

Onečišćenja hidrauličkog fluida

Vulelija, Josip

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies, Rijeka / Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:187:134098>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-24**



Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet
University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies

Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies - FMSRI Repository](#)



**SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET**

JOSIP VULELIJA

ONEČIŠĆENJA HIDRAULIČKOG FLUIDA

ZAVRŠNI RAD

Rijeka, 2023.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET**

**ONEČIŠĆENJA HIDRAULIČKOG FLUIDA
CONTAMINATION OF HYDRAULIC FLUID**

ZAVRŠNI RAD

Kolegij: Brodska hidraulika i pneumatika

Mentor: mr.sc. Rikard Miculinić

Student: Josip Vulelija

Studijski smjer: Brodostrojarstvo

JMBAG: 0112078432

Rijeka, lipanj 2023

Student/studentica: Josip Vulelija

Studijski program: Brodostrojarstvo

JMBAG: 0112078432

IZJAVA O SAMOSTALNOJ IZRADI ZAVRŠNOG RADA

Kojom izjavljujem da sam završni rad s naslovom
"One iš enja hidrauli kog fluida"

(naslov završnog rada)

izradio/la samostalno pod mentorstvom

Mr. Sc. Rikard Miculini

(prof. dr. sc. / izv. prof. dr. sc. / doc dr. sc Ime i Prezime)

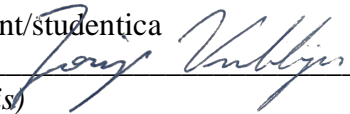
te komentorstvom _____

stručnjaka/stručnjakinje iz tvrtke _____

(naziv tvrtke).

U radu sam primijenio/la metodologiju izrade stručnog/znanstvenog rada i koristio/la literaturu koja je navedena na kraju završnog rada. Tuđe spoznaje, stavove, zaključke, teorije i zakonitosti koje sam izravno ili parafrazirajući naveo/la u završnom radu na uobičajen, standardan način citirao/la sam i povezao/la s fusnotama i korištenim bibliografskim jedinicama, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Rad je pisan u duhu hrvatskoga jezika.

Student/studentica


(potpis)

Ime i prezime studenta/studentice

Student/studentica: Josip Vulelija

Studijski program: Brodostrojarstvo

JMBAG: 0112078432

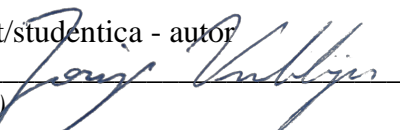
IZJAVA STUDENTA – AUTORA
O JAVNOJ OBJAVI OBRANJENOG ZAVRŠNOG RADA

Izjavljujem da kao student – autor završnog rada dozvoljavam Pomorskom fakultetu Sveučilišta u Rijeci da ga trajno javno objavi i besplatno učini dostupnim javnosti u cjelovitom tekstu u mrežnom digitalnom repozitoriju Pomorskog fakulteta.

U svrhu podržavanja otvorenog pristupa završnim radovima trajno objavljenim u javno dostupnom digitalnom repozitoriju Pomorskog fakulteta, ovom izjavom dajem neisključivo imovinsko pravo iskorištavanja bez sadržajnog, vremenskog i prostornog ograničenja mog završnog rada kao autorskog djela pod uvjetima *Creative Commons* licencije CC BY Imenovanje, prema opisu dostupnom na <http://creativecommons.org/licenses/>

Student/studentica - autor

(potpis)



SAŽETAK

U ovom radu govori se o negativnom utjecaju nečistoća na hidrauličke sustave i uređaje i kako ih spriječiti. Sam početak rada započinje općenito o fluidu, izvorima onečišćenja i kako nečistoće mogu dospjeti u sustav. Zatim slijede posljedice onečišćenja u dijelovima hidrauličkim sustavu. Nakon posljedica onečišćenja razmatramo uređaje i postupke koji se koriste se za kontrolu nečistoća. Prikazujemo načine na koji se mjeri onečišćenje i kako se koriste za određivanje najboljih mjera za kontrolu onečišćenja. Zašto određujemo ciljanu čistoću sustava i kako je održavamo. U završetku rada govori se o materijalima filtra i njegovoj konstrukciji.

Ključne riječi: nečistoća, čestice, hidraulički fluid, filtri, onečišćenje

SUMMARY

This paper discusses the negative impact of impurities on hydraulic systems and devices and how to prevent them. The very beginning of the work begins in general about the fluid, sources of contamination and how impurities can get into the system. Then there are the consequences of contamination in parts of the hydraulic system. After the effects of pollution, we consider the devices and procedures used to control impurities. We show how contamination is measured and how it is used to determine the best contamination control measures. Why we determine system cleanliness and how we maintain it. At the end of the paper, the materials of the filter and its construction are discussed.

Keywords: contaminant, particles, hydraulic fluid, filters, contamination

SADRŽAJ

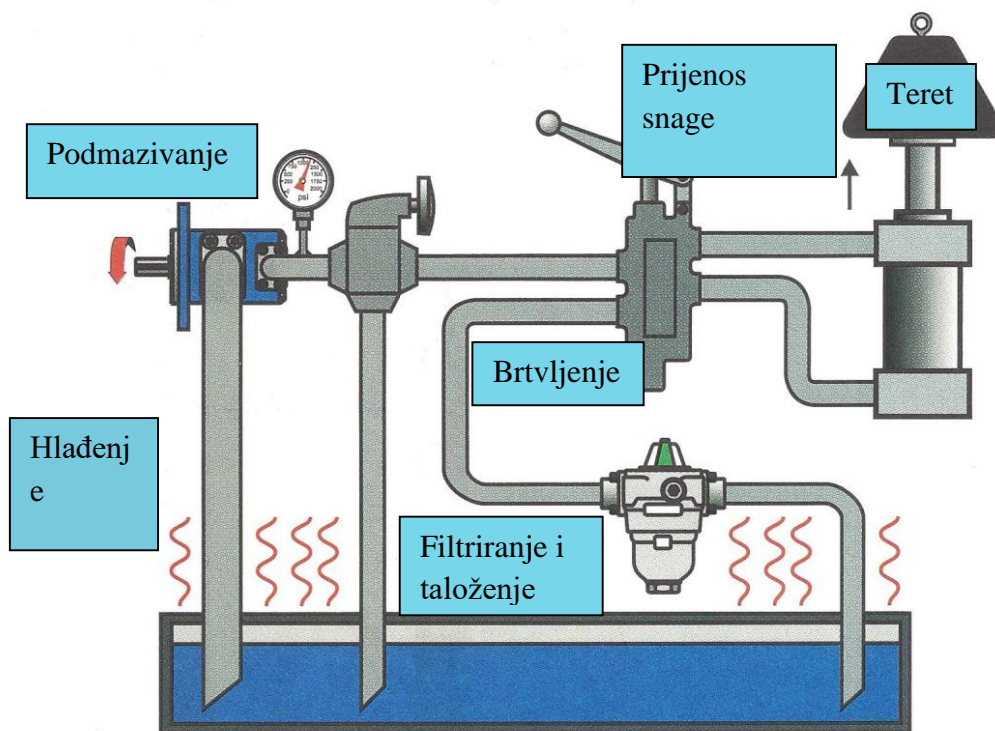
SAŽETAK	II
SUMMARY	II
SADRŽAJ	III
1. UVOD	1
2. KONTROLA ONEČIŠĆENJA	2
2.1. IZVORI ONEČIŠĆENJA.....	2
2.2.1. <i>Ugrađene nečistoće</i>	2
2.2.2. <i>Unesene nečistoće</i>	2
2.2.3. NEČISTOĆE KOJE STVARA HIDRAULIČKI SUSTAV.....	3
3. POSLJEDICE ONEČIŠĆENJA	6
3.1. POSLJEDICE NA FUNKCIJU HIDRAULIČKOG FLUIDA.....	6
3.2. MEHANIČKE TOLERANCIJE KOD HIDRAULIČKIH DJELOVA.....	6
3.3. NAČINI KVARA KOMPONENTI UZROKOVANI ONEČIŠĆENJEM.....	7
3.4. NAČINI KVARA KOMPONENTI UZROKOVANI NEČISTOĆAMA	7
4. MJERENJE ONEČIŠĆENJA	9
4.1. KONTROLA ČISTOĆE.....	9
4.2. METODE UZIMANJA UZORKA FLUIDA.....	9
4.3. METODE ANALIZE VELIČINE ČESTICA	11
4.4. AUTOMATSKI BROJAČ ČESTICA.....	11
ISO KOD ZA ČVRSTE ONEČIŠĆIVAČE	12
5. ČISTOĆA SUSTAVA	14
5.1. ODREĐIVANJE CILJANE ČISTOĆE SUSTAVA	14
5.2. POSTIZANJE CILJANE ČISTOĆE SUSTAVA.....	15
5.2.1. <i>Pozicija filtra</i>	15
5.2.2. <i>Čistoća cjevovoda i ostalih vodiča</i>	16
5.2.3. <i>Čistoća dijelova</i>	16
6. FILTRACIJSKI PROIZVODI	17
6.1. VRSTE FILTERA UNUTAR HIDRAULIČKOG SUSTAVA	17

6.1.1. <i>Filteri na usisnoj strani</i>	17
6.1.2. <i>Filter na tlačnoj strani</i>	17
6.1.3 <i>Filter na povratnom vodu</i>	18
6.1.4 Samostalnog sustavi filtriranja	19
6.2 OCJENE FILTRA	21
6.3. KAPACITET FILTRA	23
6.4. KAPACITET PROTOKA FILTRA	24
6.5. OCJENA TLAKA FILTRA	24
6.6. KOMPATIBILNOST FLUIDA	24
7. KONSTRUKCIJA FILTRA	25
7.1. FILTERSKI MATERIJALI.....	25
7.2 VRSTE FILTERSKIH ELEMENTA	25
7.3. ZAobilazni ventili filtra	28
7.4. INDIKATORI STANJA FILTRA	28
8. ZAKLJUČAK	29
LITERATURA	30
POPIS TABLICA	31
POPIS SLIKA	32

1. UVOD

Hidraulički fluid mora zadovoljavati razne zahtjeve kao što su:

- efikasan prijenos snage
- osigurati hlađenje sustava
- omogućiti podmazivanje kliznih i rotirajućih površina unutar uređaja
- omogućiti pravilno brtvljenje kako ne bi došlo do istjecanja fluida iz sustava te odvesti onečišćenja u sustavu sve do filtera ili do taložnog tanka gdje će se onečišćenja taložiti



Slika 1 Prikaz hidrauličkog uređaja i uloge koje obavlja hidraulički fluid

Hidraulički fluid uz navedene zahtjeve mora biti kompatibilan sa materijalima od kojih su izrađene brtve, ne smije se pjeniti, mora potisnuti zrak ili vodu iz hidrauličkog sustava i raditi pod različitim temperaturnim oscilacijama uz optimalnu viskoznost za normalan rad uređaja.

Kako bi omogućili da hidraulički fluid zadrži sve te svoje karakteristike moramo ga redovito održavati. Gubitkom karakteristika i neodržavanjem čistoće i kvalitete fluida stvaramo rizik od mogućeg trenutnog zatajenja cijelog sustava. Cilj ovog rada je prikazati i objasniti nastajanje onečišćenja te kako se može spriječiti i izmjeriti.

