FLUIDNA TEHNIKA ◆ NAPREDNO INŽENIRSTVO IN TEHNOLOGIJE

ISSN 1318 - 7279 / Letnik 32

VENTIL

05
2026

DAX

EPSON

NOVA SERIJA LS-C
DO 25% IZBOLJŠAN TAKT
IZBOLJŠANA NOSILNOST
NOV KRMILNIK RC800-A

LS8-C

LS4-C



www.dax.si

PREDSTAVLJAMO
Od predavalnice do dirkalne steze – HYDROMAN

HIDRAVLIČNI VENTILI
Krmiljenje hidravličnega konvencionalnega ventila

HIDRAVLIČNI AKUMULATORJI
Hidravlični akumulatorji v praksi

PODJETJA PREDSTAVLJAJO
Ultrazvočni merilniki pretoka in toplote

UNIVERZA V LJUBLJANI FS Fakulteta za strojništvo

GIA

la&co Sinergija premikanja. Hidravlika. Pnevmatika. Linearna tehnika.

Certified Excellence rexroth A Bosch Company

MIEL

OLMA www.olma.si

OPL

Parker

POCLAIN Hydraulics

ppt commerce

OMEGA AIR more than air

POCLAIN Hydraulics

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

EU 2015/68 COMPLIANT

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



Cena enakih možnosti

Na srednji šoli Antoine-de-Saint-Exupéry v kraju Créteil, ki leži približno 12 km jugovzhodno od Pariza, se je septembra v nekaterih razredih pouk začel brez matematike, francoščine in ekonomije, ker ni bilo učiteljev. V učilnicah je bilo tudi neznosno vroče, stranišča niso delovala, streha je zamakala in razbitih oken niso popravili že dolgo. Vsa opozorila staršev in zaposlenih že pol leta pred tem so bila zaman, zato so sredi septembra zaposleni začeli s stavko, ki so jo podprli dijaki. V nekaj dneh so se pridružile šole v departmaju Seine-Saint-Denis, kjer so poleg pomanjkanja učiteljev izpostavili celo problem podgan, pomanjkanja stolov in miz ter toaletnega papirja in mila. Nato so se protesti razširili po vsej Franciji.

Če o francoskem šolstvu sklepamo iz raziskave PISA, so njegovi rezultati primerljivi s slovenskimi, saj so se naši učenci pri matematiki in naravoslovju odrezali bolje od francoskih, pri branju pa slabše. Povprečni rezultati torej ne kažejo posebej slabega francoskega šolstva, prikrivajo pa velike razlike med šolami in neenake možnosti za izobraževanje. Da bi razumeli bistvo težave, moramo vedeti, da imajo pri vpisu v javne srednje šole praviloma prednost dijaki iz šolskega okoliša. Francija pa ima tudi zasebne šole, ki jih večinoma prav tako financira država, vendar lahko zaračunavajo šolnino in niso vezane na geografsko omejitev vpisa. Premožnejši starši imajo zato več možnosti: otroka lahko vpišejo v zasebno šolo ali pa se celo preselijo v okoliš uglednejše javne šole. Tako se v nekaterih šolah zbirajo predvsem otroci premožnejših družin, v drugih pa otroci iz socialno prikrajšanih okolij. Razlike med šolami se zato povečujejo, možnosti za kakovostno izobraževanje pa postajajo vse bolj odvisne od kraja bivanja in premoženja staršev.

V Créteilu in Saint-Denisu so izrazito socialno prikrajšane soseske z visoko stopnjo revščine. A ljudje se niso uprli zato, ker živijo v revščini, pač pa zaradi neenakih možnosti kot posledice svoje revščine. Ta upor je soroden dogajanju v Španiji, kjer so deložirali 87-letno upokojenko, potem ko je njena stara najemna pogodba prenehala veljati, lastnik pa je za novo zahteval 2.650 evrov namesto dotedanjih 500. Tudi tam imajo pomembno vlogo mladi, ki so v dogodku prepoznali simptom širše stanovanjske krize. V zadnjih desetih letih so se najemnine skoraj podvojile, povprečna najemnina stanovanja pa danes dosega skoraj celotno povprečno plačo mladega zaposlenega. Stanovanjska nedostopnost je tudi eden glavnih razlogov, da skoraj polovica mladih med 26. in 34. letom še vedno živi pri starših.

Najpreprosteje je proteste enačiti s huliganstvom in v tem ne prepoznati krize družbene pogodbe, ki pomeni skupna pričakovanja o tem, kaj posameznik prispeva družbi in kaj lahko od nje upravičeno pričakuje. Če bi nekdo med vojno prodajal osnovne dobrine, kot je hrana, po desetkratni ceni, bi ga imenovali vojni dobičkar. Tudi izobraževanje, zdravstvo in bivanje razumemo kot osnovne življenjske potrebe, katerih zagotavljanje seveda ni brezplačno. Toda ali je treba tudi stanovanja, ki so osnovna življenjska potreba, obravnavati zgolj kot običajno naložbo v tržnem gospodarstvu? Ali bi morali imeti premožnejši boljši dostop do javno financiranih storitev zgolj zato, ker plačujejo več davkov od revnih in brezposelnih? Tak primer dobro poznamo iz našega zdravstva: kdor si lahko privošči samoplačniške preiskave, lahko prej pride do diagnoze in se nato zdravi v javnem sistemu, morda celo pri istem zdravniku.

Vsa omenjena vprašanja segajo v temelje družbene pogodbe, glede katere ima lahko vsak od nas svoje mnenje, ki je povsem legitimno. A ne glede na to, kaj si mislimo, je krivično za razmere obtoževati bodisi investitorje v nepremičnine bodisi zdravnike, ki delajo dodatno, bodisi brezposelne, ki živijo od socialne pomoči. Če se želimo izogniti francoskemu in španskemu scenariju, morajo ljudje pravila, po katerih delujejo temeljni družbeni sistemi, razumeti kot pravična. Toda predstave o pravičnosti – kot se je pokazalo pri protestih francoskih rumenih jopičev leta 2018 – ne sovpadajo nujno s klasično levo-desno ločnico. Družbene pogodbe namreč ne bomo obnovili s televizijskimi soočenji, v katerih je pomembneje premagati sogovornika kot razumeti težave, o katerih razpravljamo.

Miroslav Halilovič

© Avtorji 2025. CC-BY 4.0

VENTILOV UTRIP

DOGODKI

302 Rekordni ŠTeKam 2026: 54 prispevkov mladih raziskovalcev iz 21 ustanov

304 12. Poletna šola strojništva



305 Izjemno uspešno stičišče znanosti in gospodarstva na MOS 2026

306 Druga industrijska konferenca iz pnevmatike 2026

PREDSTAVLJAMO

308 HYDROMAN: od predavalnice do dirkalne steze



NOVICE IN ZANIMIVOSTI

314 Prof. dr. Mitjan Kalin postal predsednik svetovne tribološke organizacije International Tribology Council

315 Dostavljen zadnji v Evropi izdelan sektor vakuumske posode za ITER

316 SMARTFACT: prihajajoče tehnologije za pametne tovarne prihodnosti

318 Kavitacija odpira nove možnosti za nadzor nastanka emulzij

319 Drsenje maziva v pravem območju lahko zmanjša trenje do 48 % brez tanjšanja zaščitnega mazalnega filma

320 NEO-TWIN: Digitalni dvojčki za varnejšo in zanesljivejšo

322 Bionika ustvarja inovacije, ki jih je navdihnila narava

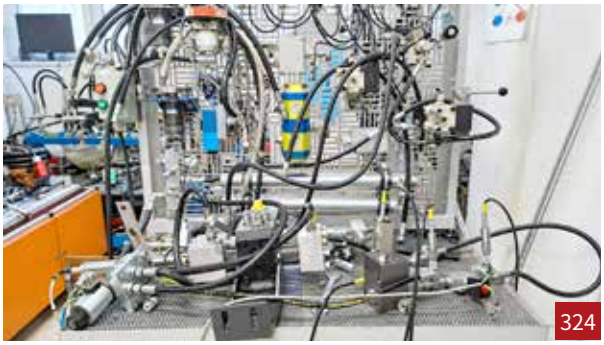


ZNANSTVENI PRISPEVKI

KRMILJENJE HIDRAVLIČNEGA VENTILA

Amar Kujraković, Jan Pustavrh, Rok Jelovčan, Franc Majdič

324 Krmiljenje hidravličnega konvencionalnega ventila s pulznoširinsko modulacijo

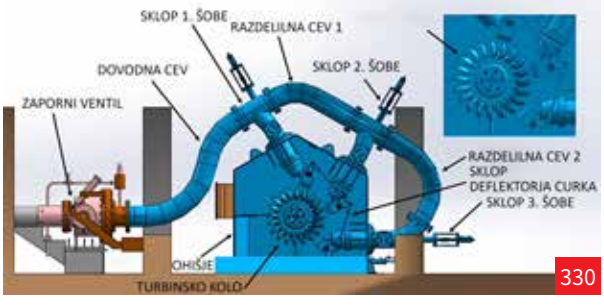


STROKOVNI PRISPEVKI

HIDRAVLIČNI AKUMULATORJI

Tadej Tašner

330 Hidravlični akumulatorji v praksi – izbira, preračun in vgradnja



IZ INDUSTRIJE

AKTUALNO V INDUSTRIJI

DOMEL
340 Sesalna enota 441 ALU: Pametnejša alternativa v času naraščajočih cen bakra

ELESA+GANTER
341 Cevne vpenjalne spojke: trdnost, prilagodljivost in enostavno čiščenje

HIWIN
342 HIWIN: celovita rešitev za višjo stopnjo integracije

La & Co.
343 Krogličnа vodila za ekstremne pogoje delovanja

S3C
344 Vakuumske enote EZA

NOVOSTI NA TRGU

ELESA+GANTER
345 Kabelske uvodnice in dodatki za vsako področje uporabe

HAWE Hidravlika
346 HAWE Hydraulik predstavlja hidravlično enoto INKA 3



INOTEH
347 PIAB: Vakuumski priseski BLFF42 in BLFF55 3

INOTEH
348 ZIMMER GROUP: Pritrdilni elementi in zavore serije CBPS



PARKER HANNIFIN
349 Parker Viking Xtreme ISO: kompaktni pnevmatski ventili za zahtevne pogoje uporabe

SMC
350 SMC IZSW10 – razelektritvena letev, primerna za pranje pod tlakom

PODJETJA PREDSTAVLJAJO

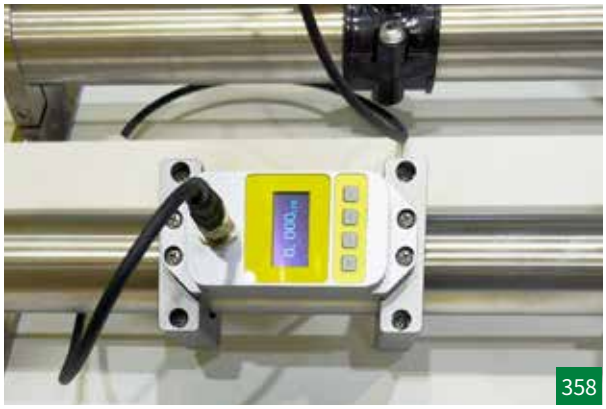
GIA-S
352 Toplotna postaja ni le izmenjevalec toplote, je srce vsakega sodobnega sistema daljinskega ogrevanja

HENNLICH
354 Črpalka iSTEP M, dobitnica nagrade PLUS X AWARD 2026



MIEL Elektronika
356 Integrirana varnost in pogoni

OMEGA AIR
358 Ultrazvočni merilniki pretoka in toplote



Rekordni ŠTeKam 2026: 54 prispevkov mladih raziskovalcev iz 21 ustanov

Na Fakulteti za strojništvo Univerze v Ljubljani je 10. 9. 2026 potekala 12. študentska tehniška konferenca ŠTeKam. S 54 prispevki mladih raziskovalcev iz 21 izobraževalnih in raziskovalnih ustanov je bila letošnja konferenca največja doslej. Rekorden odziv je prinesel tudi novost – predstavitve so prvič potekale v treh vzporednih sekcijah.



Udeleženci konference ŠteKam 2026

ŠTeKam je namenjen študentkam in študentom vseh treh stopenj študija ter dijakinjam in dijakom zaključnih letnikov srednjih šol. Ena njegovih največjih posebnosti je interdisciplinarnost. Letos so se na enem mestu srečali mladi s področij strojništva, računalništva, matematike in fizike, elektrotehnike, ekonomije, prava, pedagogike, psihologije, biotehnike, medicine, farmacije in drugih področij. Prišli so s številnih članic Univerze v Ljubljani, Univerze v Mariboru in Univerze na Primorskem, srednjih šol in raziskovalnih ustanov, sodelovali pa so tudi avtorji oziroma ustanove iz tujine, med drugim iz Združenih držav Amerike in Nizozemske.

Prav raznolikost področij daje konferenci posebno vrednost. Mladi svojih raziskav ne predstavljajo le kolegom z istega področja, temveč jih morajo približati tudi poslušalcem z drugačnim strokovnim ozadjem. Ob tem pridobivajo izkušnje z javnim nastopanjem, argumentiranjem svojih ugotovitev in strokovno razpravo.

Od raziskovalne ideje do prve znanstvene reference

ŠTeKam mladim omogoča, da že med študijem opravijo pomemben del raziskovalne poti – od raziskovalnega vprašanja in izvedbe raziskave do priprave prispevka, recenzijskega postopka ter javne predstavitve rezultatov. Ob tem dobijo tudi povratne informacije recenzentov, mentorjev in drugih udeležencev, ki jim lahko pomagajo pri nadaljnjem delu.

Sodelovanje prinaša tudi prvo znanstveno referenco. Sprejeti prispevki so objavljeni v konferenčnem zborniku in vpisani v sistem COBISS, sodelovanje pa lahko dijaki in študenti uveljavljajo tudi kot izjemen dosežek pri kandidaturi za Zoisovo štipendijo. Najuspešnejši bodo svoje delo predstavili še širši strokovni javnosti z objavo v strokovno-znanstveni reviji Ventil. »*Rekordnih 54 prispevkov kaže, da ŠTeKam postaja vse bolj prepoznaven prostor za predstavitev raziskovalnega dela mladih. Še pomembnejša od samega števila pa je raznolikost področij. Mladi morajo svoje raziskave približati tudi poslušalcem z drugačnim strokovnim ozadjem in prav s tem pridobivajo dragocene raziskovalne in komunikacijske izkušnje,*« je poudaril doc. dr. Tomaž Berlec, član organizacijskega odbora ŠTeKam.

Najboljši prispevki letošnje konference ŠTeKam

Ker je konferenca letos prvič potekala v treh vzporednih sekcijah, so udeleženci izbrali tudi tri najboljše prispevke – po enega v vsaki sekciji:

Najboljši prispevek v sekciji A:
Anja Vajda, Pia Marinček, Alexandra Bogožalec Košir: *Vrednotenje kandidatnega referenčnega materiala za diagnostiko virusa HCMV s sekvenciranjem z nanoporami.*

Najboljši prispevek v sekciji B:
Julija Genorio, Jernej Jorgačevski: *Vzpostavitev kvantitativnega 3D-pristopa za analizo prostorske razporeditve proteina p62 v mišjih astrocitih.*

Najboljši prispevek v sekciji C:
Gregor Badalič: *Napovedni model za analizo deformacij in strukturno optimizacijo pajkovih mrež.*

Konferenco organizirajo *doc. dr. Tomaž Berlec, izr. prof. dr. Miha Brojan in asist. dr. Boštjan Drobnič*. Njeno poslanstvo ostaja preprosto: mladim dati priložnost, da svojo radovednost spremenijo v raziskovanje in naredijo prve korake v svet znanosti.

Vsem sodelujočim čestitamo – naj jih raziskovalna radovednost vodi še naprej.

www.fs.uni-lj.si

© Avtorji 2026. CC-BY 4.0

MOTOMAN NEXT

YASKAWA

AI vodeni roboti: NOVA DOBA

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



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

POSVET

AVTOMATIZACIJA STREGE IN MONTAŽE 2026 - ASM `26

03. decembra 2026
na Gospodarski zbornici Slovenije v Ljubljani

SCAN ME

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

Zaključila se je 12. Poletna šola strojništva

120 osnovnošolcev iz vse Slovenije je štiri dni raziskovalo, ustvarjalo in odkrivalo, kako raznoliko je sodobno strojništvo. Za konec bodo svoje izdelke in novo znanje predstavili še staršem.



Skupinsko delo in izmenjava idej v Poletni šoli strojništva, kjer se znanje gradi skupaj



Udeleženke delavnice "Dekleta za dekleta" med raziskovanjem povezav med strojništvom in medicino

Učenci tretje triade so se na 14 praktičnih delavnicah preizkusili v vlogi mladih inženirk in inženirjev. Izdelovali so mini vetrne elektrarne, motorna letala, prenosne naprave za čiščenje vode, solarne rožice in vremenske postaje, se preizkusili v 3D-tiskanju in laserski obdelavi ter raziskovali povezave med strojništvom, medicino, računalništvom in drugimi področji.

»Zanimanje 120 mladih za letošnjo Poletno šolo strojništva je za nas pomemben pokazatelj, da jih tehnika in ustvarjanje še kako pritegneta, če jim omogočimo pravi prostor za raziskovanje. Želimo jim pokazati širino strojništva in predvsem to, da lahko s svojim znanjem nekoč soustvarjajo rešitve za svet, v katerem bodo živeli,« poudarja prof. dr. Jernej Klemenc, dekan Fakultete za strojništvo UL.

Posebnost Poletne šole je praktično delo. Mladi tehnologij ne le spoznavajo, ampak sami načrtujejo, sestavljajo, programirajo in preizkušajo svoje izdelke. Ob tem povezujejo znanja tehnike, fizike, matematike in računalništva ter hitro ugotovijo, da so radovednost, vztrajnost in iskanje novih rešitev pomemben del inženirskega dela. Tudi letos je bila posebna pozornost namenjena spodbujanju deklet za naravoslovje in tehniko. V okviru programa Dekleta za dekleta sta potekali dve delavnici: izdelava nakita s pomočjo kolaborativnega robota ter simulacija srčnožilnega sistema.

»Posebej nas veseli, da letos izvajamo tudi dve delavnici Dekleta za dekleta, saj želimo za strojništvo navdušiti več deklet in jim pokazati, da je tudi to področje, na katerem lahko razvijajo svoje ideje, znanje in talente,« dodaja Klemenc.

»Posebej nas veseli, da letos izvajamo tudi dve delavnici Dekleta za dekleta, saj želimo za strojništvo navdušiti več deklet in jim pokazati, da je tudi to področje, na katerem lahko razvijajo svoje ideje, znanje in talente,« dodaja Klemenc. Podlaga Štiridnevno ustvarjanje se zaključuje s predstavitvami, na katerih bodo udeleženci staršem pokazali svoje izdelke ter predstavili, kaj so se v preteklih dneh naučili. Veliko zanimanje za letošnjo Poletno šolo strojništva na fakulteti vidimo kot spodbuden znak, da mlade tehnika in naravoslovje še kako zanimata – še posebej, ko dobijo priložnost, da sami raziskujejo, preizkušajo in svoje ideje spremenijo v nekaj, kar na koncu tudi zares deluje.

Razpis za 13. Poletno šolo strojništva, ki bo potekala od 24. do 27. avgusta 2027, bo predvidoma objavljen aprila 2027.

www.fs.uni-lj.si

© Avtorji 2026. CC-BY 4.0

FLUIDNA TEHNIKA • NAPREDNO INŽENIRSTVO IN TEHNOLOGIJE
VENTIL

strojnistvo.com
knjižice strojnikov

Izjemno uspešno stičišče znanosti in gospodarstva na MOS 2026

Letošnji sejem 58. MOS, ki je trajal od 16. do 20. septembra 2026, je bil povsem drugače zasnovan kot sejmi doslej. Strateška usmeritev Celjskega sejma je bila, da MOS postane največji mednarodni sejem priložnosti in sodelovanja. Strateški poudarek sejma pa je bil na poslovnih priložnostih za industrijo, inovacije in napredno gospodarstvo.



Utrip stičišča znanosti in gospodarstva na sejmu MOS (Foto: Janez Škrlec)

Letos se je stičišče znanosti in gospodarstva kot projekt MIZM – Ministrstva za izobraževanje, znanost in mladino – predstavilo s povsem novimi inovacijami. V desetih letih je bilo skupno predstavljenih že več kot 350 inovacij in v tem času je v okviru tega projekta sodelovalo več kot 50 partnerjev, fakultet, inštitutov, univerz, znanstvenoraziskovalnih središč in visokotehnoloških podjetij.

V predstavitev so bila letos vključena različna tehnološka in poklicna področja ter znanstvene discipline: mehatronika, elektronika, avtomatika, robotika, bionika, energetika, IKT, področje vesoljskih tehnologij, umetne inteligence, kibernetske varnosti s predstavitvijo laboratorija za digitalno forenziko FERI Univerze v Mariboru. V predstavitev so bili vključeni tudi industrija 5.0, novi poslovni modeli, razvoj digitalnih in biodigitalnih – bioničnih – dvojčkov. Predstavitev v okviru Stičišča znanosti in gospodarstva je že zajemala tudi smernice biodigitalne koncergence, razvoj novih materialov in nanotehnologije.

Po številu inovacij in visokotehnoloških izdelkov so izstopali: Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko Univerze v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko Univerze v Ljubljani. Številne tehnološke in znanstvene dosežke so predstavili tudi Kemijski inštitut iz Ljubljane, Institut Jožef Stefan, Univerza v Novi Gorici, Znanstvenoraziskovalno središče RUDOLFOVO iz Novega mesta in IZUM. Predstavili so se tudi Kompetenčni center za čipe in polprevodniške tehnologije, SRIP zdravje in medicina, ARIS, evropska Univerza Alma Mater, SIS EGIZ, Visoka strokovna šola za bioniko na Ptuju, Kmetijski inštitut Slovenije in številni drugi. Od visokotehnoloških podjetij sta vrhunske inovacije letos predstavila Skylabs d. o. o., iz Maribora na področju vesoljskih tehnologij s poudarkom na nanosatelitih in podpornih sistemih ter podjetje RLS d. o. o. iz Komende na področju tehnoloških rešitev za robotiko, medicino in električna vozila. Bionske inovacije je predstavil Janez Škrlec, sicer vodja Stičišča znanosti in gospodarstva že vse od leta 2016 naprej. Predstavil je prenosni multifunkcijski laboratorij za izobraževanje diplomiranih inženirjev bionike. Letos sta povsem izstopala dva strokovnjaka, in sicer z inovacijami na področju naprednih optičnih senzorjev na osnovi optičnih vlaken prof. ddr. Denis Đonlagić in prof. dr. Aleš Holobar na področju sistemske programske opreme, inteligentnih sistemov, podprtih z umetno inteligenco. Oba strokovnjaka vodita različna laboratorija na FERI Univerze v Mariboru.

Na sejmu MOS se je izjemno dobro predstavil Slovenski kompetenčni center za čipe, ki deluje kot osrednje nacionalno stičišče za pospeševanje znanja, inovacij in razvoja na področju elektronskih, fotonskih in kvantnih čipov ter polprevodniških tehnologij. Projekt združuje konzorcij vodilnih slovenskih raziskovalno-izobraževalnih institucij, vključno s Fakulteto za elektrotehniko Univerze v Ljubljani, Fakulteto za računalništvo in informatiko UL, FERI Univerze v Mariboru, Univerzo v Novi Gorici, Institutom »Jožef Stefan« ter Centrom odličnosti Nanocenter. Kompetenčni center podjetjem, raziskovalcem in študentom omogoča strokovna usposabljanja, delavnice, svetovanje pri razvoju ter lažji dostop do napredne tehnološke infrastrukture, pilotnih linij in oblikovalskih orodij tako v domačem okolju kot na ravni celotne EU. S sofinanciranjem v okviru pobude Evropskega akta o čipih (European Chips Act / Chips JU) si KC Chip.si prizadeva okrepiti tehnološko suverenost, spodbuditi prenos znanja v gospodarstvo ter Slovenijo umestiti na globalni zemljevid specializiranih polprevodniških rešitev.

V okviru Stičišča znanosti in gospodarstva so bili predstavljeni tudi inženirski poklici in sodobni izobraževalni programi. Med obiskovalci so prevladovali mladi, vse od osnovnošolcev, dijakov, študentov, raziskovalcev do predstavnikov razvojno-raziskovalnih in izobraževalnih inštitucij. Stičišče znanosti in gospodarstva si je v času sejma ogledal tudi gospod Andrej Vastl, vršilec dolžnosti generalnega direktorja na Ministrstvu za izobraževanje, znanost in mladino (MIZM).

Povzetek MIZM

© Avtorji 2026. CC-BY 4.0

Druga industrijska konferenca iz pnevmatike 2026

V četrtek, 24. septembra 2026, je v prostorih podjetja SMC Industrijska avtomatika, d. o. o., v Trebnjem potekala druga zaporedna Industrijska konferenca iz pnevmatike 2026, ki je združila strokovnjake, raziskovalce in predstavnike industrije s področja pnevmatike in sistemov stisnjenega zraka. Prva konferenca je bila pred dvema letoma v Ljubljani.

Na letošnji konferenci so udeleženci lahko prisluhnili vrsti zanimivih predavanj, ki so obravnavala sodobne trende in izzive pnevmatike, meritve zmogljivosti kompresorjev, načrtovanje in optimizacijo omrežij stisnjenega zraka ter pomen porabniških podsistemov za energetsko učinkovitost. Predstavljene so bile tudi dobre prakse uvajanja standarda ISO 50001, pristopi k optimizaciji porabe na strani odjema ter najnovejše energetsko učinkovite pnevmatske komponente in tehnologije.

Uvodni pozdrav v imenu Slovenskega društva za fluidno tehniko je imel Franc Majdič. Nadaljeval je s prvim predavanjem z naslovom *Pnevmatične komponente in sistemi ter vloga v industriji*. Predstavil je glavna teoretična izhodišča pnevmatike, tržni delež pnevmatike v Sloveniji, njene prednosti in slabosti, področja uporabe, vrste pnevmatičnih komponent ter sodobne trende razvoja pnevmatike. Mednje sodijo sodobni sistem za upravljanje z zrakom SMC AMS in pametno pnevmatično enoto, ki znižuje stroške energije, potrebne za stisnjeni zrak, FESTO E2M. Omenjeni enoti letno pripomoreta k varčevanju energije – nabavni strošek se tako hitro povrne. Pri varčevanju z energijo si z odpravljanjem puščanja zraka lahko pomagamo tudi s termovizijskimi kamerami.

Drugo predavanje je izvedel Rok Trelc iz podjetja HPE z naslovom *Meritve zmogljivosti in izdelava karakteristik kompresorjev*. Poudaril je kako meriti pretok zraka s pomočjo zvočne šobe po standardu ISO 9300. Tako na terenu lahko izmerijo dejansko karakteristiko kompresorjev.

Tretje predavanje je izvedel Gregor Novaković iz podjetja Epoha z naslovom *Izrisi, načrtovanje in posnetki stanja omrežij stisnjenega zraka*. Predstavil je, kako s 3D laserskim skeniranjem izdelajo oblake točk, 2D-izrise, 3D-modele, informacijske modele objektov (BIM), prostorske analize, upravljanje premoženja in digitalne dvojčke.

Sledilo je predavanje ameriškega strokovnjaka Josha Wamserja iz podjetja Analysts LLC z naslovom *Distribucijski pnevmatični sistemi z največjo učinkovitostjo prevzemite nadzor nad porabo stisnjenega zraka*. Predavatelj je poudaril, da je ključno, da stalno spremljamo električno porabo za pogon kompresorjev in da nastavimo mejne vrednosti, kjer je treba ukrepati.

Sledilo je predavanje glavne organizatorke Nine Bizjak iz podjetja ERLIK z naslovom *Vloga podsistema porabe pri energetski učinkovitosti sistemov stisnjenega zraka*. Poudarila je, da učinkovitost sistema stisnjenega zraka določajo predvsem porabniki. Skupni izkoristek celotnega pnevmatičnega sistema je odvisen od zmnožka izkoristkov posameznih podsistemov, tj. proizvodnje (kompresorji), distribucije (cevovod) in porabe (krmiljenje in izvršilne komponente). Na strani podsistema porabe nastajajo izgube zaradi puščanj, umetne porabe, neprimerne porabe in dušenja. Izpihavanje, hlajenje, čiščenje in sušenje izdelkov pomenijo zelo veliko porabo zraka in znatno poslabšujejo izkoristek.



Predavanje ameriškega strokovnjaka Josha Wamserja



Predavanje Nine Bizjak iz podjetja ERLIK

Šesto predavanje je predstavil gostitelj dogodka SMC Industrijska avtomatika, d. o. o. Najprej nas je pozdravil direktor prodaje Luka Čeh. Predstavil je globalno podjetje SMC, ki ima v svetovnem merilu največji tržni delež na področju pnevmatike, tj. 37 %. Sledilo je predavanje Jana Matka, ki je pripravil prispevek z naslovom *Energetsko učinkovite pnevmatske tehnologije*. Predstavil je vizijo podjetja SMC z vidika energetske učinkovitosti. Poudaril je, da je pri SMC-ju pomembno, da uporabljamo energijo, kjer je ta pomembna, da uporabljamo samo potrebno količino energije. Poudaril je, da pihanje z zrakom pomeni 42 % izgub, največje prihranke pa lahko dobimo z nižanjem sistemskega tlaka. Uvedli so »4-bar tovarno«, s katero želijo znižati sistemski tlak stisnjenega zraka na 4 bar. To po njihovih navodilih lahko naredimo (1) z analizo tovarniških podatkov o obratovanju posameznih pnevmatičnih strojev, (2) z oceno strojev – določitev velikih porabnikov zraka in realnih potreb, (3) s stabilizacijo pretoka in tlaka, (4) z znižanjem lokalnih tlakov brez zmanjšanja izhodnih zmogljivosti, (5) z zmanjšanjem izgub v prostem teku zaradi puščanja. Zavedati se je treba, da je zrak brezplačen, stisnjeni zrak pa ne, zato ga moramo uporabljati pametno.

Sledilo je še zadnje predavanje Jake Grošlja iz podjetja Enesist z naslovom *ISO 50001 – Sistem upravljanja z energijo – izkušnje in primeri dobre prakse pri vpeljavi*. Predstavil je, da so ključne prednosti pri vzpostavitvi standarda predvsem zmanjšanje stroškov, varovanje okolja in večji ugled podjetja.

Konferenca je ponovno potrdila, da učinkovita raba stisnjenega zraka predstavlja pomemben dejavnik pri zmanjševanju porabe energije in izboljševanju konkurenčnosti industrijskih procesov. Dogodek je udeležencem ponudil priložnost za pridobivanje novih znanj, izmenjavo izkušenj ter krepitev sodelovanja med raziskovalno sfero in gospodarstvom. Posebna zahvala gre Nini Bizjak (ERLIK, d. o. o.), ki je s svojim predanim delom in odlično organizacijo pomembno prispevala k uspešni izvedbi konference.

Po zaključku Industrijske konference iz pnevmatike 2026 je v prostorih podjetja SMC Industrijska avtomatika, d. o. o., v Trebnjem potekal tudi redni občni zbor Slovenskega društva za fluidno tehniko (SDFT). Člani društva so pregledali dosedanje aktivnosti in dosežke društva ter razpravljali o nadaljnjem razvoju in prihodnjih strokovnih dejavnostih. Občni zbor je bil hkrati tudi volilni, saj je potekala izvolitev novega vodstva društva za naslednje mandatno obdobje.



Utrinek ob izvolitvi novega predsednika Slovenskega društva za fluidno tehniko

Za novega predsednika društva je bil izvoljen Sandi Grobelnik iz podjetja Uniforest, d. o. o., ki je prevzel vodenje društva in se ob tem zahvalil članom za izkazano zaupanje. Ob nastopu mandata je poudaril pomen povezovanja strokovnjakov, gospodarstva in raziskovalnih ustanov ter nadaljnje krepitve vloge društva na področju fluidne tehnike v Sloveniji.

Dosedanjemu vodstvu se zahvaljujemo za opravljeno delo, novemu predsedniku in izvoljenim članom organov društva pa želimo uspešno delo, veliko strokovnih dosežkov ter uspešno uresničevanje zastavljenih ciljev.

Izr. prof. dr. Franc Majdič, Nejc Novak
oba Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo

© Avtorji 2026. CC-BY 4.0



Dirkalnik HYDROMAN 2025 na stezi. Pod lupino, ki jo je zasnovala ekipa sama, so lahka konstrukcija, lastna elektronika in vodikova gorivna celica.

HYDROMAN: od predavalnice do dirkalne steze

Mitja Mori, Maj Rudolf Vahtar, Žan Podvratnik, Jurij Štule

Le nekaj ur pred odhodom na svetovno prvenstvo je v dirkalniku odpovedala gorivna celica, njegovo srce. Ekipa je pot preusmerila čez Češko in tam dobila nadomestno celico. Del krmilne programske opreme je na novo napisala kar med potjo, avtomobil pa je na start vseeno pripeljala pravočasno.

