

Razvoj nove daljinsko krmiljene hidravlične roke

Franc MAJDIČ, Martin SEVER, Nejc STRAVNIK

Izveček: V sodelovanju Laboratorija za fluidno tehniko (LFT) in Fakultete za strojništvo Univerze v Ljubljani smo izdelali daljinsko krmiljeno hidravlično roko. Izvršilno orodje hidravlične roke so klešče. Za krmiljenje hidravličnih sestavin so uporabljeni 4/3 konvencionalni potni ventili, ki v kombinaciji s frekvenčnim reguliranjem vrtljajev elektromotorja omogočijo proporcionalno krmiljenje hidravlične roke. V prispevku je opisan hidravlični sistem z uporabljenimi sestavinami. Poudarek smo dali nadzoru vlage v hidravlični kapljevini in pomenu filtracije pred obratovanjem naprave in med njim. Podane so tudi fizikalne osnove prehodnih pojavov, ki so pri tej napravi precej izraziti. Prehodne pojave smo simulirali v programu AMESim. Opisan je tudi v LFT izdelan električni drsnik, preko katerega so krmiljeni 4/3 konvencionalni potni ventili.

Ključne besede: hidravlična roka, frekvenčni regulator, 4/3 konvencionalni potni ventil, filtracija, vlaga, prehodni pojavi

1 Uvod

Fakulteta za strojništvo v Ljubljani je svojim laboratorijem ponudila polovično sofinanciranje izdelave novega razstavnega eksponata. Cilj, ki smo si ga zadali v Laboratoriju za fluidno tehniko (LFT), je bil izdelava daljinsko krmiljene hidravlične roke in prva promocijska predstavitev na 16. specializiranem sejmu vzdrževanja – Terotech (slika 1) v maju 2014. Pri razvoju nove hidravlične roke smo v prvi vrsti želeli uporabiti v našem laboratoriju razvite sestavine. Ob vsem tem pa smo se poskušali postaviti tudi v vlogo kupca, ki pričakuje cenovno ugoden, vendar zmogljiv in zanesljiv sistem. Tako smo prišli do rešitve s cenovno ugodnimi 4/3 konvencionalnimi potnimi ventili in krmiljenjem elektromotorja s frekvenčnim regulatorjem.

2 Hidravlični sistem

2.1 Hidravlična shema in sestavine

Prednost hidravličnega sistema s frekvenčnim regulatorjem in kon-

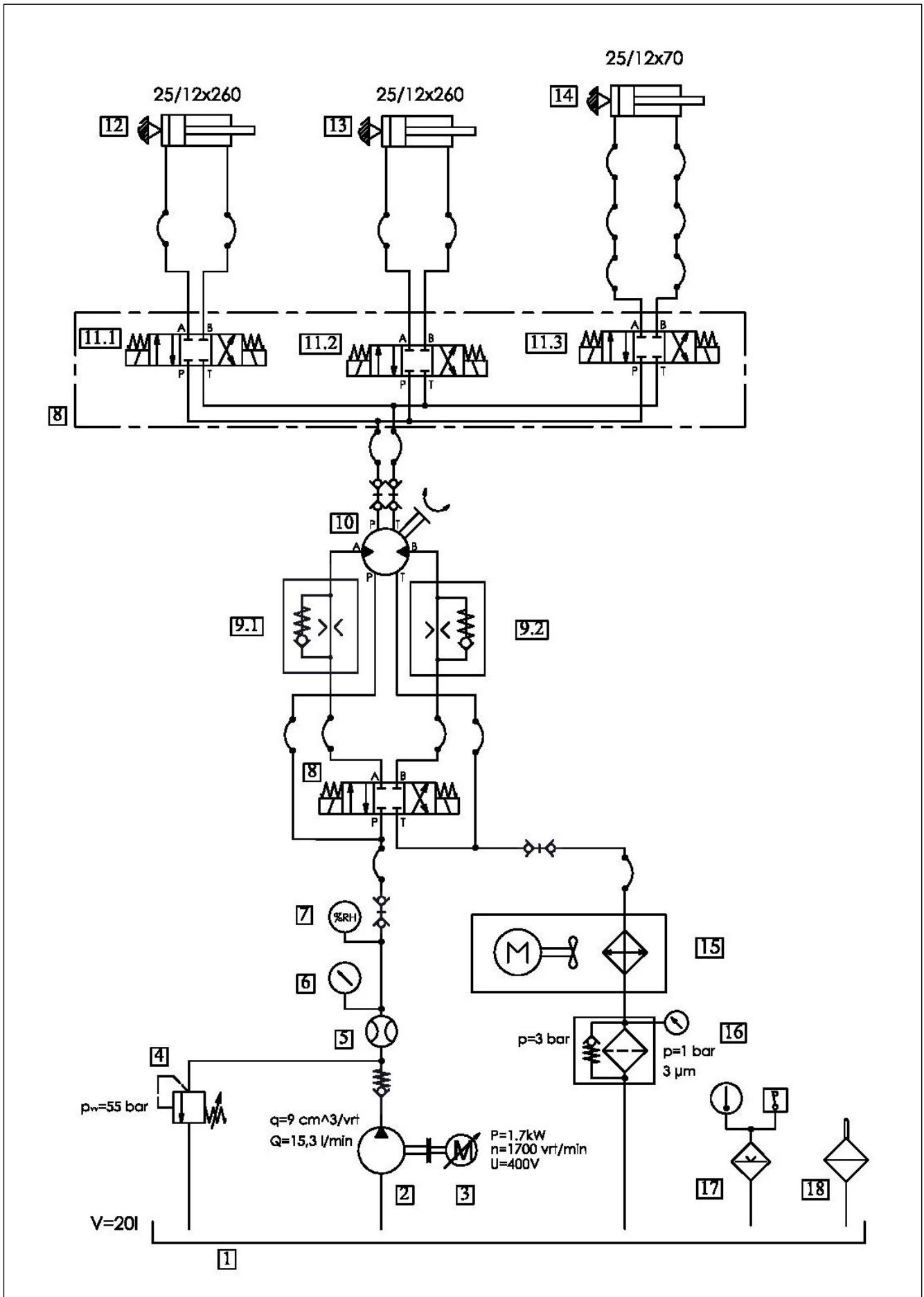
vencionalnimi potnimi ventili je v tem, da za relativno nizko ceno dobimo zvezno krmiljeno gibanje izvršilnih sestavin. Uporabljeni serijsko izdelani konvencionalni 4/3 potni ventili so krmiljeni vsak z dvema elektromagnetoma, pri katerih imamo možnost prekrmljenja krmilnega bata v vzporedni in križni položaj. Vhodni krmilni signal na konvencionalni potni ventil je skočna funkcija. To pomeni, da pri spreminjanju lege

