

Vpliv zraka in večje stisljivosti na delovanje hidravličnih gradnikov

Darko LOVREC, Vito TIČ

Izvleček: Stisljivost ni konstantna snovna lastnost hidravlične tekočine, temveč je odvisna od vrste tekočine ter od obratovalnih parametrov in stanja na napravi. Tako se ne spreminja samo s tlakom in temperaturo, temveč tudi s količino prisotnega zraka v obliki zračnih mehurčkov. Vse spremembe, ki navadno delujejo vzajemno, imajo posledično velik vpliv na togost hidravličnega pogona. To se odraža pri prenosu hidravličnih signalov in spremembah tlaka in tudi v delovanju hidravličnih pretvornikov energije.

V prispevku je v uvodu na kratko predstavljen pojem hidravlične kapacitivnosti, ki je v tesni povezavi s stisljivostjo hidravlične tekočine. Pri tem je poudarjen vpliv prisotnosti zračnih mehurčkov na stisljivost in posledično na prenos signalov – širjenje tlačnega valovanja po ceveh. V nadaljevanju prispevka je prikazan vpliv večje stisljivosti zaradi prisotnega zraka še na togost hidravličnega valja kot najpogosteje uporabljenega aktuatorja v hidravliki in pa na delovanje hidravlične črpalke in njen izkoristek.

Ključne besede: stisljivost hidravlične tekočine, zrak v tekočini, prenos signalov, togost valja, učinek črpalke

■ 1 Stisljivost hidravlične tekočine in hidravlična kapacitivnost

Predpostavka, da je hidravlična tekočina nestisljiva, je za preračun tlakov, tlačnih izgub, učinka sil in za statični način obravnave tekočine zadovoljiva. V hidravličnih napravah pa so prisotni pojavi, ki si jih lahko razložimo samo na podlagi stisljivosti tekočine.

Glede na znana dejstva o stisljivosti tekočine, več podrobnosti je podanih v [1], lahko izhodiščno enačbo, ki s fizikalnega vidika izraža stisljivost kot spremembo volumna tekočine v odvisnosti od spremembe tlaka, pri enaki opazovani temperaturi:

$$E_{olje} = -V_0 \cdot \left(\frac{\partial p}{\partial V} \right)_T \quad (1)$$

preoblikujemo v:
$$\left(\frac{\partial V}{\partial p} \right)_T = -\frac{V_0}{E_{olje}} .$$

Pri tem razmerje

$$\frac{V_0}{E_{olje}} = C_H \quad (2)$$

predstavlja hidravlično kapacitivnost C_H , odvisno od volumna tekočine V_0 in od modula elastičnosti oz. stisljivosti homogene hidravlične tekočine E_{olje} .

Na podlagi hidravlične kapacitivnosti lahko zapišemo pomembno enačbo v hidravliki, ki opisuje hitrost spreminjanja tlaka v nekem volumnu:

$$\dot{p}(t) = \frac{dp}{dt} = \frac{1}{C_H} Q \quad (3)$$

oz. za primer kontrolnega prostora z več vhodi ali izhodi:

$$\dot{p}(t) = \frac{1}{C_H} \sum_i Q_i , \quad (4)$$

kjer $\sum Q_i$ predstavlja vsoto vseh v kontrolni volumen vstopajočih oz. izstopajočih tokov.

Hidravlična kapacitivnost C_H »sporoča«, da lahko kak volumen hidravlične tekočine V_0 ob povečanju tlaka dp sprejme še dodaten volumen dV . Prav tako vidimo, da je hitrost spremembe tlaka v kakem volumnu odvisna ne samo od velikosti tega volumna, temveč tudi od stisljivosti prisotne tekočine. In če se ta spremeni, se to vsekar odraža v opazovanem volumnu, pa naj bo to hidravlična cev, komora hidravličnega valja ali pa črpalke.[2]

Hidravlično kapacitivnost lahko tako, analogno kot v mehaniki ali elektrotehniki, razumemo kot vrsto shranjevalnika energije. V ta namen v mehaniki uporabljamo vzmeti, v elektrotehniki kondenzatorje, v hidravliki pa posebne

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

plinske akumulatorje, ki imajo veliko večjo kapacitivnost, kot jo ima npr. hidravlična tekočina v cevi ali valju. Zaradi hidravlične kapacitivnosti se lahko energija tlaka oz. kinetična energija hidravličnega sistema shrani kot oblika energije spremembe volumna.

Za vrednost modula elastičnosti E'_{olja} , ki se pojavlja v navedenih enačbah, se na področju običajne hidravlične pogonske tehnike, za najpogosteje uporabljana homogena mineralna olja (= brez vključkov zraka!), dovolj natančno uporabi kar približna, konstantna vrednost, ki znaša $E'_{olja} = 1,66 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$ (1660 MPa, $\sim 1,66 \cdot 10^4$ bar). Vrednost je seveda odvisna od vrste baznega olja, uporabljenih aditivov ter tudi od viskoznosti olja in je omejena na uporabo v področju običajnih temperatur (25 °C do 50 °C), in tlakov (100 bar do 200 bar). Več podrobnosti je podanih v [1].

