hydrolubric VG 46 ter energetsko varčnega hidravličnega olja Energolubric 2046. Čeprav se zavedamo, da tovrstna meritev porabe na glavnem dovodu električne energije v sam stroj ni popolnoma merodajna, pa prve analize porabe električne energije pri uporabi energetsko varčnega hidravličnega olja Energolubric 2046 kažejo na določene prihranke v višini 4,3 %.



Slika 2 : Primerjava meritev treh zaporednih ciklov na glavnem dovodu električne energije



Slika 3 : Primerjava meritev treh zaporednih ciklov na pogonskem elektromotorju

Ker izvedene meritve na prvih dveh strojih kažejo obetavne rezultate, zdaj nadaljujemo z izvedbo meritev na samem pogonskem elektromotorju hidravlične črpalke, s čimer se bodo izločili vplivi drugih porabnikov energije, kot so npr. grelniki. Meritve nadaljujemo na tretjem stroju Krauss Maffei KM 1000, pri katerem je načrtovana menjava trenutno uporabljanega klasičnega hidravličnega olja Hydro-lubric VG 46 z energetsko varčnim oljem Energolubric 2046.

Meritve še niso zaključene. Kljub temu pa lahko prikažemo prve analize meritev, ki potrjujejo, da so zdaj rezultati meritev treh zaporednih ciklov mnogo bolj ponovljivi in primerljivi, kar prikazuje slika 3.

4 Sklep

Z raziskavo smo pokazali, da ima izbira ustreznega hidravličnega olja pomemben vpliv tako na podaljšanje njegove uporabne dobe kot tudi na energetsko učinkovitost hidravličnih sistemov. Primerjalne meritve oksidacijske stabilnosti jasno kažejo, da olja višjih kakovostnih razredov, kot je tudi olje Energolubric 2046, omogočajo bistveno daljše čase uporabe, kar neposredno vpliva na daljše servisne intervale, manjše stroške vzdrževanja in zmanjšano količino odpadnega olja.

Poleg tega preliminarne meritve porabe električne energije pri delovanju strojev za brizganje plastike nakazujejo na opazne energetske prihranke pri uporabi energetsko varčnega hidravličnega olja, tudi do 4,3 %, čeprav je zaradi kompleksnosti sistema natančna analiza zahtevna. Meritve, osredotočene na sam pogonski elektromotor hidravlične črpalke, pa že kažejo večjo ponovljivost in zanesljivost rezultatov, kar bo omogočilo še bolj natančno oceno energetske učinkovitosti v nadaljevanju.

Zato lahko zaključimo, da je uporaba naprednih hidravličnih olj z večjo oksidacijsko stabilnostjo in izboljšanimi viskoznostnimi lastnostmi smiselna tako z vidika tehnične učinkovitosti kot tudi z ekonomskega in okoljskega vidika.

Viri

- [1] Kambič, M.: Mala šola mazanja, Profidtp, Škofljica, 2022.
- [2] Kambič, M.: Razvoj in praktična uporaba vrhunskega hidravličnega mineralnega olja, Ventil 28(2022)4, str. 268–275.
- [3] Kambič, M.: Mineralna bazna olja, IRT3000 16(2021)6, str. 128–130.
- [4] Kambič, M.: Premium quality hydraulic oils, Fluidna tehnika 2021, str. 231–241.
- [5] O. AI, »Open AI« 2025 (<https://openai.com>).

Zanesljivi partner
vaše proizvodnje

OLMA
www.olma.si

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

Quaker Houghton
MOTUL TECH Baraldi
tribo-chemie
setral
SLOVENOIL
STORM

PREMIKI V VSE SMERI

Klasika v tehnologiji transportnih trakov: kroglične prenosne enote. Ko gre za vrtenje, premikanje ali transport obdelovancev z minimalnim naporom, so prva izbira. Zato podjetje Elesa+Ganter zdaj ponuja nove različice.



Kot mnogi standardni elementi so tudi kroglične prenosne enote v vsakdanjem življenju komaj opazne – vendar je njihova funkcija bistvena: omogočajo energijsko učinkovito, hitro in varno premikanje obdelovancev po kompleksnih tekočih trakovih ali proizvodnih linijah. Ker kroglice omogočajo premikanje v vseh smereh, je te elemente mogoče uporabiti za širok spekter aplikacij, vključno s specifičnimi področji.

Posledično imajo kroglične prenosne enote stalno mesto v portfelju podjetja Elesa+Ganter: zato zdaj vodilno podjetje na trgu standardiziranih elementov širi serijo GN 509 z dodatnimi različicami iz jekla in plemenitega jekla.

Različico GN 509.5 je mogoče enostavno in varno namestiti z vijakom na spodnji strani ohišja – idealno za uporabe, kjer je treba kroglične prenosne enote zavarovati pred izpadom. Struženo ohišje je na voljo v izključno valjasti obliki ali z obročem. V nasprotju s tem ima GN 509.6 kratek notranji navoj in je s svojim valjastim ohišjem idealen za uporabo na primer za stranska vodila.

Integrirano navpično vzmetenje razširja funkcionalnost izdelkov GN 509.7. Vzmet tako zagotavlja enakomernejšo porazdelitev obremenitve na so-

sednje kroglične prenosne enote, zmanjšuje obrabo in ščiti komponente – očitna prednost, zlasti pri neravnih spodnjih straneh obdelovanca. Hkrati se aktivira zaščita pred preobremenitvijo. Če je presežena največja nosilnost, se vzmet kroglične prenosne enote popolnoma stisne. To preprečuje nadaljnje premikanje transportiranega materiala in s tem preprečuje poškodbe.

Izdelek GN 509.8 ima veliko enostavnejšo konstrukcijo: ohišje je izdelano iz jeklene pločevine, ki služi tudi kot pritrdilna prirobnica. Ta kroglična transportna enota je zasnovana za manjše nosilnosti in je na voljo tudi s kroglicami iz POM. V GN 509.10 se sorazmerno majhna kroglica iz plemenitega jekla premika v drsnem ležaju iz umetne mase.

GN 509.11 temelji na povsem drugačnem konceptu ohišja – na prvi pogled kroglična prenosna enota spominja na potisni element z zunanjim navojem, vendar ima v drsnem ležaju iz umetne mase na konici integrirano kroglico. Zunanji navoj omogoča pritrditev in natančno nastavitev kroglične prenosne enote.