2. KONTROLA ONEČIŠĆENJA

Kontrola kontaminacije je relativno nova grana inženjerstva ali u praksi već dugo uspostavljena vještina. Iako se zna mnogo o prevenciji i kontroli kontaminacije, ustanovljeno je da preko 80% zatajenja hidrauličkih sustava nastaje zbog lošeg stanja hidrauličke tekućine.

Nečistoće su bilo koji materijal koji se nalazi u hidrauličkom fluidu koji ima negativne učinke na svojstva hidrauličkog fluida.

Nečistoće mogu biti plinovi, tekućine ili krute čestice. Nečistoća je svaka strana materija koja doprinosi oštećenju dijelova uređaja u smjeru u kojem struji hidraulički fluid

2.1. IZVORI ONEČIŠĆENJA

Izvori onečišćenja u hidrauličkom sustavu mogu se podijeliti na tri glavne kategorije:

- ugrađene nečistoće
- unešene nečistoće
- nečistoće koje stvara hidraulički sustav

2.2.1. Ugrađene nečistoće

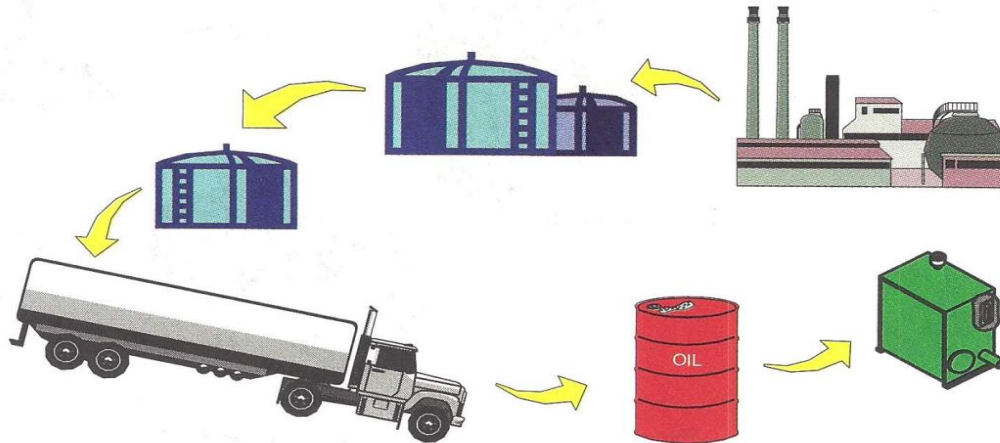
Proizvođači hidrauličkog sustava uglavnom pružaju čiste proizvode, bez unutarnjih zaprljanja. Međutim unatoč svom naporu proizvodi uvijek sadrže određenu količinu ugrađenih nečistoća. U ove nečistoće ubrajaju se: prskanje od zavora, neravnine, strugotine, prašina, vlaga, boja, otopina za ispiranje, pijesak, razna vlakna i brtvila za cijevi.

Većina ovih nečistoća nastaje tijekom sklapanja proizvoda. Dijelovi proizvoda tijekom sklapanja nakupljaju prljavštinu, oksidiraju te zbog složenosti proizvoda nije moguće ispuhati ili obrisati nečistoću.

2.2.2. Unesene nečistoće

Unesene nečistoće ili okolišne nečistoće, su nečistoće koje su dospjele unutar hidrauličkog sustava tijekom kontinuiranog rada hidrauličkog uređaja ili tijekom provedbe održavanja hidrauličkog uređaja.

Jedan uobičajni izvor unesene kontaminacije hidrauličkog sustava je kada se mijenja hidraulički fluid. Hidraulički fluid prolazi nekoliko manipulacija teretom od spremišta, prepumpavanja u tankere, barele, sve do dolaska i izmjene fluida u sustavu. Fluid se tijekom manipulacije napunio određenim nečistoćama kao što su: čestice metala, silikata I vlakna.



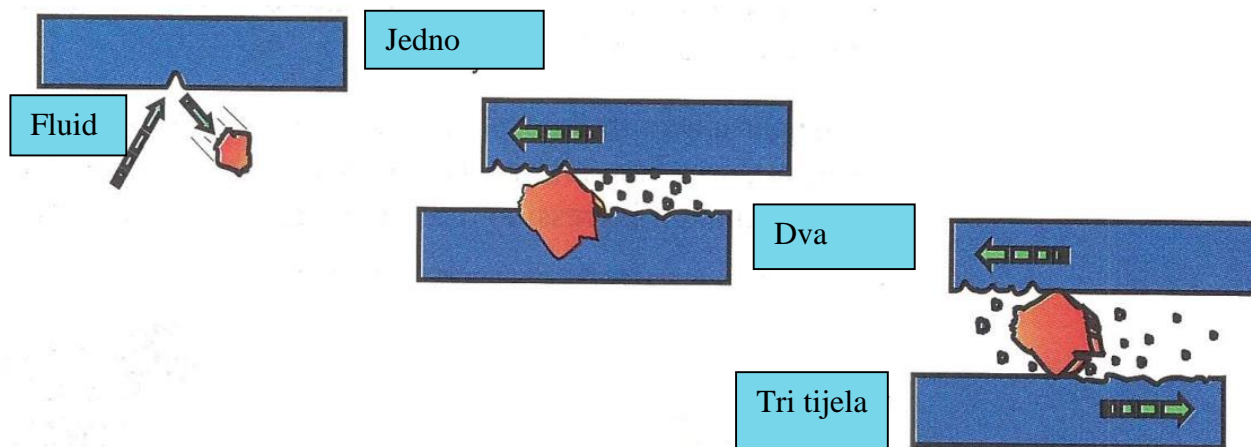
Slika 2. Prikaz kako novi fluid nakuplja nečistoće tijekom transporta

2.2.3. NEČISTOĆE KOJE STVARA HIDRAULIČKI SUSTAV

Unutarnje nastale nečistoće su nečistoće nastale unutar sustava prilikom pomicanja, rotiranja ili linearnog gibanja pomičnih dijelova hidrauličkog sustava. Svaki pomični dio možemo smatrati izvorom stvaranja unutarnjih nečistoća. Unutarnji mehanizmi istrošenja su: abrazija, erozija, adhezija, zamor, korozija, kavitacija i aeracija.

Abrazija je kada čvrste čestice se u hidrauličkom fluidu taru između pokretnih površina. Abrazija stvara oštećenja na površini te stvara dodatne krute čestice koje povećavaju abrazivno trošenje.

Abraziju dijelimo na tri kategorije. Abrazija jednog tijela je sudaranje krute čestice unutar fluida s površinom stijenke cijevi u kojem se kreće fluid. Abrazija dva tijela odnosi se na česticu koja je povezana s prvom površinom i tako struže po drugoj površini. Abrazija tri tijela je sudaranje krute abrazivne čestice s dvije površine istovremeno.

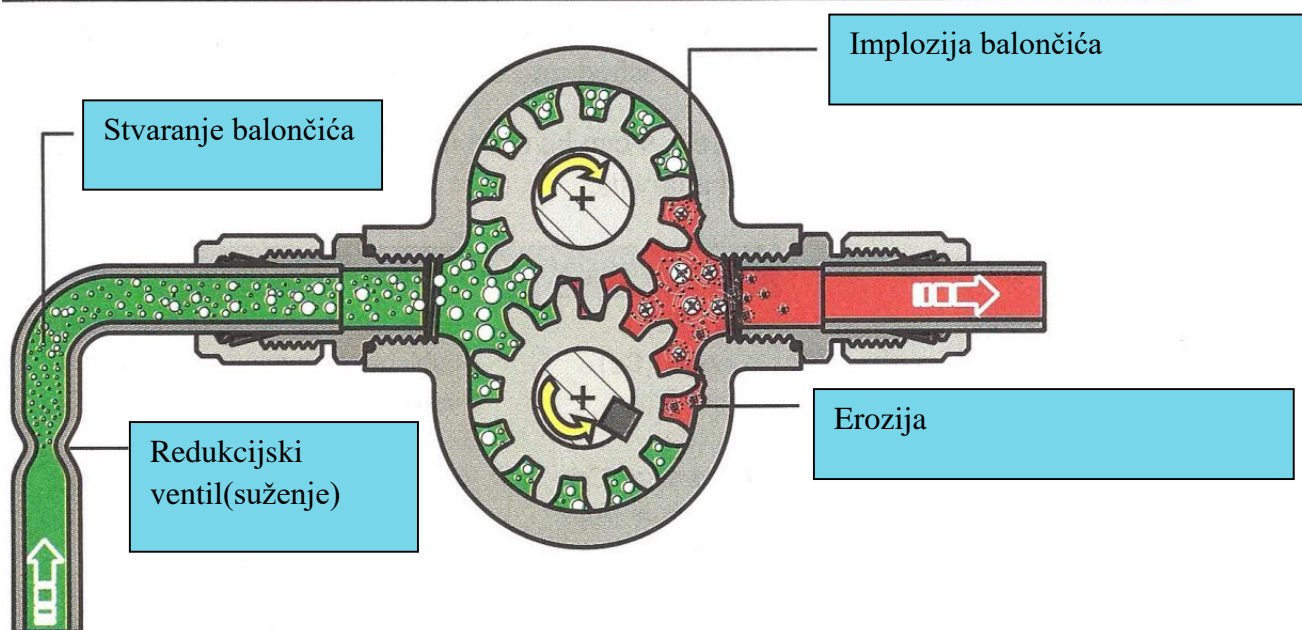


Slika 3 Prikaz tri kategorije abrazije

Erozija je sudaranje čestica sa površinom pri velikim brzinama.

Zamor nastupa kada dolazi do ponavljajućeg naprezanja na površini. Naprezanja nakon određenog ponavljanja stvaraju pukotine na površini, te se dio čestica odlomi i onečisti hidraulički fluid.

Kavitacija nastaje naglim padom tlaka unutar fluida. Pad tlaka stvara mikro balončice koji kada dolaze u područje visokog tlaka implodiraju i stvaraju šupljine na površini dijela pumpe koji se nalazi u području visokog tlaka.



Slika 4 Prikaz stvaranja kavitacije unutar hidrauličkog uređaja.

Korozija nastaje prisustvom druge tvari unutar hidrauličkog fluida kao što su voda ili kemikalije.

Aeracija je prisustvo zraka ili mjehurića plina u fluidu. Ekspanzija i kompresija zraka ili plina u fluidu uzrokuje jednaka oštećenja kao kod kavitacije. Aeracija uglavnom nastaje zbog lošeg dizajna spremnika, curenje i niske razine fluida.

3. POSLJEDICE ONEČIŠĆENJA

3.1. POSLJEDICE NA FUNKCIJU HIDRAULIČKOG FLUIDA

Glavne funkcije hidrauličkog fluida su prijenos snage, hlađenje, podmazivanje i brtvljenje.

Krute nečistoće mogu spriječiti prijenos snage tako da začepe ili priguše tlačne i kontrolne ventile za protok. Taloženje nečistoća unutar rashladnika smanjuje izmjenu topline, smanjenje protoka fluida te dolazi do porasta temperature unutar sustava.

