

Vpliv zasnove hidravličnega rezervoarja na izločanje zračnih mehurčkov

Darko LOVREC, Vito TIČ

Izvleček: Med kontaminante hidravlične tekočine štejemo vse tiste substance, ki negativno vplivajo na pravilno delovanje hidravličnih komponent in celotnega sistema, in tudi uporabljane hidravlične tekočine. Tako je lahko hidravlična tekočina kontaminirana s trdnimi delci, z vodo in drugimi tekočinami kot tudi z zrakom oz. zračnimi mehurčki. Zrak kot kontaminant lahko povzroča številne probleme, med drugim poškodbe komponent zaradi kavitacije, povečan hrup, slabšo odzivnost komponent zaradi povečane stisljivosti in posledično manjše togosti aktuatorjev ... kot tudi pospešeno degradacijo tekočine. V prispevku je poudarek na problematiki izločanja zraka, na kar je potrebno pomisliti že v fazi načrtovanja hidravličnega rezervoarja.

Že primerna zasnova rezervoarja lahko prepreči pojav zračnih mehurčkov, omogoča različno učinkovito izločanje zraka in s tem manjše negativne učinke. Hidravlični rezervoar naj bi bil zasnovan tako, da stabilizira in usmeri tok tekočine v notranjosti rezervoarja, da ima na ta način tekočina na voljo dovolj časa za izločanje zračnih mehurčkov. Vizualizacija tokov in s tem razumevanje dogajanja v notranjosti rezervoarja, odvisno od zasnove njegove notranjosti, je bila izvedena na podlagi numerične simulacije. Potek trajektorij same tekočine in plinastih delcev je v prispevku raziskan na podlagi uporabe programske opreme CFD. Dobljeni rezultati so osredotočeni na izločanje zračnih mehurčkov v odvisnosti od notranje zasnove rezervoarja in preprostih dodatnih ukrepov.

Ključne besede: hidravlični rezervoar, izločanje zraka, simulacija, konstrukcijski ukrepi

1 Uvod

Oblika hidravličnega rezervoarja in ustrezno načrtovanje njegove zunanosti sta bistvenega pomena za neoporečno delovanje celotnega hidravličnega sistema. Rezervoar predstavlja mesto v hidravlični napravi, kjer si lahko hidravlična tekočina »za trenutek oddahne in si nabere novih moči za ponovno delo«. Trdni delci, voda in smolnati produkti težijo k dnu rezervoarja, medtem ko se zračni mehurčki dvigujejo in izločajo na površini hidravlične tekočine. Kontaminacijo hidravlične tekočine z zrakom (kot tudi s trdnimi

delci) lahko dokaj uspešno preprečimo že z ustrežno obliko rezervoarja, še posebej pa z zasnovo njegove notranjosti. Ta naj bi bila oblikovana in zasnovana tako, da stabilizira in usmerja tok hidravlične tekočine in ji s tem omogoči dovolj časa, da izloči zračne mehurčke.

Zrak se kot eden od večjih kontaminantov v hidravlični tekočini lahko pojavi zaradi nepravilnega vzdrževanja ali pa zaradi nepravilne zasnove in dimenzioniranja hidravličnega sistema: od pomanjkljivega odzračnega sistema, dimenzioniranja ocevja in ostalih gradnikov, netesnosti priključkov (t. i. aeracija) pa vse do neprimerne zasnove rezervoarja [1]. Poleg nepravilnega delovanja hidravličnega sistema zaradi vpliva spremenjene stisljivosti tekočine [2] lahko zrak v hidravličnem sistemu povzroči kavitacijo, dieselefekt, spremenjeno togost aktuatorjev (npr. hidravličnih

valjev) [3] kot tudi hrup in pospešeno degradacijo olja [4]. Nenazadnje pa lahko zrak v olju močno vpliva tudi na rezultate on-line meritev (npr. na meritev stopnje čistosti, dielektrične konstante, električne prevodnosti in viskoznosti), če je hidravlični agregat opremljen s sodobnimi napravami za neprekinjeno on-line spremljanje stanja hidravlične tekočine.

V nadaljevanju prispevka bo v ospredju obravnave poudarek na mehanizmih nastajanja in problematiki izločanja zračnih mehurčkov že v samem hidravličnem rezervoarju – v povezavi z njegovo primerno zasnovo. Oblika rezervoarja je načeloma omejena oz. določena z vgradnim prostorom, zasnovo hidravlične naprave oz. stroja, namestitvijo opreme itd., njegova notranjost pa razen od zunanje oblike še od namestitve priključne armature, opreme za kondicioniranje teko-

Izr. prof. dr. Darko Lovrec,
univ. dipl. inž., doc. dr. Vito
Tič, univ. dipl. inž., oba Uni-
verza v Mariboru, Fakulteta
za strojništvo

čine in dodatnih konstrukcijskih ukrepov, kot so npr. predelna stena, difuzor (razpršilnik toka tekočine), separacijska mrežica. Dogajanje v tako »razgibani« zasnovi je zato smiselno in edino možno preučiti ob uporabi učinkovite programske opreme in računalniške simulacije ter šele na podlagi teh izsledkov zasnovati notranjost rezervoarja ob upoštevanju učinkovitosti dodatnih ukrepov.