Standard GN 509 zdaj vključuje skupno devet tipov krogličnih prenosnih enot, ki se razlikujejo po dimenzijah, vrstah ležajev, možnostih pritrditve, materialih in nosilnosti. Za lažjo izbiro in dimenzioniranje podjetje Elesa+Ganter nudi tudi tehnični list. Vsebuje praktične informacije o optimalni razporeditvi krogličnih prenosnih enot glede na smer transporta ter o medsebojnem delovanju trenja, temperaturne odpornosti in hitrosti transporta.

Z razširjeno ponudbo izdelkov Elesa+Ganter ponuja projektantom še širši nabor rešitev za učinkovito, prilagodljivo in vzdržljivo transportno tehnologijo.

Vir:

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

© Avtorji 2025. CC-BY 4.0

PRECIZNI, IZRAVNALNI IN OKRETNI

I Podjetje Elesa+Ganter razširja program krogelnih zglobov s kotnimi in aksialnimi zglobi.



Kjerkoli je potrebno natančno prenašanje sil in hkrati izravnavanje netočnosti pri montaži, so krogelni zglobi del standardnega konstrukcijskega repertoarja. Tolerantni povezovalni členi so nepogrešljivi tudi v visokotehnoloških aplikacijah, kot sta robotika in avtomatizacija. Podjetje Elesa+Ganter razširja program z novimi aksialnimi zglobi GN 71802.1.

Če se osi stikajo pod pravim kotom, jih je mogoče povezati s krogelno glavo in krogelnim ležiščem kot krogelnim spojem. Serija DIN 71802 je zasnovana tako, da tolerira odstopanja do 18 stopinj od 90-stopinjskega kota. Povezavo krogelne glave in ležišča varuje integrirani vskočnik z možnostjo ročnega popuščanja. Za zahtevnejše pogoje delovne varnosti so na voljo oblike z varovalnim lokom, ki krogelno ležišče zapre in tako prepreči demontažo. Model DIN 71802 je na voljo s premeri krogel med 8 in 19 mm iz jekla ali plemenitega jekla, ima pa tudi možnost metričnega navoja ali kovičenega krogelnega stebra.

Novi aksialni zglobi GN 71802.1 prav tako izravnavajo odstopanja poravnave ± 18 stopinj. Zglobi so v prvi vrsti zasnovani za prenos tlačnih sil po vzdolžni osi brez kotnega zamika, kar je zahteva npr. v linearnih pogonih ali dvigalnih sistemih. Pri vlečnih silah integrirani vskočnik služi kot varovalka do določene minimalne vlečne sile.

Namaščeno krogelno ležišče pri obeh vrstah zglobov zagotavlja lahko premikanje tudi pri daljšem obdobju uporabe. Primerni dodatni tesnilni pokrovčki GN 710 iz kloroprenskega kavčuka ščitijo pred onesnaženjem in zmanjšujejo potrebo po vzdrževanju. Za aplikacije, pri katerih je potrebna blokada aksialne poravnave, je priporočljiva uporaba preizkušene krogličnega zgloba GN 782. Zaradi spremenljive prednapetosti štirih vgrajenih krožnikastih vzmeti je mogoče gibljivost zglobne krogle zmanjšati ali popolnoma izključiti. Narebreni vpenjalni vijaki in vpenjalne matice omogočajo pritrditev brez orodja, z viličastim ključem pa je mogoče nastaviti višje vrednosti trenja. Na strani priključka je na voljo notranji navoj, zunanji navoj ali kombinacija obojega.

Krogelni zglob GN 784 se z vidika konstrukcije in funkcije občutno razlikuje od opisanih tipov. Sestavljen je iz masivnega cilindričnega ohišja z veliko, premično kroglo, katere vpenjalna mehanika se aktivira z vpenjalno ročico ali navojnim zatičem. Uporabljeni zatezni moment se tako pretvori v petkrat višji zadrževalni moment na zglobni krogli. Tip zgloba, ki je poznan iz fotografskih stativov, dandanašnji služi predvsem za montažo in nastavitve ogledal, kamer ali drugih senzorjev v industrijskem kontekstu.

Vir:

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

© Avtorji 2025. CC-BY 4.0

KAJ SO PNEVMATSKI DUŠILCI ZVOKA IN KAKO DELUJEJO?

V industrijskih in avtomatizacijskih sistemih, kjer se uporabljajo pnevmatske naprave, lahko pride do sproščanja stisnjenega zraka, kar pogosto povzroči neželen hrup, ki ni samo moteč za delavce, temveč tudi dolgoročno vpliva na zdravje in povzroča poškodbe sluha. Tu se lahko uporabijo pnevmatski dušilci zvoka, ki so zasnovani za zmanjšanje ravni hrupa, hkrati pa omogočajo pravilno delovanje sistemov.

Kaj so pnevmatski dušilci zvoka?

Pnevmatski dušilci zvoka so naprave, ki se pritrdijo na odprtine, kjer izhaja stisnjeni zrak iz pnevmatskih komponent, kot so ventili in cilindri. Njihov osnovni namen je zmanjšati hitrost in zvočni val, ki nastane, ko zrak zapuša sistem, ne da bi pri tem bistveno vplivali na delovanje celotnega pnevmatskega procesa.

Ti dušilci lahko močno znižajo nivo hrupa – v nekaterih primerih celo za več kot 30 dB. Poleg zmanjševanja hrupa delujejo tudi kot filter, ki preprečuje vdor umazanije, prahu ali delcev nazaj v sistem.

Kako delujejo pnevmatski dušilci zvoka?

Načelo delovanja teh dušilcev temelji na upočasnitvi pretoka zraka skozi porozen ali perforiran material. Ko stisnjeni zrak prehaja skozi dušilec, se njegova moč in hitrost razpršita na več mikropoti. S tem se zmanjša energija zračnega toka, kar vodi do tišjega izstopa zraka.

Najpogostejše uporabljeni materiali za izdelavo dušilcev so:

- ▶ bronasti ali medeninasti materiali (zaradi odpornosti in vzdržljivosti),
- ▶ plastični kompoziti (za lažjo in cenovno ugodnejšo izvedbo),
- ▶ sintrani nerjavni materiali (zaradi fine strukture in odlične odpornosti).