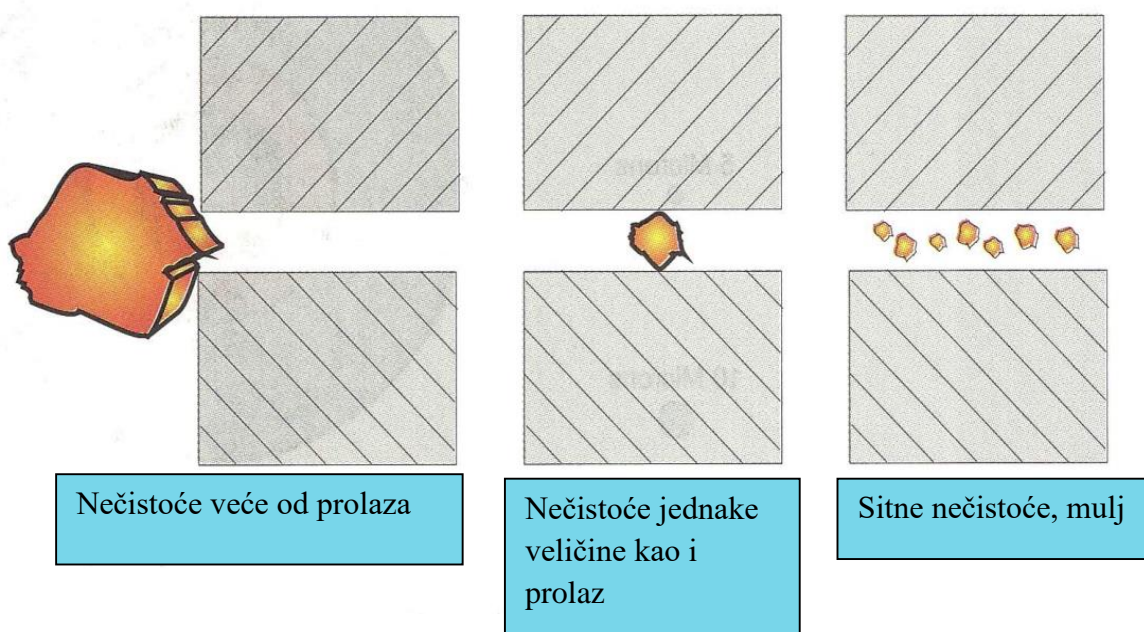
Funkcija podmazivanja se gubi prilikom znatnog onečišćenja fluida. Nečistoće manjeg promjera od zračnosti između dijelova se mogu nakupiti u tom prostoru i onemogućuju protok fluida i podmazivanje. Takvo nakupljanje nečistoća onemogućuje pravilno otvaranje i zatvaranje ventila, smanjuje učinkovitost pumpi i pospješuje njihovo zagrijavanje.

3.2. MEHANIČKE TOLERANCIJE KOD HIDRAULIČKIH DJELOVA

Zračnosti između hidrauličkih dijelova iznose do pet mikrometara za visokotlačne uređaje. Kod niskotlačnih hidrauličkih uređaja tolerancije su od deset do dvadeset mikro metara za zračnosti između unutarnjih dijelova.

Nečistoće većih promjera od zračnosti između pokretnih dijelova ne mogu ući u prostor između djelova ali se mogu nakupljati na ulazu u taj prostor te smanjiti protok fluida između tih dijelova.

Nečistoće jednakih promjera kao što je zračnost ulaze u međuprostor pokretnih dijelova, stružu po površini te uklanjaju sloj lubrikanta koji sprečava pojavu istrošenja i oštećenja kod pokretnih dijelova.



Slika 5 Prikaz različitih veličina čestica i njihov prolaz kroz međuprostor između pokretnih djelova

Nečistoće manje od zračnosti prolaze kroz međuprostor te ne stvaraju nikakva abrazivna oštećenja na površinama.

3.3. NAČINI KVARA KOMPONENTI UZROKOVANI ONEČIŠĆENJEM

Nečistoće dolaze u različitim oblicima i veličinama. Većina su abrazivna i stvaraju istrošenje i kvarove povezane s istrošenjem. Postoje tri vrste kvara prouzrokovanih onečišćenjem; katastrofalan kvar, isprekidan kvar i degradacijski kvar.

Katastrofalan kvar je nagli i kompletni prestanak rada cijelog sistema ili dijelova sistema. Ovakav kvar nastaje kad čestice nečistoće većeg promjera zapnu u glavnom dijelu stroja kao na primjer zapinjanjem usisnog ventila te nemogućnost njegovog zatvaranja.

Isprekidani kvarovi su kvarovi koji se pojavljuju i uglavnom se tijekom rada sami riješe. Najviše su prisutni kad se kod ventila nataloži mulj ili meke čestice pa prilikom pokretanja ventil radi neispravno sve dok se nečistoće radi oscilacije ventila ne odvoje te ventil ponovno počne raditi ispravno.

Degradacijski kvar je usko povezan sa trošenjem površina. Kod hidrauličkih fluida povezan je s trošenjem aditiva, kemijskih i fizikalnih promjena u sastavu hidrauličkog fluida. Degradacijski kvarovi su uzrokovani istrošenjem, korozijom, kavitacijom, aeracijom i erozijom. Dugotrajna rad uređaja pod takvim uvjetima uzrokuje katastrofalan i trajni kvar. Nečistoće koje uzrokuju degradaciju su uglavnom približno jednake veličini međuprostora između dijelova te svojim prolaskom uklanjaju uljni film i ubrzavaju istrošenje dijelova hidrauličkog sustava.

3.4. VRSTE KVARA KOMPONENTI UZROKOVANI NEČISTOĆAMA

Komponente sustava su zahvaćene na različite načine sa nečistoćama. Dizajn i funkcija koju koju obavlja komponenta ima također veliki utjecaj kako će nečistoće utjecati na njezin rad i zaprljanje. Tlak, protok, opterećenje i zračnost su neki od parametra koje analiziramo kako bi saznali kako i zašto je došlo do kvarova nastalih zbog nečistoća

Hidraulički motori i pumpe imaju komponente koje se pomiču relativno jedna na prema drugoj ali su odvojene fluidom koji ispunjuje međuprostor između njih. Komponente su obično opterećene međusobno sa tlačnim silama koje nastoje izbaciti fluid iz međuprostora. Ako se u hidrauličkom fluidu nalazi puno nečistoća dolazi do brze degradacije i mogućeg kvara. U niskotlačnim sustavima pumpe su dizajnirane sa većim razmakom između komponenti te nečistoće neće uzrokovati znatnija oštećenja. Kod visokotlačnih sustava tlak fluida je visok i ako sadržava veću količinu nečistoća, a razmak između komponenti je nizak postoji veliki rizik od znatnijih oštećenja te mogućeg prestanka rada.

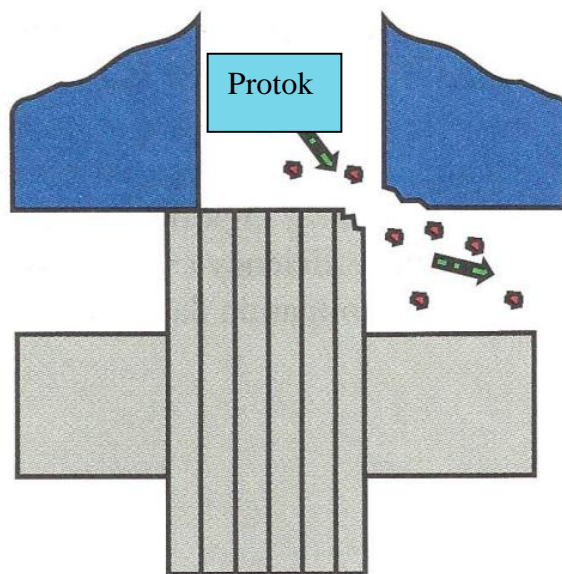
Viskoznost također utječe na razmak između komponenti. Debljina sloja fluida koji nastaje na površini trebao bi izdržati hidrodinamička opterećenja ali viskoznost fluida nebi smjela biti pre velika kako ne bi došlo do pojave kavitacije. Kontrola odgovarajuće temperature je isto važno kako bi produžili radni vijek komponenti i fluida.

Pod normalnim operativnim uvjetima, zračnost unutar pumpe ili motora je samopodešiva. Kako se tlak povećava tako zračnosti postaje manja. Tijekom nepovoljnog rada pumpi pri visokim naporima, manja zračnost postavlja komponente u ekscentričan položaj te manje čestice nečistoća predstavljaju rizik od oštećenja.

Pumpa bi trebala biti zamijenjena ako ne može predati zahtijevani protok pri naznačenom brzini vrtnje osovine, izlaznim tlakom i temperaturom tekućine. Pravilo je ako dođe do deset postotnog gubitka protoka na pumpi bi trebalo obaviti održavanje. Često istrošenje se ne primijeti na vrijeme sve dok ne dođe do katastrofalnog kvara kod kojega se veća količina nakupljenih nečistoća izljeva u sustav. Nakon takvog kvara sustav se treba temeljito očistiti i isprati kako ne bi zaostalim nečistoćama skratili radni vijek novo postavljenim pumpama i ostalim dijelovima.

U slučaju da pumpe ili motori imaju odvod iz kućišta pomoću njega može se odrediti stanje dijelova tako da se mjeri protok fluida. Povećan protok uglavnom znači da su se od nekog dijela počele odvajati nečistoće koje mogu, ako se ne primijete na vrijeme uzrokovati katastrofalne kvarove.

Erozija unutarnjih površina ventila sa visoko abrazivnim česticama koje se kreću velikim brzinama unutar fluida je prisutna u sustavu za kontrolu tlaka. Najviše su pogođeni prekotlačni ventili kroz kojih prolazi fluid brzinom do 27 m/s.



Slika 6 Prikaz erozije materijala uzrokovane visokom ulaznom brzinom nečistoća.

4. MJERENJE ONEČIŠĆENJA

Svaki put kad se provodi analiza kontaminacija česticama u hidrauličkim sistemu, točnost rezultata ovisi o nekoliko faktora kao što su; čistoća opreme kojom se uzimaju uzorci fluida, čistoća okoline kojoj je uzorak izložen, metoda uzimanja uzorka, metoda brojanja čestica u uzorku, točnost opreme odabrane za analizu, vještina u uporabi opreme za analizu, točnost u interpretaciji rezultata analize i procijeni kontaminacije u uzorku fluida. Analiza kontaminacije je jedan od najvažnijih načina na koji posada može doprinijeti učinkovitosti i pouzdanosti postrojenja.

4.1. KONTROLA ČISTOĆE

Prije uzimanja uzorka fluida za analizu, određene mjere se moraju poduzeti kako ne bi došlo do vanjske kontaminacije uzorka. Kontrola čistoće more biti uspostavljena za; opremu za uzimanje uzorka, spremnik uzorka, izložene površine unutar analizatora. Svi fluidi za ispiranje, razrjeđivanje ili otapanje moraju biti kontrolirani i čisti kako nebi utjecali na stvarno stanje fluida.