■ 2 Pristop k simulaciji dogajanja v hidravličnem rezervoarju

Uporaba virtualnega inženiringa in računalniške simulacije je že skoraj nepogrešljiva v procesih načrtovanja in razvoja novih izdelkov ter študij dogajanja v njihovi notranjosti. Tovrsten pristop k snovanju izdelkov ni zgolj trend, temveč potreba v visokotehnoloških panogah, kot so letalska, vesoljska in avtomobilska tehnika, kjer je v ospredju ocena robustnosti gradnikov in zanesljivosti delovanja sistema. Poseben izziv za uporabo metod in postopkov virtualnega inženiringa so vse bolj različni in spremenljivi obratovalni pogoji hidravličnih in tudi pnevmatičnih sistemov. To ne velja zgolj za ventile in aktuatorje kot »pomembnejše« gradnike hidravličnega sistema, temveč tudi za ostale, ki jih (neupravičeno) štejemo med »manj pomembne« oz. pribor, npr. za hidravlične rezervoarje. [5]

In prav slednji zaradi številnih nelinearnih učinkov v povezavi z dogajanjem v notranjosti rezervoarja predstavljajo ne samo velik izziv, temveč potrebo po uporabi metod virtualnega inženiringa in simulacije dogajanja. Vzrok za takšen pristop je v njegovi zasnovi, vplivih obratovalnih stanj, spremembah stanj kot posledicah različnih napak (tudi npr. prisotnosti zračnih mehurčkov ali ostalih vrst kontaminantov) in vpliva spremenljivih se materialnih lastnosti medija ...

■ 2.1 Model hidravličnega rezervoarja

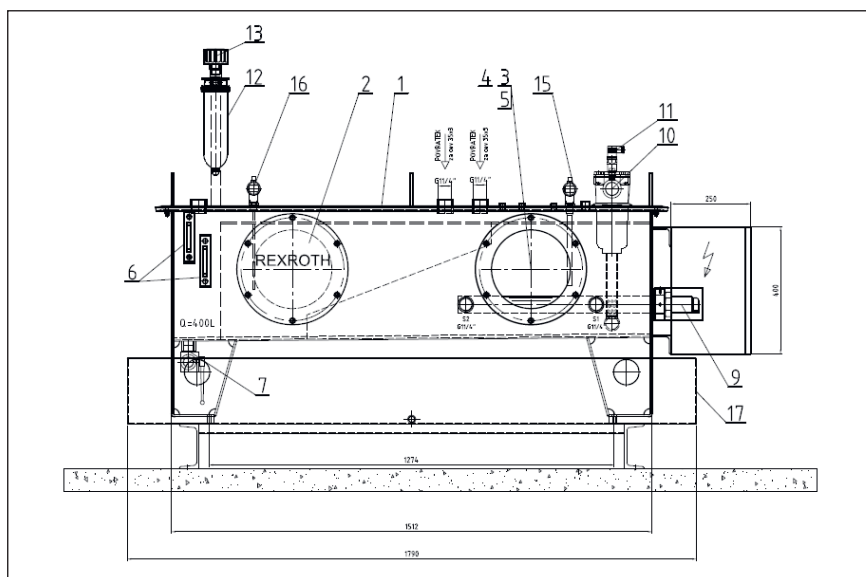
Simulacija tokov hidravlične tekočine, ki je vsebovala tudi zrač-

ne mehurčke, je bila izvedena na podlagi modela industrijskega 400-litrskega rezervoarja, zasnovanega in kasneje izdelanega po normah AB Normen Rexroth (DN 400), z notranjimi merami 1492 x 712 x 390 mm, kot to prikazuje slika 1. Rezervoar je namenjen uporabi dveh pogonskih sklopov elektromotor-črpalka (dva sesalna priključka in en skupen povratni vod) s priključkoma za by-pass filtrirno-hladilno enoto in vgrajenimi cevnimi povezavami za on-line spremljanje stanja fizikalno-kemijskih lastnosti vgrajene hidravlične tekočine. Zaradi kompleksnejše zasnove notranjosti predstavlja rezervoar poseben izziv za izvedbo simulacije dogajanja v njegovi notranjosti.

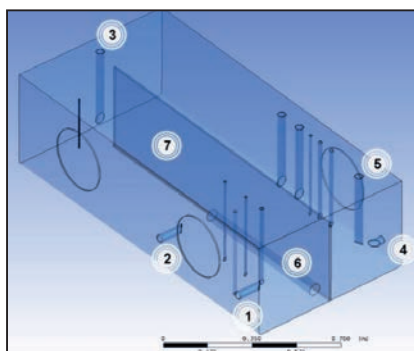
Tridimenzionalni model hidravlične tekočine v notranjosti rezervoarja je bil zasnovan s programsko opremo Catia V5, enim od najmočnejših in široko uporabljenih programskih

orodij CAD. Kot je prikazano na sliki 2, smo za namene študije vpliva različne notranjosti rezervoarja preučili in primerjali tri variante oz. modele:

- model-1 z običajno povratno cevjo, postavljeno diagonalno glede na sesalni cevi, na nasprotni, daljši strani rezervoarja;
- model-2 je imel v notranjosti vzdolžno nameščeno pregradno steno ter običajno povratno cev, pomaknjeno na drugo stran rezervoarja (podaljšanje poti obtoka olja);
- model-3 se je razlikoval od variante model-2 po obliki konca povratne cevi: klasično povratno cev je zamenjal difuzor, ki stabilizira in usmerja tok olja [5]. Poleg tega je bila prilagojena oblika vzdolžne pregradne stene, ki je dovoljevala pretok olja le ob dnu rezervoarja, kot to z ostalimi podrobnosti prikazuje slika 2.