Notranja struktura teh materialov omogoča gladko kroženje zraka, pri čemer se zmanjšujeta turbulenca in zvočna resonanca. Dušilci so običajno vijačeni neposredno v izpustni priključek pnevmatskih ventilov ali cilindrov.

Vrste pnevmatskih dušilcev zvoka

Obstaja več vrst pnevmatskih dušilcev, ki se razlikujejo glede na aplikacijo in konstrukcijo:

- ▶ dušilci za neposredno privijačenje na ventil ali cev z notranjim ali zunanjim navojem;
- ▶ dušilci z regulacijo pretoka – omogočajo nastavljanje hitrosti izpusta zraka;
- ▶ kombinirani filtrirni dušilci – poleg zvoka filtrirajo še delce in mikronečistoče.



Dušilci zvoka

Izbira prave vrste je odvisna od sistema, tlaka, hitrosti pretoka in zahteve po zmanjšanju hrupa.

Koristi uporabe pnevmatskih dušilcev

Uporaba dušilcev zvoka v pnevmatskih sistemih prinaša številne prednosti:

- ▶ zmanjšanje hrupa – kar povečuje udobje in produktivnost na delovnem mestu;
- ▶ zaščita opreme – preprečuje vdor prahu in mikrododelcev v občutljive komponente;
- ▶ podaljšana življenjska doba pnevmatskih naprav zaradi bolj nadzorovanega izpusta zraka;
- ▶ povečana varnost in skladnost s predpisi s področja industrijskega hrupa.

Zaključek

Pnevmatski dušilci zvoka so nepogrešljiva komponenta v številnih industrijskih sistemih, ki uporabljajo stisnjeni zrak. Ne samo da omogočajo učinkovitejše in tišje delovanje naprav, temveč prispevajo tudi k varnosti in zdravju delavcev. Z njihovo pravilno uporabo lahko bistveno izboljšamo delovno okolje ter obenem zaščitimo svojo opremo. Pri izbiri dušilca je priporočljivo upoštevati specifične potrebe sistema, da zagotovimo najboljše rezultate.

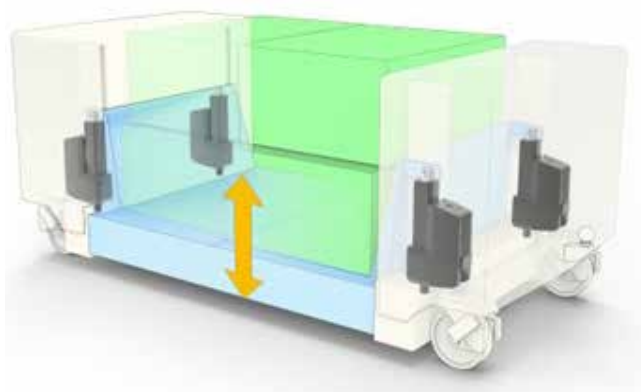
Vir:

S3C, d. o. o., Tržaška cesta 116, 1000 Ljubljana, tel: 030 60 90 70. internet: www.s3c.si, g. Grega Arko

© Avtorji 2025. CC-BY 4.0

ELECTRAK® HD ZANESLJIVO NADZORUJE URAVNOTEŽENJE TUDI PRI NAJZAHTEVNEJŠIH OBREMENITVAH.

NOVA SINHRONIZACIJA NA PODLAGI POLOŽAJA



Sinhrono delovanje aktuatorjev THOMSON LINEAR

Z združevanjem naprednega zaznavanja položaja in komunikacijskih zmogljivosti je podjetje THOMSON LINEAR izboljšalo možnost sinhronizacije aktuatorjev, da bi uporabniki lahko dosegli večjo učinkovitost, moč in varnost pri zahtevnih aplikacijah.

Trenutno je ta možnost na voljo za priljubljen pametni električni linearni aktuator Electrak® HD. Možnost sinhronizacije na podlagi položaja podpira do osem enot, ki so med seboj povezane v realnem času z omrežjem CAN bus, kar zagotavlja popolnoma usklajeno delovanje.

Vsak aktuator oddaja stalen signal »srčnega utripa«, ki omogoča zaznavanje položaja vseh enot. Če en aktuator zazna večjo obremenitev, bo ostalim poslal signal, naj upočasnijo hitrost, da ohranijo enak položaj.

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

Vir:

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

© Avtorji 2025. CC-BY 4.0

THOMSON LINEAR: NAJNOVEJŠI AKTUATOR H-TRACK ZA APLIKACIJE V POMORSTVU

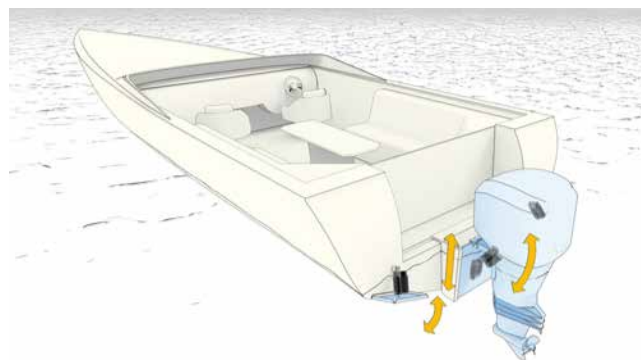
Aktuatorji H-Track proizvajalca THOMSON LINEAR so znani po svoji inovativni kombinaciji izjemne nosilnosti, hidravličnih zmogljivosti in elektromehaniških prednosti kompaktne zasnove, ki ne potrebuje vzdrževanja. Podjetje je njihove zmogljivosti razširilo z odpornostjo proti koroziji na površini morja in pri podvodnem delovanju.

Najnovejše nadgradnje vključujejo:

- ▶ komponente iz nerjavečega jekla 316 (pritrdilni elementi, adapterji in batnica),
- ▶ certifikat za dolgotrajno izpostavljenost,
- ▶ IP68 za podvodno delovanje,
- ▶ zatesnjeno ohišje pogona,
- ▶ izpopolnjeno zasnovo.

Te izboljšave širijo primernost aktuatorjev H-Track za uporabo v pomorstvu, kmetijstvu in industriji.