krmilnega bata na ventilu dobimo nenadno spremembo pretoka hidravlične kapljevine pod tlakom, posledica pa je sunkovito speljevanje oz. zaustavitev izvršilne sestavine. Pri alternativni, to je proporcionalnem potnem ventilu, pa lahko lego krmilnega bata nastavljamo poljubno, s tem dosežemo mehko speljevanje in ustavljanje ter natančno pozicioniranje izvršilne sestavine. Funkcija vhodnega krmilnega signala je lahko



Slika 1. Predstavitev daljinsko krmiljene roke na sejmu Terotech maja 2014

Doc. dr. Franc Majdič, univ. dipl. inž., Martin Sever, Nejc Stravnik, vsi Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo



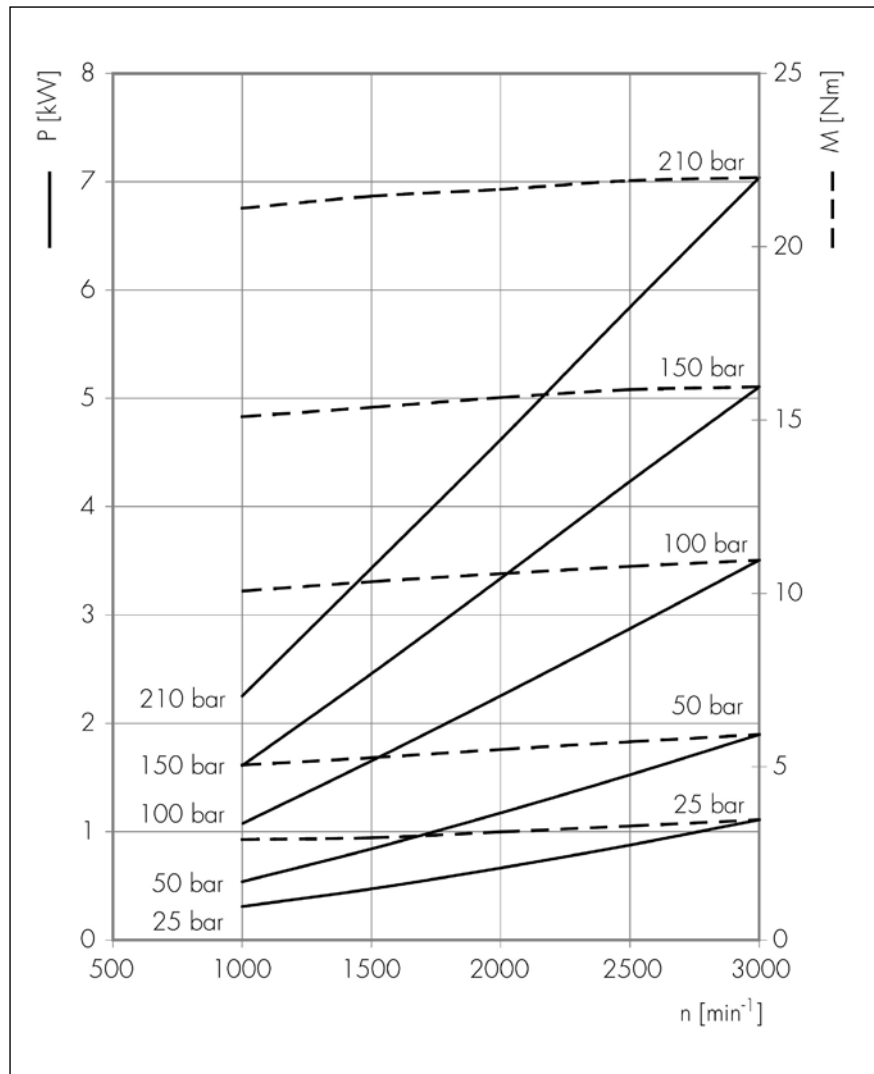
Slika 2. Hidraulična shema daljinsko krmiljene roke

poljubna, vendar mora biti zvezna. Faktor v ceni med konvencionalnimi potnimi in proporcionalnimi potnimi ventili je do 10-kratnik, včasih tudi več, odvisno od kvalitete proizvajalca. V sistemu smo uporabili zobniško hidravlično črpalko s konstantno iztisnino 8,8 cm³/vrt (slika 2, poz. 2) pri nominalno 1500 vrt/min. Gnana je prek trifaznega elektromotorja (sl. 2, poz. 3) z močjo 1,7 kW pri 50 Hz in 1450 vrt/min. Uporabljena hidravlična črpalka ima pri konstantni vrtilni frekvenci konstantno iztisnino proti črpalki s spremenljivo iztisnino, pri kateri je možno pri konstantnih vrtiljajih spreminjati iztisnino. Cena omejenih hidravličnih črpalk variira za faktor do 10. Ker smo želeli dobiti zvezno delujoče gibanje izvršilnih sestavin s črpalko s konstantno iztisnino, smo uporabili frekvenčni regulator, s katerim spreminjamo vrtilno frekvenco elektromotorja v razponu do 200 Hz. Zaradi zahteve po mobilnosti razstavnega eksponata smo izbrali frekvenčnik z vhodno napetostjo 230 V, na izhodu pa 400 V. PLC-krmilnik, ki krmili frekvenčni regulator in 4/3 konvencionalne potne ventile (sl. 2, poz. 8, 11.1, 11.2 in 11.3), je programiran tako, da uporabnik ob premikanju proporcionalne krmilne palice najprej prekrmilni ventil v vzporedni ali križni položaj, nato pa proporcionalno povečuje izhodno vrtilno frekvenco elektromotorja in s tem pretok črpalke. Pretok se s povečevanjem vrtiljajev črpalke premosorazmerno povečuje. Črpalka dopušča največ do 3000 vrtiljajev (slika 3), pri katerih ima pretok 18 l/min. Potrebna moč in moment sta odvisna od zahtevanega tlaka v sistemu. Velikost črpalke je dimenzionirana na predpostavki, da lahko vse štiri operacije hidravlične roke izvajamo istočasno pri nezmanjšani hitrosti. Pri uporabi samo enega krmilnega signala PLC-krmilnik omeji vrtilno frekvenco elektromotorja na ¼ delovnega območja, pri uporabi dveh krmilnih signalov na ½, pri treh na ¾ in pri vseh štirih deluje pri polni vrtilni frekvenci (slika 4).

