

RAZVOJNI TRENDI NA PODROČJU FLUIDNE TEHNIKE

Franc Majdič

Izvleček:

Fluidna tehnika predstavlja eno izmed možnosti nadzorovanega prenosa energije. Čeprav dandanes predvsem politični akterji na svetovni ravni močno podpirajo električne pogone, so ti in krmilja še vedno neizogibni. Med drugim tudi uporaba hidravličnih pogonov vpliva na ogljični odtis, zato je zmanjšanje tega vpliva zelo pomemben trend. S hidravličnega vidika je to mogoče doseči z izboljšanjem učinkovitosti posameznih komponent. Povprečni skupni izkoristek hidravličnih sistemov je med 23 % in 30 %, zato je potrebno poglobljeno analizirati vzroke za to stanje in ukrepati. Uporabniki hidravličnih komponent želijo izračunati uporabno dobo posamezne hidravlične komponente, podobno, kot je že dolgo uveljavljeno za ležaje. Sodoben trend je tudi postavitve digitalnih dvojčkov, to je numeričnih modelov in merilno-krmilnih sistemov, ki s pomočjo strojnega učenja uporabniku sporočajo trenutno stanje sistema. Zelo pomembna je tudi uporaba računalniških simulacij in 3D-tiskanja.

Ključne besede:

fluidna tehnika, hidravlika, mehka robotika, digitalizacija, alternativne tehnologije, digitalni dvojčki

1 Uvod

Fluidna tehnika se ukvarja s pretvarjanjem, prenosom in nadzorom moči z uporabo tekočin pod tlakom. Pogonsko-krmilna hidravlika se nenehno razvija v skladu z vsemi drugimi tehničnimi izboljšavami: od digitalizacije, nizke porabe energije do popolne diagnostike, zelenih in pametnih tehnologij. Že desetletja poteka »tehnološko tekmovanje« med električnimi in hidravličnimi pogoni, danes so še posebej izpostavljeni električni. Svetovni politični trendi skušajo prepričati, da so električni pogoni edina rešitev za našo prihodnost, ki bo zelena in napredna. Kljub vsemu so hidravlični pogoni ostali in bodo ostali, saj se nenehno izpopolnjujejo in prilagajajo svetovnim trendom. Danes si brez hidravličnih pogonov ni mogoče predstavljati težkih gradbenih, kmetijskih, gozdarskih, rudarskih, pomorskih, letalskih, železarskih, lesnoobdelovalnih in drugih strojev. Primerni so predvsem za velike obremenitve, hitro in natančno pozicioniranje itd. Prednosti uporabe hidravlike so: visoka gostota moči – majhen volumen komponent, dobro dušenje dinamičnih obremenitev, enostavna in zanesljiva zaščita sistema pred preobremenitvijo, enostavna menjava smeri gibanja, enostavna nastavitve sile ali momenta, hiter odziv, velika togost sistema itd.

Področje pogonsko-krmilne hidravlike se razvija v več smereh: tekočine, komponente, materiali, tehnologije, alternativne tehnologije – 3D-tiskanje, meha-

tronika, digitalizacija, inženirska diagnostika, ogljični odtis, mehka robotika, humanoidna robotika, učenje na daljavo, internet stvari itd. V hidravliki obstajajo tudi ovire na poti do izboljšav: višji proizvodni stroški, visoka sistemska kompleksnost, implementacijski napori, nepopolna uporaba digitalnih rešitev itd.

Področje pogonsko-krmilne hidravlike je povezano tudi z učinki podnebnih sprememb, ki posredno povzročajo naravne katastrofe, kot so višje temperature, orkani, tornadi, poplave itd. Od leta 1890 do danes [1] se je temperatura okolja v Evropi dvignila za povprečno 1,6 °C.

