

## **Vodna hidravlika v Sloveniji in pogled v prihodnost**

**Franc Majdič**

LPKH / Fakulteta za strojništvo Ljubljana

**Jožef Pezdernik**

LPKH / Fakulteta za strojništvo Ljubljana

**Mitjan Kalin**

CTD / Fakulteta za strojništvo Ljubljana

\* LPKH ..... Laboratorij za pogonsko-krmilno hidravliko

\* CTD ..... Center za tribologijo in tehnično diagnostiko

### ***Povzetek***

*Ohranjanje naravnega okolja in skrb glede njegovega onesnaževanja postaja vedno pomembnejše. Uporaba vode v pogonsko-krmilni hidravliki je eden izmed pozitivnih korakov v smeri ohranjanja narave. V tem prispevku najprej podajamo kratek pregled dosedanjega razvoja in uporabe vodne pogonsko-krmilne hidravlike, nato prikazujemo sedanje stanja na področju vodne pogonsko-krmilne hidravlike doma in v tujini ter razmišljanja o možnostih uporabe vodne hidravlike v prihodnosti.*

**Ključne besede:** voda, pogonsko-krmilna hidravlika, sestavine, zvezno delujoči ventili

## **1. Uvod**

Voda je najbolj naravna kapljevina na zemeljski obli. Ničesar v naravi ni bližje definicijam za snažnost, svežino in čistočo kot čista voda. Voda pokriva približno 70 % površine Zemlje. Zaščita pitne vode in ekologije nasploh je vedno bolj pomembna. Nepričakovani izlivi naravi škodljivih hidravličnih kapljev, npr. mineralnega olja, v zemljo in naprej v zajetja pitne vode se pogosto dogajajo. Eden današnjih izzivov za zaščito okolja in pitne vode je uporaba alternativnih, naravnih virov hidravličnih kapljev. V pogonsko-krmilni hidravliki obstajata dve rešitvi za zadostitev željam po zaščiti okolja. Prva možnost je uporaba bio-razgradljivega olja [1-6] namesto

mineralnega olja. Vendar je to le delna rešitev, saj bio-razgradljivo hidravlično olje lahko vsebuje tudi dodatke, ki so škodljivi za okolje. Druga možnost je uporaba pitne vode namesto mineralnega olja. Uporaba pitne vode je popolnoma neškodljiva za okolje, vendar je zelo težko izvedljiva [7,8]. Za vodno hidravliko so na tržišču že na razpolago relativno enostavni konvencionalni hidravlični ventili, primanjkuje pa zvezno-krmiljenih hidravličnih ventilov, ki so nujno potrebni za velik del dandanašnjih hidravličnih strojev in naprav. Trenutno je na tržišču na razpolago še vedno premalo hidravličnih sestavin na pitno vodo z zvezno regulacijo. Čeprav kakšno od teh že dobimo, je ta ponavadi zelo kompleksna vsebujoč veliko število sestavnih delov. Kljub več kot petnajst-letnemu obdobju razvoja na področju vodne hidravlike je še vedno pomanjkljivo razumevanje mehanizmov delovanja sistemov ter komponent in njihovih lastnosti.

## 2. Pregled dosedanjega razvoja in uporabe

Kot pogonska kapljevina se je voda uporabljala že pred 2000 leti [9]. Ktezibij iz Aleksandrije, starogrški izumitelj in matematik, je okoli leta 270 pred našim štetjem izdelal prvo hidravlično črpalko [8]. Ta črpalka je imela dva bata in je bila namenjena črpanju vode. Voda je bila prva hidravlična kapljevina, ki je bila uporabljena v industrijski hidravlični napravi. To je bila hidravlična stiskalnica, patentirana v Angliji pred 216 leti [10]. Okoli leta 1868 so v Angliji sredi viktorijanskega obdobja zaključili gradnjo približno 105 km dolgega cevovoda [11]. Ustanovljeno je bilo podjetje "London Hydraulic Power", ki je oskrbovalo napajalni sistem cevovoda. V njem so preko več črpalnih postaj prečrpavali vodo iz reke Temze in kanala Regents do porabnikov po celotnem Londonu. Sistem je vzdrževal tlak najmanj 50 bar in je zmožel nekaj tisoč konjskih moči. To hidravlično energijo so uporabljali predvsem za napajanje osebnih in tovornih dvigal ter nekaterih drugih strojev. Vodo iz tega napajalnega cevovoda so uporabili tudi za gašenje požarov. Tudi osebno dvigalo znotraj Eifflovega stolpa, predano v uporabo za javnost leta 1887, je delovalo na vodno hidravliko. Leta 1894 je bil odprt znameniti londonski most, imenovan Tower Bridge. Za dviganje mostu so od otvoritve pa vse do leta 1971 uporabljali vodno hidravliko, delujočo s tlakom do 52 bar. Kljub nizkim tlakom in manjšim delovnim hitrostim pa so se pri uporabi vode ob takratnih materialih in tehnologijah izdelave pojavljali problemi. Ti so bili povezani z obrabo in korozijo sestavin vodne hidravlike. Zato so vodi postopoma začeli dodajati glicerin in druge dodatke za izboljšanje njenih mazalnih sposobnosti, znižanje točke zmrzišča in zaščito pred korozijo [12].

Leta 1906 je Janney [8] prvi razvil oljno-hidravlični sistem z aksialno batno črpalko. Ta je bil namenjen dvigovanju topov na vojaških ladjah. Mineralno olje je zaradi številnih prednosti skoraj popolnoma zamenjalo vodo. Čista voda kot hidravlični medij se od tega obdobja uveljavljanja mineralnega hidravličnega olja pa vse do devetdesetih let prejšnjega stoletja skoraj ni več uporabljala. Razlog za to so bile odlične lastnosti mineralnega olja, ki so vplivale na izrazito zmanjšano obrabo in preprečevanje korozije mehanskih sestavin. Z zmanjšanjem notranjega puščanja in trenja je mineralno olje vplivalo tudi na povečanje izkoristkov.

Vendar tudi mineralno olje ni bilo idealna zamenjava za dotakratno edino kapljevino – vodo. Pri uporabi mineralnega olja je prihajalo do problemov zaradi gorljivosti. Zato se je po letu 1940 začel intenzivnejši razvoj hidravličnih kapljev in z visokim vnetiščem [11]. Ena izmed njih so tudi vodno-oljne emulzije, ki vsebujejo do 95 % vode.

