

VENTIL

ISSN 1318 - 7279

Letnik 29 / 2023 / 4 / Avgust

Fakulteta za
strojništvo z novo
raziskovalno opremo

Polimerni
zobniki

Planiranje
poti vozil

Prezračevalni
sistemi



SISTEMSKE REŠITVE ZA INDUSTRIJSKE STROJE

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

OD PROJEKTIRANJA DO ZAGONA



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



Univerza v Ljubljani
Fakulteta za strojništvo



FESTO

POCLAIN
Hydraulics

Parker

la&co

**Centrifugal
Pneumatic**



MIEL OMRON
www.miel.si

ppt commerce

OPL

hpe
www.hpe.si info@hpe.si

OMEGA
AIR

ZAVORNE REŠITVE

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

VSESTRANSKOST / VARNOST / ENOSTAVNOST UPORABE / ERGONOMIJA



Ventil za delavno zavoro



Ventil za parkirno zavoro



Ventil za polnjenje akumulatorja



Zavorni ventil za dvolinijski zavorni sistem – traktor



NOVO



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

www.poclain-hydraulics.com



PODNEBNE SPREMEMBE, UJME IN DRUGE VREMENSKE NEPRILIKE



V tem letu je Slovenija doživela kar precej vremenskih neprilik. Večkrat je padala toča, pojavljali so se močni nalivi ter nastajali vetrolomi in v začetku avgusta nas je doletela prava vremenska katastrofa.

Številni strokovnjaki, številni klimatologi, novinarji in predvsem politiki so izjavljali, da je to največja naravna nesreča v zgodovini Slovenije in da smo za to sami krivi, ker porabimo preveč energije, ki v ozračje spušča toplogredne pline.

Pa sta ti dve izjavi sploh resnični?

Poglejmo nekoliko nazaj v zgodovino vremenskih nesreč in katastrof.

Leta 1954 so bile na področju Koroške, Logarske in Savinjske doline podobne poplave, v katerih je življenje izgubilo dvaindvajset ljudi. Leta 1924 so poplave na področju Polhograjskih Dolomitov zahtevale devetnajst in leta 1926 na škofjeloškem področju trinajst človeških žrtev. To je ogromno in v vsakem opisanem primeru mnogo več kot letos. Vsako življenje je dragoceno in prav število smrtnih žrtev je verjetno največje merilo za obseg nesreče.

Druga trditev je: krivi smo ljudje, ki neracionalno ravnamo z naravo in predvsem s fosilnimi gorivi, ki ogrevajo naše ozračje. Tudi ta trditev je glede na zgodovinska dejstva dvomljiva, kar smo opisali zgoraj. Ali so pred sto leti tudi govorili o vplivu človeka na ogrevanje ozračja?

Pa poglejmo še nekoliko v zgodovino. Izraz pustota je slovenska beseda, ki je nastala pred več kot petsto leti. Besedo so od nas prevzeli tudi Italijani in Avstrijci. V Avstriji je v okolici izvira Drave poznana dolina Pustertal. Z besedo pustota so naši ljudje poimenovali zelo revno pokrajino, v kateri ni bilo možno živeti. V Sloveniji je bilo v preteklosti več takih krajev in pokrajin. Zgodovina omenja Zgornjo Savinjsko dolino, Brda, Kras in visokogorje na Gorenjskem. V teh pokrajinah so bile zelo ostre zime in vroča poletja s hudimi neurji, ki niso omogočala življenja prebivalcev.

To pomeni, da že od nekdanj živimo na izjemno lepem področju, ki pa je zaradi svoje lege obremenjeno z vremenskimi ujмами in drugimi katastrofami. Vremenska neurja so torej pri nas stalnica, odkar tu živimo.

Vprašanje pa je: zakaj se na to ne pripravimo, zakaj ne uredimo studencev in hudournikov v hribih, strug rek in potokov skozi naselja in predvsem, zakaj ne gradimo objektov, varnih pred poplavami? Imamo ministrstvo za okolje, ogromno javnih služb za to področje in celo poseben študij na terciarnem izobraževanju na ljubljanski univerzi z naslovom: Vodarstvo in okoljsko inženirstvo. Ne vem, ali so se v tem času predstavniki te ustanove kaj oglasili in pojasnili, zakaj toliko škode po Sloveniji zaradi vode in kaj bi bilo treba postoriti, da se v bodoče izognemo takšni katastrofi.

Če bi strojniki v Sloveniji naredili tako malo kot zgoraj naštetih, bi bila pri nas industrijska pustota.

Tisti, ki bežno poznamo ureditev voda: studencev, potokov in rek v Dolomitih in Alpah, vemo, da so urejeni povsem drugače kot pri nas. Vsaka struga hudournika v hribih je izdelana v obliki stopnic. S tem se voda med tekom umiri, izgubi moč in rabi precej več časa, da doseže dolino, kot pa, če teče po popolnoma naravni strugi. Ko pa voda doseže dolino in posamezna naselja, mora čim prej odteči, zato morajo biti struge gladke in ravne. Pri nas pa pogosto zasledimo ravno obratno. Hudourniki imajo strme ravne struge, po mestih vidimo zaježitve in razne ovire pri pretakanju vode po njih.

Nekaj podobnih rešitev smo v zadnjem času zasledili tudi pri nas, na primer v Železnikih, v Celju in v Ljubljani na Viču. V teh krajih zadnje poplave niso naredile večje škode.

Druga težava, ki smo jo opazili pri nas v zadnjih desetletjih, je pozidava hiš na poplavnih območjih. Ponovno se lahko vprašamo, kaj dela javna uprava. Verjetno je znano, kdo je pred nedavnim dal gradbeno dovoljenje in razna soglasja za izdelavo novih hiš v Sneberjah pri Ljubljani, ki jih je vođa povsem zalila. Bo kdo odgovarjal? Ne, pri nas ne. Če ne, potem ukinitimo vso zakonodajo, vsa potrebna soglasja in naj vsak zida, kot mu paše.

Ali je pri novogradnji pri današnji gradbeni mehanizaciji res pomemben strošek, da se pred gradnjo dvigne površina za temelj za en meter ali celo dva nad zemljo in se zida na tem nanosu trdne podlage, ali pa, da se na terenu za hišo, ki je zgrajena na strmem pobočju, uredi odvodnjavanje tudi za primer močnejših padavin?

Samo za primer: zakaj je večina cerkev v primerjavi s pretokom vode zgrajena na višjih področjih.

V letošnji katastrofi so bile sicer nekatere cerkve tudi poplavljenе, a v primerjavi z drugimi objekti zelo malo.

Mi se očitno iz zgodovinskih izkušenj res nič ne naučimo.

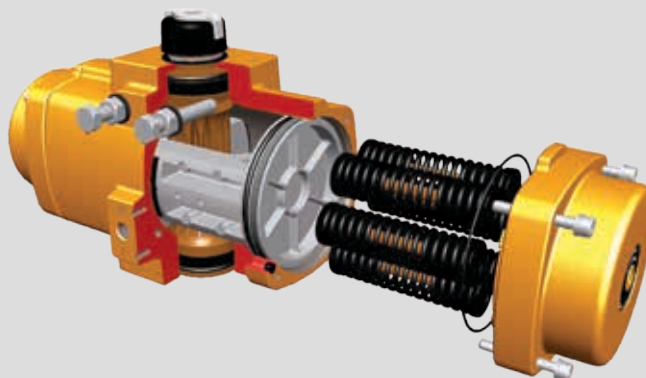
Janez Tušek




EMERSON™
 Process Management



EL Matic™



Field



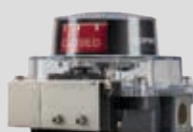
BETTIS™



 **BIFFI**



FISHER



Dantorque

HYTORK

Shafer

ppt commerce

HIDRAVLIKA IN PROCESNA TEHNIKA
 PRODAJA • PROJEKTIRANJE • SERVIS

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

DOGODKI • POROČILA • VESTI	218
PREDSTAVITEV	
Tanja Potočnik Mesarić	
Fakulteta za strojništvo z novo raziskovalno opremo še več možnosti vrhunskih raziskav in sodelovanja z industrijo – 4. del	226
NOVICE • ZANIMIVOSTI	
Janez Škrlec	
Različni pogledi na prihajajočo novo industrijsko paradigmo	229
Žirovski Poclair Hydraulics za svoj ventil prejel zlato regijsko priznanje za najboljšo inovacijo	230
POLIMERNI ZOBNIKI	
Damijan Zorko, Klemen Kolar, Bor Mojškerc, Nikola Vukašinić	
Raziskava vplivov na rast razpoke v korenu zoba polimernega zobnika	234
PLANIRANJE POTI VOZIL	
Matevž Bošnjak, Andrej Zdešar, Rok Vrabič, Viktor Zaletelj, Gregor Klančar	
Vseživljenjsko večagentno planiranje poti avtomatsko vodenih vozičkov v intralogistiki	246
PREZRAČEVALNI SISTEMI	
Gašper Brunskole, Uroš Stritih	
Primerjava izmerjenih in projektnih vrednosti glede na intenzivnost prezračevanja prostorov	254
VZDRŽEVANJE HIDRAVLIKE	
Franc Majdič	
Vzdrževanje hidravličnih naprav – 13. del	264
INTERVJU	
Kolesa in valji Eles+Ganter	268
AKTUALNO IZ INDUSTRIJE	
Za varno postavitve (ELESA+GANTER)	270
CAN bus arhitektura na voljo v aktuatorjih THOMSON LINEAR (INOTEH)	271
NOVOSTI NA TRGU	
Visoki navori s kompaktnimi stožčastimi in polžastimi gonili (ELESA+GANTER)	272
Močna vpenjalna matica ESB – preverjeno vpenjanje brez popuščanja (ENEMAC)	273
Izdelki AVAC se zdaj prodaja pod blagovno znamko PIAB (INOTEH)	278
PODJETJA PREDSTAVLJAJO	
Prva certificirana energijska veriga za čiste prostore (HENNLICH)	274
Varčevanje z energijo pri kompresorjih s frekvenčno regulacijo (OMEGA AIR)	276

INDUSTRIJA MORA USTVARJATI ČIM VIŠJO DODANO VREDNOST

Že 14. osrednji strokovni dogodek slovenske industrije Industrijski forum IRT je dokazal, da slovenska industrija napreduje iz leta v leto. Dvodnevna konferenca z jasnim sporočilom: dodana vrednost je izjemno pomembna, je v Portorož privabila več kot 400 udeležencev.



Udeleženci Industrijskega foruma IRT med predavanjem

»Že od malih nog so mi bili všeč znanstvenofantastični filmi, saj so prikazovali nekaj neverjetnega, nedosegljivega. Moj prijatelj se rad pošali, da so vsa znanstvenofantastična dela pravzaprav peskovnik idej za inženirje – kaj bi lahko še naredili. Menim, da ima še kako prav. Scenaristi in režiserji so pogosto navdih za tehnološki napredek že na prizoriščih snemanja filmov, saj od osebja in tehnike pogosto želijo nemogoče. In ker 'nemogoče' tudi dobijo, postane mogoče. Podobno je s premikanjem meja v industriji – nekaj je nemogoče le do trenutka, ko nekdo to naredi/izdelava/razvije,« je v uvodnem pogovoru povedal Darko Švetak, vodja organizacijskega odbora Industrijski forum IRT. Seveda ni skrival zadovoljstva nad visokim številom udeležencev in razstavljavcev.

Prvo polovico prvega dne 14. industrijskega foruma IRT so sicer zaznamovale bolj poslovne teme, tiste, o katerih bi morali vse pogosteje razmišljati tudi inženirji in direktorji podjetij. Letos je bila rdeča nit predavanj in okrogle mize dodana vrednost oziroma ustvarjanje le-te. Velik navdih udeležencem Industrijskega foruma IRT je bil vsekakor Bogomir Strašek, direktor KLS Ljubno in predsednik Sveta Gazela, ki je predstavil svojo zgodbo, kako

je v dobrega pol stoletja zgradil velikana na področju izdelave zobatih obročev za vztrajnike motorjev. Njegov recept za dolgoročni uspeh je preprost: izjemna kakovost, saj ta olajša prodajo in dviga ugled podjetja. Na milijon proizvedenih obročev je namreč v lanskem letu podjetje beležilo le 0,5 reklamiranega izdelka. »Podjetja pogosto podcenijo stroške slabe kakovosti, posebej v zadnjem desetletju, ko marsikdo izdeluje izdelke skrbno načrtovane kakovosti – idealno ravno toliko dobre, da prestande garancijsko obdobje. Aktivno se ukvarjam(o) z vsako reklamacijo, saj te trošijo energijo in vire, zato jih mora biti čim manj,« je dejal Strašek, dolgoročni uspeh pa pripisal tudi pravim odločitvam za tehnološki napredek. Podjetje je bilo namreč eno prvih, ki je v proizvodnjo uvedlo robote. Danes v podjetju dela 250 robotov in 260 zaposlenih. Zavrnil je argument, da avtomatizacija odvzema delovna mesta: »Pri nas to ne drži. Roboti prinesejo veliko prednosti, olajšajo delo, saj zmanjšujejo ponavljajoče se gibe in monotono delo, fizične obremenitve in nevarnost poškodb, s tem pa se odpirajo možnosti za kvalificirane in šolane kadre,« je še pojasnil. Plače zaposlenih so od začetka robotizacije dvignili za kar 290 %. Strašek je osvetlil, kako podjetje ustvarja

visoko dodano vrednost – kar 120.000 evrov na zaposlenega. Ta je nadpovprečna ne le v slovenskem, temveč tudi v mednarodnem okolju. Strateško so v zgodnjih letih razvoja izbrali ozko nišo specializacije: izdelavo zobatih obročev. Letos so zabeležili skupaj 180 milijonov izdelanih zobatih obročev, za zdaj še brez ene same reklamacije.

Vsak za tehnične poklice izgubljen mlad človek se nam bo v prihodnje maščeval

Metka Škofic, urednica projekta Inženirke in inženirji bomo!, je udeležencem predstavila dosedanje dosežke omenjenega projekta in novo orodje, ki utegne tehniko (končno) nagniti proti ravnovesju in popraviti »krvno sliko« vpisa na naravoslovne fakultete. KAMbi je spletni, torej digitalni pospeševalec vpisa na tehniške fakultete. »Gre za spletno orodje, ki skrbi, da imajo mladi poklicno svetovanje na voljo v režimu 24/7 – in to s področja, ki ga svetovalne delavke na šolah pogosto sploh ne poznajo in posledično težje priporočajo mladim,« je dejala Metka Škofic. Kako deluje? Mladi preko premišljeno zastavljenega in učinkovito poenostavljenega vprašalnika dobijo konkretnije usmeritve glede poklica. Prav tako jim na poljuden način predstavi pot, ki je prej niso poznali oziroma o njej morebiti niso niti razmišljali.

Več dolgoročnosti, prosim

Sledila je okrogla miza z naslovom Kako bomo postali prvaki trajnostne rasti, na kateri so sodelovali Aleksander Zalaznik, dolgoletni direktor Danfoss Trate, Petra Juvančič, izvršna direktorica Združenja Manager, mag. Katja Mohar Bastar, direktorica DIH Slovenije, Vesna Nahtigal, generalna direktorica GZS, in Bogomir Strašek, direktor KLS Ljubno in predsednik Sveta Gazela. Izpostavili so odgovornost do ustvarjanja dodane vrednosti, delovnih mest in talentov ter potrebo po dolgoročnejši naravnosti in premislekih, kaj je v prizadevanju za trajnost dobro (tudi) za slovensko oziroma evropsko industrijo. Cilj gospodarstva je doseči povprečno dodano vrednost 88.000 evrov na zaposlenega do leta 2030. Pri uresničevanju tega cilja bodo potrebni dogovor o korakih ter sodelovanje in povezovanje deležnikov v družbi, so se strinjali sogovorniki.

Nagrada Taras za sodelovanje pri razvoju cenovno ugodnega elektromotorja

Letošnja prejemnika priznanja Taras sta podjetje MAHLE Electric Drives Slovenija ter Institut »Jožef Stefan«, in sicer Odsek za inteligentne sisteme in Odsek za računalniške sisteme. Plod njunega sodelovanja je inovativen simulacijsko-optimizacijski postopek za razvoj cenovno ugodnega elektromotorja, ki podjetju MAHLE predstavlja bistven prihranek in znatno povečuje konkurenčno prednost. MAHLE Electric Drives Slovenija je del mednarodno uveljavljenega svetovnega proizvajalca zahtevnejših avtomobilskih komponent na področju zelenih tehnologij. Podjetje je pri razvoju elektromotorja kljub



Okrogla miza Industrijskega foruma IRT

bogatim izkušnjam in obilici znanja o računalniško podprtem načrtovanju prišlo do spoznanja, da za povezavo simulacijskih in optimizacijskih procesov potrebuje specifično poznavanje specializiranih optimizacijskih algoritmov in obvladovanje načina dela, zato se je obrnilo na Institut »Jožef Stefan« kot razvojnega partnerja. S posredovanjem njihovega Centra za prenos tehnologij in inovacij so našli ustrezne sogovornike in nato razvijalce rešitve na dveh odsekih inštituta: na Odseku za inteligentne sisteme in Odseku za računalniške sisteme.

Ocenjevalna komisija je omenjeni projekt izbrala izmed treh nominiranih projektov sodelovanja. »Kompetentnost in komplementarnost članov projektne skupine obeh ustanov ter sprotno razreševanje izzivov, ki so se pojavljali pri delu, so omogočili uspešno izvedbo projekta od formalne definicije problema do vzpostavitve prototipnega optimizacijskega okolja in pridobitve rešitve, zato ocenjujemo, da predstavljajo vzorčni primer sodelovanja gospodarstva in raziskovalnorazvojnega okolja na področju inoviranja, razvoja in tehnologij. Posledično so več kot upravičeno prejemniki priznanja TARAS za leto 2023,« je podelitev priznanja utemeljil predsednik ocenjevalne komisije Tomaž Perme. Kipca TARAS je prejemnikoma podelila Vesna Nahtigal, generalna direktorica Gospodarske zbornice Slovenije.

»Rezultat sodelovanja med partnerjema je izpopolnjen dizajn oz. ugodnejše tehnične karakteristike elektromotorja. Izpopolnjeni elektromotor, ki je rezultat sodelovanja, ima v primerjavi s prvotno različico 10,1 % nižjo ceno komponent. Ob dejstvu, da se v celotnem obdobju proizvodnje takšnega izdelka proizvede večmilijonska serija, to za podjetje predstavlja bistven prihranek in obenem izboljšuje konkurenčnost na trgu,« so učinek razvojnega povezovanja pojasnili v podjetju MAHLE Electric Drives Slovenija.

V finale za priznanje sta se uvrstili še dve prijavi: razvojno sodelovanje podjetja Siapro in razvojnega partnerja LIT Gorjanc – razvojni partner je sodeloval kot izumitelj izboljšane inovativne vodne turbine sistema Banki in za izboljšavo tudi pridobil



Podelitev priznanja TARAS

patent -, ter podjetja Trecon, ki je z Laboratorijem za fluidno tehniko Fakultete za strojništvo Univerze v Ljubljani sodeloval na področju hidravličnega preizkuševališča za dinamično obremenjevanje testirancev - naprave, ki omogoča eno- in dvoosno testiranje različnih strojnih elementov.

Obetavne inovacije iz mladih glav

Popoldanski del Industrijskega foruma je zaznamovala še ena podelitev nagrad, in sicer je predstavitvi treh študentskih inovacij sledila podelitev nagrad EIT Manufacturing za najboljši projekt. Zmago in 2.500 evrov nagrade je prejel projekt razvoja visokohitrostnega 3D-tiskalnika, ki so ga pod oznako VH3D razvili v Peskovniku, odprtem laboratoriju Fakultete za strojništvo na Univerzi v Ljubljani. Ekipa študentov (Janko T., Vid N., David K., Tim G.) je realizirala optimistično idejo o 3D-tiskalniku, ki bi dosegal visoke hitrosti delovanja in še večje pospeške. »Razdelili smo si delo, naredili načrt in sami iz 'ničle' ustvarili delujoč prototip visokohitrostnega 3D-tiskalnika, ki smo ga poimenovali VH3D. Dosegli smo premike do 2.000 mm/s in pospeške kar do 5G oziroma 50.000 mm/s². Na to smo zelo ponosni in hkrati hvaležni vsem, ki so nam pri tem kakorkoli pomagali.« Projekt je soglasno prepričal tudi strokovno žirijo, ki mu je namenila največ točk med prijavljenimi projekti, saj so študenti dokazali, da je moč znatno pospešili 3D-tiskanje, kar je vsekakor zelo obetavna inovacija.

Drugo mesto med prijavljenimi projekti je prejel To-ustomat, avtomat, ki uporabnikom zagotovi hiter in zdrav obrok na vsakem vogalu. Ideja je preprosta: uporabnik lahko izbira med različnimi toasti (klasik, tuna ipd.), ki jih prehranski avtomat pripravi in tople postreže v nekaj minutah. Na tretje mesto pa se je uvrstil projekt butičnega univerzalnega terenskega

vozila (UTV) s hibridnim pogonom. »Glavni cilj naše ideje je predstavitev tehnologije hibridnih vozil na trg UTV-jev, s čimer želimo vplivati na trajnostni razvoj te industrije. Vozilo za pogon uporablja električni motor, ki pa deluje v popolni harmoniji z motorjem na notranje zgorevanje,« so dejali študenti, komisija pa je ocenila, da je zastavljeni projekt primeren kvečjemu za butično proizvodnjo.

Razstava, ki je pokala po šivih

Razstavniki v hotelu Mind Hotel Slovenija so zadnja leta premajhni za vsa podjetja, ki bi rada razstavljala na Industrijskem forumu IRT. Več kot 50 razstavljalcev je s svojimi novostmi in inovacijami dokazovalo, da slovenska industrija še kako napreduje, pri tem pa potrebuje in uporablja tudi najnovije tehnike rešitve.

Večina udeležencev pa obišče dvodnevno konferenco zaradi kakovostnih vsebin. V dveh dneh se je zvrstilo 47 strokovnih predavanj, o njihovi kakovosti pa najbolje pričata dober obisk in zbornik dogodka. Udeležence 14. industrijskega foruma IRT je že v predverju čakalo prvovrstno presenečenje. Modri lik iz Avatarja, bržkone enega izmed najbolj prepoznavnih filmov znanstvenofantastičnega žanra, ki je bil na 3D-tiskalniku natisnjen v »naravni« velikosti. Modrih ljudi pač ne vidite vsak dan. Ali pač?

»Slovenščina v tem primeru omogoča igro besed, modra ni le barva, modra je tudi oznaka za inteligentno, pametno osebo. Takih pa imate verjetno več okoli sebe, če delate v industriji. In takšne ljudi oziroma njihove inovacije iščemo tudi na Industrijskem forumu IRT. Iščemo modre ljudi, ki najo dobre zamisli spraviti v denar, v zlato, če želite,« je sklenil Švetak.

Miran Varga, IRT3000

ZLATO
PRIZNANJE
inovacije
2023



ISKRA PIO, d. o. o., in Rudolfovo – Znanstveno in tehnološko središče Novo mesto



Navidezna resničnost v procesih farmacevtske in biofarmacevtske industrije
na področjih razvoja in uporabe izolatorske tehnike

Hidravlična olja srce hidravličnih sistemov



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>



ČLANI SDFT SMO BILI NA STROKOVNI EKSKURZIJI V LINZU

Darko Lovrec, Franc Majdič

Skladno s programom dela Slovenskega društva za fluidno tehniko (SDFT) za leto 2023 smo se sredi junija odpravili na dvodnevno strokovno ekskurzijo v Linz. Obiskali smo dve podjetji, ki se ukvarjata s proizvodnjo hidravličnih komponent in sistemov: Bosch Rexroth in pa Hainzl, ter inštitut, ki se na Univerzi v Linzu (Johannes Kepler Universität JKU – Linz) ukvarja z raziskavami s tega področja.



Slika 1: Udeleženci ekskurzije pred podjetjem Bosch-Rexroth v Paschingu

Pot nas je najprej vodila do podjetja Bosch Rexroth v Paschingu pri Linzu, avstrijski glavni lokaciji podjetja, kjer se ukvarjajo s celovitimi sistemskimi rešitvami na področju hidravlike, elektrike in program-

ske opreme. Glavni poudarek podjetja na tej lokaciji je na projektiranju, izdelavi, montaži ter testiranju in tudi servisiranju hidravličnih agregatov. Celoten proces poteka na 4000 m² velikem proizvodnem območju.

Prof. dr. Darko Lovrec, univ. dipl. inž., Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo; **izr. prof. dr. Franc Majdič**, univ. dipl. inž., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo

Za hidravlične agregate vemo, da so tisti ključni sklop, ki odločujoče vpliva na produktivnost in učinkovitost vsakega hidravličnega sistema in posledično stroja. Zato so v vse faze njihove izdelave vključene številne izkušnje in know-how, pridobljen



Slika 2 : Med ogledom v podjetju

na podlagi več tisoč izdelanih agregatov najrazličnejših izvedb in velikosti. Z rezervoarji od 6 litrov pa vse do 25.000 l prostornine pokrivajo zelo široko paleto proizvodov hidravličnih agregatov. Pa naj gre za klasične izvedbe, za enostavnejše aplikacije ali pa za izvedbe, kjer so v ospredju varčevanje z energijo ali nizka hrupnost in druge posebne zahteve naročnika.

Ogledali smo si celoten tok proizvodnje od varjenja, barvanja, izdelave cevni povezav vse do končne montaže celotne opreme agregata in njegovo testiranje. Skoraj na vsakem mestu v proizvodnih prostorih so vidne urejenost poslovanja, dobra organiziranost in preglednost nad posameznimi fazami procesa, saj številne table in digitalni informacijski paneli ponujajo informacije glede števila izdelkov, učinkovitosti in kvalitete dela, kateri delavci delajo na določenem delovnem mestu pa tudi morebitne napake ter podatke o zelo redkih neljubih dogodkih (nesreče pri delu).

Da ohranjajo potreben nivo kvalitete izdelkov in dobro delovno vzdušje posvečajo veliko pozornosti svojim zaposlenim. Tudi pri njih se kaže splošna problematika ustreznega kadra, zato so zaposleni različnih narodnosti in prihajajo iz različnih držav. Razen dobro razvitega sistema pridobivanja kvalitetnega kadra posvečajo veliko pozornost mladem in potencialnemu bodočemu kadru. Tako ponujajo številne štipendije in vajeniško prakso, za vse zaposlene pa je dobro izdelan sistem internega izobraževanja. Še kako se zavedajo, da za kvalitetnim izdelkom stoji kvaliteten kader.

Pot nas je nadalje vodila na Univerzo Johanesa Keplerja (JKU Linz) s skoraj 100 različnimi študijskimi programi in smermi. JKU Linz je eden najlepših kampusov evropskih univerz. Gre za razkošno urejeno univerzo z vsem, kar potrebujejo študenti in zaposleni za svoje delo: od vzorno urejenih predavalnic in laboratorijev do študentskih domov, knjižnic, menz, objektov za prosti čas in parkov. S celovitostjo univerza dokazuje svoj mednarodni pomen predvsem z naprednimi vsebinami in predmeti (npr. mehatronika, digitalizacija).

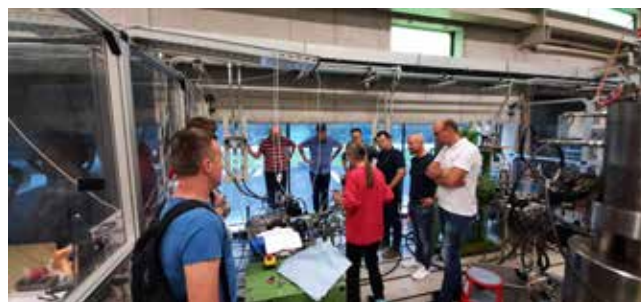
Naš obisk je bil namenjen Inštitutu za strojništvo in hidravlično pogonsko tehniko (IMH), ki je del Oddelka za mehatroniko. V okviru inštituta pri svojem pedagoškem delu in raziskavah povezujejo znanja s področja strojništva in fluidne tehnike. Tako več kot uspešno vključujejo in uresničujejo mehatronski pristop k reševanju problemov tako pri snovanju idej kot pri kasnejši realizaciji konceptnih rešitev, pa naj gre za temeljne raziskave ali industrijske projekte.

Njihovo glavno raziskovalno področje je hidravlična pogonska tehnika, pri čemer je inštitut dosegel veliko mednarodno prepoznavnost predvsem s svojim pionirskim delom na področju digitalne hidravlike – koncept vodenja hidravličnih sistemov z uporabo dvopotnih elektromagnetnih ventilov. Pri raziskovalnem delu tesno sodelujejo z Inštitutom za razvoj in proizvodnjo mehatronskih izdelkov in pa s Centrom za mehatroniko Linz.



Slika 3 : V laboratorijskih prostorih IHM na JKU Linz

Trenutno usmerjajo svoje raziskave v izkoriščanje napredka na področju mikroelektronike, v poudarjanje sistemskega vidika, uporabo konceptov mehatronskega oblikovanja izdelkov in sistemov, v boljše razumevanje dinamičnih procesov in njihovega izkoriščanja za izboljšanje delovanja hidravličnih pogonov ter v projekte, ki so usmerjeni v rabo inovativnih industrijskih konceptov. Po predstavitvi prehojene razvojne poti inštituta, vloge v regiji ter posameznih raziskovalnih projektov smo si po skupinah ogledali tudi posamezna preskuševališča in se seznanili s trenutno potekajočimi raziskavami in aktivnostmi.



Slika 4 : V IHM na JKU Linz – predstavitev preskuševališča hidrostatičnih vodil in uležajenja 1



Slika 5 : V sprejemnem prostoru podjetja Hainzl v Linzu

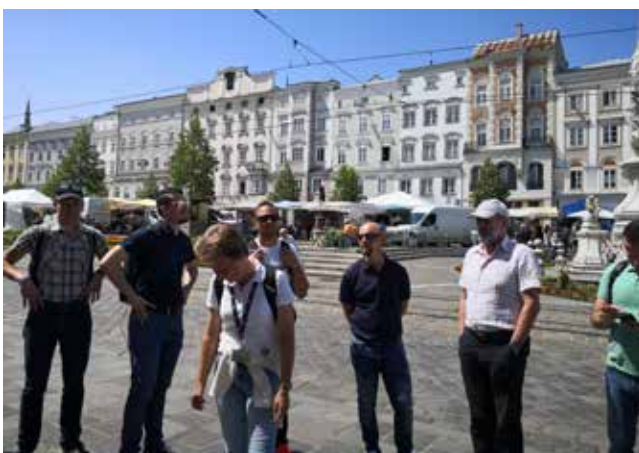
Naslednji dan nas je pot vodila v privatno podjetje Hainzl, ki se že od leta 1965 ukvarja z industrijskimi sistemi, kamor sodijo hidravlični, mehatronski, elektronski in električni izdelki, stroji in postrojenja. Podjetje Hainzl je eno izmed vodilnih podjetij v Evropi, ki se ukvarja s sistemskim razvojem in implementiranjem individualnih tehnoloških rešitev v hidravliki in procesni avtomatizaciji, pogonski tehniki, vgrajenih sistemih, v stavbnem in električnem inženiringu. V podjetju Hainzl nas je najprej toplo sprejel in nam predstavil podjetje g. Oliver Lüth, direktor poslovne enote Motion & Drives. Sledil je zanimiv ogled proizvodnje. Tudi v tem podjetju se zavedajo pomena kvalitetnega in strokovnega dela svojega kadra. Zelo pomembno je dobro počutje delavcev v podjetju. V ta namen so eno poslopje dogradili in preuredili v »prostore dobrega počutja«, kjer se lahko delavci sprostijo

ob različnih aktivnostih – od telesnih do »za dušo in sprostitve«.

Razen strokovnega dela smo si ogledali tudi številne znamenitosti mesta Linz in se seznanili z njegovo zgodovino in pomenom za regijo in širše. Obdobje Linz je bil tudi ena najpomembnejših postaj v življenju Johannesa Keplera, enega od utemeljiteljev sodobne znanosti. Med leti 1612 in 1627 je v Linzu preživel svoja najplodnejša leta in tam opravil številne raziskave in izračune. V tem času je objavil tudi tri svoje zakone (znane kot Keplerjevi zakoni), ki prvič opisujejo eliptične trajektorije planetov okoli Sonca, in ustvaril svoje glavno delo – Rudolfove tabele. Zato Univerza v Linzu povsem upravičeno nosi njegovo ime.

Razen tega, da je bil genialen astronom, astrolog in matematik, je bil Kepler tudi vedno kritičen sodobnik, zato je moral večkrat iskati nov dom. Tako ga je življenjska pot vodila iz rojstnega mesta Weil preko Leonberga, Gradca, Prage, Linza, Ulma in tudi Slovenije v Regensburg, kjer je na poti nazaj v Linz umrl. Kepler je tesno povezan tudi z našim področjem stroke, saj je znan po svoji zasnovi hidravlične zobniške črpalke, ki je bila v uporabi tudi v avstrijskem Gradcu.

Da smo smeli vstopiti v omenjena podjetja, se moramo zahvaliti slovenskima podjetjema La & Co in TOK, ki sta vzpostavili kontakt s podjetjema Bosch-Rexroth in pa Hainzl ter koordinirali ogled. Vsem, ki so nam omogočili ogled in predstavili svoje podjetje oz. inštitut IHM, pojasnili svoj način delovanja in izzive, nam omogočili podroben ogled proizvodnje in pri tem odgovorili na čisto vsa postavljena radovedna vprašanja, se člani SDFT iskreno zahvaljujemo.