V hidravličnem sistemu pa olje ni edina komponenta, katere elastičnost je odvisna od obremenitve. Bolj ali manj elastično strukturo imajo namreč vse hidravlične komponente (npr. jeklene oz. še posebej gibke cevi). Poleg tega pri tem zelo vpliva prisotnost zraka v obliki zračnih mehurčkov. Zato je smiselna uvedba nadomestnega modula elastičnosti npr. mineralnega olja E'_{olja} , ki tako ne upošteva zgolj olja in elastičnosti cevi, v kateri olje je, temveč tudi v olju prisotne zračne mehurčke. Enačbo (1) lahko z upoštevanjem vseh teh deležev preoblikujemo:

$$\Delta V_{cel} = \Delta V_{olja} + \Delta V_{cev} + \Delta V_{zrak} = V_0 \frac{\Delta p}{E'_{olja}} \quad (5)$$

$$\text{oz. v } E'_{olja} = \frac{V_0 \cdot \Delta p}{\Delta V_{cel}} \quad (6)$$

Pri tem v enačbi (5) ΔV_{cev} predstavlja celotno spremembo volumna tekočine v priključenih ceveh, ΔV_{zrak} pa spremembo volumna zaradi prisotnih zračnih vključkov.

Čeprav obstajajo različne enačbe za preračun nadomestnega modula elastičnosti E'_{olja} se njegova vrednost najpogosteje določa z eksperimentom, kajti vrednost se spreminja v odvisnosti od stanja sistema, npr. tudi od tega, ali je bil hidravlični sistem dobro ali slabo odzračen, ter od snovnih lastnosti tekočine [1].

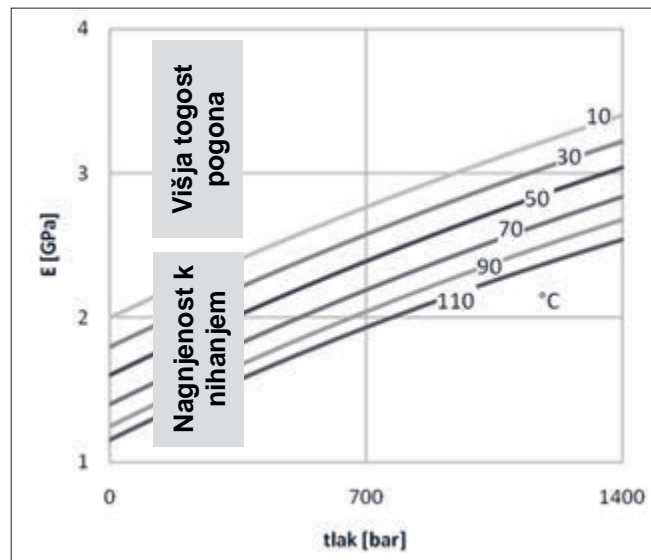
Upoštevanje nadomestnega modula ne spremeni samo vrednosti parametrov, podanih v enačbah (1) in (2), temveč posledično tudi v (3). Povedano z drugimi besedami: ob isti spremembi tlaka se ne spremeni samo velikost volumna tekočine, temveč se spremenijo tudi

hitrost spremembe tlaka, hitrost potovanja tlačnega signala in s tem velikost tlačnega udara, stisljivost tekočine v komorah valja in hidromotorja, ter s tem posledično togost teh gradnikov, ampak tudi pojavi v sami črpalki in v notranjosti ventilov. Najpomembnejši vplivi spremembe stisljivosti tekočine zaradi prisotnosti zraka so podrobneje predstavljeni v naslednjih poglavjih.

■ 2 Vpliv tlaka, temperature in vsebnosti zraka na togost tekočine

Vrednost modula elastičnosti ni konstantna vrednost, temveč je nelinearno odvisna od tlaka – z naraščanjem tlaka E narašča – *slika 1*. Navadno se na področju hidravlike uporablja srednja vrednost, kar seveda s seboj prinaša določeno napako. Pri natančnejših preračunih in predvsem tam, kjer je v ospredju dinamika dogajanja, je to dejstvo vsekakor treba upoštevati. Orientacijska vrednost modula elastičnosti znaša za običajna mineralna olja, uporabljena v področju tlakov od 1 bar do 30 bar, okoli 16600 bar. Velikost spremembe volumna v [%], če skladno z enačbo (2) upoštevamo samo spremembe volumna zaradi vpliva povečanja tlaka, pri čemer vpliva temperature ne upoštevamo (izentropna sprememba), je podana v *razpredelnici 1*, za področje tlakov od tlaka okolice pa do 300 bar. To področje tlakov je značilno za običajno industrijsko hidravliko. Pri tlaku npr. okoli 200 bar se volumen zmanjša za približno 1,2 %.

Vrednost modula elastičnosti se razen s tlakom spreminja tudi v odvisnosti od temperature. Vrednost z višanjem tlaka narašča in z višanjem temperature upada – glej *sliko 1*.