4.2. METODE UZIMANJA UZORKA FLUIDA

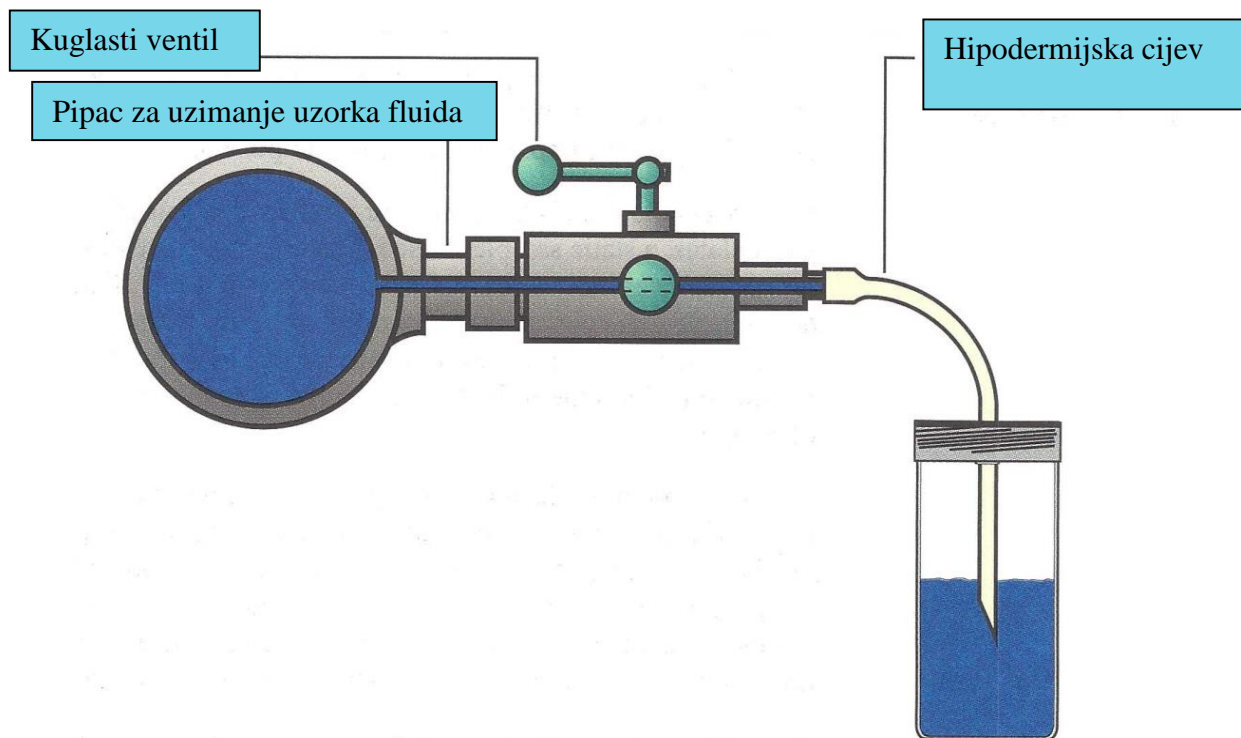
Statički uzorci uzimaju se kad je potrebna kemijska ili fizikalna analiza taloga iz hidrauličkih fluida. Uzimaju se iz fluida tijekom mirovanja iz sredine spremnika.

Dinamički uzorci uzimaju se iz fluida u pokretu kad je cilj odrediti razinu onečišćenja u sustavu pri normalnom radu. Lokacija u sustavu i period vremena u kojem je uzorak uzet je važan kako bi se uzeo što pogodniji uzorak. Najpovoljnije mjesto za uzimanje uzorka je na povratnoj liniji prije filtra.

Uzimanje uzorka iz laminarnog toka sonda se umeće u dio sustava gdje je protok fluida jednolik. Ova metoda može biti precizna, ali je teško uzeti dobar uzorak zato što se veće čestice nečistoća kreću uz stijenku cijevi gdje je fluid najsporiji,

Uzimanje uzorka iz turbulentnog toka je povoljnije za dobivanje preciznijih rezultata zato što kod takvog protoka čestice različitih veličina se miješaju pa je u području uzimanja uzorka uvijek podjednak raspored čestica.

Linijsko uzimanje uzorka je prihvaćen postupak za uzimanje dinamičkih uzoraka. Fluid se izvlači iz prostora za miješanje kroz otvoreni kuglati ventil i hipodermijsku cijev. Na taj se način smanjuje slučajno unošenje nečistoća koje stvara uređaj za uzimanje uzorka.



Slika 7 Prikaz linijskog uzimanja uzorka.

4.3. METODE ANALIZE VELIČINE ČESTICA

Raspodjela veličina čestica u fluidu se može analizirati na više metoda. Svaka metoda koristi određena svojstva nečistoća kako bi se odredila veličina čestice i razlika u veličini između ostalih čestica. U određenim metodama dimenzija čestica se mjeri direktno dok u pojedinim se veličina određuje pomoću fizikalnih svojstva nečistoća.

Neke industrije koriste optičke metode, te mjere čistoću fluida tako da provlače fluid kroz sub mikronski filter i gledaju zaostale nečistoće na vlaknima filtra pomoću mikroskopa. Utrenirani tehničar koristeći mikroskop broji udio čestica na određenom području te tako određuje razinu kontaminacije fluida. Takav postupak je mučan i može biti nepouzdan jer ovisi o iskustvu i vještinama tehničara koji obavlja analizu.

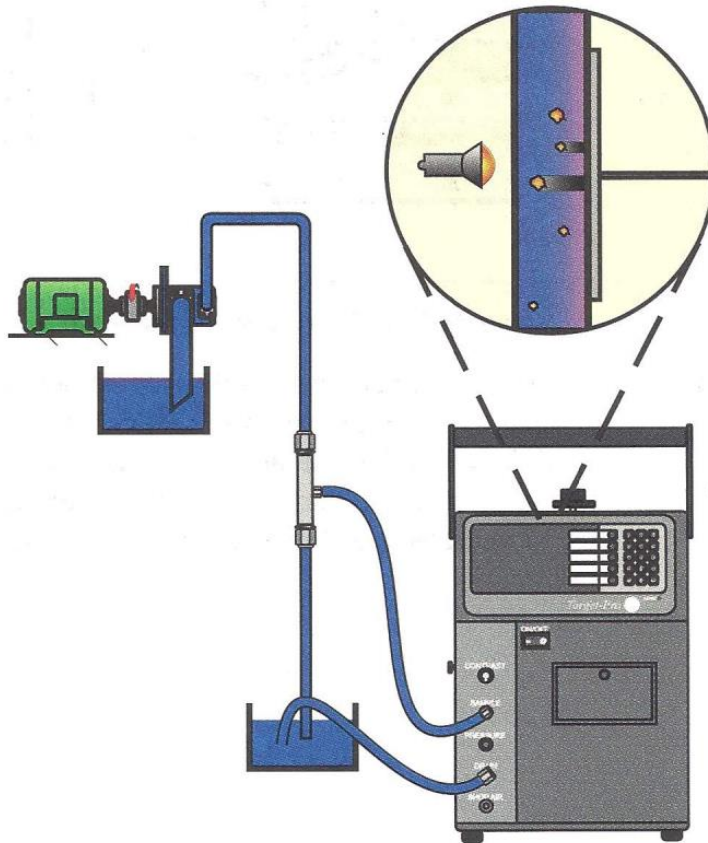
Moderni automatski brojači čestica mogu brzo i precizno analizirati uzorke. Računalo za analizu slike koristi televizijske, kompjutersku i mikroskopsku opremu za brojanje i određivanje veličine čestice. Optičke metode koje se koriste su; svjetlosna ekstinkcija, raspršavanje svjetlosti, difrakcija, laserske i holografske tehnike.

4.4. AUTOMATSKI BROJAČ ČESTICA

Postoje tri osnovne tehnologije senzora koje se u upotrebi; promjena toka, bijela svijetlost i laser.

U instrumentu za promjenu toka se nalaze fine pregrade koje prikupljaju čestice kad fluid struji kroz instrument. Pad tlaka se mjeri na pregradama, te se pomoću pada tlaka i preprogramiranog razdjelnika određuje broj čestica nečistoća u fluidu. Ovaj uređaj pokazuje dali fluid kroz vrijeme postaje sve zaprljaniji ili čišći. Mana ovog uređaja je što ne mjeri točno stanje fluida nego ga pretpostavlja. Prednost je što što zračni balončići ne utječu na ovaj mjerni instrument.

Brojač čestica koji koristi bijelu svijetlost mjeri broj čestica tako da one prolaze između izvora svjetlosti i foto senzora. Čestice stvaraju sjenu na koju foto senzor reagira, te ovisno o veličini čestice električni povratni signal mijena intenzitet. Razvoj ovakvog brojača čestica omogućilo je mjerenje čestica do veličine od pet mikrona.



Slika 8 Automatski brojač čestica sa senzorom koji koristi bijelu svjetlost

Brojač koji koristi laser funkcionira na sličan način kao i brojač sa bijelom svjetlosti. Razlika je što laser kao optički izvor može mjeriti preciznije čestice sve do veličine od 2 mikrona. Brojači sa laserom su vrlo stabilni i potrebna je ponovno kalibriranje jednom godišnje.

ISO KOD ZA ČVRSTA ONEČIĆENJA

ISO kod za čvrste onečišćivače je izrađen kako bi se razina onečišćenja bilo kojeg fluida mogla jednostavno, nepogrešivo, značajno i dosljedno označiti, te koristiti u svjetskoj komunikaciji između dobavljača i korisnika. predstavljaju profil čistoće fluida.

Kod se izrađuje rezultatom analize prebrojavanjem čestica. Podaci koji se koriste zasu broj čestica većih od 4, 6 i 14 mikrona po mililitru fluida. dobivene vrijednosti se označe na grafu i povezuju ravnim linijama koje predstavljaju profil čistoće fluida. Broj raspona je naznačen na grafu, a rezultatni raspon od brojeva predstavlja stupanj čistoće fluida. Te tri vrijednosti se koriste zato što daju vrlo dobru procjenu malih čestica koje uzrokuju kvarove kod kritičnih dosijeda i većih čestica koje uzrokuju kvarove povezane sa istrošenjem.

Tablica 1: primjer određivanje broja raspona

Veličina čestica "X" u mikronima	Broj čestica većih od "X" po mililitru fluida	Broj raspona
6	89	14
10	43	X
14	22	12

Kod čistoće fluida za ovu tablicu iznosi 20/14/12

Postoje dva ISO koda za čvrste onečišćivače; ISO 4406 1987 i danas standardni ISO 4406 1999. ISO 4406 1999 koristi broj čestica većih od 4,6 i 16 mikrometara, a ISO 4406 1987 koristi broj čestica većih od 2, 5 i 15 mikrometara.

5. ČISTOĆA SUSTAVA

Čistoća hidrauličkog sustava se dobiva u procesu od tri koraka; određivanje ciljane čistoće sustava, ostvarivanje ciljane razine čistoće, potvrda i kontrola ostvarene čistoće sustava

5.1. ODREĐIVANJE CILJANE ČISTOĆE SUSTAVA

Svi hidraulički sistemi bi trebali imati posebno naznačene čistoće sustava. Željena razina čistoće se može odrediti i održavati tako što u obzir uzimamo uvijete sustava kao što su okruženje, tlak, dijelove sustava, radne cikluse i filteri sustava.