Slika 6 : Utrinek z ogleda Linza

MARIBOR, 20. - 21. SEPTEMBER 2023, KONGRESNI CENTER HABAKUK

mednarodna konferenca

Fluidna Tehnika 2023



Stanje tehnike in smeri razvoja

Razvoj komponent in sistemov

Problematika in razvoj hidravličnih tekočin

Industrija I4.0 in potrebna znanja s področja fluidne tehnike

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

Vabimo Vas, da se udeležite tega osrednjega dogodka branže!

Predstavite novosti svoje ponudbe kot razstavljaivec in postanite pokrovitelj konference!

SVEČANA AKADEMIJA SDFT

SLOVENSKO DRUŠTVO ZA FLUIDNO TEHNIKO - SDFT

član Zveze strojnih inženirjev Slovenije

praznuje 30-letnico od ustanovitve

Svečana akademija bo potekala 21. Septembra 2023
v okviru mednarodne konference Fluidna Tehnika 2023,
v Kongresnem centru Habakuk, v Mariboru.Več informacij o bogatem strokovnem in kulturnem programu:
<http://ft.fs.um.si/html/sdft.html>

Vljudno vabljeni!

Vstop prost ob obvezni predhodni najavi udeležbe na: info@sdft.si

30 let



Študentska tehniška konferenca

ŠTUDENSKA TEHNIŠKA KONFERENCA

Na Fakulteti za strojništvo Univerze v Ljubljani bo 07. 09. 2023 ob 9. uri Študentska tehniška konferenca ŠTeKam, na kateri bodo študentje prve in druge stopnje, mladi raziskovalci tehnike in drugih študijskih smeri ter raziskovalno motivirani dijaki zaključnih letnikov predstavili rezultate svojega raziskovalnega dela.

Več informacij najdete na spletni strani: <https://www.fs.uni-lj.si/studij/raziskovalna-dejavnost-studentov/studentska-tehniska-konferenca-stekam/>.Organizacijski odbor:
doc. dr. Tomaž Berlec, univ. dipl. inž.
izr. prof. dr. Miha Brojan, univ. dipl. inž.
asist. dr. Boštjan Drobnič, univ. dipl. inž.

FAKULTETA ZA STROJNIŠTVO Z NOVO RAZISKOVALNO OPREMO ŠE VEČ MOŽNOSTI VRHUNSKIH RAZISKAV IN SODELOVANJA Z INDUSTRIJO – 4. DEL

Tanja Potočnik Mesarić

V aktualni številki Ventila predstavljamo še zadnje investicije v raziskovalno opremo na Fakulteti za strojništvo Univerze v Ljubljani. Raziskovalna oprema je del rekordne investicije Paketa 20, ki ga sofinancira Javna agencija za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost RS in podpira vrhunske raziskave sodelavcev fakultete kot tudi njihove objave v najprestižnejših revijah in še intenzivnejše sodelovanje z gospodarstvom.

Oprema za nadgradnjo naprednega 3D-tiskalnika kovin

Trenutno aktualna industrija 4.0 in aditivne tehnologije se povezujejo v t. i. internet stvari (IoT), v okviru katerega potekajo raziskave na področjih novih komunikacijskih protokolov, umetne inteligence, digitalizacije proizvodnih procesov, bločnih verig, distribuiranega odločanja itd. Tudi v Sloveniji je industrija 4.0 prednostno področje Slovenske strategije pametne specializacije – S4¹. Ena izmed tem, ki so v tem okvirju zastopane, so tudi tovarne prihodnosti; znotraj slednje sta fokusirani:

- ▶ optimizacija proizvodnje, (distribuirani) proizvodni sistemi vodenja in nadzora, zagotavljanje kakovosti, regulacija in procesiranje podatkov, intralogistika, digitalna avtomatizacija;
- ▶ optimizacija in avtomatizacija proizvodnih procesov: pametni stroji in naprave, mehatronski sistemi, aditivne tehnologije, aktuatorji in pametni senzorji.

V tem okvirju je velik poudarek na aditivnih tehnologijah, ki omogočajo izdelavo izdelkov na lokalni ravni. V boju s pandemijo to npr. omogoča izdelavo posameznih komponent in surovin neodvisno



Slika 1 : Oprema za nadgradnjo naprednega 3D-tiskalnika kovin

od zaprtih meja ali odlokov o prepovedi izvažanja zdravstvene opreme. Pri raziskovanju vesolja aditivne tehnologije omogočajo izdelavo izdelkov v vesolju ali na primer na mednarodni vesoljski postaji. To je s stališča pošiljanja nadomestnih delov v vesolje in njihovega skladiščenja ključnega pomena, saj lahko na ta način rešujemo življenja, hkrati pa omogočamo cenejše in okolju bolj prijazne odprave v vesolje.

Dr. Tanja Potočnik Mesarić, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo

¹ S4 je strategija za povečanje konkurenčnosti s krepitvijo inovacijske sposobnosti gospodarstva, diverzifikacijo obstoječe industrije in storitvenih dejavnosti ter rast novih in hitro rastočih industrij oziroma podjetij (vir: spletna stran www.gov.si).

Raziskovalna oprema je modulno sestavljena in integrira več najsodobnejših komponent, ki omogočajo raziskave in razvoj prvenstveno na področju aditivnih tehnologij, poleg tega pa tudi delo na spajanju in rezanju materialov ter toplotni obdelavi površin. Hkrati oprema kot celota omogoča raziskave aditivne izdelave večjih izdelkov, analize materialnih lastnosti, raziskave na področju krmiljenja in nadzora procesa ter distribuiranega vodenja naprednih proizvodnih sistemov, kar v slovenskem prostoru še ni na voljo.

FTIR-spektroskopija s Fourierjevo transformacijo

Prehod v nizkoogljico družbo in krožno gospodarstvo zahteva poleg večje uporabe obnovljivih virov energije, zmanjševanja rabe energije in večanja energijske učinkovitosti procesov tudi močno povečanje stopnje recikliranja, ponovne uporabe pa tudi energijske izrabe snovi, ki po koncu življenjske dobe niso primerne za recikliranje.

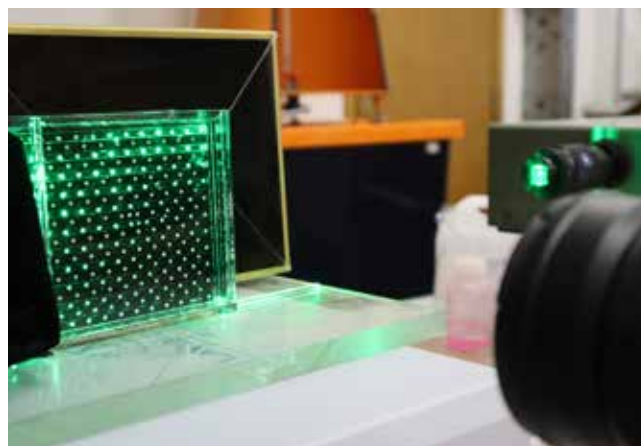


Slika 2 : FTIR-spektroskopija s Fourierjevo transformacijo

Raziskovalna oprema je namenjena raziskavam energijske izrabe snovi z zgorevanjem. Pri zgorevanju poleg ogljikovega dioksida in vodne pare, ki sta produkta popolnega zgorevanja, nastajajo tudi škodljive snovi. Bistvena prednost analize metode FTIR je v tem, da omogoča sočasno zaznavanje večjega števila plinskih komponent/polutantov v vzorcu tako organskih kot anorganskih spojin. FTIR-analiza omogoča sočasno spremljanje večjega števila polutantov in predstavlja osnovo za povratno zanko za načrtovanje, regulacijo, nadzor in optimizacijo procesov energijskih pretvorb.

Predvidene raziskave bodo omogočile kvantitativno in kvalitativno natančnejše poznavanje produktov energijskih pretvorb in s tem tudi izboljšale možnosti za nadzor, analizo delovanja, načrtovanje novih naprav z namenom čim manjšega onesnaževanja okolja in zmanjševanja ogljičnega odtisa.

Optično-laserski sistem za karakterizacijo hitrostnih razmer v posebnih makro- in minifluidnih sistemih



Slika 3 : Optično-laserski sistem za karakterizacijo hitrostnih razmer v posebnih makro in mini fluidnih sistemih

Lasersko-optični sistem se uporablja za karakterizacijo hitrosti v sistemih s sočasno prisotnostjo več agregatnih stanj. Meritev temelji na sočasni uporabi pulznega laserja z visoko frekvenco bliskanja in hitre kamere, ki zajema lokacije delčkov na podlagi efekta fluorescence. Sistema sta popolnoma sinhrona, za kar skrbi nadzorno- krmilni računalnik, kjer se tudi obdelujejo računalniško zajeti podatki. Optično-laserski sistem je namenjen za sistematično karakterizacijo mikrocurkov ter kapljevinskih linij na traku. Možnosti uporabe zajemajo vse od karakterizacije kapljevinskih curkov za razvoj novih šob za dostavljanje vzorcev pri femtosekundni kristalografiji, karakterizacije mešanja aktivnih tekočin in formiranja kapljevinske linije na tekočem traku za raziskave strukturnih lastnosti virusov, verifikacije turbulentnih modelov in karakterizacije potovanja vključkov pri kontinuirnem ulivanju jekla, raziskovanja cevnih profilov hitrosti pri prehodnih pojavih do raziskav hitrostnih polj v kavitirajočem toku.

Stereolitografski 3D-tiskalnik s projiciranjem svetlobe – MicroArch s240

V zadnjem desetletju smo priča eksponentni rasti uporabe aditivnih tehnologij. Tehnologije 3D-tiska se z velikimi koraki približujejo industrializaciji in postajajo del proizvodnega procesa. MicroArch s240 omogoča natančno izdelavo (ločljivost 10 μ m) ob relativno velikem delovnem območju (100 x 100 x 75 mm) in s tem prekaša konkurenčne sisteme na trgu, ki omogočajo 3D-tiskanje iz fotopolimernih smol.

MicroArch s240 je 3D-tiskalnik, ki deluje na principu mikrostereolitografije. Tehnologija omogoča izdelavo

Univerza v Ljubljani
Fakulteta za strojništvo



Dnevi
STROJNIŠTVA

Tehniški muzej Slovenije
26.–29. 9. in 1. 10. 2023



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

www.fs.uni-lj.si



Slika 4 : 3D stereolitografski DLP-tiskalnik – Micro-Arch s240 (Foto: IFP, d. o. o.)

vo kompleksnih (mikro) 3D-oblik plast-po-plast, ki jih z drugimi tehnologijami ni možno izdelati. Sistem je odprtega tipa (open source), kar pomeni, da je primeren za izdelavo mikrostrukturiranih izdelkov iz poljubnih fotopolimernih smol kot tudi iz keramičnih matric. 3D-tiskalnik je primeren tako za prototipiranje in majhne serije kot tudi za raziskave novih funkcionalnih fotopolimernih materialov. Uporaba sega na področja: mikrofluidike (npr. mikroreaktorji, biomimetične površine), mikroelektromehanskih sistemov (npr. komponente za laserske tehnologije), medicinskih naprav (npr. žilne opornice), elektronike (npr. ohišja) in biofarmacije (npr. mikroigle). Konkurenčne tehnologije, ki temeljijo na odvzemanju materiala, jedkanju ali uporabi kalupov, so dražje, časovno potratne in nezmožne izdelave tako raznovrstnih oblik. Pri tem velja poudariti, da mikrostereolitografija omogoča izdelavo zaprtih oblik, npr. kanalov, ki so poljubno razvejani v vseh treh prostorskih oseh, in to preseka le nekaj 10 μm . Tako je to ena redkih tehnologij, ki omogoča hitro prototipiranje tovrstnih mikrofluidnih sistemov.

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



NAPREDEK BIONSKIH PRISTOPOV ZA RAZVOJ SODOBNEGA KMETIJSTVA IN GOZDARSTVA

Kmetijstvo ima kot ena najpomembnejših proizvodnih dejavnosti pomembno vlogo v širšem družbenem razvoju. Z razvojem znanosti in tehnologije je kmetijska tehnologija vedno bolj napredna in raziskana. Z učenjem in posnemanjem lastnosti živih bitij v naravi se bionska tehnologija uporablja za izboljšanje kmetijskih strojev in kmetijskih pripomočkov ter naprav. V zadnjih letih se kot razširitev bionske tehnologije intenzivno uporabljata tudi strojni vid in globoko učenje.



Vir slike: <https://www.paragonbank.co.uk/blog/agricultural-technology-changing>

V tradicionalnem kmetijskem inženiringu so bila doslej razvita številna orodja za bionsko kmetovanje, tudi bionsko oblikovana rezila za izboljšanje delovne učinkovitosti in varčevanja z energijo. Strojni vid in nevronske mreže se že danes v svetu pogosto uporabljajo pri razvrščanju pridelkov, sortiranju, prepoznavanju fenoloških obdobij in navigaciji. Metode globokega učenja lahko spodbujajo inteligentnost kmetijskega inženiringa in imajo očitne prednosti pri razvrščanju pridelkov, prepoznavanju bolezni in škodljivcev, pri ocenjevanju statusa rasti in razvoju kmetijskih avtonomnih robotov. Kmetijski inženiring, ki združuje bionsko tehnologijo, strojni vid in globoko učenje, se bo vedno bolj intenzivno razvijal proti vse večji avtomatizaciji in inteligenci.

Nanotehnologija in nanosenzorji za napredek kmetijstva

Z razvojem nanotehnologije so se nanosenzorji izkazali kot inovativna in inteligentna tehnologija, ki se vedno pogosteje uporablja v kmetijskem in gozdarskem sektorju. Nanosenzorji so prihajajoča vrhunska raziskovalna pot za pametne kmetijske prakse. Uporaba nanomaterialov v kmetijstvu lahko pomaga zmanjšati stroške in prizadevanja pri natančnem kmetovanju, kar vodi do inovativnih kmetijskih sis-

temov. Brezžični nanosenzorji se lahko uporabljajo za spremljanje zdravja pridelkov in dreves v realnem času na posebnih obdelovalnih in naravnih območjih. Prav tako je mogoče spremljati natančno odkrivanje bolezni rastlin in žuželk ter škodljivcev, kar bo pomagalo pri pravočasni uporabi gnojil, fungicidov, insekticidov in pesticidov za zaščito pridelkov. V sektorju, povezanem s kmetijstvom, se nanosenzorji lahko uporabljajo za spremljanje stanja in zdravja tal, pomanjkanja hranil v tleh, bolezni rastlin za rast pridelkov, ocene agrokemikalij v tleh, toksičnosti kemikalij za zagotavljanje zdravja tal in seveda rastlin. Med sodoben delovno intenziven proces kmetovanja sodi tudi učinkovito namakanje. Zaradi pomanjkanja ustreznega in naprednega namakalnega in talnega sistema se danes izgublja zdravje tal in posledično ogromno pridelkov. Nanosenzorski in avtomatizirani namakalni sistemi imajo namreč velik potencial za preprečevanje prevelike izgube vode na območjih, ki jih je prizadela suša, in degradacije tal. Sodobni nanosenzorji združujejo biologijo z nanomateriali, da so natančnejši in hitrejši pri ugotavljanju izgube pridelka. Gre seveda za nov in širši pogled na boljšo prihodnost. Za kmetijstvo so vedno bolj pomembni tudi droni naslednje generacije v vseh kmetijskih sektorjih, ki se ukvarjajo z različnimi vprašanji, kot so podnebne razmere, natančno kmetovanje, višja produktivnost in upravljanje pridelave pridelkov. Droni z nanosenzorji omogočajo prepoznavanje slik terena kot monitoring pridelkov, bolezni, škodljivcev in celo degradacije tal. Uporaba nanosenzorjev v gozdarstvu pa vključuje uporabo pri varovanju zdravja gozdov, obdelavi lesa in gospodarjenju z gozdovi ter kemotaksonomiji. Sektor nanotehnologije se je že doslej s svojo tehnologijo najbolje uporabljal v natančnem kmetijstvu z razvojem nanobionskih rastlin z vstavljanjem nanosenzorjev v žive rastline, ki jih je mogoče uporabiti za komunikacijo kot infrardeče naprave in tudi za zaznavanje predmetov v okolju rastline. Zato je nanobionski pristop odprl nov pogled na raziskave rastlinskih nanomaterialov. Bionika pa v sodobnem kmetijstvu pomeni predvsem iskanje rešitev v naravi sami in uspešnih evlucijskih procesov, ki jih je mogoče realizirati tudi z novimi tehnološkimi rešitvami.

Janez Škrlec, inž.
Uredništvo revije Ventil

ŽIROVSKI POCLAIN HYDRAULICS ZA SVOJ VENTIL PREJEL ZLATO REGIJSKO PRIZNANJE ZA NAJBOLJŠO INOVACIJO

Na Gospodarski zbornici Slovenije že tradicionalno podpirajo inovacijsko dejavnost v Republiki Sloveniji in vsako leto nagradujejo najbolj inovativne rešitve, ki postajajo gibalno trajnostnega razvoja našega gospodarstva in pospeševanja podjetništva. V letošnjem projektu kot partnerja sodelujeta tudi Ministrstvo za gospodarstvo, turizem in šport ter Javna agencija Spirit Slovenija, ki se zavedata velikega pomena uveljavljanja inovacij in prav tako spodbujata in promovirata napredne rešitve, katerih uspeh močno odmeva tudi v mednarodnem prostoru.



Ekipo inovatorjev iz žirovske družbe Poclain Hydraulics (od leve proti desni): vodja projekta mag. Boris Novak, koordinator razvojne ekipe Mufid Bešič, glavni konstruktor Jernej Bradeško, mag. Anže Čelik, zadolžen za preračune in simulacije, ter izkušeni vodja razvoja in mentor Matej Erznožnik (Foto: arhiv PH)

Za prijavo inovacij v obliki novih ali izboljšanih izdelkov, postopkov ali storitev, ki temeljijo na postulatih tehnološkega razvoja in lastnega znanja, se je letos prvič odločilo tudi žirovsko podjetje Poclain Hydraulics s svojo ekipo iz razvojnega oddelka, ki je za svojo odlično razvojno tehnološko rešitev hidravličnega ventila za upravljanje pomožnega pogona na kmetijskih kombajnih v juniju prejelo eno od šestih zlatih priznanj za najboljšo inovacijo na regionalni ravni.

GZS je tako na osnovi letošnjega razpisa predlagatelje povabila k prijavi inovacij, ki so jih prvič vpekljali na trg ali uporabili v svojem proizvodnem procesu v času od 1. januarja 2021 do 31. marca 2023. Priznanja za najboljše inovacije GZS podeljuje dvostopenjsko: najprej na regionalni, zatem pa še na nacionalni ravni. Prispele projekte, razvrščene v pet kategorij (produktne, procesne, trženjske, organizacijske in družbene inovacije), je v okviru razpisa najprej ocenilo 13 regionalnih ocenjevalnih



Uradna podelitev zlatega regionalnega priznanja družbi Poclain Hydraulics za hidravlični ventil HCC-200 v Kranju (od leve proti desni): Janka Planinc, GZS, predsednica UO pri Regionalni zbornici Gorenjska, Mušič Bešič, vodja razvojne ekipe, in Matej Eržnožnik, vodja razvoja v družbi Poclain Hydraulics, ter Vesna Nahtigal, generalna direktorica GZS (Foto: arhiv RZG)

komisij, do septembra pa se bo zaključil še drugi krog, ko bodo na podlagi števila prejetih točk znane tudi ocene nacionalne komisije. Štiri najbolj ocenjene inovacije bodo kandidirale za nacionalna Priznanja GZS za najboljše inovacije, ki jih bodo v okviru Dneva inovativnosti v GZS podelili 19. septembra letos.

Tudi Regionalna zbornica za Gorenjsko (RZG) je v začetku letošnjega marca preko svoje Komisije za inovacije, ki deluje v okviru Sekcije za kakovost, pripravila razpis za gorenjsko regijo. Prijavitelji so morali svoje inovativne rešitve, definirane v skladu s pravili OECD, prijaviti do 14. aprila letos. Na razpis za podelitev priznanj najboljšim inovacijam Gorenjske za leto 2023 se je odzvalo 14 podjetij in en samostojni inovator s skupaj 16 prijavljenimi inovacijskimi projekti, za podelitev priznanj pa so upoštevali tiste, ki so izpolnjevali kriterije odličnosti, učinkovitosti ter uspešne uporabe v praksi. Zlata, srebrna in bronasta regijska priznanja so v prisotnosti generalne direktorice GZS Vesne Nahtigal prejemnikom iz gorenjske regije v Kranju podelili 1. junija letos.

Razvojne aktivnosti na ventilu za upravljanje možnega pogona na kmetijskih kombajnih so se v

podjetju Poclain Hydraulics začele že pred časom. Poclainova inovacija rešuje zagate uporabnikov kombajnov, ki imajo pogon na sprednji osi in jih je po obilnejših padavinah na razmočenih in blatnih kmetijskih zemljiščih bistveno težje krmiliti. Kombajni, opremljeni s hidravličnim ventilom HCC-200, bodo odslej bogatejši še za dodatni zadnji pogon, ki ga je mogoče po potrebi vklapljeti in izklapljeti. Za lažje upravljanje bo operaterjem kombajnov po potrebi tako na voljo tudi štirikolesni pogon (4WD), ki pa ob inovativnem načinu krmiljenja ter manjšem hrupu voznikom prinaša še bistveno večje ergonomsko udobje. Hkrati pa izboljšano krmiljenje pomeni tudi znižanje obremenitev na ostale komponente v pogonskem sistemu in jim podaljšuje življenjsko dobo. Direktor podjetja Aleš Bizjak poudarja, da so z inovativno rešitvijo, ki so jo v Žireh razvili za največjega svetovnega proizvajalca kmetijske mehanizacije, ne le izboljšali uporabniško izkušnjo, pač pa so s serijsko proizvodnjo svojemu obratu zagotovili dolgoročen posel z višjo dodano vrednostjo ter z novim ventilom dodatno razširili seznam svojih referenc.

Glavni konstruktor Jernej Bradeško pojasnjuje, da so z razvojem ventila inovativno rešili težavo visokih tlačnih konic, ki so pri zagonu motorja z



Poclainova inovacija: HCC-200 – hidravlični ventil za upravljanje pomožnega pogona na kmetijskih kombajnih (Foto: arhiv PH)

glavno črpalko nastajale v ohišju zlasti ob velikih mehanskih obremenitvah: »Izboljšava v ospredje prinaša prednost uporabe našega novega hidravličnega ventila, saj ta za aktivacijo batov radialnega motorja izkorišča pomožno črpalko, ki ne glede na obremenitev pogona deluje konstantno na nižjem tlaku. To pomeni, da se hidravlični motorji tudi ob morebitnih visokih obremenitvah vklapljaajo z reguliranim nizkim tlakom, kar jim podaljšuje življenjsko dobo, preklon med dvokolesnim (2WD) in štirikolesnim (4WD) pogonom pa je zato bistveno mehkejši in tišji. Zaradi nizkih tlačnih izgub uporaba novega ventila omogoča tudi energetske prihranke, manjše so tudi možnosti okvar ter puščanja olja, z njimi pa tudi manjše potrebe po servisiranju in tveganja za onesnaženje okolja.«

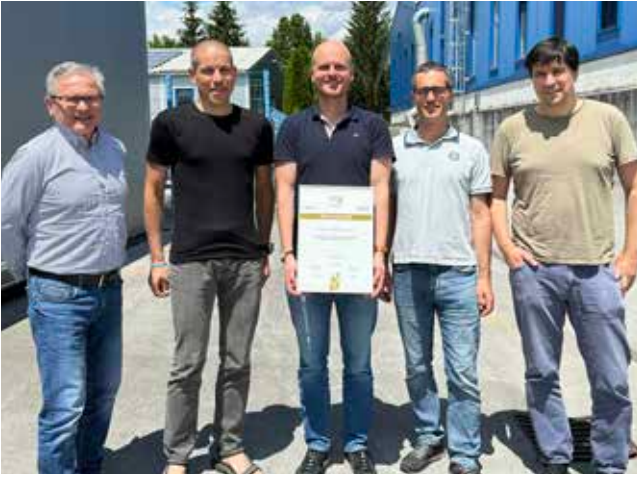


Nagrajeni Poclainovi inovatorji: Mufid Bešič, Boris Novak, Anže Čelik, Jernej Bradeško in Matej Erznožnik (Foto: arhiv PH)

Da gre s to energetsko učinkovito rešitvijo tudi za doprinos k zelenim tehnološkim rešitvam z vidika njihovega vpliva na okolje, pritrjuje tudi vodja razvoja Matej Erznožnik: »S to inovacijo v podjetju Poclain Hydraulics izkazujemo svojo odgovornost in zavezanost k varovanju okolja, saj smo poskrbeli za zmanjšanje ogljičnega odtisa tako z izbiro materialov v fazi proizvodnje kot tudi pri neposredni uporabi izdelka na terenu.« Pri tej inovaciji je izpostavil tudi izjemno uspešno timsko delo na mednarodni ravni. Za uspešno validacijo izdelka s strani kupca iz ZDA je zaslužen zlasti mag. Anže Čelik, ki je bil v ekipi zadolžen za preračune in simulacije elementarnih komponent in sistema, s katerimi so bistveno skrajšali čas fizičnih testov. Ker ima kmetijski kombajn okoli 35 tisoč sestavnih delov, je pomembno, da takrat, ko naročnik preverja izdelek in komponente, vse brezhibno deluje. S simulacijami so predhodno predvideli vse možne scenarije delovanja izdelka. Pri zagonu stroja z novim ventilom pa je bil osebno prisoten tudi glavni konstruktor Jernej Bradeško. Pri delu jim je poleg Mufida Bešiča, vodje razvojne ekipe za portfolio ventilov, pomagala še dvojica inženirjev iz skupine Poclain. Kot aplikacijski inženir, ki je tesno sodeloval s kupcem, je razvojni ekipi nudil podpro Homer Hawk, za oblikovanje ulitkov pa je poskrbel Vladimir Piecka iz dizajnerske pisarne Poclain Hydraulics Trenčin. Erznožnik še poudarja, da je bil Poclain Hydraulics izbran za dobavitelja zaradi velike podpore inženirske ekipe proizvajalca kmetijskih kombajnov, čeprav ni bil med najcenejšimi ponudniki. Usklajevanja z njimi so potekala leto in pol v obliki rednih tedenskih sestankov, zdaj pa ti potekajo redkeje. V ZDA so kombajne s tem ventilom začeli serijsko izdelovati v začetku tega leta in jih v zveznih državah na jugu že uporabljajo za žetev. Poudaril je, da Poclain prodaja ameriškemu kupcu nov ventil skupaj z motorjem, ki je vodilni izdelek mednarodne skupine Poclain s sedežem v Franciji. Z njima bo Poclain še bolj utrdil svoj ugled med kupci na konkurenčnem svetovnem trgu in po potrebi širil projekte tudi v druge dejavnosti.

Vodja projekta mag. Boris Novak je pojasnil, da so pri razvoju tega novega ventila, kjer investicijsko-razvojni cikli izdelka in procesa trajajo približno 4 leta, nadgradili znanje in izkušnje iz preteklih let, saj so že pred desetletjem razvijali izvedenke podobnega ventila tudi za tovorna vozila: »To znanje nam je pomagalo in zdaj lahko pokrивamo nove segmente trga in dosegamo uspehe, pri čemer se na spremenjene zahteve trga skušamo odzvati čim hitreje.«

Razvojni oddelek v žirovskem podjetju Poclain Hydraulics združuje 25 strokovnjakov, med katerimi jih 17 deluje neposredno v razvoju: 9 se jih ukvarja z razvojem izdelkov, štirje delajo na razvoju pro-



Tim z zlatim regijskim priznanjem za inovacije pred stavbo Poclain Hydraulics v Žireh (Foto: arhiv PH)

cesov, dva v laboratoriju za montažo in testiranje prototipov ter eden na področju izračunov in simulacij. Njihovo delo spremlja in nadgrajuje še ekipa treh projektnih vodij, treh strokovnjakov s po-

dročja marketinga, strokovnjak s področja nabave in specialist projektne kvalitete. Ekipe sodelavcev, ki se ukvarjajo z razvojem izdelkov in procesov, običajno oblikujejo glede na potrebe in zahtevnosti samih projektov.

Inovativno žirovsko podjetje Poclain Hydraulics, ki ima skoraj 300 zaposlenih, 95 odstotkov svojih prihodkov ustvari z izvozno dejavnostjo in uspešno vstopa na nove trge k največjim svetovnim igralcem. Danes je v svetu med najbolj prepoznavnimi na področju ventilov za hidravlične pogone mobilnih delovnih strojev ter med vodilnimi pri proizvodnji hidravličnih ventilov za zavore. Njihov celotni proizvodni program zajema ventile za zaprte in odprte tokokroge, ventile za zavore ter hidravlične naprave za transmisijske pogone industrijskih strojev. Svoje proizvodne procese stalno izboljšuje ter uvaža rešitve industrije 4.0. Skladno s politiko skupine Poclain in z razvojem ključnih znanj stremijo k boljši učinkovitosti, odličnosti poslovanja in vrhunski kakovosti izdelkov. Tovarna v Žireh, ki je po številu zaposlenih tretja največja med desetimi tovarnami v mednarodni skupini Poclain, je danes pomemben kompetenčni center za hidravlične ventile in hidravlične naprave znotraj skupine Poclain, obenem pa tudi tehnološki center za avtomatske preizkuševalne naprave hidravličnih sestavin.

Skupina Poclain, ki ima sedež v Verberierju v Franciji, za trg razvija in proizvaja visokozmogljive hidravlične sestavine in sisteme, večinoma za hidravlične hidrostatične pogone. Sem sodijo hidravlični motorji in črpalke, hidravlični ventili, naprave, celotni sistemi ter z njimi povezana elektronika. Skupina posluje na treh kontinentih v 20 državah in z 2.500 zaposlenimi letno ustvari za približno 400 milijonov evrov prihodkov. Tehnološko dovršene, energijsko varčne in okolju prijazne izdelke skupina Poclain trži preko več kot 20 lastnih prodajnih enot ter 180 distributerjev po vsem svetu. Hidravlične sestavine in sistemi, ki jih razvijajo v Žireh, tako omogočajo nemoteno obratovanje številnih industrijskih delovnih strojev, zlasti v dejavnosti gradbeništva, kmetijstva, rudarstva, luškega, ladijskega in drugega transporta.

Miša Hrovat, Agencija Maga
misa@maga.si



RAZISKAVA VPLIVOV NA RAST RAZPOKE V KORENU ZOBA POLIMERNEGA ZOBNIKA

Damijan Zorko, Klemen Kolar, Bor Mojšker, Nikola Vukašinić

Izveček:

V sklopu raziskave so bili analizirani različni parametri, ki vplivajo na rast razpoke v korenu zoba in posledično na življenjsko dobo zobnika. V prvem koraku je bila z uporabo metode končnih elementov preverjena ustreznost metode 30° tangente, ki jo za določanje kritičnega prereza zoba uporablja standard za kontrolo jeklenih zobniških dvojic ISO 6336. V naslednjem koraku je bil pripravljen numerični model za simulacijo rasti razpoke v korenu. Numerični model upošteva eksperimentalne rezultate, pridobljene z izvajanjem standardnih zobniških testov na namenskem preizkuševališču. Z uporabo numeričnega modela je bil analiziran vpliv lokacije začetne razpoke, njene velikosti in orientacije.

Ključne besede:

zobniki, polimeri, utrujanje, lom, odpoved, razpoka

1 Uvod

Zeleni prehod, trajnostno gospodarstvo, zmanjšanje porabe goriva in energije, e-mobilnost, izboljšana uporabniška izkušnja so glavni trendi, ki vodijo k zamenjavi kovinskih strojnih delov z deli, izdelanimi iz lahkih in naprednih materialov. V te namene se največ uporabljajo visoko zmogljivi polimeri in na polimerni matrici osnovani kompoziti. Z naraščajočo ponudbo polimernih materialov in njihovimi vedno boljšimi mehanskimi lastnostmi se hitro povečuje tudi uporaba polimernih zobnikov. Razloge za to gre iskati v številnih prednostih, ki jih imajo ti pred kovinskimi. Polimerni zobniki lahko obratujejo brez dodatnega mazanja, pri obratovanju povzročajo manj hrupa in vibracij, kar pomeni izboljšano uporabniško izkušnjo. Polimerni materiali so večinoma odporni na korozijo in druge kemične vplive, zato lahko polimerni zobniki delujejo tudi v agresivnih okoljih. Veliko cenejša je tudi masovna proizvodnja, saj se polimerni zobniki večinoma proizvajajo z injekcijskim brizganjem. Zaradi vseh naštetih prednosti so zelo privlačni za uporabo v več industrijskih sektorjih, npr. avtomobilizmu, gospodinjstvi, aparati, medicini, robotiki, e-mobilnosti.

V primerjavi z jeklenimi zobniki imajo polimerni tudi nekatere pomanjkljivosti, med katere sodijo pred-

vsem slabše mehanske lastnosti, slabša toplotna prevodnost, slabša toplotna stabilnost in manjša natančnost izdelave. Večjo zmogljivost polimernih zobnikov lahko omogočimo z izboljšano zasnovano zobnikov, kjer se lahko uporabijo nestandardni profili in modifikacije korenov [1, 2], ali z uporabo izboljšanih materialov [3-5]. Zadovoljivo natančnost geometrije injekcijsko brizganih zobnikov je mogoče dobiti z ustreznim orodjem in primerno izbranimi procesnimi parametri [6].