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



Primer aplikacije z aktuatorji H-Track

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 2025. CC-BY 4.0

FOCUS-1 – PAMETNI VENTIL ZA NOVO INDUSTRIJSKO DOBO

Industrijski procesi se spreminjajo. Nekoč je veljalo, da je vsak del sistema specializiran za eno nalogo – ločen senzor za tlak, ločen merilnik pretoka, ločen ventil, ločena regulacija. Danes pa se vse bolj uveljavljajo rešitve, ki združujejo več funkcij v eni napravi. Eden najboljših primerov tega trenda je FOCUS-1, pametni procesni ventil podjetja SAMSON, razvit v sodelovanju s podjetjem KROHNE.



FOCUS-1 – pametni ventil za novo industrijsko dobo

Gre za element, ki poenostavi zasnovo sistemov, izboljša nadzor nad procesi in omogoča resnično digitalno upravljanje industrijskih tokokrogov. FOCUS-1 ni več le »ventil« – je pametna točka v sistemu, ki meri, regulira in hkrati komunicira z nadzornimi sistemi.

Vse v enem ohišju

Jedro ventila FOCUS-1 je njegova integrirana zasnova. V enem ohišju združuje štiri ključne funkcije: natančno regulacijo pretoka, merjenje pretoka z ultrazvočno tehnologijo, merjenje tlaka in temperature ter vgrajen digitalni krmilnik. To pomeni manj komponent, manj cevi, manj kablov in bistveno manj možnosti za napake.

Zaradi te integracije FOCUS-1 nadomešča več ločenih naprav, kar močno poenostavi montažo in zmanjša stroške projektiranja. V praksi to pomeni,



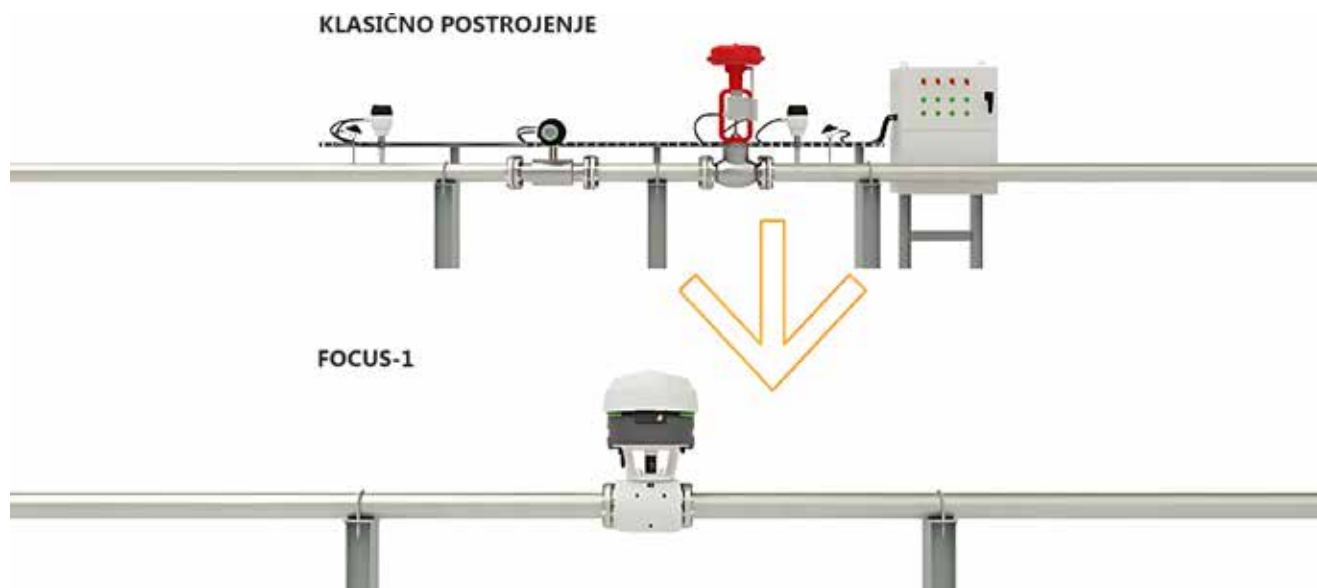
da lahko uporabnik z eno napravo pokrije večino potreb sodobnega procesnega sistema – brez dodatne elektronike, senzorjev ali regulatorjev.

Pametni ventil, ki zna misliti

FOCUS-1 ni zgolj merilna naprava. Ima vgrajeno diagnostiko, ki stalno spremlja stanje ventila, senzorjev in okolja. Naprava prepoznava obrabo, nena-



Prerez ventila



Klasična vezava v primerjavi z FOCUS-1

vadne spremembe v delovanju, zaplete pri pogonu ali onesnaženje senzorjev ter uporabniku samodejno sporoči, kaj se dogaja. To omogoča prediktivno vzdrževanje in bistveno zmanjšuje nenačrtovane izpade.

Poleg tega je ventil popolnoma pripravljen za uporabo v digitaliziranem okolju. Komunicira preko vseh pomembnejših industrijskih protokolov, kot so HART, PROFINET, Modbus TCP in Ethernet.

Glavne prednosti za uporabnike

Za industrijskega uporabnika FOCUS-1 pomeni predvsem enostavnejšo integracijo in boljši nadzor. Ker naprava prinaša podatke o več parametrih hkrati, so informacije bolj usklajene in ažurne. Poleg tega odpravlja potrebo po usklajevanju različnih senzorjev in regulatorjev iz različnih sistemov.

Prednosti v praksi:

- ▶ manjša kompleksnost pri projektiranju in izvedbi,
- ▶ krajši čas zagona in nastavitve,
- ▶ manjše tveganje za okvare,
- ▶ nižji stroški servisiranja,
- ▶ celovita podpora za industrijo 4.0.

Tehnične zmogljivosti

FOCUS-1 je zasnovan za širok spekter uporabe. Na voljo je v nazivnih premerih DN50, DN80 in DN100, primeren za tlake do PN40 in temperaturna območja med -40°C in $+180^{\circ}\text{C}$, odvisno od izvedbe. Ohišje je običajno iz nerjavečega jekla, možne pa so tudi izvedbe iz odpornejših materialov za uporabo v korozivnih medijih. Priključki so na voljo po standardih ISO ali ANSI, zato ga je mogoče enostavno integrirati v različne sisteme.