Company Name _____	Date _____
Type of Machine (System) _____	
Setting a Target Cleanliness Level	
Step One	
Maximum Operating Pressure _____	Pump Flow _____
Total System Volume (including lines & actuators) _____	
Most Sensitive Component _____	
Pump Type _____	Target Cleanliness ____/____/____
Control Type _____	Target Cleanliness ____/____/____
Actuator Type _____	Target Cleanliness ____/____/____
Step Two	
Fluid Type and Brand _____	
Fluid Adjustment? _____	Yes _____ No _____
Step Three	
Operating Temperature _____	
High Vibration or Shock? _____	Yes _____ No _____
Is Machine Critical to Process? _____	Yes _____ No _____
Could a Hydraulic Failure Cause a Safety Hazard? _____	Yes _____ No _____
System Stress Adjustment?	
Final Systemic Contamination Control Target Cleanliness ____/____/____	
Recommended Filter Placement and Rating	
_____	3 micron
_____	5 micron
_____	10 micron
_____	Pressure Line
_____	Return Line
_____	Off Line

Slika 9 Radni list za određivanje ciljane čistoće sustava

Korištenjem preporučenih tablica kodova za čistoću određuje se preporučana razina čistoće za najosjetljivije dijelove u hidrauličkom sustavu. Svi dijelovi koji sisaju fluid iz zajedničkog rezervoara trebali bi se smatrati dijelovima istog sustava iako ne rade zajedno ili dosljedno. Ocjena tlaka je maksimalni tlak ostvaren u sustavu tijekom obavljanja kompletnog radnog ciklusa. Za sustave gdje fluid nije sto postotni derivat nafte, postavlja se broj raspona za jedan manje. Potrebno je smanjiti broj raspona za jedan i ako sustav zadovoljava dva od tri

uvjeta; hladno pokretanje pri temperaturi manjoj od -18°C , isprekidani rad pri temperaturi fluida preko 70°C , rad pri visokoj razini vibracije ili velikim šokovima za sustav. Pumpa je najbitniji dio hidrauličkog sustava, ali probleme mogu uzrokovati i elektromagnetni ventili koji su konstantno pod tlakom radi prisutnog taloga.

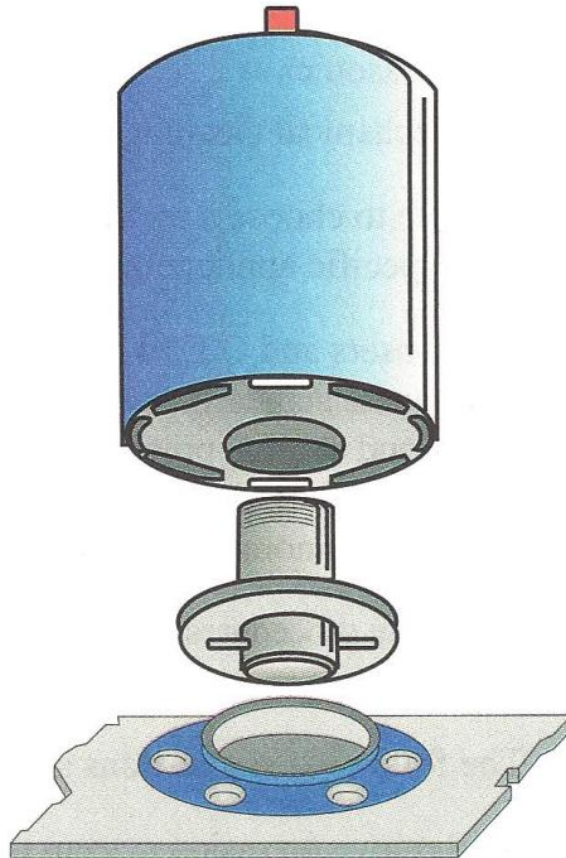
5.2 POSTIZANJE CILJANE ČISTOĆE SUSTAVA

5.2.1. Pozicija filtra

U hidrauličkom sistemu postoje tri područja za postavljanje uređaja za kontrolu onečišćenja; tlačna linije (izlazna strana pumpe), povratna linija i sustav za filtraciju ili punjenje.

Filtri koji se često koriste u ulaznom vodu između spremnika i pumpe se sastoje od 100 mrežastih pregrada koje zaustavljaju čestice veličine od oko 150 mikrometara. Filtar na tlačnoj strani služi za zaštitu sustava od nečistoća koje dolaze od pumpe, ali ne može zaštititi pumpu od nečistoća koje se nalaze u ostatku sustava što može dovesti do istrošenja unutar pumpe i skraćenje radnog vijeka. Filter na povratnoj liniji može se pokazati korisnim ako kroz njega prođe 20 posto od ukupnog sistemskog volumena fluida svake minute. Određivanje veličine filtra se postiže tako što se prema najvećem protoku dimenzionira filter kako ne bi došlo do pucanja filtra ili propuštanja velike količine nečistoća u spremnik ulja.

Zrak koji ulazi i izlazi iz spremnika se također mora filtrirati. Zagrijavanjem i hlađenjem fluida u spremniku dolazi do podizanja i spuštanja nivoa fluida, a zrak nadomješćuje ostatak volumena u spremniku. Spremnik bi trebao biti čvrsto zatvoren, a zrak bi trebao ulaziti kroz fini filter od 3 mikrona.



Slika 10 zračni filter za spremnik

5.2.2. Čistoća cjevovoda

Željezni i čelični cjevovodi, cijevi i metalni priključci moraju biti potpuno čisti prije nego što su montirani. Prije četkanja unutarnje strane cjevovoda treba odmastiti površine, te ih kasnije isprati. Cijevi ne smiju biti varene ili lemljene jer to onemogućava pravilno i potpuno čišćenje.

Prirubni prsteni moraju biti ravnopravno montirani na montažno lice i pravilno osigurani sa vijcima odgovarajuće veličine. Tijekom montaže svi otvori bi se trebali pokriti kako bi se spriječilo unos nečistoća iz okoline.

5.2.3. Čistoća dijelova

Prije instalacije, svi dijelovi bi trebali biti očišćeni na jedan ili više načina; vodom i sapunom, kiselinom, lužinom, otapalima, ultrazvukom ili mehaničkim čišćenjem.

Korisnici i proizvođači većih hidrauličkih dijelova i strojeva traže od dobavljača određenu razinu čistoće. Pravilnim skladištenjem osigurava se da prilikom ugradnje u sustav dijelovi zadovolje minimalnu razinu čistoće.

6. FILTRACIJSKI PROIZVODI

6.1. VRSTE FILTERA UNUTAR HIDRAULIČKOG SUSTAVA

6.1.1. Filteri na usisnoj strani

Filtri na usisnoj strani su grublje izvedbe. Izrađeni su od fine mrežaste žice, sastoje se od oko 100 slojeva, te štiti pumpu od većih nečistoća promjera od oko 150 mikrona.

Dva glavna zahtjeva koje mora ispunjavati filter na usisnoj strani; sposobnost propuštanja najvećeg volumena fluida kojeg pumpa može zahtijevati unutar dopuštenog maksimalnog pada tlaka na usisu pumpe, mora imati zaobilazni protok koji je u granici protoka sa filtrom kako bi u slučaju začepljenja filtra sustav mogao dalje ne smetano raditi.

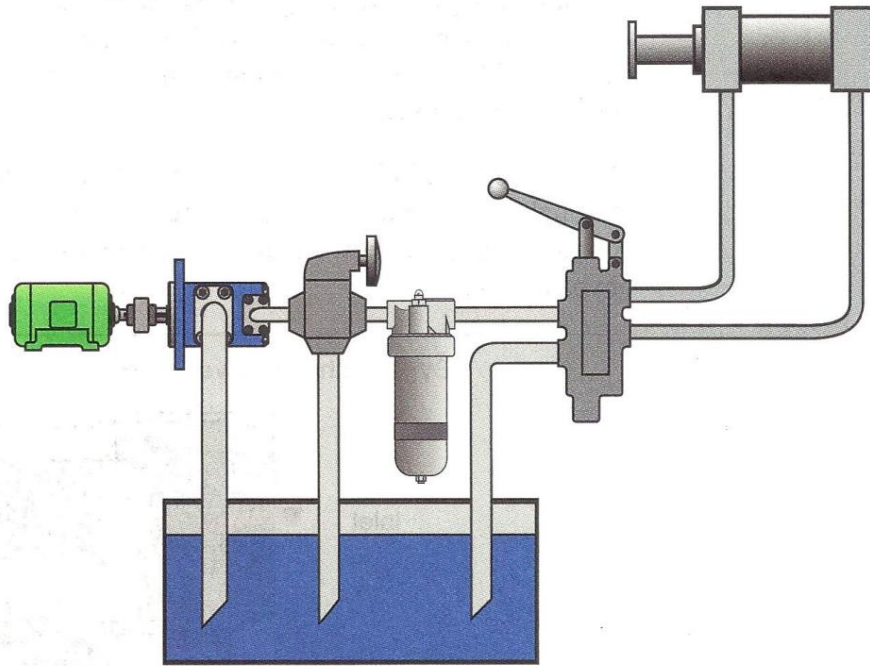


Slika 11 filter na usisnoj strani sa 100 slojeva

6.1.2. Filter na tlačnoj strani

Filtri na tlačnoj strani su napravljeni tako da mogu zaustaviti čestice nečistoća puno manjeg promjera nego što može filter na usisnoj strani. Ovi filtri se koriste u dijelovima sustava gdje je osjetljivost na nečistoće puno veća. Filtri na tlačnoj strani zaustavljaju fine nečistoće koje se nalaze u fluidu nakon izlaska iz pumpe.

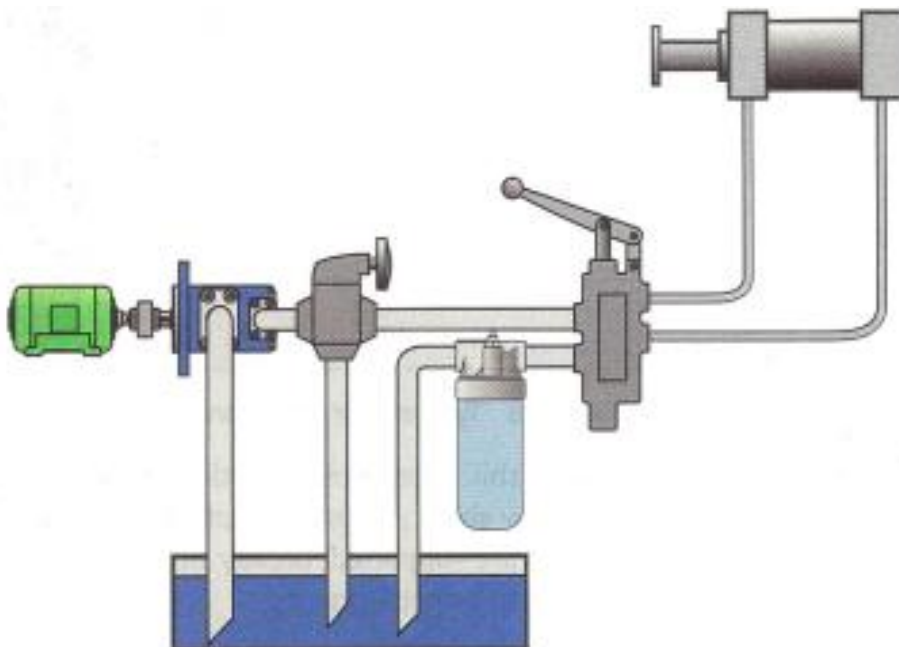
Filtri na tlačnoj strani moraju biti dizajnirani tako da izdrže radne tlakove sustava i pulsacije pumpe. Promjena u dijelovima tlačnog filtra tijekom rada zahtijeva gašenje hidrauličkog sustava osim ako u sustavu imamo zaobilazni ventil ili duplex filter.