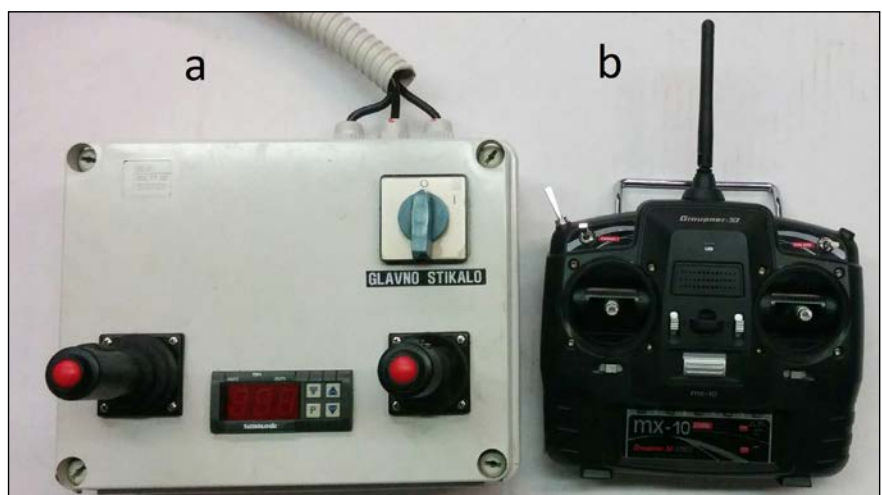
Tlačni omejitveni ventil (sl. 2, poz. 4) je vezan vzporedno z zobniško črpalko.

Najnižji dopustni sistemski tlak, 50 bar, je potreben za nemoteno delovanje hidravličnega motorja (sl. 2, poz. 10) za rotacijo roke. Za boljše razumevanje potrebnega pretoka hidravličnega olja smo na hidravlično roko vgradili analogni vzmetni

merilnik pretoka (sl. 2, poz. 5 in slika 5), na katerem s pomočjo skale analogno odčitamo trenutni pretok. Merilnik pretoka je namenjen pretokom do 18 l/min, nameščen je na tlačni vod tako, da meri trenutni skupni pretok črpalke.



Slika 3. Karakteristika zobniške črpalke [1]



Slika 4. Način krmiljenja: a) kabljsko in b) daljinsko



Slika 5. Izdelan prenosni hidravlični agregat hidravlične roke

2.2 Filtracija

Raziskave so pokazale, da 70–80 % vseh napak nastane zaradi s trdimi delci kontaminirane hidravlične kapljevine [2]. Nečistote lahko vneseemo v sistem že z novim oljem, zato je priporočena predhodna filtracija. Od nivoja čistoče hidravlične kapljevine je odvisna uporabna doba hidravličnih sestavin, zato smo na povratni vod v rezervoar hidravličnega agregata roke vgradili 3- μm filter z β -vrednostjo, večjo od 1000 pri velikosti delcev, večjih od 3 μm . V LFT smo izdelali prenosno filtrirno enoto, ki ima zaporedno vezan 12- in 6-mikronski filter in omogoča filtracijo do 10 l/min, obenem pa je tudi prenosni agregat, ki omogoča preizkušanje naprav do 200 bar. Pri vgradnji proporcionalnih potnih

ventilov, servoventilov ali črpalk s spremenljivo iztisnino je potrebno raven čistoče dvigniti glede na omenjeni sistem. Izmerjena čistoča olja znotraj opisanega hidravličnega agregata roke po 50 obratovalnih urah znaša po ISO 4406: 19/14/12.

2.3 Vlaga v hidravličnem olju

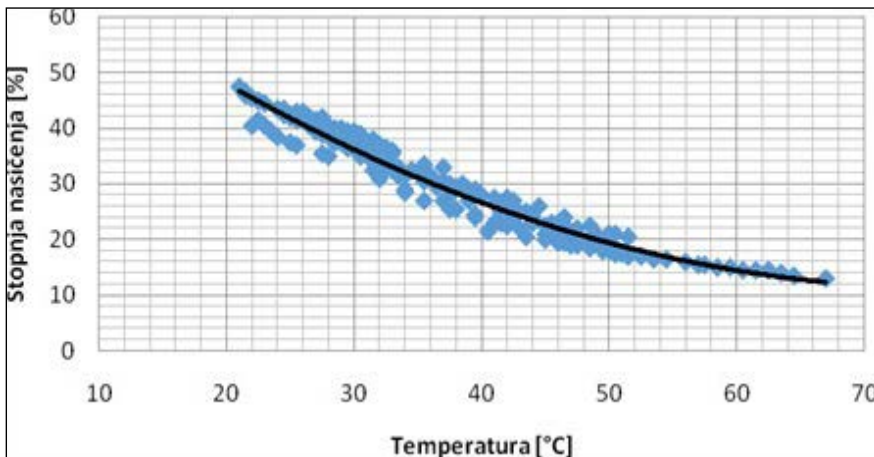
Na hidravlično roko smo namestili tudi elektronsko zaznavalo vlage AS 3000 (sl. 2, poz. 7 in slika 6) [3]. S tem smo želeli opozoriti na prisotnost vode v hidravličnem olju in s tem pogojene težave. Problematika vode v hidravličnem olju zadeva tako industrijsko kot tudi mobilno hidravliko. Zaradi izpostavljenosti različnim okoljem in s tem velikim