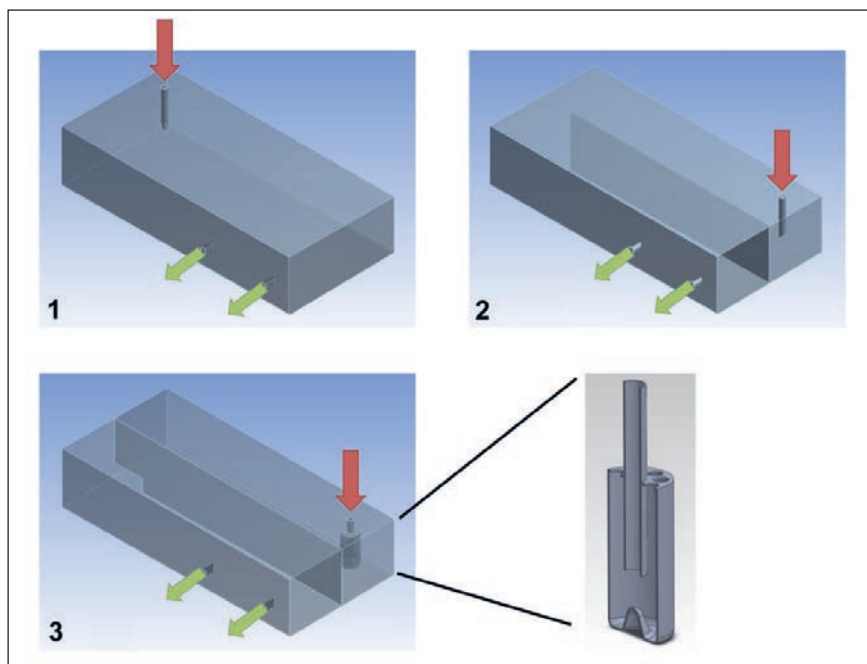


Slika 1. Videz in oblika 400-litrskega industrijskega rezervoarja



- sesalni priključek črpalke 1: 1
- sesalni priključek črpalke 2: 2
- povratna cev filtrirno-hladilne enote: 3
- sesalna cev filtrirno-hladilne enote: 4
- glavna povratna cev: 5
- grelnik: 6
- vzdolžna predelna stena: 7
- ostale cevi in ovire (neoznačeno): 8

Slika 2. Gradniki v notranjosti hidravličnega rezervoarja – model-2 slika



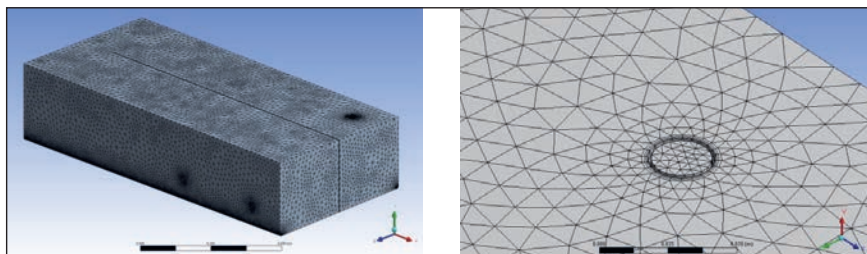
Slika 3. Vsi trije simulacijski modeli – povratne cevi (rdeče) in sesalne cevi (zeleno)

Vse aktivne povratne in sesalne cevi, upoštevane na vseh modelih in pri simulaciji dogajanja, so bile prirezane pod kotom 45°, kot je to praksa v industriji. Prav tako so bili modeli v prvi fazi raziskav delno poenostavljeni, saj smo iz njih izločili vse neaktivne hidravlične cevi, ki sicer obstajajo v rezervoarju in predstavljajo ovire toku tekočine. Predhodne izhodiščne raziskave [6] so namreč pokazale, da omenjene neaktivne cevi nimajo omembe vrednega vpliva na dobljene rezultate. Prav tako je bilo tudi ugotovljeno, da se lahko pri obravnavanih pretočnih razmerah gladina hidravlične tekočine šteje kot popolnoma

vodoravna. Zato smo lahko simulacijo poenostavili tudi tako, da smo zgornji površini predpisali pogoj izhodne odzračevalne površine (namesto prosto gibljive površine).

2.2 Mreženje rezervoarja

Površinska in volumnska mreža sta bili samodejno ustvarjeni z uporabo Ansys CFX-Mesh z določenimi dodatnimi nastavitvami. Da bi pridobili čim realnejše simulacijske rezultate, je bila mreža zgoščena v področjih povratnih in sesalnih cevi. Zaradi pojava hitrostnih gradientov in vpliva trdnih sten je bilo v njihovi



Slika 4. Generirana mreža za rezervoarja variante model-2 in podrobnosti okoli cevi

Tabela 1. Rezultati generiranja mrež za posamezne modele

	Vozlišča	Elementi
model-1	210.498	630.869
model-2	254.029	766.012
model-3	275.710	821.144

vi bližini kreiranih pet inflacijskih mejnih plasti. Rezultati mreženja so prikazani na *sliki 4* in predstavljeni v *tabeli 1*.