Na trgu obstaja široka paleta različnih polimernih materialov, ki se nenehno razvijajo in izboljšujejo. Ključni problem za uporabo teh materialov v zobniških aplikacijah predstavlja pomanjkanje ustreznih podatkov o materialih, ki so nujno potrebni za zanesljivo konstruiranje pogonov s polimernimi zobniki. Poznavanje odpornosti na utrujanje, obrabne odpornosti in tornih lastnosti je ključnega pomena za razvoj visoko optimiziranih zobnikov. V inženirski praksi se za izdelavo polimernih zobnikov največ uporabljajo delno kristalinični inženirski polimeri, kot sta polioksimetilen (POM) in poliamid (PA) [7, 8]. Z vedno večjimi zahtevami se povečuje tudi uporaba visokozmogljivih inženirskih polimerov, kot je na primer poli-eter-eter-eton (PEEK) [9, 10]. Za izboljšanje mehanskih lastnosti se osnovnim polimerom dodajajo različna ojačitvena vlakna in polnila [11, 12]. Zaradi vse večje uporabe polimernih zobnikov in vpliva fosilnih polimerov na okolje se raziskujejo tudi možnosti uporabe biopolimerov [13, 14].

Uporaba polimernih zobnikov bi bila najverjetneje še bolj razširjena, če bi bile na voljo kakršne koli standardizirane računske metode in ustrezni podatki o materialih. Trenutno še ni na voljo mednarodne-

Doc. dr. Damijan Zorko, mag. inž., **Klemen Kolar**, dipl. inž. (UN), **dr. Bor Mojšker**, mag. inž., **doc. dr. Nikola Vukašinić**, univ. dipl. inž., vsi Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo

ga standarda pod okriljem ISO organizacije, ki bi formaliziral smernice in priporočila za vrednotenje in konstruiranje polimernih zobnikov. To tematiko obravnava nekaj nacionalnih standardov, npr. britanski BS 6168:1987 [15] in japonski JIS B 1759:2013 [16]. Slednja temeljita na standardu ISO 6336:2019 [17] z nekaterimi manjšimi modifikacijami [18]. Na voljo so tudi smernice različnih inženirskih združenj. Smernica VDI 2376:2014 [19], naslednik VDI 2545 [20], je bila izdana leta 2014 in je trenutno najbolj izpopolnjena in najpogosteje uporabljena smernica za konstruiranje polimernih zobnikov. Smernica podaja metode vrednotenja zobnikov glede na vse najpogostejše tipe odpovedi. Vključeni so tudi materialni podatki za nekatere osnovne materiale, npr. POM in PA 66. Na voljo so tudi smernice za konstruiranje, ki jih je izdalo ameriško združenje proizvajalcev zobnikov AGMA [21, 22]. Te obravnavajo samo potencialne materiale in geometrijo zobnikov, ne predlagajo pa računskih modelov za vrednotenje zobnikov kot tudi ne podajajo potrebnih materialnih podatkov. Optimizacijo zasnove integriranega polimernega zobnika z upoštevanjem vseh možnih načinov odpovedi sta predstavila Tavčar et al. [23]. Algoritme strojnega učenja so poskušali uvesti tudi v načrtovanje zobnikov [24]. Takšne metode so se izkazale za precej priročne za ocenjevanje konstrukcije nestandardnih zobnikov. Kljub temu je za usposabljanje modelov potrebna velika zbirka podatkov o obstoječih primerih.

Poznamo različne tipe odpovedi polimernih zobnikov [25]. Najpogostejše so trajnostni lom zoba v korenu, obraba in zmeščanje materiala zaradi previsoke obratovalne temperature ter posledična plastična deformacija zob. Nekateri materiali pod določenimi pogoji obratovanja izkazujejo tudi odpoved zaradi jamičenja [10, 26]. V zadnjem času je bilo predstavljenih več modelov za napovedovanje obratovalne temperature polimernih zobnikov [27–29], le malo raziskav pa je bilo narejenih na področju natančnejšega napovedovanja korenske in bočne trdnosti polimernih zobnikov. Lu et al. so predstavili model za napovedovanje življenjske dobe zobnikov iz POM glede na kriterij korenske trdnosti [26] in glede na kriterij jamičenja [30]. Zaradi kratkotrajnega delovanja obremenitve na posamezen zob so obnašanje materiala popisali s termo-elasto-plastičnim konstitucijskim modelom. Za popis elastičnega območja so uporabili Hookov zakon, za popis plastičnega območja pa Johnson-Cookov model [31]. Kot kriterij porušitve je pri upogibnem cikličnem utrujanju uporabljen kriterij glavnih deformacij, za kriterij porušitve pri kontaktnem cikličnem utrujanju pa Brown-Millerjev model [32]. Predstavljeni model [26] velja le za material POM, faza nukleacije razpoke in rasti razpoke v delu nista posebej obravnavani.

Medtem ko na področju napovedovanja korenske trdnosti polimernih zobnikov še ni modelov, ki bi posebej popisali fazo nukleacije razpoke in fazo

rasti razpoke, lahko te najdemo na področju jeklenih zobnikov. Kramberger et al. [33] so predstavili model za napovedovanje korenske trdnosti v jeklenem zobniku, kjer je nastanek razpoke določen na osnovi kriterija glavnih deformacij, nadaljnja rast razpoke pa je popisna s Parisovim zakonom [34]. Posamezni parametri Parisove enačbe so bili določeni z numeričnim modelom, ki je temeljil na linearni lomni mehaniki. Pehan et al. [35] so predstavili študijo, v kateri so se osredotočili na fazo rasti razpoke. Raziskali so, kako začetna lokacija iniciarne razpoke vpliva na njeno rast. Različne vplive na hitrost širjenja razpoke v korenu jeklenega zobnika sta z uporabo numeričnih metod (XFEM) raziskala tudi Wei in Jiang [36].

Raziskava, predstavljena v tem prispevku, je osredotočena na analizo parametrov, ki vplivajo na nastanek trajnostne poškodbe in loma v korenu zoba. Pri obratovanju zobniške dvojice je posamezen zob izpostavljen cikličnemu upogibanju. Po določenem številu ciklov se zaradi utrujanja materiala pojavi razpoka, ki z nadaljnjimi upogibnimi cikli raste do končnega loma zoba. Kritični prerez v korenu zoba se po standardih ISO 6336 in DIN 3990 (za jeklene evolventne zobniške dvojice z zunanjim ozobjem) kot tudi po priporočilu VDI 2736 (za polimerne) določi s 30° tangento na profil korena zoba. V prvem koraku raziskave je bilo preverjeno, ali tako določena lokacija kritičnega prereza sovpada tudi z izračunom največje napetosti po metodi končnih elementov. Zaradi različnih vplivov, ki jih teoretični in numerični preračun ne upoštevata, npr. struktura materiala, napake v materialu, napake na površini, se v praksi razpoke pojavijo tudi na drugih lokacijah. Po nastanku razpoke je tudi smer rasti razpoke odvisna od različnih dejavnikov, kot so velikost začetne razpoke, orientacija razpoke, velikost obremenitve, s tem pa tudi čas do porušitve. Razlogi, zakaj pride do razlik in kaj na te vpliva, do sedaj za polimerne zobnike še niso bili sistematično raziskani.

2 Metodologija

2.1 Eksperimentalne metode

V sklopu eksperimentalnega dela so bili izvedeni zobniški testi z uporabo referenčnih testnih zobnikov. Uporabljena je bila »standardna« LECAD-ova geometrija testnih zobniških dvojic. Parametri, ki določajo geometrijo obravnavane zobniške dvojice, so predstavljeni v *tabeli 1*. Pri vseh testih je bila preizkušana kombinacija jeklenega (42CrMo4) pogonskega zobnika in gnanega polimernega zobnika, izdelanega iz polioksimetilena (POM). Osnovne materialne lastnosti uporabljenega polimera so predstavljene v *tabeli 2*. Testni zobniki so bili izdelani iz komercialno dobavljivih ekstrudiranih palic (material Tecaform AH natural, Ensinger GmbH, Nemčija) s postopkom odvalnega rezkanja (*slika*

7). Razred kakovosti rezkalnega orodja je bil AA po DIN 3968 [37]. Geometrija izdelanih zobnikov je bila kontrolirana na namenskem merilnem stroju LH54 (Wenzel Messtechnik GmbH, Nemčija). Izdelani zobniki so bili uvrščeni v kakovostni razred 10 po ISO 1328 [38].

Tabela 1 : Geometrijski parametri obravnavane zobniške dvojice

Parameter	Vrednost
Profil	Evolventen, ISO 53 profil C
Modul - m [mm]	1
Število zob - z_1 / z_2	20 / 20
Vpadni kot profila - α [°]	20
Širina zob - b_1 / b_2 [mm]	6 / 6
Razdelni premer - d [mm]	20.00
Temenski premer - d_a [mm]	22.00
Vznožni premer - d_f [mm]	17.50
Medosna razdalja [mm]	20.00
Profilna stopnja prekritja - ϵ_α	1.557

Tabela 2 : Lastnosti uporabljenega polimernega materiala.

Parameter	Standard	TECAFORM AH natural
Okrajšava imena		POM-C
Elastični modul (23° C)	ISO 527	2800 MPa
Natezna trdnost (23° C)	ISO 527	67 MPa
Upogibna trdnost (23 °C)	ISO 178	91 MPa
Temperatura tališča	ISO 11357	166 °C
Temperatura steklastega prehoda	DIN53765	-60 °C
Gostota	ISO 1183	1.41 g/cm ³
Trdota (Shore D)	ISO 868	76.33



Slika 1 : Odvalno rezkanje testnih zobnikov

Testi so bili izvedeni na zobniškem preizkuševališču, prikazanem na *sliki 2*. Preizkuševališče omogoča natančno nastavitve ključnih obratovalnih pogojev zobniške dvojice, to so moment, vrtilna hitrost in temperature polimernega zobnika. Za ustvarjanje momenta, ki se prenaša preko testirane zobniške dvojice, sta uporabljena dva 4-polna asinhronska elektromotorja Siemens (Siemens AG, Nemčija). Moč se z gredi elektromotorjev na gredi s pritrjenimi testnimi zobniki prenaša preko zobatih jermenov. Na pogonsko gred je nameščen merilnik momenta, ki omogoča merjenje momenta med testom in njegovo aktivno kontrolo. Vrtilno hitrost spremljajo in krmilijo senzorji vrtilne hitrosti na pogonski in gnani gredi. Medosna razdalja zobniškega para je natančno nastavljiva z natančnostjo 0,02 mm. Pred vsakim preizkusom je bila medosna razdalja ovrednotena in preverjena s pomičnim merilom.

Vsi testi so bili izvedeni pri kontrolirani temperaturi polimernega zobnika, ki je bila nastavljena na 60 °C. Zobniški testi so obratovali pri konstantni vrtilni hitrosti 1500 vrt/min in brez dodatnega mazanja. Referenčni testi so bili izvedeni na dveh obremenitvenih nivojih, in sicer pri 1,2 Nm in 0,8 Nm, kar po analitičnem izračunu (*enačba 1*) rezultira v 72 MPa in 44 MPa imenske korenске napetosti. Testi so bili izvajani do končne odpovedi zobnika, ki se je izražala v obliki loma v korenu zoba. Na vsakem nivoju so bile izvedene tri ponovitve testa. S pomočjo digitalnega mikroskopa Keyence VHX-6000 (Keyence, Japonska) sta bila opravljena pregled poškodb in podrobna analiza nastanka začetne razpoke.

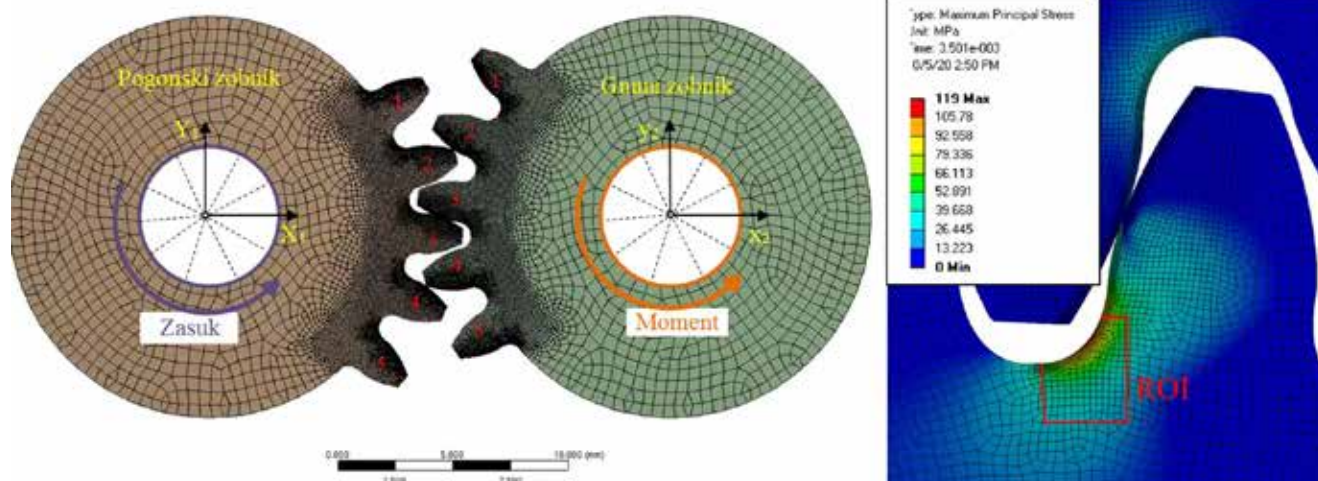


Slika 2 : Zobniška dvojica pred pričetkom testa

2.2 Numerične metode

2.2.1 Simulacija ubiranja zobniške dvojice

V prvem koraku je bil z uporabo metode končnih elementov postavljen numerični model, ki je omogočal simulacijo ubiranja zobniške dvojice. Model je bil uporabljen za kontrolo primernosti določanja kritičnega prereza z uporabo 30° tangente. Nu-



Slika 3 : Numerični model, uporabljen za simulacijo ubiranja

merične simulacije so bile izvedene v računalniški programski opremi Ansys Workbench 23.1 (Ansys, Inc., ZDA). Numerični model je bil postavljen v 2D-prostor, pri čemer je bilo upoštevano ravninsko napetostno stanje. Za diskretizacijo domene so bili uporabljeni končni elementi PLANE183 z vmesnimi vozlišči in kvadratično aproksimacijo pomika. Kontaktni pogoji med ubirajočimi boki so bili modelirani z elementi CONTA172 in TARGE169. Med ubirajočimi zobnimi boki je bil modeliran kontakt brez trenja, za formulacijo kontakta pa je bila uporabljena obogatena Lagrangeova metoda. Pogonski zobnik je bil z nepomično členkasto podporo vezan na fiksno točko, nameščeno v izhodišču koordinatnega sistema X_1Y_1 . Z uporabljenimi podporami je bil onemogočen pomik izbranega zobnika v smeri X_1 in Y_1 , omogočeno pa je bilo vrtenje okrog koordinatnega izhodišča. Enaka podpora je bila uporabljena tudi na gnanim zobniku, le da je ta bila vezana na koordinatni sistem X_2Y_2 . Pogonskemu zobniku je bil predpisan zasuk vrednosti 55° , medtem ko je bila na gnani zobnik predpisana momentna obremenitev, ki je delovala v smeri vrtenja, predpisanega na pogonskem zobniku, kot je prikazano na sliki 3.

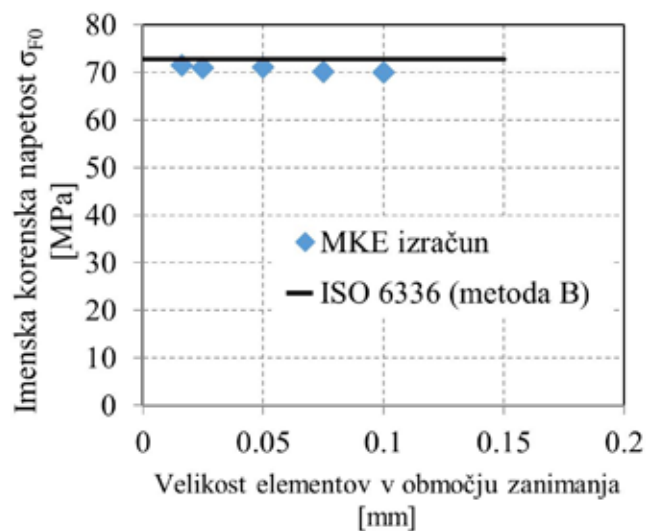
Analiza napetosti je bila izvedena na tretjem zobu, ki je pri simulaciji prešel vse karakteristične točke ubiranja (slika 3). Največja glavna napetost, izračunana v območju korenkega dela zoba, je bila upoštevana kot nominalna korenka napetost σ_{F0} . Območje zanimanja (ROI), kjer je bila ovrednotena največja glavna napetost, je bilo določeno tako, da je zajemalo kritični prerez zoba, določen z metodo 30° tangente. Predpisana velikost momenta na gnanim zobniku je bila enaka obremenitvam pri izvedenih zobniških testih, to je 0,8 Nm in 1,2 Nm. Mreža končnih elementov je bila zgoščena v območju zanimanja v korenu zoba in v področju zobnega boka. Ustreznost uporabljene gostote mreže je bila potrjena z izvedbo konvergenčnega testa, kjer je bila uporabljena h-metoda. Povprečna kakovost uporabljenih končnih elementov je bila 0,96. Nume-

rični model je bil za primer jeklene zobniške dvojice verificiran z uporabo standardnega analitičnega modela ISO 6336 (metoda B) za izračun napetosti v korenu zoba:

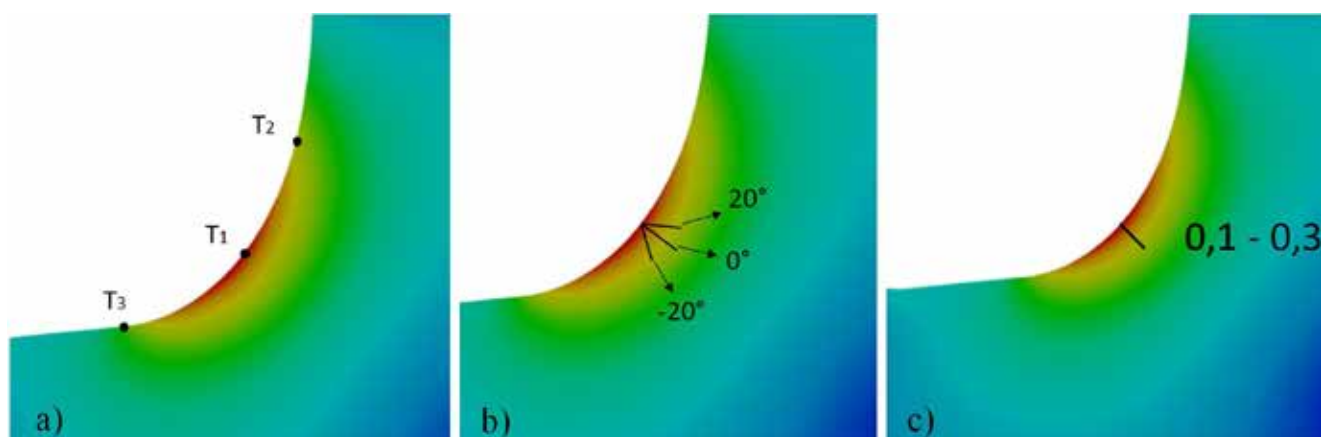
$$\sigma_{F0} = Y_F \cdot Y_S \cdot Y_\beta \cdot \frac{F_t}{b \cdot m} \quad (1)$$

kjer so za obravnavano geometrijo vrednosti koeficientov $Y_F = 2,14$, $Y_S = 1,70$, $Y_\beta = 1$.

Materialne lastnosti obeh zobnikov so bile modelirane kot izotropne linearno elastične. Pri simulaciji posameznega cikla ubiranja pod obravnavanimi obremenitvami nelinearne lastnosti materiala ne vplivajo opazno na odziv materiala, saj se v kratkem časovnem obdobju ubiranja posameznega zoba polimerni material ne odzove z viskozno komponento. Predpostavka o linearno elastičnem obnašanju se v splošnem uporablja pri izračunu na-



Slika 4 : Rezultati konvergenčne analize mreže in primerjava izračunane napetosti v korenu zoba



Slika 5 : Analizirani parametri začetnih razpok

petosti v polimernih zobnikih, seveda v primeru, ko so izračunane napetosti pod mejo tečenja polimernega materiala [27, 39]. Černe et al. [43] so izvedli primerjavo numerične obravnave polimernih zobnikov v primeru upoštevanja izotropnega linearno elastičnega obnašanja in viskoplastičnega obnašanja. V njihovi študiji so potrdili, da predpostavka linearnega elastičnega mehanskega obnašanja daje dovolj natančne aproksimacije napetostno-deformacijskega stanja za praktične namene termomehanskega modeliranja, namenjenega konstruiranju polimernih zobnikov.

2.2.2 Simulacija rasti razpoke v korenu polimernega zobnika

Pri obratovanju zobniške dvojice je posamezen zob izpostavljen cikličnemu upogibanju. Po določenem številu ciklov se zaradi utrujanja materiala pojavi razpoka, ki z nadaljnjimi upogibnimi cikli raste do končnega loma zoba. V nadaljevanju raziskave je tako bil pripravljen numerični model, namenjen simuliranju rasti razpoke v korenu zoba. Kritični prerez v korenu zoba se po standardih ISO 6336 in DIN 3990 kot tudi po priporočilu VDI 2736 določi s 30° tangento na profil zoba. Zaradi različnih vplivov, ki jih teoretični in numerični preračun ne upoštevata, npr. struktura materiala, napake v materialu, napake na površini, se v praksi razpoke pojavijo tudi na drugih lokacijah. Po nastanku razpoke je smer rasti razpoke odvisna od različnih dejavnikov, s tem pa tudi čas do porušitve [40].

Analizirani parametri začetnih razpok:

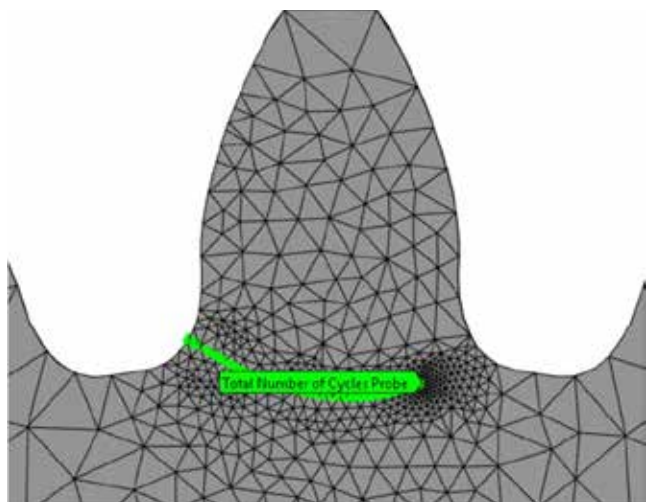
1. lokacija začetne razpoke (slika 5a): v točki izračunane maksimalne napetosti (T_1), 0,3 mm višje teoretične točke maksimalne napetosti (T_2) in 0,3 mm nižje (T_3);
2. usmerjenost začetne razpoke (slika 5b): v smeri normale na profil zoba ($0,0^\circ$), 20° nagnjeno navzgor glede na normalo in -20° nagnjeno navzdol glede na normalo;

3. velikost začetne razpoke (slika 5c): 0,1 mm in 0,3 mm začetne dolžine razpoke.

Za simulacijo rasti razpoke je bilo uporabljeno Ansysovo orodje SMART crack growth (Separating Morphing and Adaptive Remeshing Technology), ki temelji na principu metode XFEM. S simulacijo smo določili napetost v zobu, faktorje intenzitete napetosti K_I ter število ciklov do porušitve. V mehaniki loma nam faktor intenzitete napetosti K_I pove velikost napetosti v konici razpoke, ki se pojavi zaradi zunanje obremenitve ali zaostalih napetosti. Velikost faktorja je odvisna od geometrije vzorca, pozicije razpoke in velikosti ter porazdelitve obremenitev na materialu. Zapišemo ga lahko kot:

$$K_I = \sigma \cdot \sqrt{\pi \cdot a} f\left(\frac{a}{W}\right) \quad (2)$$

kjer je $f\left(\frac{a}{W}\right)$ funkcija geometrije vzorca, ki je odvisna od dolžine razpoke a in širine razpoke W , σ je napetost. Faktor je pomemben za določitev energije, sproščene pri lomu, kar potrebujemo za določitev smeri propagacije razpoke.



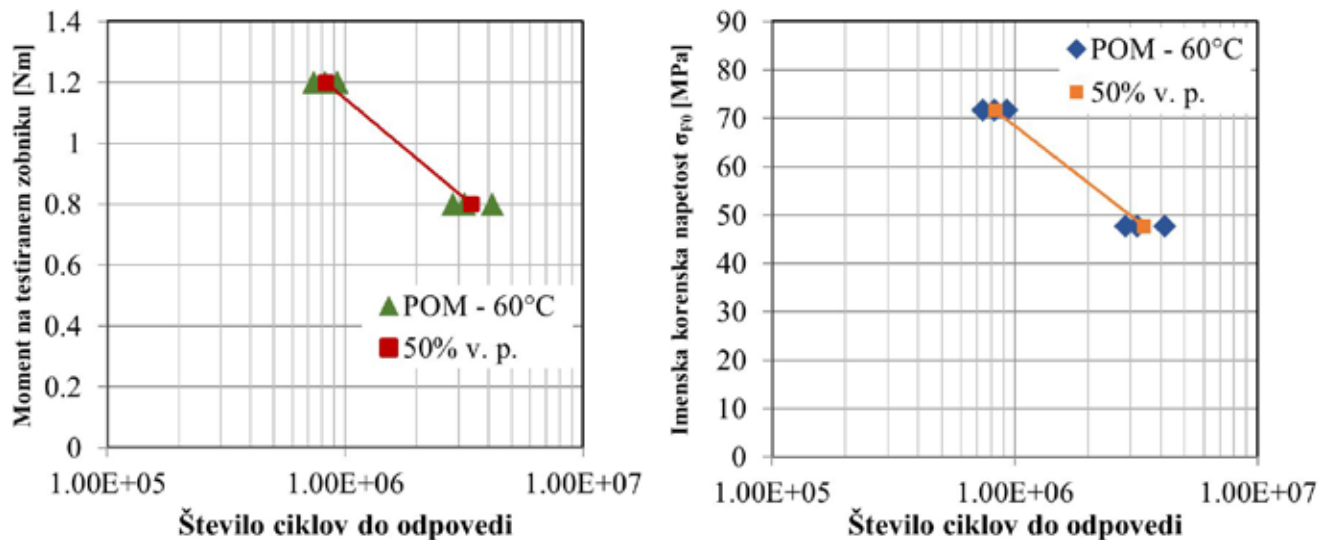
Slika 6 : Primer simulirane rasti razpoke

3 Rezultati in diskusija

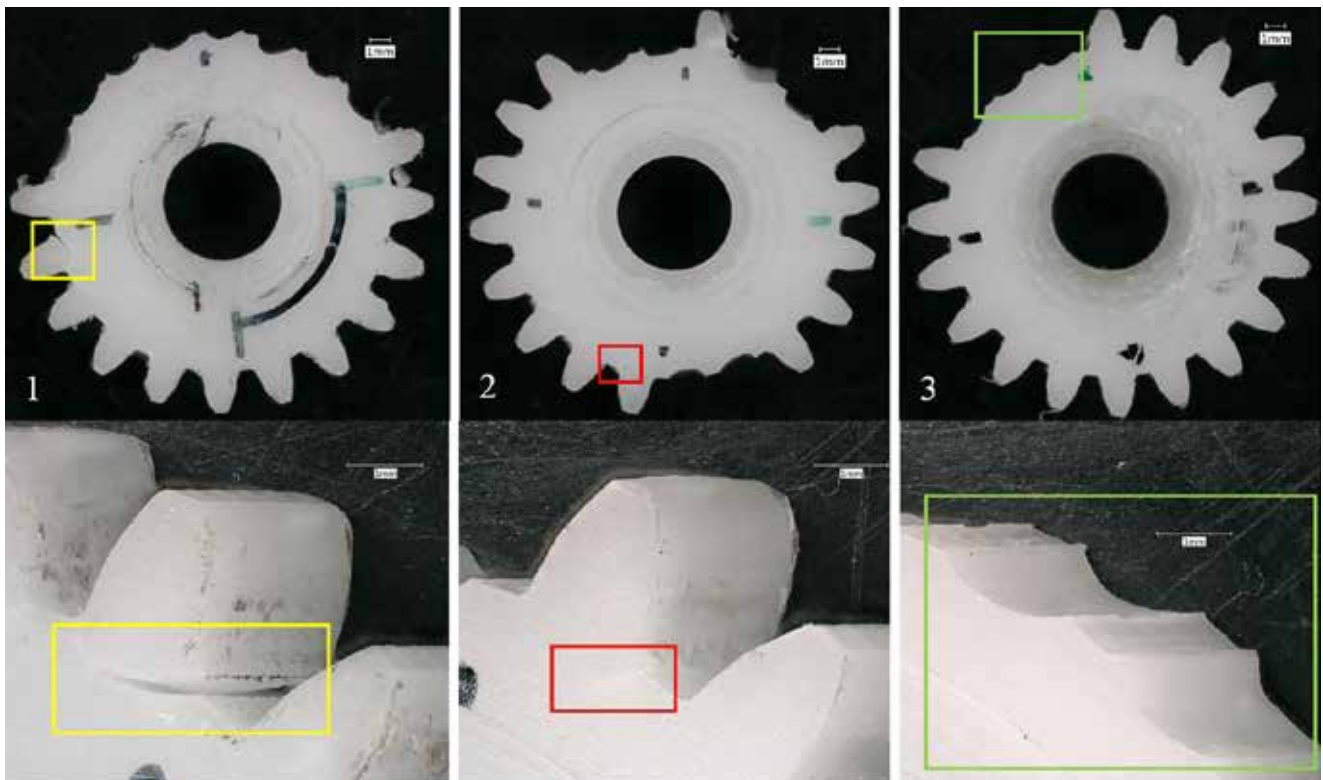
3.1 Preizkušanje življenjske dobe

Rezultati preizkušanja življenjske dobe POM-zobnikov so predstavljeni na *sliki 7a*. Če na podlagi apliciranih momentov izračunamo imenske korense napetosti (σ_{F0}) v testiranih polimernih zobnikih, lahko izdelamo Wöhlerjevo krivuljo, prikazano

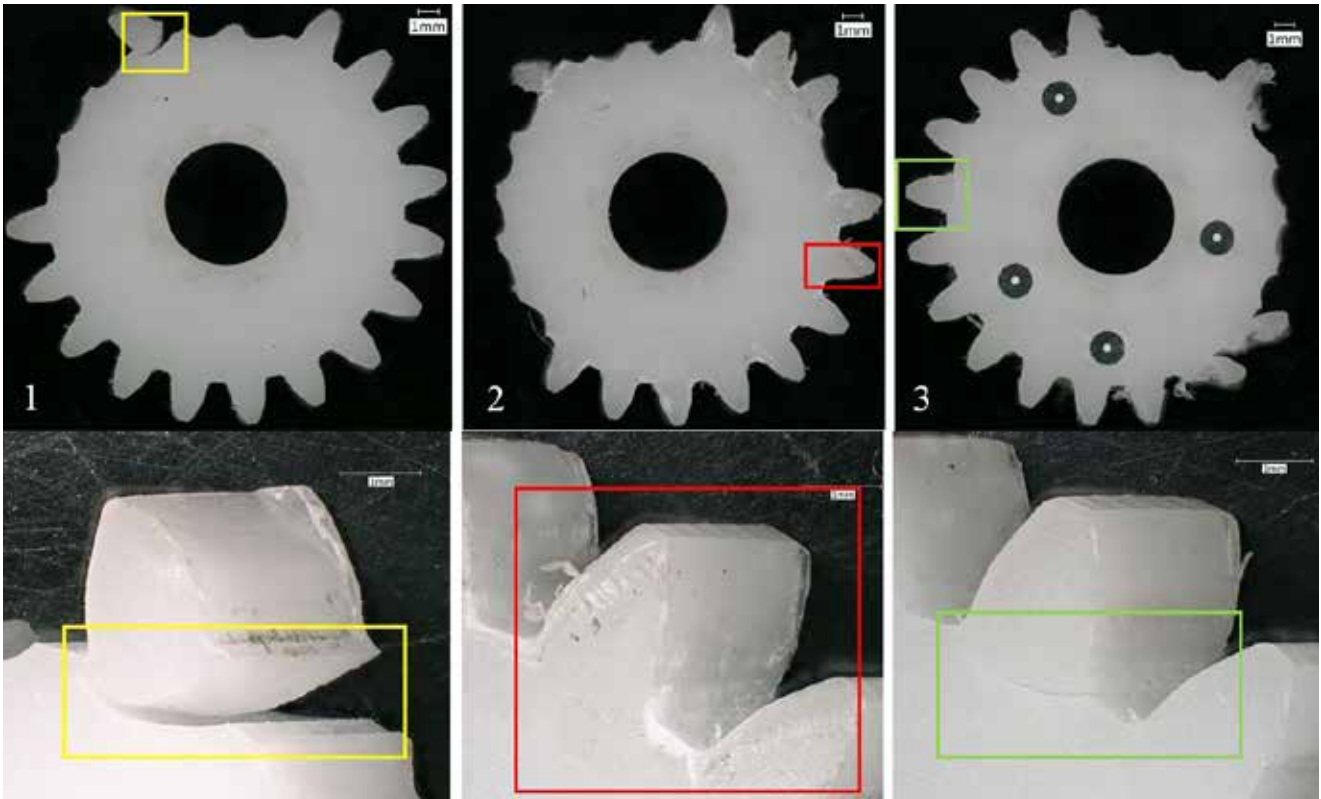
na *sliki 7b*. Ta krivulja je bila v nadaljevanju uporabljena pri modeliranju rasti razpok in analiziranju različnih vplivov na rast in življenjsko dobo zobnikov. Povprečna življenjska doba zobnikov, testiranih pri 1,2 Nm ($\sigma_{F0} = 71,6$ MPa), je bila $8,3 \cdot 10^5$ obremenitvenih ciklov, življenjska doba zobnikov, testiranih pri 0,8 Nm ($\sigma_{F0} = 47,7$ MPa), pa je bila $3,39 \cdot 10^6$ obremenitvenih ciklov.