Hkrati z razvojem hidravličnih kapljev in z visokim vnetiščem pa se je nadaljeval razvoj mineralnih hidravličnih olj. Po letu 1960 se je začela uporaba mineralnih hidravličnih olj z dodatki. Takšna olja uporabljamo še danes [12]. Kvaliteta mineralnih hidravličnih olj se s stalnim razvojem novih dodatkov še vedno izboljšuje.

A kljub navidezno tehnološko idiličnim razmeram pri uporabi mineralnega olja in drugih okolju škodljivih hidravličnih kapljev in je prišlo obdobje, v katerem postaja ekologija vedno pomembnejša. Postrojenja in stroji, ki uporabljajo okolju škodljive hidravlične kapljevine, večkrat onesnažijo okolje.

Med okolju škodljive hidravlične kapljevine spadajo tudi vodno-oljne emulzije. Pri teh so problem visoke cene pri ločevanju posameznih škodljivih komponent. Zaradi nevarnosti požara se še posebej pogosto uporabljajo v železarstvu [13], [14]; vsebujejo 3 % do 6 % olja. Omenjeni odstotek pa pri velikih sistemih predstavlja veliko količino olja v emulziji, kjer je ločevanje obeh delov kapljevine težavno. Ekološko je taka emulzija sporna, zato se uporaba sistemov na vodno-oljno emulzijo v zadnjih letih zmanjšuje.

Izlivi škodljivih hidravličnih kapljev in so še posebej problematični pri tistih strojih in napravah, ki delujejo v naravnem okolju, npr. v kmetijstvu, rudarstvu, ribištvu, gozdarstvu, gradbeništvu, ipd. Prehrambena industrija je še eno od občutljivih področij glede puščanja škodljivih hidravličnih kapljev in. Do izlivov okolju škodljivih hidravličnih kapljev in lahko pride pri vzdrževanju, zaradi napak ali okvar in celo zaradi namernega onesnaževanja oziroma onesnaževanja, ki je posledica neosveščenosti.

Družba se je začela zavedati dejstva, da bomo z nadaljnjim onesnaževanjem okolja in predvsem pitne vode uničili planet in našim potomcem zapravili možnost za nadaljnje življenje. Dobro se je zavedati, da ena kaplja hidravličnega olja uniči okoli 150 litrov pitne vode. Čiščenje ene tone zemlje zaradi izlitja hidravličnega olja, odvisno od stopnje onesnaženosti, stane okoli 2.000 ameriških dolarjev [11].

Iz potreb po zaščiti okolja sta se razvili dve smeri oziroma alternativni kot nadomestka ekološko škodljivim hidravličnim kapljev inam. Prva alternativa glede hidravličnih kapljev in za zaščito naravnega okolja je "čista" voda brez dodatkov, druga pa razvoj biološko razgradljivih hidravličnih olj. Slednje alternative so se po letu 1988 najprej lotili v Nemčiji in na Švedskem. Začeli so z razvojem in kmalu tudi z uporabo biološko razgradljivih hidravličnih kapljev in [11]. Kmalu se je razvoj biorazgradljivih olj razširil na več raziskovalnih institucij počelem svetu [15-19]. Ena izmed pomembnih ovir pri uporabi biološko razgradljivih hidravličnih olj je njihova visoka stopnja gorljivosti. Poleg tega pa vsebujejo tudi nekatere dodatke, ki pa niso biološko razgradljivi.

Prvo ekološko alternativno za hidravlično kapljevino so z uporabo čiste vode brez dodatkov ponovno oživel leta 1978 v Veliki Britaniji in istega leta tudi na Japonskem. Leta 1978 je namreč britanska vojska naročila Nacionalnemu inženirskemu laboratoriju (NEL) razvoj podvodnih orodij, ki bi uporabljala morsko vodo kot hidravlično kapljevino [8].

Leta 1978 so na Japonskem pod vodstvom prof. Yamaguchija z univerze Jokohama pričeli z raziskavami o možnosti uporabe čiste vode kot hidravlične kapljevine [20]. Glede na omenjeni vir sklepamo, da so na Japonskem kmalu po osnovnih ugotovitvah pilotnega projekta prof. Yamaguchija o možnostih uporabe vodne hidravlike naredili odločilno potezo. Razvoj je verjetno usmerjala država. Tako so z direktivo državnega vodstva pozvali vse raziskovalne institucije in izdelovalce, ki so bili povezani s hidravliko, da začnejo razvijati nove tehnologije in sestavine na področju vodne pogonsko-krmilne hidravlike. Z različnimi raziskavami, pri katerih so sodelovale številne japonske univerze in izdelovalci, so prišli do novih spoznanj in idej za razvoj na področju vodne hidravlike. Doslej so na Japonskem razvili in patentirali veliko sestavin vodne hidravlike [20]. Iz dostopne literature bomo v naslednjem poglavju predstavili ključne v svetu znane in najnaprednejše sestavine vodne hidravlike.

V Veliki Britaniji je NEL leta 1987 sklenil pogodbo z enim izmed izdelovalcev in tako se je nadaljeval razvoj in začela proizvodnja nekaterih sestavin hidravlike na čisto vodo [8].

Leta 1989 so na Danskem začeli petletni raziskovalni projekt, pri katerem so, po besedah predsednika divizije za mobilno hidravliko, v "popolni tajnosti" najprej preverili možnost uporabe čiste vode kot hidravlične kapljevine [8]. Že v prvi polovici leta so ugotovili, da je uporaba čiste vode možna in začeli so z razvojem sestavin. Leta 1994 so predstavili široko paleto izdelkov, ki uporabljajo vodo iz pipe kot hidravlično kapljevino. S temi sestavinami je bilo že mogoče sestaviti enostavno hidravlično napravo na čisto vodo. Na Finskem so z veliko ekipo raziskovalcev v devetdesetih letih prejšnjega stoletja začeli z raziskavami in razvojem vodne pogonsko-krmilne hidravlike [9].

Na sliki 1 so prikazane glavne prednosti čiste vode (iz pipe) v primerjavi z vodno-oljnimi emulzijami, rastlinskim in mineralnim oljem. Čista voda je glede požarne nevarnosti in vplivov na okolje (onesnaževanje) najboljša izbira med vsemi ostalimi kapljevini. Rastlinsko olje je glede vplivov na naravo dobro, vendar slabše od vode zaradi nerazgradljivosti nekaterih dodatkov. Problem pri rastlinskem olju je gorljivost. Vodno-oljne emulzije so negorljive, vendar zelo škodljivo vplivajo na naravo. Najslabša izbira glede teh dveh lastnosti, onesnaževanja narave in gorljivosti, pa je doslej najbolj uporabljana hidravlična kapljevina, to je mineralno olje.

