

IZLOČANJE ZRAKA IZ RABLJENIH MINERALNIH HIDRAVLIČNIH OLJ

Milan Kambič, Darko Lovrec

Izvleček:

Prisotnost zraka v hidravličnem sistemu ali v sami hidravlični tekočini, bodisi v svoji osnovni obliki, npr. kot zračni žep ali mehurček, bodisi v obliki raztopljenega zraka povzroča veliko nevšečnosti. To se kaže v obliki neželenega delovanja hidravličnega sistema, ki povzroča pospešeno staranje tekočine, predvsem mineralnega olja.

Poleg ukrepov za preprečevanje vdora zraka v hidravlični sistem je pomembno poznati tudi nagnjenost vsake vrste hidravličnega olja k penjenju in njegovo sposobnost izločanja zraka. Razprava o lastnostih mineralnega olja glede izločanja zraka se običajno nanaša na različne vrste svežih hidravličnih olj. Kako se ta lastnost odraža in spreminja v primeru že uporabljenih in kemično degradiranih hidravličnih olj, obravnavamo v tem prispevku.

Ključne besede:

hidravlično olje, izločanje zraka, rabljena olja, testiranje, rezultati

1 Uvod

Zrak v hidravlični tekočini je v svoji elementarni obliki kot zračni žepi ali zračni mehurčki vsekakor zelo nezaželen, nadležen in agresiven onesnaževalec, ki povzroča celo vrsto nevšečnosti. Z mehanskega vidika povzroča povečano stisljivost in preveč elastično delovanje hidravličnega sistema, s kemičnega vidika pa hitrejše staranje hidravličnega olja.

Poleg povečane stisljivosti tekočine in posledičnega vpliva na togost hidravličnih komponent in celotnega sistema, počasnejših reakcijskih časov ter pojava nihanja v sistemu v mehanskem smislu zrak povzroča celo vrsto drugih nevšečnosti, npr. zaradi nepopolne napolnjenosti komore črpalke vpliva tudi na zmanjšanje dejanskega pretoka črpalke in s tem nižji volumetrični izkoristek, povečano segrevanje črpalke in hrup, pojav kavitacije in s tem povezano obrabo materiala, slabši mazalni učinek tekočine in zmanjšano nosilnost mazalnega filma, dizelski učinek, poškodbe tesnil in gladkih površin itd. Poleg tega zrak negativno vpliva tudi na pospešeno oksidacijo (staranje), npr. v hidravličnih siste-

mih, kjer povzroča nastanek usedlin v rezervoarju in na komponentah (mulj in lak).

Glede na celotno paleto negativnih vplivov je zrak v hidravličnem sistemu nezaželen in se obravnava kot zelo »agresiven« onesnaževalec ter preprečuje in zmanjšuje njegova prisotnost v hidravličnem sistemu. Zato ga je treba odstraniti in zagotoviti, da na različne načine ne pride v hidravlični sistem.

V literaturi najdemo celo vrsto različnih nasvetov in priporočenih ukrepov za preprečevanje vdora zraka v hidravlični sistem ali za nastajanje zraka v samem sistemu. Pravilna zasnova oblike in notranjosti rezervoarja in skrb za brezhibno tesnjenje hidravličnih priključkov je vsekakor en sklop ukrepov. Drugi sklop ukrepov se nanaša na možnosti izločanja zraka. V zvezi s tem so vsekakor potrebni skrbno odzračevanje sistema ob prvem zagonu hidravličnega sistema ter ukrepi za učinkovito odpravo zračnih mehurčkov. Če pa so se zračni mehurčki že pojavili v sistemu, npr. v rezervoarju, jim moramo na kakršen koli način preprečiti dostop do sesalnega priključka črpalke.

Dr. Milan Kambič, univ. dipl. inž., Olma, d. o. o., Ljubljana; **Prof. dr. Darko Lovrec**, univ. dipl. inž., Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo

Prispevek je bil v originalni obliki, v angleškem jeziku, predstavljen na mednarodni konferenci Fluidna tehnika/Fluid Power 2023.

Ko govorimo o zraku v hidravličnem sistemu, ne smemo misliti samo na zrak v njegovi elementarni obliki, na zračne mehurčke. Pomisliti moramo tudi na nezanemarljiv delež kemično raztopljenega zraka v olju, ki se pod določenimi pogoji lahko sprosti iz olja in se pojavi v svoji elementarni obliki kot zračni mehurček.