Okolje zato zahteva hitro in učinkovito ukrepanje, da ne bomo deležni še večjih nesreč. Strokovnjaki opozarjajo, da lahko dvig povprečne okoljske temperature le za 2 °C v naslednjih desetih letih povzroči popolno taljenje arktičnega ledu [2], da lahko izgine do 99 % tropskih koralnih grebenov, da se poplave rek lahko povečajo za 170 % (kot je bilo avgusta letos v Sloveniji), da se gladina morja lahko dvigne za več kot meter, ...

2 Povečanje energetske učinkovitosti

Pogonsko-krmilna hidravlika porabi med $66 \cdot 10^{10}$ kWh in $88 \cdot 10^{10}$ kWh letno, od tega 40 % porabijo mobilni stroji, 56 % industrijska hidravlika in 3 % letalstvo. Z zgornjo količino energije, ki se letno porabi, hidravlični sistemi proizvedejo med 310 in 380 milijonov metričnih ton (MMT) ogljikovega dioksida. Po podatkih British Fluid Power Association je povprečen skupen izkoristek hidravličnih strojev in naprav med 23 % in 30 % [3].

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



Slika 1 : Mikropozicioniranje sistema z digitalnimi ventili [5]

Hidravlični sistemi proizvajajo kinetično energijo v obliki toka in potencialno energijo v obliki tlaka. Notranji tribološki stik med premičnimi in stacionarnimi elementi znotraj hidravličnih komponent (predvsem črpalk in ventilov) nima tesnil, ima pa zelo nizko (nekaj μm) režo. Tlačna razlika v režah povzroči notranje puščanje, kjer se energija hidravličnega tlaka pretvori v višjo temperaturo kapljevine. Neustrezna, poslabšana čistoča hidravlične tekočine vpliva na večjo obrabo in povečuje razmak med dvema elementoma. Ko se notranje uhajanje skozi reže poveča, se volumetrični izkoristek opazovane komponente zmanjša [4].

Digitalni hidravlični ventili omogočajo energetsko učinkovito uporabo pri krmiljenju položaja in tlaka [5]. Takšne digitalne ventile lahko najdemo v številnih panogah industrije. Zanje sta značilna hitra regulacija in malo ali nič notranjega puščanja, ker je uporabljen sedežni ventil (*slika 1*). Uporaba digitalnih ventilov lahko omogoča tudi rekuperacijo energije in se lahko uporablja v številnih aplikacijah, kot so žerjavi, viličarji itd.

Zaradi notranjega puščanja v hidravličnih komponentah in tlačnih razlik pri pretakanju skozi hidravlične cevovode in komponente se hidravlična energija pretvarja v toploto. Segrevanje hidravlične tekočine spremeni njene lastnosti, kar ni zaželeno. Zato je kakovostno odvajanje toplote zelo pomembno. V ta namen se nenehno razvijajo nove visokokakovostne rešitve odvajanja toplote iz hidravlične tekočine v okolje [6].

3 Izboljšanje zanesljivosti sistema

Pomembne lastnosti hidravličnih kapljev, ki vplivajo na daljšo uporabno dobo hidravličnih sistemov, so: viskoznost, zaščita pred obrabo, toplotna stabilnost, zaščita pred korozijo, odpornost proti

penjenju, sposobnost raztapljanja (zmožnost sproščanja vode), obstojnost pred oksidacijo in ustrezna čistoča. Od tlaka odvisne lastnosti tekočine, ki vključujejo modul stisljivosti, kinematično viskoznost in gostoto, lahko močno vplivajo na učinkovitost hidravličnega sistema [4, 7, 8].