Slika 12 Filter na tlačnoj strani

6.1.3 Filter na povratnom vodu

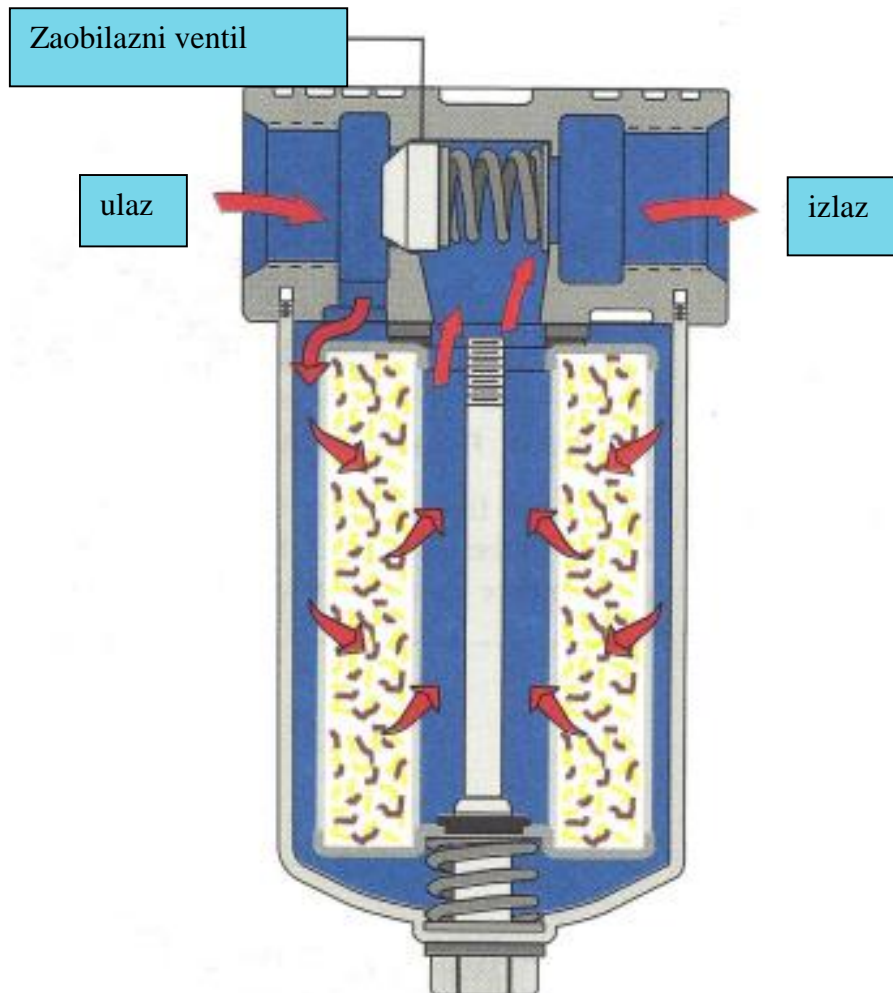
Filter na povratnom vodu se nalazi prije povrata u spremnike. Sprečava ulazak malih čestica nečistoća u spremnik fluida. U sustavima sa visokim zahtjevima povratni filter je gotovo pa obvezan uređaj.



Slika 13 Filter na povratnom cjevovodu

Potpuno protočni filter na povratnom vodu bi trebao imati dovoljan kapacitet da izdrži maksimalni povratni protok fluida sa minimalnim padom tlaka. Kod punog protoka

postavlja se zaobilazni ventil kako bi se u slučaju prekomjernog porasta tlaka na filteru spriječilo uništenje filtra.

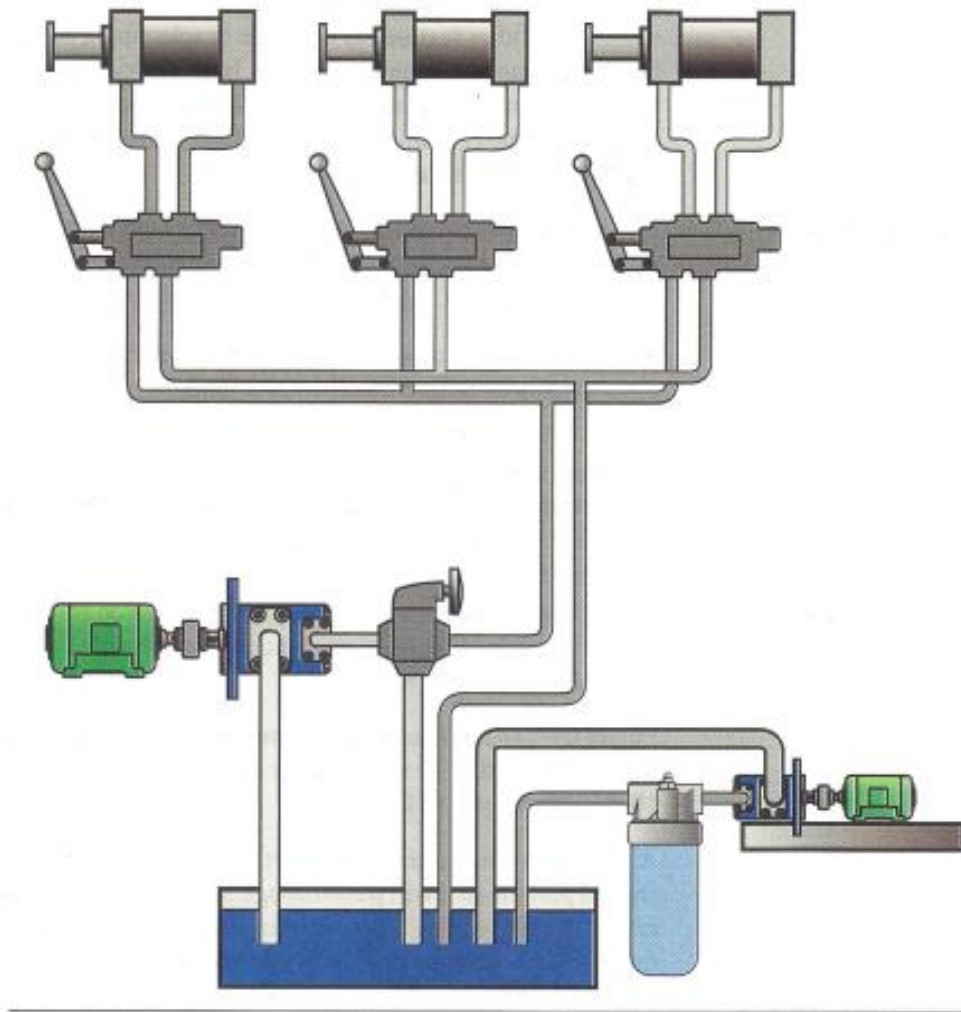


Slika 14 Tipičan rad filtra

6.1.4 Samostalni sustavi filtriranja

Najjednostavniji način postizanja samostalnog sustava filtriranja je postaviti filter u nezavisno pogonjen recirkulirajući sustav gdje na filter utječe znatno manje varijabla. Odvojeni sustavi filtriranja u kojem se fluid cirkulira pod konstantnom dobavom se koriste u hidrauličkim sustavima gdje su uvjeti rigorozni pa je kvalitetnu filtraciju teško postići filtriranjem direktno od glavnog sustava.

Sa samostalnom filtracijom, brzina protoka filtriranja i vrsta filtra ne utječe na dizajn glavnog sustava. Samostalni sustavi filtriranja se mogu pokrenuti prije upućivanja glavnog sustava kako bi se što više nečistoća uklonilo iz spremnika fluida. Takav postupak smanjuje razinu kontaminacije kojom je pumpa podvrgnuta tijekom pokretanja sustava.



Slika 15 Samostalni sustav filtriranja

6.2 PROCJENE FILTERA

Filteri su se nekad opisivali sa nominalnim i apsolutnom ocjenom u mikronima. Filter nominalne ocjene od 10 mikrona bi mogao zaustaviti barem jednu česticu od 10 mikrona ili veću.

Apsolutna ocjena je navodni dijametar najvećeg tvrdog sferičnog oblika čestice koji može proći kroz filter pod kontroliranim testnim uvjetu. Apsolutna ocjena je zapravo najveća pora ili otvor unutar filtra.

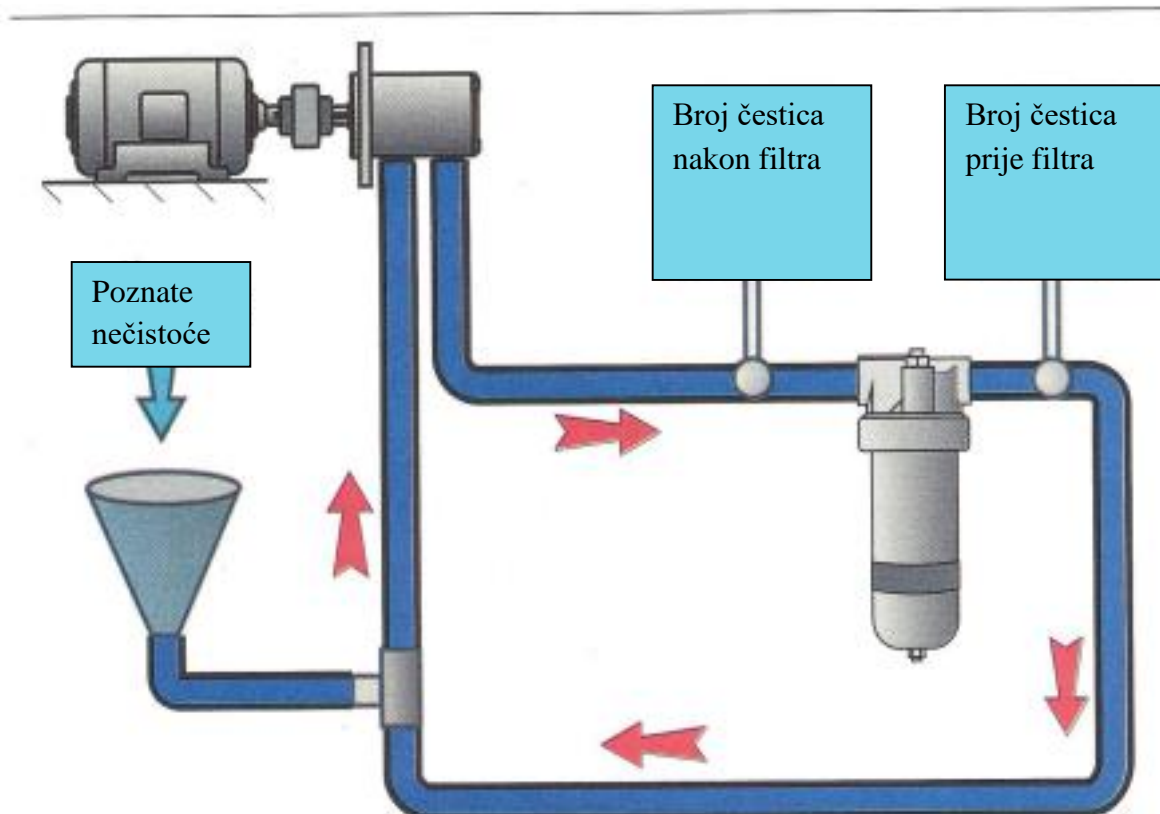
Ocijene filtra po veličini mikrona ne prikazuju realnu mogućnost filtra da pročišćuje fluid. Internacionalni standard za ocjenu efikasnosti filtera je beta test.