Slika 1. Odvisnost modula elastičnosti od tlaka in temperature; olje HLP 46

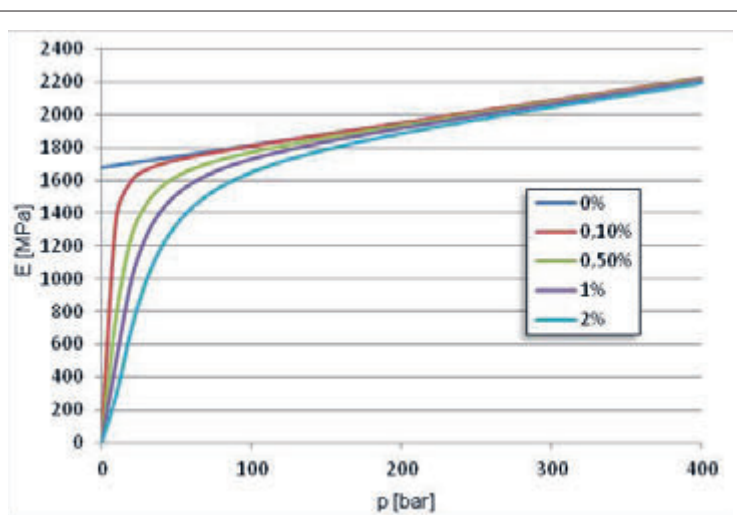
Razpredelnica 1. Zmanjšanje volumna mineralnega olja v odvisnosti od povečanja tlaka

Δp [bar]	1	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300
$\Delta V/V$ [%]	0,0	0,14	0,29	0,44	0,58	0,73	0,88	1,02	1,17	1,32	1,46	1,61	1,76

Do tlakov 700 bar je modul elastičnosti za tekočine (brez vključkov zraka) približno linearno odvisen od tlaka.

Z gledišča hidravlične komponente ali pogona to pomeni, da z višanjem tlaka postajajo sistemi bolj togi in obratno – bolj nagnjeni k nihanjem in večji elastičnosti pogona, kar vodi do slabe dinamike in nestabilnosti v delovanju pogona. Za vpliv temperature velja glede togosti prav nasprotno obnašanje. Ob tem ne smemo pozabiti na dejstvo, da se ob zvišanju tlaka ne poveča samo vrednost modula elastičnosti tekočine, temveč tudi njena gostota. Odvisnost gostote tekočine od tlaka in elastičnosti oz. stisljivosti tekočine sta tesno povezana pojma.

Poleg omenjenega vpliva tlaka in temperature ter elastičnosti sten cevi, ki tekočino obdajajo, zelo vplivajo vključki zraka. Vpliv različno velikega deleža zraka je bil že podrobneje obravnavan v [1]. Tako teoretično izračunane vrednosti in potek spreminjanja nadomestnega modula elastičnosti pri mešanici mineralnega hidravličnega olja in zraka za različno velike odstotne deleže vsebnosti zraka prikazuje *slika 2*. [3], [4]



Slika 2. Vrednost E -modula olja z različnim odstotkom zraka v odvisnosti od tlaka [3]

Za preračun E -modula z določenim deležem zraka v obliki zračnih mehurčkov, kar lahko podrobneje označimo kot E_{o-z} , smo uporabili enačbo 7. [5]. Potek spreminjanja E_{o-z} modula je bil izračunan s pomočjo Excela.

$$E_{o-z} = E_{olje} \cdot \left(\frac{(1-x_0) \cdot \left(1 - \frac{p}{E_{olj}}\right) + x_0 \cdot \left(\frac{p_0}{p}\right)^{\frac{1}{k}}}{(1-x_0) \cdot \left(1 - \frac{p}{E_{olj}}\right) + \frac{x_0 \cdot E_{olj}}{k \cdot p} \cdot \left(\frac{p_0}{p}\right)^{\frac{1}{k}}} \right) \quad (7)$$

Pri tem v enačbi (7) predstavljajo:

- E_{o-z} E -modul spenjenega olja [bar]
- E_{olje} E -modul homogenega olja [bar]
- volumenski delež zraka [-]
- p tlak [bar]
- p_0 tlak okolice [bar]
- k izentropni eksponent [-]

S *slika 2* je lepo razviden vpliv, ki ga ima na stisljivost mineralnega hidravličnega olja določen delež prisotnega zraka v njem. Ta je še posebej izrazit v področju nižjih obratovalnih tlakov: z vedno višjimi deleži vsebnosti zraka se stisljivost občutno poveča, vrednost modula elastičnosti oz. stisljivosti in s tem togost tekočine pa občutno upadeta, kar različno vpliva na delovanje naprave. Pri višjih obratovalnih tlakih je prisotnost zraka s tega gledišča manj moteča, je pa zato večji problem diesel efekt in njegove posledice. [6]

3 Vpliv zraka na prenos signalov in velikost tlačnih konic

Hitrost širjenja zvoka je razen od gostote odvisna tudi od modula elastičnosti tekočine:

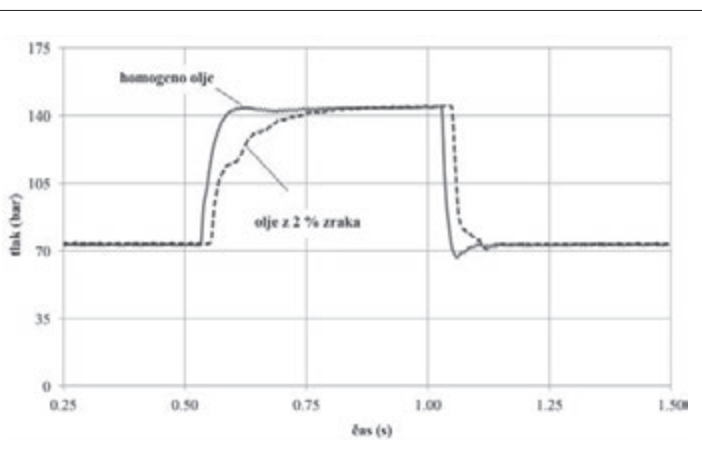
$$c_{zv} = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (8)$$

Enako velja tudi za hitrost širjenja tlačne motnje (npr. tlačni val in tlačni udar ali pa tlačni krmilni signal). Vsaka sprememba stanja v volumnu, napolnjenim s tekočino, npr. v hidravlični cevi, se tako prenaša s hitrostjo zvoka c_{zv} . Za hitrost zvoka v homogenih mineralnih hidravličnih oljih se najpogosteje navaja vrednost okoli 1320 m/s; sicer od 1000 m/s do 1330 m/s, odvisno od vrste olja.

Hitrost prenosa (tlačnega) signala je še posebej pomembna takrat, kadar imamo opraviti s sistemi z veliko količino tekočine (velika kapacitivnost), npr. veliki hidravlični valji, in s sistemi velikih dimenzij, kot so npr. dolgi cevovodi. V manjših, kompaktnih sistemih lahko vpliv vrednosti hitrosti širjenja signala zanemarimo. Vsekakor je ta vidik treba upoštevati pri dolgih cevovodih in še posebej takrat, ko gre za mehanično-hidravlični princip regulacije. V teh primerih lahko velika kapacitivnost in induktivnost sistema (dolgi cevovod) pripeljejo do velike zakasnitve signala tlaka in posledično do nestabilnega delovanja reguliranega sistema. Takrat bi seveda hidravlična tekočina z velikim modulom elastičnosti občutno izboljšala odzivnost sistema, vključki zraka v tekočini pa bi učinkovali prav nasprotno.

Ta vidik lahko predstavimo na primeru dinamičnega obnašanja cevovoda kot sestavnega dela vsakega reguliranega hidravličnega sistema. V ceveh prihaja do velikih sprememb tlakov (kakršni se pojavljajo npr. pri regulaciji tlaka), pri čemer je treba upoštevati, da je tekočina v cevi stisljiva oz. elastična in da ima določeno maso. Če upoštevamo samo prvi vidik, ki se odraža v hidravlični kapacitivnosti cevovoda C_H , lahko vpliv zraka na dinamiko spremembe tlaka prikazemo na podlagi matematične simulacije – *slika 3*.

Slika 3 tako prikazuje razliko v dinamičnem obnašanju cevovoda ob zaprtju in ponovnem odprtju potnega ventila, nameščenega na koncu 35 m dolge cevi, pri čemer so bile razmere nastavljene tako, da se je tlak p na črpalki (na začetku cevi) spreminjal približno med 70



Slika 3. Primerjava odzivov za homogeno mineralno olje in ob prisotnosti zraka v olju

bar in 140 bar. Volumenski tok po cevi je bil v obeh primerih enak in je znašal 32 L/min. Kot hidravlična tekočina je bilo najprej uporabljeno homogeno mineralno olje in nato še mineralno olje z 2-odstotnim deležem zraka (in s tem ustreznim vplivom na spremembo stisljivosti tekočine in hitrostjo prenosa signala). Več podrobnosti o modeliranju cevi lahko najdete v [7]. Prikazana poteka spremembe tlaka na sliki 3 kaže, da je vpliv prisotnosti zraka že ob relativno majhni vsebnosti precej velik – dinamika je vidno počasnejša.

Posredno preko hitrosti zvoka (enačba 8) velikost E -modula vpliva tudi na velikost tlačnih udarov, ki se pojavljajo v hidravličnem sistemu, saj neposredno določa čas širjenja udarnega vala t_{krit} (čas, ki ga udarni val potrebuje, da kot odbiti val pride ponovno nazaj do mesta nastanka, npr. ventila):

$$t_{krit} = \frac{2l}{c_{zv}} \quad (9)$$

Na podlagi enačbe (9) je moč ugotoviti stanje ob zapiranju ventila; ali je to končano v krajšem času kot $t_{zap} < t_{krit}$ ali pa ima odbiti val možnost razbremenitve skozi delno odprt ventil. Največji možni tlačni udar (zaprt ventil) – Joukowski udar, je določen s spodnjo enačbo:

$$\Delta p_J = \sqrt{\rho E'_{olje}} \Delta v = \rho c_{zv} \Delta v \quad (10)$$