Slika 7 : a) Življenjske dobe posameznih testiranih zobnikov pri določeni momentni obremenitvi, b) Odvisnost med imensko korense napetostjo (izračunano po modificiranem modelu VDI 2736, Y_F določen po metodi B iz ISO 6336)



Slika 8 : Zobniki, testirani pri momentu 1,2 Nm

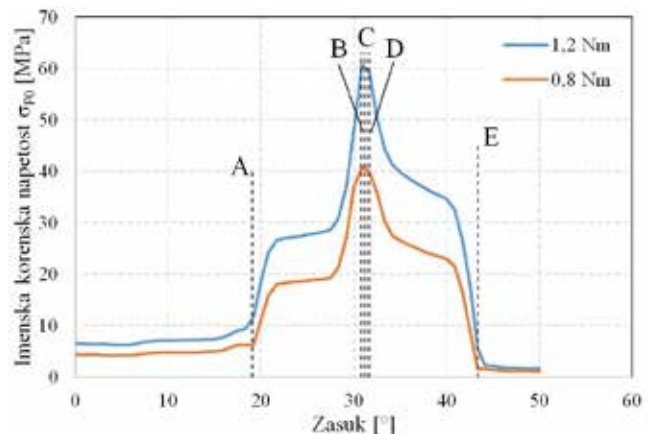


Slika 9 : Zobniki, testirani pri momentu 0,8 Nm

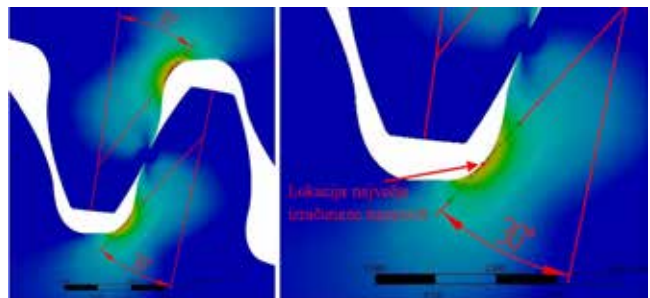
Porušeni zobniki so bili analizirani z digitalnim mikroskopom, kjer je bil identificiran tip odpovedi v vseh primerih lom v korenu zoba, opažene pa je bilo tudi nekaj obrabe, predvsem pri zobnikih, testiranih pri 0,8 Nm, ki so obratovali dlje časa. Opažene so bile različne lokacije pojava razpok in različne trajektorije njihove rasti.

3.2 Lokacija kritičnega prereza

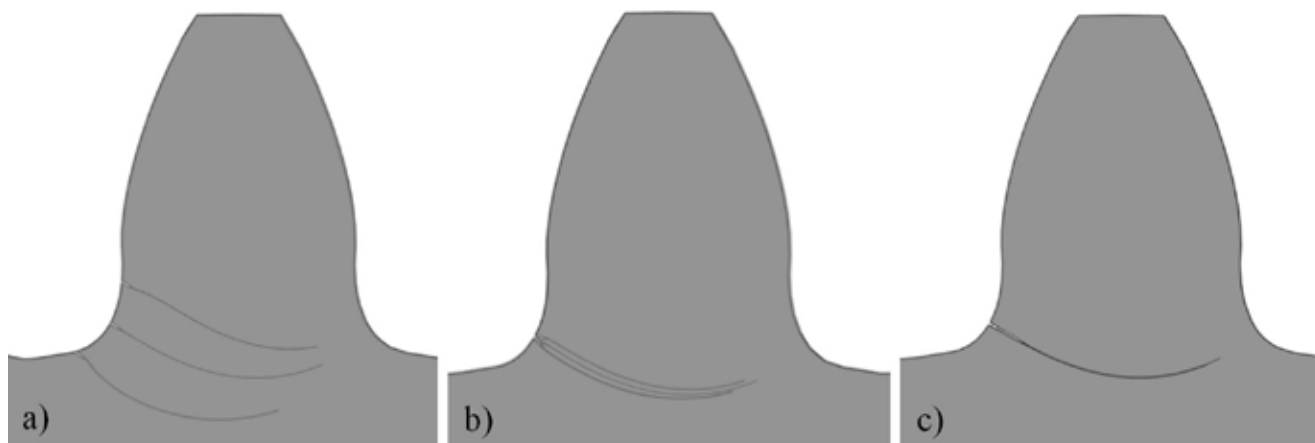
Slika 10 prikazuje potek največje glavne napetosti, izračunane v območju zanimanja (ROI), definiranem v korenskem delu zoba. Pri momentu 1,2 Nm je bila največja numerično izračunana napetost velikosti $\sigma_{F0} = 60,6$ MPa, pri momentu 0,8 Nm pa $\sigma_{F0} = 40,7$ MPa. V obeh primerih se je največja napetost pojavila, ko sta zobnika ubirala v zunanji točki enojnega ubiranja za gnani (polimerni) zobnik, to je točka B. Na tem mestu je potrebno poudariti, da je takšen potek napetosti značilen za primer, ko v kontaktu med zobmi ni modelirano trenje. V primeru upoštevanja trenja se potek napetosti nekoliko spremeni in ubirna točka, v kateri se pojavi največja korenska napetost, se pomakne proti točki D [41]. Napetosti so bile določene tudi analitično, z uporabo modela po VDI 2736, pri čemer je bila za moment 1,2 Nm izračunana $\sigma_{F0} = 71,6$ MPa in za moment 0,8 Nm $\sigma_{F0} = 47,7$ MPa. Do odstopanj med analitično in numerično izračunanimi korenskimi napetostmi pride, ker standardni (analitični) model ne upošteva povečanja profilne stopnje prekritja, ki se pojavi kot



Slika 10 : Potek imenske korenske napetosti σ_{F0} med ubiranjem enega zoba (A - začetna točka ubiranja, B - zunanja točka enojnega ubiranja za gnani zobnik, C - kinematična točka, D - zunanja točka enojnega ubiranja za pogonski zobnik, E - končna točka ubiranja)



Slika 11 : Lokacija največje izračunane napetosti se dobro ujema s 30° tangento



Slika 12 : Prikaz različnih trajektorij rasti razpoke v odvisnosti od: a) lokacije začetne razpoke, b) usmerjenosti začetne razpoke, c) velikosti začetne razpoke

posledica večje deformacije zob plastičnega zobnika. Večja stopnja prekritja posledično vpliva na nižjo napetost v zobnikih, kar je že bilo obravnavano v več delih [1, 13]. Pri analizi numeričnih rezultatov je bilo potrjeno, da največja izračunana glavna napetost v korenu sovpada z lokacijo kritičnega prereza zoba, določeno z metodo 30° tangente (slika 11).

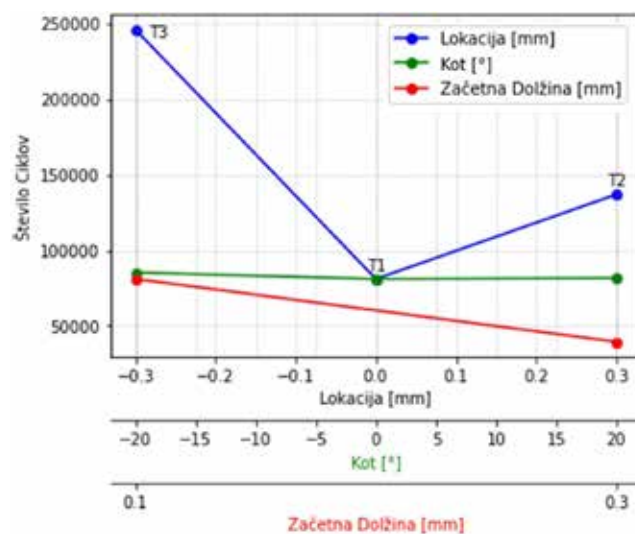
3.3 Analiza vplivov na rast razpok

Pri analizi vplivov na rast razpoke je bil analiziran vpliv lokacije, orientacije in dolžine začetne razpoke na njeno nadaljnjo rast in posledično življenjsko



Slika 13 : Napetost v konici razpoke

dobo zobnika. Potek simuliranih razpok z različnimi začetnimi vplivnimi parametri je prikazan na sliki 12. Ugotovimo lahko, da ima izmed analiziranih parametrov zagotovo največji vpliv na potek rasti razpoke njena začetna lokacija.



Slika 14 : Število ciklov do odpovedi v odvisnosti od analiziranih vplivnih parametrov začetne razpoke

Tabela 3 : Napetost v konici razpoke, faktor intenzitete in število ciklov do porušitve za analizirane parametre začetnih razpok

Parametri začetne razpoke (začetna dolžina, lokacija, usmerjenost)	Napetost v konici razpoke (za stabilno območje) [MPa]	$K1$ [MPa · mm ^{0,5}]	Število ciklov do porušitve
0,1 mm; 0,0 mm; 0,0°	254	210	81023
0,1 mm; 0,3 mm; 0,0°	262	220	137000
0,1 mm; -0,3 mm; 0,0°	292	82	246000
0,1 mm; 0,0 mm; 20°	263	166	81637
0,1 mm; 0,0 mm; -20°	287	129	85319
0,3 mm; 0,0 mm; 0°	296	312	39408

Slika 13 prikazuje primer napetosti v konici razpoke za analiziran primer začetne razpoke velikosti 0,1 mm, usmerjene v smeri normale na profil zoba in locirane v točki stika 30° tangente in profila zoba. Vidimo lahko, da je napetost nekaj časa konstantna, nato pa prične skokovito naraščati. Rast razpoke lahko tako ločimo na stabilno in nestabilno območje propagacije razpoke, kjer se nestabilno območje prične pri dolžini razpoke 0,75 mm. Ko doseže razpoka to kritično vrednost, prične nekontrolirano rasti do točke trenutnega loma zoba.

Rezultati simuliranih primerov rasti razpok so predstavljeni na *sliki 14*. Vidimo lahko, da ima najkrajšo pričakovano življenjsko dobo primer, kjer je začetna razpoka modelirana v točki kritičnega prereza, določenega s 30° tangento. V primeru 0,1 mm dolge začetne razpoke, usmerjene v smeri normale na profil zoba in locirane v točki kritičnega prereza, je do popolnega loma potrebnih $81 \cdot 10^4$ ciklov. Razpoka, locirana 0,3 mm nad točko kritičnega prereza, je do porušitve zrasla po $1,37 \cdot 10^5$ ciklih. Pri razpoki, locirani 0,3 mm nižje od kritičnega prereza, pa je do porušitve prišlo šele po $2,46 \cdot 10^5$ ciklih. Manjši vpliv na število ciklov do porušitve imajo analizirane usmerjenosti začetne razpoke. V primeru začetne razpoke z usmeritvijo v smeri normale zobnik zdrži 81023 ciklov, v primeru razpoke z 20° usmeritvijo zobnik zdrži 81637 ciklov, pri razpoki z začetno usmeritvijo -20° pa 85319 ciklov. Pričakovano ima precejšen vpliv na življenjsko dobo tudi velikost začetne razpoke. Pri analizi razpok z različno začetno dolžino je razpoka z začetno dolžino 0,3 mm zdržala le 39408 ciklov, razpoka z začetno dolžino 0,1 mm pa 81023 ciklov, kot je bilo pričakovano.

4 Zaključki

Študija je bila osredotočena na rast razpok v korenu zoba polimernega zobnika. Potrjeno je bilo, da metoda 30° tangente zelo dobro sovпада z numeričnim izračunom največje napetosti v korenu zoba. Pri analizi porušeni zobnikov je bilo ugotovljeno, da se razpoke na realnih vzorcih sicer pojavljajo v bližini kritičnega prereza, določenega s 30° tangento, kljub temu pa se od njega oddaljene nekaj desetink milimetrov in so tudi različno orientirane. S pomočjo numeričnih simulacij je bilo ugotovljeno, da ima lokacija pojave začetne razpoke največji vpliv na hitrost rasti razpoke in posledično na preostalo življenjsko dobo zobnika. Na podlagi eksperimentalno pridobljenih življenjskih dob zobnikov lahko zaključimo, da pomeni faza rasti razpoke zgolj manjši del celotne življenjske dobe polimernega zobnika.

Reference

[1] D. Zorko, Investigation on the high-cycle tooth bending fatigue and thermo-mechanical be-

havior of polymer gears with a progressive curved path of contact, *International Journal of Fatigue*. 151 (2021) 106394. <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2021.106394>.

[2] D. Zorko, J. Duhovnik, J. Tavčar, Tooth bending strength of gears with a progressive curved path of contact, *Journal of Computational Design and Engineering*. 8 (2021) 1037-1058. <https://doi.org/10.1093/jcde/qwab031>.

[3] D. Zorko, J. Tavčar, R. Šturm, Z. Bergant, Investigation of the durability and performance of autoclave-cured, woven carbon fiber-reinforced polymer composite gears in mesh with a steel pinion, *Composite Structures*. (2021) 114250. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2021.114250>.

[4] D. Zorko, J. Tavčar, M. Bizjak, R. Šturm, Z. Bergant, High cycle fatigue behaviour of autoclave-cured woven carbon fibre-reinforced polymer composite gears, *Polymer Testing*. 102 (2021) 107339. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2021.107339>.

[5] B. Černe, Z. Bergant, R. Šturm, J. Tavčar, D. Zorko, Experimental and numerical analysis of laminated carbon fibre-reinforced polymer gears with implicit model for coefficient-of-friction evaluation, *Journal of Computational Design and Engineering*. 9 (2022) 246-262. <https://doi.org/10.1093/jcde/qwab083>.

[6] U. Urbas, D. Zorko, N. Vukašinić, B. Černe, Comprehensive Areal Geometric Quality Characterisation of Injection Moulded Thermoplastic Gears, *Polymers*. 14 (2022). <https://doi.org/10.3390/polym14040705>.

[7] M. Hribersek, M. Erjavec, G. Hlebanja, S. Kulovec, Durability testing and characterization of POM gears, *Engineering Failure Analysis*. 124 (2021) 105377. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2021.105377>.

[8] M. Hriberšek, S. Kulovec, Study of the glass fibres and internal lubricants influence in a polyamide 66 matrix on the wear evolution of polyacetal and polyamide 66 based gears in a meshing process, *Engineering Failure Analysis*. 134 (2022) 106071. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2022.106071>.

[9] D. Zorko, S. Kulovec, J. Duhovnik, J. Tavčar, Durability and design parameters of a Steel/PEEK gear pair, *Mechanism and Machine Theory*. 140 (2019) 825-846. <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2019.07.001>.

[10] Z. Lu, H. Liu, C. Zhu, H. Song, G. Yu, Identification of failure modes of a PEEK-steel gear pair under lubrication, *International Journal of Fatigue*. 125 (2019) 342-348. <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2019.04.004>.

[11] J. Tavčar, G. Grkman, J. Duhovnik, Accelerated lifetime testing of reinforced polymer gears, *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing*. 12 (2018) JAMDSM0006-JAMDSM0006. <https://doi.org/10.1299/jamdsm.2018jamdsm0006>.

[12] K. Mao, D. Greenwood, R. Ramakrishnan, V.

- Goodship, C. Shroufi, D. Chetwynd, P. Langlois+, The wear resistance improvement of fibre reinforced polymer composite gears, *Wear*. 426–427 (2019) 1033–1039. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2018.12.043>.
- [13] D. Zorko, I. Demšar, J. Tavčar, An investigation on the potential of bio-based polymers for use in polymer gear transmissions, *Polymer Testing*. (2020) 106994. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2020.106994>.
- [14] A. Bravo, L. Toubal, D. Koffi, F. Erchiqui, Gear fatigue life and thermomechanical behavior of novel green and bio-composite materials VS high-performance thermoplastics, *Polymer Testing*. 66 (2018) 403–414. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2016.12.031>.
- [15] BS 6168:1987 Specification for non-metallic spur gears, (1987).
- [16] JIS B 1759: Estimation of tooth bending strength of cylindrical plastic gears. Japanese National Standard, (2013).
- [17] ISO 6336: Calculation of load capacity of spur and helical gears, Parts 1-6, International standard, (2006).
- [18] I. Moriwaki, A. Ueda, M. Nakamura, K. Yoneda, D. Iba, New Japanese Standard JIS B 1759 on load capacity of plastic gears, in: International Gear Conference 2014: 26th–28th August 2014, Lyon, Elsevier, 2014: pp. 1172–1178. <https://doi.org/10.1533/9781782421955.1172>.
- [19] VDI 2736: Blatt 2, Thermoplastische Zahnräder, Stirngetriebe, Tragfähigkeitsberechnung. VDI Richtlinien, (2014).
- [20] VDI 2545: Zahnräder aus thermoplastischen Kunststoffen, (1981).
- [21] ANSI/AGMA 1106-A97: Tooth Proportions for Plastic Gears, (1997).
- [22] AGMA 920-A01: Materials for Plastic Gears, (2001).
- [23] J. Tavčar, B. Černe, J. Duhovnik, D. Zorko, A multicriteria function for polymer gear design optimization, *Journal of Computational Design and Engineering*. (2021). <https://doi.org/10.1093/jcde/qwaa097>.
- [24] U. Urbas, D. Zorko, N. Vukašinić, Machine learning based nominal root stress calculation model for gears with a progressive curved path of contact, *Mechanism and Machine Theory*. 165 (2021) 104430. <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2021.104430>.
- [25] A.K. Singh, Siddhartha, P.K. Singh, Polymer spur gears behaviors under different loading conditions: A review, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*. 232 (2017) 210–228. <https://doi.org/10.1177/1350650117711595>.
- [26] Z. Lu, H. Liu, P. Wei, C. Zhu, D. Xin, Y. Shen, The effect of injection molding lunker defect on the durability performance of polymer gears, *International Journal of Mechanical Sciences*. 180 (2020) 105665. <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2020.105665>.
- [27] B. Černe, M. Petkovšek, J. Duhovnik, J. Tavčar, Thermo-mechanical modeling of polymer spur gears with experimental validation using high-speed infrared thermography, *Mechanism and Machine Theory*. 146 (2020) 103734. <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2019.103734>.
- [28] C. M. C. G. Fernandes, D. M. P. Rocha, R.C. Martins, L. Magalhães, J. H. O. Seabra, Finite element method model to predict bulk and flash temperatures on polymer gears, *Tribology International*. 120 (2018) 255–268. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2017.12.027>.
- [29] V. Roda-Casanova, F. Sanchez-Marin, A 2D finite element based approach to predict the temperature field in polymer spur gear transmissions, *Mechanism and Machine Theory*. 133 (2019) 195–210. <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2018.11.019>.
- [30] Z. Lu, H. Liu, R. Zhang, C. Zhu, Y. Shen, D. Xin, The simulation and experiment research on contact fatigue performance of acetal gears, *Mechanics of Materials*. 154 (2021) 103719. <https://doi.org/10.1016/j.mechmat.2020.103719>.
- [31] G. R. Johnson, W. H. Cook, Fracture characteristics of three metals subjected to various strains, strain rates, temperatures and pressures, *Engineering Fracture Mechanics*. 21 (1985) 31–48. [https://doi.org/10.1016/0013-7944\(85\)90052-9](https://doi.org/10.1016/0013-7944(85)90052-9).
- [32] M. W. Brown, K. J. Miller, A Theory for Fatigue Failure under Multiaxial Stress-Strain Conditions, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*. 187 (1973) 745–755. https://doi.org/10.1243/PIME_PROC_1973_187_069_02.
- [33] J. Kramberger, M. Šraml, S. Glodež, J. Flašker, I. Potrč, Computational model for the analysis of bending fatigue in gears, *Computers & Structures*. 82 (2004) 2261–2269. <https://doi.org/10.1016/j.compstruc.2003.10.028>.
- [34] P. Paris, F. Erdogan, A Critical Analysis of Crack Propagation Laws, *Journal of Basic Engineering*. 85 (1963) 528–533. <https://doi.org/10.1115/1.3656900>.
- [35] S. Pehan, J. Kramberger, J. Flašker, B. Zafošnik, Investigation of crack propagation scatter in a gear tooth's root, *Engineering Fracture Mechanics*. 75 (2008) 1266–1283. <https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2007.04.005>.
- [36] Y. WEI, Y. JIANG, Fatigue fracture analysis of gear teeth using XFEM, *Transactions of Non-ferrous Metals Society of China*. 29 (2019) 2099–2108. [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(19\)65116-2](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(19)65116-2).
- [37] DIN 3968: Tolerances for Single-start Hobs for Involute Spur Gears, (1960).
- [38] ISO 1328-1:2013: Cylindrical gears - ISO system of flank tolerance classification - Part 1: Definitions and allowable values of deviations relevant to flanks of gear teeth, (2013).
- [39] C. Hasl, H. Liu, P. Oster, T. Tobie, K. Stahl, Forschungsstelle fuer Zahnraeder und Getriebbau (Gear Research Centre), Method for calculating the tooth root stress of plastic spur gears meshing with steel gears un-

der consideration of deflection-induced load sharing, Mechanism and Machine Theory. 111 (2017) 152-163. <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2017.01.015>.

- [40] Y. WEI, Y. JIANG, Fatigue fracture analysis of gear teeth using XFEM, Transactions of Non-ferrous Metals Society of China. 29 (2019)

2099-2108. [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(19\)65116-2](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(19)65116-2).

- [41] D. Zorko, J. Štiglic, B. Černe, N. Vukašinić, The effect of center distance error on the service life of polymer gears, Polymer Testing. 123 (2023) 108033. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2023.108033>.

Investigating the effects on root crack propagation in a polymer gear

Abstract:

The study investigates the effects of various parameters on the root crack propagation and, consequently, the service life of the polymer gear. The international gear design standard ISO 6336 employs the 30° tangent method to determine the tooth's critical section location. In the first step, the adequacy of the 30° tangent method, was verified by employing a FEM model. In the next step, a novel numerical model was prepared to simulate the growth of a crack located in the root of an observed tooth. The numerical model takes into account the experimental results obtained by performing standard gear tests on a dedicated test bench. Using the numerical model, the effect of the initial crack location, its size and orientation were analyzed.

Keywords:

gears, polymers, fatigue, fracture, failure, crack

ZAHVALA

Avtorji se zahvaljujejo Javni agenciji za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije, ki je sofinancirala raziskavo v sklopu podoktorskega projekta Z2-3207.

EURO SLING

LeCAD
Konstruiranje in superračunalništvo

Univerza v Ljubljani
Fakulteta za strojništvo

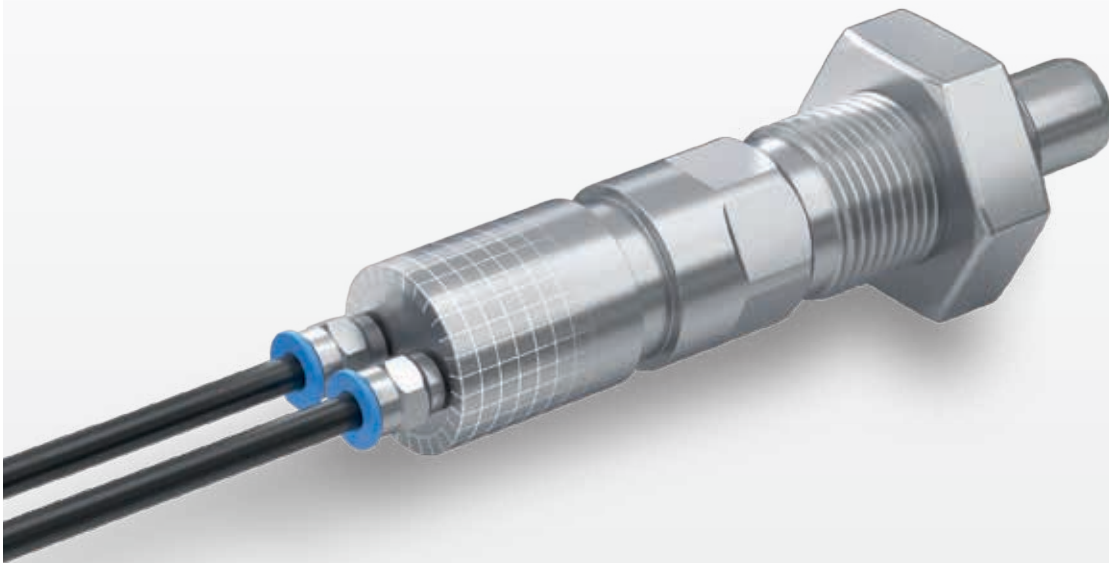
SPOZNAJTE SVET
SUPERRAČUNALNIŠTVA

Z BREZPLAČNIMI IZOBRAŽEVANJI ZA
INDUSTRIJO, ZNANOST IN AKADEMSKO SFERO

WWW.SLING.SI

Pnevmatski zaskočni sorniki

Tehnična poslastica v izvedbi iz plemenitega jekla



Zaskočni sorniki iz plemenitega jekla GN 817.7 s pnevmatsko aktivacijo se enostavno in varno vključijo v avtomatizirane procese.

Namenjeni so predvsem uporabi tam:

- tam, kjer ročna aktivacija ni mogoča
- v agresivnih pogojih
- s krmiljenjem po IO-Link

Za več informacij

preprosto skenirajte



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

elesa-ganter.si   



**DESIGNED
FOR ENGINEERING**

VSEŽIVLJENJSKO VEČAGENTNO PLANIRANJE POTI AVTOMATSKO VODENIH VOZIČKOV V INTRALOGISTIKI

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

Izvleček:

Članek predstavlja nova dognanja s področja teoretičnih in praktičnih vidikov logistike avtonomnih vozil v industrijskem prostoru, ki jih obravnavamo v okviru aplikativnega raziskovalnega projekta. Cilj projekta je sicer z inteligentnimi pristopi in z omejeno računsko močjo poiskati optimalne poti, časovne načrte gibanja in razporejanja nalog za floto avtomatsko vodenih vozičkov. V članku so predstavljeni pristopi koordiniranega planiranja poti za vozila, ki se gibljejo med postajami, povezanimi z omrežjem križišč in cest. Zemljevid okolja je zapisan v obliki grafa in ga uporabljamo za načrtovanje in preizkušanje algoritmov v simulatorju. Osnovna naloga, ki jo mora izvršiti mobilni agent, je vožnja med dvema poljubnima postajama, pri čemer se pred izvajanjem naloge agent lahko nahaja na poljubni lokaciji. Izvedene rešitve temeljijo na algoritmu za planiranje poti z varnimi časovnimi intervali in prioritetami, kjer se konflikti lahko rešujejo s čakanjem v vozliščih ali na cestah. Osnovna rešitev je nadgrajena s konceptom vseživljenjskega planiranja s prioritetami, kjer se nove naloge pojavljajo med izvajanjem simulacije. Predstavljamo koncept planiranja z varnim mestom, ki omogoča sestavljanje delnih načrtov v končno nalogo ter zagotavlja kompletnost algoritma.

Ključne besede:

planiranje poti, avtomatsko vodeni vozički, optimalna pot, algoritem SIPP, intralogistika

1 Uvod

Avtomatizacija intralogističnih procesov v skladiščih in industrijskih okoljih z avtomatsko vodenimi vozički (AGV - angl. automated guided vehicles) in avtonomnimi mobilnimi roboti (AMR - angl. autonomous mobile robots) je ključna za tovarne in skladišča prihodnosti. Poleg napredne strojne opreme je pomembna predvsem programska oprema, umetna inteligenca z algoritmi optimalnega planiranja poti.

Algoritmi za načrtovanje poti z več agenti večinoma uporabljajo predstavitev okolja z grafi in temeljijo na algoritmu A^* [1, 2]. Da se izognemo kompleksnemu načrtovanju, koordinaciji, vodenju in lokalizaciji več robotskih vozil, so AGV-ji v praksi omejeni na gibanje po vnaprej določenih poteh in z znanimi lokacijami postaj vzdolž poti [3]. Slednje je praktično predvsem z vidika obvladljivosti kom-

pleksnosti sistema, bolj predvidljivega delovanja in učinkovitosti delovanja. Večjo fleksibilnost v delovanju omogočajo AMR-ji, ki se lahko prosto gibljejo v dinamično spremenljivih okoljih, ki pri svojem avtonomnem delovanju rešujejo problem lokalizacije in navigacije. Zaradi kompleksnosti problema in delno nepredvidljivega okolja (npr. posegi človeka v delovni prostor robota) je koristna kombinacija centralnega vodenja sistema, ki v večini predvodi in optimalno upravlja vozila, in lokalne inteligence vozil za reševanje nepredvidljive konfliktna situacije med delovanjem.

Optimalno usklajeno načrtovanje z uporabo pristopov, ki temeljijo na A^* [4, 2], je možno le za relativno majhno število vozil, saj kompleksnost narašča eksponentno s številom vozil. V praksi je zato potrebno računsko zahtevnost omiliti z uvedbo suboptimalnih pristopov, ki planirajo gibanje vsakega vozila ločeno in nato rešujejo konflikte z uvedbo prometnih pravil, lokalnega večagentnega usklajevanja, pogajanja ali prioritete [4], [2].

V članku predstavljamo nekatere aktivnosti aplikativnega raziskovalnega projekta z naslovom Razvoj samoučečega sistema za optimizacijo pravil vožnje avtonomnih transportnih vozil in njihovih časovno-prostorsko usklajenih aktivnosti. Projekt združuje tri partnerje: Fakulteto za Elektrotehniko, Univerza v Ljubljani, Fakulteto za strojništvo, Univerza v Lju-

Dr. Matevž Bošnjak, univ. dipl. inž., **dr. Andrej Zdešar**, univ. dipl. inž., oba Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko; **doc. dr. Rok Vrabič**, univ. dipl. inž., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo; **Dr. Viktor Zaletelj**, univ. dipl. inž., Epilog, Tehnološki park Ljubljana; **Izr. prof. dr. Gregor Klančar**, univ. dipl. inž., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko

bljani, in podjetje Epilog d. o. o. Projekt sofinancirata Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije in podjetje Epilog d. o. o. za obdobje 2021–2024. Glavne aktivnosti vsebujejo izdelavo simulacijskih okolij za razvoj in vrednotenje rezultatov [5], razvoj algoritmov za planiranje večagentnih sistemov (MAPF – angl. multi-agent path finding) [6, 10, 11], avtomatizirano gradnjo zemljevida cest [7], samoučeči modul za dodeljevanje nalog in prenos znanj v prakso. V članku se osredotočamo na teoretične in praktične vidike optimalnega planiranja poti ter predstavljamo rešitve, ki so računsko učinkovite.

2 Opis problema

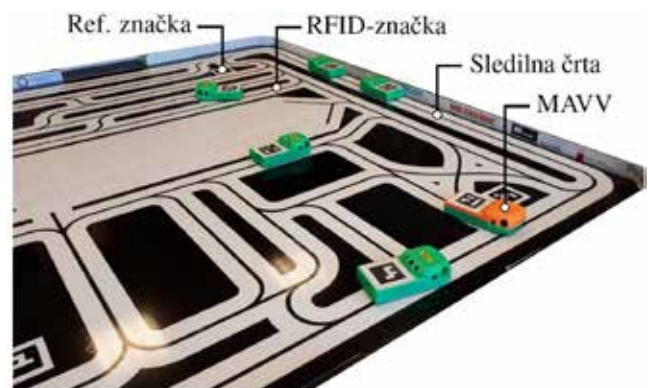
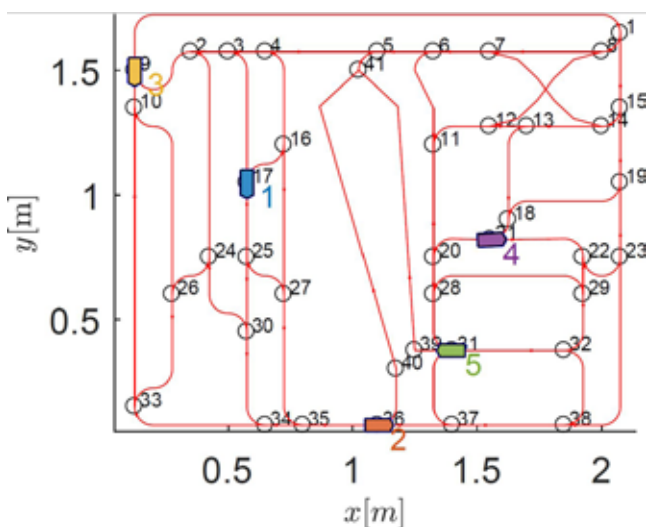
Zemljevid okolja, v katerem planiramo poti, opišemo z grafom cest in križišč (slika 1), ki vsebuje nabor povezav ($e_i \in E$) in vozlišč ($v_i \in V$) kot graf prehajanja stanj $G = \langle E, V \rangle$. Vozlišča v grafu predstavljajo križišča, povezave pa ceste med njimi. Povezave so utežene (cena predstavlja čas prehoda med vozliščema) in usmerjene (enosmerne ali dvosmerne povezave).

