

# Onečišćenje ulja u brodskim hidrauličkim sustavima

---

**Dolak, Vedran**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2022**

*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:187:564404>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-11**



**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**

**VEDRAN DOLAK**

**ONEČIŠĆENJE ULJA U BRODSKIM HIDRAULIČKIM  
SUSTAVIMA**

**ZAVRŠNI RAD**

Rijeka, 2022.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
POMORSKI FAKULTET**

**ONEČIŠĆENJE ULJA U BRODSKIM HIDRAULIČKIM  
SUSTAVIMA  
OIL CONTAMINATION IN MARINE HYDRAULIC SYSTEMS**

**ZAVRŠNI RAD**

Kolegij: Brodska hidraulika i pneumatika

Mentor: mr.sc. Rikard Miculinić

Student: Vedran Dolak

Studijski smjer: Brodostrojarstvo

JMBAG: 0069074959

Rijeka, rujan 2022

Student: Vedran Dolak

Studijski program: Preddiplomski studij - Brodostrojarstvo

JMBAG: 0069074959

## IZJAVA O SAMOSTALNOJ IZRADI ZAVRŠNOG RADA

Kojom izjavljujem da sam završni rad s naslovom  
Onečišćenje ulja u brodskim hidrauličkim sustavima


izradio samostalno pod mentorstvom  
mr.sc. Rikarda Miculinića

te komentorstvom \_\_\_\_\_

stručnjaka/stručnjakinje iz tvrtke \_\_\_\_\_  
(*naziv tvrtke*).

U radu sam primijenio metodologiju izrade stručnog/znanstvenog rada i koristio literaturu koja je navedena na kraju završnog rada. Tuđe spoznaje, stavove, zaključke, teorije i zakonitosti koje sam izravno ili parafrazirajući naveo u završnom radu na uobičajen, standardan način citirao sam i povezoao 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



Ime i prezime studenta

Vedran Dolak

Student: Vedran Dolak

Studijski program: Preddiplomski studij - Brodostrojarstvo

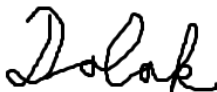
JMBAG: 0069074959

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 - autor



## **SAŽETAK**

U ovom radu govori se o negativnom utjecaju nečistoća na brodske hidrauličke sustave i kako ih spriječiti. Na početku rada govori se o mogućim izvorima onečišćenja i načinima na koje nečistoće mogu ući u sustav. Nakon toga opisane su posljedice onečišćenja u raznim dijelovima hidrauličkog sustava zbog kojih vrijedi proučavati onečišćenje. Zatim se govori o postupcima i uređajima koji se koriste da bi se razina onečišćenja u sustavu mogla učinkovito kontrolirati. Opisuju se načini na koje se mjeri razina onečišćenja u sustavu, kako se ti podaci obrađuju i koriste za određivanje najučinkovitijih mjera za kontrolu onečišćenja, zašto je važno odrediti željenu razinu čistoće sustava i kako se postiže i održava. U završnim cjelinama rada govori se o proizvodima za filtraciju i njihovoj klasifikaciji po raznim karakteristikama i konstrukciji.

Ključne riječi: čvrste čestice, filteri, hidraulički sustavi, onečišćenje

## **SUMMARY**

This paper deals with the negative effects and prevention of oil contamination in marine hydraulic systems. At the beginning of the paper the possible sources of contamination and ways the contaminants can enter the system are described. After that, the consequences of contamination on various parts of the hydraulic system, which are the reason why contamination is being studied, are explained. Next, it is described how the contamination level within the system is measured, how that data is processed and used to determine the most efficient measures to control contamination and why it's important to determine, achieve and maintain target cleanliness. In the final chapters of the paper, filtration products and their classification according to certain characteristics and construction is explained.

Keywords: contamination, filters, hydraulic systems, solid particles

# SADRŽAJ

<b>SAŽETAK</b>	<b>2</b>
<b>SUMMARY</b>	<b>2</b>
<b>SADRŽAJ</b>	<b>3</b>
<b>1. UVOD</b>	<b>1</b>
<b>2. IZVORI ONEČIŠĆENJA</b>	<b>2</b>
2.1. UGRAĐENE NEČISTOĆE	2
2.2. UNEŠENE NEČISTOĆE	2
<b>3. POSLJEDICE ONEČIŠĆENJA</b>	<b>5</b>
3.1. POSLJEDICE NA ULOGE HIDRAULIČKOG FLUIDA	5
3.2. MEHANIČKA TOLERANCIJA KOD HIDRAULIČKIH DIJELOVA	6
3.3. VRSTE KVAROVA UZROKOVANIH ONEČIŠĆENJEM	7
3.4. KVAROVI U DIJELOVIMA UZROKOVANI NEČISTOĆAMA	8
<b>4. MJERENJE ONEČIŠĆENJA</b>	<b>9</b>
4.1. METODE UZIMANJA UZORAKA FLUIDA	9
4.2. METODE ANALIZE VELIČINE ČESTICA	10
4.3. AUTOMATSKI BROJAČ ČESTICA	11
4.4. ISO KOD ZA ČVRSTE ONEČIŠĆIVAČE	12
<b>5. ČISTOĆA SUSTAVA</b>	<b>14</b>
5.1. ODREĐIVANJE ŽELJENE RAZINE ČISTOĆE	14
5.2. POSTIZANJE ŽELJENE RAZINE ČISTOĆE	15
5.2.1. <i>Pozicije filtera</i>	15
5.2.2. <i>Čistoća cjevovoda</i>	16
5.2.3. <i>Čistoća dijelova</i>	16
<b>6. PROIZVODI ZA FILTRACIJU</b>	<b>17</b>
6.1. VRSTE FILTERA UNUTAR GLAVNOG SUSTAVA	17
6.2. SAMOSTALNI SUSTAVI ZA FILTRACIJU	20
6.3. OCJENE FILTERA	21

6.4. KAPACITET ZADRŽAVANJA FILTRA	21
6.5. KAPACITET FILTERA	22
6.6. PAD TLAKA	22
6.7. KOMPATIBILNOST FLUIDA	22
<b>7. KONSTRUKCIJA FILTERA</b>	<b>23</b>
7.1. MATERIJALI ZA FILTRACIJU	23
7.2. VRSTE ELEMENATA FILTRA	24
7.3. INDIKATORI STANJA FILTERA	25
<b>8. ZAKLJUČAK</b>	<b>26</b>
<b>LITERATURA</b>	<b>27</b>
<b>POPIS SLIKA</b>	<b>28</b>
<b>POPIS TABLICA</b>	<b>29</b>



## 1. UVOD

Ulja u hidrauličkim sustavima broda moraju obavljati brojne zadaće kao što su učinkovit prijenos snage linearnog ili rotacijskog pokretača, hlađenje sustava rasipanjem topline u spremnicima ili uređajima za hlađenje, podmazivanje površina komponenata koje rotiraju ili kližu, brtvljenje zračnosti između komponenti i odvođenje nečistoća u sistemu prema filteru ili u taložni tank. Moraju i biti kompatibilna s raznim materijalima koji se koriste u sustavu, biti otporna na pjenjenje, sposobna izbaciti zrak i vodu i zadržati određenu viskoznost pri radu sustava s velikim temperaturnim razlikama.

Da bi zadovoljila sve ove uvjete, ulja moraju imati određena svojstva koja se moraju održavati kroz cijeli životni vijek te tekućine u sustavu. Procjenjuje se da se oko 80% kvarova hidrauličkih sustava događa zbog onečišćenja ulja, a 48% kvarova brzohodnih dizelskih motora zbog onečišćenja ulja za podmazivanje [4]. To se događa jer nečistoće mijenjaju svojstva ulja pa ono više ne može obavljati neke od svojih zadaća. Spriječiti nakupljanje nečistoća u ulju je stoga vrlo važno za osobe koje su zadužene za održavanje hidrauličkih strojeva. Cilj ovog rada je objasniti kako onečišćenje nastaje, na što utječe, kako se može izmjeriti i spriječiti.