Na svojem prvem nastopu na Hydrogen Grand Prix 2025 je študentska ekipa HYDROMAN Univerze v Ljubljani osvojila 6. mesto med univerzitetnimi ekipami ter nagradi za najboljši dizajn vozila in najboljši ekipni duh. Sledila je še zmaga na Expu v Bakuju. Daljinsko voden dirkalnik na vodikovo gorivno celico študenti strojništva in elektrotehnike sami zasnujejo, izdelajo, sprogramirajo in vozijo. Projekt je hitro prerasel okvire laboratorija: o njem so poročali 24 ur, RTV Slovenija in Radio Koper, ekipa pa ga predstavlja na vodikovih konferencah in tehnoloških dogodkih doma in v regiji. Leta 2026 se je vrnila z bistveno nadgrajenim vozilom, ki je iz 30-vatne gorivne celice stabilno pridobivalo okoli 42 W, in z novo lekcijo. To je zgodba o poti od predavalnice do dirkalne steze in o tem, zakaj je pri pravem inženirskem delu vsaka rešena težava le začetek naslednje.

HYDROMAN je študentski projekt, ki deluje v Laboratoriju za termoenergetiko Fakultete za strojništvo Univerze v Ljubljani pod mentorstvom izr. prof. dr. Mitje Morija. Nastal je iz prepro-

Izr. prof. dr Mitja Mori, univ. dipl. inž., **Maj Rudolf Vahtar, mag. inž.**, **Žan Podvratnik, mag. inž.**, **Jurij Štule**; vsi Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo

© Avtorji 2026. CC-BY 4.0

»Mentorirati ekipo HYDROMAN je kot pripravljati izjemno motiviranega športnika na največje tekmovanje: z njim dihaš ob vsakem uspehu in še bolj ob vsakem padcu. Lani sta nas na štart pripeljala iznajdljivost in ekipni duh, letos pa znanje. Dirkalnik je imel boljšo telemetrijo, modularno zasnovo in sistem za hitro menjavo goriva. Iz 30-vatne gorivne celice so študenti stabilno pridobivali 42 W, skoraj 40 % več od deklarirane moči.

Potem je dirka pokazala svoje. Po zaporednih trkih sta odpovedala oba rezervna modula in namesto hitre menjave so v boksih popravljali poškodovane dele. Enajsto mesto je bolelo, a ekipa ni odnehala. Takšne lekcije ne da nobeno predavanje: razvoj ni ravna črta in vsaka rešena težava razkrije naslednjo. Zmaga v Bakuju je pokazala, česa smo sposobni, letošnja sezona pa, kje lahko še rastemo.

Kot je zapisal Nejc Zaplotnik: ‘Kdor išče cilj, bo ostal prazen, ko ga bo dosegel. Kdor pa najde pot, bo cilj vedno nosil v sebi.’ HYDROMAN je svojo pot našel. Ponosen sem na vas in že komaj čakam naslednjo sezono!«

Izr. prof. dr. Mitja Mori, mentor ekipe HYDROMAN



Ekipa HYDROMAN na svetovnem finalu H2 Grand Prix v Švici 2026. Študenti strojništva in elektrotehnike Univerze v Ljubljani skupaj razvijajo, gradijo in vozijo dirkalnik na vodik.

stega vprašanja: kaj se zgodi, ko študenti znanje s predavanj uporabijo pri razvoju resničnega inženirskega sistema, ki mora na koncu delovati na dirkalni stezi?

Člani ekipe ne razvijajo le enega dela vozila. Pri projektu sodelujejo od prve ideje do ciljne črte. Avto načrtujejo in modelirajo v CAD-u, nato izdelajo komponente, sestavijo vozilo, ga sprogramirajo in preizkusijo, na koncu pa z njim tudi tekmujejo. Študenti strojništva in elektrotehnike skupaj razvijajo konstrukcijo, pogon, elektroniko in telemetrijo. Pri fotografiji, videu in oblikovanju se jim pridružujejo študenti AGRFT, NTF in arhitekture.



Boj s časom v boksih. Vsaka minuta popravila je minuta, ko avtomobil ne zbira krogov.

Projekt je poseben predvsem zato, ker ekipa ničesar ne dobi vnaprej pripravljenega. Ne sestavlja kompleta po navodilih, ampak mora sama odločiti, kakšno vozilo želi zgraditi in kako bodo sistemi povezani med seboj. Ko se prva rešitev ne obnese, mora ugotoviti tudi kaj spremeniti. Prav v tem je bistvo HYDROMAN-a: študenti se ne učijo le, kako nekaj narediti, ampak tudi, kako se odločati, ko pravega odgovora še ni.

Majhen dirkalnik, velik sistem

Na prvi pogled je HYDROMAN majhen daljinsko voden avtomobil. V resnici je to zapleten inženirski sistem, v katerem morajo mehanika, elektronika, programska oprema in energetika delovati kot eno.

Mehanski del zajema konstrukcijo vozila in lahke nosilne strukture. Študenti razvijajo komponente iz ogljikovih vlaken, izdelujejo gredi in druge konstrukcijske elemente ter pri tem uporabljajo CNC-obdelavo, struženje, 3D-tisk in vrsto drugih tehnologij. Vzporedno nastajajo elektronika, krmiljenje in telemetrija. Študenti elektrotehnike so za vozilo razvili lastno vezje, ki skrbi za upravljanje in sproti beleži podatke med vožnjo.

V središču vsega je vodikova gorivna celica, edini vir energije za pogon. Koliko krogov bo vozilo prevozilo, ni odvisno le od nje, temveč tudi od mase avtomobila, učinkovitosti elektronike, načina vožnje in energetske strategije.

Zato noben del ne nastaja v izolaciji. Vsaka sprememba konstrukcije vpliva na maso in razporeditev komponent. Nova elektronska rešitev lahko zahteva drugačno ureditev prostora



Prizorišče svetovnega finala H2 Grand Prix PRO v Chemnitzu 2025. Pod zastavami držav udeleženk so se pomerile ekipe z vsega sveta.

v vozilu. Telemetrija pa razkrije, kako se avtomobil v resnici obnaša in kje je še prostor za izboljšave. Vsak član ima svoje področje, a zmaga le rešitev, ki deluje kot celota.

Ekipa ne gradi samo avtomobila. Pri projektu sodelujejo tudi fotografi, videografi in oblikovalci, ekipa pa sama skrbi za odnose z javnostmi, sponzorje in organizacijo dogodkov. Tako se študenti naučijo tudi tega, kako svoje delo predstaviti javnosti in ga podpreti s sredstvi.

Ko model sreča resničnost

Za prvi dirkalnik je imela ekipa le približno tri mesece. V tem času je morala iz začetne zamisli narediti avtomobil, ki ne bo samo vozil, ampak bo dovolj lahek, učinkovit in zanesljiv, da zdrži večurno vzdržljivostno dirko.

Razvoj se je začel z načrtovanjem in CAD-modeli, a se je hitro preselil v delavnico, kjer so nastajali prvi prototipi in dejanske komponente. Kmalu se je pokazala ena ključnih resnic praktičnega inženirstva: kar brezhibno deluje na zaslonu, se v resničnem svetu pogosto obnaša drugače. Posamezne dele so zato večkrat predelali, ponovno izdelali in znova preizkusili.

S prvim sestavljenim vozilom pa delo še zdaleč ni bilo končano, pravzaprav se je šele dobro začelo. Na testiranjih je ekipa opazovala obnašanje avtomobila, analizirala podatke in iskala šibke točke. Na podlagi ugotovitev so spreminjali komponente, prilagajali nastavitve in izpopolnjevali strategijo vožnje.

Pri HYDROMANU testiranje zato ni zadnje preverjanje končnega izdelka. Je del razvoja: vsak preizkus odgovori na eno vprašanje in odpre naslednje.

Ko tik pred odhodom odpove srce vozila

Največji preizkus prve sezone se ni zgodil na dirkalni stezi.

Le nekaj ur pred odhodom na svetovno prvenstvo je odpovedala gorivna celica, srce vozila in njegov edini vir energije. Po treh mesecih trdega dela je ekipi nenadoma grozilo, da na tekmovanje sploh ne bo odpotovala.

Odpovedi niso niti razmišljali. Na poti proti Nemčiji so zavili na Češko, kjer jim je uspelo dobiti nadomestno gorivno celico. A ta ni bila enaka tisti, okoli katere je bil zasnovan avtomobil. Zamenjava zato ni pomenila preprostega priklopa: treba je bilo prilagoditi vozilo in elektroniko, del krmilne programske opreme pa napisati na novo.

Za običajen cikel izdelave in testiranja ni bilo časa. Del predelav so opravili kar med potjo, zadnje težave pa reševali na prizorišču tekmovanja.

Prav to je bila ena najbolj neposrednih lekcij celotnega projekta. V resničnem inženirstvu idealna rešitev pogosto ni na voljo. Treba je hladne glave oceniti razmere, določiti prioritete in v omejenem času najti rešitev, ki bo delovala dovolj zanesljivo. Avtomobil je stal na štartu.

Svetovni oder: šesto mesto in dve posebni nagradi

Hydrogen Grand Prix je vzdržljivostna dirka za vozila na vodik, na kateri ne zmaga nujno najhitrejši. Ekipe morajo v omejenem času in z omejeno količino energije prevoziti čim več krogov.

Zato je vsaka odločitev kompromis. Preveč agresivna vožnja prehitro izčrpa energijo, preveč previdna pa stane dragocene kroge. Odločajo zanesljivost vozila, učinkovitost pogona in pametne odločitve med samo dirko. Ekipa ves čas spremlja telemetrijo in porabo energije ter sproti prilagaja strategijo glede na stanje vozila.

Na svojem prvem svetovnem prvenstvu leta 2025 je HYDROMAN v kategoriji endurance osvojil 6. mesto med univerzitetnimi ekipami. Domov pa je prinesel še dve posebni priznanji: nagrado za najboljši dizajn vozila in nagrado za najboljši ekipni duh.

Prva je priznanje tehničnemu razvoju avtomobila, druga pa načinu, kako je ekipa delovala od prvega dne do ciljne črte. Uvrstitev namreč pove, kako dobro je deloval avtomobil, ne pove pa vsega, kar je ostalo v ozadju: neštetih ur usklajevanja, prilagajanja in reševanja težav, brez katerih avtomobil sploh ne bi prišel na štart.

Iz Nemčije do zmage v Bakuju

Svetovno prvenstvo ni ostalo edini mednarodni preizkus ekipe. Kmalu je prišlo povabilo na Expo v Bakuju, kjer je HYDROMAN svoje vozilo in rešitve znova postavil ob bok mednarodni konkurenci.
Tokrat se je vrnil domov kot zmagovalec.

Prvo mesto v Bakuju je imelo za ekipo poseben pomen. Potrdilo je, da uspeh na svetovnem prvenstvu ni bil enkraten, ampak da zna ekipa izkušnje, pridobljene na stezi, spremeniti v nov rezultat.

Zmaga pa ni bila končna točka. Prav nasprotno: vse, kar se je ekipa naučila v prvi sezoni, je postalo izhodišče za obsežno prenovo avtomobila pred sezono 2026.



Domov z dvema posebnima priznanjema: za najboljši dizajn vozila (Design) in najboljši ekipni duh (Team Spirit) na svetovnem finalu H2 Grand Prix PRO, Chemnitz, avgust 2025.

Druga sezona: pametnejši, modularnejši, močnejši

Druga sezona se ni začela s praznim listom. Ekipa je imela vozilo, ki je že prestalo tekmovalne obremenitve, predvsem pa podatke in izkušnje, ki so jasno pokazali, kje se skriva največ rezerve.

Cilja za leto 2026 sta bila jasna: imeti boljši pregled nad dogajanjem v vozilu in čim bolj skrajšati čas posegov med dirko.



Slovenska zastava v Bakuju: ekipa HYDROMAN s trofejo mednarodnega festivala SAF 2025 (International STEAM Azerbaijan Festival).

Prvi korak je bila nadgrajena telemetrija. Ekipa je z njo lahko natančneje spremljala delovanje avtomobila in njegovega energetskega sistema ter hitreje prepoznala, kje kaj ne deluje, kot bi moralo.

Drugi korak je bila modularna konstrukcija. Komponente so zasnovali tako, da jih je mogoče med dirko hitro odstraniti in zamenjati. Na večurni vzdržljivostni dirki se namreč nekaj skoraj vedno pokvari, zato šteje predvsem to, kako hitro je avtomobil spet na stezi. Isti cilj je imel tudi novi power pack, sistem za hitro menjavo goriva, ki je postopek poenostavil in skrajšal postanke v boksih.

Najbolj zgovoren pa je bil napredek pri gorivni celici. Njena deklarirana moč je 30 W, ekipa pa je dosegla stabilno delovanje pri približno 42 W, kar je skoraj 40 % nad oglaševano vrednostjo. Za tem ni stala ena sama sprememba, ampak optimizacija celotnega sistema in vse boljše razumevanje njegovega delovanja.

Na papirju je bilo vse pripravljeno. Dirka pa je prinesla novo lekcijo.

Ko načrtovana šibka točka postane prava šibkost

Pri razvoju vozila za sezono 2026 se je ekipa veliko ukvarjala z izbiro materialov in tehnologij izdelave. Eden od konstrukcijskih modulov je bil namenoma zasnovan kot šibki člen. Natisnjen je bil s 3D-tiskalnikom, ob močnejšem trku pa naj bi popustil pred dražjimi in zahtevnejšimi deli avtomobila.



Prva sezona, dve priznanji: dizajn in ekipni duh (Chemnitz, 2025).

Logika je bila preprosta: bolje hitro zamenjati lahek in poceni modul kot poškodovati ključni del konstrukcije. Po enem trku je rešitev delovala natanko tako, kot je bilo načrtovano.

Težava se je pokazala, ko se je zgodilo več močnejših trkov zapored. Ekipa je imela za hitro menjavo pripravljena dva modula, a ko sta bila poškodovana oba, ni bilo več česa zamenjati. Namesto hitre menjave so morali med dirko popravljati že poškodovane dele.

V tistem trenutku je modularna zasnova izgubila svojo največjo prednost. Avtomobil je predolgo stal v boksih, to pa se je neposredno poznalo pri številu prevoženih krogov in na koncu tudi pri uvrstitvi. HYDROMAN je sezono 2026 sklenil na 11. mestu v skupni razvrstitvi.
Prav razkorak med tem, kako naj bi se komponenta obnašala in kako se je v resnici, je ena najdragocenejših informacij, ki jih je ekipa prinesla domov. Računalniški model in testi lahko predvidijo marsikaj. Šele dirka pa pokaže, kaj se zgodi, ko je avtomobil več ur zapored izpostavljen trkom, hitrim popravilom in nepredvidljivim obremenitvam.

Več kot dirkalnik: pot se šele začenja

Uvrstitev je najbolj vidna številka ob koncu vsake dirke. Vendar med 6. mestom v prvi sezoni, zmago v Bakuju in 11. mestom leta 2026 ni mogoče potegniti preproste črte, ki bi povedala, kateri avtomobil je bil boljši.

Razvoj ni ravna črta. V drugi sezoni je bil HYDROMAN tehnično precej zrelejši: imel je boljšo telemetrijo, modularno zasnovo, sistem za hitro menjavo goriva in gorivno celico, ki je stabilno dajala bistveno več od deklarirane moči. Hkrati je razkril novo omejitev konstrukcije. Tako se razvija vsak resničen inženirski projekt: vsaka rešena težava odpre pogled na naslednjo.

Zato po sezoni ne ostane le dirkalnik. Ostanejo CAD-modeli, komponente, elektronika, programska oprema, meritve in podatki s telemetrije, ure v delavnici in kilometri na stezi. Predvsem pa ostaneta vedno globlje razumevanje sistema in znanje, ki ga starejši člani predajajo mlajšim.

In ta predaja se že dogaja. V ekipo prihajajo novi člani z novimi idejami in novo energijo, podpora fakultete, partnerjev in sponzorjev je vse močnejša, na mizi pa že nastajajo skice vozila za naslednjo sezono. Lekcije iz leta 2026 niso zapisane kot neuspeh, temveč kot seznam nalog.

HYDROMAN ni projekt ene uvrstitve. Je proces, v katerem študenti rešitev zasnujejo, izdelajo, preizkusijo in postavijo na štart, nato pa nanjo pogledajo dovolj kritično, da jo naslednje leto naredijo drugače in bolje. Cilj ni zadnja postaja, temveč pot, ki jo ekipa nosi s seboj.

Naslednja sezona že kliče. Ekipa ima več znanja, več ljudi in več zagona kot kadarkoli prej. Let's chase further!

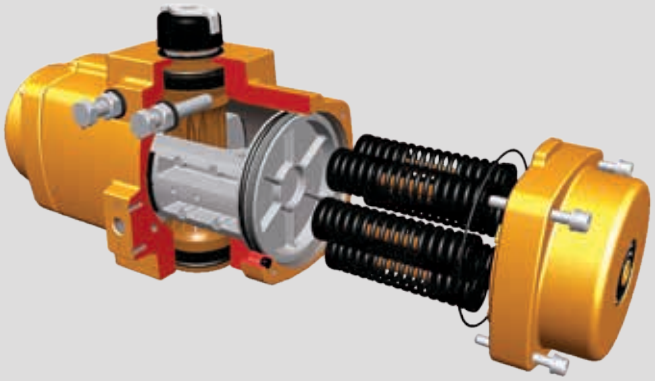




EMERSON™
Process Management



EL Matic™









Field







BETTIS™









BIFFI

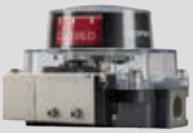








FISHER®





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

Prof. dr. Mitjan Kalin postal predsednik svetovne triboloških organizacije International Tribology Council

Prof. dr. Mitjan Kalin je bil na *8. svetovnem kongresu tribologov*, ki je septembra 2026 potekal v Riu de Janeiru v Braziliji, izvoljen za predsednika svetovne triboloških organizacije International Tribology Council (ITC) za štiriletni mandat.



Prof. dr. Mitjan Kalin

Vodenje ITC je prevzel kot tretji predsednik v modernem obdobju organizacije za prof. A. Erdemirjem (Texas A&M, ZDA) in prof. N. Spencerjem (ETH Zürich, Švica). Pred njima je organizaciji od ustanovitve ITC leta 1973 do leta 2016 predsedoval njen ustanovitelj in utemeljitelj tribologije kot samostojnega znanstvenega področja dr. Peter Jost (VB).

ITC je od leta 1996 dopisni član Unesca in povezuje reprezentativne triboloških organizacije iz skoraj 60 držav.

V svojem štiriletnem mandatu si je prof. Kalin poleg organizacije 9. svetovnega kongresa, ki bo leta 2030 potekal v Münchnu v Nemčiji, zadal še tesneje povezati organizacije držav članic, podpreti aktivnosti predvsem manjših članic ter povečati aktivno vlogo vseh organizacij pri promociji tribologije in poudarjanju pomena tega področja za trajnostni inženirski razvoj. Prav tako želi okrepiti medsebojno sodelovanje pri razvoju znanstvenih in tehnoloških dosežkov na širšem področju tribologije, kontaktnega inženirstva in znanosti o površinah.

Predsedovanje svetovni organizaciji na posameznem strokovnem področju predstavlja priznanje celotni inženirski stroki v Sloveniji, še posebej pa potrjuje vodilno vlogo na področju tribologije.

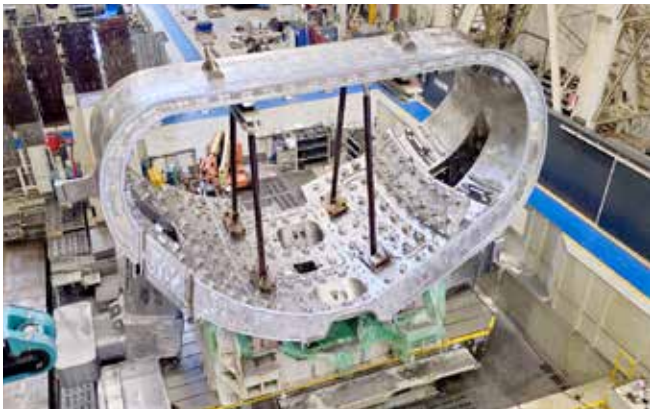
www.ijs.si

© Avtorji 2026. CC-BY 4.0



Dostavljen zadnji v Evropi izdelan sektor vakuumske posode za ITER

Na lokacijo projekta ITER na območju Cadarache v Franciji je prispel peti in zadnji v Evropi izdelan sektor vakuumske posode za največji mednarodni fuzijski projekt. S tem se zaključuje 16-letni proizvodni proces ene najzahtevnejših komponent naprave ITER.



Skoraj dokončan sektor vakuumske posode ITER v Westinghousovem obratu v Tržiču (Monfalcone) v Italiji, september 2026. Foto: F4E

Sektor je nastal v sodelovanju evropske organizacije Fusion for Energy (F4E) ter industrijskih partnerjev Ansaldo Nucleare, Westinghouse Electric Company in Walter Tosto. Pri izdelavi je neposredno sodelovalo več kot 150 strokovnjakov in najmanj 15 podjetij iz vse Evrope. Zadnji sektor so odpremili iz Westinghousovega obrata v Tržiču (Monfalcone) v Italiji.

ITER je eden največjih in najzahtevnejših mednarodnih znanstveno-tehnoloških projektov. Njegove korenine segajo v leto 1985, mednarodni sporazum o projektu pa je bil podpisan leta 2006. V njem sodelujejo Evropska unija, ZDA, Kitajska, Indija, Japonska, Republika Koreja in Rusija. Ker naprava nastaja v Evropi, EU zagotavlja približno 45,6 odstotka stroškov njene izgradnje. Pomemben del prispevkov je zagotovljen v naravi, v obliki visokotehnoloških komponent, sistemov in objektov, ki jih razvijajo in izdelujejo industrijski partnerji sodelujočih držav.

Vakuumska posoda predstavlja osrednji del naprave ITER, saj bo v njej potekala fuzijska reakcija. Gre za masivno dvostensko konstrukcijo iz nerjavnega jekla, ki zagotavlja vakuumsko okolje za plazmo. Posodo bodo obdajali močni superprevodni magneti, ki bodo plazmo zadrževali tako, da se ne bo dotikala njenih sten.

Celotna vakuumska posoda je sestavljena iz devetih sektorjev – pet jih je izdelala Evropa, štiri pa Republika Koreja. Po združitvi bo merila 19,4 metra v premeru in 11,4 metra v višino ter tehtala približno 5200 ton. Vsak sektor sestavljajo štirje segmenti, ki jih je bilo treba sestaviti, natančno pozicionirati in zvariti v celoto. Izdelava petih evropskih sektorjev je zahtevala več kot dva milijona delovnih ur, skupna dolžina varov pa znaša kar 750 kilometrov.

Pri izdelavi zadnjega sektorja so ekipe lahko uporabile znanje in izkušnje, pridobljene pri predhodnih štirih. Izpopolnjevale so zahtevne postopke sestavljanja, varjenja in strojne obdelave, F4E pa je proizvodni proces nadgradil tudi z uporabo umetne inteligence za navzkrižno preverjanje podatkov tehničnih ekip. Vsi sektorji so prestali podrobne preglede za zagotovitev skladnosti s strogimi zahtevami francoskega organa za jedrsko varnost.

Projekt ima zato tudi pomembno industrijsko ozadje. ITER ni le znanstveni eksperiment, temveč evropski industriji omogoča razvoj proizvodnih postopkov, specializiranega znanja in kompetenc za izdelavo izjemno kompleksnih komponent. Izkušnje, pridobljene pri vakuumski posodi, bodo uporabne tudi pri prihodnjih fuzijskih projektih, vključno z razvojem demonstracijskih fuzijskih reaktorjev (DEMO).

aris.apollonatos@f4e.europa.eu

© Avtorji 2026. CC-BY 4.0

Strojniški vestnik
Journal of Mechanical Engineering
https://www.sv-jme.eu

SMARTFACT: prihajajoče tehnologije za pametne tovarne prihodnosti

Program je bil izbran na javnem razpisu JR RR PROGRAMI (TRL 3–6), ki ga izvaja Javna agencija za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije (ARIS). Fakulteta za strojništvo Univerze v Ljubljani sodeluje v raziskovalno-razvojnem programu SMARTFACT (Emerging Technologies for Smart Factories), ki bo od 1. julija 2026 do 30. junija 2029 povezoval raziskovalne organizacije in industrijska podjetja pri razvoju učinkovitejše, prilagodljivejše in trajnostne proizvodnje.



SMARTFACT bo razvijal in povezoval napredne proizvodne tehnologije, robotizacijo, umetno inteligenco ter podatkovno podprto optimizacijo procesov za pametne tovarne prihodnosti.

FS UL v konzorciju 17 partnerjev

SMARTFACT združuje 17 raziskovalnih in industrijskih partnerjev: Institut »Jožef Stefan«, Univerzo v Ljubljani – Fakulteto za elektrotehniko, Fakulteto za računalništvo in informatiko ter Fakulteto za strojništvo, Univerzo v Mariboru – Fakulteto za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Rudolfovo – Znanstveno in tehnološko središče Novo mesto, TECOS, Yaskawa Slovenija, Metronik, Gorenje, SICK, INEA, Adria Mobil, RETTRO, Fotono, Elvez in Keko opremo.

Raziskovalne skupine, sistemski integratorji in končni uporabniki bodo skupaj razvijali rešitve ter jih preverjali v laboratorijskih in realnih industrijskih okoljih.

Od umetne inteligence in robotike do laserskih in plazemskih tehnologij

Program temelji na štirih vsebinskih stebrih: vodenju proizvodnih procesov z umetno inteligenco, robotiki prihodnosti, laserskem procesiranju za elektroniko ter plazemskih tehnologijah. Aktivnosti bodo segale od industrijskih raziskav na ravneh TRL 3–4 do razvoja prototipov in demonstracij na ravneh TRL 5–6.

Med načrtovanimi rezultati so samoučljivi sistemi za spremljanje proizvodnih procesov, energetsko učinkovito planiranje, avtomatizirana kontrola kakovosti z računalniškim vidom, prilagodljivi robotski sistemi, laserska mikro- in nanoobdelava z avtomatsko optimizacijo ter termokromni senzorji za spremljanje temperaturne zgodovine živil. Rešitve bodo prispevale k večji produktivnosti, kakovosti, energetski učinkovitosti in mednarodni konkurenčnosti slovenske industrije.

Znanje štirih laboratorijev FS UL

Fakulteta za strojništvo UL bo v SMARTFACT vključena s štirimi laboratoriji, ki povezujejo znanja s področij pametne proizvodnje, robotike, laserskih virov ter senzorskih in obdelovalnih sistemov.

Laboratorij za strego, montažo in pnevmatiko (LASIM) bo razvijal podatkovno podprto in prilagodljivo krmiljenje proizvodnih procesov in sistemov, digitalne dvojčke ter algoritme umetne inteligence za optimizacijo brizganja polimerov.

Laboratorij za fotoniko in laserske sisteme (FOLAS) bo razvijal namenske vlakenske laserske vire, visokonatančno vodenje laserskega žarka ter postopke laserskega mikro- in nanoobdelovanja za elektroniko.

Laboratorij za lasersko tehniko (LASTEH) bo razvijal napredne senzorske sisteme za hitro konfiguracijo industrijskih robotov ter pametne robotske laserske sisteme, ki združujejo 3D, akustično in multispektralno zaznavanje, sprotni nadzor procesa ter prilagodljivo robotsko vodenje.

Laboratorij za mehatroniko, proizvodne sisteme in avtomatizacijo (LAMPA) bo prispeval znanje s področij umetne inteligence, sodelovanja človeka in robota, večrobotskih sistemov ter robotske manipulacije gibkih predmetov.

SMARTFACT tako povezuje umetno inteligenco, robotiko, strojni vid ter laserske in plazemske tehnologije ter bo prispeval k večji produktivnosti, kakovosti, energetski učinkovitosti in mednarodni konkurenčnosti slovenske industrije.

Skupna vrednost programa SMARTFACT znaša 14.691.133,22 EUR, od tega znaša prispevek Evropskega sklada za regionalni razvoj 8.832.720,83 EUR. Program se sofinancira iz sredstev Evropskega sklada za regionalni razvoj v okviru Programa evropske kohezijske politike v obdobju 2021–2027.

Več informacij o evropski kohezijski politiki je na voljo na spletnem portalu evropskasredstva.si.

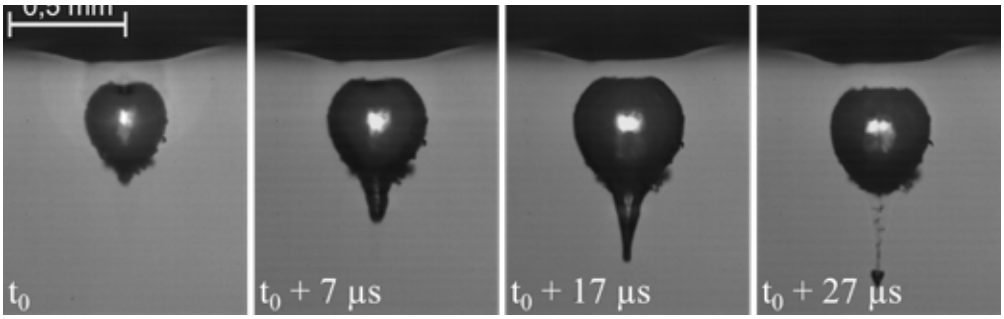
www.fs.uni-ij.si

© Avtorji 2026. CC-BY 4.0



Kavitacija odpira nove možnosti za nadzor nastanka emulzij

Raziskovalci Fakultete za strojništvo Univerze v Ljubljani so pokazali, da je mogoče z lastnostmi površinsko aktivnih snovi vplivati na obnašanje kavitacijskih mehurčkov in s tem na nastanek emulzij. Rezultati razkrivajo doslej neopažen obrat smeri curka kavitacijskega mehurčka ter odpirajo nove možnosti za natančnejši nadzor procesov emulzifikacije.



Sekvenca kolapsa kavitacijskega mehurčka stran od fazne meje olje-voda.

Emulzije, kot sta olje v vodi ali voda v olju, so pomembne v prehranski, kozmetični, farmacevtski in drugih industrijah. Pri njihovem nastanku je treba dve običajno nemešljivi tekočini razbiti na drobne kapljice, kar zahteva veliko energije. Zato raziskovalci iščejo učinkovitejše načine priprave emulzij.

Ena od možnosti je uporaba kavitacije – pojava, pri katerem zaradi hitrega padca tlaka v tekočini nastanejo mehurčki, ki se nato silovito sesedejo. Pri tem se sprosti veliko energije, ki lahko razbije mejo med oljem in vodo ter omogoči nastanek drobnih kapljic. Ob sesedanju mehurčka v bližini meje med tekočinama nastane tudi zelo hiter mikrocurek, njegova smer pa vpliva na nastanek emulzije.

Raziskovalci Fakultete za strojništvo Univerze v Ljubljani so proučili vpliv hidrofilno-lipofilnega ravnotežja (HLB) na obnašanje kavitacijskih mehurčkov. Vrednost HLB so spreminjali z uporabo površinsko aktivnih snovi Tween 80 in Span 80 ter z visokohitrostno vizualizacijo opazovali kolaps mehurčkov ob meji med oljem in vodo.

Pri višjih vrednostih HLB (12,9 in več) so se mehurčki sesedli stran od meje. Pri vmesnih vrednostih (6,4–10,7) so se lahko sesedli proti meji, stran od nje ali skoraj na mestu. Pri najnižji vrednosti HLB 4,3 pa se je smer curka obrnila in je bil usmerjen proti meji med oljem in vodo.

Takšno obnašanje vpliva tudi na nastanek emulzij. Ko se mehurček sesede stran od meje, se olje raztrga in v vodi nastanejo oljne kapljice. Ko je curek usmerjen proti meji, lahko v olje prodre voda, kar vodi do drugačnega načina nastanka emulzije. Rezultati kažejo, da lahko lastnosti medfazne površine vplivajo na dinamiko kavitacije in posledično na način nastanka emulzije.

»*Rezultati kažejo, da smeri kavitacijskega curka ne določajo le klasični hidrodinamski parametri, temveč imajo pomembno vlogo tudi lastnosti meje med tekočinama,*« je povedal Žan Boček, vodilni avtor raziskave.



Fotografija eksperimentalne postaje za vizualizacijo kolapsa posameznega kavitacijskega mehurčka ob fazni meji dveh kapljevin.

V prihodnje bo treba podrobneje raziskati vlogo dinamičnih lastnosti medfazne površine in obnašanje mehurčkov pri njihovem nastanku v oljni fazi.