Rezultat planiranja je najdena pot $\pi = [a_1, a_2, \dots, a_n]$, ki vsebuje akcije a_i . Akcije opišejo pot s podanim hitrostnim profilom od startnega do ciljnega vozlišča z ustreznimi časovnimi trenutki. Akcija je definirana z naborom $a_i = \langle t_i, rID_i, loc_i \rangle$, ki definira želen čas prihoda t_i na lokacijo loc_i znotraj ceste rID_i . a_i je akcija premika, če se lokacija glede na $a_{(i-1)}$ spremeni ($\langle rID_i, loc_i \rangle \neq \langle rID_{i-1}, loc_{i-1} \rangle$). Akcija predstavlja čakanje na lokaciji, če se lokacija vozila ne spremeni ($\langle rID_i, loc_i \rangle = \langle rID_{i-1}, loc_{i-1} \rangle$). Osnovni algoritem za planiranje poti z varnimi časovnimi intervali (SIPP – angl. safe interval path planning) omogoča čakanje v vozliščih, tj. na začetku povezav ($loc = 0$). Možne nadgradnje s čakanjem na povezavah omenjamo v nadaljevanju in so povzete po [10, 11].

2.1 Detekcija konfliktov

Pri planiranju iščemo rešitev oz. trajektorije za skupino vozil, ki zagotavljajo vožnjo brez konfliktov. V procesu iskanja take rešitve je potrebno pogosto preverjati morebitne konflikte in iskati alternativne obvoze ali konflikte preprečiti s čakanjem. Trki se lahko zgodijo med vozili, ki vozijo po istih ali različnih povezavah in vozliščih. Detekcija trkov je kompleksna in pogosto zahteva računsko zahtevno numerično reševanje, saj so povezave poljubnih oblik in analitična rešitev kot v [8] ni možna, rešitev z numerično simulacijo [2] pa je računsko potratna.

Za večjo računsko učinkovitost predpostavljamo, da je konflikt možen le znotraj istih povezav ali vozlišč. To znatno poenostavi detekcijo trkov v postopku planiranja. Pri detekciji trka v vozlišču zgolj preverjamo, ali lahko v vozlišče vstopimo v njegovem varnem intervalu. Pri določitvi trenutka vstopa upoštevamo dimenzije vozila (njegovo očitano krožnico). Detekcijo konfliktov znotraj iste povezave nato enostavno ugotovljamo s pomočjo intervalov zasedenosti povezav (O_i). Če dve vozili uporabljata isto povezavo, je trk možen le, če se intervala O_i prekrivata. Vpeljana predpostavka, da so konflikti možni le znotraj istih vozlišč in cest, pogojuje, da so različne ceste dovolj narazen, da vozila med vožnjo po njih ne trčijo (zaradi dimenzij vozil). V vseh situacijah ta predpostavka ne drži, možni primeri so: trk dveh vozil v vozliščih, ki sta narazen za manj, kot je dimenzija vozil, ali trk vozil na različnih povezavah, ko sta vozili blizu vozlišča. Rešitev za te in podobne situacije obravnavamo v podpoglavju 3.2.2. Dodatno pa pri detekciji konfliktov vpeljemo še varnostni faktor, ki dejanski očitani radij vozila poveča za nek faktor (npr. 1,6).



Slika 1 : Primer opisa zemljevida okolja z grafom, v katerem se iščejo optimalne poti do ciljnih lokacij (levo) in poligon za testiranje algoritmov planiranja (desno).

3 Algoritem SIPP in nadgradnje

Osnovni algoritem SIPP [1] omogoča optimalno planiranje poti enega vozila v dinamičnih okoljih z znanimi trajektorijami ovir. SIPP izvira iz algoritma A^* , ki je nadgrajen z varnimi intervali. Varni intervali so definirani za vozlišča grafa prehajanja stanj in definirajo maksimalni neprekinjen časovni interval, v katerem je vozlišče dostopno. Posamezno vozlišče ima lahko enega ali več varnih intervalov, ki so ločeni z intervali zasedenosti. Interval zasedenosti definira časovni interval, ko to vozlišče zaseda nek drug agent. Unija varnih in zasedenih intervalov predstavlja celotno časovno os.

Osnovni algoritem SIPP (algoritem 1) preiskuje graf in razlikuje stanja, definirana kot skupek $s = \langle v, SI \rangle$, kjer je v vozlišče grafa in SI varni interval (eden od več možnih). Algoritem začne v začetnem stanju (algoritem 1, vrstica 1) $s_{start} = \langle v_{start}, SI_{start} \rangle$ in išče najboljšo pot do ciljnega stanja s_{goal} . V postopku iskanja optimalne (npr. najhitrejše) poti lahko v vozlišče v vstopimo večkrat z različnimi varnimi intervali. Za vsako stanje s vodimo informacijo $\langle g(s), h(s), parent(s), t_{EA}(s) \rangle$, ki vsebuje najmanjšo ceno od začetnega do trenutnega vozlišča ($g(s)$), starša ($parent(s)$), hevristično oceno cene do cilja ($h(s)$) in najkrajši možen čas dostopa do vozlišča t_{EA} znotraj intervala SI . V vsaki iteraciji z odprtega seznama $OPEN$ vzamemo stanje s z najnižjo skupno ceno $f(s) = g(s) + h(s)$ (algoritem 1, vrstica 4) in zanj poiščemo možne naslednike (algoritem 1, vrstica 5). Če novi naslednik s' še ni bil obiskan oz. je že bil obiskan, a ima višjo ceno, potem ceno posodobimo z vsoto cene starša $g(s)$ in ceno povezave $c(s, s')$ (algoritem 1, vrstice 7–13).

Ključno pri implementaciji algoritma SIPP je določitev naslednjih stanj za širitev iskanja (algoritem 1, vrstica 5), kjer za obstoječe stanje s (stanje je skupek vozlišča in varnega intervala) poiščemo možna naslednja stanja $s' \in S'$. To je, v katera nova vozlišča

Algoritem 1: Algoritem SIPP

```

1:  $g(s_{start}) = 0, OPEN = \emptyset$ 
2: insert  $g(s_{start})$  into  $OPEN$  with  $f(s)$ 
3: while  $s_{goal}$  is not expanded do
4:   remove  $s$  with smallest  $f(s)$  from  $OPEN$ 
5:    $S' = getSuccessors(s)$ 
6:   for each  $s' \in S'$  do
7:     if  $s'$  not visited before then
8:        $f(s') = g(s') = \infty$ 
9:     if  $g(s') > g(s) + c(s, s')$  then
10:       $g(s') = g(s) + c(s, s')$ 
11:      update  $t_{EA}(s')$ 
12:       $f(s') = g(s') + h(s')$ 
13:      insert  $s'$  into  $OPEN$  with  $f(s')$ 

```

lahko pridemo in v kateri varni interval lahko vstopimo. Pri tem je potrebno preveriti tudi, da na povezavi do naslednjega vozlišča ni konflikta (npr. trka z drugim vozilom) oz. v primeru konflikta je potrebno ugotoviti, ali ga je možno preprečiti z ustreznim časom čakanja v s .

3.1 Algoritem SIPP s prioritetami za MAPF

Algoritma SIPP razširimo z vpeljavo prioritet za namen večagentnega planiranja (MAPF). Vpeljava prioritet ima dva pomembna praktična učinka, kot sledi. Z njimi lahko definiramo, da so naloge, ki se že izvajajo (npr. dostave po planiranih poteh), bolj prioritete od novih nalog ali pa predpišemo zelene prioritete.

Dodatno z vpeljavo prioritet dosežemo razklopljenost večrobotskega planiranja poti, kar bistveno poenostavi računsko kompleksnost MAPF-algoritmov [4, 2]. Problem lahko rešujemo za vsako vozilo ločeno, upoštevajoč zasedenosti ostalih. To je računsko bistveno manj zahtevno kot hkratno reševanje celotne skupine vozil.

Osnovni postopek planiranja je sledeč:

1. Izvedemo planiranje poti za najbolj prioriteto vozilo in določimo zasedenosti vozlišč ter povezav vzdolž poti.
2. Nadaljujemo s planiranjem manj prioritete vozila, pri tem pa upoštevamo zasedenosti vozlišč in cest vseh višje prioritete vozil.
3. Korak 2 ponavljamo do najmanj prioritete vozila.
4. Izvajanje oz. začetek vožnje glede na določene plane.

3.2 Zagotovitev učinkovite koordinacije

Prikazujemo nekaj dopolnitev grafa, da dosežemo ustrezno in učinkovito planiranje poti.

3.2.1 Dodatna vozlišča

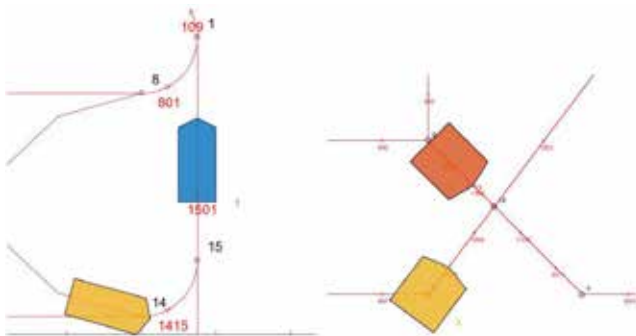
Poleg obstoječih vozlišč, ki predstavljajo križišča cest, lahko vpeljemo še dodatna vozlišča brez vejitev povezav. Primerna izbira dodatnih vozlišč omogoča efektiven umik s ceste (npr. pri koordinaciji vozil) in nato povratek nazaj. Brez dodatnega vozlišča mora vozilo (glede na osnovni SIPP, algoritem 1) peljati do konca povezave, po kateri se umika, in se nato vračati.

Vozliščem in povezavam dodajamo različne oznake. Cestam lahko dodamo oznako enosmerne, dvosmerne ali večpasovne povezave. Pri slednji preverjanje konfliktov ni potrebno, saj se zanašamo na lokalno inteligenco AGV-jev, da zmorejo lokalno koordinacijo.

3.2.2 Bližnja vozlišča

Osnovni graf predpostavlja, da so trki zgolj znotraj istih povezav ali v vozlišču. V določenih situacijah lahko pride do trka tudi, ko so vozila na različnih povezavah ali vozliščih, kot prikazuje slika 2. Vozliščem, ki so preblizu glede na dimenzije vozil, zato priredimo lastnost bližnjega vozlišča, kar pomeni, da ob zasedenosti enega zasedemo tudi drugega in s tem preprečimo trk.

Če bi skozi vozlišče 15 (slika 2 levo) peljalo modro vozilo in bi hkrati v vozlišču 14 čakalo rumeno vozilo (manj prioritavno), da prepreči trk, bi se zaradi dimenzij vozil zgodil trk. To preprečimo, če vozliščema dodamo lastnost bližnjega vozlišča, kar pomeni, da je ob zasedenosti enega zasedeno hkrati tudi drugo vozlišče. Podobno bi se trk zgodil na sliki 1 desno, ker vozila vozita po cestah, ki se križata brez vozlišča. Če na mestu križanja na vsaki cesti dodamo svoje novo vozlišče in jima dodelimo lastnost bližnjega vozlišča, potem do trka ne pride. Ob zasedenosti enega novega vozlišča je tako hkrati zasedeno tudi drugo, zato rumeno vozilo čaka v predhodnem vozlišču, da do trka ne pride.



Slika 2 : Vpeljava vmesnih vozlišč omogoča učinkovito detekcijo trka pri dveh bližnjih vozliščih (levo) ali pri križanju povezav (desno).

3.2.3 Čakanje na povezavah

Osnovni algoritem SIPP lahko izvaja koordinacijo s čakanjem le v vozliščih. Z dodajanjem novih vozlišč na povezavah, kjer želimo oz. dovolimo čakanje, lahko dosežemo učinkovitejšo koordinacijo, kot je omenjeno v poglavju 3.2.1. Z dodajanjem vozlišč se hkrati tudi nekoliko povečuje kompleksnost algoritma, saj je graf obsežnejši.

Druga alternativa je, da čakamo na povezavah, tako da prvotno mesto čakanja v vozlišču na začetku povezave premaknemo na povezavo. Govorimo o manipulaciji plana [9], pri čemer ne posegamo v osnovni algoritem planiranja, temveč izračunane

plane le preuredimo. Za vsako povezavo ohranimo čas vstopa in izstopa iz povezave, mesto čakanja pa le prestavimo na povezavo. Pri tem upoštevamo dovoljena območja čakanja na povezavi in predhodna vozila, ki na cesti že čakajo.

4 Izvajanje nalog

Pri osnovnih nalogah vozila z nekimi začetnimi leg vozijo v predpisano končno lego. V končni legi lahko dodatno predpišemo zahtevan postanek oz. čakanje (npr. za manipulacijo tovora). Ta postanek je lahko končen, po katerem vozilo nadaljuje vožnjo, ali pa neskončen, če ostane parkirano za nedoločen čas. Omenjeni postanek zagotovimo v času iskanja poti, kjer za končanje iskanja (algoritem 1, vrstica 3) dodamo pogoj, da je ciljno vozlišče v varnem intervalu prihoda ($s_{goal} = \langle v_{goal}, S_{goal} \rangle$) prosto vsaj za zelen čas postanka. S tem zagotovimo, da v času postanka v vozlišču ne vstopi nobeno bolj prioritavno vozilo. Z dodano zasedenostjo za ciljno vozlišče (O_{goal}) pa preprečimo vstop manj prioritavnim vozilom.

V nadaljevanju je prikazana še izvedba bolj kompleksnih nalog, kot so naloge s predpisanim vrstnim redom dostav, sestavljene naloge, sestavljene naloge s predpisanim vrstnim redom in vseživljenjsko delovanje. Pri planiranju za izvajanje teh nalog je osnovno vodilo določitev optimalnih oz. blizuoptimalnih planov, ki ne potrebujejo ponovnega planiranja ob dodajanju novih nalog in so računsko učinkoviti. Najprej vpeljemo rekurzivno različico algoritma SIPP, ki jo uporabljamo v prikazanih načinih izvajanja kompleksnejših nalog.

4.1 Rekurzivni algoritem SIPP

Za sestavljene naloge je potrebnih več zaporednih klicev algoritma SIPP in nato ustrezno zlepljenje dobljenih delnih planov. Pri tem pa je potrebno zagotoviti možnost nadaljevanja, če se delni plan konča v slepi ulici. Pri vstopu v slepo ulico je potrebno tudi preveriti, ali je povratek iz nje mogoč. Sestavljanje planov in probleme slepe ulice lahko sistematično zagotovimo z rekurzivno različico algoritma SIPP (algoritem 2), ki je razširitev algoritma 1. Ko algoritem najde pot do prvega vmesnega plana, predhodno preveri dostopnost še ostalih naslednjih vmesnih ciljev do zadnjega cilja (algoritem 2, vrstice 4 do 13). Slednje se izvede z rekurzivnim klicem *algoritma 2*. Če eden od naslednjih vmesnih ciljev ni dostopen, potem algoritem za trenutno ciljno vozlišče poišče drug varn interval vstopa (v to vozlišče vstopi kasneje ob naslednjem varnem intervalu) ter ponovno z rekurzivnim klicem preveri veljavnost (dostopnost vseh naslednjih vmesnih ciljev) plana.

Algoritem 2 : Rekurzivni algoritem SIPP za sestavljen naloge

```

1:  $g(s_{start}) = 0, OPEN = \emptyset, path = \emptyset, n_{goal} = N_{goal}(1)$ 
2: insert  $g(s_{start})$  with  $f(s_{start}) = h(s_{start})$  into  $OPEN$ 
3: while  $OPEN$  is not empty do
4:   if  $s == s_{goal}$  then
5:      $pathOK = 1, multiPath = \emptyset$ 
6:     if  $N_{goal}$  has more goals then
7:        $multiPath = SIPP(n_{goal}, N_{goal}(2 : end))$ 
8:       if  $multiPath$  is not found then
9:          $pathOK = 0$ 
10:    if  $pathOK == 1$  then
11:      construct  $path$  from  $n_{start}$  to  $n_{goal}$ 
12:       $path \leftarrow [path, multiPath]$ 
13:      return  $path$ 
14: remove  $s$  with smallest  $f(s)$  from  $OPEN$ 
15:  $t_{EA} = g(s)$ 
16: for each  $n' \in neighbour(s, n)$  do
17:    $S' = getSuccessors(n', s, t_{EA})$ 
18:   for each  $s' \in S'$  do
19:     if  $s'$  not visited before then
20:        $f(s') = g(s') = \infty$ 
21:       if  $g(s') > t_{EA}(s')$  then
22:          $g(s') = t_{EA}(s')$ 
23:          $f(s') = g(s') + h(s')$ 
24:         insert  $s'$  into  $OPEN$  with  $f(s')$ 

```

4.2 Predpisan vrstni red prihodov

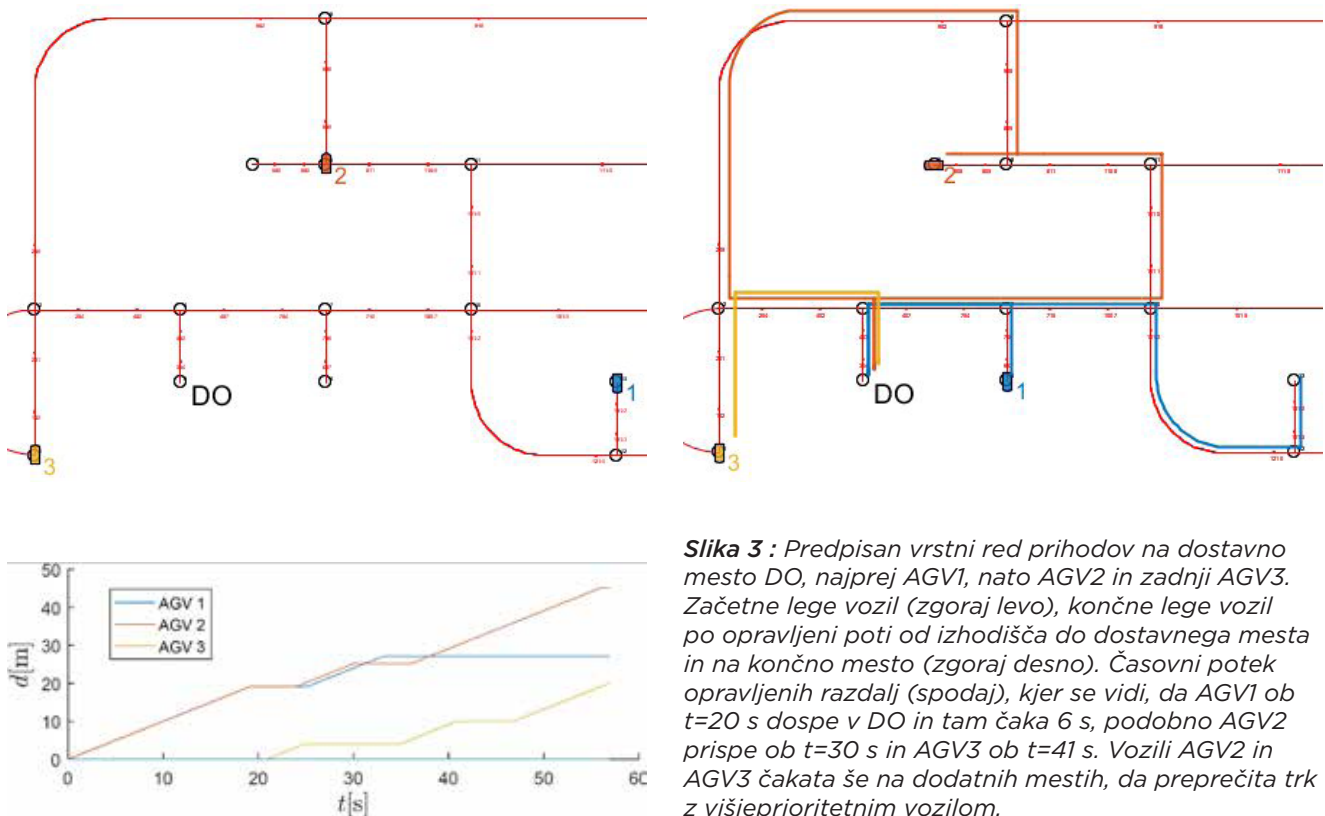
Vrstni red dostav vozil je lahko predpisan pri sestavljanju nekega izdelka, kjer morajo AGV-ji komponente dostaviti v predpisanem vrstnem redu (primer prikazuje slika 3). Vozila začno z začetnih pozicij, nato dostavijo v dostavno mesto DO in se umakne-

jo vsak na svoje končno mesto. Vrstni red dostav je predpisan s prioritetaми, vozila zato planirajo pot po prioritetaх, najprej AGV1, nato AGV2 in AGV3.

Plan poti vozila AGV1 je določen iz dveh delov π_1 in π_2 , kjer je π_1 od začetka do DO . Vrstni red prihodov v DO zagotovimo z dodatnim pogojem za najdeno pot v algoritmu 2 (vrstica 4 za prvi vmesni cilj), da je vozlišče DO v varnem intervalu prihoda prosto do neskončnosti. S tem zagotovimo, da v vozlišče DO vstopimo zadnji, torej za vsemi vozili z višjo prioriteto, saj je le tedaj varni interval vozlišča prost do neskončnosti. Hkrati preprečimo, da bi katerokoli manj prioriteto vozilo prišlo prej (in zapustilo DO pred našim prihodom).

Drugi del plana π_2 se začne s predpisanim postankom (6 s na sliki 3) in ima nato pot od DO do končnega mesta. Končni skupni plan je zlepek $\pi_{AGV1} = [\pi_1, \pi_2]$. Na koncu določimo zasedenosti vozlišč in povezav vzdolž plana in enako nadaljujemo s planiranjem za manj prioriteta vozila.

Na podoben način lahko vpeljemo več dostavnih mest in le za tiste, kjer je to potrebno, definiramo vrstni red prihodov (vrstni red za vsa izbrana dostavna mesta je enak). Če vrstni red prihodov v DO ni predpisan, potem je pogoj za končanje iskanja poti (algoritem 2, vrstica 4) le, da je končno vozlišče prosto za nameravan čas postanka v njem. To pomeni, da lahko neko manj prioriteto vozilo obišče isto vozlišče pred nami in ga pravočasno zapusti, ne da bi oviralo bolj prioriteta vozila.

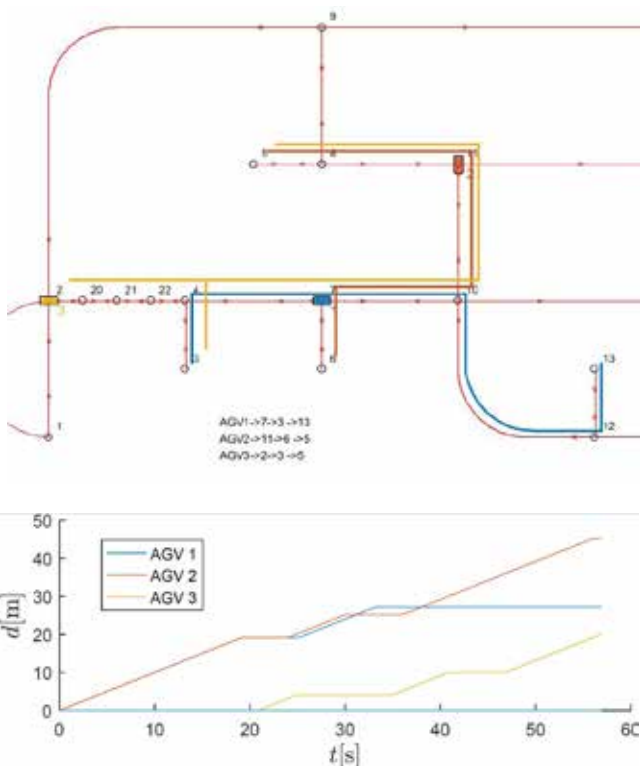


Slika 3 : Predpisan vrstni red prihodov na dostavno mesto DO , najprej AGV1, nato AGV2 in zadnji AGV3. Začetne lege vozil (zgoraj levo), končne lege vozil po opravljeni poti od izhodišča do dostavnega mesta in na končno mesto (zgoraj desno). Časovni potek opravljenih razdalj (spodaj), kjer se vidi, da AGV1 ob $t=20$ s dospe v DO in tam čaka 6 s, podobno AGV2 prispe ob $t=30$ s in AGV3 ob $t=41$ s. Vozili AGV2 in AGV3 čakata še na dodatnih mestih, da preprečita trk z višjeprioritetnim vozilom.

4.3 Sestavljene naloge

Nalogo lahko sestavimo iz več zaporednih opravil. Praktičen primer bi bil sledeč: Vozilo s svoje trenutne lokacije (TM) najde pot do prevzemnega mesta (PM), kjer naloži tovor in ga pelje do dostavnega mesta (DM), kjer ga odloži. V PM in DM mora počakati določen čas, ki je potreben za manipulacijo tovora. Dodatno lahko zagotovimo tudi predpisan vrstni red za odjeme in/ali dostave, kot je opisano v poglavju 4.2.

Ker uporabljamo prioritete, je možno take sestavljene naloge ($TM \rightarrow PM \rightarrow DM$) enostavno zložiti iz osnovnih planov $\pi_{AGV_i} = [\pi_1, \pi_2, \pi_3]$, kjer π_1 definira premik iz TM v PM in π_2 premik iz PM v DM . Zaradi kompletnosti planiranja pri tem dodamo π_3 , ki poskrbi za odmik vozila iz DM na neko varno mesto, kjer vozilo lahko čaka, dokler ne dobi nove naloge. Odmik iz DM je potreben, da lahko ostali AGV-ji nemoteno dostavljajo. Slednje se navezuje na vseživljenjsko planiranje, ki je opisano v nadaljevanju. Primer sestavljenih nalog prikazuje *slika 4*, kjer je posamezni plan sestavljen le iz dveh osnovnih planov $\pi_{AGV_i} = [\pi_1, \pi_2]$, zato vozila končajo in ostanejo v DM .



Slika 4 : Sestavljene naloge za tri vozila. Vozila so narisana na začetnih lokacijah TM , njihove poti do PM in DM pa so označene z barvnimi črtami. AGV1 z najvišjo prioriteto planira pot od TM v vozlišču 7 do PM v vozlišču 3 in do DM v vozlišču 13 ($7 \rightarrow 3 \rightarrow 13$), podobno AGV2 planira pot med vozlišči $11 \rightarrow 6 \rightarrow 5$ in AGV3 $2 \rightarrow 3 \rightarrow 5$. Prikazani so še časovni profili napredovanja poti.

4.4 Vseživljenjsko delovanje

Do sedaj predstavljene rešitve MAPF in večina rešitev v literaturi je osredotočenih le na enkratno planiranje, kjer vsa vozila začno hkrati in imajo le eno dostavo. To namreč predstavlja bistvo zahtevnega problema, kar je za večjo nazornost koristno. V praktični izvedbi pa vozila po izvedeni dostavi dobijo nove naloge, ki jih morajo uskladiti z obstoječimi nalogami ostalih AGV-jev. Govorimo o vseživljenjskem oz. neprekinjenem delovanju (angl. lifelong).

Vedno je možno ob vsaki spremembi (npr. pojavu nove naloge) ponovno planiranje poti za vsa vozila, a se lahko zgodi, da rešitve za katero od vozil z novo nalogo ni moč najti. Tak primer je lahko višje prioriteto vozilo, ki uspešno konča svojo nalogo in je prosto za prevzem naslednje naloge. Ko mu je dodeljena nova naloga (prej neznana), jo rešuje z najnižjo prioriteto (naloge v izvajanju imajo prednost). Rešitve (plan poti) za novo nalogo algoritem lahko ne najde, če so povezave, ki vodijo do njega, že zasedene z nasprotno smerjo vožnje drugih vozil. V tem primeru bi bilo potrebno ponovno izvesti planiranje poti za vsa vozila oz. za vsaj za tista v konfliktu in jim iterativno spreminjati in iskati ustrezne prioritete. Da se temu izognemo, v nadaljevanju predstavimo idejo brez potrebnega ponovnega planiranja, ki je računsko nezahtevna, optimalna (pod vpeljanimi predpostavkami – prioritete) in vedno izvedljiva (kompletnost).

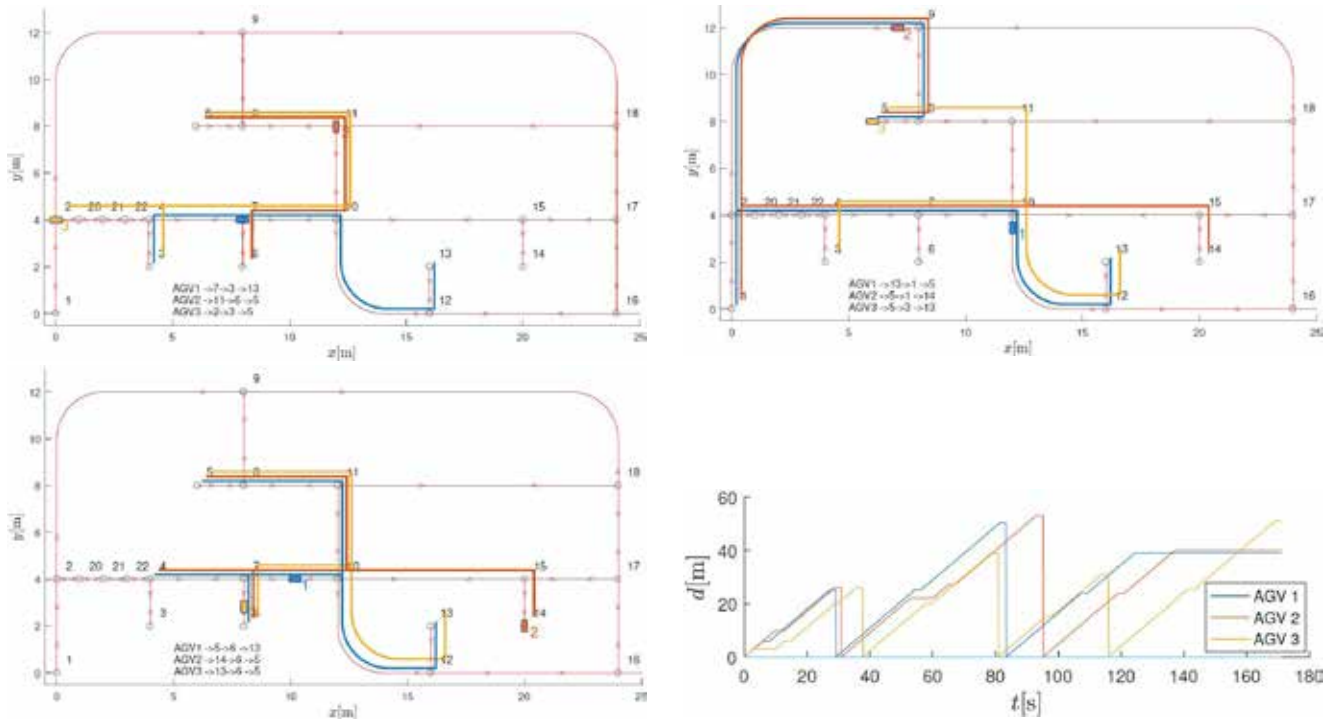
Novim nalogam dodelimo najnižjo prioriteto, kar je praktično z dveh vidikov. Naloge, ki se že izvajajo, imajo prednost pri izvajanju, nove naloge se jim prilagodijo. Dodatno zato ni potrebno ponovno planirati starejših nalog, kar pohitri algoritme. Če novi nalogi želimo dati višjo prioriteto (npr. da se izvaja urgentno), potem je potrebno ponovno planirati vse naloge, ki se že izvajajo in imajo nižjo prioriteto.

Postaje PM in/ali DM so pogosto v slepih ulicah, zato je potrebno pri sestavljenih nalogah preverjati možnost nadaljevanja iz trenutne postaje v slepi ulici naprej proti naslednjim postajam. To je implicitno zagotovljeno z rekurzivnim klicem algoritma 2.

Primer planiranja 10 nalog za 3 vozila prikazuje *slika 5*. Naloge niso znane vnaprej, vozilo planira naslednjo nalogo, ko konča trenutno. Vsaka naloga vsebuje vožnjo od TM preko PM do DM .

4.4.1 Varno mesto in polnilna mesta

Pri vseživljenjskem planiranju je potrebno za izvedljivost (kompletnost algoritma planiranja) vsaki nalogi dodati še zadnji delni plan π_n . Ta pripelje vozilo do lokacije, kjer lahko vedno varno čaka, dokler ne dobi naslednje naloge. V času izvajanja π_n je vozilo prosto in se zato lahko izvajanje tega zadnjega plana kardakoli prekine, če je možno najti nov plan do zelene lokacije nove naloge. Če pa to ni možno, se vozilo lahko vedno umakne na varno mesto in od tam kasneje nadaljuje. Prikladno možnost za izvedbo varnega mesta lahko predstavljajo polnilnice.