temperaturnim razlikam prihaja do nabiranja kondenzata v hidravlični kapljevini. Pojav ima negativne posledice, ki niso nujno takojšnje. Okvare na hidravličnih sestavinah pogosto izvirajo iz neprimerne hidravlične kapljevine, tj. kapljevine s povišano vsebnostjo delcev in vode. Prisotnost vode v hidravličnem olju povzroča nastanek rje in galvanske korozije, parne kavitacije, zmanjšuje viskoznost, pri nizkih temperaturah se tvorijo ledeni kristali, ob prisotnosti vode se razvijajo bakterije in drugi mikroorganizmi. Vse naštetje težave vodijo v okvare hidravličnih sestavin in nazadnje lahko tudi v zastoj hidravličnega sistema. Spremljanje in zagotavljanje čistosti hidravlične kapljevine je tako danes nujna, na kar smo želeli opozoriti z vgradnjo električnega zaznavala vlage.

Voda je v vsakem okolju. Tako kot najdemo vodo v zraku, kar poznamo kot vlažnost zraka, obstaja voda tudi v olju. Voda je v raztopljenem stanju, ko so njene molekule razpršene med molekulami olja. Podobno kot v zraku, kjer vode neposredno ne vidimo, tudi olje na pogled deluje bistro in jasno. Vendar samo do določene meje, ki ji pravimo točka zasičenosti. Točka zasičenja



Slika 6. Električno zaznavalo vlage, vgrajeno na hidravlični agregat roke



Slika 7. Izmerjena stopnja nasičenja hidravličnega olja z vodo v odvisnosti od temperature

mineralnega hidravličnega olja ISO VG 46 z vodo je pri 40 °C 300–320 ppm (0,0003–0,00032 % vode v olju). Če povečamo vsebnost vode in to točko presežemo, se voda v olju pojavlja v obliki emulzije. Olje postane megleno, motno. Podobno je z zrakom. Ko vsebnost vode v zraku preseže točko zasičenosti, se pojavi megla. Ko je količina vode zadostna oziroma ko olje ni več sposobno tvoriti emulzije, se voda v olju pojavlja v prosti in za hidravlične sestavine najbolj nevarni obliki. V splošnem velja, naj bodo vsebnosti vode karseda nizke, običajno pod mejo zasičenosti pri temperaturi obratovanja. Večja kot bo vsebnost vode v hidravličnem olju, več in bolj pogoste bodo zgoraj omenjene težave. Elektronsko zaznavalo vlage AS 3000 poleg temperature omogoča spremljanje relativne vsebnosti vode v olju. Podaja torej odstotek

nasičenja hidravličnega olja, kjer 0 % pomeni, da v olju ni vode, 100 % pa, da je olje zasičeno in se voda že pojavlja v emulgirani oziroma prosti obliki. Zaznavalo torej omogoča spremljanje trenutnih vsebnosti vode in s tem neposreden nadzor nad stanjem olja.

Zavedati se moramo, da tudi novo olje ni povsem brez vode. Graf (slika 7) prikazuje stopnjo nasičenja novega olja v odvisnosti od temperature. Pomembno je, da vzdržujemo vsebnost vode pod točko zasičenja, v primeru prekoračitve pa hitro in ustrezno ukrepamo.

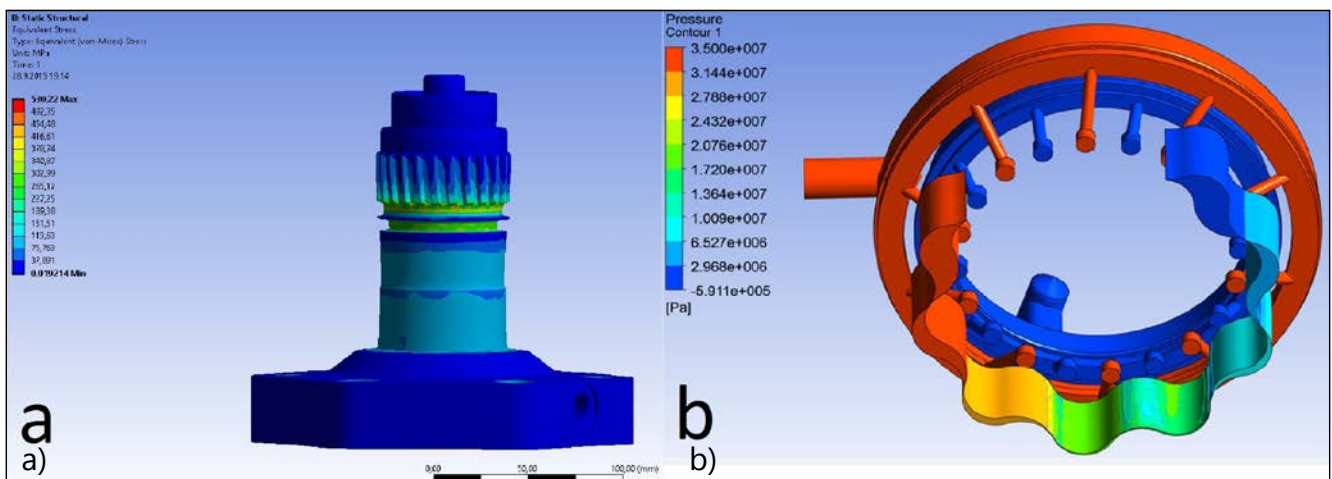
Za obračanje roke smo uporabili počasi tekoč visokozmogljiv hidravlični motor, ki je bil razvit v sodelovanju Laboratorija za fluidno tehniko in podjetja KGL, d. o. o. Pri razvoju motorja so bile izvedene

številne MKE-analize (slika 8a) in CFD-analize (slika 8b). Hidravlični motor je tipa gerotor in ima iztisnino 403 cm³/vrt ter razvije 1200 Nm navora. Motor je grajen modularno, tako da lahko uporabnik ob vgradnji vsakega dodatnega rotorja in rotorjevega obroča pridobi 1200 Nm navora. Hidravlični motor je izdelan v dveh velikostnih razredih, tako aksialno prenese 50 kN in 100 kN. Pri vgradnji za hidravlično roko je uporabljen manjši in prilagojen tako, da ima pri 50 bar in 3 l/min 5 vrt/min. Masa motorja je 20 kg.