2.3 Teoretično ozadje simulacije

Osnovo za nadaljnje simulacije je predstavljal homogeni dvofazni tokovni model, temelječ na enačbah, povzetih in navedenih v nadaljevanju [7], [8], [9] in [10]. Kontinuitetna enačba izhaja iz temeljnega zakona ohranitve mase. V integralni obliki jo lahko zapišemo kot:

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_V \rho dV + \int_S \rho \mathbf{v}_j n_j dS = 0 \quad (1)$$

Rezultirajoča sila na delec tekočine volumna V je enaka časovni spremembi gibalne količine v volumnu in toku gibalne količine čez kontrolno površino. Gibalno enačbo (2) lahko v integralni obliki zapišemo kot:

$$\int_V \frac{\partial \rho \mathbf{v}_i}{\partial t} dV + \int_S \mathbf{v}_i \rho \mathbf{v}_j n_j dS = \int_V \rho f_i dV + \int_S (-p \delta_{ij} + \tau_{ij}) n_j dS \quad (2)$$

kjer so $\mathbf{v}_i$ hitrost, f_i volumnske sile, p tlak in τ_{ij} strižne napetosti.

Dvoenačbni model za turbulentno kinetično energijo k in disipacijo turbulentne kinetične energije ϵ oziroma model $k-\epsilon$ je najbolj splošen model, temelječ na principu turbulentne viskoznosti. Reynoldsove oz. turbulentne napetosti izrazimo z Boussinesqovo aproksimacijo:

$$(-\rho_0 \overline{v_i' v_j'}) = \rho_0 \nu_T \left(\frac{\partial \overline{v}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \overline{v}_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \delta_{ij} \rho_0 k \quad (3)$$

kjer je k povprečna turbulentna kinetična energija turbulentnih fluktuacij in $\nu_T = (\eta_T / \rho)$ turbulentna viskoznost. Člen $2\delta_{ij}k/3$ predstavlja razširitev Boussinesqove hipoteze in ga lahko prištejemo k statičnemu tlaku.

Karakteristično hitrost definiramo z enačbo:

$$\hat{u} = \sqrt{k} \quad (4)$$

in disipacijsko hitrost turbulentne kinetične energije ε kot:

$$\varepsilon = \nu_0 \frac{\partial \overline{v_i' \partial v_i'}}{\partial x_j \partial x_j} \quad (5)$$

ki podaja spremembo turbulentne energije toka v toploto. Obe veličini k in ε določimo iz dodatnih individualnih parcialnih diferencialnih enačb (6) in (7), ki vsebujejo nove empirične konstante in funkcije. Za k velja enačba:

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \tilde{v}_i \frac{\partial k}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\nu_0 + \frac{\nu_T}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] + P - \varepsilon \quad (6)$$

in podobno za ε :

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \tilde{v}_i \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\nu_0 + \frac{\nu_T}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} P - C_{2\varepsilon} \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (7)$$

medtem ko so konstante modela: $\sigma_k = 1.0$, $\sigma_\varepsilon = 1.3$, $C_{1\varepsilon} = 1.44$ and $C_{2\varepsilon} = 1.92$.

Volumski delež izračunamo z uporabo dodatnih izrazov, ki jih dodamo sistemu enačb. Predpostavimo, da sta obe fazi (zrak in olje) vedno ločeni s prosto površino, nad katero je atmosferski tlak. Tako lahko zapišemo:

$$p_{st} = p_{atm} + \rho g h \quad (8)$$

Enačba (8) je Pascalov zakon in je dodana matematičnemu modelu za inicializacijo razmer v domeni za višino olja v rezervoarju $h = 340$ mm.

■ 3 Simulacija dogajanja v rezervoarju

Izvedena večfazna simulacija je sicer vključevala tri homogene snovi: mineralno hidravlično olje specifikacije ISO VG 46, zrak v obliki disperziranih zračnih mehurčkov ter trdne delce. Slednje bomo v okviru te obravnave v nadaljevanju opustili. Simulacija je bila izvedena pri konstantni temperaturi, tj. običajni delovni temperaturi hidravličnih sistemov 50°C . Spremembe lastnosti snovi zaradi spremembe temperature so bile zanemarljive.

Da bi dosegli ustrezno konvergenco simulacijskega modela, je bila sprva opravljena simulacija dinamičnega ravnovesja (angl. steady state simulation), ki ji je sledila simulacija prehodnega pojava, tj. časovno odvisna simulacija (angl. transient simulation). Celotni simulacijski čas je tako znašal 60 sekund, razdeljen v časovne intervale po 0,1 sekunde.

Glavno tekočo fazo je predstavljalo mineralno hidravlično olje specifikacije ISO VG 46 z ocenjeno molsko maso 380 kg/kmol . [11] Ker simulacija ne vključuje pojava spremembe temperature, je bila gostota olja določena kot konstantna vrednost 850 kg/m^3 . Tudi viskoznost pri dani temperaturi in skoraj nespremenljivem tlaku je konstanta. Ocenjena je bila na 30 cSt , kar je ekvivalent viskoznosti olja ISO VG 46 pri 50°C .

Eden izmed pomembnih parametrov pri simuliranju prehoda zračnih mehurčkov iz tekoče faze je koeficient površinske napetosti, ki za hidravlična mineralna olja znaša okoli $23 \cdot 10^{-3} \text{ N/m}$. [12] Zrak, kot naslednja simulacijska faza, je bil simuliran kot disperzirana tekočina s predpisanimi tremi različnimi srednjimi premeri, tj. 20 , 100 in $500 \mu\text{m}$. Predvidevali smo, da se bodo večji zračni mehurčki v viskoznih tekočinah dvigali hitreje, saj je njihova vzgonska sila večja v primerjavi z manjšimi mehurčki.