## **2. IZVORI ONEČIŠĆENJA**

### **2.1. UGRADENE NEČISTOĆE**

Novi dijelovi hidrauličkih sustava često sadrže nečistoće kao što su blato, prašina, boja, vlakna, brtva, vlaga, pijesak, otopine za ispiranje i čestice od zavarivanja. Nečistoće se mogu nakupiti u novim dijelovima već u postupcima proizvodnje, a prije eksploatacije mogu se nakupiti i zbog nepravilnog skladištenja, rukovanja ili ugradnje.

Rezervni dijelovi koji se drže u skladištima skupljaju prašinu i ostale atmosferske nečistoće. Neke od tih nečistoća ne mogu se ukloniti zračnim crijevom ili brisanjem površine krpom pa zato još uvijek postoji velika vjerojatnost da će i nakon što se pokušaju odstraniti, neke nečistoće ostati na dijelovima i ući u ulje kad ih ugradimo u sustav. Često se previdi koliko na onečišćenje ulja utječe ugradnja spojnice u sustav. Ugradnjom jedne spojnice deseci tisuća čestica većih od pet mikrona ulaze u sustav, a ako se ugradi više spojnica odjednom količina nečistoća koja ulazi u sustav je vrlo velika. Neke vrste nečistoća, kao što je hrđa od varenja, ne ulaze u sustav pri ugradnji ili ubrzo nakon ugradnje nego tek nakon što se odvoje od površine zbog vibracija ili tlaka fluida dok je sustav u radu.

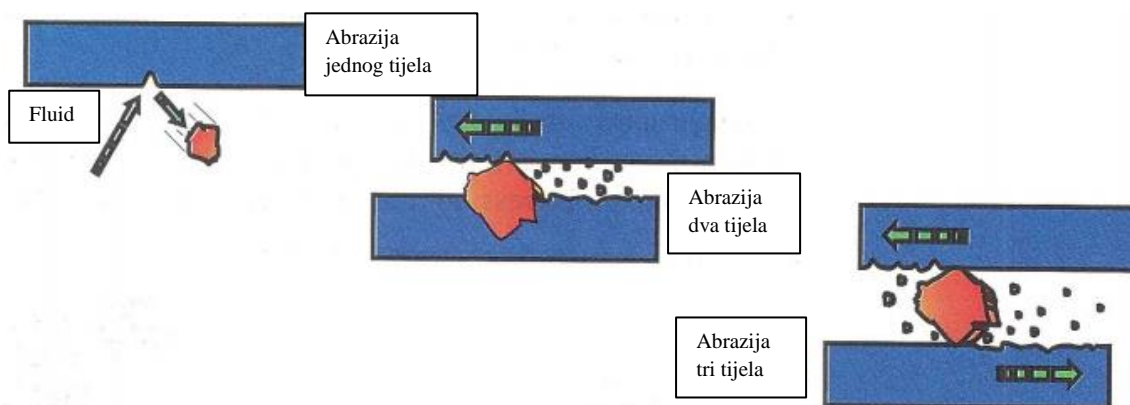
### **2.2. UNEŠENE NEČISTOĆE**

Nečistoće se mogu unijeti u sustav tijekom održavanja ili rada, a mogu i ući u sustav iz okoline. Jedan od uobičajenih načina na koji nečistoće ulaze u sustav je putem novog ulja. U njemu ima nečistoća jer se na putu od tvornice do broda više puta prepumpava iz jednog spremnika u drugi pa iz tih spremnika i cijevi pokupi razne nečistoće kao što su metali, silicijev dioksid i vlakna. Zrak može unijeti nečistoće jer ulazi u spremnik ulja kad god se smanji razina fluida. Zbog toga na spremnicima mora postojati filter zraka, a ako ga nema ili je u lošem stanju, čestice mogu slobodno ulaziti i izlaziti iz spremnika. Prljavština može ući u sustav tijekom održavanja i popravaka jer se te radnje često odvijaju u prljavom okruženju. Ako se pristupna ploča jedinice za napajanje ne može pravilno vratiti na mjesto ili se uopće ne vrati na mjesto tuda nečistoće također mogu ulaziti u sustav. Sitne čestice koje se nakupljaju na šipki cilindra ulaze u sustav kad se šipka povuče natrag u cilindar, a količina čestica koja ulazi se povećava kako se troše brtve i klizači na šipki.

### 2.3. NEČISTOĆE KOJE STVARA SUSTAV

Svaki pokretni dio hidrauličkog sustava stvara određenu količinu nečistoća pri radu. Procesi kojima se te nečistoće stvaraju su: abrazija, erozija, adhezija, zamor, kavitacija, korozija i aeracija.

Abrazija je struganje čvrstih čestica koje su u hidrauličkom fluidu o jednu ili više površina. Abrazija oštećuje površine, a time može stvoriti još abrazivnih čestica. Postoje tri vrste abrazije. Abrazija jednog tijela je sudaranje čvrste čestice koja se kreće u fluidu s nekom površinom. Abrazija dva tijela događa se kad je čvrsta čestica zabijena u jednoj površini i u kontaktu s drugom površinom ili ako je neravnina na tvrđoj površini u kontaktu s drugom, mekšom površinom. Abrazija tri tijela je sudaranje čvrste čestice s dvije površine istovremeno.



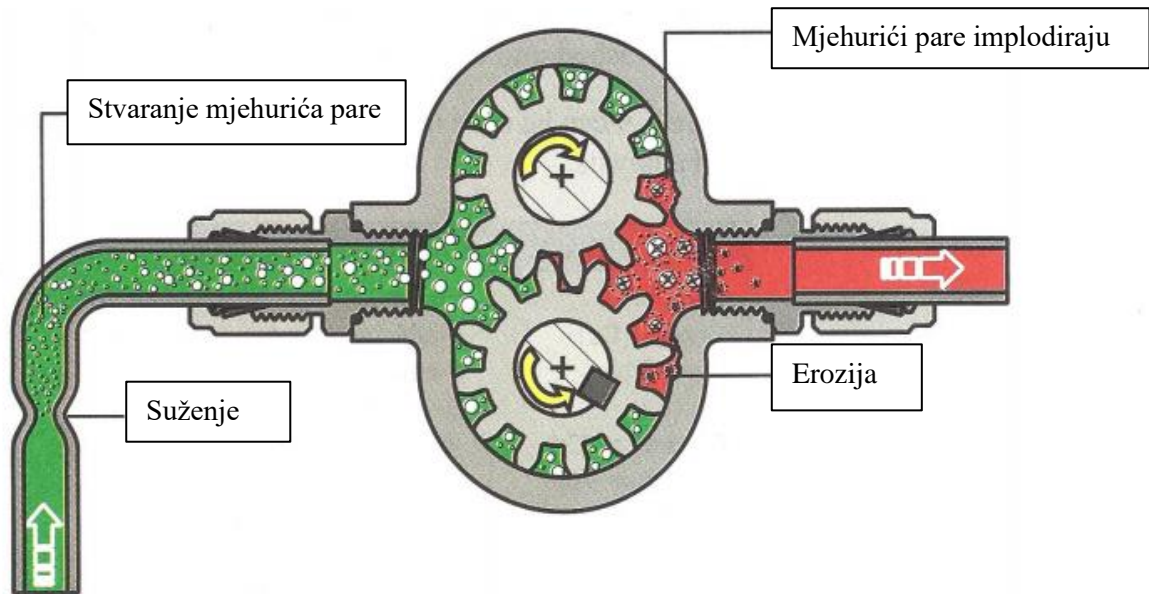
Slika 1: Vrste abrazije

Erozija je sudaranje čvrstih čestica koje se kreću velikom brzinom s nekom površinom.

Adhezija je međusobno privlačenje molekula između dvije metalne površine nakon što se izgubi uljni film između njih. Rezultat adhezije je odvajanje više manjih čestica od jedne ili obje površine.

Zamor je pojava postupnog oštećivanja materijala uslijed ponavljajućeg naprezanja površina što može uzrokovati odvajanje dijelova materijala od površine.