Praktične aplikacije

FOCUS-1 se uporablja povsod tam, kjer je pomembna kombinacija natančne regulacije in celostnega nadzora nad procesnimi parametri. Najpogosteje ga srečamo v farmacevtski in prehrabni industriji, kjer se zahtevata visoka stabilnost in sledljivost. Odlično se obnese tudi v kemični industriji, industriji pijač in v energetskih sistemih, kjer se optimizira poraba energije in izboljša nadzor nad prenosom toplote.

Zaključek

FOCUS-1 predstavlja novo generacijo ventilov – takšno, ki omogoča optimalno razmerje med funkcionalnostjo, preglednostjo in zanesljivostjo. Združuje merjenje, regulacijo in digitalno inteligenco v eni sami napravi, ki je enostavna za uporabo, fleksibilna za integracijo in popolnoma pripravljena na zahteve industrije 4.0.

Za projektante to pomeni manj risb in komponent, za monterje manj dela, za vzdrževalce manj težav in za investitorje večjo učinkovitost sistema z nižjimi obratovalnimi stroški.

Ekskluzivni zastopnik za Slovenijo



GIA-S Industrijska oprema d.o.o.
Industrijska cesta 1K,
1290 Grosuplje

www.gia.si
gia@gia.si
+386 1 7865 300



R-40122

Vir:

GIA-S Industrijska oprema, d. o. o., uradni distributer SAMSON opreme, Industrijska cesta 1K, 1290 Grosuplje, tel.: +386 1 7865 300, e-mail: info@gia.si, www.giaflex.com, www.samson-slo.com, www.alfalaval.si, www.airsep.si., g. Primož Živkovič

© Avtorji 2025. CC-BY 4.0

VITALNI ELEMENTI HIDRAVLIČNEGA SISTEMA

Roman Puc

Skupina HENNLICH na področju tesnil, posnemal in vodilnih obročev za hidravlične cilindre zastopa svetovno priznanega proizvajalca Hallite. Prav to jim omogoča, da tudi za najzahtevnejše pogoje nudijo najboljše rešitve.

Hallite se ponaša z več kot 120 let izkušenj, inovacij in stalnega razvoja tesnil. Je sinonim za kakovost po celem svetu, kar potrjujejo naslednja dejstva:

1. Posebne oblike

Na podlagi vzorcev poškodovanih in obrabljenih tesnil ves čas ustvarjajo nove oblike in analizirajo njihove prednosti. Pravilna oblika zagotavlja optimalen pritisk tesnila na površino in s tem manj trenja in mirnejši tek.

2. Orodja

Orodja za brizganje tesnil so izdelana z največjo natančnostjo. Oblika tesnil in predvsem tesnilni robovi so popolni do najmanjše podrobnosti. Zato tesnila Hallite odlično tesnijo.

3. Materiali

Materiali, ki jih je razvilo podjetje Hallite, v kakovosti presegajo materiale drugih ponudnikov. Odlikujejo jih kemično čistejša bazična surovina, dodatki in ustreznejša, patentirana razmerja teh dodatkov, ki pripomorejo k manjši obrabi in s tem daljši življenjski dobi.

Novosti na področju tesnjenja

Tesnila so vitalni element hidravličnega sistema, zato se pri nakupu ne smete ozirati zgolj na njihovo ceno. Pomislite na vse stroške, ki jih predstavljajo menjave ali popravila hidravličnega sistema in zastoji proizvodnje, če se tesnilo pokvari ali ne tesni več dobro. Hallite s stalnimi inovacijami in izboljšavami ponuja rešitve za različne industrije.

1. Kompaktna revolucija – HALLITE 777

Hallite 777 je dvojno delujoče kompaktno tesnilo za srednje do težke aplikacije, zasnovano tako, da ustreza vrsti industrijskih standardnih utorov, zato je idealno za naknadno vgradnjo v obstoječe izdelke.



Slika 1 : Batno tesnilo Hallite 777 ustreza vrsti industrijskih standardnih utorov, zaradi česar je idealno za naknadno vgradnjo v obstoječe izdelke.

ke. Geometrija tesnila zagotavlja prostor za tekočino med primarnimi tesnilnimi ustnicami, kar zmanjša trenje pri obratovanju.

Sestavljeno je iz trdnega, proti obrabi odpornega termoplastičnega poliuretanskega čelnega tesnila, ki je predhodno obremenjeno z NBR-blažilnikom s kvadratnim ali pravokotnim presekom, odvisno od razmerja utorov. Kvadratni ali pravokotni blažilnik zagotavlja enako obremenitev na sprednji strani tesnila, obenem pa tudi izboljšano stabilnost v primerjavi z običajnim blažilnikom O-tesnila. Ta zasnova omogoča uporabo tega tesnila v manjših utorih brez ogrožanja delovanja tesnilnega sistema.

Standardni material za Hallite 777 je Hythane® 743, ki je eden izmed Hallitovih visokotemperaturnih poliuretanov (HTPU). Za podaljšanje delovanja blažilnika so na voljo različni materiali.

2. Tesnilo batnice z nizkim trenjem – HALLITE 683

Hallite 683 je asimetrično tesnilo batnice z enim ustjem, zasnovano z natančno obrezanimi tesnilnimi ustji, ki zagotavlja rešitev za suho tesnjenje pri lahkih in srednje zahtevnih aplikacijah.

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

© Avtorji 2025. CC-BY 4.0



Slika 2 : Tesnilo batnice Hallite 683 zagotavlja rešitev za suho tesnjenje pri lahkih in srednje zahtevnih aplikacijah.

Tesnilo batnice z nizkim trenjem Hallite 683 ima nagnjeno peto s podpornimi rebri za zmanjšanje stika z batnico in zagotavljanje razbremenitve tlaka, kar omogoča združevanje z brisalci z dvojnimi ustnicami. Rebra pomagajo zmanjšati trenje s podpiranjem lokalnega mazanja, ki prispeva k znižani temperaturi na tesnilnih ustnicah, kar podaljšuje življenjsko dobo tesnila. Za podaljšanje delovanja je ta izdelek na voljo iz številnih materialov.

3. Precizni vodilni obroč - HALLITE 565

Termoplastični vodilni obroč Hallite 565, polnjen s steklom, je zasnovan tako, da zagotavlja izjemno učinkovito, trpežno in za uporabo enostavno rešitev za vodilne obročje za izmenične, nihajne in počasne rotacijske aplikacije. Izdelan je za uporabo v srednje težkih do težkih hidravličnih aplikacijah in učinkovito preprečuje stik kovine s kovino med batom in izvrtino ali batnico ter glavo cilindra.