Zanesljivost in uporabna doba hidravličnih komponent sta močno odvisni od njihovih delovnih pogojev, predvsem od čistosti uporabljene hidravlične tekočine. Številni strokovnjaki po vsem svetu se ukvarjajo z določanjem uporabne dobe posameznih hidravličnih komponent v odvisnosti od čistote. Obrabni delci s svojimi tehničnimi lastnostmi (trdota, žilavost, ...) migrirajo s hidravlično tekočino in obrabijo tesnilno-drsne površine komponent. Ker je težko pridobiti dejanske obrabne delce in ker takšni testi trajajo dolgo, trenutno potekajo raziskave za določitev faktorja pospešitve pri preskusih trajne obrabe z abrazivno-agresivnim standardnim testnim praškom (MTD) [9] (*slika 2*). Novak in drugi so raziskovali obrabo hidravlične zobniške črpalke z zunanjim ozobjem ločeno s testnim prahom in z obrabnimi delci [10].

Spremljanje stanja hidravličnih komponent in sistemov lahko zaradi velike verjetnosti izogibanja okvaram prihrani veliko denarja. Poškodbe/obrado je mogoče odkriti v zgodnji fazi, tako da je mogoče na tej podlagi z zgodnjim ukrepanjem preprečiti najhujše. Z ustreznim spremljanjem stanja lahko zaznamo okvare posameznih delov opazovane hi-



Slika 2 : Trojno trajnostno preizkuševališče za testiranje zobniških črpalk pri različnih čistočah in različnih delcih [10]



Slika 3 : Kavitacijska obraba ventilske plošče zobniške črpalke z notranjim ozobjem

dravlične komponente. Ameriški raziskovalci [11] so razvili metodo za odkrivanje obrabljene ventilske plošče aksialne batne črpalke s spremenljivo prostornino, ki zmanjša število potrebnih senzorjev na pet. Za uspešno odkrivanje okvare ventilske plošče (slika 3) so izmerili vstopni in izstopni tlak, število vrtljajev pogonske gredi in dejanski pretok na izstopnem tlačnem priključku črpalke.

4 Gradnja inteligentnih sistemov

Trendi razvoja fluidne energije so močno usmerjeni v popolno digitalizacijo na več področjih [4]:

- ▶ industrija 4.0 (kiber-fizični sistemi, internet stvari),
- ▶ fuzija fizičnih strojev in vgrajenih sistemov,
- ▶ digitalni dvojček/digitalna senca strojev, sistemov, procesov (slika 4),
- ▶ velika količina podatkov in napredna podatkovna analitika itd.

5 Zmanjšanje velikosti in teže komponent

Velikost in težo materialov lahko zmanjšamo z različnimi pristopi:

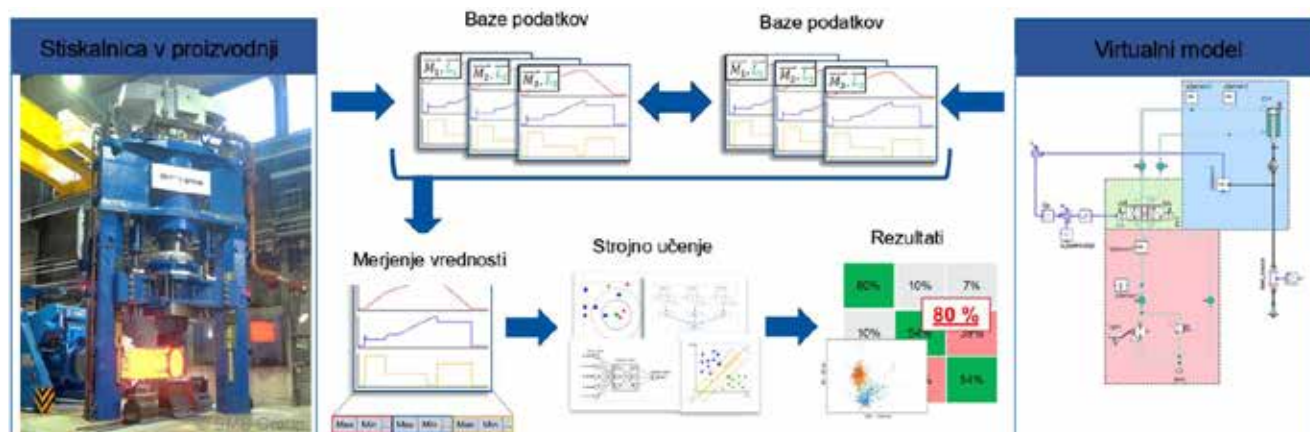
- ▶ novi in alternativni materiali,
- ▶ optimizacija oblike in iterativni procesi,
- ▶ 3D-tisk.

