



HIDRAULIČKI I PNEUMATSKI SISTEMI

Radne tečnosti hidrauličkih sistema

Radna tečnost hidrauličnog sistema



1. funkcije radne tečnosti
2. vrste radne tečnosti
3. svojstva radne tečnosti



Funkcije radnog fluida



Izbor odgovarajućeg radnog fluida ima bitan uticaj na ispravno funkcionisanje, trajnost, pouzdanost i ekonomičnost hidrauličkog sistema. Izbor fluida utiče i na izbor hidrauličkih elemenata (filteri, ventili, zaptivači...) koji se projektuju za određenu vrstu fluida. Od posebnog značaja je korišćenje fluida koji nemaju štetan uticaj na materijal zaptivača.

Zadaci (funkcije) radnog fluida su:

- prenos energije (glavni zadatak)
- prenos informacionog signala
- hlađenje (odvođenje toplote nastale usled gubitaka u sistemu)
- podmazivanje pokretnih delova uređaja
- zaštita od korozije
- odnošenje nečistoća
- prigušivanje buke i vibracija

Vrste radnih fluida



Vrste radnih fluida koji se koriste u hidraulici su:

- mineralna ulja,
- sintetička ulja,
- biljna ulja,
- voda i vodene emulzije,
- tekući metali i legure.

Vrste radnih fluida



Mineralna ulja se najviše se koriste (75%) zbog dobrog podmazivanja i dobre zaštite od korozije. Zato se i termin hidrauličko ulje koristi kao sinonim za hidraulički fluid. Dobijaju se iz nafte. Koriste se na radnim za temperature -50 do 80 °C. Nedostaci mineralnih ulja su velika promena viskoznosti sa temperaturom i izdvajanje smole na višim temperaturama. Primena mineralnih ulja ima tendenciju opadanja.

Sintetička ulja (9%) se koriste za više temperature i kada postoji opasnosti od požara: za temperature iznad 80 °C (do 400 °C); stabilna su, nezapaljiva, ali imaju loša maziva svojstva i rastvaraju gumene zaptivke.

Biljna ulja (13%) dobijaju se od ricinusovog ulja, predstavljaju najnoviji trend u primeni, jer su biorazgradiva. Koriste se sa zaptivkama od prirodne gume.

Vrste radnih fluida



Emulzije s vodom imaju nisku cenu, nisku kompresibilnost, veći kapacitet toplote i otpornost na vatru. U hidrauličkim sistemima i mašinama za presovanje se koriste emulzije ulja u vodi koje se sastoje od 2-5% emulzola koji sadrže mineralno ulje i 95-98% vode. Emulzol je u vodi u disperzovanoj fazi. Mane takvih tečnosti su mala mazivost, velika aktivnost korozije i nemogućnost upotrebe na niskim temperaturama. Povoljnija emulzija je "voda u uljima", čija je sadržaj vode oko 40%. Kombinuje pozitivne osobine emulzija ulja i vode i mineralnih ulja. Trenutno se koriste u takvim hidrauličkim sistemima za koje su pitanja zaštite od požara naročito važna, na primer, u rudarskoj i metalurškoj opremi. Primena biljnih ulja i vode ima tendenciju rasta.

Tekući metali i njihove legure koriste se za visoke temperature (-10 do 770 °C).

Klasifikacija hidrauličkih ulja



Klasifikacija (oznake) pojedinih radnih fluida izvršena je prema aditivima (dodaju se u svrhu poboljšanja nekih svojstava fluida).