Robne pogoje simulacije smo določili izhajajoč iz podatkov črpalk, ki imata vsaka pretok 42 L/min . Zato smo na posameznem preseku dveh sesalnih cevi določili skupni masni pretok $0,60 \text{ kg/s}$, ki izhaja iz volumskega pretoka in gostote olja. Navedeni skupni pretok hidravličnega olja se vrača po povratni cevi, zato je bil na preseku te cevi predpisan skupni masni pretok $1,20 \text{ kg/s}$, sestavljen iz:

- 94 volumskih procentov tekočinske faze mineralnega hidravličnega olja,
- 2 volumskih procentov zračne faze – mehurčkov s srednjim premerom $500 \mu\text{m}$,
- 2 volumskih procentov zračne faze – mehurčkov s srednjim

premerom $100 \mu\text{m}$,

- 2 volumskih procentov zračne faze – mehurčkov s srednjim premerom $20 \mu\text{m}$,

Za simulacijo prehoda disperziranih zračnih mehurčkov iz tekoče faze na površje je bil na površju tekoče faze (hidravlično olje) predpisan robni pogoj odplinjevanja (angl. degassing outlet).

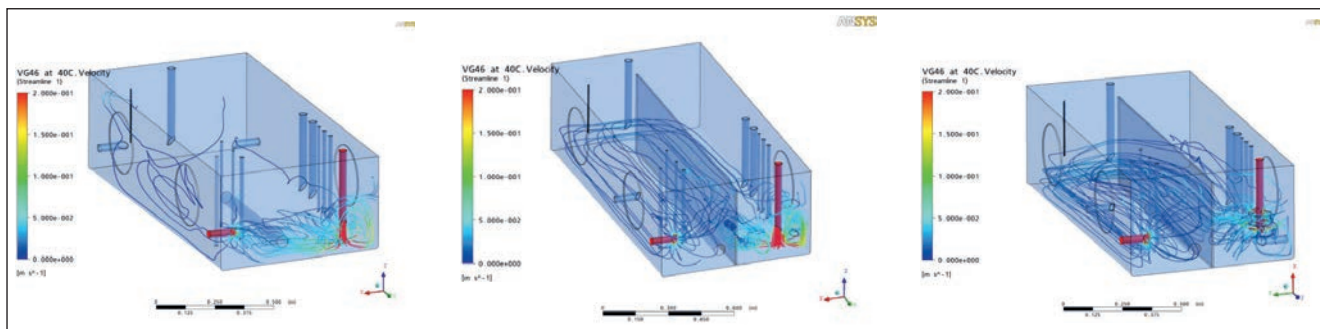
Pretok glavne tekoče faze (olja) in disperzirane ali razpršene faze (zračni mehurčki) je bil izračunan s pomočjo Euler-Euler in turbulentnega modela SST. Medfazni upor med oljem in in disperziranimi zračnimi mehurčki pa je bil obravnavan po Grace drag modelu. Več in podrobnejše informacije o navedeni simulaciji in ustreznih simulacijskih modelih lahko najdemo v literaturi. [13], [14]

■ 4 Rezultati na podlagi simulacij

V sklopu raziskav je bilo preučeni veliko rezultatov simulacij dinamičnega ravnovesja (angl. steady state simulation) ter simulacij prehodnega pojava (angl. transient simulation). Vse preučene rezultate 3D-simulacij je težko predstaviti v strnjeni obliki 2D-slike, kljub temu pa prikazujemo nekaj zgornjih rezultatov.

■ 4.1 Potek tokov v notranjosti rezervoarja

Rezultati simulacij so prikazani kot 3D-tokovnice na slikah 5 in 6. Pri prvem in drugem primeru (slika 5 levo in sredina: model-2) je tok oz. curek tekočine iz povratnega voda usmerjen direktno na dno rezervoarja, kjer se odbije. Velik delež tega toka neposredno poseja črpalka, pri čemer najslabši možni primer predstavlja namestitve povratne cevi v (neposredni) bližini in nasproti sesalni cevi (slika 5 levo). Pri tem t. i. hidravličnem kratkem stiku je posledično aktiven samo del celotnega volumna tekočine, ki ne povzroča samo termičnega obremenjevanja (pregrevanja) hidravličnega sistema, temveč



Slika 5. 3D-prikaz tokovnic v notranjosti rezervoarja glede na njegovo zasnovo: »kratki stik« (levo), zasnova model-2 (v sredini) in zasnova model-3 (desno)

tudi takojšnje sesanje (morebitnih) zračnih mehurčkov (in tudi trdnih delcev), saj se niso utegnili izločiti.

Glede slednjega je neprimerno boljše varianta zasnove notranjosti rezervoarja z uporabo pregradne stene (model-2), saj usmerja tok vračajoče se tekočine vzdolž stranskih sten, s čimer imajo zračni mehurčki dovolj časa, da se izločijo (kot tudi trdni delci), pa tudi ohlajanje tekočine je učinkovitejše.