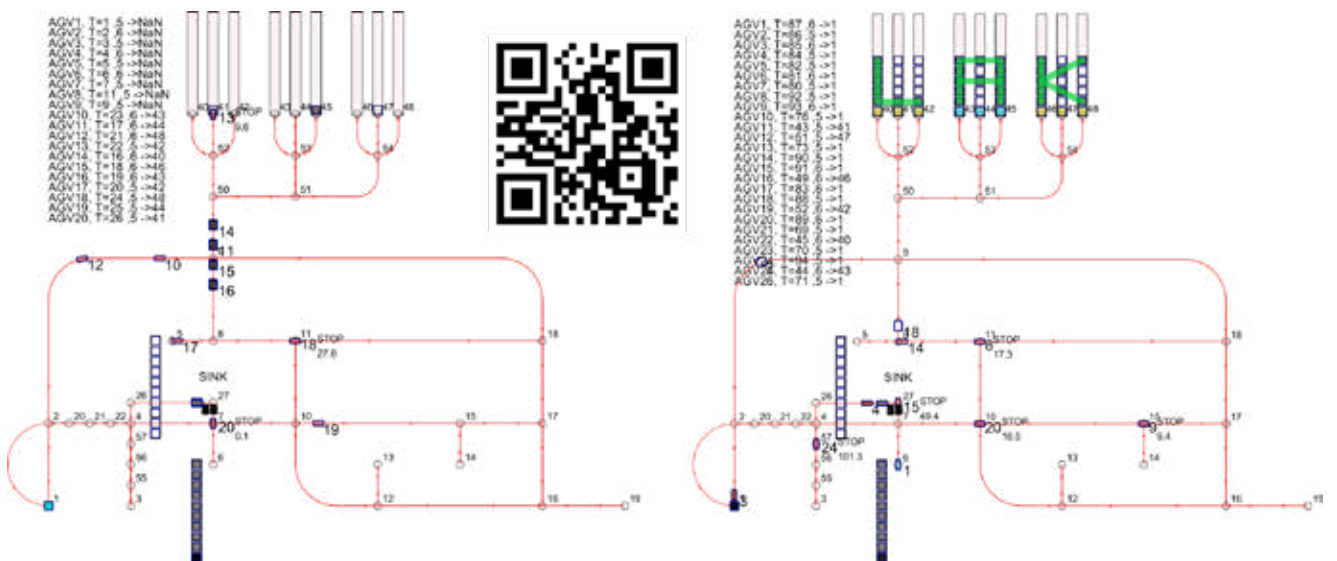
Slika 5 : Izvajanje 10 nalog s tremi AGV-ji. Na prvi sliki AGV1 vozi od TM vozlišča 7 do PM 3 in konča v DM 13 (7 → 3 → 13), podobno AGV2 11 → 6 → 5 in AGV3 2 → 3 → 5. Ko AGV konča, nadaljuje planiranje nove naloge, druga slika prikazuje naloge 4 do 6 in tretja slika naloge 7 do 9. Četrta slika prikazuje napredovanje nalog (naloge je končana in se začne nova, ko razdalja d pade na 0).

5 Primer vseživljenjskega delovanja

Za ilustracijo podajamo primer kompleksnega vseživljenjskega MAPF-planiranja (slika 6). Predpisan je vrstni red prevzema izdelka na dveh prevzemnih mestih in nato odlaganja (z drugačnim vrstnim redom) na dostavnih mestih (npr. za sestavljanje izdelka ali podobno). V prevzemnih regalih (tekoči trak) so npr. različni izdelki, ki prihajajo iz proizvodnje. Vrstni red

izdelkov na prevzemnih in dostavnih mestih je poznan. Vozila morajo izdelke prevzeti in dostaviti na 9 dostavnih mest v predpisanem vrstnem redu. Za ilustracijo so paketi različne barve, vozila jih prevzemajo v vrstnem redu, kot prihajajo, in jih dostavljajo v 9 dostavnih niš tako, da tvorijo napis LAK (kratica Laboratorija za avtomatiko in kibernetiko).

Vozila med delovanjem (tudi za začasno shrambo) in po končanih dostavah uporabljajo varno mesto (SINK)



Slika 6 : Prikaz kompleksnejšega vseživljenjskega delovanja, ko do 40 vozil izvaja sestavljene naloge (skupaj 130 nalog) s predpisanim vrstnim redom dostav. Pakete pobirajo iz dveh prevzemnih mest in jih odlagajo v 6 odlagalnih mestih v zahtevanem vrstnem redu, da tvorijo napis LAK.

na *sliki 6*), preko katerega je zagotovljena kompletnost algoritma in izvedljivost planov brez konfliktov. Za namene demonstracije je kapaciteta varnega mesta neomejena (v njem je na začetku 40 vozil).

Posnetek delovanja je dostopen na <https://youtu.be/YJgKrpzaGGM> ali s QR-kodo na *sliki 6*.

6 Zaključek

V delu je opisano planiranje poti več avtomatsko vodenih vozil v industriji z uporabo algoritma SIPP in vpeljavo prioritete. Osnovni vodili pri razvoju rešitev sta računsko učinkovitost algoritmov in optimalnost delovanja. Nakazane so različne razširitve, ki omogočajo vseživljenjsko planiranje s prioritetaми, ko se dodajo nove naloge, tako da ni potreben poseg v obstoječe plane. Rešitve temeljijo na sestavljanju načrtov v nalogo, dodajanju vozlišč, uporabi polnilnic, uvedbi bližnjih vozlišč in drugih pristopih.

Viri

- [1] M. Phillips in M. Likhachev. SIPP: Safe interval path planning for dynamic environments. str. 5628–5635. 2011.
- [2] A. Andreychuk, K. Yakovlev in sod. Multi-agent pathfinding with continuous time. *Artificial Intelligence*, zv. 305, str. 103662, 2022.
- [3] 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, str. 922–934, 2015.
- [4] G. Sharon, R. Stern in sod. Conflict-based search for optimal multi-agent pathfinding. *Artificial Intelligence*, zv. 219, str. 40–66, 2015.
- [5] A. Zdešar, M. Bošnjak in G. Klančar. Cyber-physical platform with miniature robotic vehicles for research and development of autonomous mobile systems. V I. Petrovic, E. Menegatti in I. Marković (uredniki), *Intelligent Autonomous Systems 17*, str. 897–908. Springer Nature Switzerland, Cham, 2023.
- [6] M. Ljubi, G. Klančar in A. Zdešar. Path planning of multiple automatic guided vehicles with tricycle kinematics considering priorities and occupancy time windows. V I. Petrovic, E. Menegatti in I. Marković (Uredniki), *Intelligent Autonomous Systems 17*, str. 883–896. Springer Nature Switzerland, Cham, 2023.
- [7] R. Vrabčič, T. Žužek in sod. Improving the flow in multi-robot logistic systems through optimization of layout roadmaps. V I. Petrovic, E. Menegatti in I. Marković (Uredniki), *Intelligent Autonomous Systems 17*, str. 923–934. Springer Nature Switzerland, Cham, 2023.
- [8] S. Guy in I. Karamouzas. *Guide to anticipatory collision avoidance*, str. 195–208. CRC Press, 2015.
- [9] M. Ljubi. Načrtovanje poti vozil z različnimi prioritetaми na osnovi algoritma SIPP. Magistrsko delo, Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani, 2023.
- [10] A. Zdešar, T. Žužek, M. Bošnjak, V. Zaletelj, R. Vrabčič in G. Klančar. Vidiki koordiniranega načrtovanja poti na podlagi prioritete in časovnih oken za optimizacijo logistike avtomatsko vodenih vozilčkov. V N. Muškinja, M. Rotovnik, B. Bratina (uredniki), zbornik trinajste konference Avtomatizacija v industriji in gospodarstvu, str. 1–9, 2023.
- [11] M. Sedej. Nadgradnja večagentnega planiranja poti z varnimi intervali in prioritetaми. V N. Muškinja, M. Rotovnik, B. Bratina (uredniki), zbornik trinajste konference Avtomatizacija v industriji in gospodarstvu, str. 1–8, 2023.

Lifelong multi-agent path planning of automated guided vehicles in intralogistics

Abstract:

This article presents new findings in the field of theoretical and practical aspects of the logistics of autonomous vehicles in the industrial sector, which are being investigated as part of an applied research project. The aim of the project is to use intelligent approaches and limited computing power to find optimal paths, temporal movement plans and task scheduling for a fleet of automated guided vehicles. The paper presents approaches to coordinated path planning for vehicles moving between stations connected with a network of intersections and roads. The environment map is written in the form of a graph and is used to design and test algorithms in the simulator. The basic task that a mobile agent has to perform is to travel between any two stations, and the agent can be at any location before performing this task. The implemented solutions are based on a route planning algorithm with safe time intervals and priorities, where conflicts can be solved by waiting in nodes or on roads. The basic solution is extended with the concept of lifelong planning with priorities, where new tasks appear during the execution of the simulation. We introduce the concept of planning with a safe location, which allows the compilation of partial plans into the final task and ensures the completeness of the algorithm.

Keywords:

path planning, automated guided vehicles, optimal path, SIPP algorithm, intralogistics

ZAHVALA

Avtorji se zahvaljujemo za finančno podporo Agenciji Republike Slovenije za raziskovalno dejavnost in podjetju Epilog d. o. o. (št. L2-3168, P2-0219 in P2-0220).

PRIMERJAVA IZMERJENIH IN PROJEKTHNIH VREDNOSTI GLEDE NA INTENZIVNOST PREZRAČEVANJA PROSTOROV

Gašper Brunskole, Uroš Stritih

Izveček:

V tem članku je poudarek na centralnem prezračevalnem sistemu, ki ima vgrajeno napravo Dantherm RCV 320. Vse meritve zraka, kot so: pretok zraka, temperatura zraka, vlaga v prostoru in CO₂, so bile izvedene v montažni nizkoenergijski stanovanjski stavbi v Metliki.

Ključne besede:

prezračevanje, rekuperacija toplote, prezračevalni sistemi, kakovost zraka

1 Uvod

Cilj članka je predstaviti, kakšen vpliv ima prezračevanje na ljudi, delovanje prezračevalne naprave Dantherm RCV 320 in preveriti skladnost dejanskih ter projektnih količin zraka v prostorih. V nadaljevanju članka bodo predstavljene tudi opravljene meritve prezračevanja.

V današnjem času posvečamo vedno več pozornosti prezračevanju stavb, saj ljudje (predvsem v razvitih državah) preživimo približno 90 % časa v zaprtih prostorih. Visoke koncentracije aerosolov v zaprtih prostorih povečajo izpostavljenost in odmerjanje tako organskih kot anorganskih spojin v zraku. Poleg tega pa je koristno prezračevati prostore zaradi različnih bolezni. Delci aerosola in plinasta onesnaževala so potencialno tveganje za zdravje ljudi, vplivajo na dihala, živčni, srčno-žilni in imunski sistem, astmo, alergije in raka. Z rednim prezračevanjem svež zrak pozitivno vpliva na naše zdravje in počutje. Prezračevanje spreminja tlačne razlike v zgradbah in lahko povzroči ali prepreči infiltracijo onesnaževal iz struktur ali sosednjih prostorov. Prezračevanje se v mnogih primerih uporablja tudi za nadzor toplotnega okolja ali vlažnosti v stavbah [1, 2].

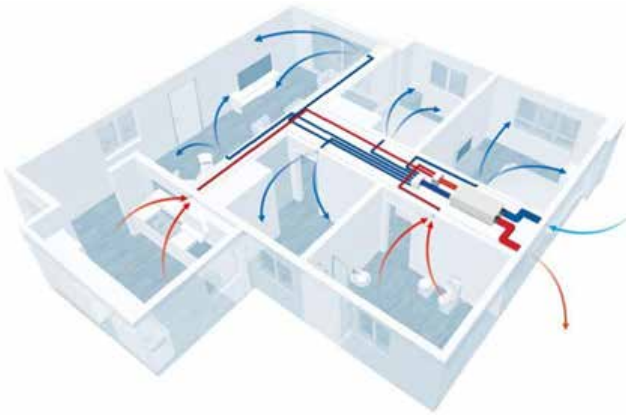
Gašper Brunskole, dipl. inž., izr. prof. dr. Uroš Stritih, univ. dipl. inž., oba Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo

2 Načini prezračevanja objektov

Poznamo tri načine prezračevanja stanovanjskih stavb. To so [3]:

- ▶ prezračevalni pasivni sistemi brez rekuperacije toplote,
- ▶ prezračevalni lokalni sistemi z rekuperacijo toplote,
- ▶ prezračevalni centralni sistemi z rekuperacijo toplote.

Danes je vse več montažnih nizkoenergijskih stavb. Čeprav so te dobro izolirane, zrakotesne in zgrajene za zmanjšanje porabe energije v stanovanjskih stavbah, to pogosto vodi v problem slabe kakovosti zraka v zaprtih prostorih (angl. IAQ) zaradi pomanjkanja infiltracije [4]. V takšnih stanovanjih je nujno potrebno vgraditi prezračevalni sistem, ker moramo zagotoviti prisilno prezračevanje. S prezračevalnimi sistemi z rekuperacijo poskrbimo, da ne izgubljammo preveč toplote za ogrevanje. V objekt prihaja svež hladen zrak, ki prejme toploto v rekuperatorju in od tukaj naprej potuje v vse prostore. Veliko ljudi takšnih naprav ne zna uporabljati, saj jih ugašajo in vklaplajo takrat, ko imajo potrebo po tem. To je velika napaka. Prezračevanje z rekuperacijo lahko enačimo v odnosu do hiše z dihanjem človeka. Rekuperator ni klimatska naprava, zadosti pa vsem potrebam po svežem zraku v stanovanju. Posledično ni potrebno odpirati oken. Kljub nameščenim napravam jih lahko odpremo, če to želimo. Prezračevanje z rekuperacijo nam enostavno zagotavlja kakovosten zrak po nastavljenih parametrih. V stanovanju



Slika 1 : Prikaz centralnega prezračevanja [4]

se same naprave ne sliši in ne občutimo, da bi zrak ob pravilno dimenzioniranem sistemu pihal. Bistveno je, da se takoj na začetku v projektu označi, kje bodo elementi prezračevalnega sistema, saj mora biti tok zraka na koncu takšen, da ne bo ustvarjal težav pri prezračevanju. Za prezračevalno napravo lahko rečemo, da je naložba v kakovostno in zdravo bivanje.

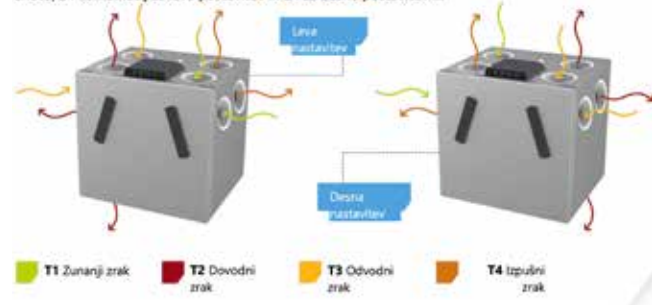
Centralno prezračevanje je zasnovano tako, da zagotavlja stalen odvod notranjega zraka in stalen dovod svežega zunanega zraka v vse prostore. Pri tem se zunanji zrak tudi filtrira in prečisti, kar zagotavlja boljšo kakovost zraka v notranjih prostorih.

3 Prezračevalna naprava z rekuperacijo toplote (Dantherm RCV 320)

Mi smo se osredotočili na centralni prezračevalni sistem, ki ima vgrajeno napravo Dantherm RCV 320, prikazano na *sliki 2*. Tehnologija, uporabljena v RCV 320, že obstaja v različnih izdelkih, vendar pa še nikoli ni bila oblikovana na način, da bi tako kompaktna enota lahko ponudila vsestransko možnost

Visoka prilagodljivost. Hitra namestitev. Nizki stroški uporabe.

RCV 320 ponuja 48 različnih načinov priključitve obstoječih kanalov na enoto, 24 kombinacij za levo postavitev in 24 za desno postavitev ...



Slika 3 : Prikaz leve in desne izvedbe naprave [5]

za prezračevanje hiš, stanovanj in drugih bivalnih objektov. Druge enote, ki ponujajo enako stopnjo prilagodljivosti, preprosto niso tako majhne.

Za razliko od drugih izdelkov na trgu Dantherm RCV ponuja 48 načinov priključitve kanalov. To pomeni, da obstoječih kanalov ni treba preurejati in je napravo mogoče enostavno vgraditi. Enota ima levo in desno nastavitev, vsaka pa omogoča 24 kombinacij, kar lahko vidimo na *sliki 3*.

To zagotavlja popolno prilagodljivost za hitro in stroškovno učinkovito vgradnjo, tudi v zapletenih in tesnih prostorih. Dovodni kanal lahko priključite celo na dno enote, če so kanali vgrajeni v tlak.

3.1 Primer uporabe naprave kot učnega pripomočka za meritve zraka

Samo napravo smo testirali in izvedli vse potrebne meritve zraka, kot so: pretok, temperatura, vlaga in CO₂. Te so bile izvedene v montažni nizkoenergijski stanovanjski stavbi. Svoj čas smo posvetili tudi proučevanju prezračevalne naprave. S temi meritvami smo prikazali, da je bivanje štiričlanske družine

RCV 320

- ✓ Prezračevanje glede na potrebe
- ✓ Integrirano tipalo vlažnosti
- ✓ Samodejno prosto hlajenje
- ✓ Kaminski način
- ✓ Visokoučinkovita rekuperacija toplote
- ✓ Kompaktna zasnova
- ✓ Cevi se lahko priključijo na zgornji, stranski ali spodnji strani naprave

PREDSTAVITEV IZDELKA

Slika 2 : Opis naprave [5]

ne v stanovanjski hiši glede prezračevanja zdravo in energetsko učinkovito. Meritve smo opravili v skladu s pravilnikom o prezračevanju [6].

3.2 Preskus in prevzem vgrajenega prezračevalnega sistema

Pri izvajanju meritev smo se osredotočili na pravilnik o prezračevanju in klimatizaciji stavb – predvsem na člene 23, 24 in 25 [6].

23. člen vključuje naslednja pravila:

1. Pri preskusu sistema so dopustna naslednja odstopanja izmerjenih vrednosti:

Preglednica 1: Dopustna odstopanja [6]

količina zraka za posamezni prostor	±20	%
količina zraka za posamezni sistem	±15	%
temperatura zraka	±2	°C
relativna vlažnost zraka	±15	% abs
hitrost zraka v bivalni coni	±0,05	m/s
temperatura zraka in občutena temperatura v bivalni coni	±1,5	°C
raba energije, preračunana na načrtovano količino zraka	+5	%

2. Podana odstopanja iz točke 1 vključujejo dovoljen odklon od načrtovanih vrednosti in tudi merilno negotovost [6].
3. Če funkcionalnost sistema in/ali delov sistema zahteva manjša odstopanja, kot so opredeljena v prvem odstavku tega člena, jih mora projektant posebej navesti v projektni dokumentaciji. Vse temperature in karakteristike ogrevanja ali hlajenja morajo sočasno ustrezati danim odstopanjem [6].
4. Meritve se opravijo z merilnimi instrumenti skladno z meroslovnimi predpisi. Točnost uporabljenih merilnih instrumentov mora biti v okviru odstopanj, kot so navedena v tem členu [6].

24. člen vključuje naslednja pravila:

Po končanem pregledu, preskusu oziroma meritvah se izdela poročilo, ki mora vsebovati [6]:

- ▶ podatke o izvajalcu preskusa,
- ▶ podatke o naročniku,
- ▶ definicijo zahtevka za opravljanje preskusa,
- ▶ podatke o lokaciji stavbe in/ali sistema, ki se preskuša,
- ▶ podatke o metodologiji preskusa in uporabljenih merilnih instrumentih,
- ▶ podatke o meteoroloških razmerah v času preskusa,
- ▶ rezultate preskusa,
- ▶ analizo merilnih rezultatov in ugotovitve,
- ▶ oceno merilnih pogojev,

- ▶ sklepne ugotovitve z odločitvijo glede na veljavne predpise.

25. člen vključuje naslednja pravila:

Preskusni postopek in merilne metode, skupna celotna kontrola, preskus delovanja, preskusne in specialne meritve prezračevalnega sistema se izvajajo skladno s standardom SIST prEN 12599 [6].

4 Stavba

Spodaj na *sliki 4* smo prikazali, kakšna je stanovanjska hiša z vseh strani neba. V stanovanjski hiši, ki smo jo uporabili v diplomski nalogi, živi štiričlanska družina. Gre za nizkoenergijsko montažno gradnjo pri podjetju Lumar, ki nudi visoko bivalno udobje. Neto uporabna površina stavbe znaša 124,75 m² in ima eno spalnico, dve otroški sobi, dnevno sobo, hodnik, kuhinjo, kopalnico, tehnični prostor, shrambo, stopnišče, jedilnico, vetrolov in nadstrešek za avtomobil, ki je bil zgrajen naknadno. Postavljena je bila decembra leta 2019. Ker živi družina na podeželju, so izbrali tip hiše Kaja, ki ima klasični oz. tradicionalni videz dvokapnice z naklonom 38°. Je pravokotno tlorisno zasnovana, zato je tudi lažje prilagodljiva za manjšo parcelo, na kateri stoji.



Slika 4: Stanovanjska hiša z vseh strani neba

Novogradnja predstavlja dve etaži: pritličje in mansardo. Za nizkoenergijsko montažno hišo so se odločili predvsem zaradi hitre postavitve, možnosti postopne gradnje, ugodne cene in minimalne porabe energije.

5 Izvajanje meritev z univerzalnim merilnikom Testo 400

V Laboratoriju za ogrevalno, sanitarno in solarno tehniko na FS razpolagamo z merilnikom Testo 400. To je večnamenski, inovativen prenosni ročni

merilnik, s katerim lahko izmerimo vse parametre, povezane z IAQ: temperaturo, hitrost pretoka, vlažnost, osvetlitev, tlak, sevalno toploto, CO₂, CO in turbulenco. Z merilnikom Testo 400 (glej *slika 5*) smo izmerili pretok zraka, temperaturo, vlažnost in CO₂. Sam instrument je fleksibilen, saj je takoj pripravljen za uporabo. Med enostavno zamenjavo sonde ni potreben vnovični zagon merilnika. Vse izvedene meritve se shranijo v napravi do 500.000 odčitkov. Te pa je možno naložiti neposredno na računalnik. Merilnik izpisuje podatke na zaslonu po predhodno nastavljenem časovnem zamiku. Preden smo meritve prenesli na računalnik, sem moral naložiti programsko opremo Testo Comfort Software.



Nadzorna plošča

Slika 5 : Merilnik Testo 400

Pri izvajanju meritev smo uporabili dve sondi:

- ▶ sondo za merjenje CO₂, vključno s senzorjem temperature in vlage (glej *slika 6*). Z njo smo izmerili koncentracijo CO₂ temperaturo in vlago v prostorih;



Merilnik

Sonda za merjenje CO₂Slika 6 : Sonda za merjenje CO₂

- ▶ vetrnica, ki je prikazana na *sliki 7*, ima premer Ø100 mm. Z njo smo merili dovodne in odvodne količine zraka v prostore in iz njih.



Vetrnica

Slika 7 : Vetrnica s premerom 100 mm

6 Izvajanje meritev

Pred pričetkom izvajanja meritev smo nastavili prezračevalno napravo na srednjo nastavitev prezračevanja. Naprava je delovala dve uri, nato smo pričeli meritve. Pred pričetkom testa so morala biti vsa vrata prostorov zaprta, da je bilo čim manj nezaželenih vplivov. Med izvajanjem meritev v prostorih ni bilo ljudi.

Ko smo izvajali meritve CO₂, smo nastavili interval merjenja na 3 sekunde, da so bile meritve čim pogostejše. Čas ene meritve je trajal 15 min. Mogoče je bilo izbrati enotočkovno ali časovno merjenje. Merjenje pretoka zraka pa je trajalo 1 minuto na vsakem distribucijskem elementu – tako za dovodni kot odvodni zrak. Preden smo začeli izvajati meritve, smo morali določiti premer cevi merilnika in poiskati način, kako bomo izmerili pretok zraka. Ko smo končali z merjenjem dovodnega zraka, smo morali pred pričetkom merjenja odvodnega zraka v merilniku spremeniti nastavitve.

6.1 Kontrola vstopnih in izstopnih količin zraka

V prvem delu meritve smo izvedli kontrolo vstopnih in izstopnih količin zraka. Namen tega testa je bil ugotoviti količine dovedenega in odvedenega zraka. Količino zraka za posamezne prostore lahko merimo v ravnih kanalskih odcepkih ali direktno na distribucijskih elementih, če ni posebnih odstopanj na vstopnih merilnih površinah. Preveriti smo morali, da klimatizacijski sistem deluje v stabilnem območju. Dovodne in odvodne količine zraka smo merili z uporabo vetrnice in merilnega lijaka, ki se priklopi na sondo. Merilnik samodejno prepozna, kateri tip lijaka je nameščen in ali merimo dovodni oz. odvodni zrak. Meritve smo izvajali po prostorih na distribucijskih elementih, kot je vidno na *sliki 8*.

Meritve hitrosti zraka neposredno v prostorih na distribucijskih elementih smo izvedli na sledeč način:



Slika 8 : Izvajanje meritev pretoka zraka z lijakom

anemometer je bil usmerjen pravokotno na smer pretoka zraka, tako da je bil zagotovljen laminarni pretok. Sam merilnik je izmerjeno hitrost zraka avtomatsko preračunal v pretok. Pozornost smo posvetili tudi hitrosti zraka, saj ta ne sme preseči 15 m/s. Če bi bila hitrost zraka večja, bi morali izbrati drugo metodo merjenja. Na elementih ni bilo prevelike turbulence zraka, zato smo meritve izvedli z visoko natančno lopatično sondo. S pomočjo pripomočka za pretvorbo turbulentnega toka v laminarni tok, ki je prikazan na sliki 9, smo izvedli natančne meritve na vrtničnih izhodih.

Odvodne količine zraka za prostore, v katerih je izvedena regulacija nadtlaka oz. podtlaka, smo izmerili le za informacijo, dejansko pa so odvisne od tesnosti prostora. Z regulacijo odvodne količine vzdržujemo v prostoru potrebni nadtlak oz. podtlak. Odvodne količine zraka za prostore, v katerih ni izvedena regulacija nadtlaka oz. podtlaka, smo izmeril na odsesovalnih rešetkah. Meritve odvede-



Slika 9 : Pripomoček za pretvorbo turbulentnega v laminarni tok

nih in dovedenih količin zraka smo opravili s kalibriranim instrumentom za merjenje količin zraka po distribucijskih elementih (Testo 400).

6.2 Kontrola koncentracije CO₂, vključno z merjenjem temperature in vlažnosti

V drugem delu pa smo izvedli meritve koncentracije CO₂, ki je odličen pokazatelj kvalitete zraka, temperature in vlažnosti v prostorih.

Sonda za merjenje CO₂ vsebuje občutljive vizualne komponente, tako da smo morali z njo ravnati previdno. Močne vibracije spremenijo tovarniško kalibracijo, zato smo izvedli preverjanje odčitkov na svežem zraku od 350 do 450 ppm CO₂ (mestni zrak do 700 ppm CO₂). Na sondi ni smelo biti rose, ker bi lahko merilnik pokazal višje vrednosti CO₂. Sondo smo morali imeti čim dlje od telesa, da smo se izognili vplivu CO₂ v zraku, ki ga dihamo.

Meritve se izvajajo v mirovanju, brez prisotnosti ljudi. Naprave so v prostorih, vendar ne delujejo med meritvijo. Klimatski sistem pa mora delovati že dlje časa pred meritvijo.

Meritve smo izvedli v vseh prostorih stanovanjske hiše (spalnica, kuhinja, soba 1, soba 2, hodnik, kopalnica v pritličju, kopalnica v nadstropju, kabinet, tehnična soba, vetrolov, dnevna soba in jedilnica). Sondo smo postavili nekje med 0,8 m in 1,7 m visoko od tal. To je približno delovna višina. Sondo smo postavili v sredino prostora in postopek ponovili za vse prostore v hiši.

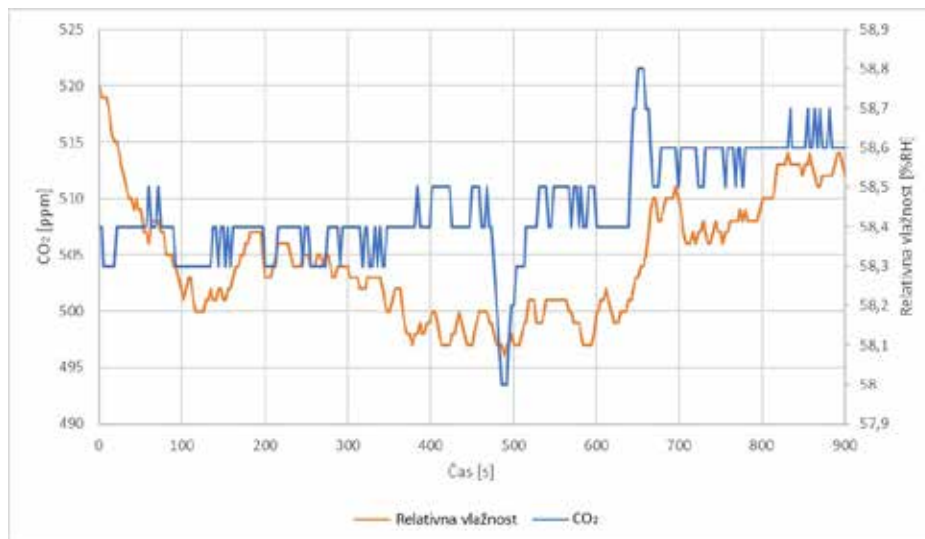
V Excel so bile vnesene vse meritve, ki smo jih izvedli z merilnikom Testo 400. V preglednici 1, preglednici 2 in preglednici 3 so z rdečo barvo označeni vsi prostori, v katerih so bile izvedene meritve. S sivo barvo pa so označeni vsi dobljeni rezultati.

V preglednici 1 so prikazani rezultati, ki smo jih izmerili s sondo za CO₂. S to sondo smo poleg koncentracije CO₂ izmerili tudi temperaturo v prostoru in relativno vlažnost.

V prostorih, v katerih so prisotni ljudje, so tudi vonjave, ki jih ti oddajajo in obremenjujejo zrak. Več, kot je ljudi v prostoru, večje so koncentracije vonjav. Ljudje se počutijo ugodno pri koncentraciji pod 0,1 % (1000 ppm), če pa je koncentracija nad 0,2 %, se počutijo neugodno. Tako se je uveljavila t. i. Pettenkoferjeva vrednost (1000 ppm). Izmerjene vrednosti CO₂ so pod 0,1 % koncentracije. Za RH pa naj bi znašala vrednost nekje med 40 in 60 %. Povprečna koncentracija CO₂ v spalnici znaša 504 ppm, povprečna relativna vlažnost v spalnici pa 58,4 %. Rezultati meritev koncentracije CO₂ in relativne vlažnosti za spalnico so prikazani na sliki 10. Najboljša koncentracija je bila dosežena v otroški sobi 1.

Preglednica 2 : Potek meritve koncentracije CO₂ (prikazani rezultati meritev)

Prostori	CO ₂ [ppm]	Temp. v prostoru [°C]	Relativna vlažnost [%RH]
Spalnica	504	23,1	58,4
Hodnik	585	23,5	60,6
Soba 1	493	22,9	68,7
Soba 2	689	23,2	59,4
Kopalnica v nadstropju	604	23,1	60,6
Kopalnica v pritličju	620	23,3	58,5
Dnevna soba in jedilnica	564	23,3	56,9
Kabinet	604	24,7	54,5
Tehnična soba	584	24,3	58,5
Vetrolov	562	23,4	58,3
Kuhinja	546	23,3	56,7

**Slika 10** : Potek meritev koncentracije CO₂ in relativne vlažnosti v spalnici

V preglednici 1 so prikazane le povprečne vrednosti celotne meritve, zato smo priložili sliko 10, iz katere so rezultati celotne meritve bolj pregledni. Sama meritev je trajala 15 minut. CO₂ in RH smo izmerili predvsem zaradi zdravstvenih razlogov.

V preglednico 2 smo vnesli rezultate dovodnega zraka. Z vetrnico smo izmerili volumski pretok in hitrost zraka. Na enak način smo izmerili tudi odvodni zrak, le da smo v merilniku spremenili nastavitve, zato so pri odvodnem zraku v preglednici 3 vsi rezultati negativni. Poleg tega smo iz volumskega pretoka in prostornine izračunali še število izmenjav zraka na uro. V obeh preglednicah smo dodali en stolpec, kjer piše: volumski pretok, premer cevi 75 mm [m³/h]. Ta stolpec smo dodali, ker smo po izvedenih meritvah ugotovili, da je bil v merilno napravo vnesen večji premer cevi. Tako smo preračunali volumski pretok s premera cevi 125 mm na 75 mm. Hitrost je v obeh primerih enaka, prav tako se $\frac{\pi}{4}$ okrajša. Tako smo dobili razmerje kvadratov $\left(\frac{125}{75}\right)^2$. Vsak vo-

lumski pretok smo nato delili z razmerjem kvadratov ter dobili pravilne vrednosti. Enačba, ki smo jo uporabili, pa je bila:

$$\dot{V} = v \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad (1)$$

\dot{V} [m³/h] - volumski pretok
 d [m] - premer cevi
 v [m/s] - hitrost zraka

Število izmenjav zraka za celotno stavbo smo izračunali tako, da smo sešteli vse volumske pretoke (premer cevi 75 mm) pri dovodu in jih delili s celotnim volumnom stavbe. Enako smo naredili za odvod.