Klasifikacija hidrauličkih ulja prema normi ISO 6743/4:

Oznaka	Sastav i osnovna svojstva
HH	Neinhibirano rafinirano mineralno ulje
HL	Rafinirano mineralno ulje s dodatkom aditiva protiv oksidacije i za zaštitu od korozije
HM	Svojstva ulja HL sa poboljšanim svojstvima protiv trošenja
HR	Svojstva ulja HL sa dodatkom aditiva za poboljšanje indeksa viskoznosti
HV	Svojstva ulja HM sa dodatkom aditiva za poboljšanje indeksa viskoznosti
HG	Svojstva ulja HM sa antistatic-slip svojstvima
HS	Sintetička teško zapaljive tečnosti
HF	Teško zapaljive tečnosti s vodom
HFAE	Emulzija ulja u vodi ili vodeni rastvor koja sadrži max 20% gorivog materijala
HFAS	Rastvor hemikalija sa min 80% vode
HFB	Emulzija vode i ulja sa max 20% gorivog materijala
HFC	Vodeni rastvor sa aditivom za povećanje viskoznosti i min 35% vode
HFD	Teško zapaljive tečnosti bez vode
HFDR	Sintetička tečnost na bazi fosfat-estera
HFDS	Sintetička tečnost na bazi kloriranih ugljovodonika
HFDT	Mešavina tekućina HFDR i HFDS
HFDU	Teško zapaljiva tečnost drugog sastava

Fizička svojstva radnih fluida



Značajna fizička svojstva radnih fluida su:

- gustina
- temperatura
- pritisak
- stišljivost
- viskoznost
- rastvaranje gasova
- starenje fluida
- stvaranje emulzije tečnost-gas i/ili pene

Gustina radnih fluida



Masa i zapremina fluida

Fluid je materijalna sredina koja se sastoji od neprekidno raspoređenih materijalnih tačaka-čestica fluida tj. fluidnih delića. Fluidni delići imaju infinitezimalnu (beskonačno malu) zapreminu, a mogu biti proizvoljnog oblika.

Ukupna masa (m) fluida sadržanog u zapremini (V) jednaka je zbiru masa (dm) fluidnih delića (dV) i neprekidna je funkcija zapremine.

Masa je merljiva veličina, fluidu konačne zapremine (V) odgovara konačna masa (m).

Masa fluida zapremine (V) ne menja se tokom vremena ako u uočenoj zapremini nema izvora ili ponora mase.

Gustina radnih fluida



Gustina (specifična težina) fluida je masa jedne jedinice zapremine.

Gustina fluida može se izračunati ako se težina izvesne količine fluida podeli sa zapreminom koju ta količina fluida zauzima.

Gustina je odnos mase i zapremine:

$$\rho = \frac{m}{V} \left(\frac{kg}{m^3} \right)$$

Hidraulični radni fluidi smatraju se **homogenim**, odnosno jednake gustine u svim tačkama.

U hidraulici se široko koristi pojam **relativne gustine**, koji predstavlja odnos gustine neke tečnosti i gustine vode pri temperaturi 4 °C i atmosferskom pritisku. Gustina vode je 1000 kg/m³ pri temperaturi 4 °C.

Relativna gustina vode je 1, a gustina žive 13,57.

Gustina radnih fluida

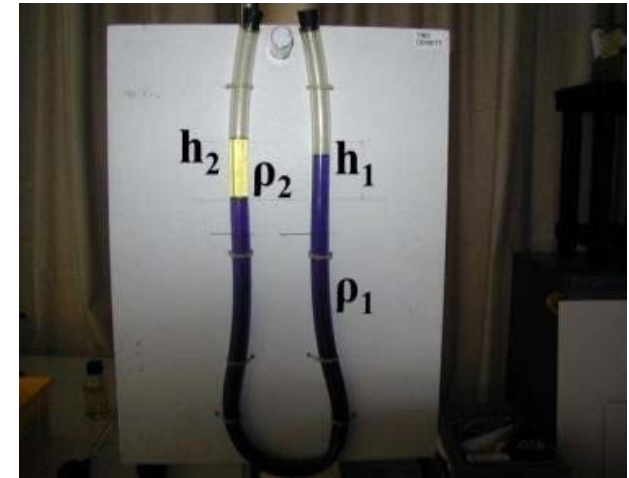


Merenje gustine

Merenje gustine pomoću spojenih sudova sa različitim tečnostima.

$$p_o + \rho_1 g h_1 = p_o + \rho_2 g h_2$$

$$\frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{h_1}{h_2}$$



Gustina radnih fluida



Tečnost	t (oC)	ρ (kg/m ³)
Morska voda	15	1020
Živa	20	13545
Alkohol	15	790
Benzin	15	680-720
Nafta	20	760-900
Ulje	15	880-920
Mazut	15	890-940
Glicerin	0	1260

Temperatura radnih fluida



Raznim toplotnim stanjima (kao merodavan - konvencionalni pokazatelj) odgovaraju određene vrednosti temperature, koje se mere sredstvom mernog instrumenta - termometra (koji je u stanju toplotne ravnoteže sa telom-fluidom čija se temperatura meri).