Kavitacija je nastajanje mjehurića para u fluidu i njihovo naglo nestajanje uz pojavu visokih tlakova i temperatura. Mjehurići nastaju zbog smanjenja dinamičkog tlaka u fluidu, obično na usisu pumpe, a nestaju kad se poveća tlak. Pumpa može kavitirati kad je tlak na usisu manji od preporučenog što se može dogoditi ako pumpa prebrzo radi, ako su zatvorene linije za usis ili otvor za izmjenu zraka ili ako je ulje prevelike viskoznosti.



Slika 2: Kavitacija

Korozija je trošenje materijala kemijskim djelovanjem nečistoća u hidrauličkom fluidu.

Aeracija je prisutnost mjehurića zraka ili plina u fluidu. Kada se ovi mjehurići komprimiraju uzrokuju istu vrstu štete kao i kavitacija. Plin uzrokuje probleme u mnogim strojevima jer se može komprimirati i ne može brtviti zračnosti. Aeraciju mogu uzrokovati loš dizajn spremnika, niska razina fluida i spojnice koje propuštaju.

### **3. POSLJEDICE ONEČIŠĆENJA**

#### **3.1. POSLJEDICE NA ULOGE HIDRAULIČKOG FLUIDA**

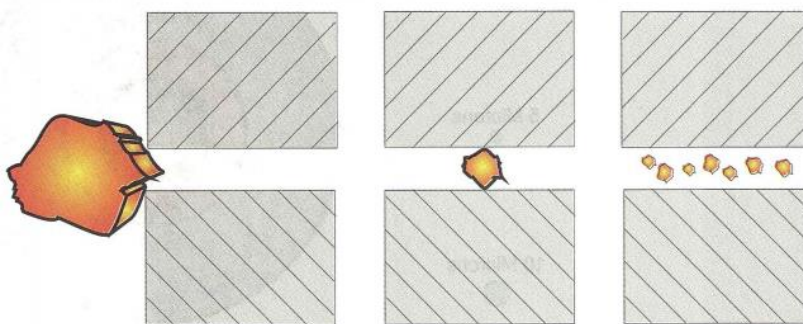
Najvažnije uloge hidrauličkog fluida su prijenos snage, hlađenje, podmazivanje pokretnih dijelova i brtvljenje zračnosti između dijelova. Onečišćenje čvrstim česticama predstavlja smetnju pri prijenosu snage jer može začepiti manje otvore u uređajima kao što su tlačni ventili i ventili za kontrolu protoka. Onečišćenje može stvoriti sloj prljavštine na spremniku što usporava prijenos topline s fluida na spremnik i s vremenom uzrokuje porast temperature sustava u radu.

Najštetniji učinak koji onečišćenje ima na hidraulički fluid je onemogućavanje podmazivanja. Čestice koje su manje od zračnosti između dijelova stroja mogu se nakupiti u tom prostoru i smanjiti protok fluida kroz taj prostor pa tako i podmazivanje. Te nakupine nečistoća mogu stvoriti razne probleme, na primjer smanjiti učinkovitost pumpi i ubrzati njihovo zagrijavanje, onemogućiti pravilno otvaranje i zatvaranje ventila, oštetiti pokretače i smanjiti im učinkovitost.

### 3.2. MEHANIČKA TOLERANCIJA KOD HIDRAULIČKIH DIJELOVA

Mehanička tolerancija kod hidrauličkih dijelova može se podijeliti na dvije skupine, do pet mikrometara za visoke tlakove i od deset do dvadeset mikrometara za niske tlakove. Čestice koje su veće od zračnosti između dijelova ne mogu proći između i zato ne mogu oštetiti površine abrazijom, ali mogu djelomično ili potpuno zatvoriti prolaz fluidu. Zbog takvih čestica se mogu zaglaviti ventili pumpe i motori.

Kad su čestice otprilike jednake veličine kao i zračnost one prolaze između dijelova i stružu po njima, onemogućuju stvaranje uljnog filma i najviše oštećuju površine dijelova. Struganjem nastaje još čestica, smanjuje se učinkovitost i stvara se toplina. Vrlo male čestice najčešće prolaze između dijelova bez struganja o površine.



Slika 3: S lijeva na desno: čestica veća od prolaza, čestica jednake veličine kao i prolaz, čestice manje od prolaza

### 3.3. VRSTE KVAROVA UZROKOVANIH ONEČIŠĆENJEM

Postoje tri vrste kvarova uzrokovanih onečišćenjem; katastrofalan kvar, isprekidan kvar i degradacijski kvar.

Katastrofalni kvar je vrsta kvara kod koje cijeli sustav ili dio sustava naglo i kompletno prestane s radom. Ovakvi se kvarovi javljaju kad veća čestica zapne u glavnom dijelu stroja, na primjer ako zbog čestice jedna od lopatica zaglavi u utoru rotora. Sitne čestice također mogu uzrokovati katastrofalan kvar ventila ako ih se dovoljno nakupi u prostorima između pomičnih dijelova.

Isprekidani kvarovi su prolazni kvarovi koji najčešće nestaju bez intervencije ili bez potrebe za većim popravcima koji bi ometali rad stroja. Ako se na sjedištu gljivastog ventila nakupe čestice onemogućiti će pravilno vraćanje ventila na sjedište, ali ako su te čestice mekše od sjedišta ventila biti će odnešene čim se ventil otvori.

Degradacijski kvarovi kod dijelova su vezani uz trošenje površina, a kod hidrauličkih fluida uz trošenje aditiva ili kemijske i fizičke promjene u fluidu. Ove kvarove uzrokuju trošenje materijala, korozija, kavitacija, aeracija i erozija. Kvar nastupa nakon određenog vremena tijekom kojeg propuštanja unutar sustava i trošenje površina postaju sve značajniji. Čestice nečistoće koje će najvjerojatnije uzrokovati trošenje površina su one koje su otprilike jednake veličine kao i zračnost kroz koju prolaze zato što najviše stržu o površine a mogu se i zaglaviti unutar prolaza i uzrokovati još više štete.

### 3.4. KVAROVI U DIJELOVIMA UZROKOVANI NEČISTOĆAMA

Nečistoće utječu na dijelove na razne načine ovisno o njihovom dizajnu i ulozi u hidrauličkom sustavu. Hidraulički motori i pumpe sadrže dijelove koji se kreću, a između kojih je fluid pod tlakom koji djeluje na njih. Na stroju će se brže stvoriti značajna šteta ili doći do zastoja ako je tlak fluida visok, ako fluid sadrži veću količinu nečistoća i ako je manje prostora između dijelova. Kod sustava s manjim tlakom i manjom količinom nečistoća koji mogu imati veći razmak između dijelova nečistoće će uzrokovati manje štete.

U normalnim radnim uvjetima, zračnosti unutar pumpe ili motora po potrebi se samostalno mijenjaju. Kod povećanog tlaka, zračnosti se smanjuju zbog čega manje čestice nečistoće postaju veći problem za sustav, a to se smanjenje može dogoditi čak i ako sustav ima fiksne zračnosti jer se pod velikim opterećenjem dijelovi mogu pomaknuti iz predviđenog položaja.

Pumpa ili grupa pumpi trebala bi se zamijeniti ako nema predviđeni učinak za određenu brzinu vrtnje osovine, izlazni tlak i temperaturu tekućine. Pravilo je da kod gubitka protoka od 10% treba obaviti održavanje, ali se često loše stanje pumpi ne otkrije sve dok ne dođe do katastrofalnog kvara kod kojeg se velika količina nečistoća izliva u sustav. Nakon takvog kvara sustav je potrebno temeljito očistiti i isprati jer će inače zamjenska pumpa i ostali dijelovi imati kraći životni vijek.

Ako motori ili pumpe imaju odvod iz kućišta pomoću njega se može odrediti stanje dijelova tako da se mjeri protok. Povećan protok obično znači da su se od nekog dijela počele odvajati čestice koje mogu uzrokovati katastrofalne kvarove ako ih se ne primjeti na vrijeme.

Taloženje sitnih čestica na ventilima može uzrokovati gubitak uljnog filma i ograničiti kretanje namotaja.

Kod sustava za kontrolu tlaka uobičajena je erozija površina unutar ventila zbog abrazivnih čestica koje se kreću velikim brzinama unutar fluida. U najvećoj opasnosti od ovakve erozije su prekotlačni ventili jer se fluid u njima kreće brzinom do 27 m/s.