VPLIVI NA NARAVO	ni vplivov	RASTLINSKO (BIO) OLJE (z ustreznimi aditivi)		ČISTA VODA (iz pipe)
	veliki vplivi	MINERALNO OLJE		VODNO-OLJNA EMULZIJA: HFA, HFB in HFC
		velika nevarnost		ni nevarnosti
POŽARNA NEVARNOST				

Slika 1: Osnovne prednosti uporabe čiste vode kot hidravlične kapljevine [8]

Kljub velikemu razvoju na področju vodne hidravlike pa ta še ni dosegel ustreznega nivoja široke uporabnosti, saj se še vedno zelo malo uporablja. Glavni vzroki, ki ovirajo širšo uporabnost pogonsko-krmilne hidravlike, so prenizka zanesljivost delovanja, slabe možnosti učinkovitega nadzora in visoka cena sestavin [9]. V Sloveniji smo se leta 2005 v okviru Laboratorija za pogonsko-krmilno hidravliko Fakultete za strojništvo Univerze v Ljubljani začeli ukvarjati z vodno pogonsko-krmilno hidravliko. Namen naših začetnih raziskav je bil dokazati, da je voda kot hidravlična kapljevina dobra alternativa za čistejšo prihodnost. Z izvedenimi raziskavami, smo želeli pokazati, da je mogoče na področju pogonsko-krmilne hidravlike s sistematičnim razvojem postopoma zamenjati večino oljno-hidravličnih strojev in naprav s hidravličnimi napravami, ki uporabljajo pitno vodo kot hidravlično kapljevino.

V naslednjih poglavjih bomo natančneje predstavili sedanji tehnično-tehnološki nivo razvoja vodne pogonsko-krmilne hidravlike, naše dosedanje rezultate ter usmeritve za nadaljnjo raziskovalno delo.

### **3. Stanje tehnike na področju vodne pogonsko-krmilne hidravlike**

Že uvodoma smo omenili, da glede uporabe vode kot hidravlične kapljevine že obstajajo določene izkušnje in znanje, a se doslej ta smer hidravlike ni pomembneje uveljavila niti v raziskovalnem niti v komercialnem smislu. V dostopni znanstveni literaturi so relevantne objave razmeroma redke. Tudi sestavine, ki so za vodno pogonsko-krmilno hidravliko že dostopne na tržišču, so zelo redke. Obstajajo osnovne sestavine, kot so: črpalke s konstantno iztisinino [21-24], hidravlični motorji [8], hidravlični valji [25-27], varnostni ventili [28-31], tokovni ventili [32-33], konvencionalni potni ventili, predvsem sedežnega tipa [8, 20, 33-35]

itd. Razlog za uporabo sedežnih namesto drsniških tipov ventilov je v tesnjenju. Sedežni ventili praviloma nimajo notranjega puščanja (mikro-deformacija krmilnega bata v sedežnem kontaktu elementov) in so z vidika nizke viskoznosti vode in cenenosti izdelave dobra rešitev. Problem pa nastopi pri večini hidravličnih naprav, kjer je potreba po nadziranem "mehkem" (počasem) speljevanju in "mehkem" zaustavljanju izvršilne hidravlične sestavine (hidravlični valj, hidravlični motor). Sedežni tip ventila je vklopno-izklopni, kar pomeni, da hitrosti vklopov in izklopov težko kontrolirati. Zato je težko sprojektirati in zgraditi uporabne hidravlične sisteme, ki bi bili funkcionalno primerljivi oljnim. Obstaja že nekaj enostavnejših aplikacij, ki za svoje delovanje uporabljajo predvsem vklopno-izklopne ventile, predvsem sedežnega tipa [33, 36–39]. Trenutne možnosti za uporabo vodne hidravlike v realnih, predvsem hitrih, zvezno krmiljenih sistemih so izjemno majhne, saj se največkrat dogodi, da nekatere izmed potrebnih sestavin niso na voljo. To je verjetno tudi eden izmed razlogov za redko uporabo vodne hidravlike v praksi.

Izrazito se kaže predvsem pomanjkanje zvezno delujočih ventilov, ki so bistvenega pomena za praktično vsak hidravlični sistem, ki naj bi bil konkurenčen oljni hidravliki. Vprašljiva je uporabnost vode v teh sistemih in sestavinah in sicer predvsem: kadar delujejo z višjimi frekvencami; pri zahtevah po večji natančnosti odziva sestavin glede na krmilne signale; pri zahtevah doseganja primernih prehodnih funkcij ter glede zahteve o ustrezni odpornosti na obrabo sestavin in posledično primerno uporabno dobo.

Po dandanes dostopni znanstveni literaturi skoraj ni možno najti relevantnih objav o lastnostih in obnašanju vodnih sestavin na področju najzahtevnejše pogonsko krmilne hidravlike, kot so npr. zvezno delujoči potni ventili [20, 40–43], saj so le-te znatno drugačne od preprostejših sestavin, ki jih izdelovalci podajajo v svojih katalogih. Njih podane karakteristike in lastnosti so večinoma razmeroma skromne v primerjavi s tistimi v oljni hidravliki.

Zvezno delujoče potne ventile splošno delimo v dve skupini. Prva so proporcionalni ventili, ki so enostavnejši in zato cenejši ter posledično tudi najbolj uporabljani, saj s svojimi lastnostmi in karakteristikami večinoma ustrezajo zahtevam delovanja velikega dela sodobnih strojev. Druga skupina zvezno delujočih ventilov pa so servoventili. Ti imajo zapletenejšo konstrukcijo kot proporcionalni ventili in so posledično (za primer v oljni hidravliki) do desetkrat dražji. Odlikuje jih veliko boljša dinamična odzivnost v primerjavi s proporcionalnimi in sicer do nekaj sto Hz. Njihova slabost je, da so sestavljeni iz velikega števila sestavnih elementov. Nekaj glavnih elementov servoventilov ima visoke tehnološke zahteve glede izdelavnih toleranc in stanja površine, posledica česar so visoki izdelavni stroški. Iz literature je razvidno, da obstaja nekaj objav o proporcionalnih potnih ventilih. Prispevki opisujejo tri različne izvedbe vodnih proporcionalnih potnih ventilov. To so  $2/2$ ,  $3/2$  in nizekotlačni (do 70 bar)  $4/3$  vodni proporcionalni potni ventil. Iz dostopne literature o teh ventilih je razvidno, da je ustreznih podatkov premalo za projektiranje hidravličnih sistemov. Iz objavljenega v splošnem razberemo, kar navajajo tudi avtorji, da imajo obstoječi proporcionalni potni ventili slabe delovne karakteristike. Pri osnovnih aplikacijah, ki