3. Preračun parametrov hidravličnega sistema

3.1. Fizikalne osnove prehodnih pojavov

Pri delovanju daljinsko krmiljene hidravlične roke, ki jo obravnava ta prispevek, se pojavljajo izraziti prehodni pojavi, ki so razvidni v nadaljevanju prispevka kot velike spremembe tlaka v delu hidravličnega sistema ob posameznih delovnih gibih naprave. Zato v tem podpoglavju na kratko podajamo enačbe oziroma matematične modele, ki so bili v preteklih letih razviti v LPKH in predstavljajo osnovo za numerične preračune hidravličnih parametrov te nove daljinsko krmiljene hidravlične roke. Prehodni pojavi pomenijo spreminjanje pretoka po času, kar ima za posledico spreminjanje tlaka po času v delu sistema ali v celotnem sistemu. Spreminjanje tlaka



Slika 8. a) Analiza končnih elementov (MKE-analiza) na gredi rotorja in b) simulacija padcev tlaka (CFD-analiza) skozi rotor

pomeni spreminjanje sil in momentov, delujočih na mehansko konstrukcijo, torej utripne ali celo izmenične obremenitve le-te.

Največji porast tlaka ob prehodnih pojavih dobimo pri hidravličnem udaru. Ta se pojavi pri hitrem, izrazito pri trenutnem odprtju dovoda oz. trenutni prekinitvi dovajanja hidravlične kapljevine porabniku, ki je obremenjen z zunanjo silo oz. momentom. Najvišji tlak ob udaru nastane, če strujanje toka kapljevine v trenutku zaustavimo, kar seveda praktično ni mogoče. Vendar, ko imamo v praksi sorazmerno dolge cevne vode in ventile z zelo kratkimi časi zapiranja, reda velikosti nekaj tisočink sekunde, se lahko šteje hitra zaustavitev toka kapljevine kot trenutna zaustavitev. Toda pri hidravličnih napravah in hidravličnih pogonih pogosto ne zaustavljamo samo toka kapljevine, pač pa tudi translatorsko gibajoče ali rotirajoče mase. Njihov vpliv na velikost porasta tlaka pri hidravličnem udaru je pogosto mnogo večji kot vpliv zaustavitve samo toka kapljevine. Zaradi trenutnega dovoda ali trenutne prekinitve pretoka pride do stisnitve hidravlične kapljevine v cevi med prekinitvenim hidravličnim ventilom in hidravličnim porabnikom. Ujeti del kapljevine zaradi svoje vztrajnosti potuje naprej proti porabniku z zvočno hitrostjo (udarni val) in se stiska. Ko se kapljevina stisne, se val odbije nazaj in potuje proti tedaj že zaprtemu potnemu ventilu. Sočasno (vendar precej počasneje) pa dodatno še masa stiska hidravlično kapljevino (vztrajnostne masne sile). V času največje stisnitve kapljevine zaradi zunanje obremenitve pride do večkratnega potovanja »vala hidravlične kapljevine«. Na porast tlaka pri hidravličnem udaru vplivajo tri različne vrste odpornosti: to so odpornost proti pospeševanju (H), odpornost proti gibanju (R) in odpornost proti preoblikovanju (D) [6].

Odpornost proti pospeševanju (H) [6] lahko razložimo kot vztrajnost (mase) kapljevine in translatorsko ali rotacijsko premikajoče se mase. Z vpeljavo tlaka v enačbo za 2. Newtonov zakon dobimo splošno enačbo,

prilagojeno hidravličnim veličinam. Iz splošne enačbe pa sledita enačbi za odpornost proti pospeševanju samo hidravlične kapljevine v cevi (en. 3.1) in odpornost proti pospeševanju za translatorsko gibajočo se maso (en. 3.2).

$$H_f = \frac{m}{A^2} = \frac{l \cdot \rho}{A} = 1,2732 \cdot \frac{l \cdot \rho}{d^2} \quad (3.1)$$

[kg m⁻⁴ = N s² m⁻⁵]

$$H_m = \frac{m}{A^2} \quad [\text{kg m}^{-4} = \text{N s}^2 \text{m}^{-5}] \quad (3.2)$$

V enačbah (3.1) in (3.2) pomenijo: m . . . masa, l . . . dolžina cevi ali hidravličnega valja (HV), ρ . . . gostota kapljevine, d . . . notranji premer cevi ali HV, A . . . površina notranjega preseka cevi ali HV.

Spremembo tlakov zaradi odpornosti proti pospeševanju mase pri translatorskem gibanju le-te popišemo z enačbo (en. 3.3):

$$\Delta p_a = \Delta p_H = H_m \cdot \dot{Q} \quad [\text{Pa}] \quad (3.3)$$

V enačbi (3.3) pomeni dQ/dt spreminjanje pretoka po času.

Ker smo v hidravličnem sistemu uporabili tudi hidravlični motor (HM), moramo upoštevati tudi odpornost proti pospeševanju za rotirajoče mase; to izračunamo s pomočjo enačbe (en. 3.4):

$$H_{\omega_s} = \left(\frac{2 \cdot \pi}{q} \right)^2 \cdot J \quad [\text{kg m}^{-4} = \text{N s}^2 \text{m}^{-5}] \quad (3.4)$$

V enačbi (3.4) q pomeni iztisinno HM, J pa njegov masni vztrajnostni moment in vztrajnostni moment mase, ki jo vrti HM. Ta je pogosto znatno večja od mase samega HM. Pri tem je treba upoštevati prestavno razmerje med vrtljaji HM in vrtljaji mase.