Ventili za regulaciju protoka mogu imati različite otvore o kojima najviše ovisi koliko su otporni na utjecaj nečistoća. Žljebasti otvori su otporni na utjecaje velikih količina nečistoća osim kod sporijeg protoka fluida dok su ravni otvori podložni taloženju.



## **4. MJERENJE ONEČIŠĆENJA**

Pouzdanost rezultata analize kontaminacije česticama 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 upotrebi te opreme, točnost u interpretaciji rezultata analize i procjeni kontaminacije u uzorku fluida. Analiza kontaminacije je jedno od, ako ne i najvažniji način na koji posada može doprinijeti učinkovitosti postrojenja.

Prije uzimanja uzorka za analizu potrebno je poduzeti određene mjere da nečistoće iz opreme za uzimanje uzorka ili iz okoline ne dođu u kontakt s uzorkom. Mora se provjeravati i je li onečišćena tekućina koja se koriste za ispiranje i razrjeđivanje uzorka da ne bi utjecale na stvarno stanje uzorka.

### **4.1. METODE UZIMANJA UZORAKA FLUIDA**

Metoda uzimanja uzorka trebala bi se odrediti prema tipu uzorka koji je potreban i svrsi uzorka.

Statički uzorci uzimaju se kad je potrebna kemijska ili fizikalna analiza taloga iz fluida i stranih čestica. Uzimaju se iz fluida u mirovanju iz središta spremnika.

Dinamički uzorci uzimaju se iz fluida u kretanju kad je cilj odrediti razinu kontaminacije u sustavu pri normalnom radu. Kod uzimanja uzorka važno je obratiti pažnju na vrijeme u ciklusu kod kojeg ga uzimamo i mjesto gdje ga uzimamo. Najpovoljnije mjesto za uzorkovanje je prije filtera na povratnoj liniji. Postoje dvije vrste dinamičkog uzorkovanja, kod laminarnog i kod turbulentnog toka. Kod uzimanja uzoraka iz laminarnog toka sonda se umeće u dio sustava gdje je tok fluida najjednoličniji. Ova metoda može biti vrlo precizna, ali je vrlo teško uzeti dobar uzorak zato što se veće čestice nečistoća kreću uz stijenku cijevi gdje je fluid najsporiji, a manje u središtu toka gdje je fluid najbrži. Uzimanje uzorka iz turbulentnog toka je lakše pripremiti, a lakše je i dobiti preciznije rezultate zato što se kod takvog toka miješaju čestice svih veličina pa je u području uzimanja uzorka uvijek podjednak raspored čestica.

Linijsko uzorkovanje je prihvaćen postupak za uzimanje dinamičkih uzoraka. U ovom se postupku fluid izvlači iz prostora za miješanje kroz potpuno otvoren kuglasti ventil i hipodermijsku cijev. Na taj se način minimalizira slučajno unošenje krhotina i čestica nečistoće koje stvara uređaj za uzorkovanje.

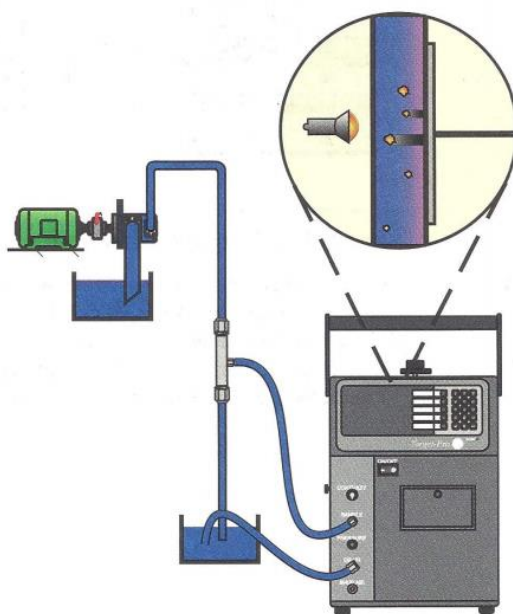
## 4.2. METODE ANALIZE VELIČINE ČESTICA

Raspored čestica nečistoća u fluidu može se analizirati na više načina od kojih svi koriste jedno ili više svojstava čestica da bi ih razlikovali. Veličina čestica može se mjeriti direktno ili se veličina može zaključiti promatranjem fizičkog ponašanja čestica, a mjerenje se može obavljati pojedinačno za svaku česticu ili u velikim količinama u obliku praha. Postoje razne optičke metode za analizu nečistoća. Fluid se može filtrirati pomoću filtera debljine manje od jednog mikrona i promatrati golim okom ili mikroskopom. Tehničar može prebrojati čestice u određenom području filtera i procijeniti razinu onečišćenja fluida što je vrlo mukotrпно pa pouzdanost ove metode ovisi o vještini i iskustvu tehničara. Kod jedne od naprednijih metoda računalo za analizu fotografija koristi televizijsku opremu, elektronski mikroskop i manje računalo za prebrojavanje i određivanje veličine čestica.

### 4.3. AUTOMATSKI BROJAČ ČESTICA

Automatski brojači čestica koriste tri različite tehnologije: bijela svjetlost, laser i promjena toka.

Kod brojača koji koriste bijelu svjetlost fluid prolazi između izvora svjetlosti i foto senzora. Čestice nečistoće stvaraju sjene na koje foto senzor reagira električnim signalom određene snage koja ovisi o veličini čestice. Ovi brojači omogućavaju precizno mjerenje čestica veličine i do 5 mikrona.



Slika 4: Automatski brojač čestica koji koristi bijelu svjetlost

Brojači koji koriste laser funkcioniraju na sličan način kao i oni koji koriste bijelu svjetlost, ali korištenje lasera im omogućava da precizno mjere čestice veličine i do 2 mikrona. Moraju se ponovno kalibrirati jednom godišnje.

Kod brojača koji koriste promjenu toka vrlo fine mrežice prikupljaju čestice iz fluida koji protiče kroz njih. Broj čestica se izračunava mjerenjem pada tlaka na mrežici i pomoću predviđenog rasporeda čestica nečistoće. Na ove uređaje ne utječu mjehurići zraka, ali mogu biti neprecizni kod prebrojavanja čestica nečistoće zato što računaju prema pretpostavljenom rasporedu čestica koji se može razlikovati od stvarnog stanja.

#### 4.4. ISO KOD ZA ČVRSTE ONEČIŠĆIVAČE

ISO kod za čvrste onečišćivače je izrađen da bi se razina onečišćenja fluida mogla točnije izraziti. Odnosi se na sve fluide, vrlo je jednostavan, jednoznačan i dosljedan što je važno u komunikaciji između dobavljača i korisnika.