5.1 Novi in alternativni materiali

Težnje po uporabi novih materialov so razdeljene v skupine glede na njihovo definicijo oziroma uporabo. Delimo jih na osnovne materiale in materiale, ki se uporabljajo za premaze. Ker je večina hidravličnih komponent izdelanih iz kovin in kovinskih zlitin, se težnje osredotočajo na izboljšanje kemijske strukture obstoječih materialov. Te se dosežejo z ustvarjanjem popolne mešanice surovin in njihovim kombiniranjem (taljenjem), da se ustvarijo bolj trpežni materiali, ki lahko bolje prenesejo obremenitve in, če je mogoče, zmanjšajo težo končne strukture [12]. V zvezi s kovinskimi strukturami je bilo v zadnjem času izvedenih veliko študij in raziskav tudi na področju trdih prevlek. Glavna funkcija prevlek je boljša odpornost proti koroziji, eroziji in kavitaciji. Različni materiali in zlitine prinašajo široko paleto različnih lastnosti prevlek, ki jih je treba zelo dobro razumeti, da lahko izberemo pravo za določeno uporabo. Prevleke lahko razvrstimo glede na začetno stanje materiala:

- ▶ parna faza: kemično napanjanje (CVD) in fizično napanjanje (PVD) uporabljata plazmo kot glavni vir energije za nanašanje materialov;
- ▶ stanje raztopine: elektrokemijsko nanašanje, solni gel, ...;
- ▶ staljeno (ali delno staljeno) stanje: lasersko nanašanje, varjenje, ...

Materiali, ki se uporabljajo za prevleke, so trdi in mehki premazi, ki so večinoma polimeri. Kovine, ki



Slika 4 : Digitalni dvojček hidravlične stiskalnice [4]

se uporabljajo za prevleke, so: molibden disulfid, titanov nitrid, nikelj, krom, baker, srebro, zlato, kadmij, platina, indij in druge. Kot smo že omenili, nekatere prevleke, ki so zelo odporne proti obrabi, niso na osnovi kovin, ampak so večinoma polimeri. Če jih naštejemo le nekaj: PTFE, poliamidi, elastomerni premazi in drugo.

Nekateri polimerni materiali se lahko uporabljajo tudi kot samostojni materiali: poliamidi, poliestrske smole, PEEK, UHMWPE, POM, PTFE in drugi.

Skoraj ne moremo govoriti o novih materialih, ne da bi govorili o materialih na osnovi ogljika. Široko uporabljena ogljikova vlakna v kombinaciji s poliestrskimi smolami so lahko v organizirani obliki kot tkanina ali v kaotičnem stanju z vlakni, naključno razporejenimi po volumnu, kar imenujemo kovana ogljikova vlakna. Karbon omogoča strukturam, da prenesejo velike obremenitve, hkrati pa ohranjajo minimalno težo. Veliko študij je bilo izvedenih tudi o ogljikovih nanostrukturah v obliki nanocevk [14]. Te študije so pokazale, da lahko nanocevk prenesejo največje obremenitve.