Precej manj se omenja kemično vezan, raztopljen zrak v sami hidravlični tekočini in njegov negativni

učinek, čeprav vemo, da je v mineralnem hidravličnem olju od 7 % do 9 % ali celo nekaj več odstotkov raztopljenega zraka. Raztopljenega zraka s prostim očesom ne vidimo. Ker ni prisoten in viden v svoji elementarni obliki kot zračni mehurček, neposredno v tej obliki ne povzroča omenjenih škodljivih učinkov. Zato je v tej obliki drugotnega pomena in vpliva na delovanje naprave in stanje olja. Razmere se spremenijo, ko zaradi spremembe tlaka ta v lokalnem delu hidravličnega sistema pade pod vrednost parnega tlaka (določen podtlak) in se raztopljeni zrak sprosti kot zračni mehurček.

2 Mehanizem sproščanja zračnih mehurčkov

Prisotnost zraka v različnih oblikah in v tekočinah je že dolgo predmet številnih raziskav. Enako velja za študije, povezane s poznavanjem fizikalnega ozadja nastajanja in izločanja zraka ter vpliva na delovanje hidravličnega sistema. Ugotovitve so povzeli številni avtorji. ([1] do [11])

Ko se pojavijo zračni mehurčki, jih moramo, ne glede na vzrok njihovega izvora, čim hitreje odstraniti iz hidravličnega sistema. Učinkovitost odstranjevanja zračnih mehurčkov je odvisna od številnih dejavnikov: od oblike in dimenzij rezervoarja, od pogojev pretoka v rezervoarju, od načina vračanja hidravlične tekočine nazaj v rezervoar, od pogojev delovanja v hidravličnem sistemu, npr. delovne temperature, pa tudi od vrste vgrajene hidravlične tekočine, največkrat mineralnega hidravličnega olja.

Ob tem ne smemo pozabiti na prisotnost drugih onesnaževalcev, kot so voda in trdni onesnaževalci, ter na stopnjo razgradnje tekočine, kar vse dodatno vpliva na učinkovitost izločanja zraka.

2.1 Topnost plinov v olju

Kot je bilo rečeno, je pomemben delež raztopljenega zraka. Na splošno lahko mazalna olja, vključno s hidravličnimi olji, raztopijo znatne količine plinov (tukaj zraka). Poleg vrste baznega olja je količina bistveno odvisna od tlaka in temperature. Stopnja rafiniranosti mineralnega olja, viskoznost in prisotnost aditivov nimajo izrazitega vpliva na topnost v zraku. Za prostornino raztopljenega plina za volumen enega ml velja Henry-Daltonov zakon:

$$V_{plin} = \alpha_v \frac{V_{olje} p_2}{p_1} \quad [ml] \quad (1)$$

Preglednica 1 podaja približne vrednosti raztopljenega zraka v odstotkih, značilne za različna mazalna olja pri normalnih pogojih (20 °C in 1013 mbar). [6]

Preglednica 1 : Raztopljeni zrak v mineralnem olju

Vrsta tekočine	Bunsenov koeficient
Mineralno olje	0,07 do 0,09
Silikonsko olje	0,15 do 0,25
Fosfatni ester	0,09
Rastlinsko (bio)olje	0,09
Voda	0,0187

Vrednosti, navedene v *preglednici 1*, kažejo, da je prostorninska vsebnost zraka v mineralnih hidravličnih oljih med 7 % in 9 %. Bunsenov koeficient podaja prostorninsko razmerje med količino plina, raztopljenega v tekočini pri normalnih pogojih, in prostornino tekočine. Raztapljanje zračnih mehurčkov ob povečanju tlaka zahteva določen čas. Za mineralna olja z nizko viskoznostjo (10 mm²/s pri 40 °C) in 20 bar znaša to približno 20 s. Olje z višjo viskoznostjo, 40 mm²/s pri 40 °C, potrebuje približno 60 s. [6] Z naraščanjem tlaka se topnost zraka v mineralnem olju povečuje po zakonu Henryja Daltona.

Za proizvode iz mineralnih olj je mogoče izračunati topnost različnih plinov po metodi ASTM D 2779. Treba je poznati le vrednost gostote olja in vrsto raztopljenega plina.

Standard ASTM D 3827 določa metodo izračuna, ki ne velja samo za izdelke iz mineralnih olj, ampak tudi za druge organske tekočine (sintetična olja). Izločanje zračnih mehurčkov pri znižanju tlaka poteka veliko hitreje kot absorpcija plina pri povečanju tlaka.

