

# Održavanje ulja u tehničkim sustavima

---

**Stipančić, Bojan**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2016**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:638905>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-08-17**



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
Karlovac University of Applied Sciences

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU  
STROJARSKI ODJEL  
Stručni studij Mehatronike

Bojan Stipančić

# **ODRŽAVANJE ULJA U TEHNIČKIM SUSTAVIMA**

ZAVRŠNI RAD

Karlovac, 2016.



VELEUČILIŠTE U KARLOVCU  
STROJARSKI ODJEL  
Stručni studij Mehatronike

Bojan Stipančić

# **ODRŽAVANJE ULJA U TEHNIČKIM SUSTAVIMA**

ZAVRŠNI RAD

Mentor: Dr.sc. Radoslav Korbar

Karlovac, 2016.



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
KARLOVAC UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES  
Trg J.J.Strossmayera 9  
HR-47000, Karlovac, Croatia  
Tel. +385 - (0)47 - 843 - 510  
Fax. +385 - (0)47 - 843 - 579



## VELEUČILIŠTE U KARLOVCU

Stručni / specijalistički studij: STROJARSTVA  
(označiti)

Usmjerenje: MEHATRONIKA

Karlovac, 25.02.2016.

### ZADATAK ZAVRŠNOG RADA

Student: BOJAN STIPANČIĆ

Matični broj: 0112610059

Naslov: ODRŽAVANJE ULJA U TEHNIČKIM SUSTAVIMA

Opis zadatka:

Načiniti pregled problematike korištenja i održavanja ulja u tehničkim sustavima. Detaljno opisati jednu izvedenu metodu održavanja ulja.

U radu je potrebno:

1. Dati pregled vrsta i karakteristika ulja koja se koriste u tehničkim sustavima,
2. Opisati izvore, oblike i posljedice onečišćenja uljnih sustava,
3. Dati pregled metoda filtracije ulja i njihovih karakteristika za različite vrste onečišćenja,
4. Opisati vrste uljnih filtara i filtarskih uređaja, njihove karakteristike i način primjene,
5. Detaljno proanalizirati i prikazati jedan postupak filtracije ulja na konkretnom primjeru iz prakse.

Zadatak zadan:

Rok predaje rada:  
obrane:

Predviđeni datum

25.02.2016.

23.06.2016.

28.06.2016.

Mentor:

Predsjednik Ispitnog povjerenstva:

Dr. sc. Radoslav Korbar

Dr. sc. Tihomir Mihalić

## **PREDGOVOR**

*Ovaj sam rad izradio samostalno, znanjem i vještinama stečenim tijekom studija, koristeći navedenu literaturu, te uređaje i stručne savjete tvrtke DOMES d.o.o.*

*Zahvaljujem svom mentoru dr.sc. Radoslavu Korbaru na uloženom znanju i vremenu, te na tehničkim smjernicama koje su oblikovale ovaj rad.*

*Također zahvaljujem predmetnim nastavnicima, kolegama studentima i prijateljima na potpori i podršci tijekom studiranja.*

Bojan Stipančić

## SAŽETAK

Onečišćenje ulja glavni je krivac za 70% svih nepravilnosti u radu uljnih sustava. Ono uzrokuje oštećenja čija su posljedice smanjenje pouzdanosti rada sustava, povećana potrošnja energije, smanjeni životni vijek komponenata. Djelovanje nečistoće u sustavu predstavlja izvor novog onečišćenja, pa se tako ovaj problem s vremenom eksponencijalno povećava. Kako bi se spriječile posljedice, nužna je zaštita odgovarajućim sustavom kontrole i upravljanja onečišćenjem ulja. Razvoj tehnike omogućio je precizne metode analize ulja i kategorizacije onečišćenja, a brojna istraživanja ukazuju na važnost kvalitetnog održavanja ulja u tehničkim sustavima. Osim pouzdanosti i dugovječnosti sustava, ove aktivnosti značajno doprinose zaštiti čovjekove okoline i smanjenju troškova održavanja.

Ključne riječi: uljni sustavi, održavanje ulja, filter ulja, filtracija, ekologija, analiza ulja, energija, krute čestice, voda u ulju

## SUMMARY

Contamination of oil causes 70% of all fault situations within oil systems. By damaging system components, it decreases the reliability of the system, increases energy consumption and shortens component's life expectancy. Contamination particles generate new particles over time, which exponentially increases the problem.

In order to prevent consequences, it is necessary to establish effective oil purity control. With new technologies enabling precise oil analysis and detailed classification of oil contamination, it is now confirmed that clean and well maintained oil is crucial the proper functioning of hydraulic systems.