Radna temperatura ulja mora se održavati u propisanim granicama, jer oni mogu promeniti svoja svojstva pod dejstvom visoke i niske temperature.

Voda i njene emulzije dodatno donose i opasnost od zamrzavanja, zbog čega se često dodaje glikol.

Pritisak radnih fluida



Usled neprekidnog sudaranja molekula sa stvarnom (zid) ili zamišljenom površinom nastaje promena količine kretanja, odnosno sila. Ova sila po jedinici stvarne površine (zida) ili zamišljene površine u nekoj tački identifikuje se kao makroskopski pritisak.

Pritisak postoji u fluidu bilo da fluid miruje, bilo da se kreće. Zato treba praviti razliku između ova dva slučaja.

Pritisak pri mirovanju označava se kao statički pritisak. Sila izazvana statičkim pritiskom ima dva važna svojstva:

- uvek je normalna na svaku stvarnu ili zamišljenu površinu u fluidu,
- vrednost joj je ista u jednom mestu bez obzira kako je površina orijentisana.

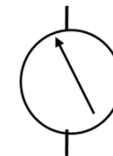
Pritisak radnih fluida



Merenje pritiska se obavlja posredstvom instrumenata koji se zovu manometri, a oni mogu biti: hidrostatički, mehanički i elektromehanički (najčešće).

- **Manometri** mere nadpritisak u tečnostima i gasovima u odnosu na atmosferski pritisak: $p_m = p - p_o$
- **Barometri** mere atmosferski pritisak, a
- **Vakuometri** mere podpritisak.

Osnovna merna jedinica za pritisak je paskal (Pa).



Hidraulički simbol manometra



Manometri za hidrauličke sisteme

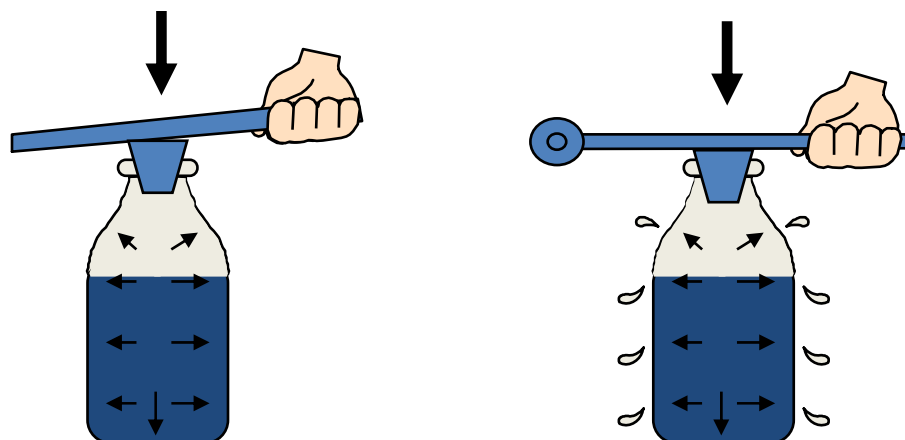
Stišljivost radnih fluida



Svaki fluid pod dejstvom spoljašnjih sila menja svoju zapreminu što znači da su tečnosti stišljive.

Stišljivost je osobina tečnosti da menja svoju gustinu pri promeni pritiska i (ili) temperature.

Stišljivost je smanjenje zapremine pri povećanju pritiska i zavisi od vrste tečnosti.