Topnost zraka se zmanjšuje z večanjem viskoznosti baznega olja, to je z naraščanjem povprečne molekulske mase, kar prikazuje *preglednica 2*. [12]

Preglednica 2 : Raztopljeni zrak v mazalnem olju

Poprečna molekulska masa [g/mol]	Volumski delež zraka [%]
670	7,83
610	7,92
570	8,43
530	8,78
400	9,03

Opomba: Gostota in molekulska masa kemikalije sta med seboj premo sorazmerni, gostota in prostornina kemikalije pa obratno sorazmerni. Ko se molekulska masa kemikalije poveča, se poveča gostota kemikalije.

2.2 Fino porazdeljen zrak v mazalnem olju

Poleg raztopljenega zraka lahko mazalna olja absorbirajo dodatno količino zraka, ki se med delovanjem fino porazdeli kot disperzna faza. To porazdelitev zraka v olju pogosto imenujemo aeroemulzija, zračna emulzija ali tudi sferična pena. Disperzije zraka v olju so skoraj v vseh primerih pri delovanju hidravličnih sistemov nezaželene, saj iz prisotnosti prostega zraka izhajajo številne (že omenjene) slabosti. [13], [14], [15]

Zrak, razpršen v olju, vodi do povečanja viskoznosti, ki jo je mogoče oceniti z naslednjo aproksimacijsko enačbo ([16]):

$$\eta_{\text{zrak}} = \eta_{\text{olje}} + \eta_{\text{olje}} \cdot 0,0015 \cdot X \quad (2)$$

Enačba kaže, da 10-odstotna prostorninska vsebnost zraka v olju povzroči približno 15-odstotkov višjo viskoznost.

Porazdelitev neraztopljenega zraka v mazivu lahko zmanjšamo z že omenjenimi konstrukcijskimi ukrepi in/ali s sestavo olja. Konstrukcijske možnosti vključujejo naslednje ukrepe, od katerih so bili nekateri že omenjeni: nizko obtočno število zaradi velike količine olja, nizka višina rezervoarja za olje, velike razdalje med vstopno točko olja v rezervoarju in sesalnim vodom, naprave za izpust zraka, pritrditev sesalnega cevovoda čim nižje pod površino in izogibanje ostrim zavojem v sistemu.

Materialni dejavniki hidravličnega olja, ki igrajo pomembno vlogo pri izločanju zraka, so: stopnja rafinacije mineralnega olja, viskoznost in prisotnost nekaterih aktivnih sestavin, npr. prisotnost vode, produktov staranja olja in tudi stopnja čistosti olja.

Vsi ti dejavniki vplivajo tudi na hitrost in učinkovitost odstranjevanja zračnih mehurčkov iz tekočine.

2.3 Mehanizem sproščanja zraka

Teoretični čas dviganja zračnega mehurčka v čistem olju na mineralni osnovi je mogoče izračunati z dobrim približkom z uporabo Stokesovega zakona. Sorazmeren je s kinematično viskoznostjo tekočine in obratno sorazmeren s kvadratom premera mehurčka. Sila vzgona zračnega mehurčka je izražena kot [11]:

$$F_{\text{vzgon}} = \frac{4}{3} \pi (\rho_{\text{tekočina}} - \rho_{\text{zrak}}) r^3 g \quad [\text{N}] \quad (3)$$

Upoštevanje sile upora pri gibanju sferičnih teles po Stokesu za zelo majhna Reynoldsova števila:

$$F_{\text{upor}} = 6 \pi \eta v r \quad [\text{N}] \quad (4)$$

privede do izraza za hitrost dviga zračnega mehurčka:

$$v = \frac{2}{9} (\rho_{\text{tekočina}} - \rho_{\text{zrak}}) \frac{r^3 g}{\eta} \quad [\text{m/s}] \quad (5)$$