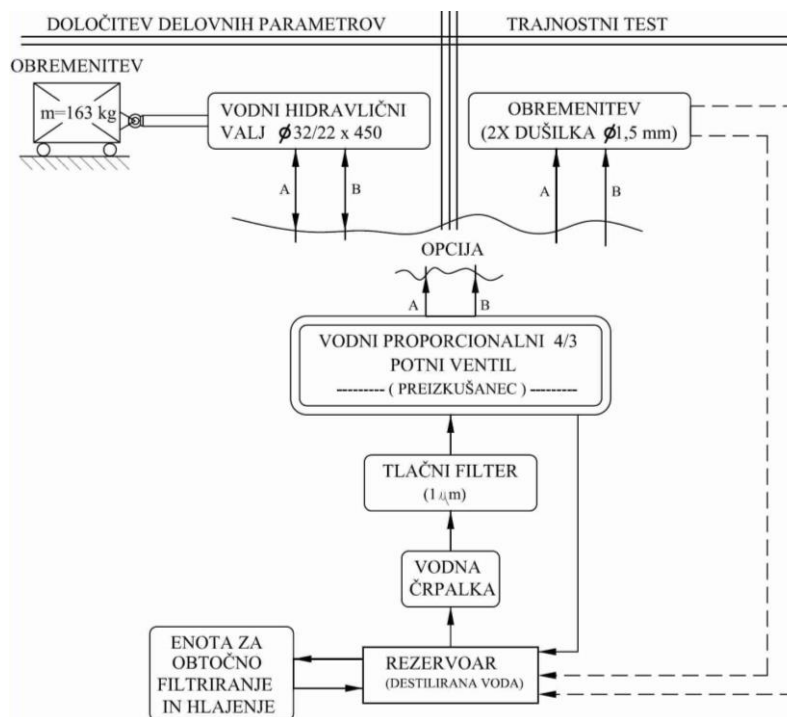
zahtevajo zvezno krmiljenje ventile, se pokaže, da so predstavljeni ventili neustrezni. Tudi najnovejše ugotovitve svetovno znanega avtorja na področju vodne hidravlike [9] kažejo, da je proporcionalna tehnologija zelo pomembna za razvoj vodne hidravlike. V nadaljevanju avtor trdi, da je področje vodnih proporcionalnih ventilov, z izjemo nekaj posebnih, nerazvito. Nadaljuje še, da se vodni proporcionalni potni ventili v praksi ne uporabljajo. Kljub temu, da obstajajo sicer zelo redki podatki [46, 47] o razvoju servoventilov za pitno vodo, pa še vedno ni pravih podatkov o njihovi vzdržljivosti. Dostopnost prikazanih servoventilov na tržišču je še vedno vprašljiva. Predstavljeni servoventili za vodo imajo nekajkrat slabšo karakteristiko od kvalitetnih v oljni hidravliki. To daje jasen signal, da se bi se moralo to področje v prihodnje še razvijati.

#### **4. Rezultati raziskav in razvoja na področju vodne PK hidravlike pri nas**

Tekom našega večletnega delovanja na področju vodne pogonsko-krmilne (PK) hidravlike smo izvedli več raziskav in prišli do več pomembnejših ugotovitev. Nekaj teh bo predstavljenih v nadaljevanju.

##### **4.1. Univerzalno vodno hidravlično preizkuševališče**

Prvo naše večje delo na področju vodne hidravlike je bilo snovanje, projektiranje in izdelava dvojnega, tj. vodnega in funkcionalno primerljivega oljnega preizkuševališča. Glavni sestavni deli vodnega preizkuševališča [48] so prikazani na poenostavljenem blokovnem diagramu (sl. 2) ter na fotografiji (sl. 3) vodnega preizkuševališča. Preizkuševališče sestavljajo hidravlični rezervoar, visokotlačna vodna črpalka, tlačni filter, vodni proporcionalni 4/3 potni ventil (preizkušanelec) ter opcijsko, vodni hidravlični valj ( $\text{Ø}32/22 \times 450$ ) z utežjo ali dve dušilki (premer 1,5 mm). Vodni hidravlični valj smo uporabili v primeru raziskav delovnih hidravličnih parametrov, dušilki pa v primeru trajnostnega testa. Dodatno je na preizkuševališču poskrbljeno še za obtočno filtriranje in hlajenje. Večina sestavin, razen preizkušancea, vodnega proporcionalnega 4/3 potnega ventila in vodnega hidravličnega valja, je serijske izdelave. Poleg omenjenih sestavin je na preizkuševališču še ustrezna merilna in krmilna oprema. Zajem podatkov meritev in krmiljenje se izvaja s pomočjo programske opreme LabView, proizvajalca National Instruments. V vodnem preizkuševališču smo za hidravlično kapljevino uporabljali destilirano vodo. Oljno hidravlično preizkuševališče je funkcijsko-podobno zgrajeno, kot predstavljeno vodno preizkuševališče. Zgrajeno je iz standardnih, na tržišču dostopnih sestavin, razen oljnega hidravličnega valja, ki je izdelan popolnoma enako kot vodni hidravlični valj.



Slika 2: Blokovni prikaz zgradbe vodnega preizkuševališča za določitev delovnih parametrov in trajnostni test

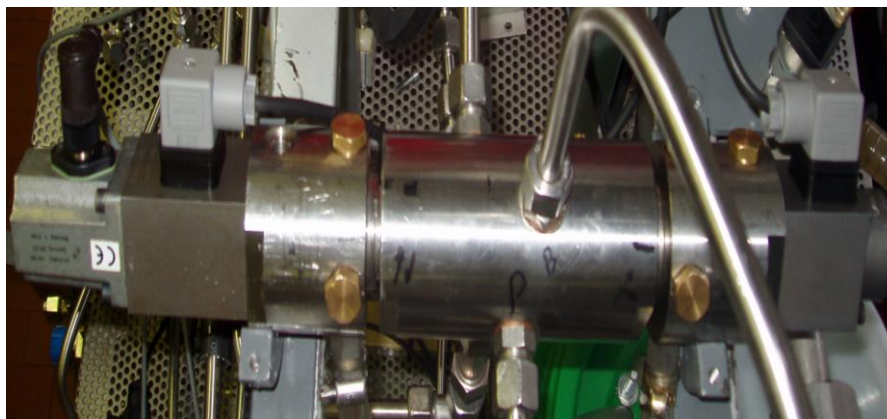


Slika 3: Fotografija vodnega preizkuševališča

## 4.2. Vodni proporcionalni potni ventil

Predmet enega izmed obširnejših del na področju vodne hidravlike je bil razvoj vodnega proporcionalnega 4/3-potnega ventila, ki je bil zasnovan in skonstruiran v našem laboratoriju (sl. 3).