Članek je dostopen na povezavi: Effect of hydrophilic-lipophilic balance on cavitation-driven emulsification near a liquid-liquid interface.

www.fs.uni-ij.si

© Avtorji 2026. CC-BY 4.0

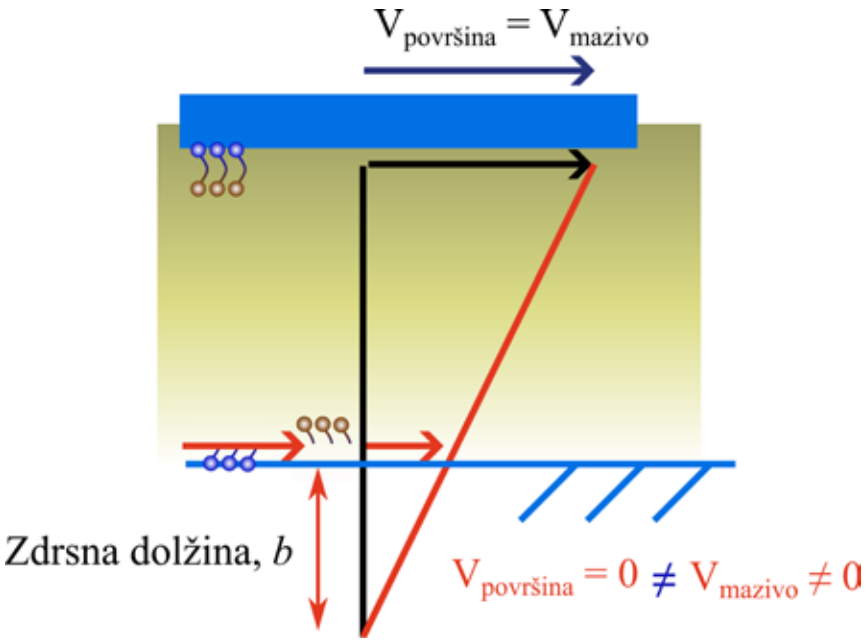
Drsenje maziva v pravem območju lahko zmanjša trenje do 48 % brez tanjšanja zaščitnega mazalnega filma

Raziskovalci TINT na UL FS so pokazali obetaven pristop k zmanjšanju elastohidrodinamičnega (EHD) trenja ob ohranjanju mazalnega filma, ki ščiti kontaktne površine

Rayan Ajeeb, Marko Polajnar in Mitjan Kalin iz Laboratorija za tribologijo in nanotehnologijo površin (TINT) na Fakulteti za strojništvo Univerze v Ljubljani so pokazali, da lahko mejni zdrs maziva, kadar se pojavi v ustreznem območju kontakta, znatno zmanjša EHD-trenje, ne da bi se pri tem zmanjšala debelina mazalnega filma med gibajočimi se površinami. Njihove ugotovitve so pomemben korak k razvoju učinkovitejših in zanesljivejših mehanskih sistemov, ki delujejo v režimu EHD--mazanja.

Pri številnih strojih in napravah, ki delujejo v EHD-režimu mazanja – od industrijskih proizvodnih sistemov do avtomobilskih motorjev in vetrnih elektrarn – gibajoče se površine ločuje le izjemno tanek sloj maziva, ki meri le nekaj sto nanometrov. Ta mazalni film preprečuje neposreden stik površin, zmanjšuje obrabo in podaljšuje življenjsko dobo komponent. Hkrati nižje trenje pomeni manjše energijske izgube in učinkovitejše delovanje naprav.

Raziskovalci so proučevali pojav, pri katerem lahko mazivo v določenih pogojih delno drsi vzdolž površine. Čeprav lahko takšen mejni zdrs zmanjša trenje, lahko hkrati zmanjša tudi debelino mazalnega filma. Z naprednim numeričnim modelom na osnovi Navier-Stokesove teorije, ki povezuje tok maziva in elastično deformacijo površin, so določili, kje v kontaktu se zdrs začne in kako ta položaj vpliva na trenje ter debelino filma.



Shematski prikaz zdrsa maziva ob površini

Raziskava je pokazala, da za uspešno zmanjševanje EHD trenja ni najpomembnejše vprašanje, ali se mejni zdrs pojavi, temveč kje v kontaktu se prične. Če je zdrs omejen na nosilno območje kontakta, se dovod maziva v montakt ohrani in zaščitni film ostane praktično nespremenjen. V analiziranih pogojih se je trenje zmanjšalo do 48 % brez zmanjšanja debeline mazalnega filma.

»*Naši rezultati kažejo, da ni najpomembnejše vprašanje, ali mejni zdrs maziva nastopi, temveč kje v kontaktu se to zgodi. Če se zdrs pojavi v ustreznem območju kontakta, lahko zmanjšamo trenje in hkrati ohranimo mazalni film, ki površini ločuje in ščiti,*« poudarja prvi avtor raziskave Rayan Ajeeb.

Ugotovitve bi lahko prispevale k razvoju naprednih maziv in površinskih prevlek za učinkovitejše delovanje strojev, manjšo porabo energije in daljšo življenjsko dobo komponent. V nadaljnjih raziskavah se bodo raziskovalci osredotočili na vpliv temperature ter praktične kombinacije maziv in materialov, ki bi lahko omogočile predvidljiv mejni zdrs v realnih obratovalnih pogojih.

www.fs.uni-ij.si

© Avtorji 2026. CC-BY 4.0

FLUIDNA TEHNIKA • NAPREDNO INŽENIRSTVO IN TEHNOLOGIJE
VENTIL
strojnistvo.com
križišče strojnikov

NEO-TWIN: Digitalni dvojčki za varnejšo in zanesljivejšo e-mobilnost

Domel sodeluje v raziskovalno-razvojnem programu NEO-TWIN. Glavna cilja tega programa sta razvoj in demonstracija inovativnega tehnološkega portfelja NEO-TWIN SUITE, ki združuje naslednjo generacijo metod, orodij in produktov za inovativno diagnostiko in prognostiko ter modelsko osnovano krmiljenje ključnih pogonskih sistemov električnih in elektrificiranih vozil na osnovi digitalnih dvojčkov.



NEO-TWIN – Digitalni dvojčki elektrificiranih pogonskih sistemov

Rešitve bodo razvite in preverjene na:

- baterijah,
- električnih strojih,
- razsmernikih in
- gorivnih celicah.

Z naprednim spremljanjem njihovega delovanja in predvidevanjem stanja bodo prispevale k večji varnosti, zanesljivosti, trajnosti in učinkovitejšemu delovanju elektrificiranih vozil.

Od digitalnega dvojčka do demonstracije v realnem okolju

NEO-TWIN SUITE bo povezoval rešitve, vgrajene neposredno v vozilo oziroma napravo, z naprednimi zmogljivostmi v oblaku. Interoperabilna platforma digitalnih dvojčkov bo omogočala povezovanje podatkov, napredne diagnostike in prognostike ter modelsko osnovanega krmiljenja, pri čemer bosta pomembna tudi učinkovito upravljanje podatkov in kibernetska varnost.

V razvojnih fazah programa bodo izdelani demonstratorji TRL 4 za baterije, električne stroje, razsmernike in gorivne celice.

Končni rezultat programa bo demonstracija TRL 6 NEO-TWIN SUITE v realnem okolju na primeru plovila in delovnega stroja. Razvite rešitve bodo zasnovane tako, da jih bo mogoče prilagajati različnim vrstam elektrificiranih vozil ter prenašati tudi na druga področja uporabe.

Domel del slovenskega razvojnega partnerstva

Za Domel sodelovanje v programu pomeni nadaljnjo krepitev razvojnih kompetenc na področju električnih strojev in elektrificiranih pogonskih sistemov ter povezovanje industrijskega znanja z vodilnimi slovenskimi raziskovalnimi institucijami in tehnološkimi podjetji.

Program koordinira Fakulteta za strojništvo Univerze v Ljubljani, poleg Domela sodelujejo še Emsiso d. o. o., Fakulteta za elektrotehniko Univerze v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehni-

ko, računalništvo in informatiko Univerze v Mariboru, Hidria d. o. o., Institut Jožef Stefan, Kemijski inštitut, Piktronik d. o. o., Smartis, informacijski sistemi d. o. o. in Zavod za gradbeništvo Slovenije, pripravo predloga programa pa je aktivno podprla tudi pisarna SRIP ACS+.

Program NEO-TWIN je bil izbran za financiranje v okviru javnega razpisa Spodbujanje izvajanja raziskovalno-razvojnih programov (TRL 3–6) v obdobju od 1. julija 2026 do 30. junija 2029. Celotna vrednost programa znaša 7,43 mio EUR, od tega je ARIS odobril sofinanciranje v višini 4,99 mio EUR.

Ta program sofinancira Evropska unija.

Vir:

Domel, d. o. o., Otoki 21, 4228 Železniki, mobi: +386 41 714 709, e-naslov: karmen.nastran@domel.com, splet: http://www.domel.com/

© Avtorji 2026. CC-BY 4.0

REPUBLIKA SLOVENIJA
MINISTRSTVO ZA IZOBRAŽEVANJE, ZNANOST IN MLADINO

I FEEL SLOVENIA

Sofinancira Evropska unija

MT

www.metalindustry.info

B2B PORTAL



DIGITEH
DIGITALIZACIJA PROIZVODNIH PROCESOV

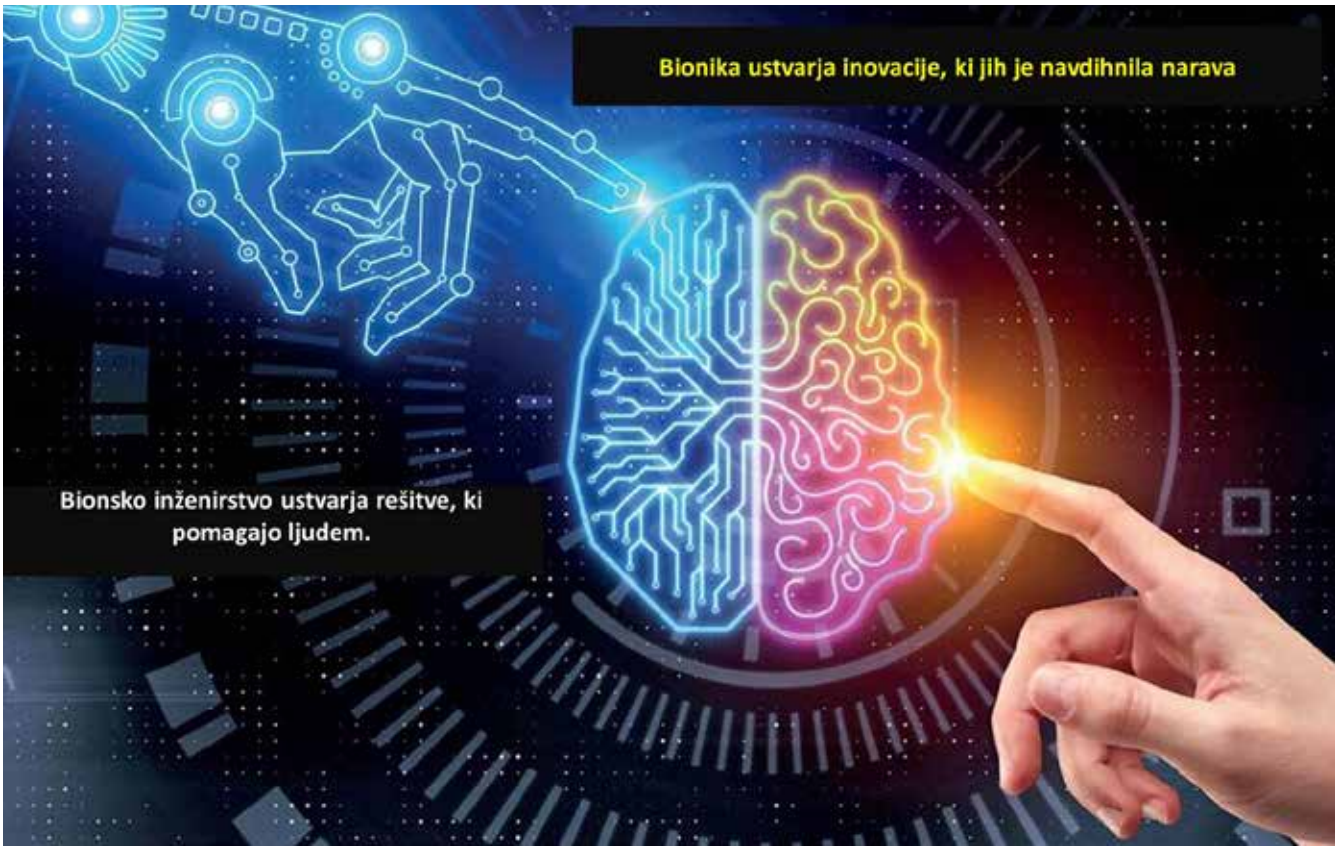
ZANESLJIV PARTNER NA VAŠI POTI V DIGITALIZIRANO PRIHODNOST

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

Bionika ustvarja inovacije, ki jih je navdihnila narava

Janez Škrlec

Bionika kot veda preučuje naravne procese, oblike in mehanizme ter jih prenaša v tehnološke, inženirske in arhitekturne rešitve. Z uporabo trajnostnih vzorcev iz narave človeštvo ustvarja učinkovitejše, varčnejše in okolju prijaznejše inovacije. Bionika se razvija kot interdisciplinarna veda, ki združuje tehnološke rešitve po vzoru narave in živih bitji.



Slika je generirana z UI in ponazarja interakcijo čutil in bionične roke z možgani.

Razvoj bionike je bliskovit, saj se rešitve medsebojno dopolnjujejo, nadgrajujejo in izpolnjujejo. Cilj bionike ni samo posnemanje narave in naravnih sistemov, temveč tudi integracija življenja in tehnoloških rešitev, sobivanje in skupni razvoj naravne in umetne inteligence. Inženirji bionike morajo imeti izreden čut do napredka s poglobljenim poznavanjem biologije in tehnologije.

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

© Avtorji 2026. CC-BY 4.0

Bionika je polna izzivov na poti inovacij in izobraževanja na tem področju

Bionika postaja v inženirskem izobraževanju velik in pomemben izziv. Izobraževanje bionike omogoča razvoj biološko-tehnoloških kompetenc, medsebojno povezanost kibernetsko-fizičnih sistemov. Bionske didaktične platforme (TP) v svetu študentom ponujajo priložnosti za razvoj veščin v praktičnem in interdisciplinarnem kontekstu. Platforme omogočajo simulacije, eksperimentiranja, spodbujajo sistemsko razmišljanje in poglabljajo razumevanje kompleksnih biološko-tehnoloških sistemov, kar je bistveno za bodoče inženirje. Integracija izobraževalnih vsebin omogoča spoznavanje pametne bionske protetike, vsadkov, implantabilnih in nosljivih naprav, razvoja

bionskega sluha, vida, umetnih organov, komunikacije preko možganskih vmesnikov (BCI), krmiljenja inteligentnih strojev in naprav. Velik izziv je razvoj eksoskeletov, humanoidnih robotov, bionskih humanoidov, digitalnih in bioničnih dvojčkov ter prilagodljivost razvijajočim se industrijskim zahtevam in zdravstvu. Ena ključnih prednosti izobraževanja bionike s pomočjo tehnoloških platform je v možnosti razvoja in validacije simulacijskih modelov, razumevanja parametrov, ključnih za inovacije, ki nastajajo s proučevanjem bioloških sistemov in ustvarjanjem tehnoloških naprav.

Kaj se zgodi, ko se srečata bionika in umetna inteligenca?

Ko se srečata bionika in umetna inteligenca se meja med človekom in strojem vse bolj zabriše, npr. takrat, ko bionični vsadki in inteligentna protetika postanejo čutni in kot del našega telesa. Te meje so se zabrisale z združevanjem bionske tehnologije in umetne in hibridne inteligence, ki se je začela prilagajati uporabnikovim možganskim signalom s signali EEG in ECoG in odzivnostim telesa. Sistemi danes že delujejo dvosmerno in nadzorovano. Razvoj bionike se sicer usmerja na različna področja, v okviru tako imenovane človeške bionike pa je danes poudarek na bioniki v medicini in zdravstvu –posebej na pametni protetiki (bionske roke, bionske noge), različnih implantabilnih vsadkih (od srčnih spodbujevalnikov, kardioverter defibrilatorjev, DBS, RNS, VNS in drugih stimulatorjev). Med bionske sisteme sodijo številne črpalke, kot je inzulinska, črpalke za ciljno doziranje zdravilnih učinkovin in drugih procesov. Vse pomembnejši postajajo možganski vmesniki (BCI) za komunikacijo med človeškimi možgani, računalniki, protetiko in stroji. Vse intenzivnejši je razvoj umetnih bioničnih organov in organoidov. Ker povpraševanje v svetu po presaditvah organov znatno presega ponudbo, bionična tehnologija predstavlja revolucionarno rešitev.

Smeri bionike je več, v povezavi s človeško bioniko sta izstopajoči dve

Bionika trenutno napreduje v dveh smereh. Ena smer je od biologije k inženirstvu, in sicer umetna reprodukcija funkcij in struktur živih organizmov. Napredek v tehnologiji mikrofabrikacije in tehnologiji tridimenzionalnega (3D) tiskanja je omogočil reprodukcijo površinskih oblik in 3D-struktur, ki posnemajo žive organizme celo na nano- in mikrometrski ravni. Mikrofiziološki sistemi (MPS) pritegnejo pozornost, saj združujejo takšne mikrostrukture z različnimi celicami za ustvarjanje funkcij in struktur organov. Z ustvarjanjem ogrodja za celično kulturo z mikroprocesiranjem je danes mogoče umetno reproducirati drobne prostore v živem telesu in fiziološko okolje za mehansko stimulacijo, na primer s pretokom krvi. Iz tega razloga je treba funkcije višjega reda in vivo, ki jih ni mogoče izvajati s konvencionalnimi metodami gojenja, izraziti in vitro, kar omogoča zelo natančno in večplastno opazovanje in vrednotenje – v napravah in vitro, ki posnemajo na primer srce, jetra, ledvice in druge organe. Izdelava popolnoma reproduciranega modela posameznega organa ali interakcije med različnimi organi s povezovanjem več organov ima neomejen potencial prav za bioniko. Takšen model bi se lahko uporabil pri odkrivanju zdravil, kot je natančno napovedovanje farmakokinetike v povezavi z določenimi organi. Lahko bi se uporabil tudi za omogočanje pridobivanja in analize personaliziranih bioloških informacij na molekularni, tkivni in organski ravni, kar so naloge, potrebne za ustvarjanje biodigitalnega dvojčka. Druga pomembna smer v bioniki je inženiring živih organizmov. Namen te smeri je uporaba teorije komunikacije in teorije nadzora na mehanizmih prenosa informacij in nadzora znotraj telesa. Danes se s pomočjo bionike razvijajo tehnologije za podporo in razširitev človeških motoričnih sposobnosti. Kar zadeva motorični nadzor v človeškem telesu, možgani zaznavajo in prepoznavajo dražljaje, ki jih prejmejo čutila. Nato se navodila za gibanje v skladu s procesnimi aktivnostmi v možganih prenesejo na motorične organe, ki izvedejo vse potrebne aktivnosti. Za razumevanje vseh teh procesov so seveda potrebne poglobljene strokovne razlage.



Izvirni znanstveni članek

Krmiljenje hidravličnega konvencionalnega ventila s pulznoširinsko modulacijo

Amar Kujraković, Jan Pustavrh, Rok Jelovčan, Franc Majdič

Izvleček:
Zaradi naraščajočih potreb po zmanjšanju stroškov v hidravliki se za proporcionalno krmiljenje aktuatorjev raziskujejo cenovno ugodnejše metode krmiljenja. Eno izmed možnosti bi lahko predstavljali konvencionalni potni ventili. Ta prispevek obravnava možnost krmiljenja konvencionalnega 2/2-potnega sedežnega ventila s pulznoširinsko modulacijo (PWM) z namenom doseganja kvaziproporcionalnega povprečnega pretoka. Izdelani so bili matematični popis ventila, hidravlično preizkuševališče in krmilni program za izvajanje stopničastih in PWM-meritev. Eksperimentalno so bili ovrednoteni vplivi frekvence, razmerja vklopa, tlaka in temperature. Ugotovljeno je bilo, da je nadzor povprečnega pretoka mogoč v omejenem območju parametrov, pri čemer odziv omejujejo preklopni časi ventila in obratovalni pogoji.

Ključne besede:
pulznoširinska modulacija, konvencionalni potni ventili, elektromagnetno krmiljenje, časovni odziv, razmerje vklopa

1 Uvod

Proporcionalni in servoventili omogočajo zvezno nastavljanje hidravličnega pretoka, vendar so zaradi zahtevnejše zasnove in krmilne elektronike občutno dražji od konvencionalnih vklopno-izklopnih ventilov. Pri digitalni hidravliki se zato preučujejo možnosti, pri katerih se povprečni pretok uravnava s časovnim krmiljenjem preklopnih elementov. Med pomembnejšimi načini je pulznoširinska modulacija (PWM), pri kateri se z razmerjem časa vzbujanja in celotne periode določa energija oziroma povprečni hidravlični učinek [1, 2].

Številne objavljene raziskave obravnavajo predvsem hitre preklopne ventile, njihove električne pogone in kompenzacijo zakasnitev [3–5,7]. Pri počasnejšem konvencionalnem sedežnem ventilu pa izmerjeni časovni zamiki postavljajo bistveno strožjo omejitev frekvenci: če se ventil v posamezni periodi ne utegne odpreti in zapreti, zveza med električnim razmerjem vklopa in hidravličnim pretokom ne sledi več idealiziranemu zakonu. Zato rezultatov za visoko odzivne digitalne ventile ni mogoče neposredno prenesti na običajen vložni 2/2-ventil.

Namen raziskave je bil eksperimentalno preveriti, ali je mogoče s PWM-krmiljenjem doseči kvaziproporcionalno nastavljanje povprečnega pretoka skozi konvencionalni 2/2-sedežni vložni ventil. Težišče članka predstavljajo trije sklopi meritev: vpliv tlačne razlike in temperature olja na časovni odziv ter vpliv frekvence in razmerja vklopa na povprečni pretok. Ob tem so ocenjene meje uporabnega območja krmiljenja in zanesljivost uporabljenega merilnega postopka.

Amar Kujraković, **mag. inž.**, **Jan Pustavrh**, **mag. inž.**, **Rok Jelovčan**, inž., **izr. prof. dr. Franc Majdič**, univ. dipl. inž., vsi Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo

© The Authors 2026. CC-BY 4.0

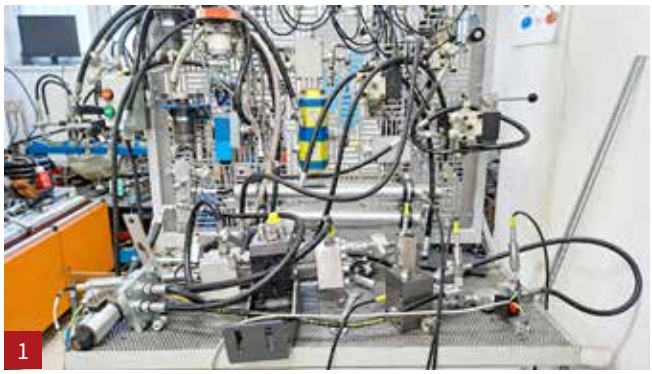
https://doi.org/10.5545/Ventil-32-2026-5.32

2 Metodologija raziskave

2.1 Obravnavani ventil in preizkuševališče

Preizkušen je bil elektromagnetno krmiljeni, normalno zaprti, pilotno vodeni 2/2-sedežni vložni ventil Winner Hydraulics EP-08W-2A-31-M-05 z nazivnim pretokom 40 L/min. Na ventil je bila nameščena elektromagnetna tuljava EC-04W-200-H-D z nazivno napetostjo 24 V DC, podano upornostjo hladne tuljave 28,6 Ω ± 7 % in nazivno močjo 20 W [8, 9]. Pilotno in glavno gibanje skupaj določata zunanje zaznani hidravlični odziv; neposredni položaj zapornega elementa ni bil merjen.

Hidravlično preizkuševališče (*slika 1*) je vključevalo nastavljanje obratovalnega tlaka, tlačni tipali pred ventilom in za njim, hitro odzivni merilnik pretoka za zaznavo preklopov, merjenje



1

Hidravlično preizkuševališče za meritve odziva ventila

temperature olja ter hidravlični valj z merjenjem pomika LVDT. Uporabljeno je bilo hidravlično olje razreda ISO VG 46. Frekvenco, razmerje vklopa, amplitudo in število PWM-ciklov je določal program TwinCAT s panelnim računalnikom Beckhoff CP6606, spojnikom EK1100 in izhodnim terminalom EL2535 [10].

Tlačna razlika je bila določena iz hkratnih meritev tlakov pred ventilom in za njim. Izmerjena napetost je služila kot dejanska električna referenca; hitro odzivni pretok je služil izključno za zaznavo časa začetka naraščanja oziroma padanja pretoka. Povprečni pretok ni bil določen iz amplitude tega hitro odzivnega merilnika, ampak iz integriranega volumetričnega učinka pomika hidravličnega valja.

2.2 Določanje časovnega odziva

Najprej je bil ventil vzbujen s stopničastim napetostnim signalom. Časovni zamik odpiranja je bil določen kot čas med električnim vklopom in zaznanim začetkom naraščanja pretoka, zamik zapiranja pa kot čas med električnim izklopom in zaznanim začetkom padanja pretoka (enačba (1 in 2)). Trenutek vklopa je bil določen s tangentno metodo na strmem naraščajočem robu napetosti. Zaradi počasnejšega upada napetosti ob izklopu je bila referenca pri zapiranju določena s prehodom skozi 50-odstotno raven. Spremembe pretoka so bile zaznane s filtriranim signalom, njegovim odvodom in pragi zaznavanja.

$$t_{\mathrm{odp,eksp}} = t_{Q,\uparrow} - t_{u,\uparrow} \tag{1}$$

$$t_{\mathrm{zap,eksp}} = t_{Q,\downarrow} - t_{u,\downarrow} \tag{2}$$

Takšna definicija pomeni operativni hidravlični časovni zamik celotnega merilnega sklopa. Ne daje neposredno začetka oziroma konca gibanja krmilnega bata. Pri preizkusu vpliva tlaka se je Δp spreminjal med 20 bar in 100 bar v korakih po 10 bar pri 40 °C; pri temperaturnem preizkusu pa se je temperatura olja spreminjala med 25 °C in 50 °C v korakih po 5 °C pri sistemskem tlaku 60 bar.

2.3 Parametri PWM in določanje povprečnega pretoka

Električni signal PWM določajo frekvenca, perioda (enačba (3)) in razmerje vklopa (enačba (4)). Njihove zveze in idealno časovno povprečenje pretoka so podani v enačbi (5). V realnosti čas odpiranja in zapiranja zavzema del periode, poleg tega sta časovna zamika različna, zato je dejanski pretočni impulz zamaknjen glede na električni impulz in običajno ni pravokotne oblike [4–6].

$$T = \frac{1}{f} \tag{3}$$

$$D = \frac{t_{\mathrm{vklop}}}{T} \tag{4}$$

$$Q_{\mathrm{pov,ideal}} = DQ_{\mathrm{odp}} \tag{5}$$

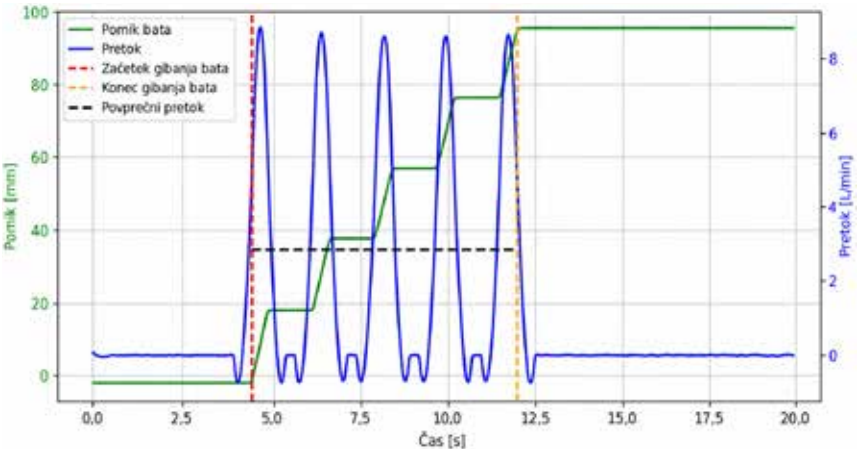
Za določanje dejanskega povprečnega pretoka je bil uporabljen pomik bata hidravličnega valja v merilnem intervalu, ki je zajemal N zaporednih period PWM. Ob znani efektivni površini bata valja in spremembi njegovega pomika v času merilnega intervala je bila uporabljena enačba (6).

$$Q_{pov,\mathrm{LVDT}} = A_{\mathrm{c,ef}} \frac{x_c(t_0+NT) - x_c(t_0)}{NT} \tag{6}$$

Merilni interval je bil izbran tako, da zajame reprezentativno zaporedje period. S tem se zmanjša občutljivost na šum, ki bi ga povzročilo numerično odvajanje pomika. Pri 60 bar je bila iz preklopnega odziva ocenjena največja frekvenca 1,87 Hz; za nadaljnji preizkus so bile na tej podlagi izbrane tri frekvence: 0,56 Hz, 1,13 Hz in 1,60 Hz. Pri vsaki frekvenci so bila sistematično spreminjana razmerja vklopa ter izmerjeni pripadajoči povprečni pretoki.

2.4 Merilni kriteriji in ločitev časovnih ter volumetričnih veličin

Na *sliki 2* je razvidno, zakaj sta bila za dva cilja raziskave uporabljena različna merilna signala. Povečanje pomika valja je stopničasto, saj je pomik kumulativni učinek več posameznih pretočnih impulzov. Hitroodzivni merilnik pretoka lahko zazna začetni porast ali upad pretoka, vendar bi izračun povprečja iz njegove časovne amplitude zahteval posebno preverjanje natančnosti pri hitro spreminjajočem se pretoku. Nasprotno LVDT podaja bolj neposredno zvezo s pretečeno prostornino, a pomik ni primerna referenca za natančen začetek preklopnega dogodka zaradi vztrajnosti valja in elastičnosti hidravličnega sklopa.



2

Primer časovnega poteka pomika bata valja in pulzirajočega pretoka pri PWM-krmiljenju

Pri zaznavanju časov so pomembni oblika električnega signala, prag pretoka in uporabljen filter. Odvajanje signala izpostavi spremembe, vendar lahko poudari tudi merilni šum. Operativna definicija zamika je bila zato pri vseh tlačnih in temperaturnih točkah enaka. Rezultati ne predstavljajo celotnega časa mehanskega pomika krmilnega bata in tudi ne vključujejo neposredne meritve položaja njegovega sedeža. Za numerično primerjavo različnih ventilov bi bilo treba poročati še o frekvenci vzorčenja, ponovitvah in vrednostih pragov; sam podatek o povprečnem zamiku za takšno primerjavo ni zadosten.

Obdelava PWM-serij je sledila enotnemu zaporedju: iz stopničastega odziva je bila določena groba frekvenčna meja, nato so se pri treh izbranih frekvencah preizkušale kombinacije razmerij vklopa, nazadnje pa se je iz skupnega pomika valja določil pripadajoči povprečni pretok. Pri tem so bile meje razmerij vklopa opredeljene glede na zaznan hidravlični odziv in ponovljivo delovanje. Zato je treba razlikovati med strogo modelno omejitvijo, ki temelji na izmerjenem časovnem zamiku, ter območjem dejansko uporabljenih nastavitev v preskusu.

3 Rezultati

3.1 Vpliv tlačne razlike na časovni odziv

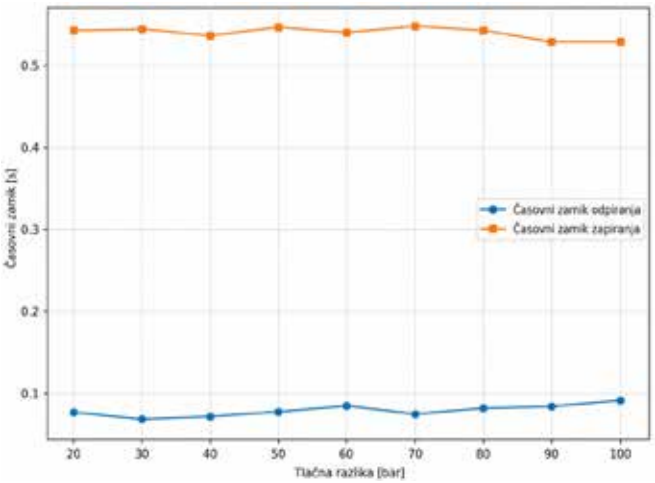
Pri temperaturi olja 40 °C je časovni zamik odpiranja med 20 bar in 100 bar ostal med 0,072 s in 0,092 s. Največja razlika med izmerjenimi vrednostmi je znašala 0,020 s, največji čas odpiranja pa je bil zaznan pri 100 bar. Vrednosti ne kažejo stroge monotone odvisnosti od tlačne razlike; prisotna so manjša lokalna nihanja. Časovni zamik zapiranja je znašal od 0,529 s do 0,548 s s celotnim razponom 0,019 s. Najnižja vrednost je bila izmerjena pri 90 bar in pri 100 bar. Odvisnost obeh časovnih zamikov od tlačne razlike prikazuje *slika 3*.