Spremembo tlaka zaradi odpornosti proti pospeševanju rotirajočih mas popišemo s sledečo enačbo (en. 3.5):

$$\Delta p = \Delta p_{\omega_s} = \left(\frac{2 \cdot \pi}{q} \right)^2 \cdot J \cdot \dot{Q} \quad [\text{Pa}] \quad (3.5)$$

Odpornost proti gibanju (R) [6] nam definira linijske izgube v ceveh. Izračuna se pri laminarnem in turbulentnem strujanju kapljevine. Posledica odpornosti proti gibanju je dušenje nihanja toka Q in tlaka p. Pri zadosti veliki odpornosti pa lahko dobimo nadkritično dušenje (aperiodično nihanje). Spremembo tlaka zaradi odpornosti proti gibanju pri laminarnem (en. 3.6) in turbulentnem strujanju (en. 3.7) lahko izračunamo s pomočjo sledečih enačb:

$$\Delta p_{Rl} = \Delta p_R = \chi_l \cdot H_h \cdot Q = R_l \cdot Q \quad (3.6)$$

[Pa]

$$\Delta p_{Rt} = R_t \cdot Q^2 = \chi_t \cdot H_f \cdot Q^2 \quad [\text{Pa}] \quad (3.7)$$

Odpornost proti deformiranju (D) [6] je definirana kot »vzmetnost« – odpornost proti stisnitvi hidravlične kapljevine in odpornost proti deformaciji »pripadajočih« sestavin. Pri spremembi tlaka se spreminja volumen hidravlične kapljevine in v manjši meri tudi hidravličnih sestavin. Računamo odpornost proti stisnitvi hidravlične kapljevine (Df), odpornost proti preoblikovanju hidravličnih cevi in valjev (Dc) ter hidravličnih akumulatorjev (Dd – dušilnikov hidravličnih udarov (DHU)). DHU imajo praviloma zelo velik vpliv na odpornost proti deformiranju »aktivnega« dela hidravličnega sistema in jih zato pogosto vgrajujemo vanje za znatna zmanjšanja tlaka pri hidravličnih udarih. Kapljevina s svojo kompresibilnostjo, hidravlične cevi in akumulatorji (DHU) so v hidravličnih napravah smiselno (funkcionalno) vedno v vzporednem vezju (čeprav so z lokacijskega vidika večinoma v zaporednem), zato računamo skupno odpornost proti deformiranju DS po sledeči enačbi (en. 3.8):

$$\frac{1}{D_s} = \frac{1}{D_f} + \frac{1}{D_c} + \frac{1}{D_d} \quad [\text{N/m}^5] \quad (3.8)$$

Pri hidravličnem udaru se kinetična energija kapljevine in gibajočih se mas pretvori predvsem v tlačno energijo hidravlične kapljevine. To povzroči porast tlaka v sistemu. Ta porast tlaka lahko povzroči trdne probleme hidravlične naprave.

Največjo spremembo tlaka pri hidravličnem udaru lahko izračunamo po sledeči enačbi (en. 3.9):

$$\Delta p_{\text{maks}} = \sqrt{H \cdot D} \cdot Q_{\text{maks}} \text{ [Pa]} \quad (3.9)$$

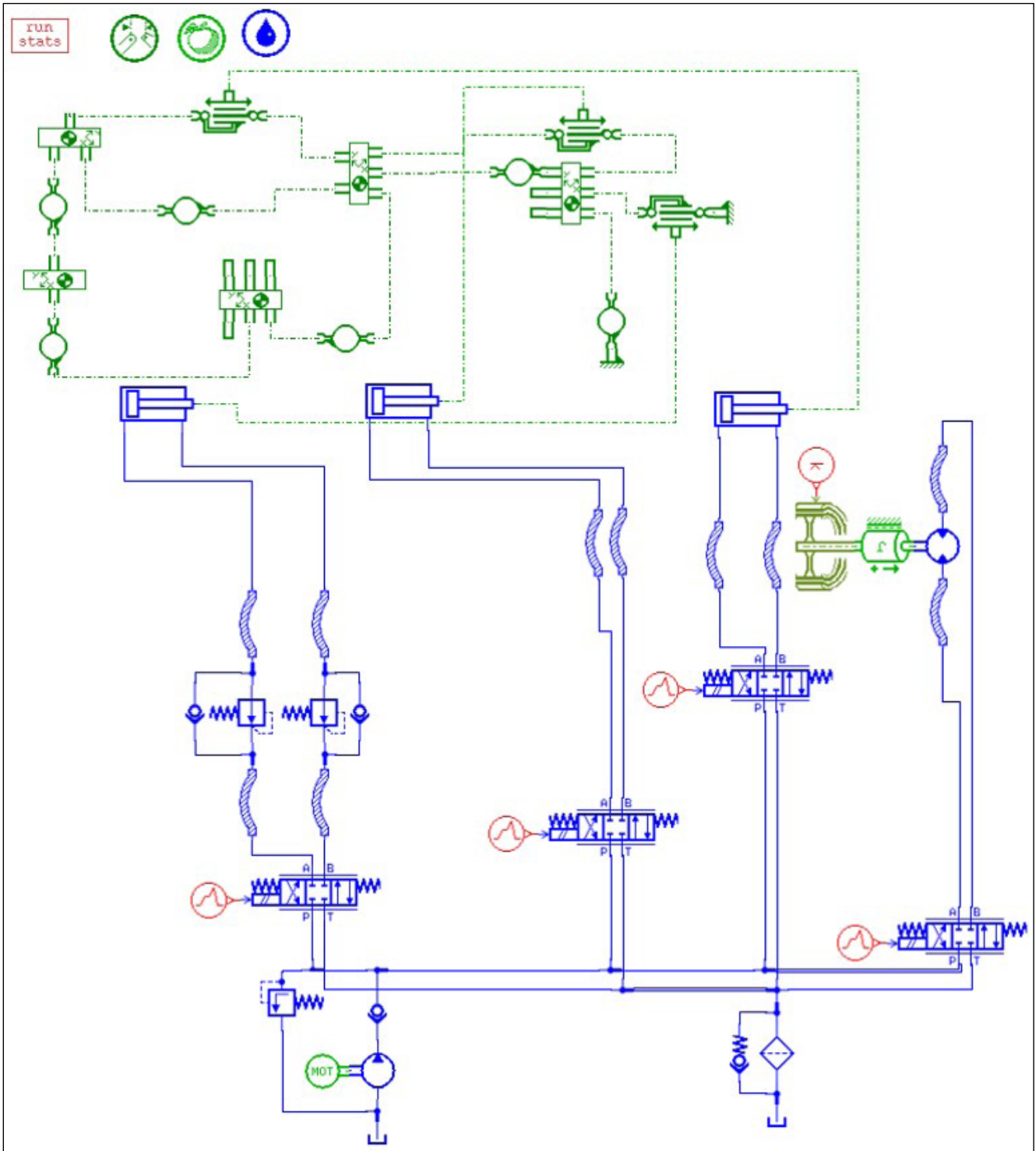
V enačbo (3.9) za D praviloma vstavljamo vrednost za D_s . Vgraditev DHU praviloma močno zmanjša vrednost za D_s in s tem torej tudi Δp_{maks} .