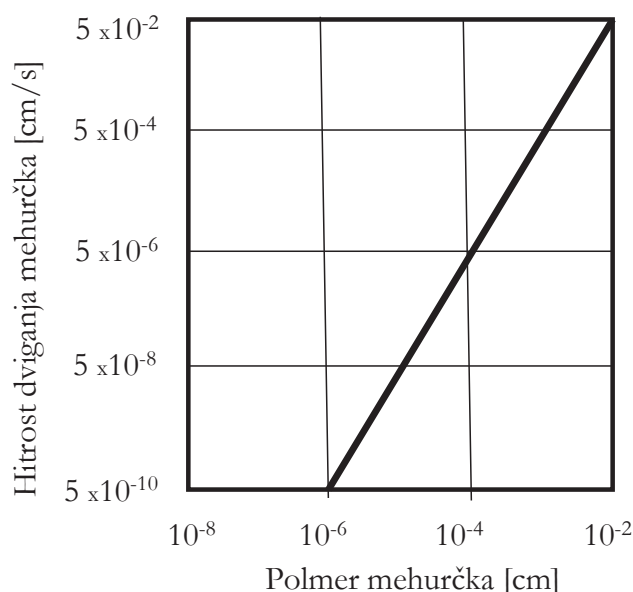
Tu v enačbah (3), (4) in (5) r predstavlja polmer mehurčka, $\rho_{\text{tekočina}}$ gostoto tekočine in ρ_{zrak} gostoto zraka.

Po raziskavi Haywarda [16] je najpogostejši premer mehurčkov od 0,25 mm do 0,5 mm. Delovna viskoznost za večino industrijske hidravlike je med 20 mm²/s in 30 mm²/s. Glede na to je čas, potreben, da se mehurček dvigne za meter v mirnem olju, teoretično v povprečju približno 6 do 9 minut. Ker je viskoznost hidravlične tekočine zelo odvisna od temperature, se zračni mehurčki zaradi nižje viskoznosti dvignejo hitreje pri višjih temperaturah. Dejanski čas vzpona je bistveno daljši, odvisno od vrste olja, nečistoč/kontaminantov in vsebnosti vode, zato je treba to dejstvo v zadostni meri upoštevati pri načrtovanju rezervoarja za olje.

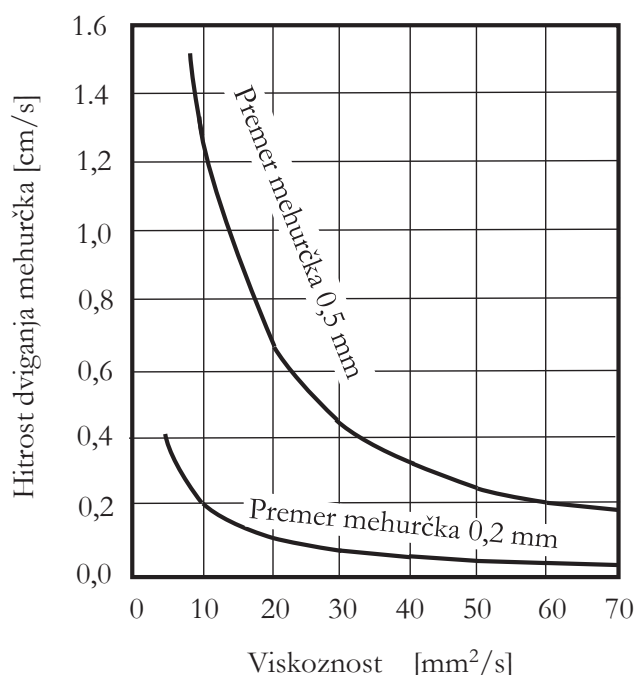
Na podlagi Stokesove enačbe je razvidno, da se hitrost dviganja mehurčkov zmanjšuje, ko mehurčki postajajo manjši, kar prikazuje *slika 1*.

Sposobnost tekočine, da izloči razpršene zračne mehurčke, imenujemo sposobnost izločanja zraka – LAV (pogosto uporabljena okrajšava LAV izvira iz nemškega jezika: Luftabscheidevermögen). Poleg okrajšave LAV se za isti namen pogosto uporablja tudi okrajšava ARV – Air release value.

Na sposobnost izločanja zraka iz mineralnih olj vplivajo viskoznost, temperatura in prisotnost aditivov. Glede na Stokesov zakon je pri višji viskoznosti iz-



Slika 1 : Hitrost dviganja zračnih mehurčkov v odvisnosti od njihovega polmera



Slika 2 : Teoretična hitrost dviganja zračnih mehurčkov od različnih premerov, odvisno od viskoznosti olja

ločanje zraka počasnejše. Splošnega razmerja, ki velja za vsa bazna olja, ni mogoče podati, ker imajo glede na izvor in postopek rafiniranja različno medfazno napetost in s tem različno velikost mehurčkov, kar prikazuje *slika 2*.

Na vrednost viskoznosti močno vpliva temperatura olja. Ko se temperatura poveča in posledično viskoznost zmanjša, se izločanje zraka izboljša.