Beta ocjena je određena pod labaratorijskim uvjetima i rezultati testiranja su prikazani kao omjeri; omjer čestica većih od određene veličine prije prolaska kroz filter i broja čestica te iste veličine nakon prolaska kroz filter.

$$Beta_x = \frac{\text{Broj čestica prije filtera} > x}{\text{Broj čestica nakon filtera} > x}$$

Gdje je:

x-veličina čestica



Slika 16 Multipass filter performance beta test

Ako je omjer 1 to znači da filter nije uspio zaustaviti nijednu česticu. Beta omjer 100 znači da za svakih 100 čestica poslije filtra 99 ih se zaustavi u filtru dok samo jedna prolazi. Za efikasnost od 99%.

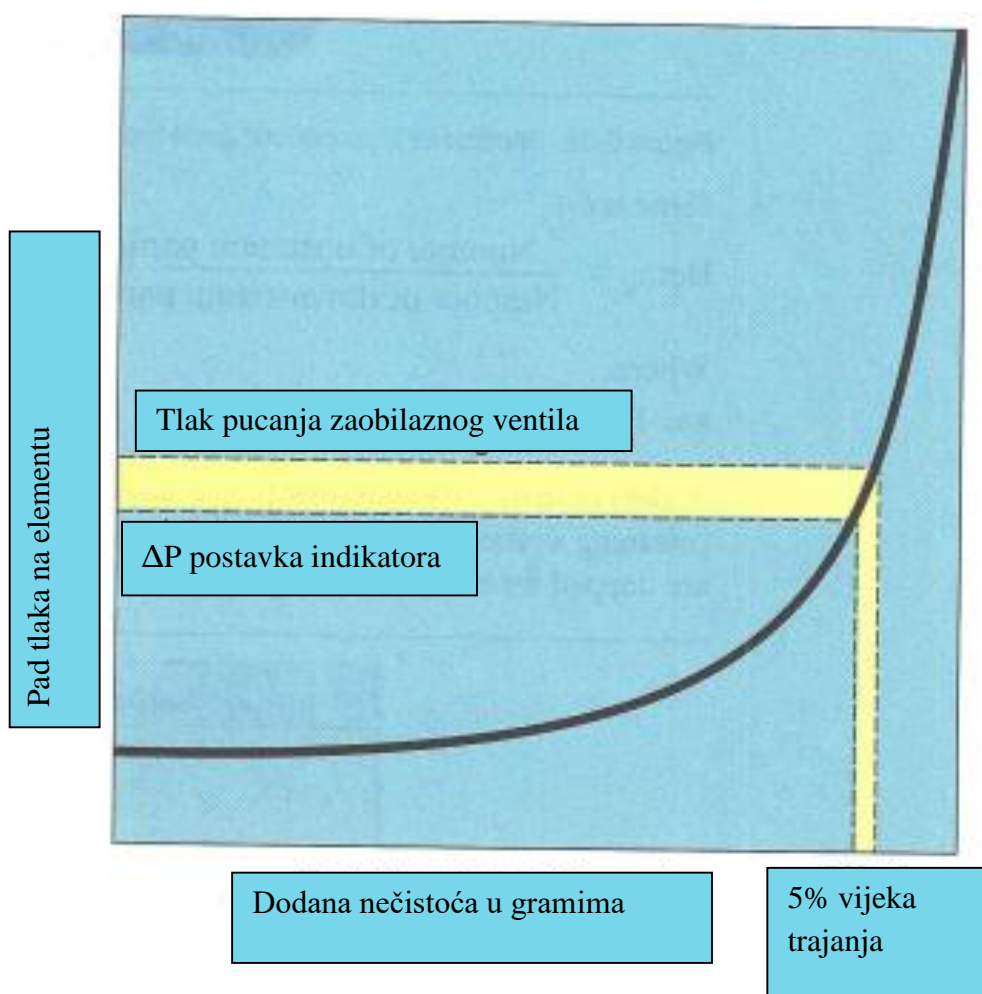
Tablica 2. Beta omjeri i odgovarajuće efikasnosti

BETA OMJER	EFIKASNOST
1	0%
2	50%
5	80%
10	90%
100	99%
1000	99.90%
5000	99.98%

6.3. KAPACITET FILTRA

Količina nečistoća koju zadržava određeni filter se naziva kapacitet nečistoća ili zadržavajući kapacitet. Vrijednost kapaciteta se određuje pod labaratorijskim uvjetima i definira se kao masa određene umjetne nečistoće u gramima dodane na izlaz od filtra kako bi se proizvela razlika tlaka kroz filter pod kontroliranim uvjetima.

Umjetna nečistoća se dodaje pod konstantnom brzinom fluidu koji neprekidno kruži u hidrauličkim sistemu i rezultat je povećanje diferencijalnog tlaka koji se bilježi u grafu nasuprot masi nečistoća koje se dodaju.



Tablica 3 Krivulja zadržavajućeg kapaciteta nečistoća filtra

Zadržavajući kapacitet nečistoća se ponekad koristi kao indikator radnog vijeka filtra. Takvo određivanje radnog vijeka je jedino pouzdano ako su ostali uvjeti konstantni i u

granicama normalnog rada hidrauličkog sustava. Filtri moraju imati dovoljan zadržavajući kapacitet kako bi omogućili prihvatljive intervale održavanja i njihove zamjene.

6.4. KAPACITET PROTOKA FILTRA

Proizvođači filtra često korisnicima naznačuju protok filtra u galonima u minuti ili litrama u minuti pod specifičnim čistim padu tlaka. Filtri koji su dimenzionirani samo po kapacitetu protoka imaju znatno kraći životni vijek.

6.5. OCJENA TLAKA FILTRA

Specifikacije filtra moraju sadržavati maksimalni dozvoljeni tlak sustava koji filter može izdržati. Filtri na tlačnoj strani moraju izdržati puni tlak sistema i moraju imati naznačenu ocjenu tlaka pod statičkim i dinamičkim uvjetima.

6.6. KOMPATIBILNOST FLUIDA

Filter mora imati naznačene fluide s kojima može prikladno raditi. Kompatibilnost fluida je jedan od aspekta strukturnog integriteta filtra. Kako bi se testiralo kompatibilnost filtra i fluida, filter se uranja 72 sata u fluid sistema koji je zagrijan 15°C iznad maksimalne propisane temperature.

7. KONSTRUKCIJA FILTRA

7.1. FILTERSKI MATERIJALI

Absorpcijski materijali filtra zadržava čestice mehaničkim djelovanjem. Absorpcijski materijali se dijeli na dva tipa; površinski i dubinski. Površinski materijali su najčešće korišteni za grubo filtriranje. Dubinski materijali se koriste za fino filtriranje. Najčešći materijali koji se koriste za hidrauličke filtre su: celuloza, sintetika, staklena vlakna i kombinacija već navedenih materijala.

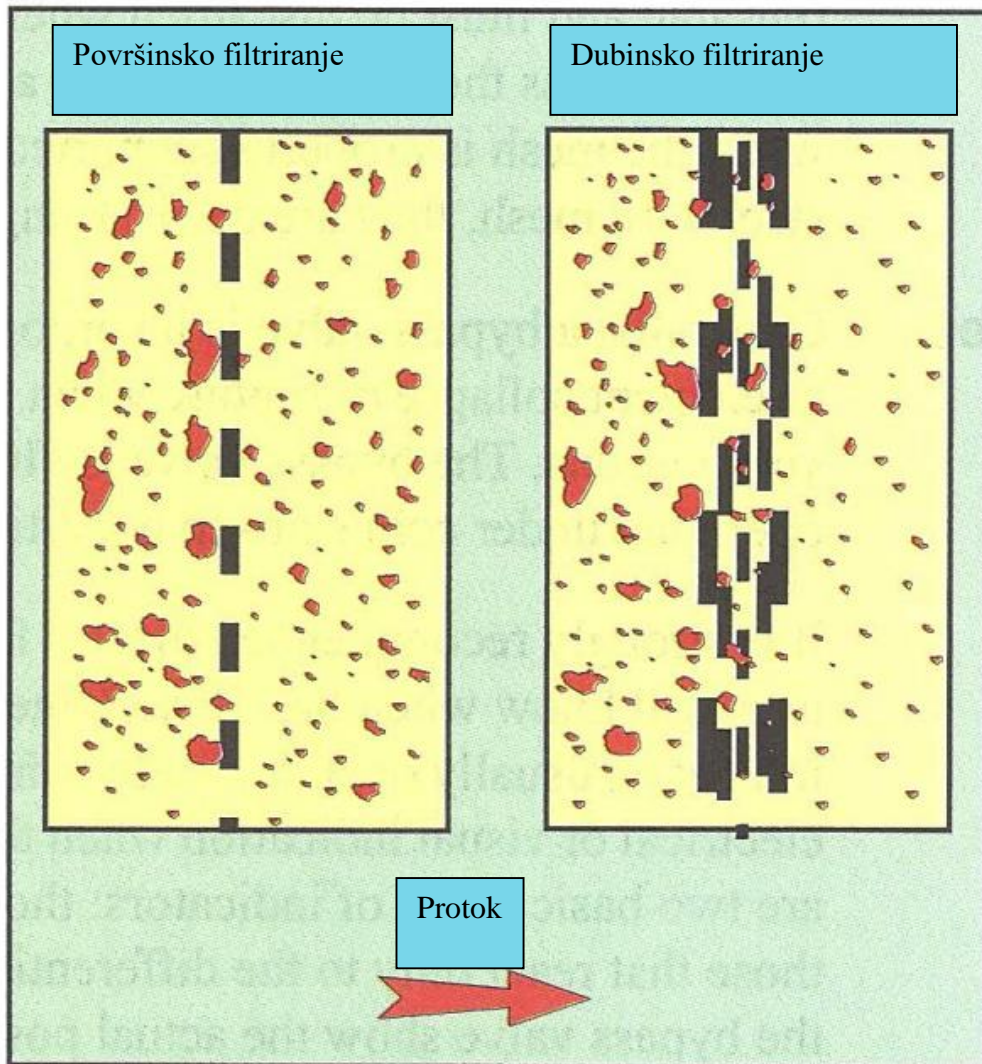
Materijali kao što su aktivni ugljen i Fullerova zemlja treba izbjegavati u hidrauličkim sustavima zbog njihove mogućnosti uklanjanja esencijalnih aditiva iz hidrauličkog fluida.