5.2 Optimizacija oblike in iterativni procesi

Optimizacija oblike je star postopek odstranjevanja nepotrebne količine začetnega materiala za zmanjšanje mase strukture. Pri tem je treba vedeti, koliko materiala je mogoče odstraniti, da bo konstrukcija vzdržala uporabljene obremenitve in deformacije. Numerično je to zelo zapleten proces. V bistvu gre za vprašanje, »koliko je preveč«. Človeški instinkt je nezmožen takšnih operacij, zato je bilo treba za doseganje optimalnih rezultatov uporabiti računalnike. Uporaba sodobne programske opreme za določitev optimalne oblike in mase, ki jo je treba odstraniti na podlagi obremenitev in omejitev z znano začetno prostornino, se imenuje topološka optimizacija. Pri tej vrsti optimizacije oblike se metode končnih elementov uporabljajo za izračun napetosti, ki se pojavijo v prostornini materiala, da se določi, kje in koliko materiala je mogoče varno odstraniti, da lahko predmet še vedno opravlja svoje predvidene naloge [15].

Pri nekoliko drugačnem pristopu iterativne metode niso omejene z začetnimi pogoji in lahko podajo vrsto različnih rešitev za isti problem, kar oblikovalcu omogoča, da izbere optimalno. Običajno se primerjajo različne rešitve na podlagi trdnosti, uporabljene materiala in celotne oblike, ki mora ustrezati zahtevam ali omejitvam. Eden takih procesov je generativno oblikovanje [16]. Generativne izvedbe se razlikujejo tudi po namenu. Rešitve so lahko povsem strukturne, vendar je v nekaterih primerih notranjo strukturo treba optimizirati za pretok tekočine. To je torej generativna zasnova, ki vključuje CFD kot del rešitve za zmanjšanje padca tlaka skozi strukturo, skozi katero teče tekočina.



Slika 5 : Optimirana oblika 3D natisnjenega ohišja potnega ventila za vodno hidravliko [20]

5.3 3D-tiskanje

Neposredno povezano z optimizacijo struktur je treba povedati, da je te običajno nemogoče izdelati z uporabo klasičnih obdelovalnih tehnik, ki so znane in uporabljane do sedaj [17]. Za te strukture se uporablja 3-dimenzionalno tiskanje materialov. Od kar je bilo prvič uvedeno in patentirano leta 1970, je 3D-tiskanje postalo skorajda industrija zase (slika 5), ki podpira druge procese, kjer je to mogoče in kjer drugi procesi niso uspešni [18]. S tiskanjem najrazličnejših polimerov in kovin se ta vrsta izdelave lahko uporablja za izdelavo kompleksnih notranjih geometrij in zaprtih struktur, kar je pomembno na področju hidravlike [19].

6 Zmanjšanje negativnih vplivov na okolje

Skoraj nemogoče je opredeliti vse vplive, ki jih imajo hidravlični sistemi na okolje med delovanjem in po končani uporabi. Vendar je pomembno, da se inženirji vsaj zavedamo glavnih povzročiteljev, ki vplivajo na okolje [21].

Hidravlika negativno vpliva na okolje predvsem preko:

- ▶ zmanjšane kakovosti zraka,
- ▶ hrupa in vibracij,
- ▶ onesnaženja tal in podzemnih voda itd.

Ker so vsi ti vplivi na okolje neposredno povezani z zdravjem in dobrim počutjem ljudi, bi jih morali inženirji pri načrtovanju novih hidravličnih sistemov vselej upoštevati. Medtem ko je zmanjšanje vibracij in hrupa povezano z delovanjem sistema, sta onesnaženje tal in podzemnih voda posledica nepravilnega odlaganja tekočin in odsluženih sestavnih delov hidravličnih sistemov. Recikliranje čim več materialov je mogoče doseči le, če je sistem v prvi vrsti zasnovan za ponovno uporabo. Na primer: avtomobilska industrija je začela zmanjševati uporabo materialov, ki jih ni mogoče reciklirati, zlasti plastike [20].

Ukvarjanje s hrupom in vibracijami običajno zahteva določeno vrsto izolacijske zaščite. Vendar to v primeru hidravličnih sistemov predstavlja nove izzive v smislu vzdrževanja, naknadnega opremljanja, odvajanja toplote itd.