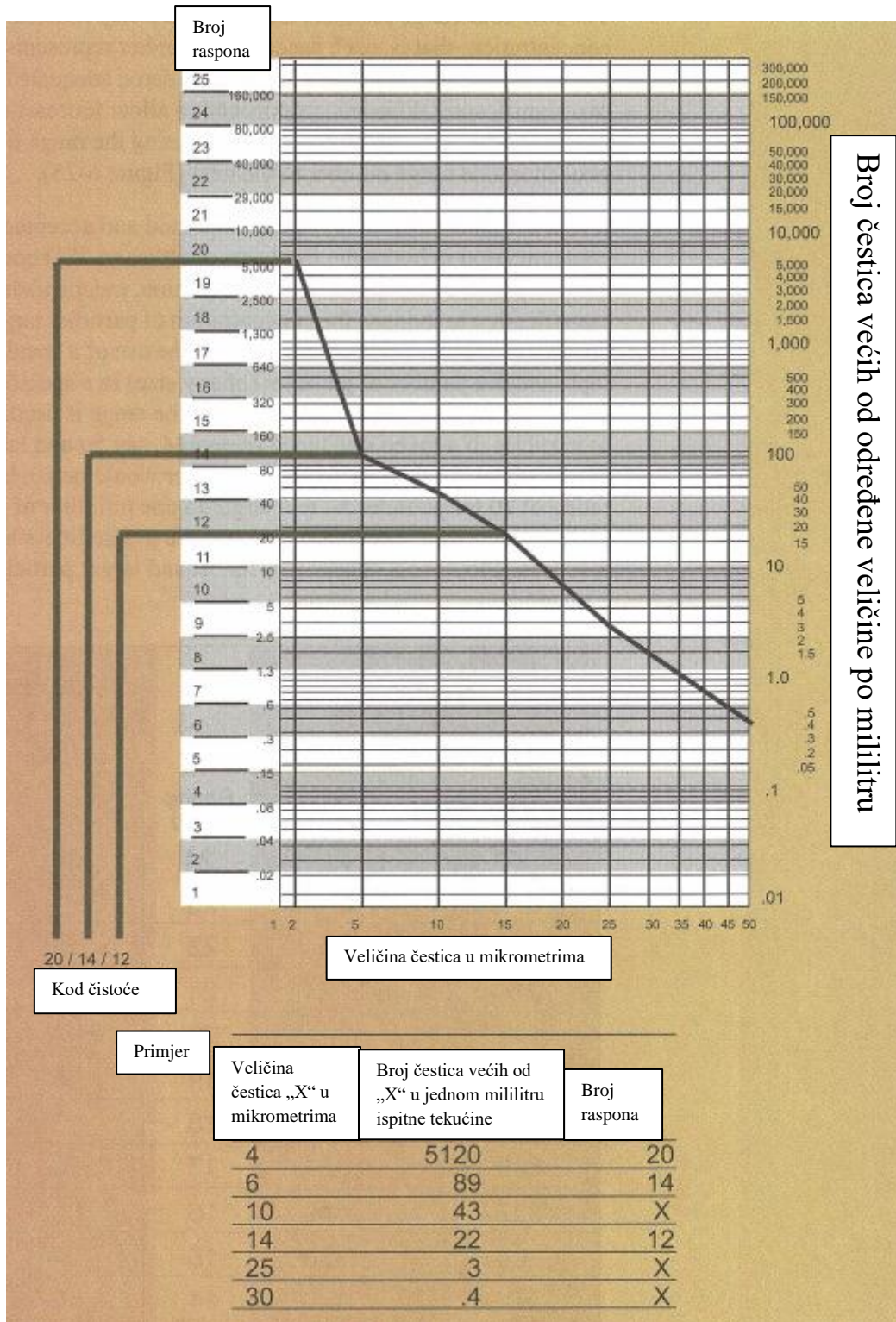
Izrađuje se pomoću rezultata analize prebrojavanja čestica. Podaci koji se uzimaju su broj čestica većih od 4, 6 i 14 mikrona po mililitru fluida, zatim se te vrijednosti označe na grafu i povežu ravnim linijama koje predstavljaju profil čistoće fluida. Te tri vrijednosti se koriste zato što daju dobru procjenu broja malih čestica koje uzrokuju kvarove kod kritičnih dosjeda i većih čestica koje uzrokuju češće vrste kvarova kod dosjeda i habanje. Nakon crtanja grafa odredi se kojoj brojki raspona pripada svaki od tri dobivena broja čestica. Brojkama koje predstavljaju određeni raspon broja čestica u ISO kodu gornja granica raspona uvijek je dvostruko veći broj čestica od donje granice raspona, na primjer, za broj 20 donja granica je 5.000 čestica, a gornja 10.000 čestica.

**Tablica 1: Primjer određivanja broja raspona**

Veličina čestica „X“ u mikronima	Broj čestica većih od „X“ po mililitru fluida	Broj raspona
4	6000	20
6	120	14
14	30	12

Iz tablice dobivamo kod čistoće za ovaj fluid, 20/14/12.

Postoje dva različita ISO koda za čvrste onečišćivače, stariji ISO 4406 1987 i danas standardni ISO 4406 1999. ISO 4406 1987 koristi broj čestica većih od 2, 5 i 15 mikrometara, a ISO 4406 1999 koristi broj čestica većih od 4, 6 i 16 mikrometara. Razlika između ta dva koda je u većini slučajeva samo u prvom broju.



Slika 5: Profil čistoće

## 5. ČISTOĆA SUSTAVA

Čistoća sustava se postiže u tri koraka:

1. Određivanje željene razine čistoće
2. Postizanje željene razine čistoće
3. Potvrda i kontrola razine čistoće

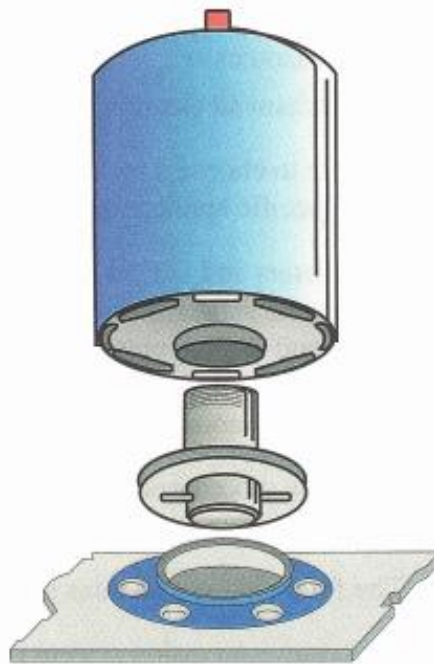
### 5.1. ODREĐIVANJE ŽELJENE RAZINE ČISTOĆE

Kod određivanja željene razine čistoće moraju se uzeti u obzir okolina, tlak, dijelovi sustava, vrijeme rada sustava i vrsta i pozicija filtera. Pomoću tablice za preporučenu razinu čistoće mora se odrediti razina čistoće potrebna dijelu sustava koji je najosjetljiviji na nečistoću. Dijelom istog sustava smatraju se svi dijelovi koji dobivaju ulje iz istog spremnika. Ako u sustavu nije stopostotno ulje dobiveno iz nafte potrebno je smanjiti svaki broj raspona za jedan. Potrebno je smanjiti svaki broj raspona za jedan i ako sustav zadovoljava dva od ova tri uvjeta: često pokretanje na hladno pri temperaturi nižoj od  $-18^{\circ}\text{C}$ , isprekidan rad pri temperaturama fluida višim od  $70^{\circ}\text{C}$ , rad pri jakim vibracijama ili velikim šokovima za sustav. Pumpa je najvažniji dio mnogih sustava, ali probleme mogu uzrokovati i elektromagnetni ventili koji su stalno pod tlakom zbog stvaranja taloga.

## 5.2. POSTIZANJE ŽELJENE RAZINE ČISTOĆE

### 5.2.1. Pozicije filtera

U hidrauličkim sustavima postoje tri područja gdje se mogu naći uređaji za kontrolu onečišćenja: tlačna linija, povratna linija i sustav za filtraciju ili punjenje. Filtri koji se koriste na usisnoj liniji između spremnika ulja i pumpe obično se sastoji od 100 gustih mreža u kojima se zadržavaju sve čestice veće od 150 mikrona. Filter na tlačnoj liniji služi za zaštitu sustava od nečistoća koje proizvodi pumpa, ali ne može zaštititi pumpu od nečistoća koje stvara ostatak sustava što može dovesti do povećanog trošenja površina unutar pumpe i skraćenja životnog vijeka. Filter na povratnoj liniji može biti vrlo dobra zaštita cijelog sustava ako barem 20% cjelokupnog volumena fluida u sustavu prođe kroz njega svake minute. Potrebno je odrediti veličinu filtera prema najvećem protoku koji može prolaziti kroz njega jer bi inače moglo doći do pucanja filtera i propuštanja velike količine nečistoća u spremnik ulja. Filter za prozračivanje služi za pročišćavanje zraka koji ulazi u spremnik fluida zbog promjene razine ulja pri promjeni temperature.