Glede učinkovitosti izločanja zračnih mehurčkov je še boljše varianta

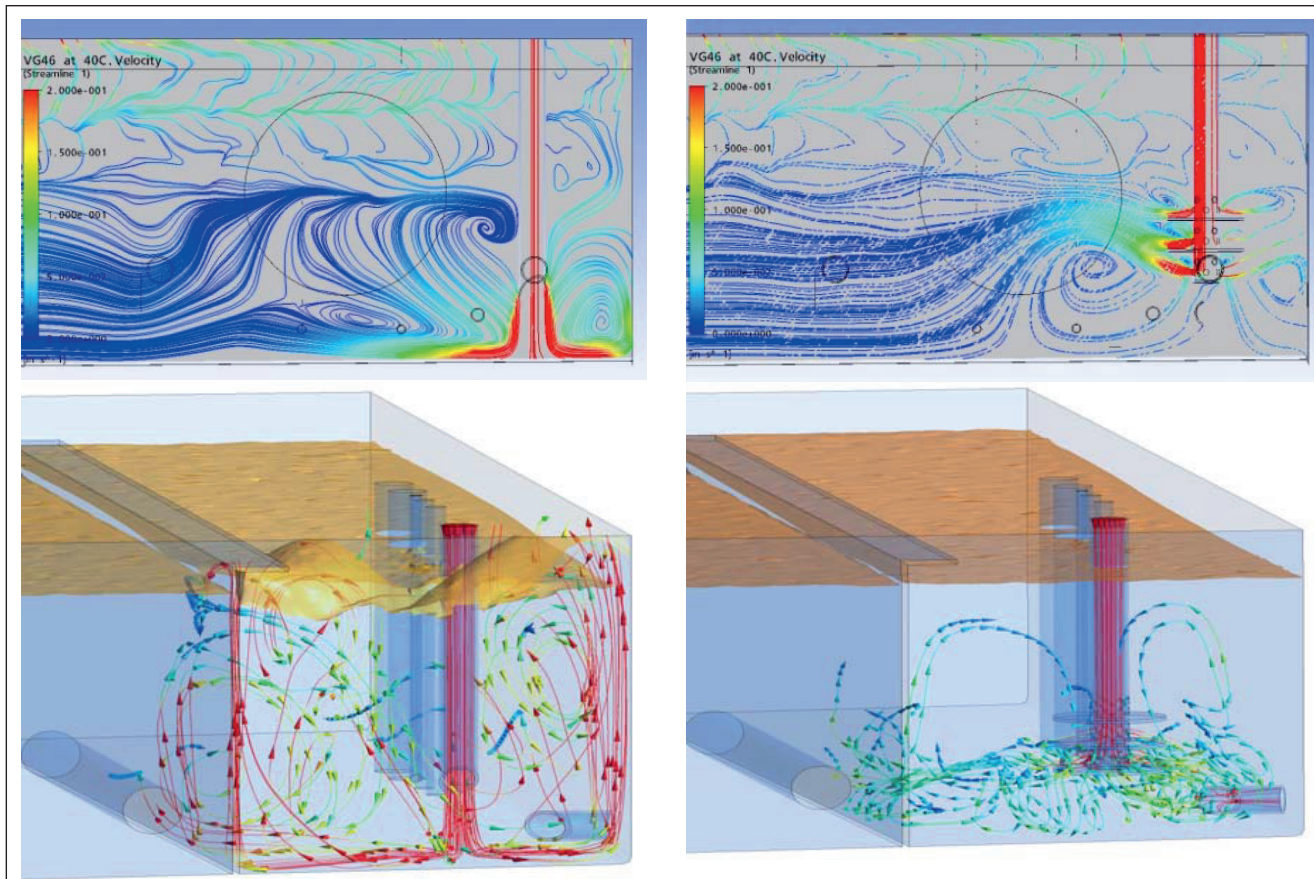
model-3, kjer je na koncu povratnega voda nameščen difuzor. Ta hitrost povratnega toka tekočine še bolj zmanjša, zato je vpliv »gravitacije« na izločanje mehurčkov (in tudi trdnih delcev) še učinkovitejši.

Neposredni učinek curka tekočine iz povratnega voda lahko posledično pripelje tudi do bolj ali manj intenzivnega vzvalovljenja tekočine na gladini, kar prav tako lahko pripelje do dodatnega zajemanja zraka. V primeru uporabe difuzorja

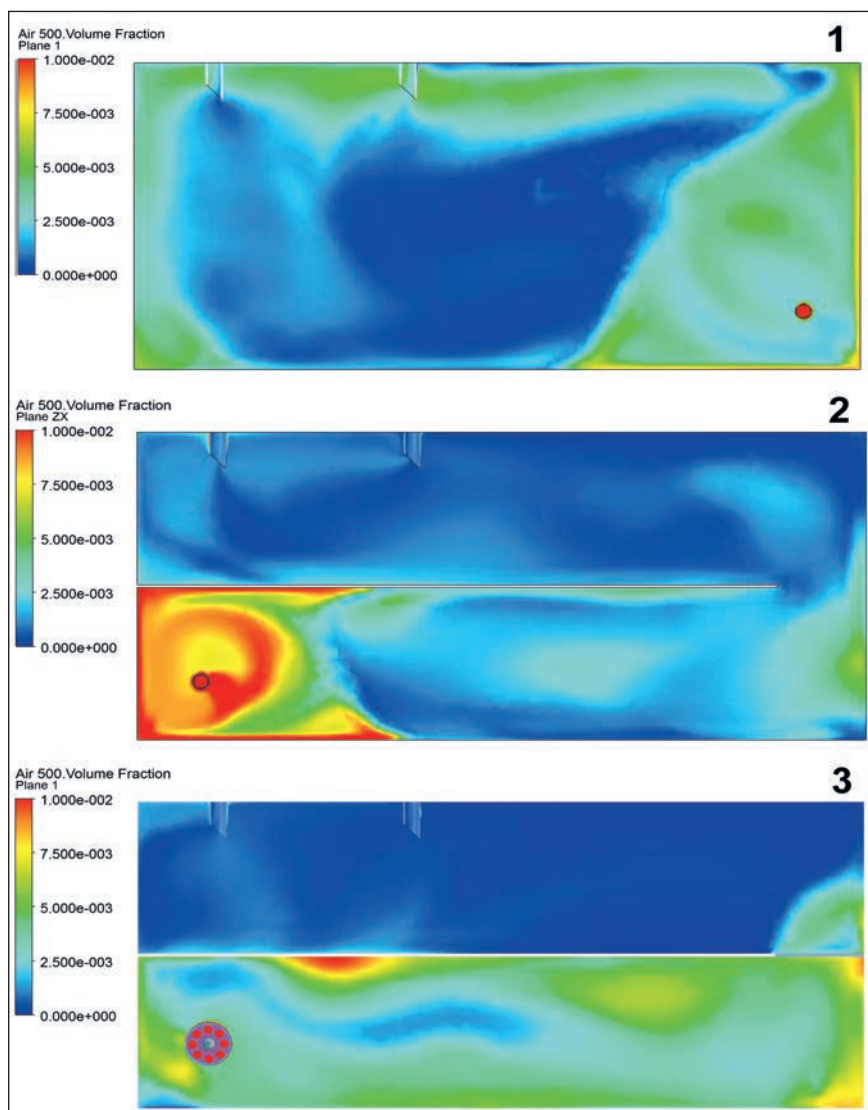
je dogajanje na gladini olja v rezervoarju občutno manjše – slika 6.