Besides technical benefits, oil purification makes a great contribution to the environment protection and reducing maintenance costs.

Key words: oil systems, maintaining of oil, oil filter, oil filtration, ecology, oil analysis, energy, hard particles, water contamination of oil

**SADRŽAJ**

<b>PREDGOVOR</b> .....	<b>II</b>
<b>SAŽETAK</b> .....	<b>III</b>
<b>SADRŽAJ</b> .....	<b>IV</b>
<b>1. UVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>2. ULJE I ULJNI SUSTAVI</b> .....	<b>2</b>
2.1 HIDRAULIČKA ULJA [2] .....	2
2.2 TURBINSKA ULJA [3] .....	4
2.3 ULJA ZA PODMAZIVANJE [4] .....	6
<b>3. ODRŽAVANJE ULJNIH SUSTAVA</b> .....	<b>7</b>
3.1 ONEČIŠĆENJE ULJA [1] .....	9
3.1.1 Onečišćenje ulja krutim česticama .....	10
3.1.2 Onečišćenje ulja mekim česticama .....	11
3.1.3 Onečišćenje ulja vodom .....	12
3.1.4 Ostala onečišćenja ulja .....	13
3.2 GIBANJE ONEČIŠĆENJA U ULJNIM SUSTAVIMA .....	15
3.2.1 Gibanje čestica u cjevovodu [1] .....	15
3.2.2 Gibanje čestica u spremniku [1] .....	16
<b>4. KONTROLA KVALITETE ULJA</b> .....	<b>17</b>
4.1 OZNAČAVANJE RAZREDA ČISTOĆE ISO STANDARDOM .....	17
4.2 UZORKOVANJE [9] .....	19
4.3 ODREĐIVANJE PRISUTNOSTI KRUTIH ČESTICA U ULJU .....	21
4.4 ODREĐIVANJE PRISUTNOSTI VODE U ULJU [11] .....	23
<b>5. FILTRIRANJE ULJA</b> .....	<b>25</b>
5.1 FILTRIRANJE U SPOREDNOM KRUGU .....	28
5.2 FILTRIRANJE ULJA MOBILNIM FILTARSKIM UREĐAJEM [6] .....	29
5.3 VRSTE FILTARSKIH ELEMENATA .....	30
5.3.1 Radijalni filtarski elementi .....	31
5.3.2 Aksijalni filtarski elementi .....	32
<b>6. PRAKTIČNI PRIMJER FILTRIRANJA VODE IZ ULJA</b> .....	<b>33</b>
<b>7. ZAKLJUČAK</b> .....	<b>38</b>
<b>8. LITERATURA</b> .....	<b>39</b>
<b>9. PRILOZI</b> .....	<b>40</b>
9.1 POPIS SLIKA .....	40
9.2 POPIS TABLICA .....	41



## **1.UVOD**

Onečišćenost ulja u uljnim sustavima sveprisutna je pojava, a nastaje već i samim uvođenjem potpuno novog, ali nefiltriranog ulja u sustave.

Ovisno o svojoj namjeni, na različite medije postavljaju se različiti zahtjevi. Ulja u automobilskim motorima, reduktorskim prijenosnicima, rashladnim kompresorima i sličnim uređajima služe kao mazivo. Ulja u hidrauličkim sustavima strojeva namijenjena su prijenosu sila.

Nečistoća je prvi neprijatelj svih uljnih sustava, a uzrokuje više od 70% grešaka u radu.

Kako bi se spriječile posljedice onečišćenja na sustav, nužan je adekvatan i redovit nadzor razine onečišćenja i svojstava ulja.

Uvođenjem programa za održavanje i analiziranje radnog medija potencijalne se opasnosti pravovremeno otkrivaju, a daljnja korektivna djelovanja na temelju tih saznanja omogućuju znatno duži nesmetani rad sustava.

Ovakav program može se uspostaviti interno - nabavkom potrebne opreme i osposobljavanjem radnika, ili ugovaranjem posla sa specijaliziranom tvrtkom.