Vse učinkovine, ki zmanjšujejo površinsko napetost tekočine, negativno vplivajo na sposobnost izločanja zraka. Prav tako vse spojine, ki lahko tvorijo

t. i. nukleacijska jedra v teoriji negativno vplivajo na sposobnost izločanja zraka. Ali lahko ta vpliv pri inhibitorjih oksidacije, korozije in pri detergentih zanemarimo, ker je njihov prispevek zanemarljiv, ali pa ga ne smemo, bi bilo potrebno za vsako vrsto navedenega aditiva preveriti z eksperimentom.

3 Metoda merjenja izločanja zraka različnih hidravličnih tekočin

Standardizirana metoda za določanje sposobnosti izločanja zraka (LAV) je tako imenovana Impingerjeva metoda po standardu DIN 51381. V ta namen pri določeni temperaturi sedem minut vpihujemo zrak skozi kapilaro v olje v plinski pralni jeklenki (impinger). Izločanje razpršenega zraka spremljamo s hidrostatično tehtnico, z merjenjem gostote, dokler ne dosežemo vrednosti vzorca brez zračnih mehurčkov. LAV je podan v minutah za čas, po katerem olje še vedno vsebuje 0,2 % prostornine razpršenega zraka.

Za določanje penjenja, vsebnosti zraka in njegovega izločanja obstaja več standardnih in nestandardnih metod, ki so si bolj ali manj podobne (glej [17]). Danes je najbolj razširjena metoda določanja LAV po standardu ASTM D 3427-19. Preizkusni postopek se izvaja pri standardiziranem nizu preskusnih pogojev in tako omogoča primerjavo sposobnosti olj za ločevanje vnesenega zraka v pogojih, kjer je na voljo čas ločevanja. [18]

V skladu s standardom ASTM D 3427-19 se čas, ki je potreben, da tekočina sprosti vsebovani zrak, meri pri različnih temperaturah, pri 25 °C, 50 °C in 75 °C. Za praktila je zagotovo najbolj zanimiva izvedba testa pri 50 °C, ki velja za priporočeno delovno temperaturo, pri kateri hidravlična naprava tudi večino časa deluje.

Odvisno od sestave hidravlične tekočine, tako glede baznega olja kot paketa aditivov, ki jih vsebuje, se lahko lastnosti izločanja zraka bistveno razlikujejo. *Preglednica 3* prikazuje razpon vrednosti časa izločanja zraka, povezanih z različnimi vrstami mineralnega olja. [19], [20]

Ko gre za zračne mehurčke v olju, se rezultati običajno nanašajo na sveža hidravlična olja ali druge vrste hidravličnih tekočin. Ni pa skoraj nikjer natančno navedena ali pa je le izjemoma navedena mejna vrednost za hitrost izločanja zračnih mehurčkov v različno degradiranih rabljenih oljih.

4 Lastnosti izločanja zraka rabljenih mineralnih hidravličnih olj

Res je, da sta izločanje zraka različnih vrst in sestav svežega olja nedvomno pomembna, vendar imamo

Preglednica 3 : Lastnosti izločanja zraka različnih olj [19]

Vrsta olja	Razred viskoznosti	Minut do 0,2 % vol. zraka	
		25 °C	50 °C
A Hidravlično	ISO 32	-	3
B Turbinsko	ISO 32	4	2
C Hidravlično	ISO 46	-	6
D Turbinsko	ISO 46	7	3
E Turbinsko	-	10	5
F E + 1,0 % olja J		10	5
G E + 0,5 % vode		56	-
H Hidravlično	ISO 100	-	13
I Turbinsko	ISO 100	14	6
J MIL-L-2104B dizel	SAE 30	77	-
K J + 0,5 % vode		115	-

v večini industrijskih hidravličnih sistemov veliko večjo količino rabljenega kot pa svežega olja. Prav tako ni nobenega zagotovila, da bo učinkovito izločanje zraka iz svežega olja zagotovilo tudi učinkovito izločanje zraka iz rabljenega olja. Že zaradi tega je smiselno iskati korelacije med različnimi stopnjami degradiranosti olja in spremembami fizikalno-kemijskih lastnosti olja ter sposobnostjo izločanja zraka. Sposobnost izločanja zraka bi morda lahko bila eden od parametrov, na podlagi katerega bi presodili primernost olja za nadaljnjo uporabo.