4.2 Vpliv zasnove rezervoarja na izločanje zračnih mehurčkov

Slika 7 prikazuje vpliv zasnove notranjosti rezervoarja na učinkovitost izločanja zračnih mehurčkov v ravnini na višini sesalnih cevi (cca 100 mm, merjeno od dna rezervoarja), obarvano glede na vrednost volumskega deleža zračnih mehurčkov velikosti 500 μm – od 0 (modro) do 1,0 % (rdeče).



Slika 6. 2D-tokovnice na mestu povratnega voda: zgoraj levo brez difuzorja, zgoraj desno z difuzorjem, ter učinek na dogajanje na gladini olja: spodaj levo brez difuzorja in spodaj desno ob uporabi difuzorja



Slika 7. Volumski delež zračnih mehurčkov srednje velikosti – 500 µm – na vodoravni ravnini v višini sesalnih cevi ($h = 100$ mm)

S slike 7 je jasno razvidno, da se v rezervoarju zasnove model-1 (brez pregradne stene in brez difuzorja, zgolj z diagonalno nameščenima povratno in sesalno cevjo) izloči najmanj zračnih mehurčkov in predstavlja najslabšo od obravna-

vanih možnosti (brez hidravličnega kratkega stika). Rezervoar zasnove model-2 z običajno povratno cevjo in vzdolžno predelno steno je veliko boljša rešitev, saj v drugi predel rezervoarja zaide veliko manj zračnih mehurčkov. Najboljši rezultat

pa dosežemo z zasnovo rezervoarja vrste model-3 z difuzorjem na povratnem vodu in s spremenjeno obliko pregradne stene, ki dopušča tok olja le ob dnu rezervoarja.

Zgovorni so tudi rezultati, vezani na učinkovitost izločanja zračnih mehurčkov, prikazani v številski obliki. Ti so za vse obravnavane velikosti predstavljeni v tabelah 2 in 3.

Do največjih razlik prihaja pri večjih zračnih mehurčkih, pri katerih je pri drugi varianti (model-2) na vstopu sesalne cevi v primerjavi s prvo varianto (model-1) kar 4-krat manj zračnih mehurčkov velikosti 500 µm. Pri tretji varianti (model-3) pa je teh mehurčkov še za polovico manj. Za odtенок slabši rezultati so bili pridobljeni pri velikosti zračnih mehurčkov 100 in 20 µm. Simulacija je namreč potrdila dejstvo, da so manjši zračni mehurčki podvrženi veliko manjšim silam vzgona, zato se tudi dvigajo počasneje. Poleg tega pa je njihova relativna sila zaradi gibanja viskozne tekočine večja kot pri večjih mehurčkih. Zato se manjši mehurčki gibljejo zelo skladno s samim tokom hidravlične tekočine in se dvigujejo (ter izločajo) zelo počasi.

5 Zaključek

Snovanje hidravličnega rezervoarja, podprto s sodobnimi in učinkovitimi metodami virtualnega inženiringa, omogoča podroben vpogled v dogajanje v notranjosti rezervoarja in na osnovi tega uvedbo različnih konstrukcijskih ukrepov, ki pripomorejo k učinkovitejšemu »opravljanju« osnovnih nalog rezervoarja.

Z dobljenimi rezultati takšnega pristopa k snovanju rezervoarja smo pokazali, da je dogajanje v notranjosti hidravličnega rezervoarja, pri čemer je bila v ospredju učinkovitost izločanja zračnih mehurčkov, zelo odvisno od same oblike rezervoarja, še posebej pa njegove notranjosti in dodatnih, v glavnem zelo preprostih in cenениh konstrukcijskih ukrepov.