Serijska Hallite 565 zagotavlja izjemno zmogljivost v različnih aplikacijah za tekočinsko napajanje in pri uporabi. Ti vodilni obroči, oblikovani na naprednih



Slika 3 : Vodilni obroč Hallite 565 je izdelan za uporabo v srednje težkih do težkih hidravličnih aplikacijah in učinkovito preprečuje stik kovine s kovino med batom in izvrtino ali batnico ter glavo cilindra.

orodnih platformah in inovativni v svoji sestavi iz naprednih polimerov in obnovljivih najlonov, se odlikujejo po dimenzijski stabilnosti in radialni natančnosti.

Pri velikih količinah so natančni vodilni obroči in trakovi 565 stroškovno učinkovita rešitev. Trenutno je na voljo 13 batnih vodilnih obročev med 50 mm in 160 mm.

Naš cilj ni izdelke zgolj prodati, temveč za vsako potrebo poiskati najustreznejšo rešitev.

Da bodo tesnila zanesljivo in dolgo služila svojemu namenu, poskrbi ekipa strokovnjakov v skupini HENNLICH. Vsa naša znanja so vam vedno na voljo.

Na spletni strani www.hennlich.si vam je na voljo spletni iskalnik. Z le nekaj vnos (dimenzija, tlak, temperatura, hitrost) pridete do pravega tesnila. Če vam je ljubši osebni kontakt, pa se vedno lahko obrnete na sodelavce v podjetju HENNLICH.



VISOKOTLAČNE STISKALKE Z MANOMETROM

- » delovanje pri tlaku do 700 barov
- » nadzorovana in natančna uporaba maziva
- » ventil za sprostitve tlaka
- » opcija s polnilnim nastavkom



www.hennlich.si

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

KOMPAKTNI ADSORPCIJSKI SUŠILNIKI ZA LOKALNO PRIPRAVO STISNJENEGA ZRAKA NA MESTU UPORABE

V sodobnih industrijskih procesih stisnjen zrak ni le vir energije, temveč ključen medij, katerega kakovost neposredno vpliva na zanesljivost, učinkovitost in življenjsko dobo opreme. Kadar so procesi občutljivi na vlago, olje ali trdne delce, je ustrezna priprava stisnjene zraza nepogrešljiva. Posebno pozornost si zaslužijo kompaktni adsorpcijski sušilniki, ki omogočajo lokalno pripravo suhega zraza neposredno na mestu uporabe.

Uvodoma navajamo nekaj konkretnih primerjalnih izračunov, ki ponazarjajo, kakšne so posledice neustrezno pripravljenega (kontaminiranega) stisnjene zraza v primerjavi z uporabo kakovostnega suhega zraza.

Primer 1: Vsebnost vlage v stisnjem zraku

1 m³ atmosferskega zraza (pri temperaturi 20 °C in tlaku 1 bar) vsebuje približno 17,3 g vodne pare.

Ko zrak stisnemo na 7 bar (relativni tlak) in ga ne osušimo, vodna para začne kondenzirati, saj se ob povečanju tlaka temperatura rosišča dvigne. To pomeni:

- ▶ Pri 7 bar abs. in 20 °C se iz 1 m³ atmosferskega zraza izloči do 21,8 ml vode na vsakih 8 m³ zraza.
- ▶ V povprečju kompresor za manjšo proizvodnjo proizvede cca 100 m³/h stisnjene zraza, kar pomeni kar ~2730 ml (2,7 litra) kondenzata na dan – in to le zaradi vlage, brez dodatnih olj ali delcev.

Če uporabimo adsorpcijski sušilnik s tlačno točko rosišča -40 °C, pa je preostale vlage v zraku manj kot 0,01 g/m³ – praktično suho stanje.

Primer 2: Vpliv kondenzata na pnevmatske pogone

Predpostavimo:

- ▶ cena zamenjave enega pnevmatskega cilindra zaradi korozije ali poškodbe tesnil: 150 €,
- ▶ povprečna življenjska doba cilindra z nepripravljenim zrakom (z vlago): 1 leto,
- ▶ z uporabo kakovostno pripravljenega zraza: >5 let.

V tipični proizvodni liniji s 50 pogoni pomeni:

- ▶ brez sušilnika: menjave pogonov vsako leto → 7.500 € stroška,
- ▶ z adsorpcijskim sušilnikom: življenjska doba >5 let → 1500 € na 5 let (pri redkih okvarah ali preventivnih menjavah),
- ▶ letni prihranek: cca 6.000 €, brez upoštevanja izpadov v proizvodnji.

Primer 3: Vpliv na optične komponente v laserski tehnologiji (leče, senzorji, laserske glave)

V laserskih sistemih ali strojih z lečami lahko že minimalna količina vlage povzroči kondenzacijo na leči ali motnjo v žarku.



Adsorpcijski sušilnik stisnjene zraza A-DRY

- ▶ Povprečna cena optične leče za industrijski laser: 300 do 1.000 €.
- ▶ Okvara zaradi kondenzacije → pogosto nepopravljiva poškodba.
- ▶ Neustrezna kakovost zraka → zameglitev, zamik fokusa, okvare senzorjev.

Z uporabo suhega zraka (PD -40 °C) je vsebnost vlage, nižje od 0,01 % → varno za optiko in brezkontaktna senzorje.

Primer 4: Stroški regeneracije pri adsorpcijskem sušilniku

Tudi uporaba sušilnika generira določene stroške – v regeneracijskem ciklu se porabi določena količina energije ali stisnjenega zraka:

- ▶ tipični hladno regenerirani adsorpcijski sušilnik (heatless) porabi cca 15 do 20 % stisnjenega zraka za regeneracijo,
- ▶ pri 100 m³/h → poraba zraka ~15 do 20 m³/h,
- ▶ strošek proizvodnje 1 m³ stisnjenega zraka: 0,01 do 0,03 €,
- ▶ dnevni strošek regeneracije: ~3,6 do 14,4 €.

V primerjavi s škodo zaradi kontaminacije (okvare, zamenjave opreme, izpadi) je ta strošek zanemarljiv – še posebej, če se uporabi energetsko učinkovitejši model (npr. toplo regenerirani, s puhali, vodno hlajeni ipd.).

Zakaj lokalna priprava stisnjenega zraka?