Stišljivost radnih fluida



Mera stišljivosti pri promeni pritiska je koeficijent relativne zapreminske stišljivosti koji predstavlja relativno smanjenje zapremine po jedinici promene pritiska:

$$s = \frac{1}{\Delta p} \cdot \frac{\Delta V}{V_1}$$

Mera stišljivosti pri promeni temperature je koeficijent relativne temperaturene stišljivosti koji predstavlja relativno povećanje zapremine po jedinici promene temperature:

$$s_1 = \frac{1}{\Delta t} \cdot \frac{\Delta V}{V_1}$$

Stišljivost radnih fluida



Međutim, ta stišljivost je praktično vrlo neznatna, tako da se u praksi može zanemariti. Zanemarivanjem uticaja stišljivosti tečnosti u hidraulici, dolazimo do pojma **nestišljive tečnosti**, slično kao što se u mehanici krutih tela uvodi pojam krutog čvrstog tela, tj. tela koje se ne deformiše pod dejstvom spoljašnjih sila.

Hidraulični radni fluidi smatraju se nestišljivim.

Modul stišljivosti ulja iznosi $1,5 \div 2$ GPa. Promena zapremine fluida pri porastu pritiska na 10 MPa uglavnom ne prelazi 0,7% i najčešće se ne uzima u obzir, ali fluidi koji sadrže rastvoreni vazduh postaju stišljivi, što može izazvati smetnje u radu hidrauličkih komponenata.

Neprekidnost radnih fluida



U hidraulici, kao i u mehanici krutog tela, pretpostavlja se da je materija neprekidno raspoređena u prostoru koji zauzima.

Pretpostavljamo, dakle da je raspored delića fluida takav, da se u prostoru gde se taj fluid nalazi, ne javljaju praznine. Razne fizičke veličine kao što su gustina, brzina, pritisak itd; postaju sada funkcije koordinata tačaka u prostoru i menjaju se neprekidno od tačke do tačke, ukoliko u fluidnom prostoru nema nekih izuzetnih mesta (singulariteta).

Delovanje sile na fluid



Fluidnu masu u nekoj zapremini napadaju razne sile. To su pre svega sile koje deluju i u mehanici krutog tela. Ove napadaju svaki fluidni delić u posmatranoj zapremini, bez obzira da li je ta zapremina osamljena ili se graniči sa fluidom.

Sile koje deluju na fluid mogu biti:

- spoljašnje, masene ili zapreminske
- unutrašnje ili površinske.

Masi fluida može se dovoditi (ili odvoditi) energija: npr. posredstvom pumpe (turbine) ili grajača (hladnjaka).

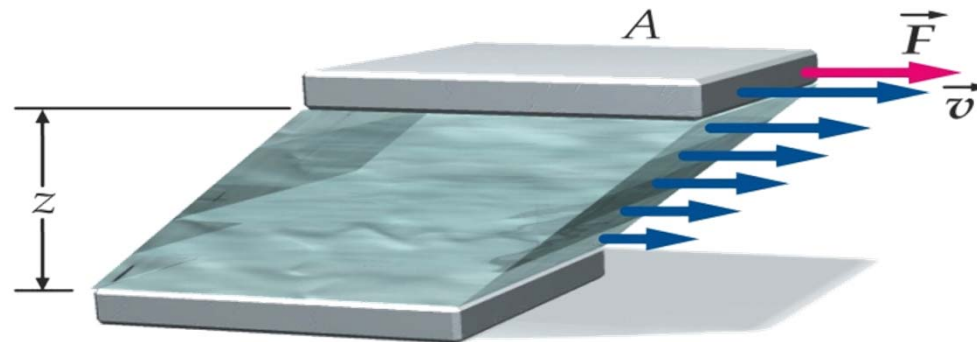
Spoljašnje, masene ili zapreminske sile su inercijalne, gravitacione, elektromagnetne, magnetohidrodinamičke itd. jer ravnomerno-podjednako deluju na sve fluidne deliće.