Na podlagi preglednice 2 in ostalih podatkov v Excelu je izrisan graf za spalnico. V preglednici 2 so le povprečne vrednosti. Na sliki 11 pa je prikazan potek dovodnega volumskega pretoka za cev

Preglednica 3 : Izmerjeni pretoki dovodnega zraka z vetrnico

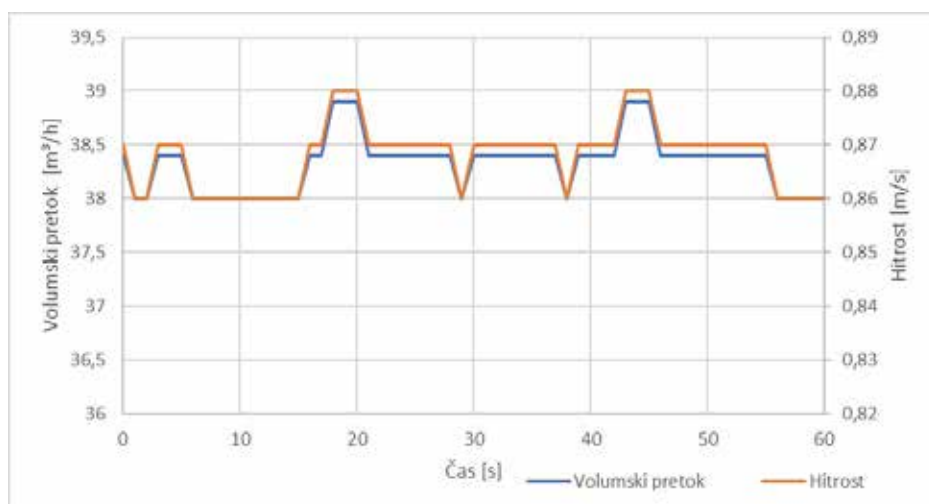
Prostori	Volumski pretok, premer cevi 125 mm [m ³ /h]	Volumski pretok, premer cevi 75 mm [m ³ /h]	Hitrost [m/s]	Št. izmenjav zraka [h ⁻¹]	Temp. v prostoru [°C]	Št. izmenjav zraka [h ⁻¹ za celotno stavbo
Dnevna soba 1	50	18,00	1,13	0,42	43,28	$\frac{131,11}{303,39} = 0,43$
Dnevna soba 2	92,2	33,19	2,09	0,77	43,28	
Jedilnica	45,2	16,27	1,02	0,50	32,48	
Kabinet	55	19,80	1,24	0,95	20,8	
Soba 1	41,3	14,87	0,93	0,51	29,3	
Soba 2	42,2	15,19	0,95	0,52	29,3	
Spalnica	38,3	13,79	0,87	0,38	35,93	

Preglednica 4 : Izmerjeni pretoki odvodnega zraka z vetrnico

Prostori	Volumski pretok, premer cevi 125 mm [m ³ /h]	Volumski pretok, premer cevi 75 mm [m ³ /h]	Hitrost [m/s]	Št. izmenjav zraka [h ⁻¹]	Temp. v prostoru [°C]	Št. izmenjav zraka [h ⁻¹ za celotno stavbo
Hodnik	-36	-12,96	-0,81	0,49	26,38	$\frac{143,57}{303,39} = 0,47$
Kopalnica v pritličju	-74,5	-26,82	-1,69	3,36	7,98	
Kopalnica zgoraj	-74,5	-26,82	-1,69	0,99	27,15	
Kuhinja	-114,9	-41,36	-2,6	1,68	24,58	
Tehnična soba	-43,1	-15,52	-0,97	1,65	9,43	
Vetrolov	-55,8	-20,09	-1,26	1,20	16,78	

Ø125 mm in hitrosti zraka skozi celotno meritev v spalnici. Meritev je trajala 1 minuto. S to meritvijo smo želeli prikazati nihanje volumskega pretoka in nihanje hitrosti zraka. Do odstopanja pri meritvah pretoka je prišlo zaradi tlačnih padcev, npr. odpiranje oz. zapiranje vrat, pihanje vetra proti smeri, kjer je vtok zraka v hišo.

Pri merjenju pretoka zraka so bile izmerjene količine različne kot projektne, zato smo najprej izmerili vse količine in jih prenesli na računalnik. Ko smo vse podatke odčitali, smo ugotovili, da so bile dosežene količine dovodnega in odvodnega zraka drugačne kot po projektnih količinah. To smo prikazali tudi v *preglednici 4* in *preglednici 5*, toda odstopanja izmerjenih veličin se gibljejo približno v območju



Slika 11 : Prikaz poteka volumskega pretoka in hitrosti zraka v spalnici

Preglednica 5 : Primerjava izmerjenih in projektnih vrednosti za odvod zraka

Volumski pretok [m ³ /h] (odvod)	Hodnik	Kopalnica v pritličju	Kopalnica zgoraj	Kuhinja	Tehnična soba	Vetrolov	Skupne količine
Izmerjene vrednosti	-13	-27	-27	-41	-16	-20	-144
Projektne vrednosti	-15	-40	-40	-70	-20	-15	-200

Preglednica 6 : Primerjava izmerjenih in projektnih vrednosti za dovod zraka

Volumski pretok [m ³ /h] (dovod)	Dnevna soba 1	Dnevna soba 2	Jedilnica	Kabinet	Soba 1	Soba 2	Spalnica	Skupne količine
Izmerjene vrednosti	18	33	16	20	15	15	14	131
Projektne vrednosti	22	46	22	22	22	22	44	200

±10 %, kar pomeni, da presek ni prazen. To območje pa je merilna negotovost, ki se pojavi pri izvajanju meritev. Vidimo lahko, da se izmerjene količine gibljejo v tem preseku. Da smo prišli do te ugotovitve, smo najprej izračunali povprečno hitrost pri odvodu in ±0,1 m/s delili s povprečno hitrostjo. Ta rezultat smo nato pomnožili s 100, da smo dobili procent merilne negotovosti na hitrosti. Ker je pretok sorazmeren hitrosti, smo relativno napako prenesli na volumski pretok. Volumske pretoke za odvod smo nato sešteli in pomnožili z relativno napako. Tako smo dobili absolutno napako za odvod zraka. Prav tako smo postopek ponovili za dovod zraka. Ugotovili smo tudi, da smo izvedli meritve v napačnem položaju naprave. Naprava bi morala delovati v maksimalnem možnem načinu, če bi želeli doseči projektne vrednosti, in ne v srednjem. Smo pa zadovoljni z opravljenimi meritvami, saj se rezultati prekrivajo z merilno negotovostjo, ki je dovoljena.

Primer izračuna za odvod zraka:

$$\frac{v_{\text{dovoljeno odstopanje}}}{v_{\text{povprečna odvod}}} = \frac{\pm 0,1}{1,5} \cdot 100 \% = 6,7 \%$$

$$0,067 \cdot 143,57 = 9,62 \text{ m}^3/\text{h}$$

Primer izračuna za dovod zraka:

$$\frac{v_{\text{dovoljeno odstopanje}}}{v_{\text{povprečna dovod}}} = \frac{0,1}{1,18} \cdot 100 \% = 8,5 \%$$

$$0,085 \cdot 131,11 = 11,11 \text{ m}^3/\text{h}$$

Po vseh izmerjenih meritvah smo se posvetili sami napravi in distribuciji, da smo se še bolj približali projektnim količinam. Napravo smo postavili v maksimalni način delovanja.

7 Zaključek

Ugotovili smo, da so bile naše meritve pravilne, saj smo postopek ponovili kar dvakrat in dobili enak re-

zultat. Izmerjene skupne vrednosti dovoda zraka se razlikujejo od projektne vrednosti za 34,5 %. Izmerjene skupne vrednosti odvoda zraka se razlikujejo od projektne vrednosti za 28 %. Nato smo lastnika povprašali, ali so monterji, ki so jim montirali prezračevalno napravo, opravili meritve pretoka. Izvedeli smo, da meritve niso bile izvedene, zato smo na koncu lastniku vse izmerjene vrednosti nastavili na projektne količine. Prav tako smo ugotovili, da je prišlo pri merjenju relativne vlage do očitnih sprememb, na kar je vplivalo perilo, ki se je sušilo v spalnici.

Sama prezračevalna naprava se je odlično obnesla. Filtri so bili redno menjani, zato do kakšnih nevšečnosti ni moglo priti. V prihodnosti upamo, da se bo naprava še nadgrajevala in pomagala pri določenih izzivih, ki se pojavljajo v praksi.

Viri

- [1] H. Y. Bai, P. Liu, M. Justo Alonso, H. M. Mathisen. 2022. A review of heat recovery technologies and their frost control for residential building ventilation in cold climate regions. Volume 162.
- [2] M. Malovrh, M. Praznik, Gradbeni inštitut ZRMK: Pravilno zračenje in prezračevanje, <https://www.heker.si/wp-content/uploads/2016/09/pravilno-zracenje-in-prezracevanje.pdf>, Gradbeni inštitut ZRMK, ogled: 5. 05. 2022.
- [3] U. Stritih: Predavanja pri predmetu Stavbna tehnika, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana, 2021/2022.
- [4] Primerjam.si: Kaj je centralno prezračevanje?, dostopno na: <https://www.primerjam.si/nasveti/prezracevalni-sistemi/kaj-je-centralno-prezracevanje>, ogled: 9. 06. 2023.
- [5] Bossplast: Dobro počutje se prične z globokim vdihom, dostopno na: <https://bossplast.com/>, ogled: 9. 06. 2023.
- [6] Pravilnik o prezračevanju in klimatizaciji stavb. Uradni list RS, št. 42/02 z dne 15. 5. 2002, ostopno na: <http://www.pisrs.si/Pis.web/pregled-Predpisa?id=PRAV4223>, ogled: 14. 04. 2022.

Comparison of measured and design values regarding the intensity of ventilation of the premises

Abstract:

In this article, the focus is on a central ventilation system that has a Dantherm RCV 320 installed. All air measurements, such as: air flow, air temperature, room humidity and CO₂, were carried out in a residential prefab low-energy building located in Metlika or more precisely at the address Berčice 3a. We wanted to check whether the project values stated by the designers are the same as the measured values. Since the owner of the building was interested in the operation of the heating and ventilation devices, we devoted our time to this as well and familiarized him with it.

Keywords:

ventilation, heat recovery, ventilation system, air quality

ECOWAVE
Where challenges meet solutions
ecowave@icm.si

10.- 12.10.2023
Ljubljana, Slovenia
www.icm.si

JAKŠA
MAGNETNI VENTILI
od 1965

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

www.jaksa.si

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

SI CERTIFICIRAN ALI ISO 9001, I3Net, CE, UL, CLASSIFIED

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



SPLAČA SE BITI NAROČNIK



ZA SAMO 50€ DOBITE:

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



Revija v
hrvaškem
jeziku

ZA SAMO 20€ DOBITE:

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

DIGITALNA NAROČNINA



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

BUTIK IRT3000



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

NAROČITE SE!



051 322 442



info@irt3000.si



www.irt3000.si/narocilo-revije

WWW.IRT3000.COM

VZDRŽEVANJE HIDRAVLIČNIH NAPRAV – 13. DEL

Franc Majdič

V dvanajstemu delu *Vzdrževanja hidravličnih naprav* smo predstavili kako izbrati ustrezno podjetje za servis hidravlične naprave. Če ste odgovorni za delovanje več hidravličnih naprav in resno želite zmanjšati obratovalne stroške, boste prišli do situacije, ko potrebujete zunanje strokovnjake za posebna popravila. Obstajajo tri možnosti: dobavitelj stroja, proizvajalec posameznih hidravličnih komponent ali neodvisen hidravlični servis. Kot smo že omenili v enem od prejšnjih prispevkov, je zadnje odvisno od zmožljivosti in izkušenj strokovnjaka serviserja, kar ima glaven vpliv na ceno in odločitev o popravilu obstoječe komponente ali nakupu nove.

1 Ocena servisnega hidravličnega podjetja in možnih prevar

Povzetek

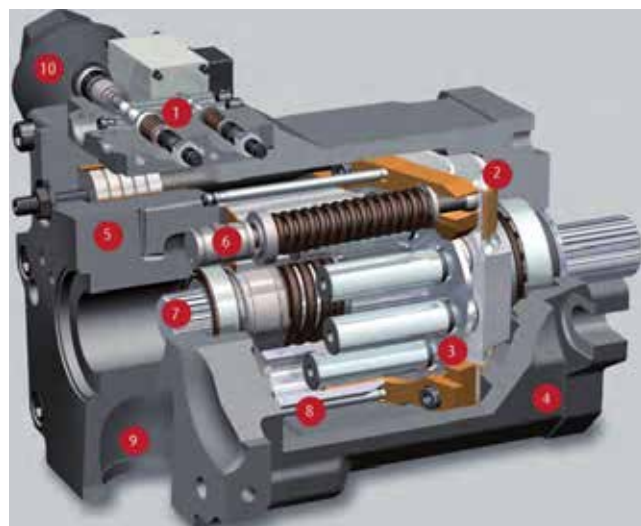
Najprej bomo predstavili kako ovrednotiti servisno hidravlično podjetje. Preden se odločite, ali boste za popravilo vaše hidravlične naprave izbrali dobavitelja stroja, proizvajalca hidravličnih komponent ali pa neodvisen servis, se najprej pozanimajte o njihovih možnostih in referencah. Poleg osnovnih 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 vas bomo seznanili z možnimi prevarami posameznih serviserjev pri popravilu vaše hidravlične opreme.

V primeru, da izbrani servis koristi zunanje storitve za večja popravila vaše opreme, vas bo to verjetno stalo več. Na primer: če boste poslali hidravlični valj v popravilo in bo na njem treba izvesti varjenje, strojno obdelavo, ravnanje batnic ali trdo kromiranje, vaš izbrani servis pa nima teh kapacitet, bo cena popravila verjetno precej večja kot pa v primeru, da ima izbrani servis lastne kapacitete za taka popravila [1].

Razpoložljivost preizkusne opreme

Zelo pomembno je, da ima izbrani servis možnost testiranja popravljene komponente. To zagotavlja, da bo popravljena komponenta ne samo delovala, ampak bo dosegala svoje prvotne delovne parametre. To je še posebej pomembno pri hidravličnih

črpalkah in hidromotorjih. Običajno imamo napačno predstavo, da je samo po sebi umevno, da bo imela popravljena komponenta enake karakteristike kot nova. Ni dovolj samo zamenjava novega rotacijskega sestava črpalke, ampak so pomembne tudi tolerance njene vgradnje pri novih pogojih. Šele pri korektni vgradnji lahko pričakujemo ustrezen volumetrični izkoristek črpalke, ki bo podoben novi. Edini način za potrditev kakovostne obnove črpalke je izvedba dinamičnega testa na namenskem preizkuševališču [2]. Zelo zahtevni sta tudi zamenjava elementov krmilja črpalke ali hidromotorja ter ustrezna nastavitvev.



Slika 1 : Primer sodobne krmiljene hidravlične črpalke s spremenljivo iztislino [4] Legenda: (1) krmilni del črpalke, (2) nagibna plošča, (3) bat z drsnim čveljcem, (4) ohišje črpalke, (5) odgonski del ohišja črpalke, (6) hidravlični valj za nagib nagibne plošče, (7) utorna gred za odgon dodatne črpalke, (8) boben z bati, (9) sesalni priključek, (10) hidravlični akumulator za dušenje pulziranja

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

V primeru popravila hidravličnih črpalk (slika 1) in hidromotorjev s spremenljivo iztisnino mora biti njihovo integrirano krmiljenje nastavljeno v skladu z optimalnimi tovarniškimi nastavitvami. To posledično pomeni tudi najboljšo produktivnost stroja, ki ga hidravlika poganja in krmili. Veliko servisnih delavnic spregleda to pomembno dejstvo, ker nimajo ustrezne merilne opreme ali pa zadostnega znanja. Čeprav je mogoče te nastavitve izvesti tudi na terenu po namestitvi obnovljene hidravlične črpalke ali motorja na stroj ob predpostavki, da sta na voljo potrebna oprema in strokovno znanje, je veliko lažje, natančneje in zanesljivejše nastavitve krmilja izvesti v nadzorovanem okolju preizkusnega laboratorija. Zato se pred izbiro ustreznega servisa pozanimajte, ali imajo ustrezne zmogljivosti in izkušnje, da lahko testirajo in nastavijo vašo hidravlično črpalko ali hidromotor [1, 3].

2 Najpogostejše prevare pri popravilih in kako se jim izogniti

Za prepoznavo prevar servisnih podjetij je treba najprej dobro poznati pasti, da se jim lahko izognemo. V nadaljevanju bomo našli nekaj najpogostejših možnih prevar na področju popravil hidravlične opreme.

2.1 Predelava delov in zamenjava za nove

Pri obnovi hidravlične komponente lahko nekatere njene dele (elemente) znova uporabimo po naknadni obdelavi v servisni delavnici. Taki obdelovalni postopki so frezanje, struženje, honanje, poliranje, nov nanos trde kromove prevleke. To so postopki, ki privarčujejo denar in nič ni narobe, če jih koristi servisna delavnica, vendar le dokler cena popravila ne doseže cene nove komponente.

Zavedati pa se moramo, da so tolerančna območja številnih hidravličnih elementov (krmilja črpalk, krmilni bati in puše ventilov,...) v mikrometrih. Nekateri elementi (krmilni bati, puše) v vrhunskih proporcionalnih in servo-ventilih so v tolerančnih območjih desetink mikrometrov.

2.2 Plačilo obnove delov, ki dejansko niso bili obnavljeni

Primer za to je odstranitev in ponovno kromiranje batnice hidravličnega valja. Servisna delavnica vam npr. svetuje, da je treba odstraniti staro kromirano prevleko na batnici hidravličnega valja (slika 2) ter namestiti novo. Pri tem dobro vedo, da se lahko poškodbe obstoječe kromirane prevleke spolirajo. Vi plačate odstranitev in ponovni nanos kromirane prevleke na batnico, servisna delavnica pa obstoječo, poškodovano prevleko samo spolira in zuna-



Slika 2 : Poškodovana trda prevleka na batnici hidravličnega valja

nji videz kaže, da je nanosena nova prevleka. To je enostaven zaslužek za servisno delavnico in seveda strošek za vas – naročnika [1].

Torej naš nasvet je, da vedno ob podobnih popravilih, ko vam servisna delavnica svetuje odstranitev stare in nov nanos kromove prevleke, vprašate za možnost poliranja obstoječe prevleke. Tako pokažete serviserju, da poznate tudi to možnost popravila. V več primerih se bo sicer verjetno zgodilo, da bosta nujno potrebna odstranitev in ponovni nanos kromove prevleke (zaradi prevelikih poškodb).

Zelo preprosto lahko ugotovimo, ali je potreben ponovni nanos kromove prevleke na batnico na sledeč način: če se v poškodbo na batnici zatakne noht, potem je poškodba tako velika, da sta potrebna odstranitev in ponovni nanos prevleke. Poliranje kromove prevleke zmanjšuje končni premer batnice, to pa povečuje režo med batnico in sedežem tesnila, kar posledično skrajšuje uporabno dobo batničnih tesnil.

Edino zagotovilo, da vam je servisna delavnica dejansko namestila novo kromovo prevleko na batnico, je, da izmerite debelino kromove prevleke, preden odpeljete hidravlični valj na servis in potem, ko ga prevzamete nazaj. Da to izmerite, potrebujete merilnik debeline prevleke. Preden se nanese nova kromova prevleka, je treba odstraniti obstoječo poškodovano. Postopek odstranjevanja kromove prevleke vedno zmanjša osnovni premer batnice, zato moramo vsakič nanesti večjo debelino kromove prevleke.

Če se kromova rahlo poškodovana prevleka samo polira, se končni premer batnice zmanjša.

2.3 Prilagoditev rabljenih delov in zaračunavanje novih

Včasih je pri obnovi hidravlične komponente nujno treba uporabiti enega ali več rabljenih delov. Taki

primeri so pogosti takrat, ko se obnavlja starejša komponenta, ki je proizvajalec ne »podpira« več, ali pa v primeru, ko komponente ni na zalogi, popravilo pa je urgentno zaradi proizvodnje. Nič ni narobe, če servisna delavnica uporabi rabljene dele, če so ti še uporabni in jih prilagajajo zahtevam obnovljene komponente [1]. Seveda pa je težava, če vam serviser vaše rabljene dele zaračuna kot nove!

2.4 Prilagoditev neoriginalnih delov in zaračunavanje novih originalnih

Tudi z vgradnjo neoriginalnih rezervnih delov (elementov) v hidravlično komponento praviloma ni nič narobe, če so ti kvalitetni in vam servis da garancijo na vgradnjo ter vam jih ne zaračuna tako, kot bi bili originalni. Seveda pa je potrebno preveriti lastnosti in karakteristike neoriginalnih delov. Originalni rezervni deli so razviti in glede izdelavnotehnoloških postopkov nadzorovani s strani razvijalca in izdelovalca te komponente. V teh postopkih so pogosto skrivnosti, ki jih nadomestni proizvajalec ne pozna in zato le redko doseže kvaliteto originala.

2.5 Izogibanje prevaram pri popravilih

Obstajajo tri stvari, na katere morate paziti pri naročilu popravila vaših hidravličnih komponent, da vas ne ogoljufajo [1].

- (1) Najprej ugotovite, kaj točno naj bi vam zaračunali. Da to preverite, prosite servisno delavnico za ponudbo – specifikacijo predlagane obnove vaše hidravlične komponente. Ponudba s specifikacijo naj poleg običajnih postavk vsebuje:
 - ▶ zapis delov, ki jih je treba obnoviti,
 - ▶ zapis delov, ki jih je treba zamenjati,
 - ▶ opis kvalitete posameznih delov, ki jih pre-

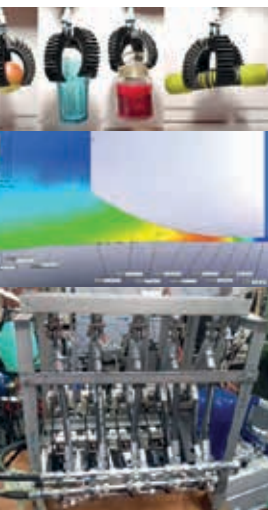
dlagajo za zamenjavo (originalni deli, nadomestni oz. neoriginalni deli ali rabljeni deli).

Vsaka ugledna servisna delavnica bo z veseljem pripravila tako ponudbo. Tako poročilo je za vas tudi zelo dobra referenca v primeru odpovedi obnovljene komponente še v času garancijske dobe ali pa preden doseže pričakovano uporabno dobo.

- (2) Po tem, ko dobite ponudbo, prosite predstavnika servisne delavnice, da skupaj pregledata razstavljenе dele, torej elemente razstavljenе komponente. Predstavnika servisa prosite, da vam pokaže dele, ki jih je treba obnoviti, in ga vprašajte, zakaj je to potrebno. Glede odločitve sicer praviloma zaupate strokovnjakom servisa, ki ste mu naročili popravilo, a je takšen ogled upravičen iz več razlogov. Če ugotovite, da kakšno od predlaganih popravil s strani servisa ni smiselno, pridobite še eno mnenje – ponudbo drugega servisa.
- (3) Na koncu zahtevajte vaše stare izrabljene dele nazaj. To je enostaven in efektiven način zagotavljanja, da so bili plačani deli resnično zamenjani.

Viri

- [1] Casey, B.: Insider secrets to hydraulics, Brendan Casey, West Perth, 2002.
- [2] Pezdarnik, J., Majdič, F.: Hidravlika in pnevmatika, skripta; Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana, 2011.
- [3] Findeisen, D.: Ölhydraulik, 5. Auflage, Berlin, 2005.
- [4] Linde: Self-regulating pump HPR, Displacement size from 55 to 165D cc, spletna stran: <https://www.linde-hydraulics.com/product/hpr-02/>, zadnjič dostopano: 11. 06. 2023.



LABORATORIJ ZA FLUIDNO TEHNIKO

Smo laboratorij z dolgoletno tradicijo na področju fluidne tehnike. Ukvarjamo se z oljno in tudi ekološko prijazno vodno pogonsko-krmilno hidravliko, pri tem pa uporabljamo sofisticirano in sodobno merilno in programsko opremo.

Obrnite se na nas, če potrebujete:

- razvoj in optimiranje hidravličnih komponent in naprav,
- izdelavo hidravličnih naprav,
- izboljšave in popravila hidravličnih strojev in naprav,
- izdelavo sodobnega krmilja za hidravlične stroje,
- industrijsko izobraževanje na področju fluidne tehnike,
- ekološke hidravlične naprave na pitno vodo,
- nudimo visokotlačne trajnostne teste,
- nudimo testiranje hidravličnih filtrov ter izdelavo sodobne filtrirne naprave, ...



Univerza v Ljubljani
Fakulteta za strojništvo
Laboratorij za fluidno tehniko
Aškerčeva 6, 1000 Ljubljana
T: 01/4771115, 01/4771411
E: franc.majdic@fs.uni-lj.si
<http://lab.fs.uni-lj.si/lft/>



© Ventil 29(2023)4. Tiskano v Sloveniji. Vse pravice pridržane.
 © Ventil 29(2023)4. Printed in Slovenia. All rights reserved.

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

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

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

Volume **Letnik** 29
 Year **Letnica** 2023
 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: prof. dr. Janez Tušek
Pomočnik urednika: izr. prof. dr. Miroslav Halilovič
Tehnični urednik: Roman Putrih

Znanstveno-strokovni svet:

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

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

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

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

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

KOLESA IN VALJI Elesa+Ganter

Podjetje Elesa+Ganter je vedno imelo zelo široko paleto koles in valjev.

Ventil: Zakaj je to področje tako pomembno za podjetje Elesa+Ganter?

Jani Plesnik: Zato, ker je to področje pomembno za naše stranke.

Mobilnost v industrijskem okolju je dejavnik, ki lahko bistveno vpliva na učinkovitost in produktivnost podjetja. Poleg tega vpliva na zdravje in varnost zaposlenih.

Težava je v tem, da se kolesa in valji pri mnogih načinih uporabe ne dojemajo kot pomemben sestavni del. Pogosto se izdelek izbere, ne da bi poznali vse potrebne zahteve za standardizirani del.

Posledice tega so izredna obremenitev s hrupom, večji napor pri manevriranju, večja obraba in/ali okvare vozička, večja nevarnost poškodb za uporabnika in podobno.

Če potrebujete nasvet, vam vedno z veseljem pomagamo! Za vsak način uporabe je na voljo pravo kolo ali pravi valj.

Zato je tudi za podjetje Elesa+Ganter pomembno, da nenehno razvija svojo ponudbo izdelkov. Zahteve naših kupcev se spreminjajo in temu razvoju želimo slediti z nadaljnjim razvojem izdelkov.

Ventil: Kaj je treba upoštevati pri izbiri pravega valja/kolesa?

J. Plesnik: Pri tem je treba upoštevati nekaj dejavnikov.

Najočitnejša je največja obremenitev, ki jo morajo prenesti kolesa/valji, pri čemer je še vedno zagotovljeno nemoteno gibanje. Pri tem takoj sledi vprašanje, ali npr. voziček vleče/potiska uporabnik ali pa se ta premika mehansko/elektronsko. Seveda je tu še vprašanje največje hitrosti, ki se pri tem doseže.

Hkrati ne smemo pozabiti na uporabo zavor. To je lahko izziv predvsem pri zelo velikih obremenitvah ali visokih hitrostih.

Poleg tega je na primer pomembna tudi vrsta tal, na katerih se izdelek premika. Tla s ploščicami imajo drugačne zahteve glede kotalnega upora ali manevriranja kot na primer tla z rešetkami.

Upoštevati pa je treba tudi okoljske pogoje, kot so visoke temperature, agresivne snovi ali pogostost

čiščenja. Vse to je lahko zelo stresno za kolo/valj, kar lahko povzroči hitro obrabo materiala.

Nenazadnje je odločilen dejavnik pri izbiri kolesa tudi okretnost. Ali je pomembno, da imajo določeno okretnost v zelo omejenem prostoru, ali pa večinoma vozijo po ravnih tleh in velikih radijih.

Kot lahko vidite, je iskanje pravega izdelka nekoliko bolj zapleteno, kot se zdi na prvi pogled.

Ventil: Zakaj je izbira pravega kolesa/valja tako pomembna?

Jani Plesnik: Transport materialov in izdelkov znotraj podjetja mora potekati nemoteno, da ne pride do motenj v proizvodnem toku.

To je glede na proizvodno okolje lahko izziv. Težki okoljski pogoji, kot so alkohol, mineralne kisline ali voda in para, lahko npr. neustrezno izbranemu kolesu ali valju povzročijo pogoste okvare in poškodbe.

Zato je pomembno, da izberete izdelek z ustreznim, odpornim materialom.

Nepravilno izbrano kolo/valj lahko povzroči večjo obrabo. Po eni strani je to lahko povečana obraba tekalne plasti, po drugi strani pa, kot je bilo že omenjeno, lahko na material močno vplivajo agresivna okolja.

Če se kolo/valj pokvari, to pomeni izpad, popravila, dodatne stroške itd.

Izbira pravega kolesa/valja ima velik vpliv tudi na zaposlenega, npr. uporabnika vozička itd. Prekomerna obremenitev s hrupom ali močne vibracije, ki jih povzročata napačen izdelek, lahko negativno vplivajo na zdravje. Slaba okretnost lahko na primer poveča tveganje za poškodbe.

Ventil: Podjetje Elesa+Ganter je v zadnjih mesecih močno razširilo svojo ponudbo koles in valjev. Na katerih področjih je ta razvoj še posebej opazen?

Jani Plesnik: Primer so kolesa RE.C6 iz poliuretana. Ta so zelo odporna proti pogostim postopkom čiščenja. Zato so še posebej primerna za področja, kot sta prehrabena in farmacevtska industrija, kjer je higiena na prvem mestu.

Druga možnost so valji in kolesa RE.F5-ESD. Na voljo so v različici z ohišjem iz jeklene pločevine za



Kolesa in valji podjetja Elesa+Ganter

manjše obremenitve in v različici za srednje težke in težke obremenitve. Običajno se uporabljajo na transportnih vozičkih na območjih, zaščiteneh pred elektrostatično razelektrivostjo, in zagotavljajo zaščito občutljive elektronske opreme.

Kolesa in valji RE.F5-ESD prav tako ščitijo uporabnika. Razelektritev je usmerjena neposredno v tla in ne v zaposlenega, ki upravlja voziček. Priljubljeni so v tekstilni in embalažni industriji.

V ponudbi so tudi valji RE.F7-N-HT, ki so primerni za temperature do 300 °C. Ti na primer pridejo zelo prav v pekarnah.

Ventil: Ali ima podjetje Elesa+Ganter v svoji ponudbi tudi izdelke za zelo težke tovore?

Jani Plesnik: Da, na primer kolesa RE.G2 za težke obremenitve (do 5000 N) ali kolesa RE.F4-WEH za zelo težke obremenitve z nosilnostjo do 23000 N. Obe kolesi sta primerni za stalno uporabo.

Kolesa RE.F2-WH (nosilnost do 7000 N) so še posebej primerna za težke industrijske načine uporabe v težkih delovnih pogojih. Pri tem lahko pride tudi do bočnega trka oz. visokih hitrosti (do 16 km/h).

Ventil: Na katerih področjih se uporabljajo kolesa in valji?

Jani Plesnik: Pravzaprav na skoraj vseh. To je lahko precej klasična uporaba v proizvodnji za premikanje materiala med obrati, lahko pa gre tudi za pohištvo, servisne vozičke v restavraciji, zabojnike za smeti itd., ki jih je pogosto treba premikati z enega mesta na drugo.

Možnosti uporabe so zelo raznolike in se uporabljajo v skoraj vseh panogah.

Več o ponudbi koles in valjev podjetja Elesa+Ganter si lahko preberete na: <https://www.elesa-ganter.si/sl/svn/products--1004/kolesa-in-valji--1004#>.

POSVET

AVTOMATIZACIJA STREGE IN MONTAŽE 2023 - ASM '23

06. decembra 2023
na Gospodarski zbornici Slovenije v Ljubljani

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

ZA VARNO POSTAVITEV

Strojne noge, z gibne noge, izravnalne noge, tudi v izvedbi - plemenito jeklo, odporno proti koroziji, in elegantne oblike.

Ponudba nivelirnih nog v paleti izdelkov Elesa+Ganter je velika. Hkrati pa skrbimo, da še naprej raste.

Brez dvoma na začetku inženirskega procesa nivelirne noge niso ravno v središču pozornosti razvijalca. A skoraj nobena konstrukcija ne more brez nivelirnih nog, ki morajo nositi celotno obremenitev sistema. Kaj mora torej nuditi nivelirna noga, da lahko vzdrži v težkih industrijskih razmerah?

Predvsem stabilnost, ustrezno nosilnost za varno prenašanje bremen, natančno nastavljivost in vzdržljivost. Nenazadnje pa morajo biti vse te lastnosti tudi vidne.

Nivelirne noge GN 21 iz ponudbe Elesa+Ganter ta vidik izpolnjujejo na prav poseben način. V celoti so narejene iz plemenitega jekla, ploščica pa je izstružena iz bloka materiala in ima vrhunsko površinsko obdelavo. Nivelirne noge s pritrdilnimi luknjami v ploščici nosijo oznako GN 23.