Najizrazitejša značilnost rezultatov je asimetrija: čas zapiranja je približno šest- do sedemkrat daljši od časa odpiranja. Sprememba tlačne razlike je glede na to razliko povzročila le manjše odstopanje. Z vidika PWM je zato izklopni interval glavni omejitveni dejavnik pri izbiri frekvence, ne pa razmeroma majhne spremembe odziva s tlakom.

3.2 Vpliv frekvence in razmerja vklopa na povprečni pretok

Na podlagi analitičnega preračuna časovnih mej so bila določena pričakovana območja razmerja vklopa, nato so bila pri izbranih frekvencah eksperimentalno uporabljena območja od 5 % do 72 %, od 9 % do 45 % in od 12 % do 23 %. *Preglednica 1* primerja izračunane in eksperimentalno uporabljene meje, *slika 4* pa prikazuje uporabljene meje pri posameznih frekvencah. Pri najvišji frekvenci je uporabno območje zelo ozko, meje eksperimentalno uporabljenega območja pa opazno odstopajo od preprostega časovnega preračuna.

Širina uporabljenega območja se je z naraščanjem frekvence z 0,56 Hz na 1,60 Hz zmanjšala s 67 % na 11 %. Obenem se je spodnja meja povečala s 5 % na 12 %, zgornja pa zmanjšala z 72 % na 23 %. To je neposredna posledica krajšanja periode pri



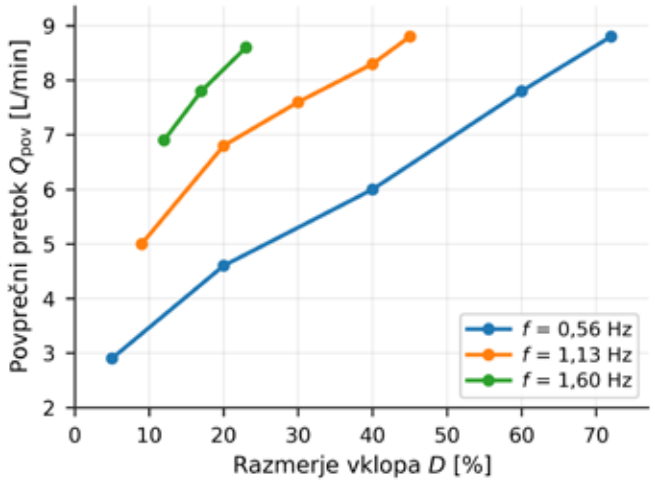
3 *Vpliv tlačne razlike od 20 bar do 100 bar na časovni zamik odpiranja in zapiranja pri 40 °C*

skoraj nespremenjenih preklopnih časih. Pri frekvenci 1,60 Hz je perioda znašala le 0,625 s, kar je primerljivo z vsoto značilnih zakasnitev odpiranja in zapiranja.

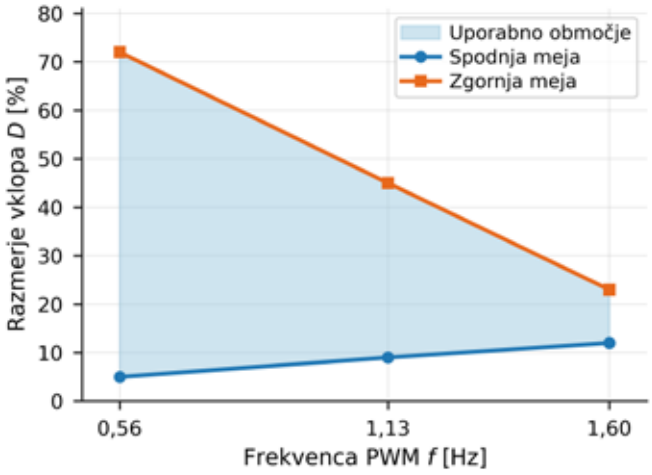
Pri vseh treh frekvencah se je povprečni pretok z večanjem razmerja vklopa povečal, kar prikazujeta *slika 5* in *preglednica 2*. Pri 0,56 Hz se je Q_{pov} povečal z 2,9 L/min pri razmerju (*D*) 5 % ter na 8,8 L/min pri razmerju (*D*) 72 %. Pri 1,13 Hz se je povečal s 5,0 L/min pri razmerju (*D*) 9 % ter na 8,8 L/min pri razmerju (*D*) 45 %. Pri 1,60 Hz se je ob razmerju (*D*) od 12 % do 23 % pretok spreminjal med 6,9 in 8,6 L/min. Z večanjem frekvence se je to-

Preglednica 1 : *Primerjava preračunanih in eksperimentalno uporabljenih območij razmerja vklopa*

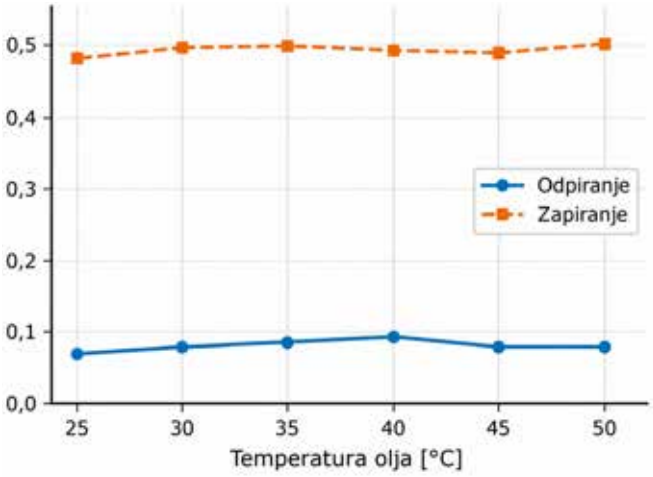
f [Hz]	Izračunano *D* [%]	Uporabljeno *D* [%]	Širina uporabl. [%]
0,56	1,97–72,29	5–72	67
1,13	3,97–44,09	9–45	36
1,60	5,62–20,83	12–23	11



4 *Eksperimentalno uporabljene meje razmerja vklopa pri treh frekvencah PWM*



5 *Povprečni pretok v odvisnosti od razmerja vklopa pri treh frekvencah PWM.*



6 *Izmerjena časovna zamika odpiranja in zapiranja pri različnih temperaturah olja in sistemskem tlaku 60 bar*

Preglednica 2 : *Eksperimentalno določeni pretoki in uporabne meje razmerja vklopa*

f [Hz]	*D* [%]	Q_{pov} [L/min]	Razpon *Q* [L/min]
0,56	5; 20; 40; 60; 72	2,9; 4,6; 6,0; 7,8; 8,8	2,9–8,8
1,13	9; 20; 30; 40; 45	5,0; 6,8; 7,6; 8,3; 8,8	5,0–8,8
1,60	12; 17; 23	6,9; 7,8; 8,6	6,9–8,6

rej zmanjševal ne le obseg razmerij vklopa, temveč tudi razpon doseženega povprečnega pretoka.

Pri primerjavi enakih razmerij vklopa med frekvencami ni mogoče uporabiti ene univerzalne linearne kalibracije. Na primer pri razmerju (*D*) 20 % je povprečni pretok pri 0,56 Hz znašal 4,6 L/min, pri 1,13 Hz pa 6,8 L/min. Dodatno je razvidno, da pri najvišji frekvenci spodnji del pretočnega območja ni bil več dosežen, čeprav se je razmerje vklopa zniževalo. Dobljena kvaziproporcionalna funkcionalnost je torej odvisna od para krmilnih parametrov (*f*, *D*), ne zgolj od razmerja vklopa.

3.3 Vpliv temperature hidravličnega olja

Pri sistemskem tlaku 60 bar in temperaturi hidravličnega olja od 25 °C do 50 °C je bil časovni zamik odpiranja med 0,069 s in 0,091 s, časovni zamik zapiranja pa med 0,482 s in 0,502 s. Najdaljši čas odpiranja je bil ugotovljen pri 40 °C, najdaljši čas zapiranja pa pri 50 °C. Čeprav so bile med posameznimi merilnimi točkami opazne razlike, ni bil ugotovljen enosmeren oziroma monotono naraščajoč ali padajoč temperaturni trend. Vrednosti so zbrane v preglednici 3, njihov potek pa prikazuje *slika 6*.

Preglednica 3 : *Izmerjeni časovni zamiki pri različnih temperaturah olja pri tlaku 60 bar*

Temperatura [°C]	Odpiranje [s]	Zapiranje [s]
25	0,069	0,482
30	0,078	0,495
35	0,084	0,497
40	0,091	0,493
45	0,078	0,490
50	0,077	0,502

Povprečni zamik odpiranja v šestih temperaturnih točkah je znašal 0,080 s, zamik zapiranja pa 0,493 s. Razpona meritev sta bila 0,022 s za odpiranje in 0,020 s za zapiranje. Spremembe niso bile niti po smeri niti po velikosti dovolj konsistentne, da bi iz teh meritev samih potrdili izrazito odvisnost funkcionalnega časovnega odziva od temperature olja.

3.4 Povzetek eksperimentalne odvisnosti med obratovalnimi pogoji in odzivom

V treh serijah meritev so bili vplivi namenoma ločeni. V tlačni seriji se je pri 40 °C spreminjala tlačna razlika, pri čemer sta časovna zamika ostala v ozkih intervalih okoli značilne vrednosti za posamezno smer preklopa. V temperaturni seriji se je pri 60 bar spreminjala temperatura olja, pri čemer se prav tako ni pokazal enosmeren trend. Nasprotno pa sta frekvenca PWM in razmerje vklopa neposredno določala razpoložljivo časovno strukturo pulzirajočega pretoka in sta izrazito vplivala na izmerjeni povprečni pretok. S tem je bila ugotovljena razlika med vplivi obratovalnih pogojev na časovni odziv in vplivi krmilnih parametrov na volumetrični učinek skozi več period.

Tudi znotraj frekvenčne serije je razvidno, da položaja merilnih točk pri različnih frekvencah ni mogoče povzeti z eno funkcijo razmerja vklopa. Pri 20-odstotnem razmerju vklopa sta bili izmerjeni vrednosti 4,6 L/min in 6,8 L/min, kar predstavlja pomembno razliko kljub enakemu deležu napajalnega cikla. Največji pretok 8,8 L/min je bil dosežen pri prvih dveh frekvencah, najvišja merjena frekvenca pa je dosegla 8,6 L/min. Zato se razlike med delovnimi točkami nanašajo tako na spodnjo mejo pretoka kot na zgornjo vrednost, ki jo je bilo mogoče doseči v uporabljenem območju.

4 Diskusija

4.1 Asimetrija preklopa in razmerje med idealnim ter dejanskim PWM-signalom

Rezultati kažejo, da pri obravnavanem ventilu prenos električnega signala PWM v hidravlični pretok odločilno oblikujeta dolga zakasnitev zapiranja in končni čas odpiranja. Idealni model, podan z enačbo (5), predpostavlja, da je povprečni pretok neposredno sorazmeren električnemu deležu vklopa, vendar pri realnem ventilu hidravlični pretočni impulz zaradi elektromagnetnih, mehanskih in pretočnih prehodnih pojavov traja drugače kot električni impulz. Magnetno polje se po izklopu napajanja zaradi induktivnosti ne izklopi v trenutku, zato pretok lahko ostaja prisoten še po izklopu električne napetosti na tuljavi ventila [4, 6].

Razlika med zmogljivostjo pri frekvenci (f) 0,56 Hz in pri frekvenci (f) 1,60 Hz je zato fizikalno pričakovana. Pri nižji frekvenci ostaja dovolj časa za večino kombinacij kratkega oziroma dolgega vzbujanja; pri visoki frekvenci razpoložljiv izklopni del periode omejuje dolg zapiralni zamik. Izračunana zgornja meja D zato ni zgolj električna nastavitev, temveč praktičen pogoj za ponovno vzpostavitev zaprtega stanja. Če je izklop prekratek, pretok med periodami ne upade na nič in spodnji del obvladljivega pretočnega območja izgine.

Ob tem ni mogoče trditi, da je bilo doseženo pravo proporcionalno krmiljenje lege krmilnega bata. Ventil med preizkusom ni vzdrževal stabilnega vmesnega položaja, ampak je z izmeničnim odpiranjem in zapiranjem ustvaril različne časovno povprečne pretoke. Rezultati dokazujejo kvaziproporcionalno nastavljanje povprečja v omejenem območju in pri značilno pulzirajočem trenutnem pretoku. Aplikacije z zahtevami po gladkem takojšnjem pretoku in hitri regulaciji zato niso samoumevno primerne.

4.2 Razlike med izračunanimi in uporabljenimi mejami

Preglednica 1 opozarja, da izračunane in eksperimentalno uporabljene meje razmerja vklopa niso enake. Primer je frekvenca (f) 1,60 Hz, kjer je preračunani spodnji rob 5,62 %, eksperimentalno uporabljeni pa 12 %. Pri tej frekvenci že majhen absolutni premik časa zaznave povzroči veliko spremembo izračunanega deleža periode. Poleg tega časovni zamik, določen na podlagi prve zaznane spremembe pretoka, ne označuje nujno popolnega mehanskega odprtja ali dokončnega zaprtja. Od idealiziranega preračuna je treba razlikovati operativno merilo za zanesljivo preklapljanje pri več zaporednih ciklih.

Drugi razlog za neskladje je eksperimentalna diskretizacija razmerja vklopa: meja je določena na osnovi preizkušenih nastavitev in merila zaznanega pretoka, zato dejanska meja lahko leži med dvema nastavitvama. Brez ponovitev pri gosto razporejenih vrednostih D in brez neposredne meritve notranjega pomika ventila ni mogoče pripisati razlik enemu samemu fizikalnemu vzroku. Pri izbiri krmiljenja je zato primerno, da se teoretični izračun uporabi kot začetna orientacija, uporabno območje pa se preveri eksperimentalno.

4.3 Vpliv tlaka in temperature

V tlačni seriji je razlika med najkrajšim in najdaljšim zamikom odpiranja 0,020 s, med zamikoma zapiranja pa 0,019 s. Tak rezultat je skladen z možnostjo, da je pilotno krmiljen ventil v preizkušenem območju delno tlačno uravnotežen oziroma da sprememba nominalne tlačne razlike ne povzroči sorazmerno velike spremembe rezultante sil na gibljivi element. Toda izmerjeni tlaki pred ventilom in za njim ne podajajo neposredno porazdelitve tlakov znotraj pilotnih komor, zato trditve o posameznih silah ostajajo interpretacija, ne pa neposredni eksperimentalni dokaz [6].

Podobna previdnost velja za temperaturo. Sprememba temperature olja lahko prek viskoznosti, gostote in pretočnega koeficienta spremeni tokovne in dušilne razmere, hkrati pa se lahko zaradi segrevanja spreminjata upornost tuljave in magnetna sila. Ker sta bila neposredno spremljana le temperatura olja in zunanja napetostna ter pretočna odziva, ne pa temperatura tuljave, tok in notranji pomik, obeh vplivnih poti ni mogoče razločiti. Meritve zato ne dokazujejo odsotnosti vsakega temperaturnega vpliva; kažejo, da v razponu med 25 °C in 50 °C pri 60 bar ni bil opažen izrazit enosmeren učinek na uporabljeno definicijo časovnega zamika.

Med serijama meritev je pomembna še razlika pri nominalno enakem pogoju 60 bar in 40 °C: v tlačni seriji je zamik zapiranja 0,54 s, v temperaturni pa 0,493 s. Ta razkorak presega spremembe med sosednjimi točkami znotraj serije. Možni vzroki so različni začetni pogoji, merilni šum, filtriranje in postopek zaznavanja robov. Primerjava ne dopušča sklepov o statistični značilnosti manjših učinkov brez ponovljenih meritev z negotovostmi. Za nadaljnje raziskave je zato ponovljivost merilnega postopka enako pomembna kot povečanje števila delovnih točk.

4.4 Merjenje povprečnega pretoka in uporabnost rešitve

Volumetrična metoda, pri kateri povprečni pretok sledi spremembi pomika LVDT-valja, je za počasen pulzirajoč signal primerna, ker upošteva skupni prečrpani volumen skozi več period. Ta rezultat je manj občutljiv na lokalni visokofrekvenčni šum kot neposreden odvod pomika. Vendar mora biti za pravilen preračun znana efektivna površina ustrezne komore, časovno okno pa mora zajeti reprezentativne periode; pojav puščanja, stisljivosti olja in trenja tesnil ostaja vir negotovosti.

Za praktično uporabo rezultati nakazujejo prednost nižje frekvence, kadar je bistveno širše območje nastavljivega povprečnega pretoka. Pri 0,56 Hz je bil razpon povprečnega pretoka (Q_{pov}) 5,9 L/min, pri 1,60 Hz pa le 1,7 L/min. Ta kompromis spremlja večje časovno valovanje trenutnega pretoka pri nizki frekvenci, zato je izbira frekvence odvisna tudi od hidravlične kapacitivnosti, vztrajnosti aktuatorja in zahtev procesa. Na podlagi razpoložljivih meritev ni mogoče oceniti kakovosti zaprtozančne regulacije ali energetske prednosti v primerjavi s proporcionalnim ventilom, ker takšna primerjava ni bila izvedena.

4.5 Predlogi za nadaljnje delo

Pri nadaljnjem preskušanju bi bilo smiselno za vsako frekvenco opraviti gostejši pregled okolice obeh mej razmerja vklopa, posebej pri frekvenci 1,60 Hz, kjer celotno uporabljeno območje meri samo 11 %. Koristno bi bilo večkrat ponoviti enake kombinacije (f, D) in dodati statistično razpršenost povprečnega pretoka. Tak pregled bi pokazal, kako občutljivo je doseganje želenega pretoka na majhna odstopanja nastavljenega razmerja vklopa in koliko varnostnega odmika od mej je pri načrtovanju potrebno zagotoviti.

Meritvam toka skozi tuljavo in neposrednega pomika krmilnega bata bi bilo treba dati prednost pred dodatnim povečevanjem števila nominalnih tlačnih točk. Ti dve veličini bi omogočili jasno razlikovanje med električno zakasnitvijo, začetkom gibanja glavnega elementa in dejanskimi spremembami pretoka, na kar vplivajo tudi stisljivost olja in merilna veriga. Nadzor temperature tuljave je prav tako pomemben, saj segrevanje tuljave med zaporednimi cikli lahko vpliva na elektromagnetni odziv neodvisno od merjene temperature olja.

Za uporabo krmiljenja v industrijskem aktuatorju bi bilo treba poleg statične kalibracijske krivulje $Q_{pov}(f, D)$ oceniti še nihanje trenutnega pretoka, odziv celotnega aktuatorja in energijske izgube. Podatki iz raziskave te primerjave ne vključujejo. Zato je mogoče ugotoviti možnost uravnavanja povprečnega pretoka, ne pa tudi univerzalne nadomestljivosti proporcionalnega ventila. Morebiten razvoj zaprtozančnega regulatorja bi moral temeljiti na neposredni povratni informaciji o pretoku ali položaju aktuatorja in eksperimentalno preverjenih mejah PWM.

5 Zaključki

Eksperimentalni rezultati potrjujejo, da je mogoče s pulznoširinsko modulacijo pri konvencionalnem 2/2-sedežnem vložnem ventilu v določenem območju doseči postopno nastavljanje povprečnega pretoka. Pri vseh treh frekvencah 0,56 Hz, 1,13 Hz in 1,60 Hz se je povprečni pretok z večanjem razmerja vklopa povečeval, vendar se je uporabni razpon razmerja vklopa pri višji frekvenci izrazito skrčil: s 67 % na 11 %. Tudi dosegljivi razpon pretoka se je zmanjšal z 2,9 L/min na 8,8 L/min, pri 0,56 Hz pa s 6,9 L/min na 8,6 L/min pri 1,60 Hz.

Časovni odziv je bil izrazito asimetričen. Pri tlačnih razlikah med 20 bar in 100 bar in temperaturi olja 40 °C so bili zamiki odpiranja med 0,072 s in 0,092 s, zamiki zapiranja pa med 0,529 s in 0,548 s. V tem območju ni bil ugotovljen močen ali monoton vpliv tlačne razlike. Prav tako sprememba temperature olja med 25 °C in 50 °C pri tlaku 60 bar ni pokazala izrazitega enosmernega vpliva na odziv. Za preskušeni ventil in merilne pogoje je omejitvena veličina predvsem dolg zamik zapiranja.

Na podlagi rezultatov je bila hipoteza o približanju proporcionalnemu krmiljenju povprečnega pretoka podprta, hipoteza o majhnem vplivu tlačne razlike skladna z meritvami, hipoteza o znatnem vplivu temperature olja pa v preizkušenem območju ni bila potrjena. Sklepe je treba razumeti kot omejene na konkretni ventil, razpone parametrov in način posrednega merjenja časovnih zamikov. Nadaljnje delo naj vključuje ponovitve z merilno negotovostjo, sočasno merjenje toka in temperature tuljave ter neposredno spremljanje pomika krmilnega bata. S tem bi bilo mogoče razviti zanesljivejši eksperimentalno umerjeni model za izbiro PWM-parametrov in načrtovanje morebitne zaprtozančne regulacije.

Odprti raziskovalni podatki: Raziskovalni podatki, ki podpirajo ugotovitve tega članka, so odprto dostopni v repozitoriju Zenodo [22].na naslovu https://doi.org/10.5281/zenodo.19401806

Literatura

[1] Q. Zhang, X. Kong, B. Yu, K. Ba, Z. Jin, Y. Kang: Review and Development Trend of Digital Hydraulic Technology. Applied Sciences 10(2) (2020) 579. DOI: 10.3390/app10020579.

[2] F. Sciatti, P. Tamburrano, P. De Palma, A. R. Plummer, E. Distaso, R. Amirante: Digital Hydraulic Valves: Advancements in Research. Heliyon 10 (2024) e27264. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e27264.

[3] O. Keles, Y. Ercan: Theoretical and Experimental Investigation of a Pulse-Width Modulated Digital Hydraulic Position Control System. Control Engineering Practice 10(6) (2002) str. 645–654. DOI: 10.1016/S0967-0661(02)00021-7.

[4] M. Taghizadeh, A. Ghaffari, F. Najafi: Modeling and Identification of a Solenoid Valve for PWM Control Applications. Comptes Rendus Mécanique 337(3) (2009) str. 131–140. DOI: 10.1016/j.crme.2009.03.009.

[5] I. Schepers, D. Schmitz, D. Weiler, O. Cochoy, U. Neumann: A Novel Model for Optimized Development and Application of Switching Valves in Closed Loop Control. International Journal of Fluid Power 12(3) (2011) str. 31–40. DOI: 10.1080/14399776.2011.10781035.

[6] P. Opdenbosch, N. Sadegh, W. Book, T. Murray, R. Yang: Modelling an Electro-Hydraulic Poppet Valve. International Journal of Fluid Power 10(1) (2009) str. 7–15. DOI: 10.1080/14399776.2009.10780963.

[7] Q. Gao, J. Wang, Y. Zhu, J. Wang, J. Wang: Research Status and Prospects of Control Strategies for High Speed On/Off Valves. Processes 11(1) (2023) 160. DOI: 10.3390/pr11010160.

[8] Winner Hydraulics Corp.: Pilot-Operated Double-Lock, Bi-directional Flow Energized, W Cavity: EP-08W-2A-31-Z-05. Tehnični podatki izdelka. Dostopno na: https://www.winnerhydraulics.com/Double-Lock/EP-W-31-Poppet-2-Way-Double-Lock/code/EP-08W-2A-31-Z-05.html, ogled: 28. 7. 2026.

[9] Winner Hydraulics Corp.: EC-04W-200-H-Z Continuous Duty Coil. Tehnični podatki izdelka. Dostopno na: https://www.winnerhydraulics.com/Without-TVS-Diodes/EC-04W-200-H-Z/code/EC-04W-200-H-Z.html, ogled: 28. 7. 2026.

[10] Beckhoff Automation GmbH & Co. KG: EL2535 – EtherCAT Terminal, 2-channel PWM output, 24 V DC, 1 A, current-controlled. Beckhoff Automation. Dostopno na: https://www.beckhoff.com/en-en/products/i-o/ethercat-terminals/el-ed2xxx-digital-output/el2535.html, ogled: 18. 8. 2026.

Control of a conventional hydraulic valve using pulse-width modulation

Abstract:
Due to the growing need to reduce costs in hydraulic systems, more cost-effective control methods are being investigated for proportional control of actuators. Conventional directional control valves could represent one such alternative. This paper investigates the feasibility of controlling a conventional 2/2-way poppet valve using pulse-width modulation (PWM) to achieve quasi-proportional control of the average flow rate. A mathematical model of the valve, a hydraulic test bench, and a control program for conducting step-response and PWM measurements were developed. The effects of PWM frequency, duty cycle, pressure, and temperature were experimentally evaluated. The results demonstrate that control of the average flow rate is achievable within a limited range of operating parameters, with performance constrained by valve switching times and operating conditions.

Keywords:
pulse-width modulation, conventional directional control valves, solenoid actuation, response time, duty cycle

Hidravlični akumulatorji v praksi – izbira, preračun in vgradnja

Tadej Tašner

Izvleček:
Hidravlični akumulatorji predstavljajo ključne komponente hidravličnih sistemov, saj omogočajo akumulacijo hidravlične energije, stabilizacijo tlaka, kompenzacijo volumenskih sprememb ter izravnavo dinamičnih obremenitev. Njihova funkcionalnost in učinkovitost sta v veliki meri odvisni od pravilne izbire tipa akumulatorja, ustreznega dimenzioniranja ter optimalne integracije v hidravlični tokokrog. Prispevek obravnava temeljna načela načrtovanja in uporabe hidravličnih akumulatorjev s poudarkom na kriterijih izbire, določanju tlaka predpolnjenja, dimenzioniranju glede na funkcionalne zahteve ter zagotavljanju skladnosti z varnostnimi zahtevami.

Predstavljeni so pristopi za integracijo akumulatorjev v hidravlične sisteme z namenom učinkovitega shranjevanja energije, zmanjševanja koničnih obremenitev, blaženja tlačnih pulzacij in udarov ter izboljšanja dinamičnega odziva sistema. Posebna pozornost je namenjena čim boljšemu izkoristku uporabnega volumna akumulatorja ter preprečevanju najpogostejših napak pri projektiranju, kot so prekoračitev dopustnega kompresijskega razmerja, neustrezna združljivost materialov s hidravličnim medijem in obratovalnimi temperaturami ter neupoštevanje omejitev življenjske dobe akumulatorja.

Z uporabo termodinamičnih modelov in praktičnih primerov uporabe prispevek prikazuje vpliv ustrezno izbranih in dimenzioniranih akumulatorjev na energijsko učinkovitost, zanesljivost in obratovalno varnost hidravličnih sistemov. Predstavljene ugotovitve podajajo praktične smernice za načrtovanje hidravličnih sistemov, v katerih akumulator ni obravnavan zgolj kot pomožna komponenta, temveč kot aktivni element za optimizacijo zmogljivosti in funkcionalnosti celotnega sistema.

Ključne besede:
hidravlični akumulatorji, shranjevanje energije, stabilizacija tlaka, izravnavanje obremenitev, integracija v tokokroge, kriteriji izbire, dimenzioniranje, tlak predpolnjenja, funkcionalna varnost, inženirske smernice

1 Uvod

Hidravlični akumulatorji so nepogrešljive komponente sodobnih hidravličnih sistemov, saj delujejo kot naprave za shranjevanje energije, ki izboljšujejo učinkovitost, stabilnost in odzivnost sistema. Po funkciji so primerljivi z električnimi kondenzatorji, saj energijo shranjujejo v obliki tlačno obremenjenega hidravličnega medija, ki se lahko po potrebi sprosti za dopolnitev pretoka črpalke, blaženje tlačnih nihanj ali zagotavljanje zasilnega napajanja v primeru odpovedi sistema. Njihova vgradnja v hidravlične tokokroge omogoča boljše dinamične lastnosti sistema, manjšo porabo energije in daljšo življenjsko dobo komponent, zlasti pri aplikacijah s cikličnimi obremenitvami ali prehodnimi tlačnimi sunki. [1]

Najpogosteje uporabljena vrsta akumulatorjev v industrijskih in mobilnih aplikacijah je plinsko polnjen oziroma hidro-pnevmatski akumulator. Ta uporablja stisljiv plin, običajno dušik, kot vzmetni medij, ki ustvarja tlak na hidravlično tekočino. Termodinamično obnašanje plina, bodisi izotermno bodisi adiabatno, pomembno vpliva na sposobnost shranjevanja energije in odzivne značilnosti akumulatorja. [2] Natančno modeliranje tega obnašanja je bistveno za optimizacijo delovanja akumulatorjev, zlasti v okoljih z visokimi frekvencami ciklov ali visokimi tlaki. Poleg tega se akumulatorji vse pogosteje uporabljajo v sistemih za rekuperacijo energije, kot so hidravlični hibridi in sistemi obnovljivih virov energije, kjer njihova zmožnost učinkovitega shranjevanja in sproščanja energije igra ključno vlogo pri trajnostnem delovanju. [3]

Zaradi svoje vsestranske uporabnosti ostajajo hidravlični akumulatorji ključni elementi hidravlično-mehatronskih sistemov. Ta prispevek predstavlja hidravlične akumulatorje ter preverjene inženirske prakse za njihovo uporabo v najpogostejših hidravličnih aplikacijah. Obravnava temeljna načela delovanja različnih vrst akumulatorjev, kot so batni in membranski akumulatorji ter akumulatorji z mehom. Razlaga njihovo vlogo pri shranjevanju energije, regulaciji tlaka in absorpciji tlačnih udarov. Na podlagi v praksi preverjenih izvedb in industrijskih standardov izpostavlja dobre prakse pri izbiri, dimenzioniranju in integraciji akumulatorjev v hidravlične sisteme. Poseben poudarek je namenjen optimizaciji zanesljivosti sistema, izboljšanju energetske učinkovitosti in podaljšanju življenjske dobe komponent z ustrezno uporabo akumulatorjev. Predstavljeni primeri so namenjeni inženirjem in tehnikom, ki želijo izboljšati zmogljivost hidravličnih sistemov v mobilnih in industrijskih aplikacijah.