Centralni sistemi za pripravo zraka so pogosto oddaljeni od dejanskega mesta porabe. Med drugim pa so zahteve po kakovosti stisnjenega zraka, ki so izražene skladno s standardom ISO 8573-1, lahko tudi različne glede na zahteve strojev, zato se v takšnih primerih razlikuje centralna priprava zraka od lokalne priprave. Med transportom skozi dolge cevovode lahko pride tudi do sekundarnega ohlajanja in posledičnega izločanja kondenzata, kar zmanjša kakovost zraka kljub ustrezni centralni pripravi. Z lokalnim adsorpcijskim sušilnikom pa stisnjen zrak osušimo in filtriramo neposredno pred porabnikom, kar odpravi tveganje kontaminacije in zagotavlja konstantno kakovost zraka tam, kjer je to najpomembnejše.

Prednosti kompaktnih adsorpcijskih sušilnikov

Kompaktni adsorpcijski sušilniki, ki temeljijo na principu fizikalne adsorpcije vlage iz zraka na površino sušilnega sredstva (najpogostejše aktiviran aluminijev oksid ali molekularna sita), ponujajo številne prednosti:

- ▶ *zanesljiva zaščita opreme* – zagotovljena nizka vsebnost vlage (tlačna rosišča do -40 °C, opcijsko do -70 °C) zagotavlja najvišjo raven kakovosti zraka in preprečuje okvare;
- ▶ *lokalna namestitve* – enote se lahko namestijo

 OMEGA AIR <i>more than air</i> 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	 N₂	 O₂
RAZPON TLAKOV 1000 mbar 16 bar, 50 bar 100 bar, 250 bar 420 bar	 H₂	 8-Air
MEDIJI stisnjen zrak vakuum N₂, O₂, CNG, dihalni zrak CO₂, H₂, He	 He	 CNG
	 Air	 CO₂

- ▶ neposredno na kritične točke porabe;
- ▶ *kompaktna izvedba* – majhne dimenzije omogočajo vgradnjo tudi v omejenih prostorih (npr. v stroje, ohišja naprav, laboratorije);
- ▶ *enostavna integracija* – sušilniki se lahko hitro vključijo v obstoječe pnevmatske sisteme;
- ▶ *energetska učinkovitost* – modeli s toplo regeneracijo delovanja zmanjšujejo porabo stisnjenega zraka.

Aplikacije, kjer je kakovost stisnjenega zraka ključnega pomena

Lokalna priprava stisnjenega zraka s kompaktnimi adsorpcijskimi sušilniki se pogosto uporablja v:

- ▶ *laserski tehnologiji* – kakovost zraka je ključna za stabilno delovanje laserjev in zaščito optičnih komponent (leče, ogledala);
- ▶ *pnevmatskih pogonih in ventilih* – vlaga povzroča korozijo, nabiranje kondenza, tlačni padec in izpad delovanja;
- ▶ *analizatorjih in laboratorijski opremi* – natančnost meritve je pogojena z odvajanjem vlage in drugih kontaminantov iz zraka;
- ▶ *avtomatiziranih montažnih linijah* – preprečevanje okvar aktuatorjev in zmanjšanje zastojev v proizvodnji;
- ▶ *pakirnih strojih* – kjer je potrebna čista in suha atmosfera (npr. pri pakiranju farmacevtskih ali prehranskih izdelkov);
- ▶ *medicinskih napravah in dentalni opremi* – preprečevanje okužb in zaščita občutljivih komponent.

Kakovosten zrak = dolgoročna zanesljivost

Kakovost stisnjenega zraka je definirana po standardu ISO 8573-1, ki določa razrede za vsebnost trdnih delcev, vlage in olja. Kontaminiran zrak, ki vsebuje vlago, trdne delce ali olje, povzroča:

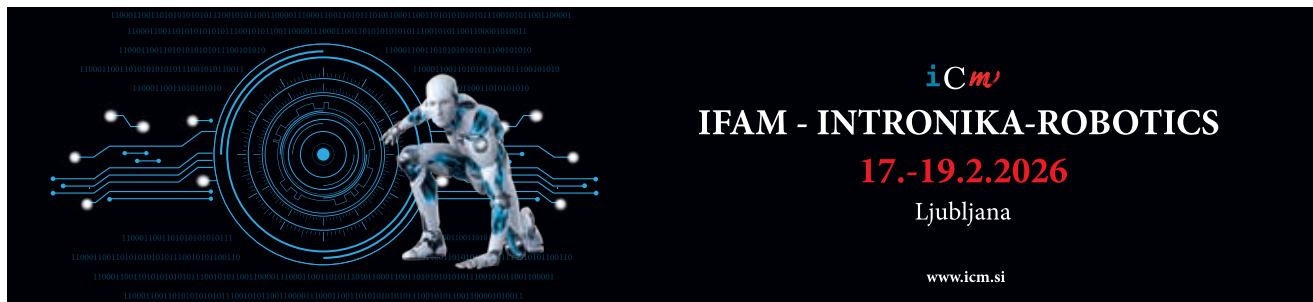
- ▶ zamažitve in mehanske poškodbe pnevmatskih komponent,
- ▶ motnje delovanja natančnih instrumentov in senzorjev,
- ▶ optične motnje v sistemih z lečami in kamerami,
- ▶ korozijo v notranjosti cevovodov in naprav,
- ▶ višje stroške vzdrževanja in krajšo življenjsko dobo opreme.

Suh in čist zrak je torej investicija v stabilno proizvodnjo, znižane stroške obratovanja in večjo zanesljivost naprav.