Slika 6: Filter za prozračivanje od 3 mikrona za spremnik fluida

### **5.2.2. Čistoća cjevovoda**

Željezne i čelične cijevi i spojnice moraju se očistiti od hrđe i bilo kakvih drugih nečistoća prije ugradnje. Mogu se očistiti žičanom četkom, posebnim aparatom za čišćenje cijevi ili kiselinom ovisno o količini hrđe ili nečistoće. Prije čišćenja kiselinom cijev se mora oprati od masnoće, a nakon čišćenja mora se temeljito isprati. Unutarnji rub cijevi potrebno je izgladiti nakon rezanja. Cijevi se nakon ugradnje ne smiju zavarivati ili zalemiti zato što bi se time onemogućilo pravilno čišćenje. Crijeva je potrebno nekoliko puta saviti da bi se nečistoće odvojile i zatim isprati. Prirubničke spojnice potrebno je precizno namjestiti na predviđeno mjesto i učvrstiti vijcima prikladne duljine. Kod spojnica s navojem potrebno je pregledati navoj u slučaju da u njemu ima komadića metala. Ako se cijevi skladište potrebno je začepiti sve ulaze da se unutar njih ne bi nakupljala prljavština. Za to se ne smiju koristiti krpe zato što bi prljavština nakupljena u njima mogla ostati u cijevi, trebalo bi koristiti čepove točne veličine.

### **5.2.3. Čistoća dijelova**

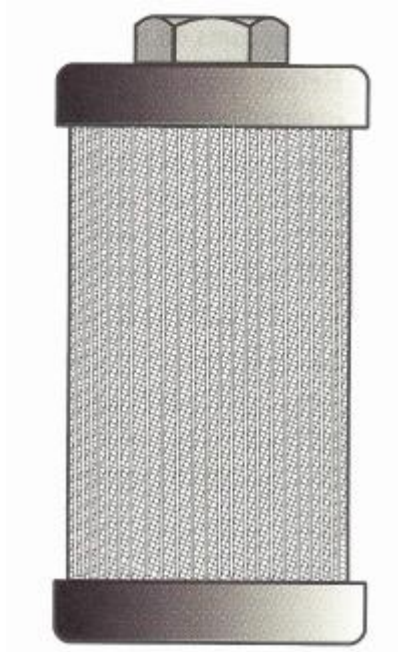
Prije ugradnje svi dijelovi bi se trebali očistiti na jedan ili više načina: sapunom i vodom, deterdžentom koji sadrži kiselinu, deterdžentom koji sadrži lužinu, otapalima, ultrazvukom, mehaničkim čišćenjem. Metoda čišćenja odabire se prema modernim standardima i namjeni. Mnogi korisnici i proizvođači većih hidrauličkih dijelova i strojeva traže od dobavljača dijelova i fluida određenu razinu čistoće. Ako se uz to dijelovi i pravilno skladište, osigurava se da će kod ugradnje u sustav zadovoljavati minimalnu razinu čistoće.



## 6. PROIZVODI ZA FILTRACIJU

### 6.1. VRSTE FILTERA UNUTAR GLAVNOG SUSTAVA

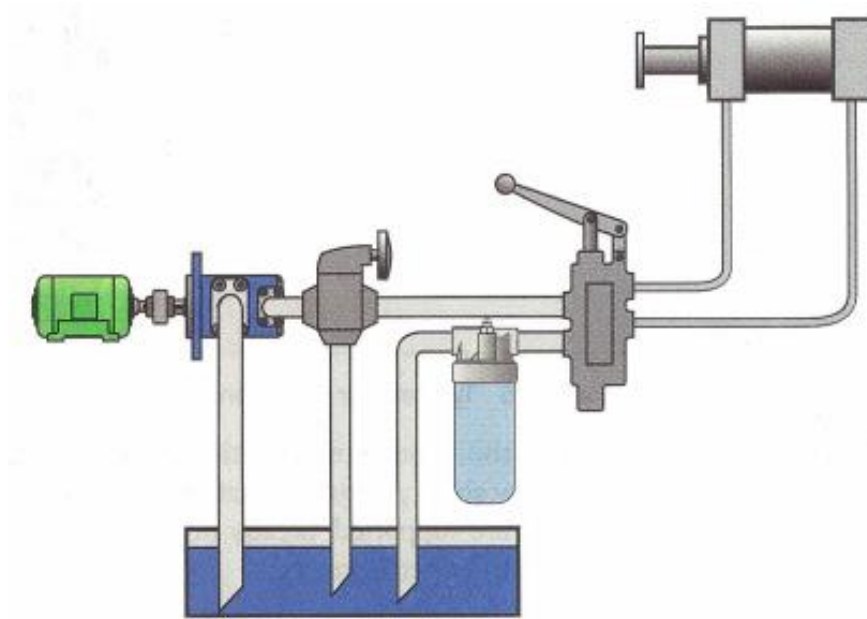
**Filteri na usisnom cjevovodu** su grublji jer su napravljeni od fine žičane mreže i sprečavaju prolazak većih čestica koje bi mogle uzrokovati katastrofalni kvar. Filter sa 100 slojeva mreže štiti pumpu od čestica većih od 150 mikrona. Postoje dvije važne karakteristike za svaki usisni filter: mora biti sposoban propustiti najveći volumen fluida koji pumpa može zahtijevati unutar dopuštenog maksimalnog pada tlaka na usisu za tu pumpu, mora imati obilazni cjevovod koji može propuštati isti taj volumen u slučaju da se filter začepi.



*Slika 7: Filter sa 100 slojeva na usisnom cjevovodu*



**Filteri na povratnom cjevovodu** filtriraju manje čestice prije povratka ulja u spremnik i važni su u sustavima u kojima postoje dijelovi s vrlo malim zračnostima. Filteri za pun protok filtriraju sav fluid koji se vraća iz sustava i mogu propustiti maksimalan protok uz minimalan pad tlaka. Imaju zaobilazni cjevovod koji se otvara u slučaju većih tlakova na filteru da bi se spriječilo oštećenje. Fluid u filteru teče iz vanjskog dijela prema središtu.

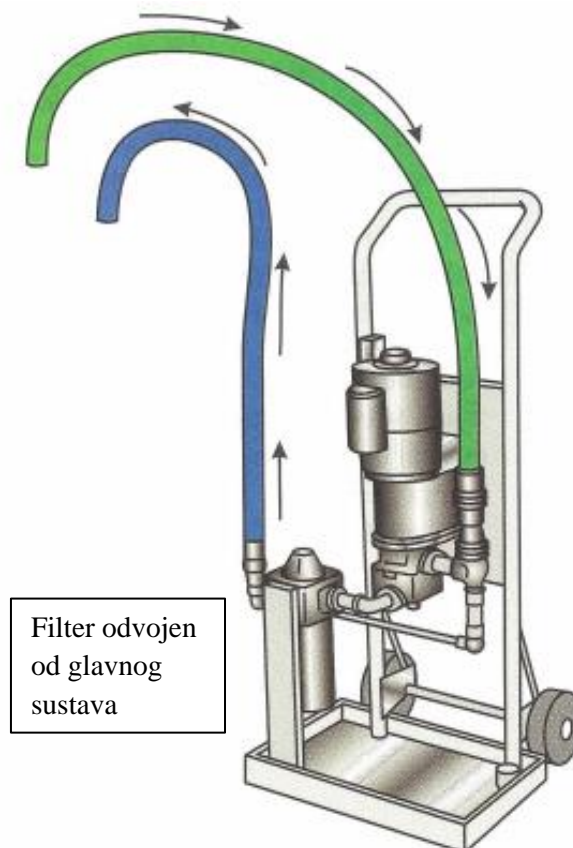


*Slika 9: Filter na povratnom cjevovodu*

## 6.2. SAMOSTALNI SUSTAVI ZA FILTRACIJU

Šokovi, pulzacije i vibracije u sustavu i tip fluida u upotrebi mogu utjecati na isplativost i poželjnost filtara na tlačnom i povratnom cjevovodu. Za filtraciju je mnogo prikladniji ujednačen protok fluida s minimalnim promjenama tlaka pa se stoga umjesto ove dvije vrste filtara nekad ugrađuju samostalni sustavi za filtraciju. Oni filtriraju fluid tako da ga uzimaju direktno iz spremnika pa nisu izloženi tim pojavama. Koriste se u sustavima gdje su radni uvjeti teški pa je stoga teško kvalitetno filtrirati fluid unutar glavnog sustava. Mogu se smjestiti gdje god je najprikladnije. Na njima se mogu promijeniti brzina protoka ili tip filtara bez ikakvog utjecaja na dizajn glavnog sustava, a zamjena dijelova se može bez problema obaviti tijekom rada glavnog sustava. Budući da su odvojeni od glavnog sustava, mogu obavljati filtraciju i dok on nije u radu i tako smanjiti količinu nečistoća koje dolaze do pumpe pri pokretanju.