Dr. Tadej Tašner, univ. dipl. inž., HAWE Hidravlični sistemi d. o. o., Štore

© The Authors 2026. CC-BY 4.0
https://doi.org/10.5545/Ventil-32-2026-5.33

2 Tipi hidravličnih akumulatorjev

Hidravlične akumulatorje glede na način obremenitve na splošno delimo v dve skupini: mehanske in plinske. Mehanski akumulatorji za ustvarjanje tlaka v hidravlični tekočini uporabljajo vzmeti ali uteži, medtem ko plinski akumulatorji uporabljajo stisnjen plin, običajno dušik, ki je od hidravličnega medija ločen z mehom, membrano ali batom. [1]

Akumulatorji z vzmetjo delujejo tako, da se vzmet stisne, ko tekočina vstopa v komoro. Tako shranjena mehanska energija se sprosti, ko sistem ponovno potrebuje tekočino. Zaradi kompaktne izvedbe in hitrega odziva so primerni za manjše aplikacije, vendar imajo pomanjkljivost, da je izhodni tlak odvisen od stopnje stisnjenosti vzmeti. Poleg tega omejen hod vzmeti zmanjšuje uporabno prostornino tekočine, zato niso primerni za sisteme z visokimi tlaki ali velikimi volumni. Akumulatorji z utežjo ohranjajo konstanten tlak skozi celoten hod, saj tekočino tlači utež določene mase. Zagotavljajo zelo dobro stabilnost tlaka in omogočajo shranjevanje velikih količin tekočine. Njihova slabost sta velika masa in dimenzija, zaradi česar niso primerni za mobilne aplikacije ter zahtevajo ustrezno nosilno konstrukcijo. [1]

Plinski akumulatorji se uporabljajo bistveno pogosteje zaradi svoje vsestranskosti in učinkovitosti. *Akumulatorji* z mehom (ang. bladder accumulators) uporabljajo elastični meh, ki ločuje plin od hidravličnega medija. So lahki, imajo zelo hiter odzivni čas in so posebej primerni za mobilne hidravlične sisteme. Njihove omejitve so: največji dovoljeni delovni tlak ter obraba meha zaradi utrujanja materiala ali kontaminacije. *Membranski akumulatorji* (ang. diaphragm accumulators) uporabljajo elastomerno membrano za ločevanje plina in tekočine. Primerni so za visokotlačne aplikacije ter imajo enostavno zasnovo z malo vzdrževanja. Njihova slabost je običajno manjša uporabna prostornina v primerjavi z akumulatorji z mehom. *Batni akumulatorji* (ang. piston accumulators) uporabljajo trden bat za ločevanje plina in tekočine. So robustni, primerni za visoke tlake in velike prostornine ter zagotavljajo dolgo življenjsko dobo. Omogočajo tudi natančno prilagajanje velikosti in konfiguracije. Njihovi pomanjkljivosti sta višja cena in zahtevnejše vzdrževanje. [1]

3 Hidravlično in električno shranjevanje energije

V primerjalni raziskavi, objavljeni v reviji *Energies*, je bilo ugotovljeno, da je specifična energija hidravličnega akumulatorja z mehom približno 9,4-krat manjša od specifične energije superkondenzatorja pri enakovrednih pogojih. Čeprav to poudarja omejitve hidravličnih sistemov pri kompaktnem shranjevanju energije, hkrati izpostavlja njihove prednosti glede gostote moči in stroškovne učinkovitosti, zlasti pri aplikacijah z velikimi silami in kratkotrajnimi obremenitvami. [4]

4 Osnovni preračun hidravličnih akumulatorjev

V nadaljevanju so predstavljeni osnovni izračuni za hidravlične akumulatorje, ki služijo kot pomoč uporabnikom pri določanju tlaka predpolnjenja, razpoložljive prostornine tekočine in ustrezne velikosti akumulatorjev za različne aplikacije. Pri izra-

Tabela 1 : *Primerjava različnih tipov hidravličnih akumulatorjev [1]*

SKUPINA	MEHANSKI		PLINSKI		
tip	z utežjo	z vzmetjo	z mehom	membranski	batni
maksimalni delovni tlak	nizek	nizek	srednji	visok	visok
izhodni tlak	konstanten	linearen	hiperboličen (izoterma) oz. strmejši (politropa/adiabata)		
izgube zaradi trenja	da	da	ne	ne	da
energijska gostota	-	0	+	0	+
kapaciteta	+	-	0	-	+
položaj vgradnje	navpičen	poljuben	poljuben	poljuben	poljuben
odzivni čas	počasen	srednji	hiter	hiter	srednji

Tabela 2 : *Primerjava energijske in močnostne gostote različnih sistemov za shranjevanje energije [4]*

	ENERGIJA			MOČ		
sistem za shranjevanje energije	volumetrična gostota [Wh/m^3]	specifična gostota [Wh/kg]	cena [US$/Wh]	volumetrična gostota [Wh/m^3]	specifična gostota [Wh/kg]	cena [US$/Wh]
$LiFePO_4$ baterija	195.144	115,2	0,45	325,24	0,192	270,83
superkondenzator	2.539,7	2,72	138,67	2.588	2,21	217
akumulator z mehom	1.227	0,29	404,68	7.548	2,69	75

čunih se uporabljajo naslednje spremenljivke:

p_0 ... tlak predpolnjenja plina [bar]
p_1 ... minimalni delovni tlak [bar]
p_2 ... maksimalni delovni tlak [bar]
V_0 ... delovni (efektivni) volumen plina (oz. volumen akumulatorja skupaj s plinskimi posodami) [l]
V_1 ... volumen plina pri tlaku p_1 [l]
V_2 ... volumen plina pri tlaku p_2 [l]
T_0 ... temperatura predpolnitve plina, običajno 20 °C [°C]
T_{min} ... minimalna delovna temperatura plina [°C]
T_{max} ... maksimalna delovna temperatura plina [°C]
n_c ... politropni eksponent med polnjenjem akumulatorja [-]
n_d ... politropni eksponent med praznjenjem akumulatorja [-]1

4.1 Delovne temperature plina

Ocena delovne temperature plina v akumulatorju je zahtevna naloga. Minimalna temperatura običajno ustreza najnižji temperaturi okolice, medtem ko je maksimalna temperatura običajno nekje med najvišjo temperaturo okolice in temperaturo hidravličnega medija. Na to vplivajo funkcija akumulatorja, njegova izvedba, temperatura okolice, temperatura olja ter količina izmenjane tekočine. Pri akumulatorjih, kjer je plin v stiku s svežim oljem skozi večino delovnega cikla (na primer pri akumulatorjih z mehom), oziroma pri uporabi za podporo črpalki, kjer se v akumulatorju izmenjujejo večje količine vroče tekočine, ima temperatura olja večji vpliv na temperaturo plina kot temperatura okolice.

Pri aplikacijah za blaženje tlačnih udarov in pulzacij je izmenjava volumna razmeroma majhna, zato je mogoče maksimalno temperaturo plina oceniti kot povprečje najvišje temperature olja in najvišje temperature okolice.

Pri aplikacijah za shranjevanje energije, kjer črpalka deluje izključno za polnjenje akumulatorja, se lahko kot največja temperatura plina uporabi pričakovana maksimalna temperatura okolice. Razlog je v tem, da olje vstopa v akumulator približno pri temperaturi okolice, zato ostaja tudi temperatura plina zelo blizu temperaturi okolice.

4.2 Tlak predpolnjenja

Tlak predpolnjenja se običajno nastavi na približno 90 % minimalnega delovnega tlaka sistema (pri aplikacijah za shranjevanje energije). Takšna nastavitev omogoča optimalno ravnovesje med količino sprejete tekočine in zmožnostjo praznjenja akumulatorja po potrebi. Če je tlak predpolnjenja previsok, tekočina ne more vstopati v akumulator. Če je prenizek, obstaja nevarnost popolnega stiskanja plinske komore, kar zmanjšuje življenjsko dobo in učinkovitost akumulatorja. Pravilna izbira tlaka predpolnjenja je ključnega pomena za ohranjanje stabilnosti tlaka in zagotavljanje zanesljivega delovanja hidravličnega sistema. Pri tem je treba paziti, da razmerje med največjim delovnim tlakom in tlakom predpolnjenja ne preseže dovoljenega kompresijskega razmerja akumulatorja, ki je podano v podatkovnem listu akumulatorja. Značilno kompresijsko razmerje za akumulatorje z mehom znaša 4:1, medtem ko lahko pri membranskih akumulatorjih doseže 8:1, pri batnih pa celo preseže 10:1.

Priporočene vrednosti tlaka predpolnjenja:

- Shranjevanje energije in podpora črpalki: 90 % minimalnega delovnega tlaka.
- Blaženje tlačnih udarov: 60-90 % povprečnega delovnega tlaka.
- Blaženje pulzacij: 60 % povprečnega delovnega tlaka.

Tlak predpolnjenja se vedno izračuna za najvišjo delovno temperaturo plina (glej prejšnje poglavje). Če za primer vzamemo aplikacijo za shranjevanje energije, lahko tlak predpolnjenja pri najvišji temperaturi izračunamo z enačbo (1), nato pa ga s pomočjo izohorne plinske enačbe za idealni plin pretvorimo v tlak predpolnjenja pri temperaturi 20 °C z enačbo (2). [5]

$$p_{0@T_{max}} = 0{,}9 \cdot p_1 \tag{1}$$

$$p_0 = p_{0@T_{max}} \frac{T_0+273}{T_{max}+273} \tag{2}$$

4.3 Izračun razpoložljive prostornine tekočine v akumulatorju

Ključni parameter pri shranjevanju energije je količina hidravličnega medija, shranjenega v akumulatorju. To količino lahko določimo s kombinacijo splošnih plinskih enačb za politropno stiskanje (kompresijo) med polnjenjem akumulatorja (3) in politropno ekspanzijo (dekompresijo) med praznjenjem akumulatorja (4), kar vodi do enačbe (5). [6]

$$p_0 V_0^{n_c} = p_2 V_2^{n_c} \tag{3}$$

$$p_2 V_2^{n_d} = p_1 V_1^{n_d} \tag{4}$$

$$\Delta V = V_1 - V_2 = V_0 \cdot \left(\frac{p_0}{p_2}\right)^{\frac{1}{n_c}} \cdot \left(\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{1}{n_d}} - 1\right) \tag{5}$$

Politropni eksponent opisuje način prenosa toplote med stiskanjem oziroma raztezanjem plina. Njegova vrednost je odvisna od tega, koliko toplote se med procesom izmenja z okolico. [7]

- izotermni proces (počasen proces, > 3 min, s popolno izmenjavo toplote): $n = 1$
- adiabatni proces (hiter proces, < 1 min, brez izmenjave toplote): $n = \kappa = 1{,}4$ (za dvoatomne pline)
- politropni proces (delna izmenjava toplote): $1 < n < \kappa$

Primeri za različne procese:

- Shranjevanje energije (podpora črpalki): adiabatno polnjenje in adiabatno praznjenje.
- Zasilne in varnostne funkcije: izotermno polnjenje in adiabatno praznjenje.
- Kompenzacija puščanja in sprememb volumna zaradi temperaturnih nihanj: izotermno polnjenje in izotermno praznjenje.

Nekateri programi za dimenzioniranje akumulatorjev rezultate dodatno korigirajo z ustreznim korekcijskim faktorjem, da se bolj približajo dejanskemu obratovalnemu stanju. [8]

4.4 Izračun potrebne velikosti akumulatorja za blaženje pulzacij

Uporaba akumulatorjev kot blažilnikov pulzacij je posebej primerna za sisteme s konstantnim tlakom. Pri sistemih, kjer se delovni tlak nenehno spreminja izgubijo svojo učinkovitost, ker pri tlakih pod tlakom predpolnjenja akumulator ni v funkciji, njihova funkcija pa tudi ni optimalna pri tlakih, ki večkrat presegajo tlak predpolnjenja. Ker so v hidravličnih aplikacijah potrebni volumni za učinkovito blaženje pulzacij razmeroma majhni (običajno v območju nekaj decilitrov), je mogoče z uporabo membranskih akumulatorjev z visokim dovoljenim kompresijskim razmerjem, predpolnjenih na relativno nizek tlak, pokriti široko območje delovnih tlakov. Lahko se pa uporabi tudi več vzporedno vezanih akumulatorjev z različnimi tlaki predpolnjenja.

Za določitev potrebne velikosti akumulatorja za primer batno črpalko je treba poznati njen delovni tlak *p* in določiti največjo dovoljeno stopnjo pulzacij *α*[%]. Neenakomeren volumen tekočine, ki ga proizvaja črpalka in ga mora akumulator absorbirati, se lahko izračuna iz volumna bata V_p [l] in koeficienta tipa črpalke *K* [-] [8]. Ker gre za adiabatni proces, se za politropni eksponent uporabi vrednost n = 1,4. Če za blaženje pulzacij uporabimo priporočeni predpolnilni tlak v višini 60 % delovnega tlaka, lahko enačbo dodatno poenostavimo, kot prikazuje enačba (6).

$$V_0 = \frac{K \cdot V_p}{\left(\frac{p_0}{p_1}\right)^{\frac{1}{n}} - \left(\frac{p_0}{p_2}\right)^{\frac{1}{n}}} = \frac{K \cdot V_p}{\left(\frac{p_0}{p \cdot (1-\alpha)}\right)^{\frac{1}{n}} - \left(\frac{p_0}{p \cdot (1+\alpha)}\right)^{\frac{1}{n}}} = \frac{K \cdot V_p}{\left(\frac{0{,}6}{(1-\alpha)}\right)^{\frac{1}{1{,}4}} - \left(\frac{0{,}6}{(1+\alpha)}\right)^{\frac{1}{1{,}4}}} \quad (6)$$

Pri blaženju pulzacij je zelo pomembno, da je akumulator nameščen čim bližje črpalki in priključen preko ustreznega T-kosa, ki usmerja pretok proti akumulatorju, da lahko le-ta učinkovito absorbira pulzacije, ki jih povzroča črpalka. Takšen poseben T-kos prikazuje *slika 1a*, njegovo pravilno vgradnjo pa *1b*. Vgradnja z navadnim T-kosom je prav tako mogoča in jo prikazuje *slika 1c*.

4.5 Izračun potrebne velikosti akumulatorja za absorpcijo tlačnih udarov

Absorpcija tlačnih udarov je potrebna v primerih, ko se velik pretok tekočine v dolgem cevovodu nenadoma ustavi, na primer ob hitrem zapiranju hidravličnega ventila. Zaradi vztrajnosti tekočine nastane tlačni udar, katerega energija se mora pretvoriti v notranjo energijo plina v akumulatorju (adiabatno stiskanje), da ostane povišanje tlaka v sistemu v območju, ki ga komponente in cevovod še zdržijo. Zato za primer absorpcije tlačnega udara velja enačba (7) [10]. Pri tem p_1 označuje tlak v hidravličnem vodu pred zaprtjem ventila, p_2 pa največji dopustni tlak v cevovodu, ki se lahko pojavi med tlačnim udarom.

$$\frac{mv^2}{2} = -\int p\mathrm{d}V = -\frac{p_2V_2 - p_1V_1}{1-n} \text{ (adiabatno stiskanje)} \quad (7)$$

Če združimo to s prvotnim izotermnim stiskanjem iz V_0p_0 v V_1p_1 in nato še adiabatno stiskanje iz V_1p_1 v V_2p_2 in izrazimo delovni volumen plina V_0 dobimo (8).

$$V_0 = \frac{mv^2 \cdot (1-n)}{2 \cdot p_0 \cdot 10^5 \cdot \left(\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{1-\frac{1}{n}} - 1\right)} \quad (8)$$

Masa *m* [kg] tekočine se lahko izračuna iz njene gostote ρ [$\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}$], dolžine cevi *l* [m] in premera cevi *d* [mm]. Hitrost tekočine pa iz pretoka *Q* [$\frac{\mathrm{l}}{\mathrm{min}}$] in premera cevi. Če upoštevamo pretvorbe med uporabljenimi in SI-enotami, dobimo enačbo (9).

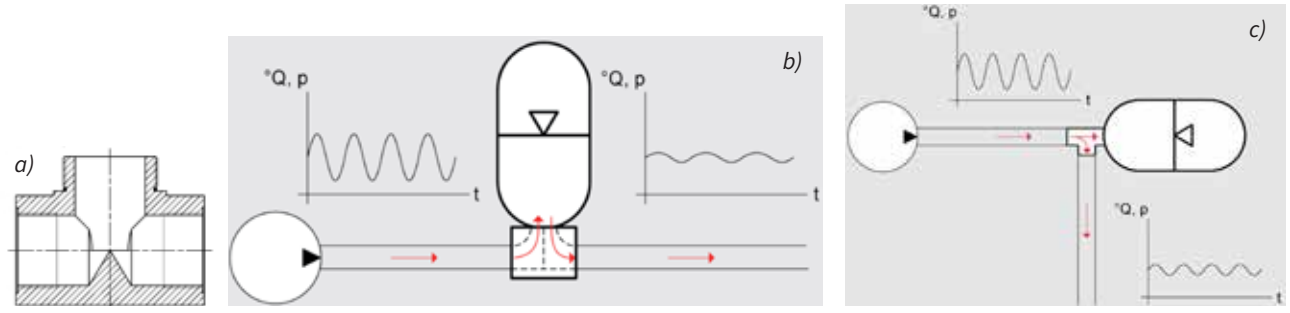
$$V_0 = \frac{\rho \cdot l \cdot Q^2 \cdot (1-n)}{1{,}8 \cdot 10^8 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot p_0 \cdot \left(\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{1-\frac{1}{n}} - 1\right)} \quad (9)$$

Potrebni volumni za absorpcijo tlačnih udarov v hidravličnih sistemih so običajno v območju decilitrov, zato so membranski akumulatorji še posebej primerni za takšne aplikacije. Pri vodovodnih sistemih in hidroelektrarnah, kjer so cevovodi bistveno daljši in večjih premerov, pa lahko zahtevana kapaciteta akumulatorskih postaj doseže tudi 1000 litrov ali več.

4.6 Ostali pomembni vidiki pri izbiri hidravličnih akumulatorjev

Poleg izbire pravilnega tipa, volumna hidravličnega akumulatorja in njegovega največjega delovnega tlaka ne smemo pozabiti ostalih pomembnih vidikov:

- *Združljivost s hidravličnim medijem:* Elastomerni deli akumulatorja (meh, membrana, tesnila) ter tlačna posoda akumulatorja morajo biti združljivi z uporabljenim hidra-



1 *Vgradnja akumulatorjev za blaženje pulzacij [8], [9]*

vličnim medijem.
- *Temperaturna odpornost:* Elastomerni deli in tlačna posoda akumulatorja morajo prenesti najvišje in najnižje predvidene delovne temperature.
- *Največje kompresijsko razmerje:* Dovoljeno kompresijsko razmerje $\left(\frac{p_2}{p_0}\right)$ ne sme biti preseženo.
- *Certifikati:* Pravilen certifikat za ciljno državo oz. mesto vgradnje mora biti izbran:
  - PED – Evropa
  - ASME – Amerika
  - DNV, BV, LR ... – pomorska industrija
  - EAC – Rusija
  - ML – Kitajska
  - druge nacionalne zahteve
- *Priključek za polnjenje plina:* izbrati je treba ustrezen adapter za ciljno državo.
- *Življenjska doba:* pri določenem območju tlakov lahko akumulator doseže približno 2 milijona ciklov (kar se smatra kot "neskončna" življenjska doba), medtem ko se lahko zunaj tega območja življenjska doba zmanjša na le nekaj tisoč ciklov. Te podatke je treba pridobiti od proizvajalca in morajo biti navedeni v certifikacijski dokumentaciji akumulatorja.
- *Merilna mesta (»minimess priključki«)* in *merilne cevi (»minimess vrvice«)* na strani plina: morajo biti namenjene za plin. Večina proizvajalcev merilnih mest proizvaja še posebne izvedbe merilnih priključkov ter merilnih cevi, ki ustrezno tesnijo pline in omogočajo neoviran pretok v obe smeri (če se akumulatorje polni skozi isti priključek). Oplet standardnih merilnih cevi namenjenih za olje je za pline porozen, zato plin pod tlakom prodre skozi oplet pod zunanjo plastično prevleko cevi. Prevleka, ki ne zdrži enakega tlaka kot cev nato poči, kar povzroči (počasno) praznjenje akumulatorja.

5 Praktične uporabe hidravličnih akumulatorjev

Preden obravnavamo praktične primere uporabe, je treba poznati zahteve glede pravilne zaščite hidravličnih akumulatorjev, kot jih določa standard *EN 14359*. Ta standard poudarja pomen uporabe ustreznih varnostnih elementov, kot so varnostni ventili na strani tekočine, ter razpočne membrane in varnostni ventili na strani plina. Ti elementi se uporabljajo, za preprečevanje nadtlaka, uhajanja plina in konstrukcijskih poškodb. Zaščitni elementi morajo biti prilagojeni obratovalnim pogojem akumulatorja ter skladni z zahtevami *Direktive o tlačni opremi (PED 2014/68/EU)*. Ustrezno zaščitene hidravlične akumulatorje je mogoče varno uporabljati v širokem spektru aplikacij. [11]

5.1 Varna uporaba hidravličnih akumulatorjev

Pravilna zaščita hidravličnih akumulatorjev je opisana v standardu EN 14359, primeri vezav pa so podani v dodatku C istega standarda [11] in povzeti v [12]. Hidravlični akumulatorji, ki se uporabljajo v Evropi, potrebujejo certifikat PED, kadar izpolnjujejo določene pogoje glede tlaka in prostornine. Osnovni kriterij je:

- produkt tlaka in prostornine presega 50 bar l,
- prostornina akumulatorja pa je večja od 1 l.

Ta pogoja veljata za tekočinsko skupino 2, ki vključuje mineralno olje in dušik. V posebnih primerih lahko pod PED spada tudi cevovod na plinski strani, če presega določene dimenzije in tlačne kombinacije (npr. DN > 32 mm in P × DN > 1000 bar mm). Podobne zahteve veljajo tudi za standard ASME, vendar brez minimalne tlačne omejitve.

Kadar akumulator spada pod PED ali ASME:

- Akumulator mora biti dobavljen z veljavnim certifikatom PED oziroma ASME.
- Zaščiten mora biti skladno z EN 14359, kar vključuje:
  - ročni zaporni ventil,
  - krogelni ventil za razbremenitev proti rezervoarju,
  - ločen varnostni ventil s certifikatom PED/ASME (ne sme biti istočasno uporabljen kot »delovni« varnostni ventil),
  - manometer za nadzor tlaka v akumulatorju, ki ga ni mogoče izolirati od akumulatorja in
  - dodatno merilno mesto za preverjanje delovanja manometra.

Pri sistemih z več vzporedno vezanimi akumulatorji se lahko določene zaščitne komponente delijo med več akumulatorji, če komponente še vedno izpolnjujejo zahteve standardov PED oziroma ASME.

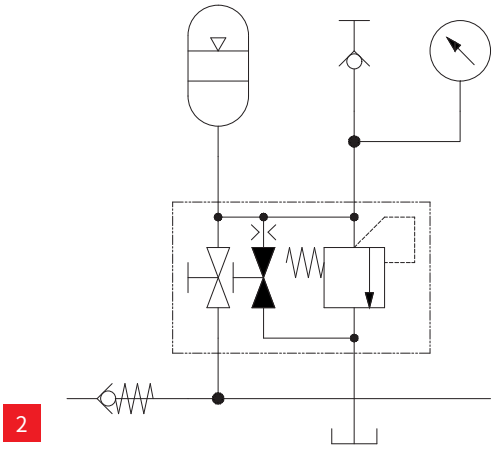
Certificiran varnostni ventil mora biti pravilno dimenzioniran. Njegov nazivni pretok mora zadostovati za varen odvod celotnega pretoka, ki lahko povzroči porast tlaka. Običajno je to skupni pretok vseh črpalk, povezanih z akumulatorjem, pri čemer je treba upoštevati tudi zunanje sile, ki delujejo na hidravlične cilindre oz. hidromotorje, če lahko te v kakršnemkoli položaju ventilov polnijo akumulator. Padec tlaka na certificiranem varnostnem ventilu pri največjem pretoku ne sme preseči najvišjega dovoljenega delovnega tlaka akumulatorja za več kot 10 %, pri čemer je treba upoštevati tudi padec tlaka v povratni liniji, ki mora biti nujno neovirano speljana brez dodatnih ventilov ali filtrov nazaj v rezervoar.

Tudi kadar akumulator ne spada pod PED ali ASME, je treba uporabiti dobre inženirske prakse za njegovo zaščito. Zato je priporočljivo slediti zahtevam standarda EN 14359, najmanj z uporabo:

- manometra,
- varnostnega ventila (lahko tudi brez certifikata PED/ASME), ki je v tem primeru lahko hkrati tudi glavni oz. sistemski varnostni ventil in ni nujno nameščen direktno na akumulatorju.

5.2 Praktični primeri konfiguracije varnostne opreme

To poglavje opisuje tipične načine zaščite hidravličnih akumulatorjev v skladu s standardom EN 14359, ki so podrobneje predstavljeni v dodatku C standarda [11]. Najpogosteje se uporablja varnostni blok za akumulator (*slika 2*), ki združuje

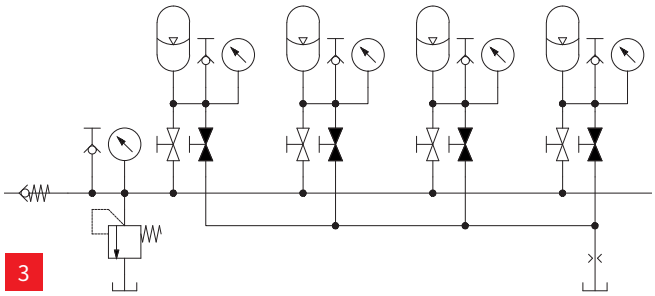


2

Zaščita enega akumulatorja z uporabo varnostnega bloka za akumulator [lastno delo]

zaporni ventil, razbremenilni ventil in varnostni tlačni ventil, hkrati pa vsebuje priključke za hidravlični sistem, akumulator, rezervoar in manometer. Dovoljena je tudi uporaba posameznih ločenih komponent. Manometer mora biti priključen neposredno na akumulator (brez vmesnega zapornega elementa), poleg njega pa mora biti še merilno mesto za kontrolo manometra. Manometer je lahko priključen tudi preko merilnega priključka, da ga je mogoče enostavno zamenjati tudi, ko je akumulator pod tlakom. Na strani črpalke je priporočljiva vgradnja nepovratnega ventila, ki preprečuje razbremenitev oziroma izpraznitev akumulatorja proti črpalki, na primer med vzdrževanjem črpalke ali pri menjavi tlačnega filtra.

Pri uporabi več akumulatorjev ima lahko vsak posamezni akumulator svoj lastni varnostni blok. Obstaja pa izjema, ki omogoča uporabo samo enega skupnega varnostnega tlačnega ventila za vse akumulatorje *(slika 3)*, pri čemer je še vedno omogočeno posamezno izklapljanje in praznjenje vsakega akumulatorja, kar bistveno olajša vzdrževanje sistema. Pri takšni izvedbi je treba paziti, da popolnoma napolnjeni akumulatorji ne ostanejo predolgo izolirani od sistema, saj lahko povišanje temperature okolice povzroči povečanje tlaka plina v akumulatorju in posledično prekoračitev njegovega največjega dovoljenega tlaka. To nevarnost je mogoče preprečiti z vgradnjo razpočne membrane (ang. burst disc) na plinsko stran akumulatorja.



3

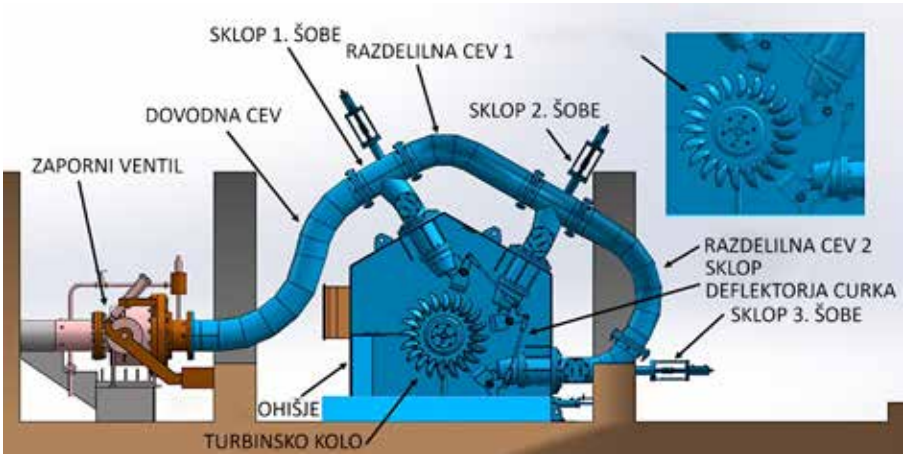
Zaščita več vzporedno vezanih akumulatorjev z uporabo ločenih komponent [lastno delo]

Kakor hitro je na hidravlični sistem priključen hidravlični akumulator, je le-tega treba opremiti z opozorilnim simbolom tlačne posode in dodatnim opisom, da je pred vzdrževalnimi deli nujna razbremenitev akumulatorja. To je navadno UV in oljeodporna nalepka, na kateri je prostor še za vpis tlaka predpolnjenja, ki se izpolni ročno. Priporočljivo je, da se nalepka namesti na vse akumulatorje. Vsak akumulator pa mora biti že s strani proizvajalca opremljen s tipsko kodo, serijsko številko in najvišjim delovnim tlakom.

5.3 Praktični primer uporabe hidravličnih akumulatorjev za varno delovanje hidroelektrarne s Peltonovo turbino

Peltonova turbina običajno vsebuje tri glavne pogonske elemente, ki jih je treba krmiliti: deflektor vodnega curka, ki preusmerja curek stran od turbine, glavni dovodni oziroma zaporni ventil za zaustavitev pretoka vode skozi turbino, cilindre za nastavitev igel šob, ki natančno regulirajo pretok skozi posamezno šobo. [13]

Med normalnim obratovanjem elektrarne hidravlični agregat (HPU) skrbi za premikanje igel šob in deflektorja, tako da moč generatorja ustreza zahtevani moči elektroenergetskega omrežja. HPU napaja aktuatorje preko akumulatorja. Kadar tlak v akumulatorju pade pod tlak vklopa, hidravlična črpalka ponovno napolni akumulator do tlaka izklopa. Pri tem je treba zagotoviti: da se črpalka ne vklaplja prepogosto in da se akumulator ponovno napolni v ustreznem času.



4 *Peltonova turbina s tremi šobami [13]*

V primeru izrednih dogodkov, na primer, če se črpalka ne zažene, ko bi se morala, je treba generator hitro zaustaviti. V takem primeru mora: deflektor preusmeriti vodne curke stran od turbine, vse šobe pa se morajo zapreti. Zato mora biti v akumulatorju shranjena zadostna količina tlačnega medija za varno zaustavitev turbine.

Velikosti cilindrov, časi zapiranja in minimalni potrebni tlaki se razlikujejo glede na velikost turbine.

Postopek dimenzioniranja akumulatorja

- Izračun volumnov cilindrov in določitev smeri gibanja v zasilnem režimu.
- Izračun potrebnega volumna za normalno delovanje in izvedbo izklopa v sili.
- Prilagajanje volumna akumulatorja, tlaka, ki sproži izklop v sili, ter vklopnega in izklopnega tlaka črpalke z iterativno uporabo enačbe (5), pri čemer se razpoložljiv volumen

tlak ob začetku procedure za zaustavitev v sili p_{em}= **110 bar**

tlak ob koncu procedure za zaustavitev v sili p_{emmin}= **50 bar**

hidravlični valj	št	smer	volumen polnega hoda (za smer)	varnostni faktor	potrebna zaloga tekočine
deflektor curka	1	uvlek	0,11 l	1,5	0,16 l
zaporni ventil	1	gravitacija	0,00 l	0	0,00 l
nastavitev šobe 1	1	izteg	0,31 l	1,5	0,47 l
nastavitev šobe 2	1	izteg	0,31 l	1,5	0,47 l
vsota	4		0,74 l		1,10 l

akumulator	št	nazivni volumen	tlak predpolnjenja		zaloga tekočine na voljo
glavni akumulator	1	10,0 l	45 bar		2,75 l
vsota	1	10,0 l			2,75 l

5 *Preračun HPU – normalno obratovanje [lastno delo]*

tlak izklopa hidravlične črpalke psys= **230 bar**

tlak vklopa hidravlične črpalke pmin= **120 bar**

hidravlični valj	št	volumen večje strani valja	število gibov	potreben volumen
deflektor curka	1	0,16 l	1,5	0,24 l
zaporni ventil	1	0,53 l	0	0,00 l
nastavitev šobe 1	1	0,31 l	1	0,31 l
nastavitev šobe 2	1	0,31 l	1	0,31 l
vsota	4	1,32 l		0,86 l

akumulator	št	nazivni volumen	tlak predpolnjenja	delovna zaloga tekočine max	min
glavni akumulator	1	10,0 l	45 bar	1,28 l	1,13 l
vsota	1	10,0 l		1,28 l	1,13 l

črpalka		pretok	čas polnjenja akumulatorja max	min
glavna črpalka		10,9 l/min	7 s	6 s

6 *Preračun HPU – izklop v sili [lastno delo]*

akumulatorja primerja s potrebnim volumnom za normalno in zasilno delovanje.
- Določitev potrebne velikosti črpalke in moči elektromotorja glede na zahtevan čas polnjenja akumulatorja.

Vsak HPU se po montaži preizkusi, pri čemer se izmerijo dejanski volumni tekočine, ki je na voljo v akumulatorju. Primerjava izračunov in meritev je prikazana v *tabeli 3*. Upoštevati je treba, da so izračuni prikazani na *slikah 5* in *6* izdelani za minimalno temperaturo okolice 0 °C, medtem ko so meritve izvedene pri približno 20 °C, zato so bili izračuni narejeni tudi za temperaturo 20 °C, da lahko izračune lažje primerjamo z meritvijo.
Ob primerjavi preračunanih vrednosti z rezultati meritev, lahko opazimo, da je pri količini shranjene tekočine napaka manjša od 10 %, kar potrjuje ustreznost enačbe (5) za preračun tekočine. Napaka je malenkost večja pri času polnjenja hidravličnega akumulatorja, kar lahko pripišemo mehkemu zagonu elektromotorja s frekvenčnim pretvornikom, ki traja 5 s in podaljša čas polnjenja za 2,5 s (vrtilna frekvenca in posledično pretok črpalke naraščata linearno prvih 5 s – kar pomeni, da je povprečni pretok v tem časovnem obdobju polovico manjši). Preračun namreč upošteva, da se motor zažene hipoma.

Opisan hidravlični agregat je bil uspešno zagnan v Gvajani v hidroelektrarni moči 0,8 MW, s pretokom vode 200 l/s, padcem 207 m in premerom turbinskega kolesa 488 mm. [14]

6 Zaključek

Če so hidravlični akumulatorji pravilno dimenzionirani in vgrajeni na pravilen način, postanejo varen in učinkovit element za izboljšanje dinamičnih lastnosti hidravličnih sistemov. V tem prispevku so bili predstavljeni ključni parametri, ki določajo njihovo učinkovito uporabo, predvsem izbira ustreznega tipa akumulatorja, pravilno dimenzioniranje in izvedba potrebnih varnostnih ukrepov. Z uporabo termodinamičnih zakonitosti in inženirskih izračunov lahko inženirji prilagodijo konfiguracijo akumulatorjev specifičnim funkcionalnim zahtevam, kot so: shranjevanje energije, blaženje tlačnih pulzacij, absorpcija tlačnih udarov, podpora delovanju črpalk, ter izvajanje zasilnih in varnostnih funkcij. Poleg tega upoštevanje varnostnih standardov, kot sta EN 14359 in PED, ne zagotavlja zgolj skladnosti z zakonodajnimi zahtevami, temveč tudi visoko stopnjo obratovalne zanesljivosti in varnosti sistema. Na podlagi predstavljenih praktičnih primerov, vključno z uporabo v hidravličnem sistemu za regulacijo Peltonove turbine, je jasno razvidno, da hidravlični akumulatorji niso zgolj pomožne komponente, temveč pomembni gradniki, ki bistveno prispevajo k odpornosti, zanesljivosti in učinkovitosti hidravličnega sistema. Inženirji, ki bodo pri projektiranju upoštevali predstavljene dobre prakse, bodo lahko v celoti izkoristili potencial hidravličnih akumulatorjev ter s tem izboljšali zanesljivost, energetsko učinkovitost in zmogljivost hidravličnih sistemov v industrijskih in mobilnih aplikacijah.