Viskoznost radnih fluida



Pri kretanju fluida, dolazi do međusobnog klizanja susjednih slojeva, pa se javlja proces sličan trenju. Zato se sile koje nastaju pri međusobnom klizanju slojeva fluida nazivaju silama unutrašnjeg trenja. Zbog postojanja unutrašnjeg trenja, fluid ispoljava otpor prema relativnom kretanju (smicanju) čestica fluida.

Viskoznost predstavlja veličinu unutrašnjeg trenja između slojeva tečnosti.



Radni fluid hidrauličnog sistema smatra se savršenim, odnosno **neviskozim**.

Viskoznost radnih fluida



Njutn je ustanovio zakonitost utvrdivši da je sila unutrašnjeg trenja fluida proporcionalna veličini dodirne površine A između dva susedna sloja u dodiru, da raste sa porastom gradijenta brzine $\Delta v/\Delta y$ i, konačno, da zavisi i od prirode same tečnosti.

$$F = \eta \cdot A \cdot \frac{\Delta v}{\Delta y}$$

η – **koeficijent dinamičke viskoznosti** (Pa s)

U praksi se vrlo često primenjuje tzv. **kinematički koeficijent viskoznosti**. Ovaj koeficijent izražava odnos dinamičkog koeficijenta viskoznosti i gustine tečnosti.

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \text{ (m}^2/\text{s)}$$

Viskoznost radnih fluida



Materijal	Viskoznost η (mPas)
Voda na 20°	1,00
Krv na 37°	4,00
Motorno ulje SAE 30 na 30°	110
Vazduh na 20°	0,018
Hidraulična ulja na 40°	10 - 50, ređe do 300

Rastvaranje gasova



Sve tečnosti imaju sposobnost absorbovanja i rastvanja izvesne (male) količine gasova, sa kojima su u kontaktu, a koji ne utiču na mehaničke osobine ponašanje tečnosti. Ali ako se pritisak u tečnost, bilo gde u sistemu, smanji, gasovi se iz tečnosti mogu izdvojiti - osloboditi u vidu sitnih mehurića i takva tečnost ima pogoršana mehanička svojstva. Relativna količina gasa, koji se može rastvoriti u tečnosti do njenog zasićenja zavisi od vrste tečnosti i gasa, a direktno je proporcionalna pritisku na površini razdvajanja.

Osim ovih sadržaja gasova, u tečnostima se mogu pojaviti i nalaziti veće količine gasa (najčešće vazduha) u nerastvorenom stanju. U uljnihidrauličkim sistemima obično se nalazi do 6% vazduha u nerastvorenom stanju, ali taj procenat u nepovoljnim eksploatacionim uslovima može biti do 15%. Taj vazduh prodire u tečnost sistema uglavnom zbog nepravivosti (grešaka) pri konstruisanju, projektovanju ili izvođenju (montaži) i nehermetičnosti instalacije sistema na mestima gde je pritisak u tečnost manji od atmosferskog pritiska (npr. usisni vod pumpe).

Rastvaranje gasova



Prisutnost gasa u tečnosti u rastvorenom, a pogotovo u nerastvorenom stanju može u eksploataciji prouzrokovati nastajanje pene. Pena se ustvari sastoji iz mehurića gasa raznih dimenzija i štetno utiče na skoro sve osobine tečnost: smanjuje radnu sposobnost tečnosti, izaziva oksidaciju, potpomaže koroziju, pogoršava maziva svojstva kod ulja, smanjuje vek trajanja itd.

Nastajanje i postojanost pene znatno zavisi od temperature tečnost. Pri temperaturi znad 70 °C uglavnom se pena raspada i nestaje. Zato, kada god je to tehnički moguće, treba radnu tečnost izabrati tako da ima radnu temperaturu veću od temperature raspadanja i nestajanja pene dotične tečnosti. Treba izbegavati silikonske tečnosti, koje su posebno sklone stvaranju postojane pene.