Na sposobnost izločanja zraka in nagnjenost k penjenju negativno vplivajo onesnaževalci, kot so delci in voda, pa tudi produkti staranja, npr. povečanje viskoznosti zaradi oksidacije olja in porabe aditivov. Prav tako mešanje različnih vrst olj vpliva na sposobnost izločanja zraka in nagnjenost k penjenju, npr. zaradi vnosa nezdružljivih aditivov. Onesnaževalci lahko izvirajo iz zunanjih in notranjih virov. Primeri zunanjih virov so lahko druge vrste olja, druge tekočine, npr. voda in umazanija. Prisotnost vode lahko zmanjša viskoznost, saj ta delno emulgira. *Preglednica 3* vključuje nekaj primerov škodljivega vpliva majhnih količin vode na izločanje zraka.

Prav tako produkti procesa toplotne razgradnje ali staranja olja povzročijo spremembo viskoznosti in gostote. Enako velja za kisle produkte oksidacije, ki posledično vodijo do sprememb LAV. [19]

4.1 Izločanje zraka iz pospešeno staranih olj

Za ugotavljanje sprememb fizikalno-kemijskih lastnosti različno degradiranih mineralnih hidravličnih olj smo uporabili lastno razvit postopek za pospešeno toplotno degradacijo olja, tako imenovani suhi toplotni test. Test je podoben testu TOST, kjer je pri

povišani temperaturi (150 °C) prisotnost bakra in kisika v zraku v vlogi katalizatorjev oziroma pospeševalcev razgradnje olja povzročila hitrejšo razgradnjo olja. Več podrobnosti o postopku in izvedbi testa najdete v [21]. Toplotna obremenitev vzorca je trajala določeno število ur, nato pa so bile izmerjene vse tiste fizikalno-kemijske lastnosti, ki so običajno spremenjene zaradi razgradnje in lahko vplivajo tudi na LAV. Rezultati so povzeti v *preglednici 4*. Za preizkus smo uporabili mineralno hidravlično olje vrste HL in viskoznostnega razreda ISO VG 46.

Preglednica 4 jasno prikazuje tiste fizikalno-kemijske parametre in njihove vrednosti, ki so v ospredju obravnave – LAV in penjenje. Naraščajoče vrednosti za viskoznost, nevtralizacijsko število, oksidacijo, FT-IR ter tudi vrednosti za barvo in električno prevodnost jasno kažejo stopnjo razgradnje olja kot posledico toplotne obremenitve pod vplivom pospeševalcev procesa staranja.

Iz rezultatov je razvidno in zanimivo, da se po pospešenem toplotnem staranju olja vrednost LAV skorajda ni spremenila (majhna nihanja vrednosti so možna posledica natančne ocene določitve konca testa – razlika v časih znaša 6 %). Načeloma spremembe LAV sovpadajo s spremembami gostote, ki se je minimalno spremenila. Vendar pa se je viskoznost staranega olja močno spremenila, penjenje olja pa se je zelo povečalo.

Ker je bilo v tem primeru uporabljeno pospešeno toplotno staranje olja, pri katerem ni bilo zaznati omembe vrednih sprememb LAV, je vsekakor smiselno preveriti, ali se podoben vzorec sprememb pojavlja tudi pri »naravno« staranih oljih – po določenem času delovanja. Treba je opozoriti, da so ure pospešenega procesa toplotne razgradnje enakovredne nekaj mesecem ali celo letom naravno staranega olja.

Preglednica 4 : Rezultati analize vzorcev po določenem številu ur pospešenega staranja

Hidravlično olje HL ISO VG 46	HL 0	HL 40	HL 60	HL 110
Čas trajanja testa [h]	0	40	60	110
Barva [-]	2,0	6,0	> 8,0	> 8,0
Gostota pri 20 °C [kg/m ³]	876	876	877	879
Viskoznost pri 40 °C [mm ² /s]	46,45	48,35	49,30	62,18
Viskoznost pri 100 °C [mm ² /s]	6,91	7,06	7,18	8,08
Nevtralizacijsko št. [mg KOH/g]	0,54	0,65	0,72	1,9
Oksidacija FT-IR [-]	0,31	0,43	0,64	2,30
LAV pri 50 °C [min]	5,7	6,1	5,8	6,1
Penjenje – Sekvenca I [ml/ml]	0/0	20/0	0/0	610/0
Penjenje – Sekvenca II [ml/ml]	30/0	20/0	10/0	30/0
Penjenje – Sekvenca III [ml/ml]	0/0	0/10	0/0	570/50
Električna prevodnost [pS/m]	607	853	1121	9219

Preglednica 5 : Primerjava viskoznosti, penjenja in sposobnosti izločanja zraka naravno staranih hidravličnih olj