Tabela 3 : *Primerjava preračunov z meritvami [lastno delo]*

Scenarij uteži	preračun pri 0 °C	preračun pri 20 °C	meritev pri ~20 °C
čas polnjenja ($p_{min} \rightarrow p_{max}$)	7 s	8 s	11 s
količina tekočine na voljo ($p_{max} \rightarrow p_{min}$)	1,13 l	1,28 l	1,37 l
količina tekočine na voljo ($p_{em} \rightarrow p_{emmin}$)	2,75 l	3,11 l	3,22 l

Viri

[1] Costa, G. K., & Sepehri, N. (2023). Hydraulic accumulators in energy efficient circuits. Frontiers in Mechanical Engineering, 9, Article 1163293. https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmech.2023.1163293/full

[2] Dindorf, R., Takosoglu, J., & Wos, P. (2023). Review of hydro-pneumatic accumulator models for the study of the energy efficiency of hydraulic systems. Energies, 16(18), 6472. https://www.mdpi.com/1996-1073/16/18/6472

[3] Zhu, Jianxin & Shen, Chao & He, Qinghua & Li, Saibai & Dai, Peng & Li, Xiang. (2024). Boom Potential Energy Regeneration Method for Hybrid Hydraulic Excavators. IEEE Access. http://dx.doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3386741.

[4] Leon-Quiroga, J., Newell, B., Krishnamurthy, M., Gonzalez-Mancera, A., & Garcia-Bravo, J. (2020). Energy efficiency comparison of hydraulic accumulators and ultracapacitors. Energies, 13(7), 1632. MDPI Journal

[5] HYDAC. (2001). Bladder accumulators. https://rodavigo.net/datos/articulos/130/vejiga-para-acumulador-235290-hydac-(1).pdf

[6] Majdič, F. (2021). Matematični model za hidravlične akumulatorje. Ventil, 27(4), 246–250. https://revija-ventil.si/wp-content/uploads/2021.11-majdic.pdf

[7] Majdič, F. (2021). Hidravlični akumulatorji: Dodatni vir hidravlične tlačne energije v hidravličnih sistemih z neenakomerno porabo. Ventil, 27(3), 192–196. https://revija-ventil.si/wp-content/uploads/2021.08_majdic.pdf

[8] EPE Italiana. (2019). Catalogo generale EPE 2019. https://www.epeitaliana.it/wp-content/uploads/2020/06/Catalogo-Generale-EPE-2019.pdf

[9] HYDAC. (2021). Hydraulic dampers and accumulator applications https://www.hidro-norm.com.tr/panel/Sayfalar/urunler/prd-doc-pro-3701-00001-sen-ain-v17-625.pdf

[10] LibreTexts PHYSICS. (n.d.). 3.7: Adiabatic processes for an ideal gas. University Physics II – Thermodynamics, Electricity, and Magnetism (OpenStax). https://phys.libretexts.org/Bookshelves/University_Physics/University_Physics_(OpenStax)/University_Physics_II_-Thermodynamics_Electricity_and_Magnetism(OpenStax)/03%3A_The_First_Law_of_Thermodynamics/3.07%3A_Adiabatic_Processes_for_an_Ideal_Gas

[11] European Committee for Standardization. (2017). EN 14359:2017 – Gas-loaded accumulators for fluid power applications.

[12] Tašner, T. (2022). Legal requirements of hydraulic power units. International Conference Fluid Power 2023. https://press.um.si/index.php/ump/catalog/view/811/1155/3408

[13] Biswas, C., & Pandey, P. (2023). Pelton turbine runner material selection through FEM structural analysis. International Research Journal of Modernization in Engineering, Technology and Science, 5(9). https://www.irjmets.com/uploadedfiles/paper//issue_9_september_2023/44892/final/fin_irjmets1695813897.pdf

[14] Gugler GmbH. (n.d.). Worldwide references. Gugler Water Turbines. https://www.gugler.com/worldwide-references/

Hydraulic Accumulators in Practice: Selection, Sizing, and Installation

Abstract:
Hydraulic accumulators are key components in fluid power systems, enabling hydraulic energy storage, pressure stabilization, compensation of volume variations, and balancing of dynamic loads. Their functionality and effectiveness depend largely on the correct selection of accumulator type, appropriate sizing, and optimal integration into the hydraulic circuit. This paper presents the fundamental principles of hydraulic accumulator design and application, with emphasis on selection criteria, precharge pressure determination, sizing according to functional requirements, and compliance with safety requirements.

Approaches for integrating accumulators into hydraulic systems are presented with the objective of achieving efficient energy storage, reducing peak loads, dampening pressure pulsations and shocks, and improving system dynamic response. Particular attention is given to maximizing the utilization of the accumulator's effective volume and preventing common design errors, such as exceeding the permissible compression ratio, incompatibility of materials with the hydraulic medium and operating temperatures, and neglecting accumulator lifetime limitations.

Using thermodynamic models and practical application examples, the paper demonstrates the impact of properly selected and sized accumulators on the energy efficiency, reliability, and operational safety of hydraulic systems. The findings provide practical guidelines for hydraulic system design, where the accumulator is not considered merely an auxiliary component, but an active element for optimizing the performance and functionality of the entire system.

Keywords:
Hydraulic accumulators, Fluid power systems, Energy storage, Pressure stabilization, Load balancing, Circuit integration, Selection criteria, Sizing, Pre-charge pressure, Functional safety, Engineering guidelines

MEDNARODNA KONFERENCA
FLUIDNA TEHNIKA 2027
Tok idej. Moč povezovanja.
15. in 16. september 2027
Maribor · Kongresni center Habakuk



- Nove tehnologije in smeri razvoja
- Hidravlične tekočine: izzivi in razvoj
- Komponente, sistemi in aplikacije
- Digitalizacija, industrija 4.0 in znanja

UDELEŽENCI Pridobite znanje.
AVTORJI Delite raziskave.
RAZSTAVLJALCI Predstavite rešitve.
SPONZORJI Podprite razvoj.

ft.fs.um.si

Univerza v Mariboru · Fakulteta za strojništvo · LFTP
Laboratorij za fluidno tehniko in pogone
lftp.fs@um.si
Vito Tič · +386 2 220 7613

FLUIDNA TEHNIKA ◆ NAPREDNO INŽENIRSTVO IN TEHNOLOGIJE
VENTIL

MIEL®

OMRON

Varnostni krmilniki



- Varnostna komunikacija preko EtherNet/IP omrežja
- Enostavna integracija varnostnih funkcij v avtomatizirane sisteme
- Visoka stopnja fleksibilnosti in zanesljivosti
- Podpora do 254 varnostnih povezav
- Modularna zasnova za različne aplikacije
- Razširljivost z NX I/O enotami
- Konfiguracija, programiranje in diagnostika s Sysmac Studio
- Centralizirano upravljanje varnostnih funkcij
- Enostavna diagnostika in pregled stanja varnostnega sistema

Frekvenčni pretvorniki



- Integriran AC frekvenčni pretvornik za učinkovito krmiljenje motorjev
- Podpora za indukcijske motorje in motorje s trajnimi magneti
- EtherCAT komunikacija za hitro in fleksibilno integracijo
- Funkcije krmiljenja hitrosti, položaja in prestavnega razmerja
- Vgrajena varnostna funkcija Safe Torque Off (STO)
- Energijsko učinkovito delovanje in funkcije za varčevanje z energijo
- Kompaktna in robustna zasnova z zaščitenim PCB-jem za odpornost proti prahu in vlagi

Servo pogoni



- Servo pogoni za natančno krmiljenje hitrosti, položaja in navora
- Podpora za EtherCAT, MECHATROLINK-II, pulzne in analogne vhode
- Širok izbor rešitev za različne aplikacije in moči
- Napredne varnostne funkcije za varnejše delovanje strojev
- Omrežno krmiljenje in enostavna integracija v krmilne sisteme
- Visoka dinamika in natančnost pri zahtevnih aplikacijah
- Rešitve za povečanje produktivnosti in zanesljivosti strojev

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

+386 (0)3 77 77 000 info@miel.si www.miel.si MIEL d.o.o.

Sesalna enota 441 ALU: Pametnejša alternativa v času naraščajočih cen bakra

Naraščajoče cene bakra povečujejo pritisk na proizvajalce električnih motorjev in sesalnih enot, da učinkoviteje obvladujejo stroške materiala. Ena od možnosti je uporaba aluminijastega navitja, ki zmanjšuje porabo bakra in odvisnost od nihanja njegove cene. V Domelu imamo več kot 15 let izkušenj s proizvodnjo sesalnih enot z aluminijastim navitjem. Te danes proizvajamo tako v Evropi kot na Kitajskem, s čimer lahko podpiramo kupce na različnih trgih.



Sesalna enota 441

Za kitajski trg je Domel razvil sesalno enoto 441 ALU, ki združuje prednosti aluminijastega navitja, preverjeno zasnovo in lokalno proizvodnjo.

Sesalna enota 441 ALU

441 ALU je univerzalna enostopenjska sesalna enota z aluminijastim navitjem, namenjena predvsem aplikacijam, pri katerih so ključni konkurenčna cena, zanesljivo delovanje in učinkovita raba materialov.

S premerom 106 mm in maso od 700 do 800 g ima kompaktno zasnovo ter širok razpon zmogljivosti. Odvisno od izvedbe dosega vhodno moč od 200 do 900 W, izhodno moč od 100 do 450 W, pretok zraka od 33 do 48 dm^3/s in podtlak do 23 kPa.

Pri razvoju aluminijastega navitja ni dovolj zgolj zamenjati bakrene žice z aluminijasto. Zaradi različnih električnih, mehanskih in toplotnih lastnosti materiala je treba ustrezno prilagoditi konstrukcijo in proizvodni proces. Domel je na podlagi več kot 15-letnih izkušenj razvil tehnologijo, ki omogoča zanesljivo delovanje sesalne enote in doseganje zahtevane življenjske dobe.

Za kitajski trg je 441 ALU na voljo v dveh standardnih izvedbah:

- *900 W izvedba*, namenjena aplikacijam, pri katerih je zahtevana večja sesalna zmogljivost;
- *visoko učinkovita 750 W izvedba*, ki dosega izkoristek do 45 %, omogoča manjšo porabo energije in življenjsko dobo več kot 700 ur.

Obe izvedbi sta zasnovani za napajanje 220–230 V. Glede na zahteve kupca lahko Domel razvije tudi izvedbe z manjšo močjo.

Standardna izvedba 441 ALU dosega življenjsko dobo več kot 600 ur, kar potrjuje, da je mogoče tudi z aluminijastim navitjem zagotoviti zanesljivo rešitev za serijsko uporabo.

Manjša odvisnost od bakra

Uporaba aluminijastega navitja zmanjšuje količino bakra v sesalni enoti in s tem izpostavljenost nihanjem njegove cene. Zaradi manjše gostote aluminija omogoča tudi zmanjševanje mase navitja, kar prispeva k učinkovitejši rabi materialov.

Za proizvajalce sesalnih naprav je 441 ALU stroškovno optimizirana alternativa klasičnim izvedbam z bakrenim navitjem. Pri tem ohranja zahtevano zmogljivost, življenjsko dobo in zanesljivost delovanja.

Lokalna proizvodnja za kitajski trg

441 ALU se proizvaja na Kitajskem. S tem Domel združuje svoje evropsko razvojno in proizvodno znanje z lokalnimi proizvodnimi zmogljivostmi ter kupcem na kitajskem trgu omogoča krajšo in bolj lokalizirano dobavno verigo.

Več kot 15 let izkušenj z aluminijastimi navitji, preverjena konstrukcijska zasnova sesalne enote in prilagodljivost tehničnih izvedb omogočajo, da je 441 ALU praktična alternativa za aplikacije, kjer sta pomembni stroškovna učinkovitost in zmanjševanje odvisnosti od bakra.

Manj bakra. Preverjena zmogljivost. Lokalna rešitev.

Vir:

Domel, d. o. o., Otoki 21, 4228 Železniki,
mobi: +386 41 714 709, e-naslov: karmen.nastran@domel.com,
splet: http://www.domel.com

© Avtorji 2026. CC-BY 4.0

FLUIDNA TEHNIKA • NAPREDNO INŽENIRSTVO IN TEHNOLOGIJE
VENTIL

Cevne vpenjalne spojke: trdnost, prilagodljivost in enostavno čiščenje

Podjetje Elesa+Ganter predstavlja celotno paleto cevnih vpenjalnih spojk iz termoplasta, ki omogočajo največjo prilagodljivost pri izdelavi modularnih cevnih konstrukcij.

Sistem TCC, ki je leta 2024 prejel nagrado German Design Award v kategoriji Excellent Product Design, omogoča preprosto in varno izdelavo stabilnih modularnih rekonfigurabilnih konstrukcij, kot so modularne police, delovne mize, zaščite strojev, ohišja in rešitve za industrijska okolja ter uporabo v profesionalnem in hobi okolju.

Cevne vpenjalne spojke so izdelane iz termoplasta (poliamid, PA), ojačanega s steklenimi vlakni, s pritrdilnimi elementi iz nerjavnega jekla. Zagotavljajo visoko mehansko trdnost in odlično odpornost proti koroziji, hkrati pa zmanjšujejo skupno težo konstrukcij.

Kompaktna zasnova, gladke površine in odsotnost ostrih robov olajšajo čiščenje in izboljšajo videz konstrukcij. Termoplastične vpenjalne spojke Elesa+Ganter zagotavljajo tudi dimenzijsko natančnost in vzdržljivost ter visoko odpornost proti izvlečenju in vrtenju cevi (vrednosti so bile določene v laboratorijskih pogojih pri sobni temperaturi in pri zategovanju s priporočenim zateznim momentom).

Paleta izdelkov vključuje širok izbor standardnih elementov, kot so križne ali T-spojke, premični drsniki, reducirne vezne spojke, zglobni spoji s pritrdilno ploščo ter številne druge rešitve, namenjene najrazličnejšim zahtevam uporabe. Različica TCC-SJD z dvojnim krogličnim zgibom omogoča prostorsko nastavljanje kotov in s tem še povečuje prilagodljivost konstrukcij. Vpenjalni kompleti, ki so na voljo kot dodatna oprema, omogočajo hitro in pogosto prilagajanje tudi brez uporabe orodja.

Vpenjalne spojke TCC so na voljo v črni in sivi barvi, zato se ujemajo z videzom aluminija. Na voljo so v dveh premerih (Ø 18 in 30 mm). Reducirne vezne spojke omogočajo uporabo cevi različnih premerov, s čimer se še poveča vsestranskost sistema.

Za uporabo v živilski industriji podjetje Elesa+Ganter ponuja izbor termoplastičnih vpenjalnih spojk v »signalno modri« barvi (RAL 5005), ki so izdelane iz materiala, primernega za stik z živili (FDA CFR 21 in EU 10/2011). Vizualno jih je enostavno prepoznati zaradi modre barve. To povečuje varnost v proizvodnem procesu, hkrati pa zagotavlja skladnost z mednarodnimi predpisi.



Izbor termoplastičnih vpenjalnih spojev

Poleg vpenjalnih spojk iz termoplasta Elesa+Ganter ponuja tudi široko paleto cevnih vpenjalnih spojk iz aluminija, jekla in nerjavečega jekla, primernih za okrogle in kvadratne cevi. To še dodatno razširi možne uporabe.

S to obsežno ponudbo vpenjalnih spojk podjetje Elesa+Ganter ponuja zanesljivo, vsestransko rešitev z enostavno konfiguracijo za gradnjo modularnih konstrukcij v številnih panogah.

Vir:

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

© Avtorji 2026. CC-BY 4.0

strojnistvo.com
knjižnica strojnikov

FLUIDNA TEHNIKA • NAPREDNO INŽENIRSTVO IN TEHNOLOGIJE
VENTIL

HIWIN: celovita rešitev za višjo stopnjo integracije

Integriran ekosistem za krmiljenje gibanja

Pri sodobnih avtomatiziranih strojih postaja vse pomembnejša usklajenost mehanskih, pogonskih in krmilnih komponent. HIWIN zato svojo ponudbo vse bolj predstavlja kot celovit sistem za krmiljenje gibanja, ki povezuje linearne osi, pogone in motorje.

Takšna integracija podjetju HIWIN omogoča, da poleg posameznih komponent ponuja tudi konfigurabilne rešitve za krmiljenje gibanja. Uporabnika pri tem podpira na celotni poti – od izbire ustreznih komponent in njihovega dimenzioniranja do načrtovanja ter izvedbe večosnih sistemov.

Pogoni E2: nova generacija pogonov HIWIN

Pogoni E2 predstavljajo novo generacijo pogonov HIWIN, zasnovano za aplikacije, ki zahtevajo visoko natančnost pozicioniranja, hiter odziv, stabilnost in prilagodljivost.

S krmilno pasovno širino do 3,2 kHz pogoni E2 zagotavljajo hiter odziv krmilnega sistema in s tem natančno ter dinamično krmiljenje gibanja. Funkcija inteligentne regulacije skupaj z naprednim samodejnim uglaševanjem (auto-tuning) omogoča prilagajanje krmilnih parametrov sistema različnim pogojem obremenitve, poenostavlja nastavitev sistema in pomaga skrajšati čas zagona stroja.

Integrirane funkcije za dušenje vibracij, kompenzacijo nihanja hitrosti in kompenzacijo napak omogočajo stabilno in natančno gibanje tudi pri spremembah obremenitve ter drugih motnjah v sistemu.

Pogoni E2 so združljivi z različnimi vrstami motorjev, vključno z AC servo motorji, linearnimi motorji in navorno gnanimi motorji za rotacijske mize. Podpirajo tudi glavne industrijske komunikacijske protokole, kot so EtherCAT, PROFINET, EtherNet/IP in MECHATROLINK.

Funkcija Gantry Control omogoča natančno usklajevanje gibanja več osi v portalnih (gantry) sistemih. Model GT dodatno vključuje namenske funkcije za nanopozicioniranje in 2D-kompenzacijo napak, kar omogoča uporabo pogonov tudi v aplikacijah z visokimi zahtevami glede natančnosti.

Brezkrtačni motorji HIWIN: dinamika, natančnost in učinkovitost

Brezkrtačni motorji HIWIN dopolnjujejo rešitev za krmiljenje gibanja ter zagotavljajo visoke pospeške in pojemke, hiter odziv ter gladko gibanje.

Zaradi elektronskega krmiljenja komutacije in visoke gostote moči brezkrtačni motorji zagotavljajo učinkovito in zanesljivo delovanje ter visoke dinamične zmogljivosti v aplikacijah industrijske avtomatizacije.



Celovita rešitev: Drive E2, brezkrtačni motorji EM1 in linearne osi KHX

V kombinaciji s pogonom E2 omogoča izdelavo sistemov za gibanje z natančnim in stabilnim krmiljenjem, ki izpolnjujejo zahteve različnih industrijskih aplikacij.

Brezkrtačni motorji HIWIN so na voljo v različnih izvedbah in konfiguracijah, zato jih je mogoče uporabiti v avtomatiziranih strojih, obdelovalnih in merilnih sistemih, opremi za izvajanje preizkusov ter drugih aplikacijah.

Linearne osi KHX: modularna rešitev za različne aplikacije

Linearne osi KHX, združljive s pogoni E2 in brezkrtačnimi motorji HIWIN, predstavljajo modularno rešitev za industrijsko avtomatizacijo. Na voljo so z zobatim jermenom za visoke hitrosti in dolge hode ali s krogličnim vretenom, kjer sta pomembni večja natančnost in togost.

Modularna zasnova omogoča kombiniranje osi v eno-, dvo- ali triosne konfiguracije, vse do izdelave prilagojenih kartezičnih in portalnih sistemov (gantry). Konfiguracijo je mogoče prilagoditi zahtevam uporabnika s pomočjo digitalnih orodij za konfiguracijo in dimenzioniranje, kar poenostavlja načrtovanje in integracijo.

V kombinaciji s pogonom E2 in brezkrtačnimi motorji HIWIN osi KHX omogočajo izdelavo sistemov za gibanje, zasnovanih za zagotavljanje natančnosti, hitrosti in zanesljivosti.

Njihova področja uporabe segajo od manipulacije z materiali in aplikacij pick & place do montaže, pakiranja, rezanja, doziranja, pregledovanja in tiskanja ter številnih drugih industrijskih aplikacij. Tako predstavljajo prilagodljivo rešitev za širok spekter potreb na področju avtomatizacije.

Vir:

HIWIN s. r. l., Via Pitagora 4, 20861 Brugherio MB, Italy, tel.: 00386 31 365 717, www.hiwin.si, simon.sinkovec@hiwin.si

© Avtorji 2026. CC-BY 4.0

Krogličnа vodila za ekstremne pogoje delovanja

Bosch Rexroth je svojo ponudbo krogličnih vodil razširil z novo linijo vozičkov NRTVG, ki so namenjeni delovanju v zahtevnih pogojih, kot so vakuum in nizke oziroma visoke temperature (temperaturno območje delovanja vozičkov je med –30 °C do + 200 °C).

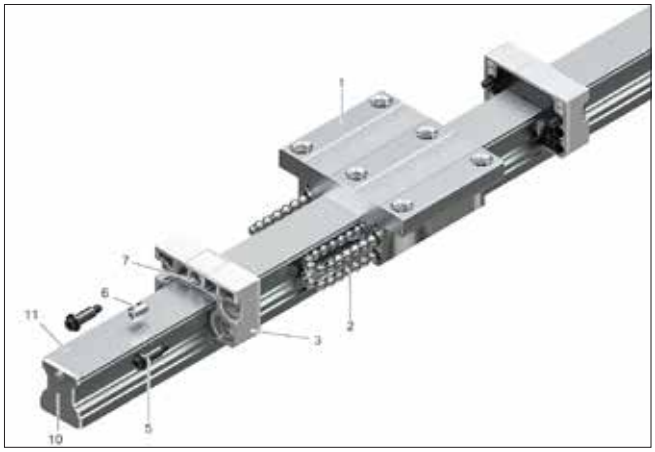
Zaradi konstrukcijske zasnove iz nerjavnega jekla (vozički so v celoti sestavljeni iz nerjavnega jekla 1.4122) se meje uporabnosti širijo na področje procesne tehnologije, čistih sob, proizvodnje polprevodnikov, baterijskih in sončnih celic ter zaslonov.

Komponente vozičkov NRTVG / material

1. Ohišje krogličnega vozička / jeklo odporno proti koroziji 1.4122 / X39CrMo17-1
2. Kroglice / jeklo odporno proti koroziji 1.4112 / X90CrMoV18
3. Povratni kanal / jeklo odporno proti koroziji 17-4PH (1.4542 / X5CrNiCuNb17-4)
4. Jeklena ležajna plošča / jeklo odporno proti koroziji 1.4116 / X50CrMoV15
5. Prirobnični vijaki / jeklo odporno proti koroziji 1.4303 / X4CrNi18-12
6. Nastavni vijaki / jeklo odporno proti koroziji 1.4301 / X5CrNi18-10 (A2-21H)
7. Mazalni priključek / jeklo odporno proti koroziji 1.4303 / X4CrNi18-12 (A2-21H)
8. FKM tesnilo (opcija)
9. Brisalec (opcija) / jeklo odporno proti koroziji 1.4306
10. Vodilna krogličnа tirnica / jeklo odporno proti koroziji 1.4116 / X50CrMoV15
11. Pokrivni trak / jeklo odporno proti koroziji 1.4310

Vozički v kombinaciji z nerjavnimi tirnicami omogočajo hitrosti premikanja do 5 m/s in pospeške do 500 m/s2 in delovanje v temperaturnem območju od –30 °C do +200 °C.

Vozički so trenutno dobavljivi v standardnih velikostih od 15 do 30, v izvedbah FNS in SNS ter v dveh prednapetostnih in točnostnih razredih.



Sestava vozička



Oblike vozičkov

Novi program je dimenzijsko kompatibilen z obstoječim programom BSHP, kar omogoča medsebojno zamenljivost vozičkov.

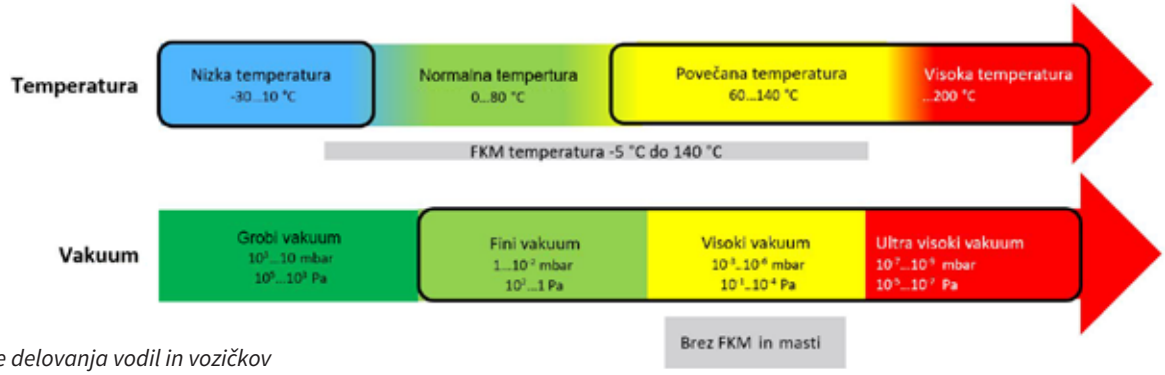
Prav tako smo razširili program izdelkov BSCL, ki so primerni za aplikacije z nižjimi zahtevami glede zmogljivosti in tako dopolnjujejo niz visoko natančnih Rexroth BSHP-vodil. BSCL-vodila so posebej primerna za uporabo pri montažnih in vpenjalnih napravah, varilnih pripravah, aplikacijah za rezanje kovin, sistemih za obdelavo lesa in strojna orodja, kjer nista zahtevani visoka natančnost in zmogljivost. Program BSCL je cenovno zelo ugoden in ima naslednje karakteristike:

- nosilnost C100dyn do 79.200 N,
- največja hitrost do 5 m/s,
- pospeški do 500 m/s^2.

Vir:

La & Co. inženiring, proizvodnja, trgovina d. o. o., Limbuška cesta 2, 2341 Limbuš, tel.: 02 429 26 60, e-pošta: info@la-co.si, www.la-co.si, g. Ivan Muršec

© Avtorji 2026. CC-BY 4.0



Območje delovanja vodil in vozičkov

Vakuumske enote EZA: do 90 % manjša poraba stisnjenega zraka pri vakuumskem prijemanju

Stisnjeni zrak je eden najdražjih energentov v proizvodnji, vakuumsko prijemanje pa ga porabi presenetljivo veliko. Vakuumsko prijemanje z ejektorji porablja stisnjeni zrak, pri običajnih izvedbah pa se ta porablja tudi po doseženem nivoju vakuuma.

Pri S3C, d. o. o., zato ponujamo vakuumske enote EZA proizvajalca E-MC, ki z energijsko varčno funkcijo zmanjšujejo porabo stisnjenega zraka: vakuum ustvarjajo le takrat, ko je to potrebno.

Kako deluje energijsko varčna funkcija?

Vakuumska enota EZA v energijsko varčni izvedbi ima vgrajeno programirano vakuumsko stikalo, ki sproti spremlja nivo vakuuma:

1. Enota ustvari vakuum in obdelovanec je prijet.
2. Ko je dosežena nastavljena vrednost vakuuma, stikalo samodejno prekine dovod stisnjenega zraka.
3. Če vakuum pade pod nastavljeno mejo, se ustvarjanje vakuuma za kratek čas znova vklopi.

Rezultat je do 90 % nižja poraba stisnjenega zraka, odvisno od aplikacije. Pri aplikacijah z veliko prijemi na uro se prihranek stisnjenega zraka pomembno zmanjša.

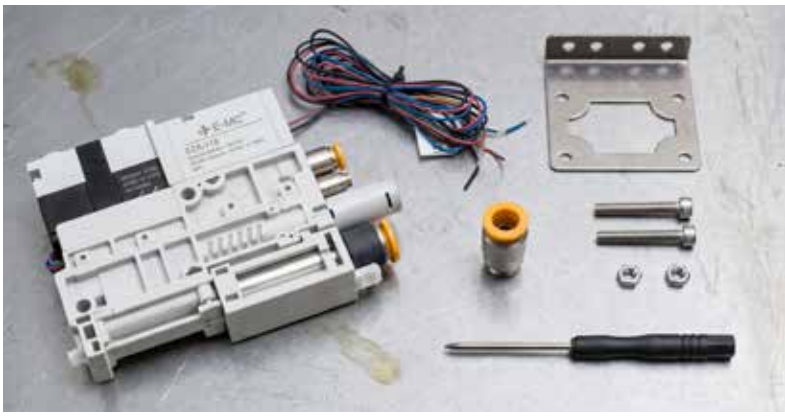
Kje so vakuumske enote EZA še posebej uporabne?

Vakuumske enote EZA so primerne za skoraj vse aplikacije vakuumskega prijemanja, na primer:

- pakiranje in paletiranje,
- robotika in pick & place sistemi,
- obdelava pločevine, stekla in plastike,
- montažne linije in avtomatizirane strežne naprave,
- prehrambena in logistična industrija.

Ključne prednosti

- do 90 % manjša poraba stisnjenega zraka: energijsko varčna izvedba z vakuumskim stikalom,
- vse v eni enoti: ejektor, dovodni ventil, ventil za odlaganje in dušilec v enem kompaktnem ohišju,
- varnost pri izpadu napajanja: izvedba s funkcijo samodejnega zadrževanja ohrani vakuum tudi ob izpadu napajanja,
- enostavna vgradnja: montaža na DIN-letev ali posamično s priloženim nosilcem,
- nadzor procesa: vakuumsko stikalo s 4-mestnim LED-prikazom ter preklopnimi in analognim izhodom,



Vakuumske enote EZA

- majhna poraba električne energije: 0,8 W na ventil.

Izvedbe

Vakuumske enote EZA so na voljo v 21 izvedbah s šobami premera 0,7, 1,0, 1,2 in 1,5 mm:

- standardna izvedba, brez vakuumskega stikala,
- izvedba s funkcijo samodejnega zadrževanja, ki ohrani vakuum ob izpadu napajanja,
- izvedba z vakuumskim stikalom: 2 preklopna izhoda in 1 analogni izhod,
- energijsko varčna izvedba z vakuumskim stikalom in samodejnim izklopom.

Tehnične lastnosti:

- delovni tlak: 3–6 bar,
- medij: filtriran, nenaoljen stisnjeni zrak,
- temperaturno območje: 0 °C do +50 °C,
- krmilna napetost: 24 V DC (±10 %), zaščita IP40,
- priključki: vakuum 8 mm, dovod zraka 6 mm (hitri priključki),
- vakuumsko stikalo (odvisno od izvedbe): 4-mestni LED-prikaz, 1 ali 2 preklopna izhoda PNP/NPN (NO, NC, okno, histereza), analogni izhod 1–5 V,
- materiali: ohišje iz plastike, tesnila NBR.
- Obseg dobave: enota z montiranim dušilcem, kablom in nosilcem. Dušilec lahko zamenjate s priloženim 8-mm priključkom za zaprt odvod izpušnega zraka.
- Primer (EZA 07 K): šoba 0,7 mm, sesalna moč 26 l/min, vakuum do –0,85 bar, poraba zraka 15 l/min.

Vir:

S3C, d. o. o., Tržaška cesta 116, 1000 Ljubljana, T :01 423 22 22, splet: www.s3c.si, e-mail: alenka.debeljak@s3c.si

© Avtorji 2026. CC-BY 4.0

strojnistvo.com
knjižnice strojnikov

Kabelske uvodnice in dodatki za vsako področje uporabe

Kjer kabli ali vodi prehajajo skozi steno ohišja, sta potrebna razbremenitev napetosti in zanesljivo tesnjenje. Elesa+Ganter sedaj ponuja ustrezne kabelske uvodnice s priborom in tremi različnimi izvedbami navojev.

Kabelske uvodnice so preizkušene in standardizirane komponente, ki so sedaj na voljo tudi pri podjetju Elesa+Ganter v številnih velikostih in vrstah navojev. Standardne komponente z oznako GN 62444 so nepogrešljive v strojegradnji in gradnji industrijskih postrojenj ter povsod, kjer je potrebno kable, cevi ali vode napeljati skozi ohišje ali predelno steno, npr. v stikalnih omaricah, varilnih strojih, akumulatorskih sistemih ali polnilnih postajah za električna vozila, če naštejemo le nekaj primerov uporabe. Uvodnice fiksirajo kable na mestu vstopa in s tem zagotavljajo razbremenitev napetosti in tesnjenje – pri kabelskih uvodnicah Elesa+Ganter se to doseže s trpežnim in zanesljivim tesnilnim in vpenjalnim vložkom iz kloroprenske gume.