Samostalni sustavi za filtraciju obično se sastoje od filtara, hidraulične pumpe i elektromotora. Pumpa ima filter na usisu i sigurnosni ventil.



Slika 10: Samostalni sustav za filtraciju

### 6.3. OCJENE FILTERA

Filterima su se u prošlosti davale nominalne i apsolutne ocjene po mikronima. Filter s nominalnom ocjenom od 15 mikrona bio je sposoban zaustaviti barem jednu česticu od 15 mikrona. Apsolutna ocjena filtera označavala je najveći promjer okrugle čestice koja može proći kroz njega u posebnim ispitnim uvjetima. Ove ocjene nisu bile dobar pokazatelj učinkovitosti filtera u uklanjanju tih čestica pa je zato osmišljen bolji način ocjenjivanja, sustav beta omjera. Beta omjer je omjer broja 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

Ako je omjer 1 to znači da filter nije zaustavio niti jednu česticu, ako je 80 to znači da od svakih 80 čestica koje dođu do filtera 79 od njih filter uspije zaustaviti, a jedna prođe kroz njega. Primjeri beta omjera za određene funkcije: za kontrolu taloženja  $B_3 = 200$ , za djelomičnu kontrolu taloženja  $B_5 = 200$ , za uklanjanje strugotina  $B_{25} = 200$ .

### 6.4. KAPACITET ZADRŽAVANJA FILTRA

Kapacitet zadržavanja filtera je količina čestica koje može zadržavati filter. Ta je vrijednost težina posebnih umjetnih čestica koja se mora dodati u fluid prije filtera da bi se dobio zadani diferencijalni tlak na cijeloj površini filtra u određenim uvjetima. Umjetne čestice se konstantnom brzinom ubacuju u sustav u kojem cirkulira ulje, a porast u diferencijalnom tlaku koji nastaje uspoređuje se s težinom čestica koje su dodane. Dobiva se krivulja koja je konstantna za zadani materijal od kojeg je napravljen filtera. Kapacitet zadržavanja filtera može se koristiti kao relativan pokazatelj radnog vijeka ako su sve druge varijable između strojeva koje uspoređujemo iste i konstantne. Dobar kapacitet zadržavanja je važan da bi vrijeme između zamjena bilo prihvatljivo. Filteri većeg kapaciteta zadržavanja imaju veću cijenu od filtera manjeg kapaciteta ali se ta razlika često vrlo brzo nadoknadi zbog rjeđe zamjene elemenata i smanjenih troškova fizičkog rada i zastoja.

## **6.5. KAPACITET FILTERA**

Proizvođači filtera korisnicima daju informaciju o protoku u GPM (galoni po minuti) ili u l/min za određene vrijednosti pada tlaka. Da bi se pravilno odabrala veličina filtera potrebna je i usporedba između nečistoća koje ulaze u filter i učinkovite površine filtera i maksimalni dopušteni pad tlaka zato što filteri koji se odabiru samo prema protoku obično imaju kratak radni vijek.

## **6.6. PAD TLAKA**

Početni i krajnji pad tlaka, odnosno razlika tlakova, vrlo je važna zato što se s povećanjem razlike tlakova povećava i potrošnja energije. Najveći pad tlaka kad je zaobilazni cjevovod otvoren trebao bi biti manji od tlaka pri kojem filter puca. Ta se vrijednost zove krajnji pad tlaka i obično iznosi 3 bara, a ovisi o snazi materijala i konstrukciji filtra. Vrijednosti pada tlaka koje proizvođači navode u svojim tablicama se određuju prema otporu koji filter pruža proticanju fluida zbog viskoznosti i kinetičkih pojava. Vrijednosti pada tlaka u radu pravih sustava ovise o mnogo više faktora kao što su: protok, temperatura, veličina filtera, propusnost materijala filtera, ograničenja kućišta i količina nečistoće koju zadržava filter.

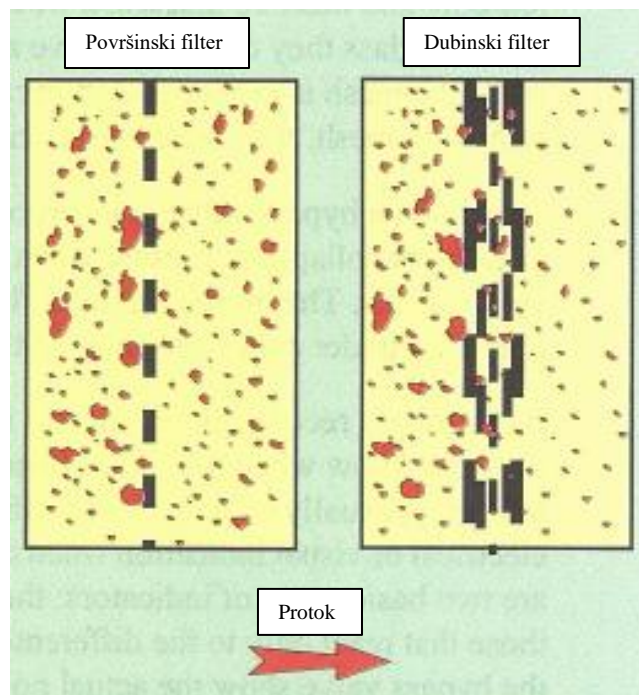
## **6.7. KOMPATIBILNOST FLUIDA**

Kod odabira filtera mora se paziti i na kompatibilnost s fluidom. Kompatibilnost se testira tako da se filter prvo uroni u fluid koji je temperature 15°C više od maksimalne temperature filtera, a drugi dio testiranja su testovi integriteta strukture.

## 7. KONSTRUKCIJA FILTERA

### 7.1. MATERIJALI ZA FILTRACIJU

Dvije glavne vrste materijala za filtraciju su upijajući i aktivni. Upijajući filteri mehanički sprečavaju prolaz nečistoća, a dijele se na površinske i dubinske. Površinski filteri služe za grubu filtraciju, odnosno filtraciju većih čestica, dok dubinski filtriraju sitnije čestice. Materijali koji se najviše koriste su celuloza, sintetička i staklena vlakna ili neka kombinacija tih materijala. Aktivni filteri kao što je ugljen izbjegavaju se kod hidrauličkih sustava zato što bi mogli upiti neke od važnih aditiva iz fluida.



Slika 11: Upijajući filteri

## 7.2. VRSTE ELEMENATA FILTRA

Najčešće se koristi element u obliku cilindra, a materijal za filtraciju je najčešće naboran da bi se dobila veća površina za filtraciju i veći kapacitet zadržavanja. Površinski filteri uzrokuju manje padove tlaka i lakše se čiste jer se čestice zadržavaju na površini. Veličina pora se može precizno kontrolirati i sve čestice veće od njih se zadržavaju na filteru. Žice od nehrđajućeg čelika vrlo su snažne i imaju dobru kemijsku i temperaturnu otpornost pa se često koriste za proizvodnju površinskih filtera. Obično se koriste za površinske filtere koji zadržavaju samo veće čestice, ali postoje i vrlo skupi filteri od žice koji mogu zadržati vrlo sitne čestice.