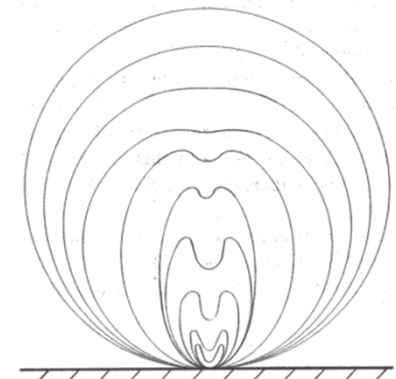
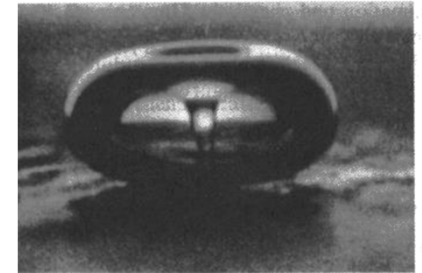
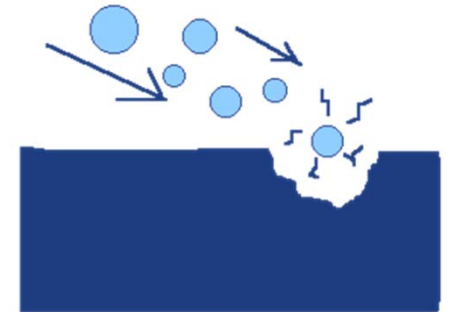
Kavitacija



Kavitacija je narušavanje kontinuiteta (neprekidnosti) strujanja fluida.

Pri snižavanju pritiska ili povišenju temperature, u tečnosti počinju da se pojavljuju pojedini mehurići i njene pare i da se izdvajaju gasovi, rastvoreni u tečnosti. Kada pritisak postane jednak pritisku zasićenih para razmatrane tečnosti pri datoj temperaturi, u tečnosti se obrazuju mehurići, čak mehurovi ispunjeni parama i gasovima, koji prekidaju neprekidnu struju tečnosti.

Mehurići ili mehurovi, krećući se u masi tečnosti i dospevši u oblast sa nižom temperaturom ili višim pritiskom, se trenutno skupljaju (pošto se para kondenzuje, a gasovi se ponovo rastvore u tečnosti). U šupljine koje tako nastanu ustremljuju se velikom brzinom čestice tečnosti, dovodi do pojave lokalnih hidrauličkih udara, naglog povećanja pritiska u ovim mestima, kao i do lokalnog povećanja temperature.



Kavitacija



Kavitacija je krajnje štetna pojava za cevovode i hidrauličke uređaje, pošto lokalni hidraulički udari prouzrokuju razaranje zidova cevi i protočni elementa uređaja.



Zahtevi koje treba da ispuni radni fluid



Radni fluid je izložen visokom pritisku, kretanju i povišenim temperaturama. Ti uticaji ne smeju bitno menjati svojstva radnog fluida. Zbog toga radni fluid treba da zadovolji mnogobrojne zahteve, kao što su:

- viskoznost treba ne sme da se menja s promenom temperature, jer se tako povećava curenje i smanjuje ukupan stepen iskorišćenja sistema
- antikorozivna svojstva i sposobnost podmazivanja, tj. treba da se stvori čvrst uljni film i na taj način spreči preveliko trenje pokretnih delova
- treba da bude nestišljiv
- ne sme da rastvara creva i zaptivke od gume i sintetičkih materijala
- ne sme da se meša sa vodom i vazduhom, jer pojava pene dovodi do gubitka snage i pojave kavitacije
- treba da bude termički i hemijski stabilan, nezapaljiv i otporan na starenje
- ne sme da bude štetan za zdravlje, da stvara otrovnu paru na radnoj temperaturi
- da bude čist tj. da ne sadrži čestice čvrstih materija.

Zahtevi koje treba da ispuni radni fluid



Dodatni zahtevi koji se postavljaju na radne fluide obuhvataju:

- sposobnost podmazivanja
- mala promena viskoznosti s temperaturom
- otpornost na visoka termička opterećenja
- mala sklonost oksidaciji
- netoksičnost i ekološka prihvatljivost
- nezapaljivost (visoka temperatura paljenja)
- visok električni otpor
- niska cena
- niski troškovi održavanja