Slika 4: Na novo razvit vodni proporcionalni 4/3-potni ventil (preizkušane)

Cilj je bil razviti razmeroma enostaven vodni proporcionalni potni ventil drsniškega tipa s čim manj sestavnimi deli in primerljiv s funkcionalno analognim standardnim oljnim ventilom. Funkcionalno pomembnejši sestavni deli novega vodnega proporcionalnega ventila so: glavno ohišje, drsna puša, krmilni bat, levi enosmerni proporcionalni električni magnet, namenjen za pritrditev LVDT-ja, merilnik položaja krmilnega bata (LVDT), desni enosmerni proporcionalni električni magnet ter dve tlačni vzmeti usklajeni z močjo proporcionalnih elektromagnetov.

Rezultate meritev delovnih karakteristik vodnega preizkušanca smo primerjali z rezultati meritev, izvedenih s funkcijsko analognim oljnim proporcionalnim potnim ventilom. Rezultati raziskav [48] kažejo, da so delovne karakteristike novo razvitega vodnega proporcionalnega potnega ventila sprejemljive za večino manj in srednje zahtevnih aplikacij.

#### 4.3. Vodni hidravlični valj z nastavljivim končnim dušenjem

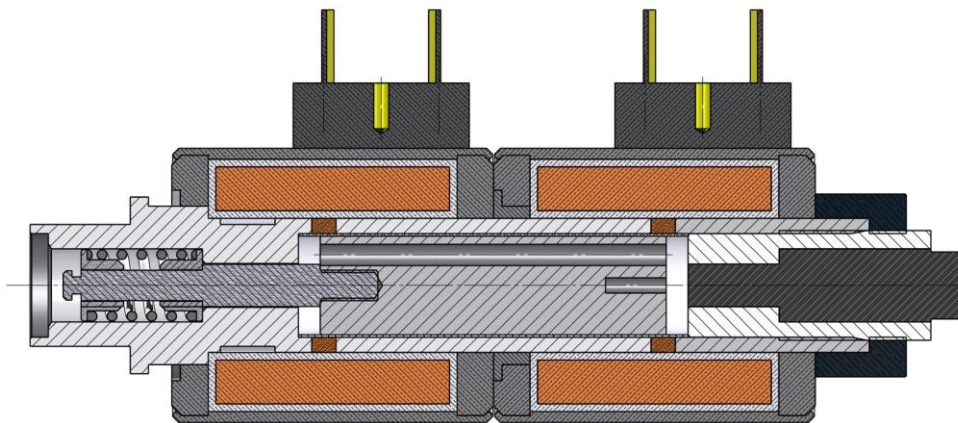
Zasnovan in izdelan je bil posebni vodni hidravlični valj (HV), katerega namen je testiranje različnih že obstoječih standardnih tesnil in tesnilnih sklopov ter razvoj novih tesnil za uporabo znotraj vodnih hidravličnih valjev. Zahteve za vodni HV so bile, da je premer bata 32 mm in premer batnice 22 mm. HV je bil izdelan tako, da z najmanj truda lahko zamenjamo tesnilni sklop na batu in prirobnici. Vodni hidravlični valj ima na vsaki strani po eno priključno mesto za merjenje tlaka. HV (sl. 5) je bil izdelan v celoti iz nerjavečih materialov oziroma primerno zaščiten proti koroziji.



Slika 5: Prototip novega vodnega hidravličnega valja

#### 4.4. Vodni potisno-vlečni konvencionalni elektro magnet

Pri konstruiranju novih vodnih hidravličnih ventilov hitro naletimo na problem na tržišču nedostopnih nerjavnih elektromagnetov. To nas je vodilo k ideji po razvoju novega nerjavnega potisno vlečnega elektromagneta za krmiljenje vodnega konvencionalnega potnega ventila. Na sliki 6 je shematsko prikazan prerez potisno-vlečnega elektromagneta z enojno kotvo, kakršnega smo se odločili razviti. Prerez je v zgornjem delu, zaradi preglednosti, obarvan z barvami, ki ponazarjajo uporabljene materiale. Sivo obarvano področje predstavlja jedro elektromagneta, ki ga sestavljata pomična kotva, vidna v sredini, ter ohišje kotve [9]. Oba dela jedra sta izdelana iz enakega nerjavnega magnetnega materiala. Pod vsako tuljavo je ohišje kotve prekinjeno z lotnim spojem iz nemagnetne bakrove zlitine. Ta v magnetnem krogu deluje kot upornik, saj preusmeri magnetni pretok iz ohišja na kotvo. Magnetni tok ustvari električni tok  $I$ , ki teče skozi tuljavo z "w" navoji. Med preklopom ventila se istočasno vklaplja le po ena tuljavo, tako steče istočasno le en magnetni krog. V primeru, da lotnega spoja ne bi bilo, bi večina magnetnega toka tekla po ohišju nad kotvo, na kateri bi se pojavila zanemarljiva delovna potisna sila. Z lotnim spojem pa preusmerimo večino magnetnega toka na kotvo, ki se, v odvisnosti od zračne reže "x" in gostote magnetnega polja "B", odzove z Maxwellovo magnetno silo. Sila je v potisni smeri elektromagneta označena s "Fp", v vlečni smeri pa s "Fv". Zaželeno je, da sta ti dve sili v odvisnosti od pomika x, v vsako smer, čimbolj enaki, saj bo ventil le tako zanesljivo preklapljal v oba položaja. To je pomembno tudi, če bi kasneje razvijali elektromagnet v zvezno delujočega. Takrat bi želeli z regulacijo toka skozi obe tuljavi zvezno pozicionirati kotvo po celotnem x območju.