Elesa+Ganter ponuja kabelske uvodnice s premerom vpenjanja kablov od 3 do 44 mm in tremi vrstami navojev: metrične vrste v dimenzijah od M12 do M63, tako imenovane oklepne navoje od PG 7 do PG 48 in palčne NPT-navoje s stožčasto obliko (zlasti za ameriški trg). Čeprav so PG-navoje že zdavnaj nadomestili metrični navoji standardnih dimenzij, so PG--uvodnice še vedno nepogrešljive in predstavljajo rešitve pri popravilih, naknadni vgradnji ali predelavi starih sistemov. Elesa+Ganter ponuja vse tri oblike v črnem ali sivem termoplastu (poliamid, PA), pa tudi v medenini (razen različic NPT) in nerjavnem jeklu. Za večino aplikacij je različica iz umetne mase prva izbira in ponuja najboljše razmerje med ceno in zmogljivostjo. Elesa+Ganter priporoča visokokakovostne kovinske različice za uporabo v okoljih, kjer se pričakujejo zahtevni pogoji in večje obremenitve.

Seveda lahko pri Elesa+Ganter naročite tudi ustrezne dodatke:

- Tanke pritrdilne matice GN 62444.1 iz medenine ali nerjavnega jekla ter matice CGT-NTC iz termoplasta, ojačanega s steklenimi vlakni (poliamid, PA), omogočajo pritrditev uvodnic v ohišjih s tanko steno ali predelnih stenah, kjer so izvedljive le izvrtine brez navoja.
- Tesnilni vijaki iz medenine GN 62444.2 ali tesnilni vijaki iz termoplasta (poliamid, PA), ojačanega s steklenimi vlakni CGT-TC, varno zaprejo obstoječe neuporabljene izvrtine ohišja.
- Večkratni tesnilni vložki CGA-MS iz termoplastičnega elastomera omogočajo hkraten prehod do osmih posameznih kablov skozi standardno kabelsko uvodnico, kar prihrani izjemno veliko prostora, časa in denarja.
- Reducirni nastavki GN 62444.4 in CGT-HR omogočajo uporabo manjših kabelskih uvodnic, npr. v ohišjih z večjimi standardnimi izvrtinami.



Kabelske uvodnice

Vir:

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

© Avtorji 2026. CC-BY 4.0

Strojniški vestnik
Journal of Mechanical Engineering
https://www.sv-jme.eu

HAWE Hydraulik predstavlja hidravlično enoto INKA 3: kompaktnejša, inteligentnejša, učinkovitejša

Z novim kompaktnim hidravličnim agregatom INKA 3 podjetje HAWE Hydraulik širi svojo ponudbo z zmogljivo in prilagodljivo rešitvijo za industrijske aplikacije. V primerjavi s predhodnim modelom KA 2 novi model prinaša številne izboljšave na področju učinkovitosti, digitalizacije in možnosti integracije.

Dva od poudarkov razvoja sta bila digitalizacija in nadzor sistema z integriranim večsenzorskim sistemom za merjenje ravni tekočine in temperature. Senzorji so nameščeni na zunanji strani hidravličnega agregata ter jih je mogoče povezati s krmiljem stroja preko stikalnih izhodov ali komunikacijskega vmesnika IO-Link. INKA 3 tako podpira sodobne koncepte avtomatizacije. Alternativno je hidravlični agregat na voljo tudi brez senzorjev.

Z uporabo motorja, potopljenega v olju, INKA 3 dosega visoko gostoto moči ob kompaktni zasnovi. Na voljo so različni tipi motorjev, vključno z energetsko učinkovitimi motorji IE3. Zahvaljujoč optimiziranim ležajem in prenovljeni zasnovi gredi hidravlični agregat deluje tudi tišje kot predhodni model KA 2. INKA 3 se lahko opremi z zobniško črpalko, radialno batno črpalko in dvostopenjsko črpalko. Glede na izvedbo so možni delovni tlaki do 700 bar in pretoki do 23 l/min. Največja uporabna prostornina rezervoarja olja je 14 litrov.

Za enostavno integracijo je mogoče neposredno priključiti tako uveljavljene ventilske sklope HAWE kot tudi nove tipe CBA s standardnim priključnim vzorcem CETOP 3 ter sklop ventilov CVH. Dodatni povratni vodi in različni priključni bloki širijo možnosti uporabe.



Nova kompaktna hidravlična enota INKA 3 podjetja HAWE Hydraulik z neposredno pritrjenim sklopom sedežnih ventilov CVH

INKA 3 je še posebej primerna za obdelovalne stroje, stiskalnice, hidravlična orodja, žage, brusilne stroje in vetrne turbine. Z večjo uporabno prostornino, inteligentno senzorsko tehnologijo in kompaktno zasnovo ta kompaktna hidravlična enota ponuja sodobno rešitev za zahtevne hidravlične aplikacije.

Pregled najpomembnejših značilnosti:

- 20 % večja uporabna prostornina pri enaki polnilni prostornini v primerjavi s predhodnim modelom KA 2;
- nizka raven hrupa, zahvaljujoč optimizirani zasnovi ležajev in gredi;
- inteligentni senzorji za merjenje nivoja tekočine in temperature s stikalnimi izhodi ali z IO-Link povezavo za neposredno povezavo s krmiljem stroja;
- prilagodljiva za široko paleto uporabnih področij, zahvaljujoč pokončni ali vodoravni namestitvi, individualno nastavljivim dolžinam rezervoarjev ter široki izbiri ventilov in priključkov.

Vir:

HAWE Hidravlika, d. o. o., Ob Dragi 7, 3220 Štore, tel.: +386 3 8888 120, e-mail: k.les@hawe.si, internet: www.hawe.si

© Avtorji 2026. CC-BY 4.0

POSVET
AVTOMATIZACIJA STREGE IN MONTAŽE 2026 - ASM `26
03. decembra 2026
na Gospodarski zbornici Slovenije v Ljubljani
SCAN ME
aktualne novice o posvetu so na voljo na www.posvet-asm.si

PIAB: Vakuumski priseski BLFF42 in BLFF55, prilagodljivi za najzahtevnejše rokovanje

Nova družina vakuumskih priseskov BLFF42 in BLFF55 proizvajalca PIAB je namenjena zanesljivemu večkosovnemu prijemanju različnih izdelkov in embalažnih formatov. Zaradi prilagodljivega tesnilnega roba, optimizirane zasnove meha in velikega pretoka zraka zagotavlja stabilno prijemanje vreč, folij, kartonov in pladnjev različnih oblik in površin.

Različice

Za bolj prilagodljive aplikacije je na voljo različica *Medium*, ki združuje prožnost in stabilnost. Primerna je za vakuumski pretok do ca. 250 Nl/min.

O proizvajalcu PIAB

Proizvajalec PIAB razvija avtomatizacijske in trajnostne rešitve za varnejša in učinkovitejša delovna mesta v avtomatiziranem svetu. Njihova vizija je avtomatiziran svet, v katerem se ne zapravljajo nobeni viri in noben človek ni poškodovan.



Vakuumski prisesek BLFF42

Različica *Hard* je namenjena večjim obremenitvam in dinamičnim gibom, saj večja togost gume zmanjšuje premikanje vakuumskega priseska pri pospeševanju. Primerna je za vakuumski pretok do ca. 500 Nl/min.

Vakuumski priseski BLFF so izdelani iz odpornega TPE-materiala in zasnovani za zahtevne pogoje dela in dolgo življenjsko dobo. Premera Ø 42 in Ø 55 mm ter različne izvedbe priključkov in možnosti filtriranja omogočajo prilagoditev konkretnim zahtevam avtomatiziranega procesa.

Nova družina vakuumskih priseskov BLFF42 in BLFF55 je tako zanimiva rešitev za sodobno skladiščno, logistično in proizvodno avtomatizacijo, kjer sta ključna zanesljiv oprijem in prilagodljivost pri rokovanju z raznolikimi izdelki.

Vir:

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

© Avtorji 2026. CC-BY 4.0



ZIMMER GROUP: Pritrdilni elementi in zavore serije CBPS



Kompaktno vpenjanje in varno zaviranje pnevmatskih cilindrov. Kompaktna zasnova, visoka zadrževalna sila in varna funkcija zaviranja.

ZIMMER GROUP predstavlja serijo CBPS, kompaktne pnevmatske elemente za vpenjanje in zaviranje batnic pnevmatskih cilindrov. Rešitev je namenjena aplikacijam, kjer so pomembne majhne vgradne mere, visoka zadrževalna sila in zanesljivo zadržanje položaja tudi ob izgubi energije.

Elementi CBPS delujejo na principu »energize to open« (NC) – v breztlačnem stanju jih zapre vzmetni hranilnik energije, za sprostitev pa je potreben pnevmatski tlak. Serija je združljiva s standardnimi cilindri po DIN EN ISO 15552 in kompaktnimi cilindri po DIN EN ISO 21287.

CBPS dosega visoke zadrževalne sile že pri relativno nizkem delovnem tlaku 4 bar. Glede na izvedbo zagotavlja zadrževalne sile od približno 1.360 do 5.420 N pri delovnem tlaku 4–6,5 bar.

Pomembna prednost je tudi dolga življenjska doba. Proizvajalec navaja do 5 milijonov statičnih vpenjalnih ciklov (B10d), kar omogoča uporabo v zahtevnih industrijskih aplikacijah.

Serija CBPS ni namenjena le pozicioniranju in vpenjanju, temveč zagotavlja tudi varno zaviranje ob izgubi energije. Za zanesljivo spremljanje stanja je mogoče zaznavati odprt oziroma zaprt položaj z magnetnimi senzorji. Standardiziran adapter omogoča enostavno povezavo s pnevmatskimi cilindri, priključki za zrak pa so na voljo na bočni in čelni strani.

Več informacij o izdelkih ZIMMER GROUP dobite pri podjetju INOTEH, d. o. o.

Vir:

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

© Avtorji 2026. CC-BY 4.0



Parker Viking Xtreme ISO: kompaktni pnevmatski ventili za zahtevne pogoje uporabe

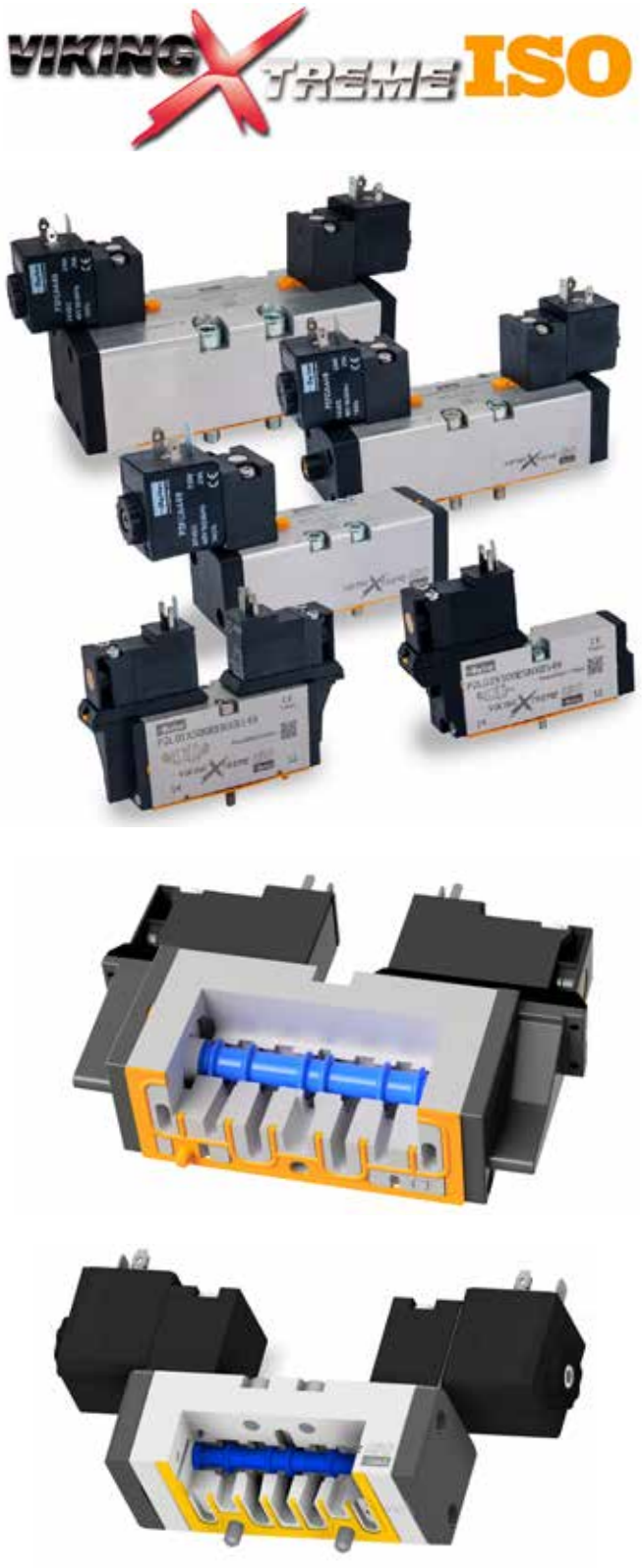
Parker Hannifin predstavlja serijo pnevmatskih ventilov Viking Xtreme ISO, robustno in kompaktno družino ventilov s podnožjem, zasnovano za splošne industrijske in mobilne aplikacije. Serija razširja družino Viking Xtreme ter združuje standardizirano vgradnjo, velike pretoke in široko območje delovanja.

Ventili so skladni s standardom ISO 15407-1 v velikostih 02 in 01 ter ISO 5599-1 v velikostih 1, 2 in 3. Uporabni so na različnih področjih, vključno z industrijsko avtomatizacijo, avtomobilsko in železniško industrijo, kmetijsko mehanizacijo, živilsko industrijo, naftno in plinsko industrijo ter gozdarsko opremo.

Ventile je mogoče namestiti na posamezno podnožje ali jih povezati v sestavljiv ventilski otok. Ta omogoča razdelitev sistema na tlačne cone, kar je uporabno pri centraliziranih pnevmatskih sistemih. Izbiro notranjega ali zunanjega pilotskega krmiljenja je mogoče prilagoditi neposredno na mestu uporabe. Takšna zasnova omogoča prilagodljivo konfiguracijo sistema in njegovo lažje prilagajanje zahtevam posamezne aplikacije.

Ključna tehnična lastnost serije je Parkerjeva tehnologija drsnika z oblikovano polimerno prevleko (over-molded spool), ki zagotavlja zanesljivo preklapljanje in dolgo življenjsko dobo. Dvosmerni drsnik deluje v temperaturnem območju od –40 °C do +70 °C pri delovnem tlaku od vakuuma do 10 bar. Pri izvedbah s pnevmatskim daljinskim pilotnim krmiljenjem je največji delovni tlak 16 bar. Glede na velikost ventila znaša pretok od 540 Nl/min (0,55 Cv) do 5.900 Nl/min (6,01 Cv).

Za mobilne in druge zahtevne aplikacije so na voljo standardne in za mobilno uporabo certificirane elektromagnetne tuljave z več napetostnimi izvedbami ter možnost uporabe daljinskega pilotskega ventila. Mobilne izvedbe so prestale preskuse odpornosti proti udarcem in vibracijam po standardu IEC 6173:1999, kategorija 1, razred B. Odpornost proti koroziji dodatno izboljšujejo pritrdilni elementi iz nerjavnega jekla na koncih ventilov. Za preverjanje odpornosti v zahtevnih okoljskih razmerah je serija prestala tudi več kot 1.000 ur preskušanja v slani megli.



Parker Viking Xtreme ISO

Vir:

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

© Avtorji 2026. CC-BY 4.0

SMC IZSW10 – razelektritvena letev, primerna za pranje pod tlakom

SMC, globalni specialist za avtomatizacijo, je razširil svojo ponudbo izdelkov za nadzor statične elektrike z uvedbo serije IZSW10 – novega ionizatorja v obliki letve s stopnjo zaščite IP66, zasnovanega za zanesljivo delovanje v prašnih in vlažnih okoljih, kjer je potrebno pogosto pranje. IZSW10 združuje hitro nevtralizacijo statične elektrike z dolgim dosegom, izbirnimi načini generiranja ionov, enostavnim vzdrževanjem ter higiensko zasnovo.



IZSW10 razelektritvena letev s stopnjo zaščite IP66

Zasnovan za zahtevna okolja

Nadzor elektrostatike v prehrambeni in farmacevtski industriji, v industriji pijač ter v splošnih avtomatizacijskih okoljih je pogosto ogrožen zaradi prahu v zraku, vlage in pogostih ciklov čiščenja. IZSW10 se s temi izzivi spopada neposredno s popolnoma na prah in vodo odpornim ohišjem (enakovredno stopnji IP66). Ko je naprava izklopljena, jo je mogoče varno oprati, njeno gladko, zaobljeno ohišje pa preprečuje nabiranje tekočine in prispeva k higienski zasnovi stroja.

Robustnost je dodatno izboljšana s kovinskimi komponentami iz nerjavečega jekla in elektrodami iz volframa, medtem ko zasnova nosilcev elektrod preprečuje nenameren stik prstov z območjem visoke napetosti. Za boljšo preglednost imajo operaterji na voljo LED-indikatorje, vidne iz dveh smeri, ki omogočajo hiter pregled stanja tudi v težje dostopnih prostorih.

Hitro odstranjevanje statične elektrike na velike razdalje

IZSW10 zagotavlja izjemno zmogljivost v širokem spektru uporabe z različnima načinoma ustvarjanja ionov – enosmernim (DC) in dvojnim izmeničnim (Dual AC).

- V načinu DC ionizator doseže nevtralizacijo statične elektrike v zgolj 0,2 sekunde na razdalji 100 mm, zato je idealen za aplikacije, ki zahtevajo hiter odziv, kot so pakiranje, ravnanje s folijo in prenos komponent.
- V načinu Dual AC in v kombinaciji z izpihovalnim zrakom pri tlaku 0,5 MPa model IZSW10 omogoča nevtralizacijo na velike razdalje do 500 mm s časom razelektritve 0,9 sekunde.

Izbirna funkcija izpihovanja zraka poveča zmogljivost, saj v primerjavi z delovanjem brez zraka približno trikrat poveča razdaljo elektrostatične nevtralizacije. Ta pretok zraka prispeva tudi k zmanjšanju onesnaženja elektrod, s čimer se podaljša življenjska doba in ohranijo stabilne lastnosti razelektritve.

Stabilno ionsko ravnovesje in manj vzdrževanja

Da bi zagotovili zanesljivo in enakomerno odpravljanje statične elektrike po celotni dolžini letve, ima model IZSW10 vgrajeni funkciji samodejnega uravnavanja (Auto balance) in povprečenja (Averaging). Ti funkciji ohranjata napetostni odmik v območju ±30 V (Dual AC z izpihovalnim zrakom pri 300 mm) ter kompenzirata obrabo ali onesnaženje elektrod, s čimer podaljšata intervale vzdrževanja.

Vzdrževanje je dodatno poenostavljeno z:

- zamenljivimi kartušami z elektrodami (več tipov glede na potreben pretok izpihovalnega zraka);
- izhodnim signalom za opozarjanje na potrebo po vzdrževanju;
- opcijskim kompletom za čiščenje elektrod in
- s prilagodljivimi rešitvami priklopa zraka, vključno z enostranskim ali dvostranskim dovodom zraka ter izbiro fitingov iz nerjavečega jekla ali fitingov, skladnih s standardom EHEDG.

Zahvaljujoč novi zasnovi kartuše model IZSW10 pri uporabi kartuše z visokim pretokom na razdalji 600 mm doseže približno 14 % krajši čas razelektritve v primerjavi s starejšo zasnovo kartuš.

Kompakten, prilagodljiv in enostaven za vgradnjo

IZSW10 je na voljo v petih dolžinah – 400, 580, 760, 940 in 1120 mm, kar omogoča uporabo od ozkih transportnih trakov do procesov z večjimi površinami. Glede na dolžino tehta med 0,87 in 1,44 kg, kar omogoča enostavno namestitev na lahka ogrodja ali mobilno opremo.

Električna integracija je preprosta zaradi standardnega industrijskega 24 VDC napajanja, NPN/PNP-vhodov in izhodov ter funkcij, ki vključujejo zaustavitev generiranja ionov, zaznavanje potrebe po vzdrževanju, zaznavanje nepravilnosti visoke napetosti in preverjanje alarmov.

Nov standard na področju preprečevanja statične elektrike v zahtevnih okoljih

V panogah, kjer se ravna s folijami, praški, lahkimi deli ali občutljivimi embalažnimi materiali, lahko pride do večjih izgub produktivnosti zaradi težav, povezanih s statično elektriko, kot so nalaganje prahu, motnje pri podajanju, lepljenje, gubanje ali onesnaženje. IZSW10 ponuja robustno rešitev, primerno tudi za pranje pod tlakom, ki v eni sami platformi združuje hitrost, doseg, stabilnost in higiensko zasnovo.

Za proizvajalce strojev in končne uporabnike, ki iščejo naprave za odpravo statične elektrike z zanesljivim delovanjem v zahtevnih pogojih, brez kompromisov pri zmogljivosti, je model IZSW10 optimalna izbira. IZSW10 izstopa kot edini ionizator v obliki letve s stopnjo zaščite IP66, ki ponuja izbirne načine ustvarjanja ionov in možnost izpihovanja zraka za elektrostatično nevtralizacijo tako pri visokih hitrostih kot na velike razdalje.

Vir:

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

© Avtorji 2026. CC-BY 4.0

IRT 3000 INOVACIJE • RAZVOJ • TEHNOLOGIJE

SPLAČA SE BITI NAROČNIK

IRT 3000 INOVACIJE • RAZVOJ • TEHNOLOGIJE



ZA SAMO 50€ DOBITE:
- celoletno naročnino na revijo IRT3000 (10 številk)
- 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

IRT 3000 ADRIA INOVACIJE • RAZVOJ • TEHNOLOGIJE



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

INDUSTRIJSKI FORUM IRT 2027

NEPOGREŠLJIV VIR INFORMACIJ ZA STROKO

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

FORUM ZNANJA IN IZKUŠENJ

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



Portorož, 7. in 8. junij 2027

Dodatne informacije: Industrijski forum IRT, Motnica 7 A, 1236 Trzin I tel.: +386 51 322 442 I e-naslov: info@forum-irt.si
Organizator dogodka: PROFIDTP, d. o. o., Gradišče VI 4, 1291 Škofljica I Organizacijski vodja dogodka: Darko Švetak, darko.svetak@forum-irt.si

www.forum-irt.si

Toplotna postaja ni le izmenjevalec toplote, je srce vsakega sodobnega sistema daljinskega ogrevanja

V sistemih daljinskega ogrevanja se največ pozornosti pogosto namenja viru toplote, precej manj pa komponenti, ki toploto prenaša v objekt. Prav to nalogo opravlja toplotna postaja, ki predstavlja povezavo med vročevodnim omrežjem in internim ogrevalnim sistemom stavbe.

Njena naloga ni zgolj prenos energije. Kakovostna toplotna postaja mora zagotavljati natančno regulacijo temperature, visoko energetsko učinkovitost, zanesljivo hidravlično delovanje, enostavno servisiranje ter dolgo življenjsko dobo vseh vgrajenih komponent.

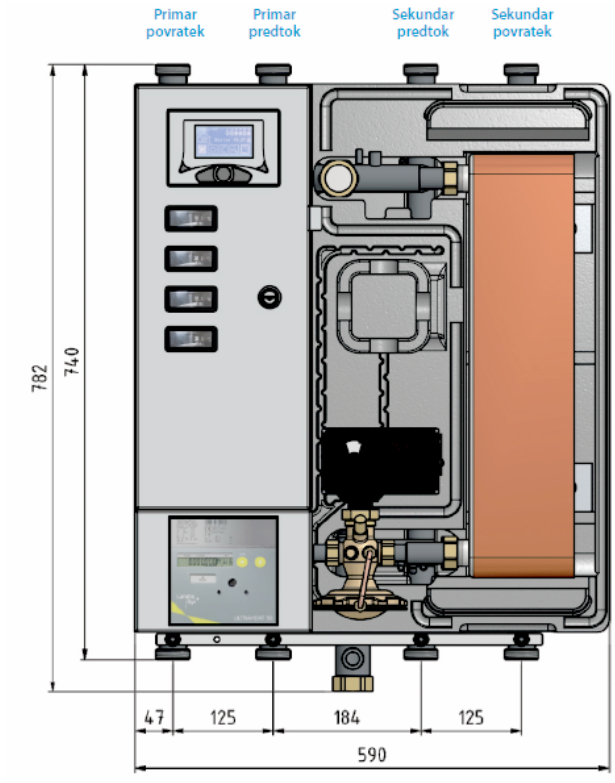
Pri GIA-S smo zato razširili zalogo Giaflex stenskih toplotnih postaj, namenjenih hitri in enostavni vgradnji v različne objekte z daljinskim ogrevanjem.

Dve izvedbi za različne potrebe

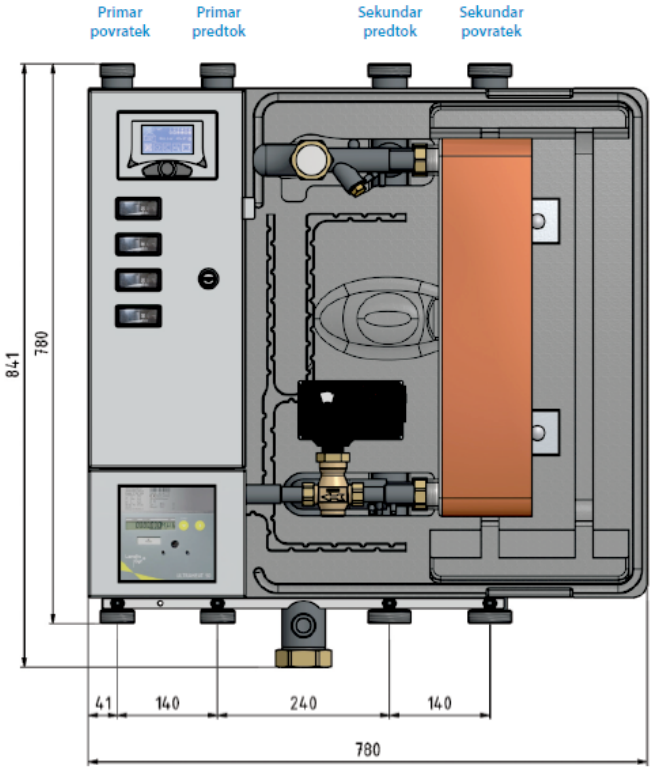
Program Giaflex obsega dve standardni stenski izvedbi:

Giaflex S:
- toplotna moč od **10** do **60 kW**,
- kompaktne izvedbe,
- idealna za stanovanjske objekte, manjše poslovne stavbe in individualne priklope.

Giaflex L:
- toplotna moč od **50** do **150 kW**,
- večji pretoki in višje moči,
- primerna za večstanovanjske objekte, poslovne stavbe in zahtevnejše ogrevalne sisteme.



Stenska toplotna postaja Giaflex S



Stenska toplotna postaja Giaflex L

Seveda pa standardne stenske izvedbe predstavljajo le del naše ponudbe. Za večje moči oziroma posebne zahteve izdelujemo tudi kompaktne samostoječe toplotne postaje z lastnim jeklenim okvirjem, popolnoma prilagojene posameznemu projektu.

Zakaj je pomembna indirektna povezava sistema?

Giaflex toplotne postaje uporabljajo ploščni toplotni prenosnik, ki hidravlično ločuje primarni sistem daljinskega ogrevanja od sekundarnega ogrevalnega sistema objekta.

Takšna izvedba prinaša več pomembnih prednosti:

- zaščito internega ogrevalnega sistema pred previsokim tlakom, temperaturo in kakovostjo vode iz omrežja,
- večjo obratovalno varnost,
- enostavnejše vzdrževanje,
- večjo fleksibilnost pri izbiri temperaturnih režimov ogrevanja.

Toplotna energija se prenaša preko ploščnega prenosnika, medtem ko regulacijski ventil na primarni strani natančno uravnava pretok vode glede na trenutno potrebo objekta. Krmilnik regulira temperaturo predtoka na sekundarni strani na osnovi ogrevalne krivulje in zunanje temperature, kar omogoča stabilno notranjo klimo ob hkratni optimizaciji porabe energije.

Kaj se skriva v notranjosti kakovostne toplotne postaje?

Čeprav je Giaflex toplotna postaja prostorsko varčna, vsebuje vse ključne elemente sodobnega regulacijskega sistema:

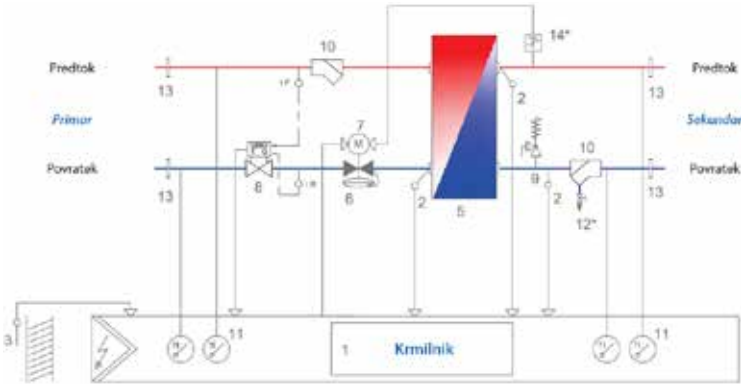
- DDC-regulator,
- regulacijski ventil z elektromotornim pogonom,
- ploščni prenosnik toplote,
- ultrazvočni merilnik toplote,
- potopna in zunanja temperaturna tipala,
- lovilnike nečistoč,
- varnostni ventil,
- elektro omaro,
- merilne elemente in priključke.

Vsaka komponenta ima svojo nalogo. Regulacijski ventil skrbi za natančno regulacijo pretoka medija, tipala zagotavljajo pravilno delovanje regulacije, lovilniki nečistoč ščitijo občutljive komponente pred delci iz cevovoda, merilnik toplote pa omogoča natančen obračun porabljene energije.

Konstrukcijske podrobnosti, ki naredijo razliko

Prava kakovost toplotne postaje se pokaže šele med obratovanjem in servisiranjem.
Giaflex postaje zato vključujejo številne tehnične rešitve, ki olajšajo montažo in zmanjšujejo stroške vzdrževanja:

- vsi cevni razvodi so v celoti varjeni,
- komponente so povezane s ploščatimi tesnili brez uporabe navojnih tesnil,
- posamezne komponente je mogoče hitro zamenjati,
- lovilniki nečistoč so lahko dostopni in omogočajo enostavno izpiranje,



Strojna shema Giaflex S_L

- vsi toplotni elementi so izolirani z inovativno »**sendvič-klik**« **izolacijo** iz ekspandiranega polipropilena,
- priključke je mogoče izvesti zgoraj ali spodaj, kar močno olajša prilagoditev različnim strojnim instalacijam.

Gre za podrobnosti, ki jih uporabnik pogosto opazi šele po nekaj letih obratovanja, monterji in serviserji pa jih cenijo že ob prvi montaži.

Pripravljeno za sodobne ogrevalne sisteme

Giaflex stenske toplotne postaje omogočajo tudi razširitve glede na potrebe posameznega objekta:

- modul za pripravo sanitarne tople vode,
- moduli mešalnih ogrevalnih krogov,
- dodatni varnostni elementi,
- različne izvedbe napajanja in regulacije,
- možnost vgradnje različnih izmenjevalcev toplote.

Velika zaloga za hitre dobavne roke

Da bi investitorjem in izvajalcem zagotovili čim krajše dobavne roke, smo v GIA-S občutno povečali zalogo Giaflex stenskih toplotnih postaj.

Na voljo imamo večje število izvedb Giaflex S in Giaflex L, zato lahko za številne projekte zagotovimo bistveno hitrejšo dobavo kot pri klasičnih projektnih izvedbah.

Če projekt zahteva drugačno konfiguracijo, večje moči ali posebne hidravlične rešitve, izdelamo tudi kompaktne samostoječe toplotne postaje po naročilu, popolnoma prilagojene zahtevam posameznega sistema.

Zastopnik za Slovenijo
GIA
GIA-S industrijska oprema d.o.o.
Industrijska cesta 1K,
1290 Grosuplje
www.gia.si
info@gia.si
+386 1 7865 300

Ne glede na velikost projekta ostaja cilj enak: zanesljiv prenos toplote, natančna regulacija in dolgoročno učinkovito delovanje ogrevalnega sistema.

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

© Avtorji 2026. CC-BY 4.0

Črpalka iSTEP M, dobitnica nagrade PLUS X AWARD 2026

Mojca Gros

Nova črpalka iSTEP M proizvajalca sera AQUA združuje inteligenten pogonski koncept z natančnostjo membranske dozirne črpalke in postavlja nove standarde na področju ponovljivosti in zanesljivosti.



Črpalke iSTEP se upravljajo preko odstranljivega krmilnega elementa, ki omogoča hitro nastavitev več črpalk z enako funkcijo.