Vzorec	Hidravlično olje ISO VG 46					
Datum	9. 2022	11. 2022	1. 2023	3. 2023	2. 2023	7. 2023
Gostota pri 20 °C [kg/m ³]	871	871	871	871	871	871
Viskoznost-40 °C [mm ² /s]	45,76	46,43	46,48	46,60	46,31	46,59
Viskoznost-100 °C [mm ² /s]	7,199	6,859	6,886	6,963	6,939	6,976
LAV pri 50 °C [min]	6,3	4,8	4,7	5,4	4,4	4,4
Penjenje-Sek. I [ml/ml]	0/0	0/0	0/0	0/0	190/0	430/0
Penjenje-Sek. II [ml/ml]	70/0	20/0	40/0	50/0	30/0	30/0
Penjenje-Sek. III [ml/ml]	20/0	20/0	0/0	270/0	30/0	480/0

4.2 Izločanje zraka naravno staranih olj

Podobne spremembe veličin, navedenih v prejšnjem poglavju, lahko pričakujemo tudi pri naravno staranem olju na pravi hidravlični napravi, le da je čas nastanka spremembe bistveno daljši (nekaj deset dni ali celo mesecev).

Spremljanje stanja fizikalno-kemijskih parametrov hidravličnih olj v industrijski uporabi se praviloma izvaja v določenih časovnih intervalih, običajno na dva meseca. V tem primeru izvajalec testiranja običajno ne pozna dejanskega števila obratovalnih ur v tem obdobju, zato lahko pride do odstopanj ali manj verodostojnih rezultatov. Na interpretacijo rezultatov vplivajo tudi obratovalni pogoji, kot je npr. temperatura okolja, vlažnost okolja ali kaj drugega.

V preglednici 5 so prikazani le nekateri parametri sicer širokega nabora celovite analize za primer naravno staranega olja in dvomesečni interval vzorčenja za obdobje osmih mesecev. V ospredju sta vrednosti LAV in penjenja. Kot olje je bilo uporabljeno mineralno hidravlično olje ISO VG 46.

Tudi pri naravno staranem olju se je izkazalo, da se vrednost LAV spreminja zelo malo, penjenje pa veliko bolj. Izločanje zraka je veliko bolj odvisno od vrste tekočine, osnovnih fizikalno-kemijskih vrednosti, kot sta gostota in viskoznost, ter tudi od vrste aditivov.

6 Zaključek

Na delovanje hidravličnega sistema zagotovo vplivajo vrsta vgrajene tekočine in njene osnovne lastnosti, kot so gostota in viskoznost, temperaturno obnašanje, vrsta baznega olja in aditivov, prisotnost zraka in možnost, da se ta sprosti. Kot je znano, zrak v hidravlični tekočini povzroča celo vrsto negativnih učinkov, od neposrednega vpliva na dinamično obnašanje sistema do posrednega vpliva na hitrejšo staranje tekočine, na primer hidravličnega olja na mineralni osnovi. Iz tega razloga je sposobnost

tekočine, da kar najhitreje odstrani zrak iz sistema, ena od pomembnih lastnosti, ki ni dovolj podrobno opisana. Slednjo lastnost ugotavljamo s standardnim testom za določanje hitrosti izločanja zraka.

V prispevku so predstavljeni mehanizmi, ki vplivajo na sproščanje zraka, in povzeti nekateri izsledki prejšnjih študij. Običajno te ugotovitve veljajo za neuporabljene, sveža hidravlična olja. V nadaljevanju prispevka smo se osredotočili na sposobnost izločanja zraka iz rabljenih, že delno degradiranih hidravličnih olj. Rezultati, povezani z učinkovitostjo izločanja zraka in pojavom penjenja, so prikazani za dva primera: za primer pospešeno toplotno degradiranega olja in za primer naravno degradiranega olja v realnih industrijskih obratovalnih pogojih.

Tako pri olju s pospešenim staranjem kot pri naravno staranem olju iste vrste je bilo ugotovljeno, da se hitrost izločanja zraka zelo malo spremeni, peni pa se veliko bolj. Na podlagi tega lahko sklepamo, da ima veliko večji vpliv na hitrost izločanja zraka vrsta tekočine, predvsem njena gostota in viskoznost ter vrsta baznega olja.