Slika 6: Prerez novega potisno-vlečnega vodnega elektromagneta

#### 4.5. Vodni konvencionalni vložni potni ventil

Razvit, izdelan in testiran je bil nov vodni konvencionalni 4/3 potni vložni ventil nazivne velikosti 4 (NV4). Nazivna velikost 4 je najmanjša velikost hidravličnih ventilov po standardu

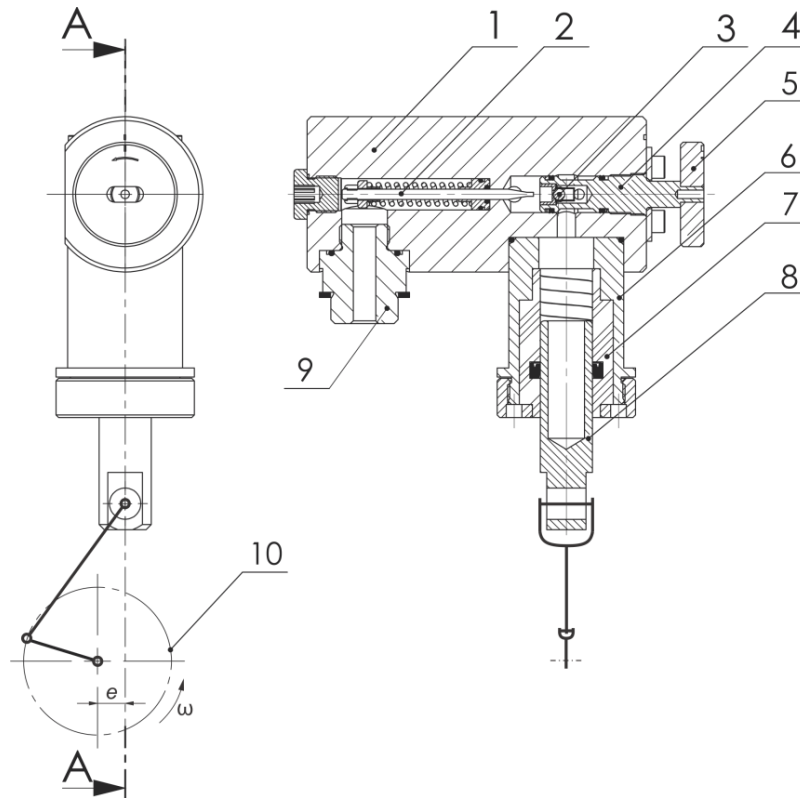
ISO 4401, namenjena za pretoke do 30 l/min. Za takšno velikost smo se odločili zaradi zahtev aplikacije, kjer je zaželen manjši enostaven štiripotni tropoložajni (4/3) ventil z enkrat blokiranim in drugič z razbremenjenim (A,B in T priključek so povezani med seboj) ničelnim položajem. Slika 7 prikazuje izdelan prototip vodnega vložnega 4/3 potnega ventila s potisno-vlečnim elektromagnetom (pogl. 4.4). Raziskave njegove odzivnosti, notranjega puščanja in zanesljivosti kažejo, da je ventil mogoče uporabiti v aplikacijah.



Slika 7: Prototip novega konvencionalnega 4/3 potnega ventila

#### 4.6. Vodna vrstna batna črpalka

Zasnovali in izdelali smo enostavno, kompaktno vodno vrstno črpalko sestavljeno iz relativno malo sestavnih delov. Črpalka dopušča možnost nastavitve delovnega tlaka od 50 bar do 200 bar. Ker pa je prototip črpalke namenjen predvsem raziskovalni dejavnosti in preučevanju delovanja pri različnih materialih v vodi, je zasnova črpalke taka, da se ključne sestavne dele enostavno odstrani, se jih preuči v laboratoriju in po potrebi zamenja. Slika 8 prikazuje funkcionalno pomembnejše dele črpalke: ohišje (poz. 1), varnostno-razbremenilni ventil (poz. 2), krmiljeni sesalni protipovratni ventil (poz. 3), ohišje sesalnega protipovratnega ventila (poz. 4), vrtljiv gumb za nastavljanje položaja varnostno-razbremenilnega ventila (poz. 5), nosilna puša (poz. 6), zamenljiva puša (poz. 7), bat (poz. 8) in priključek za hidravlični akumulator (poz. 9). Številne raziskave delovanja nove vodne črpalke pri različnih pogojih okolice ( $-20^{\circ}\text{C}$ ,  $+20^{\circ}\text{C}$ ) ter različnih hidravličnih kapljevinah (pitna voda ter ločeno pitna voda z dodanimi tremi različnimi bio-razgradljivimi dodatki proti zmrzovanju) kažejo na možnost širše uporabnosti vodne hidravlike v prihodnje. Od navedenih treh dodatkov smo za vsako "izvedenko vode" dodali po en dodatek in tako torej testirali tri različne "vodne kapljevine" proti zmrzovanju.



Slika 8: Vodna vrstna črpalka

#### 4.7. Vodni hidravlični agregat vitla

V laboratoriju LPKH je bil zasnovan, konstruiran in izdelan nov hidravlični agregat vitla na vodno hidravliko. Gre za enega prvih gozdarskih vitlov na svetu. Vitel uporablja vodo iz pipe kot hidravlično kapljevino. Funkcionalno je ekološki vodni vitel popolnoma enakovreden obstoječemu vitlu na oljno hidravliko. V toplejših pogojih okolice ( $> 0^{\circ}\text{C}$ ) se lahko uporablja bodisi destilirana voda, ali pa celo pitna voda. V hladnejših pogojih (pod točko ledišča vode), se vodi primešajo bio-razgradljive kapljevine (etanol, etilen glikol, propilen glikol, ...). Z naštetimi dodatki vodi smo vodni hidravlični agregat tudi testirali pri temperaturi  $-20^{\circ}\text{C}$ . Vodni hidravlični agregat vitla sestavljajo: nova vodna vrstna črpalka z vgrajenim varnostno-razbremenilnim ventilom in ekscentričnim pogonom ter uležajenjem, novi vgrezni vodni konvencionalni 4/3 potni ventil s priključnim blokom, nerjavni rezervoar z nivojskim prikazovalnikom in nivojskim stikalom ter nerjavni hidravlični akumulator, odzračevalni in povratni vodni filter. Vodni hidravlični agregat vitla je bil preizkušen pri dveh različnih temperaturah okolice, tj. pri  $-20^{\circ}\text{C}$  in pri  $+20^{\circ}\text{C}$ .



Slika 9: Prototip vodnega hidravličnega agregata vitla

## 5. Zaključki in povzetki

Začetki vodne pogonsko-krmilne hidravlike segajo v čas začetka razvoja strojev in naprav, oziroma v čas začetkov razvoja strojništva nasploh.