V podjetju OMEGA AIR d. o. o. Ljubljana razvijamo in proizvajamo kompaktne adsorpcijske sušilnike serije A-DRY, prilagojene za lokalno uporabo tam, kjer so visoke zahteve po kakovosti zraka. S sodobno konstrukcijo, zanesljivo adsorpcijsko tehnologijo in široko paleto modelov zagotavljamo rešitev za vsako aplikacijo, kjer je kakovosten stisnjen zrak ključnega pomena.

www.omega-air.si

© Avtorji 2025. CC-BY 4.0



iCm
IFAM - INTRONIKA-ROBOTICS
17.-19.2.2026
 Ljubljana
www.icm.si

OGLAŠEVALCI

- | | |
|---|--|
| ▶ FESTO, d. o. o., Trzin.....189 | ▶ OMEGA AIR, d. o. o., Ljubljana.....189, 243 |
| ▶ GIA-S, d. o. o., Grosuplje.....189, 239 | ▶ OPL AVTOMATIZACIJA, d. o. o., Trzin189 |
| ▶ HENNLICH, d. o. o., Kranj.....241 | ▶ POCLAIN HYDRAULICS, d. o. o., Žiri..... 189, 190 |
| ▶ HPE, d. o. o., Ljubljana..... 189, 209 | ▶ PPT COMMERCE, d. o. o., Ljubljana189, 192 |
| ▶ ICM, d. o. o., Griže.....202, 248 | ▶ PROEVENT, d. o. o., Ljubljana215 |
| ▶ INOTEH, d. o. o., Bistrica ob Dravi.....245 | ▶ PROFIDTP, d. o. o., Škofljica.....247 |
| ▶ Iskra PIO, d. o. o., Šentjernej225 | ▶ SEAL & TRADE, d. o. o., Maribor189 |
| ▶ JAKŠA, d. o. o., Ljubljana214 | ▶ STROJNISTVO.COM, Ljubljana235 |
| ▶ La & Co., d. o. o., Limbuš.....189 | ▶ UL, Fakulteta za strojništvo 199 |
| ▶ MIEL Elektronika, Velenje.....189 | ▶ UM, Fakulteta za strojništvo 201 |
| ▶ OLMA, d. o. o., Ljubljana..... 189, 233 | ▶ YASKAWA, d. o. o., Ribnica195 |

NOVE KNJIGE

Mihael Debevec, UL, Fakulteta za strojništvo

Erik Ketzmerick: *Virtuelle Lenksystementwicklung von PKW in der Konzeptphase – Občutek za upravljanje v prihodnosti*: doseganje popolne dinamike vozila z virtualnim razvojem

Razvoj vozil postaja vse bolj digitalen, vendar je doseganje idealnega ravnovesja med upravljanjem in splošno vozno dinamiko še vedno zapleten inženirski izziv. Erik Ketzmerick s Tehnične univerze v Dresdnu v svoji disertaciji z naslovom »Virtualni razvoj krmilnega sistema osebnih avtomobilov v fazi zasnove« (originalno: Virtual Steering System Development of Passenger Cars in the Concept Phase) predstavlja inovativno metodo, ki omogoča natančno oblikovanje voznikove ključne izkušnje pri upravljanju že na začetku razvojnega procesa. To delo, ki je izšlo pri založbi Cuvillier Verlag, postavlja nova merila za prihodnost avtomobilskega inženiringa.

Vsebina: 272 strani
ISBN-13 (tiskana izdaja): 9783689526948
ISBN-13 (e-knjiga): 9783689526955
Cena tiskane izdaje: 93,72 €
Cena za e-knjigo: 65,60 €



Nov postopek za fazo zasnove avtomobila

Ketzmerickova raziskava obravnava osrednji izziv pri razvoju vozil: kako hkrati in učinkovito optimizirati občutek pri upravljanju in bočno dinamiko. V disertaciji je opisan podroben virtualni razvojni postopek, ki prilagaja parametre upravljanja za doseganje idealne povezave med voznikom in cesto. Za preverjanje lastnosti različnih možnosti izvedb osi in pnevmatik v zgodnji fazi se uporabljajo napredni simulacijski modeli, vključno z modeloma V-Model in MKS-Model.

Praktični priročnik za avtomobilске inženirje

Knjiga je namenjena inženirjem, razvijalcem in vodjem projektov v avtomobilski industriji. V njej je praktično prikazano, kako je mogoče ciljno usmerjen razvoj občutka pri upravljanju in vozne dinamike izvesti že v fazi zasnove. Rezultati zagotavljajo dragocene vpogleds za načrtovanje prihodnjih arhitektur vozil in poudarjajo pomen virtualnih metod pri skrajševanju časa razvoja ob hkratnem izboljšanju kakovosti izdelkov.

Knjigo je mogoče kupiti v digitalni obliki, kar najbolj priporočamo, preko povezave: <https://cuvillier.de/de/shop/publications/9275-virtuelle-lenksystementwicklung-von-pkw-in-der-konzeptphase>. Več informacij najdete na spletni strani založbe Cuvillier Verlag na naslovu: <http://www.cuvillier.de/>.

Založba: Cuvillier Verlag; Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen, Tel.: 0551-547240 www.cuvillier.de,at,ch

Vir: www.cuvillier.de



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**
A BIBUS GROUP COMPANY
Inoteh d.o.o. K Železnici 7 2345 Bistrica ob Dravi

© Avtor(ji) 2025. CC-BY 4.0 / © The Authors 2025. CC-BY 4.0

Internet: <http://www.revija-ventil.si>
 E-mail: ventil@fs.uni-lj.si

ISSN 2630-4090 (on line) / ISSN 1318-7279
 UDK 62-82 + 62-85 + 62-31 / -33 + 681.523 (497.12)

VENTIL Revija za fluidno tehniko, avtomatizacijo in mehatroniko
 Journal for Fluid Power, Automation and Mechatronics

Volume Letnik 31
 Year Letnica 2025
 Number Številka 4

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

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

Znanstveno-strokovni svet:

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

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

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

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

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

REVIJA JE V ODPRTEM DOSTOPU.  ACCESS

Znanstveni članki v reviji Ventil so recenzirani. Revija Ventil je indeksirana v podatkovni bazi DOAJ.

Na podlagi 25. člena Zakona o davku na dodano vrednost spada revija med izdelke, za katere se plačuje 5-odstotni davek na dodano vrednost.
 Tiskano v Sloveniji. / Printed in Slovenia.

FORUM ZNANJA IN IZKUŠENJ

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

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



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

Portorož, 8. in 9. junij 2026

Dodatne informacije: Industrijski forum IRT,
Motnica 7 A, 1236 Trzin | tel.: 01 5800 884
faks: 01 5800 803 | e-pošta: info@forum-irt.si

www.forum-irt.si



SPLAČA SE BITI NAROČNIK



ZA SAMO 50€ DOBITE:

- celoletno naročnino na revijo IRT3000 (10 številok)
- 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

DIGITALNA NAROČNINA



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



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 hrvškem jeziku

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



IFAM-INTRONIKA-ROBOTICS

17.-19. 2. 2026

Ljubljana