Z variabilno regulacijo števila vrtljajev in pretokom od 0,075 l/h (protitlak 10 bar) do 200 l/h (protitlak 4 bar) so možnosti uporabe skoraj neomejene. Upravljanje je intuitivno, črpalka ima dolgo življenjsko dobo in je še posebej primerna za zahtevne dozirne naloge.

Upravljanje črpalk iSTEP poteka preko odstranljivega krmilnega elementa s pomočjo tipk in vrtljivega gumba. To omogoča hitro nastavitev več črpalk. Parametri ene črpalke iSTEP-a se lahko shranijo v krmilno enoto, ki jo je nato mogoče povezati z drugimi črpalkami in prenesti shranjene nastavitve na njih. Črpalke jemogoče upravljati brez krmilne enote, saj ima črpalka na ohišju LED-indikator stanja ter tipko za zagon in ustavitev.

Področja uporabe:

- doziranje klora za pripravo pitne vode,
- doziranje flokulantov pri čiščenju odpadnih voda,
- doziranje pomožnih flokulantov,
- uporaba v CIP-sistemih.

Vhodi in izhodi

3 vhodi z možnostmi programskega določanja njihove funkcije:

- 3× digitalni vhodi,
- 2× analogna vhoda 0/4…20 mA,
- 2× digitalna izhoda,
- 1× analogni izhod za signal 0/4…20 mA.

Vsi vhodi in izhodi so prosto nastavljivi.

Prednosti:

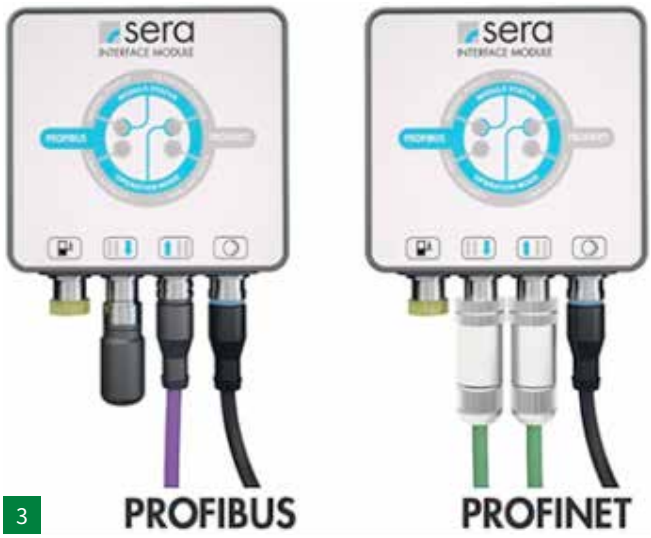
- izjemno širok razpon zmogljivosti z eno samo črpalko,
- nastavitveno območje 1 : 1000 omogoča natančno prilagajanje pretoka,
- doziranje z majhnim pulziranjem,
- mikroprocesorsko krmiljen pogon,
- možnost daljinskega upravljanja,
- energijsko učinkovita pogonska tehnologija.



Črpalka iSTEP M omogoča nastavitev funkcij za posamezne dni v tednu in ima časovnik z 10 pomnilniškimi mesti.

Mojca Gros, Hennlich, d. o. o., Kranj, gros@hennlich.si

© Avtorji 2026. CC-BY 4.0



3

Pro+ krmilna elektronika črpalke se lahko razširi s komunikacijskimi moduli za PROFIBUS ali PROFINET omrežja.

Komunikacijski modul profibus/profinet (opcija)

Krmilno elektroniko črpalke Pro+ je mogoče razširiti s komunikacijskimi moduli za PROFIBUS ali PROFINET omrežja.

Komunikacijski modul PROFIBUS ima vhod za nivo in dva priključka, ki omogočajo neposredno integracijo črpalke iSTEP v sistem. Povezava poteka neposredno na modulu, zato dodatni razdelilniki niso potrebni.

Komunikacijski modul PROFINET omogoča integracijo dozirne črpalke v omrežje PROFINET. Z dvema priključkoma PROFINET ga je mogoče vključiti tako v obročne kot drevesne strukture.

Zakaj izbrati HENNLICH?

- strokovno svetovanje pri izbiri črpalk,
- pomoč pri načrtovanju in dimenzioniranju sistemov,
- hitra dobava in tehnična podpora,
- dolgoročno partnersko sodelovanje.

HENNLICH

EVOTEC ZAŠČITNE OBLEKE ZA ROBOTE

» Izdelane po meri.

» Učinkovita zaščita pred prahom, olji, tekočinami, iskrami in drugimi vplivi proizvodnega okolja.

» Manj vzdrževanja, manj zastojev in daljša življenjska doba robotske opreme.



www.hennlich.si

HENNLICH d.o.o., Ul. Mirka Vadnova 13, 4000 Kranj / Pokličite nas: 031 386 056

Oglaševalci

DAX, d. o. o., Trbovlje 297
DIGITEH, d. o. o., Ljubljana 321
ELESA+GANTER GmbH, Brunn am Gebirge, Austria 357
GIA-S, d. o. o., Grosuplje 297
HAWE Hidravlika, d. o. o., Štore 363
HENNLICH, d. o. o., Kranj 355
ICM, d. o. o., Griže 314
INOTEH, d. o. o., Bistrica ob Dravi 347
JAKŠA, d. o. o., Ljubljana 317
La & Co., d. o. o., Limbuš 297, 348
MIEL Elektronika, Velenje 297, 339
OLMA, d. o. o., Ljubljana 297
OMEGA AIR, d. o. o., Ljubljana 297, 360
Parker Hannifin, Češka Republika - Podružnica Novo mesto 297
POCLAIN HYDRAULICS, d. o. o, Žiri 297, 298
PPT COMMERCE, d. o. o., Ljubljana 297, 313
PROFIDTP, d. o. o., Škofljica 351
Metalindustry, Gorica pri Slivnici 321
STORMIA, d. o. o., Ptuj 364
STROJNISTVO.COM, Ljubljana 304
UM, Fakulteta za strojništvo 338
UL, Fakulteta za strojništvo 303, 315, 345
YASKAWA, d. o. o., Ribnica 303
Zveza strojnih inženirjev Slovenije 323

Integrirana varnost in pogoni

Zakaj zapletati stvari? Pogoni in varnost so integrirani. Predpisi za stroje ne dovoljujejo premikanja brez varnosti. S platformo Sysmac so krmiljenje, pogoni in varnost integrirani v eni programski opremi in na enem krmilniku.



1 *Krmiljenje stroja*

Brez varnosti ni premikanja

Vsako premikanje stroja mora spremljati ustrezna varnostna funkcija.

Od 20. januarja 2027 bo Direktivo o strojih (MD) nadomestila Uredba (EU) 2023. Vsak nov stroj oziroma nova proizvodna linija bo morala biti skladna z zahtevami uredbe.

S pravilno izbiro razvojne platforme, ki omogoča integracijo pogonov in varnosti, boste na varni strani!

Pravi strošek dela s tremi ponudniki

Večina izdelovalcev strojev si še vedno razdeli delo: en dobavitelj za servomotorje, drugi za krmilnike in tretji za varnostno logiko. Toda povezovanje sistemov zahteva dodatne inženirske ure, varnostna logika v ločenem orodju pa pomeni ločeno odpravljanje napak in ločen postopek kvalifikacije.



2 *Osnovni pogoni*



3 *Napredni pogoni*

Sistemski integratorji, ki povezujejo posamezne komponente v enovit sistem, poudarjajo prednosti tesnejše povezanosti podatkov, varnosti in učinkovitosti.

Ena programska oprema – od krmilnika do servosistema

S Sysmac Studio v enem projektu programiramo krmiljenje, pogone, varnost, robotiko, strojni vid in HMI. Integrirano programiranje varnosti sicer ni novost, vendar tega niti ne želimo prikazovati kot nekaj novega.
Razlika je v preprosti uporabi: en projekt, ena pot kvalifikacije, en dobavitelj in knjižnice, ki jih lahko prenašamo med različnimi variantami stroja. Brez vzporednega varnostnega PLC-ja! Varnostni modul NX-SL5 omogoča integracijo varnosti v isti krmilnik, samodejno generiranje varnostnih programov pa skrajša čas programiranja.

Tak pristop se izkaže kot izjemno uporaben tudi v proizvodnji. Dober primer so stroji za formiranje kartonske embalaže, kjer Sysmac Studio krmili delovanje stroja, pogone, varnostne funkcije, HMI in nadzor kvalitete (strojni vid).
Enovita programska oprema in enak varnostni pristop veljata za krmilnike od NX1 do NX7. Vaša ekipa se integracije nauči le enkrat, ponudbo strojev pa širite brez ponovnega učenja.

Vir:

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

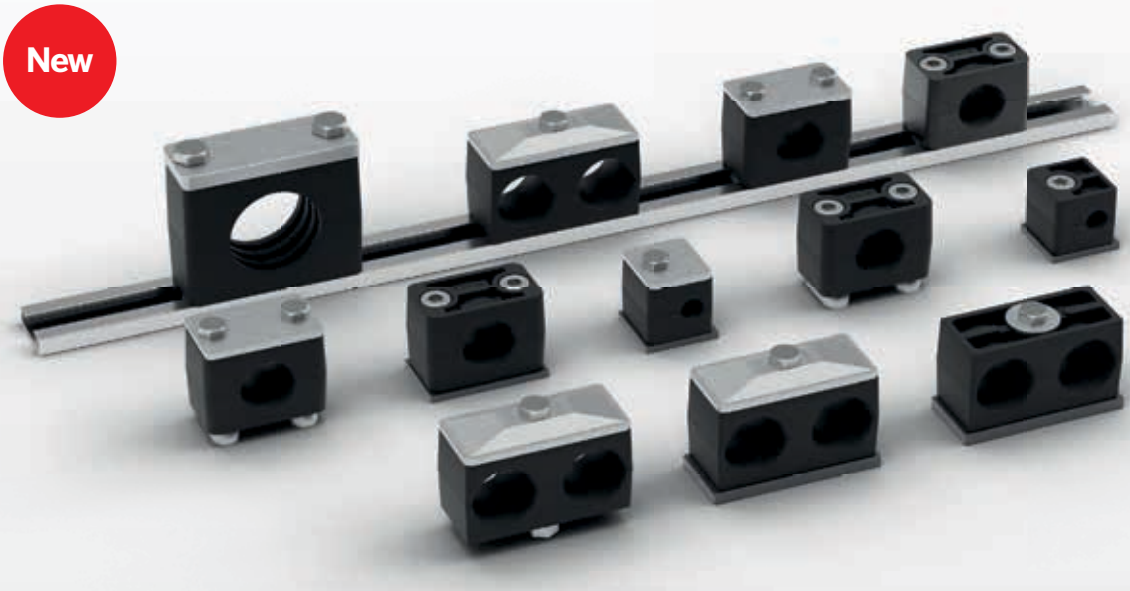
© Avtorji 2026. CC-BY 4.0

elesa+Ganter

Cevne objemke DIN 3015

Varne in modularne rešitve za hidravlične, pnevmatske in avtomatizirane sisteme

New





Nove **cevne objemke DCE** podjetja Elesa+Ganter **so v skladu s standardom DIN 3015** (serija za standardno in težko rabo ter dvojna serija) in zagotavljajo natančno pozicioniranje cevi. Zmanjšujejo vibracije in raven hrupa ter izboljšujejo varnost.
Izdelane so iz UV-odpornega termoplasta (polipropilen, PP) s pritrdilnimi in povezovalnimi elementi iz jekla. Cevne objemke DCE kombinirajo mehansko **moč, prilagodljivost** in **vzdržljivost** tudi v težkih okoljskih razmerah.
Zahvaljujoč modularnemu sistemu DCE je mogoče **vpenjalne sisteme (DCK)** z lahkoto prilagoditi specifičnim zahtevam. Pokrivne plošče, varilne plošče, vijaki in montažne tirnice omogočajo prilagoditev vpenjalnih sistemov DCK potrebam strank.

elesa-ganter.si



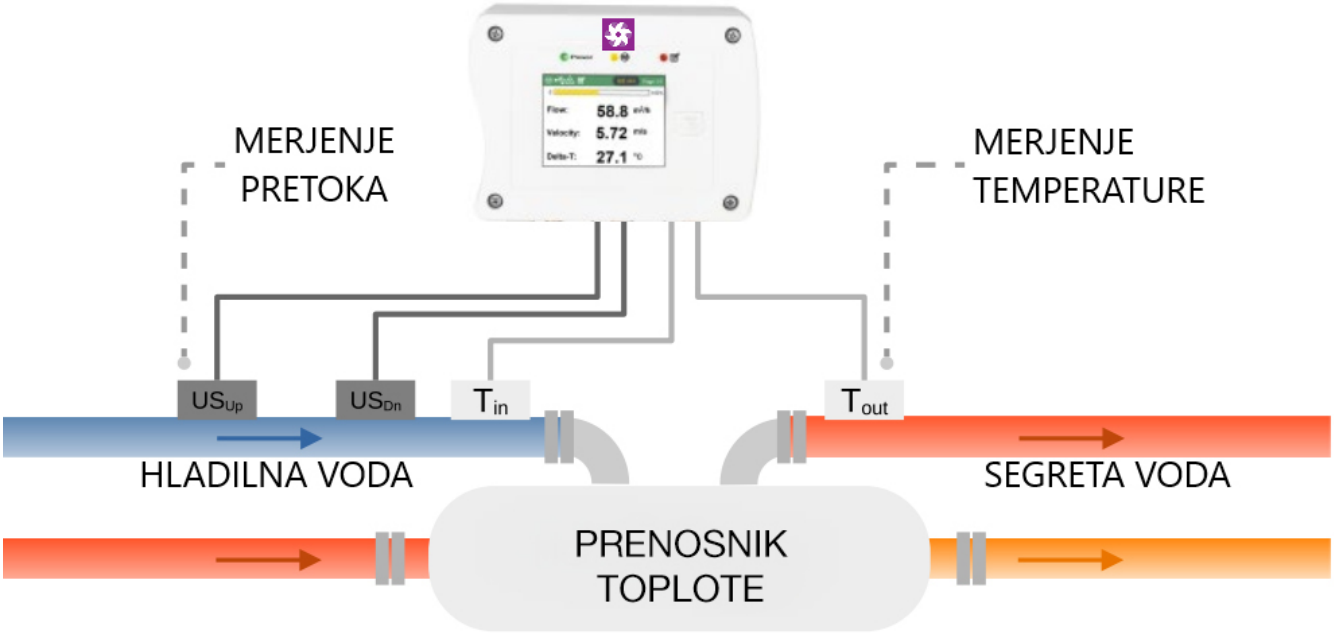
ELESA + GANTER je internacionalno skupno podjetje, ustanovljeno z namenom ponudbe najširše palete standardnih strojnih elementov za industrijo. Izredno zanesljivi izdelki, edinstvenega dizajna predstavljajo kodeks kakovosti ELESA + GANTER.

elesa-ganter.si

DESIGNED
FOR ENGINEERING

Ultrazvočni merilniki pretoka in toplote

Ultrazvočni merilnik pretoka in toplote podjetja OMEGA AIR, d. o. o., Ljubljana, za namestitev na zunanjost cevi zagotovi hitro in točno merjenje in beleženje parametrov brez posegov v obstoječe inštalacije.



1 *Shema inštaliranega merilca pretoka in toplote*

V središču današnjih industrijskih podjetij je prizadevanje za uspešnost in trajnost postalo strateško nujno. Cilji so jasni:

- zmanjšanje količine odpadnih surovin in energije,
- optimalizacija porabe energije,
- krepitev konkurenčnosti (zmanjšanje izpadov proizvodnje in stroškov vzdrževanja),
- zagotavljanje okoljske skladnosti.

Natančno merjenje pretoka tekočin in porabe toplote je torej ključno za prepoznavanje priložnosti izboljšav na področju izgub energije.

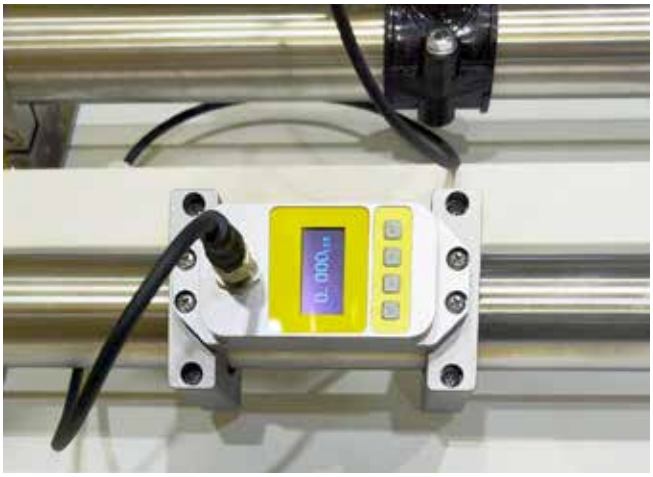
Z uporabo ultrazvočnih merilnikov pretoka industrijski operaterji pridobijo vpogled v svoje energetske tokove v realnem času. Na ta način lahko hitro prilagodijo proizvodne parametre. Brez neposrednega stika s tekočino se odpravijo tveganja onesnaženja in zmanjša ogljični odtis (manj materialov, manj posegov). Njihova visoka natančnost pa omogoča takojšnje odkrivanje odstopanj v porabi, boljšo razporeditev virov in optimizacijo proizvodnje, s čimer se povečata donosnost procesov in okoljska učinkovitost.

Razvoj tehnologije merilnikov pretoka

V primerjavi s preteklostjo danes ultrazvočni merilniki pretoka zagotavljajo neprekosljivo raven natančnosti za merjenje pretoka tekočine. Najnovejša tehnologija pošilja ultrazvočne im-



2 *Prikaz delovanja in namestitve senzorja pretoka*



3 *Merilec pretoka za cevi manjših premerov*

pulze diagonalno med dvema senzorjema, nameščenima na zunanji strani cevi. Časovna razlika, izmerjena med zgornjimi in spodnjimi senzorji, je posledica hitrosti tekočine. Ta pristop omogoča zelo natančne meritve, ne da bi bile omejene na tekočine, ki vsebujejo mehurčke ali delce.

Ob hkratnem merjenju temperature medija na vhodni in izhodni strani pa dobimo kompleten vpogled v porabo energije.

Z več senzorji, povezanimi v eno točko, enostavneje sproti analiziramo podatke. Podatki se lahko izvozijo tudi na računalnik za kasnejšo analizo.

Tehnologija tranzitnega časa

Ultrazvočni merilniki pretoka podjetja OMEGA AIR, d. o. o., Ljubljana, delujejo s tehnologijo tranzitnega časa. Prednosti tega načina pa so:

- visoka natančnost: merjenje ni odvisno od prisotnosti delcev, kar zagotavlja zanesljive rezultate tudi v zelo čistih tekočinah;
- brez kontaminacije: brez stika s tekočino, kar preprečuje kontaminacijo ali obrabo komponent;
- prilagodljivost v več panogah: primerno za ultračiste tekočine, rahlo napolnjene tekočine in zahtevnejše aplikacije.

Novi algoritmi za obdelavo signalov izboljšujejo občutljivost senzorjev in diagnostiko (zaznavanje zračnih mehurčkov, ocena kakovosti signala itd.). Posledično merilniki pretoka izstopajo kot vodilna rešitev, ki zagotavlja zanesljivo merjenje, prihranke pri stroških in enostavno namestitev, kar popolnoma ustreza izzivom v različnih proizvodnih okoljih.

Namestitev in uporaba po principu »vklopi in meri«

Ena od ključnih prednosti takih ultrazvočnih merilnikov pretoka je njihova enostavnost namestitve z objemkami. Za razliko od vgradnih merilnikov pretoka (vstavnih ali linijskih) se namestitev izvede na zunanji strani cevovoda:

- brez zaustavitev proizvodnje: brez rezanja, varjenja in praznjenja cevovoda;
- hiter zagon: namestitev senzorjev in konfiguracija naprave trajata le nekaj minut;
- združljivost z več materiali: jeklo, PVC, HDPE … Objemke iz nerjavnega jekla na merilnikih pretoka ostanejo učinkovite z različnimi materiali cevi.

Ta preprostost znatno zmanjša izpade in težke postopke, neposredno zniža industrijske stroške in zagotovi boljšo kontinuiteto storitev.

Zmanjšano vzdrževanje in hitra diagnostika

Čas delovanja je ključnega pomena za optimizacijo industrijskih procesov. Z našimi ultrazvočnimi merilniki pretoka je vzdrževanje poenostavljeno:

- brez delov, ki so v stiku s tekočino: brez korozije, usedlin ali prezgodnje obrabe;
- hitra diagnostika: omogočajo preverjanje segmentov ce-



4 *Na cev nameščeni sondi merilca pretoka*



5 *Sonda pretoka nameščena na cev večjega premera*

vovodov in hitro odkrivanje puščanja ali zamašitev;
- enostavna zamenjava: okvarjen merilnik pretoka je mogoče zamenjati, ne da bi ustavili proizvodnjo.

Ta odzivnost pomeni večjo razpoložljivost proizvodne linije in natančnejše zaznavanje anomalij.

Vsestranskost in prilagodljivost za širok spekter sektorjev

Ultrazvočno merjenje pretoka med merilniki pretoka izstopa zaradi svoje izjemne vsestranskosti. Ker merijo brez neposrednega stika s tekočino, so primerni za številne industrije, kot so:

- kemična industrija: Natančno doziranje reagentov pomaga omejiti odpadke surovin in zagotavlja kakovost izdelkov. Merilniki pretoka zagotavljajo stabilno in zanesljivo merjenje, hkrati pa preprečujejo kontaminacijo – ohranjajo čistost komponent in izpolnjujejo standarde sledljivosti;
- obdelava vode: Z neprekinjenim merjenjem pretoka surove ali obdelane vode lahko operaterji hitro prilagodijo parametre filtracije in usedanja, preprečijo prelivanje in optimizirajo porabo energije. Merjenje v realnem času olajša tudi skladnost z okoljskimi normami;
- industrijski hladilni sistemi: Pri hlajenju in klimatizaciji zgodnje zaznavanje sprememb pretoka ali temperature zagotavlja optimalno delovanje. Merjenje pomaga preprečiti drage izpade in prekomerno porabo energije.

Zahvaljujoč tej prilagodljivosti se ultrazvočni merilniki pretoka učinkovito spopadajo z izzivi v mnogih industrijskih aplikacijah.

www.omega-air.si

© Avtorji 2026. CC-BY 4.0



FLUIDNA TEHNIKA • NAPREDNO INŽENIRSTVO IN TEHNOLOGIJE
VENTIL

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

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

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

Glavni in odgovorni urednik: izr. prof. dr. Miroslav Halilovič
Pomočnik urednika: izr. prof. dr. Franc Majdič
Tehnični urednik: Roman Putrih
Lektoriranje: dr. Marjeta Humar, Andrea Potočnik
Oblikovanje naslovnice: Pavle Jovanovski, Ljubljana
Prelom in priprava za tisk: Grafex agencija | tiskarna, Izlake
Tisk: MABO GRAFIKA, d. o. o., Ljubljana
Marketing in distribucija: Roman Putrih, UL, Fakulteta za strojništvo

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

REVIJA JE V ODPRTEM DOSTOPU.

OPEN ACCESS

Znastveni članki v reviji Ventil so recenzirani.

Revija Ventil je indeksirana v podatkovni bazi DOAJ in EBSCO.

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

Letnik / Letnica / Številka 32 / 2026 / 5

Naklada: 800 izvodov. Izhaja šestkrat letno.

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

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

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

Uredniški odbor (Editorial Board)
- prof. dr. Marko Hočevar, UL, Fakulteta za strojništvo
- prof. dr. Matija Jezeršek, UL, Fakulteta za strojništvo
- izr. prof. dr. Jože Kutin, UL, Fakulteta za strojništvo
- izr. prof. dr. Jurij Prezelj, UL, Fakulteta za strojništvo
- prof. dr. Franci Pušavec, UL, Fakulteta za strojništvo
- doc. dr. Lidija Slemenik Perše, UL, Fakulteta za strojništvo
- izr. prof. dr. Marko Šimic, UL, Fakulteta za strojništvo
- izr. prof. dr. Rok Vrabič, UL, Fakulteta za strojništvo
- izr. prof. dr. Nikola Vukašinović, UL, Fakulteta za strojništvo
- izr. prof. dr. Matevž Zupančič, UL, Fakulteta za strojništvo

Recenzentski odbor (Editorial Review Board)
- prof. dr. Ivan Bajsić, UL, Fakulteta za strojništvo (upokojen)
- doc. dr. Tomaž Berlec, UL, Fakulteta za strojništvo
- doc. dr. Gorazd Karer, UL, Fakulteta za elektrotehniko
- izr. prof. dr. Damjan Klobčar, UL, Fakulteta za strojništvo
- izr. prof. Vito Tič, UM, Fakulteta za strojništvo

Znanstveno strokovni svet (Scientific and Technical Advisory Board)
- dr. Uroš Bohinc, Zavod za gradbeništvo Slovenije
- dr. Gregor Dolanc, Inštitut Jožef Stefan, Ljubljana
- prof. dr. Niko Herakovič, UL, Fakulteta za strojništvo
- prof. dr. Matjaž Hriberšek, UM, Fakulteta za strojništvo
- doc. dr. Matej Huš, Kemijski inštitut, Ljubljana
- prof. dr. Roman Kamnik, UL, Fakulteta za elektrotehniko
- prof. dr. Darko Lovrec, UM, Fakulteta za strojništvo
- dr. Bojan Podgornik, Inštitut za kovinske materiale in tehnologije, Ljubljana
- prof. dr. Jožef Ritonja, UM, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko
- Janez Škrlec, inž., Razvojno raziskovalna dejavnost, Zg. Polskava

Mednarodni znanstveni svet (International Scientific Advisory Board)
- izr. prof. dr. Sam Coppieters, KU Leuven, Belgium
- prof. dr. Alexander Czinki, Technische Hochschule Aschaffenburg, Germany
- izr. prof. dr. Tatiana Minav, Tampere University, Finland
- prof. dr. Hubertus Murrenhoff, RWTH Aachen, Germany
- prof. dr. Katharina Schmitz, RWTH Aachen, Germany
- prof. dr. Željko Šitum, University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture, Croatia
- prof. dr. Hironao Yamada, Gifu University, Japan

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

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

Nekdanji uredniki
- mag. Anton Stušek
- prof. dr. Niko Herakovič
- doc. dr. Tomaž Perme
- izr. prof. dr. Dragica Noe
- prof. dr. Janez Tušek

Nekdanji pomočniki urednika
- mag. Anton Stušek
- izr. prof. dr. Miroslav Halilovič

V naslednji številki 6/2026 - december

Ventilov utrip

Intervju
Prof. Dr. Mitjan Kalin – novi predsednik svetovne tribološke organizacije International Tribology Council



Novice in zanimivosti
Bionični vid in trendi tehnološkega razvoja na tem področju



Znanstveni in strokovni članki

Borna Matkun, Mihael Cipek, Danijel Pavković, Željko Šitum
Pneumatically Powered Hydraulic Rescue Shears for Firefighter Operations

Luka Kevorkijan, Tilen Jernejc, Mihael Brunčko, Luka Lešnik, Sandi Žist, Varužan Kevorkijan, Ignacijo Biluš
Eksperimentalna karakterizacija kavitacijske erozije z ultrazvočno vibracijsko metodo

Vito Tič, Andrej Baligač
Odkrivanje puščanja v pnevmatični postaji z analizo porabe na cikel

Franc Majdič
Kritičen pogled na uporabo ATF, motornih in večnamenskih olj v hidravličnih sistemih



Ali lahko olje ATF ali univerzalno motorno olje varno nadomesti namensko hidravlično olje? Odgovor iščemo s primerjavo lastnosti kapljevin, veljavnih standardov ter priporočil vodilnih proizvajalcev hidravličnih komponent in delovnih strojev.

Iz industrije

Aktualno v industriji

Novosti na trgu

Podjetja predstavljajo

Hennlich, d. o. o.
Novo partnerstvo na področju SMC pnevmatike



Uradni zastopnik za Winner:

HAWE HYDRAULIK

EP Family

SEDEŽNI ELEKTROMAGNETNI VENTILI (EP SERIJA)

Zasnovan za neprekinjeno delovanje, izdelan za trajno zmogljivost.

VSE DO 480 LPM

Poleg elektromagnetinh ventilov Winner Hydraulics ponuja tudi široko paleto ventilov pretoka, tlaka, proporcionalnih ventilov in nepovratnih ventilov.



WINNERcoat® Zn-Ni zaščita

1000 urni test s solno meglico (DIN EN ISO 9227)

Winner hydraulics

- Visok tlak
- Veliki pretoki
- Brez lekaže
- Robusten in vzdržljiv
- Raznolike konfiguracije (Standard, hitro odzivna, explozijsko varna, s stikalom položaja)

HAWE Hidravlika d.o.o., Ob Dragi 7, 3220 Štore **Telefon:** (03) 888 81 21 **E-mail:** office@hawe.si

MAJERIČ

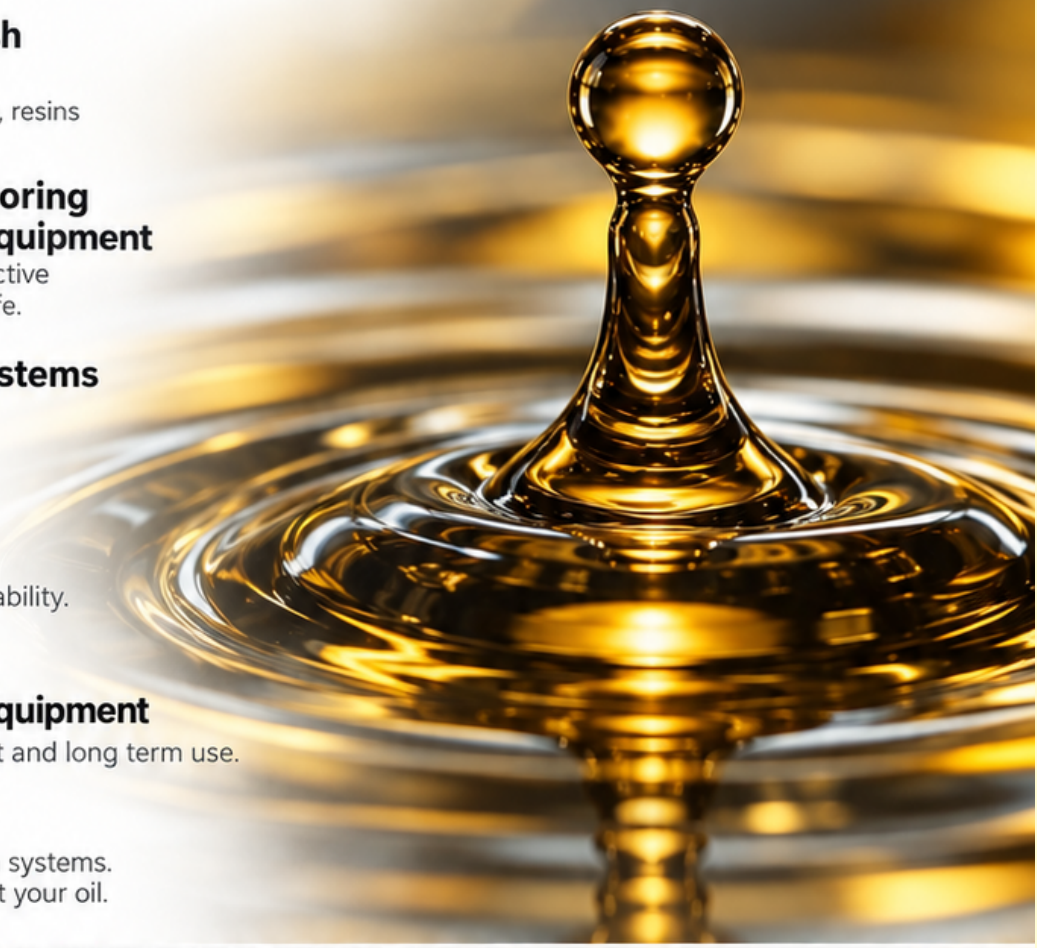
CLEAN OIL - PURE POWER

CLEANER OIL
HIGHER RELIABILITY
LONGER LIFETIME
LOWER COSTS

Machinery Oil Filtration Specialist

CLEAN OIL | RELIABLE OPERATION | SUSTAINABLE ASSETS





Electrostatic Varnish Removal Systems
Effective removal of varnish, resins and oxidation products.

Oil Condition Monitoring & Varnish Testing Equipment
Accurate analysis for proactive maintenance and long oil life.

Depth Filtration Systems
For hydraulic, lubricating and motor oil systems.

Oil and Equipment Cleaning Services
Clean systems, higher reliability.

Rental of Filtration & Varnish System Equipment
Flexible solutions for short and long term use.

Air Conditioners
For hydraulic & lubrication systems.
Remove moisture – protect your oil.


HYDRAULIC OIL


LUBRICATING OIL


MOTOR OIL


TURBINE OIL

KLEENTEK | Fluitec | DES-CASE | RME SYSTEMS A Des-Case Brand | INTRIBO

www.majeric.eu | +386 41 896 662 | info@majeric.eu

Powered by STORMIA D.O.O.