V dvajsetem stoletju je dominantno vlogo edini dotakratni kapljevini, tj. vodi prevzelo mineralno hidravlično olje. To se še vedno najbolj množično uporablja. Velik problem mineralnega hidravličnega olja je ekološka oporečnost in gorljivost.

V obdobju zadnjih trideset let, po odkritju številnih novih materialov, je zopet prišlo do ponovnega oživljanja okolju prijazne vodne hidravlike.

V Sloveniji smo na področju vodne hidravlike v zadnjih šestih letih naredili viden napredek. Skozi rezultate številnih raziskav smo dokazali, da je vodno hidravliko mogoče uporabljati in s tem konkurirati oz. postopoma zamenjati doslej najbolj uporabljano oljno hidravliko.

Predstavljeno stanje tehnike na področju vodne hidravlike nam govori o pomanjkanju predvsem zvezno delujočih ventilov in črpalk s spremenljivo iztisinno. Razvoj omenjenih sestavin je nujno potreben za širjenje uporabnosti vodne hidravlike.

## 6. Zahvala

Avtorji se zahvaljujemo Slovenski raziskovalni agenciji (ARRS) in Javni agenciji za podjetništvo in tuje investicije (JAPTI), Ministrstvu za gospodarstvo RS ter Evropskemu socialnemu skladu, ki so finančno podprli raziskave na tem področju. Avtorji smo iskreno hvaležni tudi podjetju TAJFUN Planina d.o.o. za sofinanciranje tega projekta. Večino sestavin oljnega dela preizkuševališča je prispevalo podjetje Kaldivar Žiri d.d., polovico vseh potrebnih gibkih cevi je prispevalo podjetje HIB Kranj, hidravlično mineralno olje v oljnem delu preizkuševališča pa je prispevalo podjetje OLMA d.d.. Vsem omenjenim se zahvaljujemo za pomoč.

## 7. Literatura

- [1] M. Kalin, F. Majdič, J. Vižintin, J. Pezdirmik, I. Velkavrh, Analyses of the Long-Term Performance And Tribological Behaviour of an Axial Piston Pump Using Dimond-like-Carbon-Coated piston Shoes and Biodegradable Oil, *Journal of Tribology*, 2008, vol. 130.
- [2] M. Kalin, F. Majdič, J. Vižintin, J. Pezdirmik. Performance of axial piston pump using DLC-coated piston shoes and biodegradable oil. in: The 12th Nordic Symposium on Tribology, Helsingor, Denmark, June 7-9, 2006. Nordtrib 2006. (2006), 10 Pgs.
- [3] M. Kalin, J. Vižintin, A comparison of the tribological behaviour of steel/steel, steel/DLC and DLC/DLC contact when lubricated with mineral and biodegradable oils. *Wear* 261 [1] (2006)
- [4] J. Barriga, M. Kalin, K. Van Acker, K. Vercammen, A. Ortega, L. Leiaristi. Tribological performance of titanium doped and pure DLC coatings combined with a synthetic bio-lubricant. *Wear* 261, (2006) 9-14.
- [5] M. Kalin, J. Vižintin, Vercammen, K., Arnšek, A., Barriga, J., Van Acker, K. Tribological performance of lubricated DLC coatings using biodegradable oils. *The coatings in Manufacturing Engineering (2004)* 457-465.
- [6] J. Barriga, M. Kalin, K. Van Acker, K. Vercammen, A. Ortega, L. Leiaristi. Tribological characterisation and validation of carbon based coatings combined with bio-lubricants. *Proceedings of the 11th Nordic Symposium on Tribology*. Norway, June 2004. Pg. 508-517.
- [7] Wolfgang Backe, Water- or oil-hydraulics in the future, SICFP'99, May 26-28, 1999, Tampere, Finland, Pg. 51 - 65
- [8] E. Trostmann: *Water hydraulics control technology*; Lyngby 1996, Tech. Univ. Denmark
- [9] Koskinen, K., Leino, T., Riipinen, H.: "Sustainable development with water hydraulics – possibilities and challenges," *Proceedings of the 7th JFPS Interantional Symposium in Fluid Power*, 2008, Toyama, Japonska, Vol. 1, pp. 11 – 18.
- [10] Bramah, Joseph: "The Hydraulic Press", U K Patent št. 2045, 1795.
- [11] Trostmann, E., Frolund, B., Elesen, B. H., Hilbrecht, B.: "Tap Water As A Hydraulic Pressure Medium", Marcel Dekker, New York, 2001.
- [12] Hodges, P.: *Hydraulic Fluids*, Arnold, London, 1996.
- [13] Majdič, F., Pezdirmik, J., Kalin, M.: "Voda kot hidravlična tekočina v pogonsko-krmilni hidravliki – 1. del," *Ventil (Ljublj.)*, 2006, letn. 12, št. 3, str. 178–184. [COBISS.SI-ID 9391643]
- [14] Majdič, F., Pezdirmik, J., Kalin, M.: "Voda kot hidravlična tekočina v pogonsko-krmilni hidravliki – 2. del," *Ventil (Ljublj.)*, 2006, letn. 12, št. 4, str. 238–245. [COBISS.SI-ID 9528091]
- [15] Kalin, M., Majdič, F., Vižintin, J., Pezdirmik, J., Velkavrh, I.: Analyses of the Long-Term Performance And Tribological Behaviour of an Axial Piston Pump Using Dimond-like-Carbon-Coated piston Shoes and Biodegradable Oil, *Journal of Tribology*, 2008, 130, pp.11013- 1-8.
- [16] Igartua, A., Aranzabe, J., Barriga, J., and Rodriguez, B.: Tribological Study For The Application Of Biodegradable Lubricants in The Industry, COST 516 Tribology Symposium Proceedings, H. Ronkainen, K. Holmberg, 1998, eds., VTT, Espoo, p. 135–146.
- [17] Kalin, M., Vižintin, J.: A comparison of the tribological behaviour of steel/steel, steel/DLC and DLC/DLC contact when lubricated with mineral and biodegradable oils, *Wear*, 2006, 261(1), p. 22–31.
- [18] Adhvaryu, A., Erhan, S. Z., Perez, J. M.: Tribological studies of thermally and chemically modified vegetable oils for use as environmentally friendly lubricants, *Wear*, 2004, 257 (3), p. 359–367.
- [19] Kalin, M., Vižintin, J.: The tribological performance of DLC-coated gears lubricated with biodegradable oil in various pinion/gear material combinations, *Wear*, 2005, 259, p. 1270–1280.
- [20] Kitagawa, A.: "Co-operation between Universities and Water Hydraulic Companies in Japan," *The Sixth Scandinavian International Conference on Fluid Power, SICFP 1999, Tampere, Finland.*
- [21] Emmaneel, M.: "Proportional technology with electronics on board", *The Tenth Scandinavian International Conference on Fluid Power, SICFP 2007, Tampere, Finland.*
- [22] Bech, T., Olsen, S., Klit, P.: "Design of pumps for Water Hydraulic Systems," *The Sixth Scandinavian International Conference on Fluid Power, SICFP 1999, Tampere, Finland.*
- [23] Tammisto, J., Kunttu, P., Koskinen, K., T., Vilenius, M., Pohls, O.: "Development of water hydraulic arc-cylinder pump and motor prototypes", *The Sixth Scandinavian International Conference on Fluid Power, SICFP 1999, Tampere, Finland.*
- [24] Pohls, O., Rantanen, O., Kuikko, T.: "Sea water hydraulic axial piston machine," *The Sixth Scandinavian International Conference on Fluid Power, SICFP 1999, Tampere, Finland.*
- [25] Zhou, H., Yang, H.: "Diagnostic of cavitation inception in water hydraulic piston pump," *The Sixth Scandinavian International Conference on Fluid Power, SICFP 1999, Tampere, Finland.*