Univerzalno uporabna modela GN 42 in GN 43, ki ju imenujemo tudi račji stopali, imata toleranci prijazne podolgovate izvrtine, zaobljeni robovi pa povečajo togost ploščice pri velikih obremenitvah. Njuno zanimivo ime smo izbrali, ker je noga na eni polovici okrogla, na drugi pa pravokotna. Glede na standard se uporablja pocinkano jeklo ali plemenito jeklo kakovosti 1.4301 (A2); po želji je na spodnji strani ploščice na voljo plast vulkanizirane gume.

Nogi GN 44 in GN 45 sta zasnovani za uporabo v zelo korozivnih okoljih, zato sta izdelani iz plemenitega jekla kakovosti 1.4404. Na voljo so s postavitveno površino v obliki kapljice s pritrdilno izvrtino ali pa se uporablja uveljavljen pristop z okroglo ploščico; obe različici sta po želji opremljeni tudi z gumijastimi blazinicami.



Široka paleta izdelkov v seriji nivelirnih nog Elesa+Ganter tako skorajda ne pušča neizpoljenih zahtev. Poleg različnih oblik podnožnih plošč so vretena na voljo z varovalnimi maticami ali brez njih, z nastavitvenimi obojkami, ki pokrivajo navoj, ter z različnimi vrstami navoja ali z notranjim navojem – in vse to v različnih kakovostih materialov.

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.si

Mednarodna Konferenca

Fluidna Tehnika 2023

20. - 21. SEPTEMBER 2023, KONGRESNI CENTER HABAKUK, MARIBOR

ARHITEKTURA CAN BUS NA VOLJO V AKTUATORJIH THOMSON LINEAR

CAN bus je komunikacijski protokol, ki zagotavlja standardno strukturo sporočil za komunikacijo med omrežnimi vozlišči pod nadzorom elektronske krmilne enote (ECU). Vsako sporočilo na aktuatorskem modulu predstavlja vozlišče, ki ima standardni identifikator, ki označuje prioriteto sporočila, podatke in vir krmiljenja. To omogoča izmenjavo plug-and-play (vklopi in igray) med podpornimi napravami, ki si delijo isto omrežje in so v skladu s strukturo sporočanja.



Vir: www.thomsonlinear.com

Pametni električni linearni aktuatorji proizvajalca THOMSON LINEAR imajo protokole CAN bus vdelane neposredno v njihovo elektroniko. Ta izboljšava omogoča številne funkcionalne in nadzorne prednosti.

V mnogih pogledih je optimizacija delovanja aktuatorja funkcija kakovosti dialoga med uporabniki in napravo. Z jezikom, združljivim s sistemom CAN bus v kombinaciji z napredno vgrajeno elektroniko, imajo uporabniki večjo prilagodljivost pri sporočanju svojemu aktuatorju, kdaj in kako hitro naj se ta premakne in tudi ustavi. Omogoča tudi takojšnje povratne informacije o obnašanju naprave.

Električni aktuatorji naslednje generacije, ki podpirajo komunikacijo CAN bus, razširjajo novo odkrito inteligentno krmiljenje. Prednosti se kažejo v višji učinkovitosti, nižjih stroških življenjskega cikla ter varnejšem in čistejšem delovanju.

Vir:

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



Vitka proizvodnja.

item. Your ideas are worth it.®

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

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

VISOKI NAVORI S KOMPAKTNIMI STOŽČASTIMI IN POLŽASTIMI GONILI

Nova paleta izdelkov družbe Eles+Ganter vključuje dve kompaktni in robustni kotni gonili, ki vrtenje preusmerita za 90 stopinj in prenašata visoke navor s prenosnim razmerjem ali brez njega. Uporabljata se na primer v manipulacijskih sistemih in pakirnih strojih, pa tudi v transportni tehnologiji.

Stožčasto gonilo GN 3971 je na voljo v sedmih velikostih z ohišjem dolžine med 32 in 60 mm ter širine med 18 in 35 mm. Prenosno razmerje med zobniškima gredema je vedno 1, smer vrtenja lahko izberete po želji. Radialno in tudi aksialno lahko zobniške gredi prenesejo 60 N pri najmanjši izvedbi in 550 N pri največji. Posebno ozobljenje stožčastih zobnikov iz kaljenega jekla omogoča velik navor glede na velikost. Odvisno od hitrosti delovanja je ta lahko tudi do 10 Nm.

Polžasto gonilo GN 3975 zaradi majhnih medosnih razdalj meri zgolj 60 mm v dolžino in 35 mm v širino. V notranjosti polža iz kaljenega jekla premika polžasto kolo iz specializirane medenine. Sedem različic zagotavlja prestavna razmerja med 1 : 13 in 1 : 65. Največja radialna in aksialna sila je med 200 in 500 N na vhodni strani in pri vseh modelih 500 N na izhodni strani. Od prenosnega razmerja 1 : 18 se aktivira statična blokada, tako da polžastega zobnika ni mogoče vrteti z gnane strani, kar je pri številnih aplikacijah varnostni plus.

Zaradi ohišja iz eloksiranega aluminija sta kotni gonili lahki in odporni proti koroziji. Poleg tega ohišje dobro odvaja toploto, ki nastane zaradi trenja. Številne montažne odprtine omogočajo namestitvev gonil v različnih položajih. Gredi, ki se lahko vrtijo v obe smeri, imajo navojno izvrtino in moznike za tr-



dno povezavo s pestom. Stožčasti in polžasti zobniki so podmazani za celotno življenjsko dobo in zato ne potrebujejo vzdrževanja. Obe gonili je mogoče tudi kombinirati, na primer z elastomerno sklopko GN 2240.

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



www.svet-me.si

TEMATIKE

AVTOMATIZACIJA PRIMERI DOBRE PRAKSE
STROJNIŠTVO ROBOTIKA





NOVICE SAMOGRADNJE
PROGRAMIRANJE

https://svet-el.si

TEMATIKE

ELEKTRONIKA ZA ZAČETNIKE





MOČNA VPENJALNA MATICA ESB – PREVERJENO

VPENJANJE BREZ OPUŠČANJA

Mehanska vpenjalna matica ESB je preizkušen in ekonomičen vpenjalni element proizvajalca ENEMAC iz Kleinwallstadta v Nemčiji. Z njeno uporabo se na najpreprostejši način izognemo nakupu dragega specialnega orodja. Njena tehnologija zagotavlja najvišje vpenjalne sile in maksimalno varnost delovanja.



Ohišje elementa se najprej privije na obstoječ navojni vijak, nato se upravljalni šesterokotnik na vrhu obrne z momentnim ključem, v posameznih primerih tudi s komercialno dostopnim nasadnim ključem. Element ESB varno in predvsem hitro vpne vaš obdelovanec ali orodje.

Skrivnost vpenjalne matice se skriva v njeni notranjosti. Planetno gonilo, ki je nameščeno v stabilnih kleščah, je mogoče upravljati z minimalnim naporom, kar pomeni, da je nasprotni del prednapet. Z zelo malo ročnega napora monterja je mogoče doseči vpenjalne sile do 20 t.

Dolgotrajnost te serije je bila

preizkušena na posebej zasnovani preskusni napravi ob nazivni obremenitvi in s 10.000 ponovitvami.

Serija ESB se uporablja povsod, kjer so potrebne velike vpenjalne sile, na primer pri vpenjanju orodij za stiskanje in prebijanje ali obdelovancev med obdelavo.

Vpenjalne matice ENEMAC je mogoče uporabiti kadar koli pri proizvajalcu originalne opreme ali kot element za naknadno vgradnjo.

Vir:

ENEMAC GmbH, Daimler Ring 42, 63839 Kleinwallstadt, Tel.: 06022/7107-0, web; www.enemac.de, e-mail: info@enemac.de

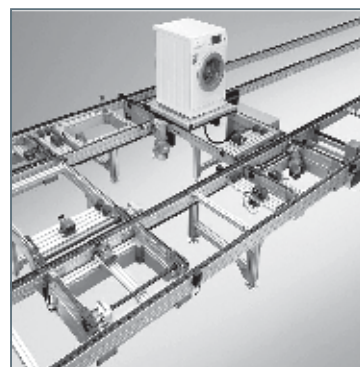
Rexroth

ORGATEX®

LEANPRODUCTS®



BOSCH



OPL

automation

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

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

PRVA CERTIFICIRANA ENERGIJSKA VERIGA ZA ČISTE PROSTORE

Matic Butja

Preizkus, opravljen z najboljšim možnim rezultatom: energijska veriga E6.29 iz igusa je prejela certifikat inovativnosti za suhe in čiste prostore Fraunhofer IPA za ISO razred 4.



Slika 1: Brez mazanja, odporna proti obrabi in zdaj tudi certificirana za suhe čiste sobe: E6.29 je prva energijska veriga, ki je prejela novo vrsto certifikata Fraunhofer IPA in na testu dosegla ISO razred 4. (Vir: Fraunhofer IPA/igus GmbH)

Kadarkoli se zahtevajo najvišji higienski standardi, igus doseže visoke rezultate s plastičnimi komponentami za premikanje brez mazanja in odpornimi proti obrabi. Zlasti proizvodnja baterij za mobilnost prihodnosti zahteva posebne okoljske pogoje, ki jih dosežemo s kombinacijo suhih in čistih prostorov.

Fraunhofer IPA je razvil novo vrsto certifikata za točno te zahteve. Energijska veriga E6.29 podjetja igus je prvi sistem vodil za kable, ki je bil preizkušen v pogojih suhih in čistih prostorov in je zdaj certificiran z ISO razred 4.

Litij-ionske baterije so ključna tehnologija našega časa, ki je v zadnjih letih doživela velik napredek. To je posledica dejstva, da trg električnih avtomobilov raste, saj je baterijski sistem bistvenega pomena za elektromobilnost. Da bi zagotovili proizvodnjo brez

Matic Butja, HENNLICH d. o. o., Kranj

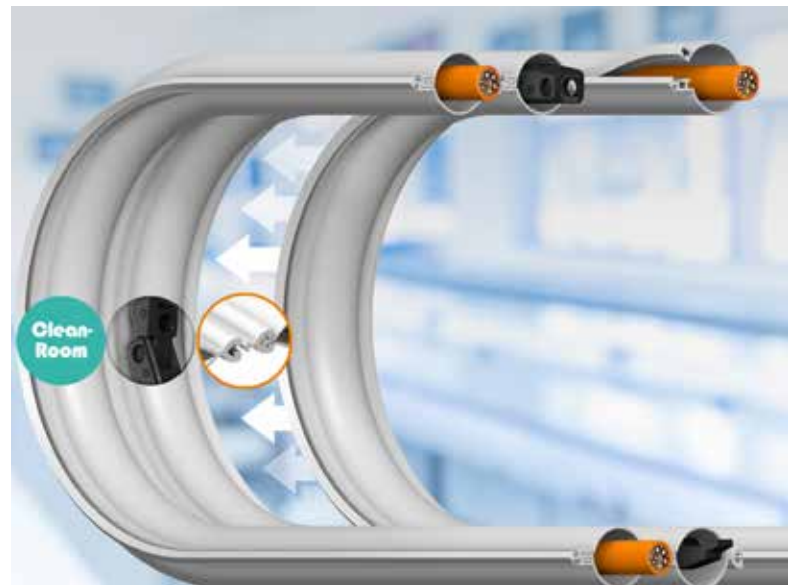
napak in dolgo življenjsko dobo baterije, je treba proizvodni proces nenehno optimizirati. Zaradi vse večjega števila proizvodnih obratov in avtomatizacije sistemov narašča tudi potreba po zanesljivih sistemih za kabelsko vodenje. »Zahteve po kakovosti se nenehno povečujejo – tako s strani kupcev kot s strani preizkusnih standardov. Zato že od leta 1997 sodelujemo s Fraunhoferjevimi inštitutom za proizvodno inženirstvo in avtomatizacijo IPA, kjer naše energijske verige pregledujejo in testirajo v standardiziranih zaporedjih gibanja. To nam omogoča, da damo jasno izjavo o razredu čistosti naših energijskih verig,« pojasnjuje Kira Weller, produktni vodja za e-verige pri igusu. »Naša energijska veriga E6.29, ki je bila preizkušena v praksi in se testira že vrsto let, je zdaj prvi sistem za vodenje kablov, ki je prejel novo vrsto certifikata IPA za klasifikacijo čistih in suhih prostorov po pogojih ISO.

Edinstvena kombinacija suhosti in brez delcev

Za test je Fraunhofer IPA skupaj s skupino Cellforce razvil mobilni šotor, ki ustreza zahtevam suhih in čistih prostorov. Novi DryClean-CAPE je bolj prilagodljiva in stroškovno učinkovita alternativa klasičnim stacionarnim čistim sobam in ustvarja ne le zelo čisto okolje, temveč tudi proizvodno okolje z nizko vlažnostjo. Zlasti v industriji baterijskih celic in avtomobilski industriji, pa tudi v letalski industriji, ima ta dejavnik odločilno vlogo, ko gre za kakovost izdelkov. Sistem suhih in čistih prostorov v obliki šotora je sestavljen iz dveh različnih predelkov. Posledica tega je suho okolje brez delcev zaradi ločenih enot za obdelavo zraka. Ta edinstvena kombinacija zagotavlja optimalno prilagodljivo proizvodno okolje.

E6.29 z najboljšim možnim rezultatom testa

Iz tega razloga je IPA zdaj razvila tudi novo vrsto certifikata za klasifikacijo čistih in suhih prostorov po pogojih ISO. Veriga E6.29 iz igusa ni bila samo



Slika 2 : Še ena inovativna igusova rešitev za čiste sobe: modularni zaščitni plašči za kabla e-skin. Testiranja dokazujejo doseganje najvišjih zahtev tudi po neprekinjenem delovanju 60 milijonov dvojnih hodov.

prva energijska veriga, ki je prestala ta test, ampak je dosegla tudi najboljši možni rezultat v čisti sobi, podobni šotoru: ISO razred 4. Zaradi tega je igus eden od pionirjev na tem področju. E-veriga je bila testirana pri rosišču $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, kar ustreza relativni vlažnosti $<1\%$ pri sobni temperaturi $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ in v okolju čistih prostorov ISO razreda 3. Veriga E6.29 je zato zdaj primerna tudi za varno uporabo v suhih prostorih. Vzdržljiva e-veriga iz visoko zmogljive plastike z optimiziranimi lastnostmi trenja in obrabe je na voljo neposredno iz zaloge kot standardni kataloški del z različnimi notranjimi višinami, širinami in radiji. V lastnem testnem laboratoriju igus trenutno izvaja tudi vzdržljivostni test nastavljenih prečk E6 v suhi sobi. Prestali so že 10 milijonov dvojnih hodov – testi pa še vedno potekajo.



ČRPALKA SCHMITT NEOLUTION

- » Izjemna **energetska učinkovitost**
- » **Kemična odpornost** na najvišjem nivoju
- » Dolga življenjska doba **brez obrabe** in **brez vzdrževanja**
- » Popolna **neprepustnost**
- » Na voljo tudi za **ATEX** cono 1 in 2



www.hennlich.si

HENNLICH d.o.o., Ul. Mirka Vadnova 13, 4000 Kranj / Pokličite nas: 041 386 003

VARČEVANJE Z ENERGIJO PRI KOMPRESORJIH S FREKVENČNO REGULACIJO

Ali ste vedeli, da se 80 % stroškov nakupa industrijskega vijahnega zračnega kompresorja porabi za električno energijo za njegovo delovanje? Smo strokovnjaki za dobavo energetske učinkovitih vijahnih zračnih kompresorjev.

Če je vaš trenutni kompresor predimenzioniran ali če imate proces, pri katerem se potrebe po zraku spreminjajo, lahko z vgradnjo kompresorja VSD (pogon s spremenljivo hitrostjo) dosežete precejšnje prihranke.

Oglejmo si prednosti, ki jih lahko ponudi vijahni kompresor OMEGA AIR s pogonom na spremenljivo hitrost:

Energijski prihranek

Običajno je mogoče doseči 30-odstotni prihranek energije, pri velikih vijahnih kompresorjih pa lahko dosežemo tudi do 50-odstotni prihranek energije. Pogon s spremenljivo hitrostjo (VSD) lahko spremeni izhodno hitrost vijahnega bloka glede na dejanski tlak v sistemu. To pomeni, da se hitrost kompresorja zmanjša, ko je potreba po zraku majhna, ko pa je potreba po zraku velika, kompresor deluje s polno hitrostjo. Ena od prednosti vijahnega kompresorja s spremenljivo hitrostjo je, da kompresor ne preide v neobremenjeno delovanje, ko je potreba po zraku majhna, v nasprotju s kompresorjem s fiksno hitrostjo, ki neuporabljen zrak izpušča v ozračje, kadar ni potreben. Izpuščanje neuporabljenega zraka v ozračje je v primerjavi z vijahnim kompresorjem VSD, ki zmanjša hitrost, ko je potreba po njem majhna, kar pomeni prihranek energije, zelo potraten način uravnavanja pretoka. Pri uporabi s stalnim navorom, kot je vijahni kompresor, je moč sorazmerna s hitrostjo. Če je na primer vijahni kompresor obremenjen vendar je potreba po zraku majhna in deluje s 50 % hitrosti, bo prihranek energije 50 %.

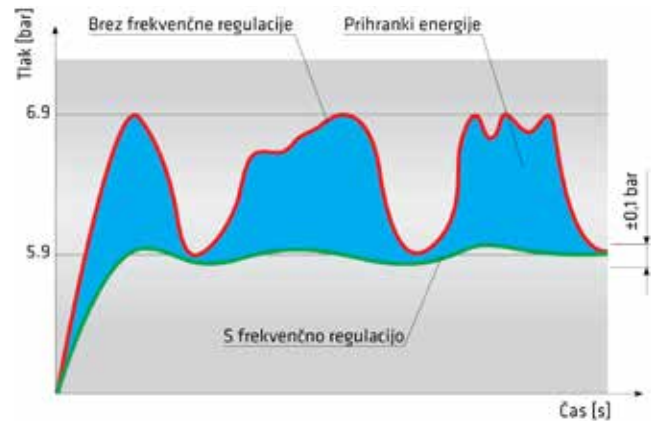
Dinamični nadzor tlaka

Ker kompresor VSD omogoča dinamično uravnavanje tlaka, lahko vzdržuje nemoten in stabilen tlak v primerjavi z uravnavanjem obremenitve z vklopom in izklopom pri kompresorju s fiksno hitrostjo. Vijahni kompresor VSD lahko običajno vzdržuje tlak z natančnostjo +/- 0,1 bara, medtem ko kompresorji s fiksno hitrostjo običajno vzdr-

žujejo tlak z natančnostjo 0,5 bara. Ker je zračni tlak pri vijahnem kompresorju VSD nadzorovan veliko bolj strogo, je pogosto možno majhno znižanje nastavljene vrednosti tlaka, kar v primerjavi s kompresorjem s fiksno hitrostjo omogoča dodatne prihranke. Poleg tega se z zmanjšanjem tlaka za 0,3 bara zmanjša tudi uhajanje zraka za približno 4 %.

Konstantni izhodni tlak

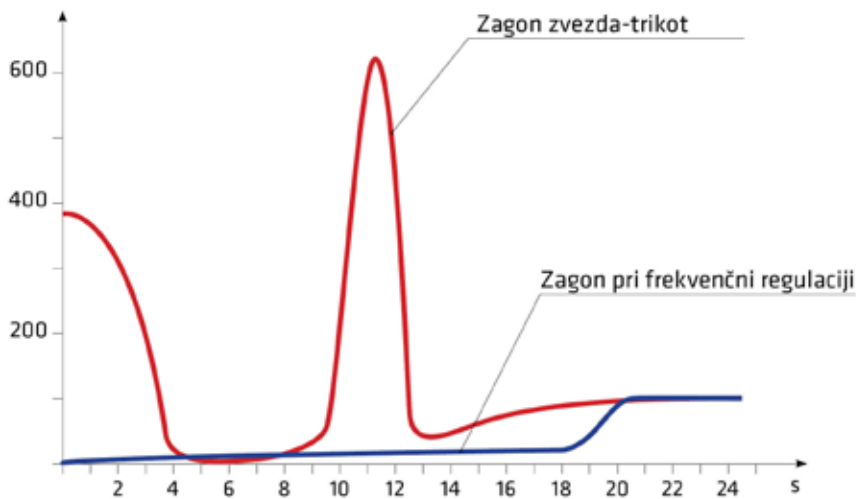
Pomemben prihranek energije je mogoče doseči z uravnavanjem konstantnega tlaka ter izogibanju nihanja tlaka, ki se uravnava z +0,1 bar.



Slika 1: Prikaz prihranka energije pri VSD kompresorju

Zmožnost čistega mehkega zagona

Običajno vijahni zračni kompresor s spremenljivo hitrostjo ob zagonu vzdržuje tok polne obremenitve (FLC) v mejah 1-2-kratnika nominalnega nazivnega toka motorja. Ta način zagona motorja je najčistejša oblika mehkega zagona. Tudi posebna enota za mehki zagon lahko pri zagonu vzdržuje FLC le v mejah 3-4-kratnika nazivnega toka motorja. Če to primerjate s standardnim zaganjalnikom Star Delta, ki pri zagonu vzdržuje FLC med 7 in 8-kratnikom, lahko vidite, kakšne prednosti



Slika 2 : Primerjava zagona zvezda-trikot in zagona kompresorja VSD (frekvenčna regulacija)

lahko nudi OMEGA AIR vijčni kompresor s spremenljivo hitrostjo. Ta povsem mehak zagon pomeni manjšo mehansko obremenitev jermenov, sklopov in menjalnikov ter večjo zane-

sljivost vijčnega kompresorja. Prav tako lahko pomaga zmanjšati največjo porabo električne energije pri zagonu kompresorja.

Inteligentna zaščita motorja

Pogon s spremenljivo hitrostjo zagotavlja boljšo zaščito glavnega motorja kompresorja kot običajna termična preobremenitev. Sodobni VSD lahko zazna več napak v motorju, kot so nadtokovne napake, zemeljske napake in kratke stike. Ta izboljšana raven zaščite motorja lahko pomaga zmanjšati število dragih popravil motorja. Diagnostika vgrajenega pogona pomaga skrajšati čas zaustavitve in iskanje napak.

Izboljšan faktor moči

Z namestitvijo kompresorja VSD lahko zaradi notranje kapacitivnosti v kompresorju VSD izboljšate faktor moči.

www.omega-air.si



OMEGA AIR
more than air

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

<p>RAZPON TLAKOV</p> <p>1000 mbar 16 bar, 50 bar 100 bar, 250 bar 420 bar</p>	 <p>Air</p>	 <p>N₂</p>
<p>MEDIJI</p> <p>stisnjen zrak vakuum N₂, O₂, CNG, dihalni zrak CO₂, H₂, He</p>	 <p>Air</p>	 <p>He</p>

IZDELKI AVAC SE ZDAJ PRODAJAJO POD BLAGOVNO ZNAMKO PIAB

V avgustu 2022 je PIAB prevzel AVAC Vakuum Teknik AB, uglednega švedskega specialista za vakuumsko tehnologijo. Izbira asortimana AVAC je zdaj vključena v ponudbo PIAB.



Ejektor AVAC

Po nekajmesečnih pripravah bo izbor produktov AVAC zdaj na voljo pod blagovno znamko PIAB. Nova podserija vključuje tisto, kar je bilo med najbolj zaupanja vrednimi uspešnicami podjetja v zadnjih nekaj letih.

Prvi v tej liniji prihaja MFE (*Multi-Functional Ejector*), večnamenski ejektor s kompaktno zasnovo in dokazano vzdržljivostjo. Ima integrirane kontrole, kot so ventil za vklop/izklop, izpihovanje, vakuum-

ski varnostni ventil in funkcijo varčevanja z energijo. MFE je odlična izbira za prašno intenzivne procese (razred IP65) in zaprte aplikacije, kjer je cenjena večnamenskost, na primer rokovanje s steklom ali pločevino. Lahko ga je konfigurirati in prilagoditi večini potreb.

Naslednji je ejektor BRE (*Booster-Release Ejector*), zasnovan za izjemno hitre aplikacije. Ustvari lahko tudi do več ciklov na sekundo. Višja hitrost je omogočena s patentiranim ultra hitrim izpihom, ki ga podpirajo trije tokovi: iz ejektorja, elektromagnetnega ventila in izpuha. Ejektorji BRE lahko obvladajo hitro sortiranje in procese velikega obsega v katerem koli industrijskem sektorju.

Tretji dodatek k ponudbi vakuumskih črpalk PIAB je ejektor MCE (*Multi-Circuit Ejector*). To je enostopenjski ejektor na komprimiran zrak z več neodvisnimi vakuumskimi krogi. Ker ima vsak kanal svojo šobo, je vakuum varno ohranjen v vseh kanalih ne glede na to, koliko sesalnih gum je v neposrednem stiku z dvignjenim predmetom.

Vir:

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

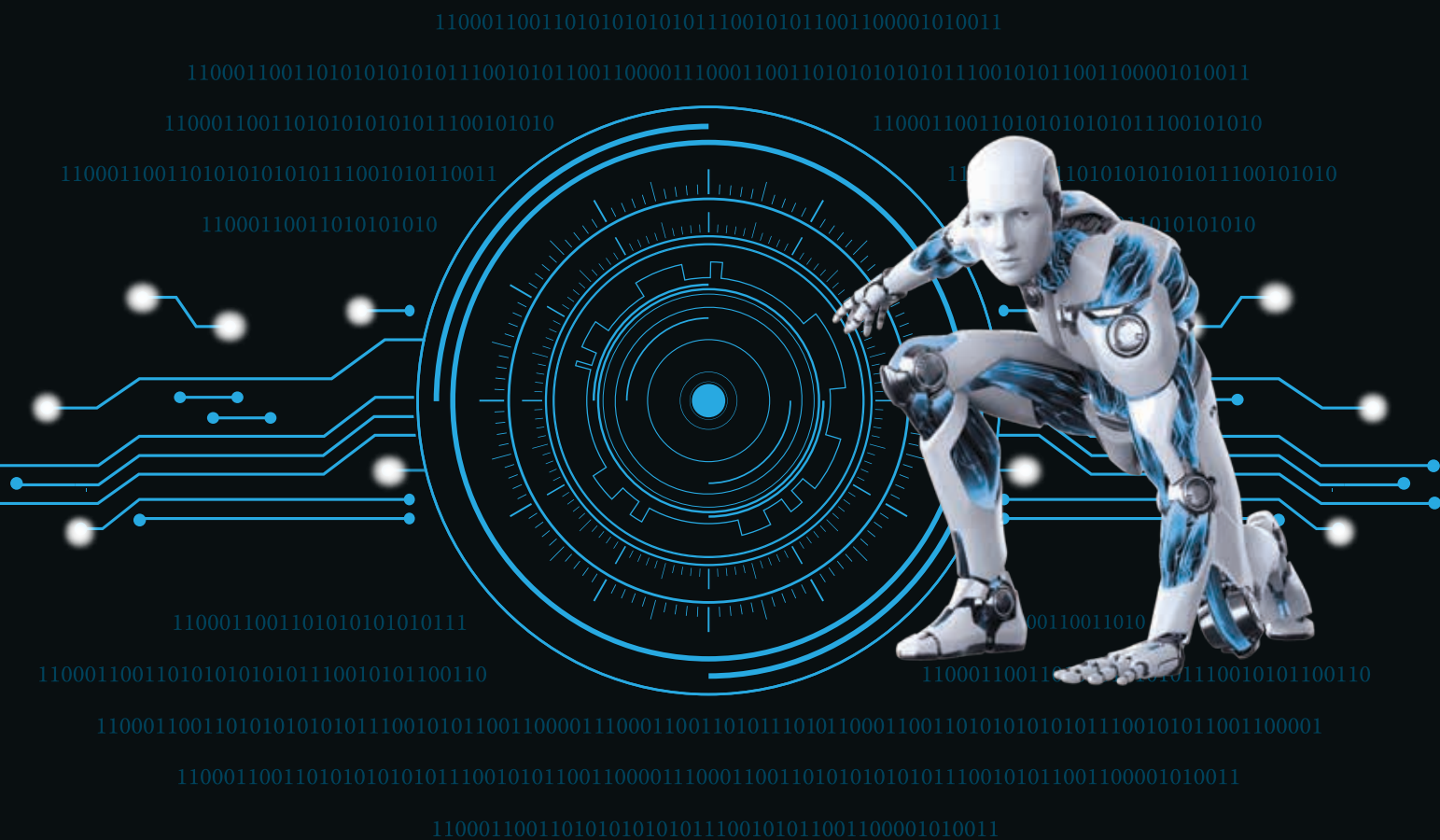
OGLAŠEVALCI

- ▶ AX Elektronika, d. o. o., Ljubljana 272
- ▶ ELESAGANTER GmbH,
Brunn am Gebirge, Austria.....245
- ▶ FESTO, d. o. o., Trzin.....213, 280
- ▶ GIA-S, d. o. o., Grosuplje.....213
- ▶ HENNLICH, d. o. o., Kranj.....275
- ▶ HPE, d. o. o., Ljubljana.....213, 216
- ▶ ICM, d. o. o., Vojnik 262, 279
- ▶ INOTEH, d. o. o., Bistrica ob Dravi 271
- ▶ Iskra PIO, d. o. o., Šentjernej 221
- ▶ JAKŠA, d. o. o., Ljubljana 262
- ▶ La & Co., d. o. o., Limbuš 213
- ▶ MIEL Elektronika, d. o. o., Velenje 213
- ▶ OLMA, d. o. o., Ljubljana.....221
- ▶ OMEGA AIR, d. o. o., Ljubljana..... 213, 277
- ▶ OPL AVTOMATIZACIJA, d. o. o, Trzin 213, 273
- ▶ PARKER HANNIFIN (podružnica v N. M.),
Novo mesto.....213
- ▶ POCLAIN HYDRAULICS, d. o. o, Žiri.....213, 214
- ▶ PPT COMMERCE, d. o. o., Ljubljana 213, 216
- ▶ PROFIDTP, d. o. o., Škofljica.....263
- ▶ STROJNISTVO.COM, Ljubljana228
- ▶ UL, Fakulteta za strojništvo ..228, 244, 266, 269
- ▶ Slovensko društvo za fluidno tehniko225
- ▶ YASKAWA, d. o. o., Ribnica263

IFAM-INTRONIKA-ROBOTICS

13.-15. februar 2024

Ljubljana





FESTO

Preprosto: del rešitve

Festo ★ osnovni program

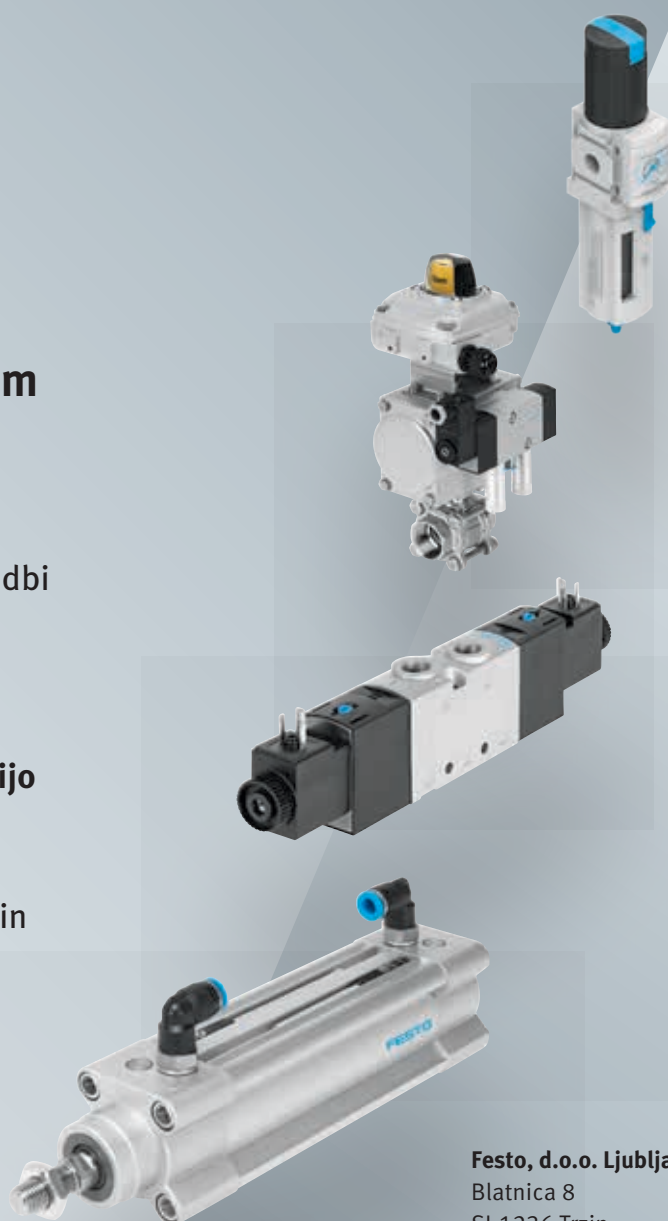
Prednosti na prvi pogled:

- Več kot 35.000 izdelkov v ponudbi
- Hitra dostava
- Privlačne cene

Osnovni program za avtomatizacijo

Festo osnovni program je naš izbor najpomembnejših izdelkov in funkcij, ki rešujejo večino vaših nalog v avtomatizaciji.

Poenostavite svojo nabavo -
Samo poiščite modro zvezdo!



Festo, d.o.o. Ljubljana
Blatnica 8
SI-1236 Trzin
Telefon: 01/ 530-21-00
Telefax: 01/ 530-21-25
sales_si@festo.com
www.festo.si