7.2.VRSTE FILTERSKIH ELEMENTA

Najčešće korišteni oblici su cilindričnog oblika. Perforirane cijevi su korištene za potporu materijala od visoke razlike tlakova. Uložak filtra je napravljen sa naborima kako bi mu se povećala površina za filtraciju i kapacitet zadržavanja.

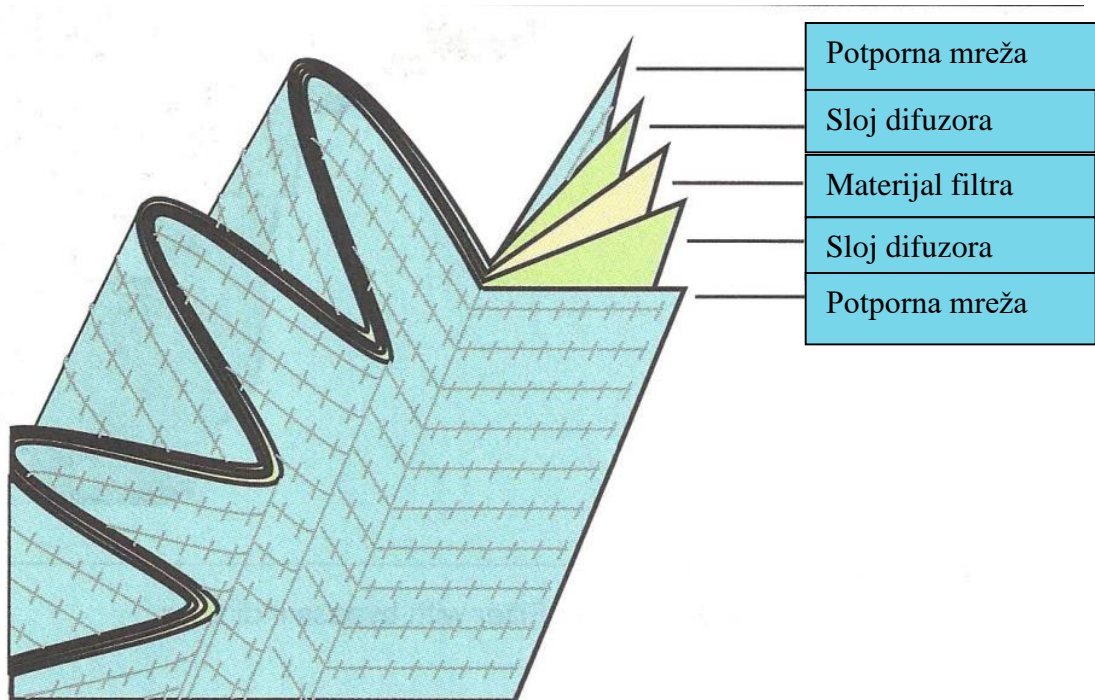
Površinski filtri uzrokuju male padove tlaka i lakše se čiste pošto se čestice zadržavaju samo na površini. Veličina pora se može precizno kontrolirati i sve veće nečistoće se mogu ukloniti od fluida ali ovaj tip filtracije ne pruža neku značajnu kontrolu nad česticama manjim od pora filtra. Žice od nehrđajućeg čelika su otporne na kemikalije i velike temperaturne razlike te pružaju veliku čvrstoću. Koriste se za proizvodnju površinskih filtra. Uglavnom se koriste za zadržavanje većih nečistoća

Dubinski filtri sa naboranom površinom se koriste za zadržavanje vrlo sitnih čestica. Naborani filtri od papira se smatraju dubinskim filtrima iako su vrlo tanki. Unatoč tome što su vrlo tanki, dubinski filtri od papira uspijevaju zadržati veliku količinu nečistoća. Vlakna papira i pore su nepravilno raspoređene, stvaraju vijugave puteve koji smetaju protoku fluida pa se čestice nečistoća manjeg promjera od pora zadržavaju u filtru. Takvi filtri nisu skupi i nakon što se napune sa nečistoćom ne mogu se očistiti nego se zamjenjuju. Slabi su i manje otporni na kemijske i temperaturne promjene od nehrđajuće čelične žice pa se u njih ugrađuje mrežica od nehrđajućeg čelika ako su uvjeti u hidrauličkom sustavu zahtjevni za rad.



Slika 17 Razlika između površinskog i dubinskog filtriranja

Filtri za zadržavanje sitnih čestica najčešće su naborani i proizvode se od staklenih vlakna. Pore takvog filtra su slične papirnatom filtrom, jedina razlika je što filter za zadržavanje ima jednoliku strukturu. Staklo je inertno pa je otporno na razne kemikalije, vodu i ostale fluide prisutne u hidrauličkom fluidu. Vlakna stakla su vrlo tanka pa pružaju mali otpor protoku fluida. Filtri od staklenih vlakna, u usporedbi sa papirnatim filtrom imaju veći kapacitet zadržavanja, veću otpornost na toplinu ta ako su dobro učvršćeni sa mrežom od nehrđajućeg čelika imaju jako dobru čvrstoću. Filtri od staklenih vlakna su skuplja od papirnatih filtra ali zbog svojeg finijeg filtriranja produžuju životni vijek komponenti i hidrauličkom fluidu te tako znatno smanjuju troškove



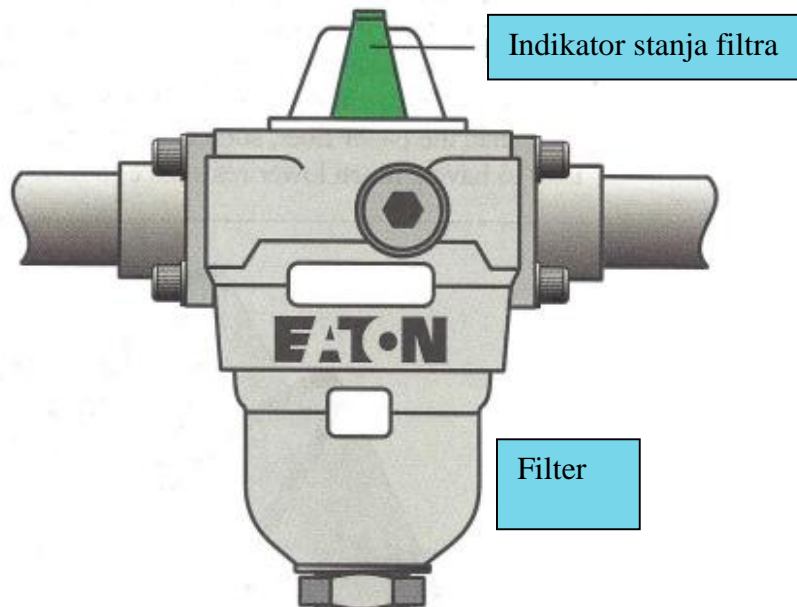
Slika 18 Tipična konstrukcija filtra

7.3. ZAIBILAZNI VENTILI FILTRA

Zaobilazni ventil je pripojen kućištu filtra kako bi otklonio mogućnosti da dođe urušavanja ili pucanja filtra kada se zaštopa ili kada je viskoznost fluida vrlo visoka. Zaobilazni ventil je nužan kod svakog filtra u sustavima koji se pokreću potpuno hladni.

7.4. INDIKATORI STANJA FILTRA

Preporučeno je da svi filtri sadrže indikator stanja kako bi se znalo kada je prigodno zamijeniti uložak filtra. Indikator radi na pad te pruža vizualnu ili električnu indikaciju kada je uložak pri kraju radnog vijeka. Postoje dvije vrste indikatora; indikator koji su povezani sa zaobilaznim ventilom i indikator koji reagiraju samo na pad tlaka. Indikator koji su povezani sa zaobilaznim ventilom pokazuju poziciju zaobilaznog ventila i njegovo pomicanje. Indikator koji reagira na pad tlaka je namješten na vrijednost koja je nešto manja od vrijednosti kada se otvara zaobilazni cjevovod. Kada pad tlaka dosegne odgovarajuću vrijednost, indikator vizualnim ili električnim signalom obavještava korisnika da je filter pri kraju radnog vijeka.



Slika 19 Filter sa zaobilaznim indikatorom

8. ZAKLJUČAK

Kontrolirati onečišćenje u hidrauličkom sustavu je stalan proces koji može znatno unaprijediti životni vijek sustava. Nastojanje da se razina nečistoća zadrži na niskoj razini započinje sa pravilnim dizajnom sustava i korištenjem adekvatne opreme. Tri osnovna koraka za kontrolu kontaminacije su; postaviti ciljanu razinu čistoće sustava, postaviti uređaje koji mjere onečišćenje i redovito kontrolirati stanje fluida kako bi znali dali je postignuta ciljana razina čistoće. Znanje osoblja ima također veliki utjecaj na pravilno održavanje i kontroliranje čistoće fluida. Okolina hidrauličkog sustava mora biti čista i sustav dobro zategnut na spojevima kako bi spriječili ulazak nečistoća iz okoline. Sustav treba biti redovito održavan kako bi spriječili stvaranje nečistoća i brže trošenje komponenti. Izmjena filtra i kontrola kontaminacije hidrauličkog fluida omogućava nam da uz optimalne troškove produljimo životni vijek sustava, spriječimo stvaranje zastoja i spriječimo stvaranje ogromnih troškova na nove dijelove.

LITERATURA

1. EATON Industrial Hydraulic Manual ISBN -13: 978-0-9788022-2, 2008
2. Petrić J., 2012.g., Hidraulika i pneumatika, 1.đio: Hidraulika, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb,
3. Šestan A., 2003.g, Uljna hidraulika i pneumatika, Rijeka, Pomorski fakultet u rijeci,
4. Radoslav K., 2016.g., Pneumatika i hidraulika, Karlovac, Veleučilište u Karlovcu.

Sve slike preuzete su iz literature pod brojem 1.

POPIS TABLICA

Tablica 1: primjer određivanje broja raspona.....	13
Tablica 2. Beta omjeri i odgovarajuće efikasnosti	22

POPIS SLIKA

Slika 1	Prikaz hidrauličkog uređaja i uloge koje obavlja hidraulički fluid ...	1
Slika 2.	Prikaz kako novi fluid nakuplja nečistoće tijekom transporta.....	3
Slika 3	Prikaz tri kategorije abrazije	4
Slika 4	Prikaz stvaranja kavitacije unutar hidrauličkog uređaja.....	4
	4
Slika 5	Prikaz različitih veličina čestica i njihov prolaz kroz međuporstor između pokretnih djelova	6
Slika 6	Prikaz erozije materijala uzrokovane visokom ulaznom brzinom nečistoća.....	8
Slika 7	Prikaz linijskog uzimanja uzorka.	10
Slika 8	Automatski brojač čestica sa senzorom koji koristi bijelu svjetlost	12
Slika 9	Radni list za određivanje ciljane čistoće sustava	14
Slika 10	zračni filter za spremnik	16
Slika 11	filter na usisnoj strani sa 100 slojeva	17
Slika 12	Filter na tlačnoj strani.....	18
Slika 13	Filter na povratnom cjevovodu	18
Slika 14	Tipičan rad filtra	19
Slika 15	Samostalni sustav filtriranja	20
Slika 16	Multipass filter performance beta test	21
Slika 17	Razlika između površinskog i dubinskog filtriranja.....	26
Slika 18	Tipična konstrukcija filtra.....	27
Slika 19	Filter sa zaobilaznim indikatorom	28