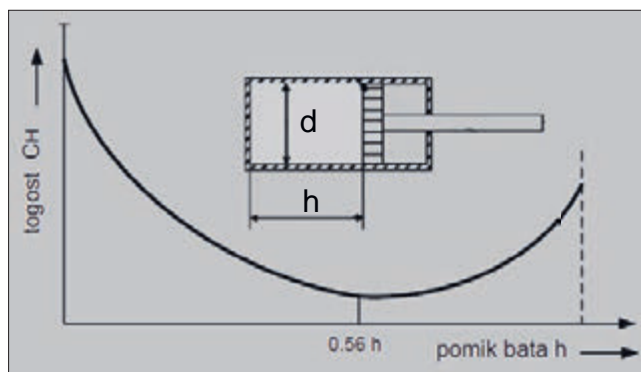
Kot lahko zaključimo na podlagi enačb (8) in (10), je ob uporabi olja z vključki zraka, torej z nižjo vrednostjo E -modula, tudi hitrost širjenja motnje po cevi manjša in s tem posledično manjši tudi tlačni udar oz. nižja tlačna konica.

■ 4 Vpliv zraka na togost hidravličnega valja

Pri hidravličnih sistemih s hidravličnimi valji, kjer je treba zagotavljati veliko togost in natančen gib, lahko zrak v olju predstavlja veliko težavo. Zaradi sorazmerno ve-

likega volumna olja, ki deluje podobno kot mehanska vzmet, lahko prisotnost zraka v olju opazimo že med samim gibanjem valja. Zaradi večje elastičnosti olja lahko pride do nevšečnosti, kot so: nenadzorovani premiki, neenakomerno gibanje, zmanjšanje hitrosti giba, možno vse do zaustavitve ali celo pomika v nasprotno smer, nihanje bremena, povezanega z valjem, ter neenakomerno premikanje valja (npr. zatikanja) ...

Če na bat valja deluje sila, ki se spreminja po velikosti in po smeri, lahko zaradi elastičnosti tekočine ter tudi sten valja in cevovodov nastanejo nihanja. V analogiji z mehaniko, kjer neka masa, povezana z vzmetjo, niha, lahko zapišemo izraz za lastno frekvenco in togost oz. vzmetno konstanto hidravličnega valja, prikazanega na sliki 4.



Slika 4. Hidravlični valj, napolnjen s tekočino

Togost hidravličnega valja je razen od premera bata in batnice ter vrste in stanja hidravlične tekočine v valju odvisna tudi še od položaja bata v valju. Diferencialni valj z različno velikima ploskvama na eni in drugi strani bata razdeli notranji volumen na dva različno velika dela in tako posredno na dva različno velika volumna tekočine oz. različno »mehki« tekočinski vzmeti. Velikost volumna na eni in na drugi strani bata je tako odvisna od položaja bata in od konstrukcijske zasnove valja. Če gre za valj s skoznjo batnico (enakopovršinski valj), sta volumna pri srednjem položaju bata v valju enaka, pri diferencialnem valju z različnima aktivnima ploskvama na batnu pa različna.

Vzmetno konstanto hidravlične tekočine v najpogostejše uporabljanem diferencialnem hidravličnem valju lahko v analogiji z mehaniko izrazimo kot:

$$c_{olje} = \frac{\Delta F}{\Delta l} = \frac{\Delta p A_b^2}{\Delta V_{olje}} = \frac{A_b^2}{C_H} \quad (11)$$

in s tem lastno frekvenco valja kot:

$$\omega_{0,bat} = \sqrt{\frac{A_b^2}{C_H m}} \quad (12)$$

Pri tem v enačbah (11) in (12) C_H predstavlja hidravlično kapacitivnost, zapisano v odvisnosti od položaja bata h

in ob upoštevanju nadomestnega modula elastičnosti:

$$C_H = \frac{V_0}{E'_{olje}} = \frac{A_b h}{E'_{olje}} \quad (13)$$

Na podlagi enačb od (11) do (13) je možno zaključiti, da sta vzmetna konstanta in s tem lastna frekvenca linearno odvisni od elastičnosti tekočine in tudi od položaja bata v valju.