- [26] Ikeo, S., Nakashima, H., Ito, K.: "Water hydraulic system for high speed cylinder drive," Proceedings of the 7th JFPS International Symposium in Fluid Power, 2009, Toyama, Japonska, 1. del, pp. 95–100.
- [27] Virvalo, T., Makinen, E., Vilenius, M.: "Force control of a water hydraulic cylinder drive," The Sixth Scandinavian International Conference on Fluid Power, SICFP 1999, Tampere, Finland.
- [28] Laitinen, L., Heiskanen, K., Kajaste, J., Pietola, M.: "Friction phenomena in a water hydraulic cylinder at low-pressure levels," The Eighth Scandinavian International Conference on Fluid Power, SICFP 2003, Tampere, Finland.
- [29] Suzuki, K., Urata, E.: "Development of a direct pressure-sensing water hydraulic relief valve," International Journal of fluid power 9 (2008), No. 2, pp. 5–13.
- [30] Suzuki, K., Urata, E.: "Improvement in static characteristics of a water hydraulic relief valve," The Ninth Scandinavian International Conference on Fluid Power, SICFP 2005, Linköping, Sweden.
- [31] Yongjun, G., Hua, Z., Huayong, Y.: "A study on water hydraulic unloading relief valve," The Ninth Scandinavian International Conference on Fluid Power, SICFP 2005, Linköping, Sweden.
- [32] Suzuki, K., Urata, E.: "Improvement of cavitation resistive property of a water hydraulic relief valve," The Eighth Scandinavian International Conference on Fluid Power, SICFP 2003, Tampere, Finland.
- [33] Suzuki, K., Urata, E.: "Development of a water hydraulic pressure-compensated flow control valve," International Journal of fluid power 9 (2008), No. 3, pp. 25–33.
- [34] Sorensen, P.: "News and trends by the industrial application of water hydraulics," The Sixth Scandinavian International Conference on Fluid Power, SICFP 1999, Tampere, Finland.
- [35] Leino, T., Koskinen, K., T., Vilenius: "CFD-modelling of a water hydraulic poppet valve-comparison of different modeling parameters," The Eighth Scandinavian International Conference on Fluid Power, SICFP 2003, Tampere, Finland.
- [36] Leino, T., Koskinen, K., T., Vilenius: "Modelling of fluid dynamics in a water hydraulic seat valve – investigation of pressure distribution," The Ninth Scandinavian International Conference on Fluid Power, SICFP 2005, Linköping, Sweden.
- [37] Garcia, J., M., Krutz, G., W., Lumkes, J.: "Self propelled water hydraulic vehicle," The Tenth Scandinavian International Conference on Fluid Power, SICFP 2007, Tampere, Finland.
- [38] Stubenruss, P., Stubenruss, M.: "Wir waren selbst verblüfft," Fluid, Nr.7/8 2005.
- [39] Vecchiato, D., Manco, S., Nervegna, N.: "Metal sheet hydroforming: selection, modeling and simulation of the feed system," The Eighth Scandinavian International Conference on Fluid Power, SICFP 2003, Tampere, Finland.
- [40] Conrad, F., Hilbrecht, B., Jepsen, H., Grondal, J.: "Design on environmental-friendly water hydraulic motion control systems for industrial applications," The Seventh Scandinavian International Conference on Fluid Power, SICFP 2001, Linköping, Sweden.
- [41] Koskinen, K. T., in Vilenius M., Steady State And Dynamic Characteristics Of Water Hydraulic Proportional Ceramic Spool Valve, International Journal of Fluid Power 1, 2000, No. 1, str. 5–17.
- [42] Takahashi, T., Usami, Y.: Water Hydraulic Proportional Control Valve. United States Patent No. US 5,785,087. Julij 28, 1998.
- [43] Sairiala, H., Koskinen, K., T., Vilenius, Jauhola, P., Jauhola, L., Selkosmaa, J.: "Control of a water hydraulic cylinder drive with new proportional valve," The Eighth Scandinavian International Conference on Fluid Power, SICFP 2003, Tampere, Finland.
- [44] Krogerus, T., Pietikainen, J., Koskinen, K., T.: "Comparison of vibration and pressure signals for fault detection on water hydraulic proportional valve," Proceedings of the 7th JFPS International Symposium in Fluid Power, 2009, Toyama, Japonska, Vol. 3, pp. 691 – 696.
- [45] Rokala, M., Palonen, T., Sairiala, H., Koskinen, K., T.: "Control system development for the water hydraulic 6-dof motion platform," The Tenth Scandinavian International Conference on Fluid Power, SICFP 2007, Tampere, Finland.
- [46] Krogerus, T., Sairiala, H., Saarinen, M., Koskinen, K. T.: "Fault classification based on self-organizing maps in water hydraulic forklift," The Tenth Scandinavian International Conference on Fluid Power, SICFP 2007, Tampere, Finland.
- [47] Urata, E., Miyakawa, S.: "On the dynamics of water hydraulic Servovalve – an estimate for mathematical models," The Fifth Scandinavian International Conference on Fluid Power, SICFP 1997, Linköping, Sweden.
- [48] F. Majdič, Voda kot hidravlična kapljevina, doktorska disertacija, Ljubljana 2010