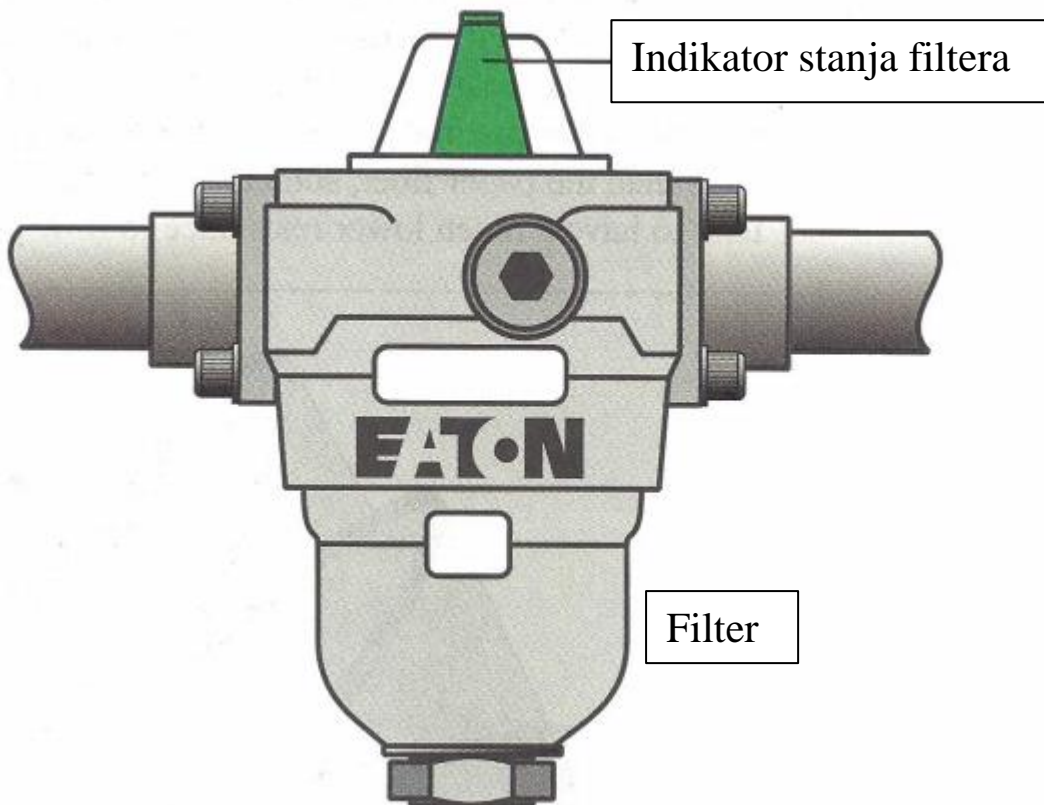
Za zadržavanje vrlo sitnih čestica obično se koriste dubinski filteri s naboranom površinom. Iako su vrlo tanki, naborani filteri od papira smatraju se dubinskim filterima. Ti filteri se proizvode od vlakana koja nisu pravilno raspoređena pa su i pore nepravilno raspoređene i stvaraju vijugave puteve. Više smetaju protoku fluida ali zadržavaju sitnije čestice, imaju veći kapacitet zadržavanja i nisu skupi. Mogu ukloniti i čestice manje od najveće pore zbog nepravilnosti u strukturi. Ne može ih se očistiti pa se odbacuju čim se prvi put napune prljavštinom. Slabiji su i manje otporni na temperaturu i kemijske promjene od mreže od nehrđajućeg čelika pa se stoga u njih ugrađuje mreža ako su u sustavu teži uvjeti rada.

Filteri za zadržavanje sitnih čestica najčešće su naborani i proizvode se od staklenih vlakana. Imaju jednoličniju strukturu i pore sličnijih veličina od papirnatih filtera. Staklo je inertno pa je mnogo otpornije na razne fluide i na prisustvo vode u fluidu. Vlakna stakla su mnogo tanja od vlakana papira pa pružaju manji otpor protoku fluida. Filteri od staklenih vlakana imaju i veći kapacitet zadržavanja u usporedbi s filterima od papira i površinskim filterima. Budući da mogu filtrirati manje čestice od filtera od papira bolji su po radnim troškovima, radnom vijeku dijelova sustava, filtera i fluida.



### 7.3. INDIKATORI STANJA FILTERA

U praksi se filteri uglavnom mijenjaju na osnovu radnih sati, što znači da se zamjena najčešće dogodi prerano ili prekasno. Kod prerane zamjene bacamo filter koji je još neko vrijeme mogao dobro izvršavati svoju funkciju, a kod prekasne dopuštamo da nečistoće stvaraju štetu u sustavu [3]. Indikatori stanja filtera služe za lakše praćenje stanja filtera radi pravovremene zamjene. Postoje dvije vrste, indikatori koji reagiraju samo na pad tlaka i oni koji su povezani s zaobilaznim ventilom filtera. Indikatori koji su povezani s zaobilaznim ventilom filtera prikazuju točnu poziciju zaobilaznog ventila i njegovo kretanje. Indikator koji reagira na pad tlaka obično je namješten na vrijednost koja je malo ispod one pri kojoj se otvara zaobilazni cjevovod. Kad pad tlaka na filteru dosegne tu vrijednost, indikator svjetlosnim ili električnim signalom informira korisnika da je filter pri kraju radnog vijeka. Neki od indikatora mogu i zaustaviti stroj dok se filter ne zamijeni.



Slika 12: Indikator stanja filtera

## 8. ZAKLJUČAK

Onečišćenje ulja u brodskim sustavima vrlo je važno kontrolirati zbog velikog broja raznih kvarova koji mogu nastati kao posljedica. Razina onečišćenja u sustavu može se smanjiti na razne načine od kojih su neki namijenjeni sprečavanju ulaska prljavštine, a drugi izdvajanju prljavštine iz fluida nakon što dospije u sustav. Čim je veća razina onečišćenja u sustavu tim će veća biti i količina čestica nečistoće koje sustav proizvodi kroz oštećenje površina, a smanjiti će se radni vijek svih dijelova koji su izloženi onečišćenom fluidu.

Potrebno je optimalno ulagati u kontrolu onečišćenja ulja tako da se ne gubi previše novca na popravku štete koju uzrokuje onečišćenje, ali niti na skupe uređaje ili dijelove koji ne bi pomogli dovoljno da opravdaju trošak. To je cilj provođenja raznih metoda mjerenja onečišćenja, određivanja željene razine čistoće, određivanja raznih karakteristika filtera itd.

## LITERATURA

- [1] Götz W. , 1998. g. , *Hydraulics. Theory and Applications*, 2. izdanje, Robert Bosch GmbH Automation Technology Division Training (AT/VSZ), OMEGA Fachliteratur, Ditzingen, Njemačka
- [2] Erickson, Tranberry, McGavin, Riggenbach, Poirier, Phadke , 2015. g. , *Industrial Hydraulics Manual - Your Comprehensive Guide to Industrial Hydraulics* , 6. izdanje , Eaton Corporation, Industrial Sector - Hydraulics group , Sjedinjene Američke Države
- [3] Bukša A. , Matić D. , Miculinić R. , 2012. g. , 'Kvarovi hidrauličnih sustava i uređaja brodskog pogona' , *Pomorstvo – Scientific Journal of Maritime Research* , Faculty of Maritime Studies Rijeka, University of Rijeka , God. 26 , Br. 1 , str. 201-213
- [4] Tireli E. , Orović J. , 2002. g. , 'Analiza kvarova brodskih porivnih sustava' , *Pomorski zbornik* , Udruga za proučavanje i razvoj pomorstva, Studentska 2, Rijeka , Vol. 40 , Br. 1 , str. 51-59

## **POPIS SLIKA**

Slika 1: Vrste abrazije	3
Slika 2: Kavitacija	4
Slika 3: S lijeva na desno: čestica veća od prolaza, čestica jednake veličine kao i prolaz, čestice manje od prolaza	6
Slika 4: Automatski brojač čestica koji koristi bijelu svjetlost	11
Slika 5: Profil čistoće	13
Slika 6: Filter za prozračivanje od 3 mikrona za spremnik fluida	15
Slika 7: Filter sa 100 slojeva na usisnom cjevovodu	17
Slika 8: Filter na tlačnom cjevovodu	18
Slika 9: Filter na povratnom cjevovodu	19
Slika 10: Samostalni sustav za filtraciju	20
Slika 11: Upijajući filteri	23
Slika 12: Indikator stanja filtera	25

## **POPIS TABLICA**

**Tablica 1: Primjer određivanja broja raspona**

12