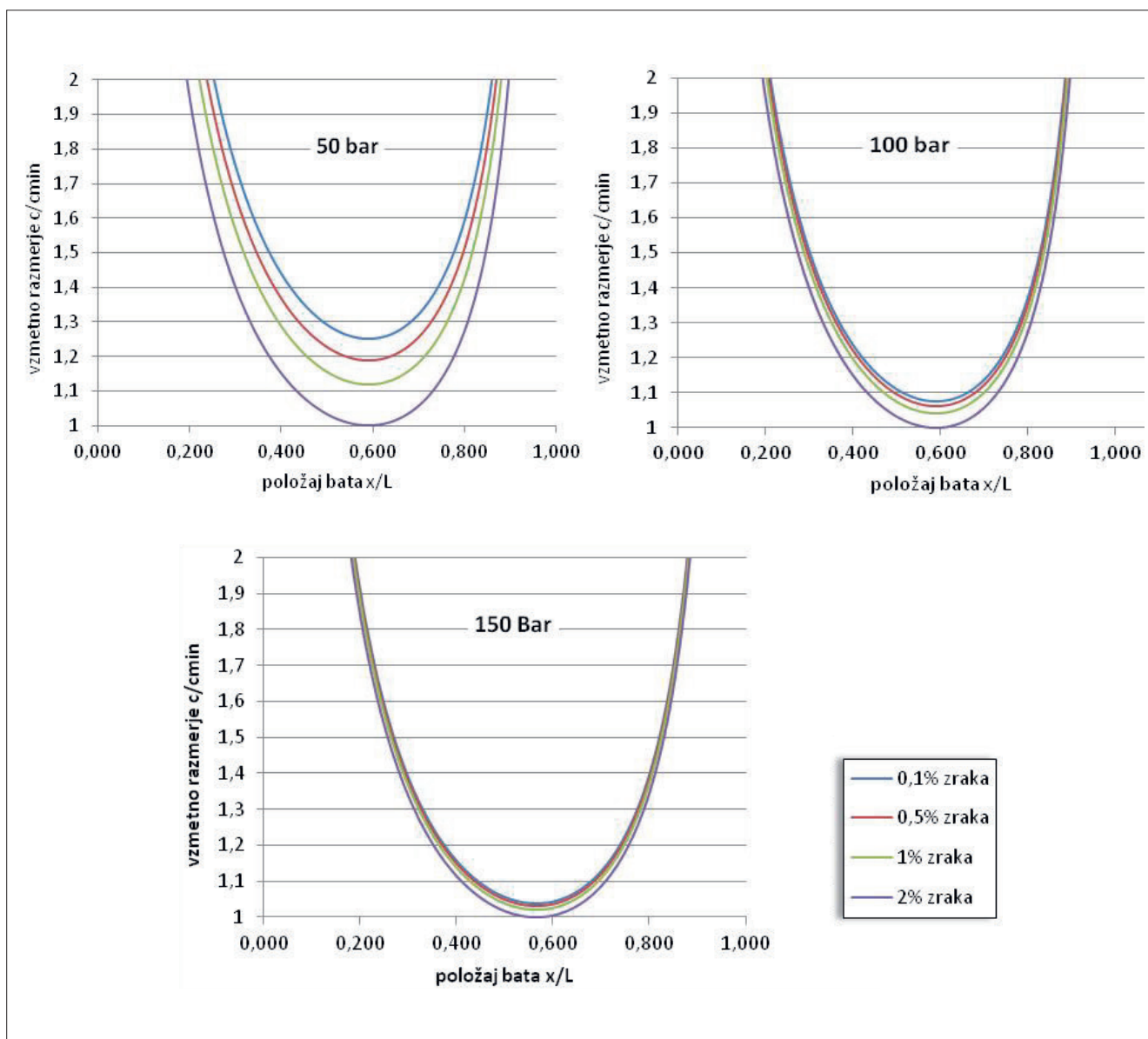
Za določanje togosti valja s homogenim oljem in vpliva zraka v olju na togost valja smo za izračun uporabili standardni valj ISO 6020/2, dimenzij 125/90 in 450-milimetrskim hodom. Spreminjanje togosti valja smo računali po matematičnem modelu dveh zaporedno vezanih vzmeti tako, da smo olje nadomestili z vzmetjo enake vzmetne konstante. Vzmetno konstanto valja pri različnih pozicijah bata smo računali po enačbi 14 [8], s pomočjo Excel-a.

$$c = c_1 + c_2 = E' \left(\frac{A_1^2}{V_1} + \frac{A_2^2}{V_2} \right) \quad (14)$$

pri čemer v enačbi predstavlja:

- c vzmetno konstanto valja [N/mm]
- c_1 vzmetno konstanto tekočine v komori na strani bata [N/mm]
- c_2 vzmetno konstanto tekočine v komori na strani batnice [N/mm]
- E' E-modul olja z zrakom [N/mm]
- A_1 ploščina bata v komori na strani bata [mm²]
- A_2 ploščina bata v komori na strani batnice [mm²]
- V_1 volumen olja v komori na strani bata [mm³]
- V_2 volumen olja v komori na strani batnice [mm³]

Kot rezultat takšne obravnave prikazuje *slika 5* odvisnost togosti valja v odvisnosti od položaja bata, pri različnih obratovalnih tlakih in različnem volumenskem deležu zraka.



Slika 5. Odvisnost togosti valja od položaja bata pri različnih obratovalnih tlakih in % deležu zraka v olju

Rezultati potrjujejo, da togost valja ni odvisna samo od njegovih dimenzij in položaja bata ter višine obratovalnega tlaka, temveč je zelo odvisna tudi od volumenskega deleža morebiti prisotnega zraka v olju. Razlike v togosti, izražene v %, so prikazane tudi v *razpredelnici 2*.