Viri

- [1] Hayward, A. T. J. (1961). Aeration in Hydraulic Systems - It's Assessment and Control, Proc. Inst. Mech. Eng. Conf. Oil Hydraulic Power and Control, Instn. Mech. Engrs., 216-224.
- [2] Hayward, A. T. J. (1963). How to keep Air Out of Hydraulic Circuits. A publication of the National Engineering Laboratory, East Kilbride, Glasgow.
- [3] Magorien, V. G. (1968). How Hydraulic Fluids Generate Air. Hydraulics & Pneumatics, 104-108.
- [4] Fowle, T. I. (1981). Aeration in Lubrication Oils, Tribol. Int., 14, 151-157
- [5] Staack, D. (1983). Gases in Hydraulic Oils. Tribologie & Schmierungstechnik, Vol 34, No. 4, 201-207.

- [6] Hamann, P. W., Menzel, O., Schroeder, H. (1978). Gase in Ölen. Fluid, 12, Nr 9, 24–28.
- [7] Claxton P.D. (1972). Aeration of Petroleum Based Steam Turbine Oils. Tribology, February, 8–13.
- [8] Tsuji, S., Katakura, H. (1978). A Fundamental Study of Aeration in Oil 2nd Report. The Effects of the Diffusion of Air on the Diameter Change of a Small Bubble Rising in a Hydraulic Oil, Bulletin of the JSME, 21 (156), 1015–1021, <https://doi.org/10.1299/jsme1958.21.1015>.
- [9] Blok, P. (1995). The Management of Oil Contamination, Koppen & Lethem, Aandriftechnieck B.V. Neederland, ISBN: 9090084584.
- [10] Suzuki, R. (2019). Removing Entrained Air in Hydraulic Fluids and Lubrication Oils. Machinery Lubrication, Noria Corporation, www.machinerylubrication.com/Read/373/entrained-air-oil-hydraulic
- [11] Möller, U. W., Nassar, J. (2002). Schmierstoffe im Betrieb, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, ISBN 978-3-642-62620-3, pages 873.
- [12] Hörner, D. (1980). Luft-Aufnahme und-Abgabeverhalten (LAAV) von Getriebeölen und Hydraulikflüssigkeiten. Mineralöltech 25 Nr. 6: 1–23.
- [13] Hofer K. (1978). Luft im Öl. Betriebstech. 16 Nr 11: 29–30.
- [14] Magorien, V. G. (1980). Keeping air out of hydraulic systems. Mach. Design. 52 Nr 18: 71–76.
- [15] Fowle, T. J. (1981). Aeration in lubricating oils. Tribology Int. 9 Nr 6. 151–15.
- [16] Hayward, A. T. J. (1962). The viscosity of bubbly oil. J. Inst. Pet. 48 Nr 461, 156–164.
- [17] Totten, G. E., De Negri, V. J. (2011). Handbook of Hydraulic Fluid Technology, CRC Press; 2nd edition, 982 pages.
- [18] ASTM D3427-19. (2020). Standard Test Method for Air Release Properties of Hydrocarbon Based Oils, ASTM International, West Conshohocken, PA, last Updated: Jan 22, 2020.
- [19] Phillips, W. D. (2006). The high-temperature degradation of hydraulic oils and fluids, Journal of Synthetic Lubrication, 23: 39–70, Published online in Wiley Interspine, doi: 10.1002/jsl.11.
- [20] Jackson, T. L. (1981). Hydraulic oil blackening. Proc. 6th Int. Fluid Power Symp. Cambridge, April, Paper B1.
- [21] Tič, V., Lovrec, D. (2017). On-line condition monitoring and evaluation of remaining useful lifetimes for mineral hydraulic and turbine oils. 1st ed. University of Maribor Press, ISBN 978-961-286-130-8. doi: 10.18690/978-961-286-130-8.

Air release of used hydraulic mineral-based oils

Abstract:

The presence of air in the hydraulic system or in the hydraulic fluid itself, either in its elementary form e.g., as an air pocket or bubble, or in the form of dissolved air, causes much inconvenience. This is manifested in the form of unwanted operation of the hydraulic system, causing accelerated ageing of the fluid, especially mineral oil.

Apart from knowing the measures to prevent air intrusion into the hydraulic system, it is also important to know the tendency of each type of hydraulic oil to foam and its air release property. A discussion of the air release property of mineral oil usually refers to different types of fresh hydraulic oils. How this property is reflected and changes in the case of already used and chemically degraded hydraulic oils is discussed in the present paper.

Keywords:

hydraulic oil, air release, used oils, test, results

POSVET

AVTOMATIZACIJA STREGE IN MONTAŽE 2024 - ASM '24

05. decembra 2024
na Gospodarski zbornici Slovenije v Ljubljani

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