Izboljšanje kakovosti zraka je postalo vsakodnevna razprava, vendar je treba čimprej preiti od besed k dejanjem. Podobno kot pri onesnaževanju tal in podzemnih voda tudi onesnaževanje zraka ni povezano samo z opremo, ko ta deluje. Proizvodnja, transport delov in nepravilno odlaganje komponent in tekočin imajo lahko zelo velik vpliv na okolje, zato moramo vedno pogledati celoten življenjski cikel, da razumemo celotno sliko.

7 Zaključki

Prispevek ponuja pregled trenutnega stanja razvoja in smernice za področje pogonsko-krmilne hidravlike. Eden največjih globalnih problemov je segregiranje ozračja, h kateremu prispeva tudi pogonsko-krmilna hidravlika. Ta v povprečju proizvede 345 milijonov metričnih ton ogljikovega dioksida na leto. Stanje lahko izboljšata manjša poraba in boljši hidravlični izkoristek, ki v povprečju znaša le 26 %. Glavni trendi v hidravliki so digitalizacija, digitalni dvojčki, napredna avtomatizacija, izboljšanje zanesljivosti, sposobnost napovedovanja življenjske dobe komponent glede na parametre delovanja, napredne numerične simulacije, izgradnja inteligentnih samoučečih se hidravličnih sistemov, upravljanje in shranjevanje podatkov, zelene tehnologije, napredne zelene hidravlične tekočine, novi napredni materiali, aditivne tehnologije – 3D-tisk itd.

Z nadaljnjim razvojem v omenjenih smereh pogonsko-krmilna hidravlika nikakor ne bo zamrla, temveč se bo uporabljala tudi v prihodnje in tako še naprej konkurirala električnim in drugim pogonom.

Viri

- [1] Our World in Data. (2023). Global average land-sea temperature anomaly relative to the 1961-1990 average temperature, Source: <https://ourworldindata.org/grapher/temperature-anomaly>, Last visited: 31. 08. 2023.
- [2] Earth observatory. (2023). World of Change: Arctic Sea Ice. Source: <https://earthobservatory.nasa.gov/world-of-change/sea-ice-arctic>. Last visited: 31. 08. 2023.
- [3] Michael, P., McGuire, N., (2020). Getting the Most Efficiency Out of Hydraulics, Power & Motion, Source: <https://www.powermotion-tech.com/print/content/21125703>, Last visited: 30. 08. 2023.
- [4] Schmitz, K. (2022). The potential of fluid power technology, 13th IFK.
- [5] Winkler, B. (2017). Recent advantages in digital hydraulic components and applications. The Ninth Workshop on Digital Fluid Power, September 7-8, 2017, Aalborg, Denmark.
- [6] Lipnicky, M., Brodnianska, Z. (2023). Z. Enhancement of Heat Dissipation from the Hydraulic System Using a Finned Adaptive Heat Exchanger, Applied Science, 13, 5479.
- [7] Lovrec, D., Kalb, R., Tič, V. (2023). Application areas of ionic hydraulic fluids. Chemical engineering & technology, vol. 46, iss. 1, 14-20. ISSN 1521-4125. doi: 10.1002/ceat.202200368.
- [8] Lovrec, D., Tič, V. (2022). The importance of the electrical properties of hydraulic fluids. Industrial Lubrication and Tribology. vol. 74, iss. 3, 302-308. ISSN 0036-8792. doi: 10.1108/ILT-06-2021-0218.
- [9] Novak, N., Trakovski, A., Kalin, M., Majdič, F. (2023). Degradation of Hydraulic System due to Wear Particles or Medium Test Dust, Applied Sciences, 13, 7777.
- [10] Novak, N., Trakovski, A., Polajnar, M., Kalin, M., Majdič, F. (2023). Wear of hydraulic pump with real particles and medium test dust, Wear, 532-533 (2023) 205101.
- [11] Keller, N., Sciancalepore, A., Vacca, A. (2022). Demonstrating a Condition Monitoring Process for Axial Piston Pumps with Damaged Valve Plates, International Journal of Fluid Power, Vol. 23 2, 205-236.
- [12] Quaranta, E., Davies, P. (2021). Emerging and Innovative Materials for Hydropower Engineering Applications: Turbines, Bearings, Sealing, Dams and Waterways, and Ocean Power, Engineering, Volume 8, ISSN 2095-8099, <https://doi.org/10.1016/j.eng.2021.06.025>.
- [13] Strmčnik, E. (2020). Vplivni parametri na delovanje orbitalnega hidravličnega motorja na vodo, doctoral dissertation. University of Ljubljana, Faculty of Mechanical Engineering.
- [14] Gupta, N., Gupta, S. M. & Sharma, S. K. (2019) Carbon nanotubes: synthesis, properties and engineering applications. Carbon Lett. 29, 419-447. <https://doi.org/10.1007/s42823-019-00068-2>.
- [15] Woon, S., Querin, O. & Steven, G. (2001) Structural application of a shape optimization method based on a genetic algorithm. Struct Multidisc Optim. 22, 57-64. <https://doi.org/10.1007/s001580100124>
- [16] Gunpinar, E., Coskun, U. C., Ozsipahi, M., Gunpinar, S. (2019). A Generative Design and Drag Coefficient Prediction System for Sedan Car Side Silhouettes based on Computational Fluid Dynamics, Computer-Aided Design, Volume 111, Pages 65-79, ISSN 0010-4485, <https://doi.org/10.1016/j.cad.2019.02.003>.
- [17] Ngo, T. D., Kashani, A., Imbalzano, G., Nguyen, K.T.Q., Hui, D. (2018) Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges. Compos. Part B Eng. 143, 172-196.