Razpredelnica 2. Razlika togosti valja pri različnih obratovalnih tlakih

Obratovalni tlak	Razlika togosti valja s prisotnim 0,1-odstotnim in 2-odstotnim deležem zraka
50 bar	25,0 %
100 bar	7,7 %
150 bar	3,8 %

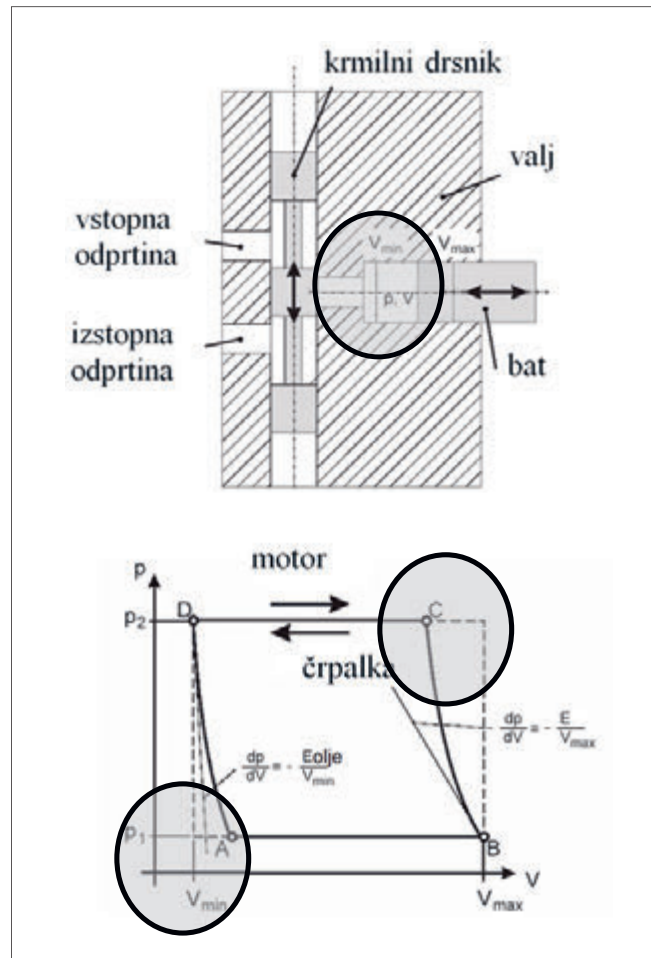
Na podlagi rezultatov lahko ugotovimo, da čim višji je obratovalni tlak, tem manjši je vpliv zraka na togost hidravličnega valja. Če naj bi s hidravličnim pogonom izvajali zelo hitro spreminjajoča se gibanja, je vsekakor zaželen visoka lastna frekvenca sistema, po možnosti daleč nad frekvenco obratovanja. Glede na tonaj bi imeli valji po možnosti čim večjo vzmetno konstanto, kar lahko dosežemo, razen s povečanjem čelnih površin bata, tudi z zmanjšanjem zaprtega volumna, z uporabo kratkih vodov med ventilom in valjem, z uporabo hidravlične tekočine z višjim E -modulom in vsekakor brez vključkov zraka.

■ 5 Vpliv večje stisljivosti tekočine na delovanje in izkoristek hidravličnih črpalk

Pri oscilatorno gibajočih se batih bodisi v hidravličnem valju ali pa v batni črpalki oz. v hidromotorju prihaja do zaustavljanja in pospeševanja bata ter s tem povezanih izgub, odvisnih tudi od velikosti modula stisljivosti uporabljane tekočine.

Zaradi stisljivosti tekočine spremembe tlaka med vstopno in izstopno odprtino niso nenadne oz. skokovite. Da se tlak spremeni z enega na drugi nivo, mora bat v valju opraviti določeno pot, kar ustreza določeni spremembi volumna komore. Tlak v valju hidrostatične enote narašča oz. upada v odvisnosti od adiabatnega modula stisljivosti, skladno z enačbo (1), ki v delovnem diagramu podaja naklon oz. hitrost spremembe tlaka v odvisnosti od spremembe volumna komore.

Ob upoštevanju velikosti volumna v točkah B in D (glej *sliko 6*) v enačbi (1) ugotovimo, da se sprememba tlaka ob stiskanju tekočine (točka B) prične z manjšim naklonom kot sprememba tlaka pri ekspanziji (točka D). Od tega je odvisna izgubljena pot oz. pomik bata na račun stisljivosti tekočine. Pri črpalkah npr. ta pojav predstavlja izgubljeni gib bata oz. volumen, in posledično manjši volumetrični izkoristek črpalke in s tem večjo izgubo moči. Vpliv stisljivosti se še poslabša pri večjih mrtvih volumnih, kakršni so značilni za aksialne batne črpalke z votlimi bati (izvedba s poševno ploščo).



Slika 6. Splošni model hidrostatične enote in delovni diagram

Uporaba tekočin z nižjim modulom stisljivosti, kakršne se pojavljajo ob prisotnosti zraka v olju, tovrstne izgube povečuje.