3.2. Numerični preračuni hidravličnih parametrov

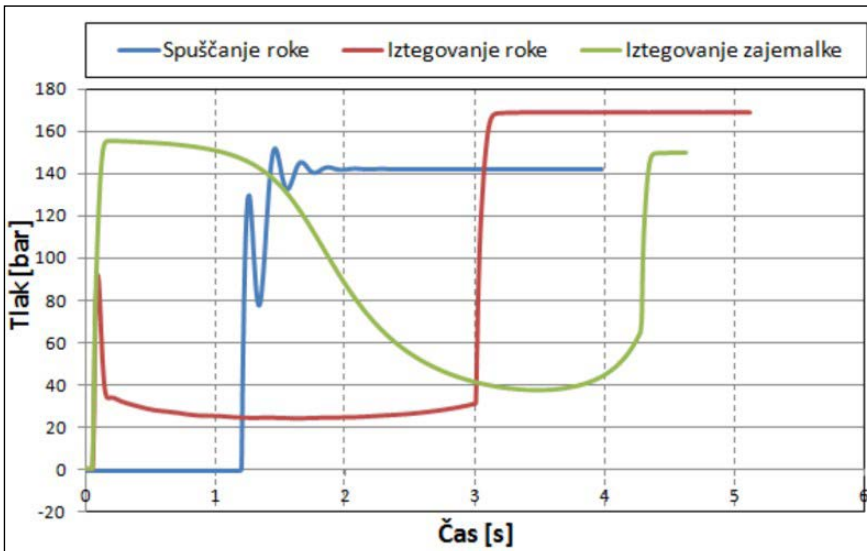
Pri zasnovi hidravličnega sistema smo si pomagali s programom AMESim. Program je zbirka orodij za modeliranje, analiziranje in napovedovanje delovanja mehatskih sistemov. Posamezna orodja so opisana z uporabo nelinearnih časovno odvisnih enačb, ki predstavljajo

sistemsko hidravlično, pnevmatično, toplotno, električno ali mehansko obnašanje. Program omogoča simuliranje 1D-sistema, preden je na voljo detajlno izdelan 3D-model.

V program smo vnesli hidravlične sestavine z njihovimi pripadajočimi parametri in jih primerno povezali v logično hidravlično shemo (slika 9). Približek realnemu stanju ob postavitvi sistema je odvisen od količine



Slika 9. Postavljen numerični model roke za preračun v programu AMESim



Slika 10. Rezultati numeričnih izračunov pri delovanju hidravlične roke

in natančnosti vnesenih parametrov posamezne sestavine. Podali smo tudi časovne omejitve, v katerih se lahko najkasneje zaključijo posamezni gibi hidravličnih valjev in zasuk počasi tekočega visokozmogljivega hidravličnega motorja. Hidravlični motor omogoča precizen zasuk hidravlične roke v obe smeri za neomejen kot. Iz rezultatov so bili razvidni pretoki hidravličnega olja, tlaki na posameznih hidravličnih sestavinah in možni hidravlični udari v sistemu. Dobljeni rezultati (slika 10) so nam služili kot izhodišče za nadaljnji razvoj.

■ 4 Materiali in oblika hidravlične roke

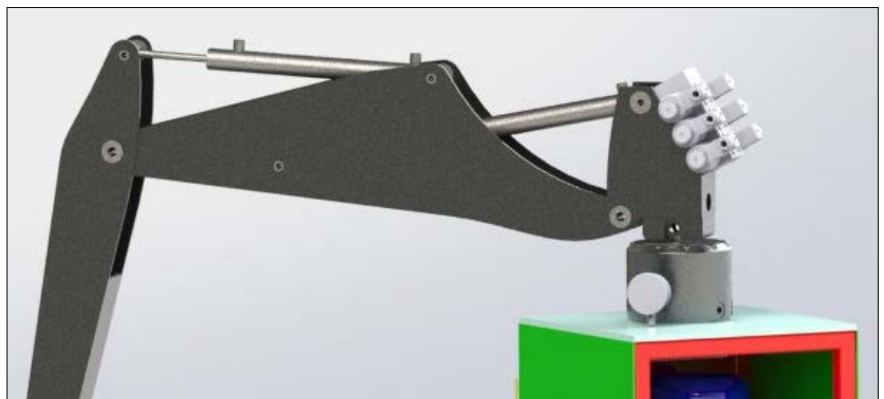
Trend načrtovanja novih izdelkov narekuje atraktiven videz, to pa lahko dosežemo z ustrezno obliko in barvnimi kombinacijami. Pri oblikovanju hidravlične roke smo uporabili proste krivulje ali »spline« ter zaokrožitve, s katerimi smo hoteli doseči rahle prehode robov ohišja, obenem pa videz vitke konstrukcije. Konstrukcija, na katero je privijačena hidravlična roka, je zvarjena iz hladno valjanih jeklenih cevi. Znotraj konstrukcije je hidravlični agregat, ki ustvarja pretok hidravlične kapljevine pri potrebnem tlaku za vse izvršilne sestavine. Hidravlična roka (slika 11) je zaradi lažjega transporta izdelana iz aluminija. Ohišje roke je vijačeno s pomočjo L-kotnikov. Hidravlična roka ni predvidena

za dvig težjih bremen, s programom za numerični preračun končnih elementov smo optimirali nosilno konstrukcijo.