Razen za iskano informacijo, vezano na učinkovito izločanje zračnih

Tabela 2. Povprečni volumski delež zraka v okolici sesalnih cevi

	20 µm	100 µm	500 µm
model-1	1,85 %	1,71 %	0,31 %
model-2	1,75 %	1,61 %	0,08 %
model-3	1,75 %	1,58 %	0,05 %

Tabela 3. Odstotek zraka, ki se izloči iz olja pri prehodu skozi rezervoar

	20 µm	100 µm	500 µm
model-1	7,50 %	14,50 %	84,30 %
model-2	12,50 %	19,50 %	95,90 %
model-3	12,50 %	21,00 %	97,70 %

mehurčkov že v samem rezervoarju, je enak pristop možno uporabiti še za analize izločanja različno velikih trdnih delcev različnega izvora kot tudi za izbiro najprimernejšega mesta za zajemanje tekočine za nadaljnje laboratorijske analize njenega fizikalno-kemijskega stanja ali pa za avtomatično zajemanje vzorca tekočine v primeru uporabe on-line sistema spremljanja stanja hidravlične tekočine. S primerno izbranim mestom za vzorčenje tekočine na kar najboljši način povečamo natančnost in verodostojnost podatkov, saj lahko zračni mehurčki (in tudi trdni kontaminanti) močno vplivajo na rezultate naših meritev.

Literatura

- [1] Lovrec, D.: Vzroki za prisotnost zraka v hidravličnem sistemu; *Ventil*, ISSN 1318-7279, avg. 2016, letn. 22, št. 4, str. 310–317, ilustr. [COBISS.SI-ID 14831899].
- [2] Lovrec, D., Tič, V.: Stisljivost hidravličnega olja in vpliv zraka. *Ventil*, ISSN 1318-7279, dec. 2016, letn. 22, št. 6, str. 492–497, ilustr. [COBISS.SI-ID 15169563].
- [3] Lovrec, D., Tič, V.: Vpliv zraka in večje stisljivosti na delovanje hidravličnih gradnikov. *Ventil*, ISSN 1318-7279, feb. 2017, letn. 23, št. 1, str. 40–46, ilustr. [COBISS.SI-ID 15331867].
- [4] Lovrec, D.: Zakaj hidravlično olje potemni? *Proizvodnja - Vzdrževanje; Vzdrževalec*, ISSN 1318-2625, 2016, št. 173; Ljubljana: Društvo vzdrževalcev Slovenije, 2016, št. 173, str. 52–56, ilustr. [COBISS.SI-ID 19937814].
- [5] Tič, V., Lovrec, D.: Design of modern hydraulic tank using fluid flow simulation. *International journal of simulation modelling*, ISSN 1726-4529, 2012, vol. 11, iss. 2, str. 77–88, doi: 10.2507/IJ-SIMM11(2)2.202. [COBISS.SI-ID 16087574].
- [6] Tič, V.: Snovanje sodobnega hidravličnega agregata : diplomsko delo. Maribor: 2008. XIII, 88 f., ilustr. [COBISS.SI-ID 12894998].
- [7] Biluš, I., Škerget, L., Predin, A., Hriberšek, M.: Experimental and numerical analyses of the cavitation flows around a hydrofoil, *Journal of Mechanical Engineering* 51(2005)2, 103–118.
- [8] Banaszek, A., Petrović, R.: Calculations of the unloading operation in liquid cargo service with high density on modern product and chemical tankers equipped with hydraulic submerged cargo pumps, *Strojniški vestnik – Journal of Mechanical Engineering*, vol. 56, št. 3, 186–194, 2010.
- [9] Škerget, L.: Mehanika tekočin, Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo, in Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, 1994.
- [10] Ansys CFX Help, Release 11.0, Ansys.
- [11] Neale, M. J.: Tribology Handbook, 2nd edition, Butterworth-Heinemann, 1995.
- [12] Totten, G. E. Handbook of Hydraulic Fluid Technology, Union Carbide Corporation, 2000, Tarrytown, New York.
- [13] Tič, V., Lovrec, D.: Trajectories of solid and gaseous particles in a hydraulic reservoir. V: 8th International fluid power conference (8. IFK), March 26–28, 2012, in Dresden : 8. IFK : [conference proceedings = Tagungsunterlagen]. Vol. 1, Symposium: Monday, March 26, 8th International Fluid Power Conference, March 26–28, 2012, Dresden. Dresden: Technische Universität, Institut für Fluidtechnik, 2012, str. 261–272, ilustr. [COBISS.SI-ID 15924758].
- [14] Tič, V., Lovrec, D.: Air-release and solid particles sedimentation process within a hydraulic reservoir. *Tehnički vjesnik*, ISSN 1330-3651, 2013, vol. 20, št. 3, str. 407–412. http://hrcak.srce.hr/index.php?show=clanak&id_clanak_jezik=153000 [COBISS.SI-ID 16974870].

Impact of the hydraulic reservoir design on the air bubbles elimination

Abstract: Contaminants of hydraulic fluid are any substances that have a negative effect on the proper operation of hydraulic components and the system as a whole, as well as the used hydraulic fluid. Hydraulic fluid can be contaminated by solid particles, water, foreign fluids and air resp. air bubbles. Air as a contamination can cause numerous problems including component damage due to cavitation, increased noise, poor component response due to the increased compressibility of the media and consequently reduces stiffness of actuators ... and accelerated fluid degradation. The paper is focused on the air exsolution which should be considered at the stage of designing a hydraulic reservoir.

An already proper reservoir design can prevent the occurrence of air bubbles and reduce the above mentioned negative effects. The hydraulic reservoir should be designed in such a way to stabilize and direct the oil flow inside the reservoir, so that the fluid has enough time to release air bubbles. Visualisation of the flow patterns and thus an understanding of what is happening inside the reservoir, all the advantages of using the simulation techniques within the field of the reservoir design will be shown. The paper investigates trajectories of fluid and the gaseous particles inside a hydraulic reservoir, based on simulation using CFD software. The results obtained focus on the elimination of gaseous particles in regard to hydraulic reservoir interior design form and simple design measures.

Keywords: hydraulic reservoir, deaeration, simulation, design measures