■ 6 Zaključek

Stisljivost hidravlične tekočine povzroča vzmetno delovanje hidravličnih pogonov – blaži razne sunke in tako varuje (npr. pri orodnih strojih) orodje pred udarci. Po drugi strani velika stisljivost hidravlične tekočine zaradi svojega vzmetnega obnašanja povzroča:

- nihanja in udarce v hidravličnih napravah,
- zakasnitve pri preklopih (treba je upoštevati pri kratkih vklopnih časih),
- nižje lastne frekvence hidravličnih valjev,
- neenakomerno gibanje valjev pri nenadnih spremembah tlaka ali sile,
- nezaželene pojave pri povečanju volumna hidravličnega valja zaradi elastičnosti sten valja in cevovoda,
- nestabilno delovanje reguliranega sistema,
- polnilne izgube črpalk ...

Omenjeni vplivi so ob večjem deležu zraka še bolj izraziti, kot so pri homogenem olju. Zato ima vpliv stisljivosti in pojavov, ki izhajajo iz te lastnosti tekočine, ob upoštevanju deleža zraka še kako velik pomen pri pre-

računu hidravličnih udarov, enakomernosti delovanja pogona, nihanj in pojavu časovnih zakasnitev hidravličnega signala pri daljinsko vodenih hidravličnih pogonih oz. pri načrtovanju hidravličnega sistema nasploh oz. pri splošnem razumevanju pojavov pri delovanju gradnikov. Kakor hitro se bo pojavil vdor zraka v hidravlični sistem, tako hitro se bodo posledično pojavile opisane spremembe pri delovanju naprave. To še posebej takrat, ko je v ospredju dinamično obnašanje naprave.

Viri

- [1] Lovrec D., Tič, V.: Stisljivost hidravličnega olja in vpliv zraka, Ventil, 22/2016, št. 6, str.492–498.
- [2] Lovrec, D., Kambič, M.: Hidravlične tekočine in njihova nega. 1. izd. Maribor: Fakulteta za strojništvo, 2007.
- [3] Lovrec, D., Tašner, T.: Hidravlične tekočine z višjim modulom stisljivosti in vpliv na delovanje hidravlične naprave. Zbornik prispevkov Mednarodne konference Fluidna tehnika 2011, 15. in 16. september 2011, Kongresni center Habakuk, Maribor, 2011, str. 201–216.
- [3] Potočnik, R.: Vpliv zraka na delovanje hidravlične naprave : diplomsko delo. Maribor: 2014. X, 53 f., 4 f. pril., ilustr. <https://dk.um.si/IzpisGradiva.php?id=44644>.
- [4] Murrenhoff, H.: Grundlagen der Fluidtechnik, Teil 1: Hydraulik, UmdruckzurVorlesung, 4. Auflage, 2005, IFAS-RWTH Aachen.
- [5] Helduser, S.: GrundlagenelektrohydraulischerAntriebe und Steuerungen, 1. Izdaja,VereinigteFachverlageGmbH, Germany, 2013.
- [6] Lovrec, Darko. Zakaj hidravlično olje potemni? Vzdrževalec, ISSN 1318–2625, 2016, št. 173, Ljubljana: Društvo vzdrževalcev Slovenije, 2016, št. 173, str. 52–56.
- [7] Lovrec, D., Hribernik, D., Kiker, E.: Model of electro-hydraulicpressurecontrol - the basisfordrivedesign and optimisation. Ventil, sept. 2002, letn. 8, št. 3, str. 151–161.
- [8] Lovrec, D., Tašner, T.: Hidravlične tekočine z visokim modulom stisljivosti in vpliv na delovanje hidravlične naprave, Mednarodna konferenca Fluidna tehnika 2011, Maribor 15. in 16. september 2011. Maribor : Fakulteta za strojništvo, 2011, str 116–121.

Effects of increased fluid compressibility due to air on the operation of hydraulic system

Abstract: Compressibility of hydraulic fluid is not a constant material property. It is determined by fluid type, operating parameters and condition of the device. Thus, the compressibility does not only change with pressure and temperature, but also with the amount of air present in the fluid in form of air bubbles. Any changes, usually taking effect simultaneously, consequently have a major impact on the stiffness of the hydraulic drive. This is reflected in the transmission of hydraulic signals and changes in pressure, as well as in the operation of the hydraulic energy converters.

In the introduction the paper presents a brief overview of hydraulic capacitance theory, which is closely associated with the compressibility of hydraulic fluid. It highlights the impact of air bubbles presence on compressibility and therefore transmission of signals – propagation of pressure waves along pipes. In continuation the paper demonstrates the impact of increased fluid compressibility due to presence of air bubbles on the stiffness of hydraulic cylinder, as most commonly used hydraulic actuator, and on the operation of hydraulic pump and its efficiency.

Keywords: compressibility of hydraulic fluid, air in fluid, transmission of signals, stiffness of cylinder, pump efficiency

POSVET

AVTOMATIZACIJA STREGE IN MONTAŽE 2017 - ASM '17

6. decembra 2017

na Gospodarski zbornici Slovenije v Ljubljani

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