Delovni prostor hidravlične roke je v premeru kroga 3,6 m in višine 2,2 m. Izvršilno orodje so klešče (slika 12), na katerih je povezovalni mehanizem z enim hidravličnim valjem.

■ 5 Električni drsnik za prenos signala

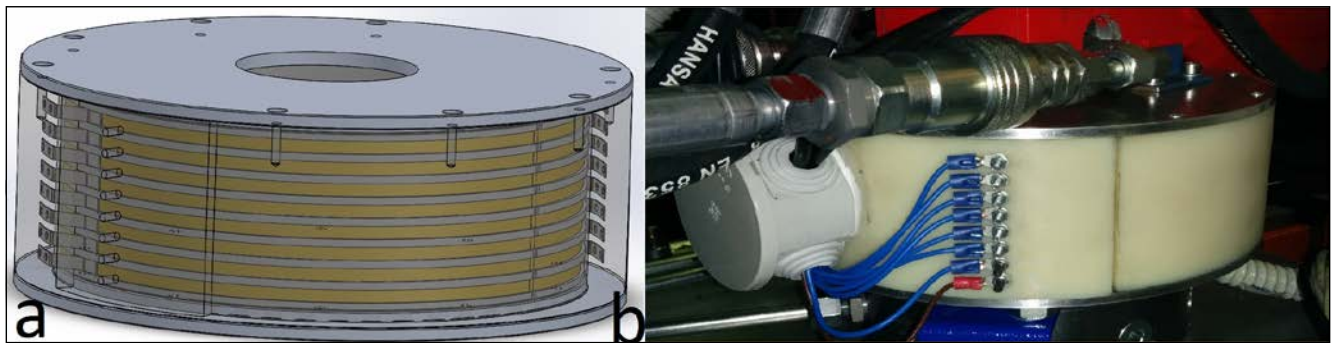
Blok treh 4/3 konvencionalnih potnih ventilov (sl. 2, poz. 8, 11.1, 11.2 in 11.3) je nameščen na vrteči se hidravlični roki (sl. 11), zato je bilo po-



Slika 11. Geometrijska 3D-zasnova hidravlične roke



Slika 12. Izdelane klešče v zaprtem stanju 2



Slika 13. a) Zasnova drsnika in b) izdelan drsnik na ogrodju roke

trebno za njihovo napajanje izdelati električni drsnik. Na trgu najdemo veliko zmogljivih izdelkov, vendar smo ocenili, da sta njihova cena in zmogljivost previsoki za tako enostavno aplikacijo. Zaradi omenjenih razlogov smo se odločili za razvoj lastnega drsnika (slika 13). Kontaktna obroče iz bakra smo postavili vertikalno zaradi omejitve prostora. Na zgornji in spodnji strani električnega drsnika so privijačene zaključne plošče, ki pa so nasajene na gred in ohišje hidravličnega motorja. Električni drsnik je umeščen na hidravlični motor tako, da lahko na gred namestimo katerokoli orodje. Izdelava prototipa in že izveden test sta nam pokazala pomanjkljivosti, s tem pa smo dobili dobre iztočnice za nadaljnji razvoj izdelka.

6 Zaključek

Demonstracijska naprava je bila izdelana kot učni in promocijski

pripomoček v sodelovanju Fakultete za strojništvo in Laboratorija za fluidno tehniko. Na hidravlični roki smo predstavili cenovno ugoden in zanesljiv hidravlični sistem. V hidravlični sistem so vgrajene tudi nekatere nadzorne sestavine, kot so zaznavalo vlage v olju, pretoka in tlaka. Hidravlična roka se lahko natančno krmili z daljincem. S primerjanjem konkretnega delovanja hidravlične roke in rezultatov simulacije v programu AMESim je bilo ugotovljeno, da so odstopanja zanemarljivo majhna. Razvoj opisane hidravlične roke nam je prinesel nekaj pomembnih izkušenj, da se bomo v prihodnje lažje lotili izdelave širše uporabnega hidravličnega manipulatorja.

Literatura

[1] Marzocchi Pompe S.p.A., 2010, Kataloški list hidravlične črpalke ALP 2, URL: <http://www.marzocchipompe.com/uk/pompe/products/aluminium-gear-pump.asp?IDCategoriaCommerciale=9570&IDFolder=329&LN=UK&sito=pompe> (15. 8. 2014)

[2] Zoebel, H., 1996, Filtrationstechnik, Renningen-Malmsheim, Expert Verlag, str. 160.

[3] Murrenhoff, H., 2001, Grundlagen der Fluidtechnik, 4. izdaja, Shaker Verlag.

[4] Hydac International GmbH, Kataloški list električnega zaznavala AS 3000, URL: <http://www.hydac.com/de-en/products/sensors/contamination-sensors/as-3000.html> (15. 8. 2014).

[5] Dietmar, F., 2006, Ölhydraulik, 5. izdaja, Berlin, Springer.

[6] Pezdernik, J., Majdič, F., 2006, Transient Phenomena in Gradual Changes of Hydraulic Fluid Flow, The Fifth International Conference on Fluid Power, Aachen, Germany, 2006.

Development of new hydraulic arm with remote control

Abstract: In collaboration between Laboratory for fluid power and controls (LFT) and the Faculty of Mechanical Engineering, University of Ljubljana, a remote-controlled hydraulic arm was developed. Operating tool is hydraulic grapple. To control the hydraulic arm and their components the 4/3 conventional directional valves are used. In combination with frequency controlled electric motor proportional movement of the arm is enabled. The paper describes the hydraulic system and its components. Emphasis is on the control of presence of humidity in hydraulic fluids and the importance of filtration prior to and during the operation of the device. It also explains the theory of transient phenomena with sudden pressure surges. Transient phenomena were simulated in the AMESim. Electrical power slider for three 4/3 conventional directional valves was also developed in LFT and is described in this paper.

Key words: hydraulic arm, frequency regulator, 4/3 conventional directional valve, filtration, humidity, transient phenomena