- [18] Zhu, Y., Yang, Y., Lu, P., Ge, X., Yang, H. (2019). Influence of surface pores on selective laser melted parts under lubricated contacts: a case study of a hydraulic spool valve. *Virtual Phys. Prototyp.* 2759, 1-14.
- [19] Aidro Hydraulics (2023): Additive manufacturing Aidro: 3d printing for hydraulic components, AMES valves, Source: <https://aidro.it/additive-manufacturing/>, last visited: 30. 08. 2023.
- [20] Bartolj, J. (2022). Razvoj 4/3 proporcionalne-
ga potnega ventila za izdelavo s postopkom 3D-tiska kovin. Diploma thesis. University of Ljubljana, Faculty of Mechanical Engineering.
- [21] Artiola, J. F., Walworth, J. L., Musil, S. A., Crimmins, M. A. (2019). Chapter 14 – Soil and Land Pollution, Editor(s): Mark L. Brusseau, Ian L. Pepper, Charles P. Gerba, Environmental and Pollution Science (Third Edition), Academic Press, 219-235, ISBN 9780128147191, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814719-1.00014-8>.

Development trends in Fluid Power

Abstract:

Fluid power represents one of the possibilities of controlled energy transfer. Although nowadays especially political actors on a global level strongly push electric drives, hydraulics is still unavoidable. Fluid power also impacts the carbon footprint, so reducing this impact is a very important trend. From a hydraulics perspective, this can be achieved by improving the efficiency of individual components. The average overall efficiency of hydraulic systems is between 23% and 30%, so it is necessary to analyse in depth the causes of this situation and take action. Users of hydraulic components want to calculate the service life of each hydraulic component, similar to bearings. It is also a modern trend to set up digital twins, i.e. numerical models and measurement and control systems that use machine learning to tell the user the current state of the system. The use of computer simulations and 3D printing is also very important.

Keywords:

fluid power, hydraulics, soft robotics, digitalisation, Alternative technologies, digital twins



JAKŠA

MAGNETNI VENTILI

od 1965

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



www.jaksa.si







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