## 2. ULJE I ULJNI SUSTAVI

Uljni sustav podrazumijeva ulje kao radni medij, uljni spremnik i cjevovode, ali i sve ostale komponente koje imaju izravni kontakt s radnim medijem. U uljnim sustavima ulje može biti podmazivački, rashladni ili energijski medij. Osim ovih osnovnih zadataka, ulje ima i sekundarnu zadaću – ispiranje i uklanjanje onečišćenja iz kritičnih dijelova sustava. Iz tog razloga, analizom ulja moguće je doći do vrijednih informacija o stanju i procesima u ulju, odnosno radnom sustavu. Onečišćenje ulja podrazumijeva, osim čvrstih čestica i otopljene tvari, i različite oblike energija ako su prisutne u količinama ispod ili iznad dopuštenih granica. [1]

U radnim sustavima ulje može imati različite funkcije. Svaka od tih namjena zahtjeva posebnu naglašenost određenih svojstava i karakteristika. Sposobnost podmazivanja, odvođenja topline, električna vodljivost, odnosno električni otpor, stlačivost, temperaturna stabilnost... samo su neke od glavnih karakteristika ulja. S obzirom na posebne zahtjeve određenih radnih uvjeta, razvile su se i posebne skupine ulja. Najzastupljenije su sljedeće skupine:

- hidraulička ulja
- turbinska ulja
- ulja za podmazivanje
- motorna ulja
- elektroizolacijska ulja
- ulja za prijenos topline

U daljnjem tekstu pažnju ćemo posvetiti najčešćim uljima u tehnici, a to su upravo hidraulička, turbinska i ulja za podmazivanje

### 2.1 Hidraulička ulja [2]

Hidrauličko ulje radni je medij hidrauličkih sustava. Osnovna mu je namjena prijenos energije od hidrauličke pumpe do hidrauličkog motora (hidraulički aktuator). Pravilan odabir ulja ima bitan utjecaj na ispravan rad, trajnost, pouzdanost i ekonomičnost hidrauličkog sustava.

Uz osnovnu namjenu, istovremeno služi i za podmazivanje, hlađenje, zaštitu od korozije i odnošenje nečistoća.

Glavne karakteristike hidrauličkog ulja su:

- neznatna stlačivost
- sposobnost podmazivanja
- mala promjena viskoznosti s temperaturom

- otpornost na visoka toplinska opterećenja
- mala sklonost oksidaciji
- mala sposobnost upijanja plinova
- mala sklonost stvaranju pjene
- nehigroskopsnost (ne upijanje vlage)
- postojanost karakteristika tijekom starenja
- netoksičnost i ekološka prihvatljivost
- neagresivnost odnosno kompatibilnost sa materijalima dijelova
- nezapaljivost (visoka temperatura paljenja)
- visok električni otpor
- niska cijena i niski troškovi održavanja

Klasifikacija hidrauličkih ulja prema normi ISO 6743/4:

HH	neinhibirano rafinirano mineralno ulje
HL	rafinirano mineralno ulje s dodatkom aditiva protiv oksidacije i za zaštitu od korozije
HM	svojstva ulja HL s poboljšanim svojstvima protiv trošenja
HR	svojstva ulja HL s dodatkom aditiva za poboljšanje indeksa viskoznosti
HV	svojstva ulja HM s dodatkom aditiva za poboljšanje indeksa viskoznosti
HG	svojstva ulja HM s antistatic-slip svojstvima
HS	sintetička teško zapaljiva tekućina
HF	teško zapaljive tekućine s vodom
HFAE	emulzija ulja u vodi ili vodena otopina koja sadrži maksimalno 20% gorivog materijala
HFAS	otopina kemikalija s minimalno 80% vode
HFB	emulzija vode uz ulju s maksimalno 20% gorivog materijala
HFC	vodena otopina s aditivom za povećanje viskoznosti i minimalno 35% vode
HFD	teško zapaljive tekućine bez vode
HFDR	sintetička tekućina na bazi fosfat-estera
HFDS	sintetička tekućina na bazi kloriranih ugljikovodika
HFDT	mješavina tekućina HFDR i HFDS
HFDU	teško zapaljiva tekućina drugog sastava

## 2.2 Turbinska ulja [3]

Turbine pretvaraju energiju pare, vode ili plina u mehanički rad. U svome radu najčešće koriste ulja mineralne osnove. Osnovna namjena turbinskih ulja je podmazivanje ležaja i zupčastih prijenosnika turbine, zatim odvođenje topline, sprečavanje trenja i habanja, zaštita od korozije. Često se koriste u ulozi hidrauličkih ulja, kao radni medij za prijenos snage u upravljačkim sustavima turbina.

Glavne karakteristike turbinskog ulja su:

- visoka oksidacijska otpornost
- sposobnost podmazivanja
- sposobnost izdvajanja vode
- toplinska stabilnost
- dobre filtracijske karakteristike
- mala sklonost stvaranju pjene

Spremnik ulja može sadržavati od 450 litara do 100 000 litara ulja, a temperatura u spremniku je između 50 °C i 75 °C. Životni vijek turbinskih ulja je vrlo dug (dugi niz godina), zato je nužan poseban oprez pri odabiru ulja. Turbinska ulja ne smiju sadržavati aditive za poboljšavanje indeksa viskoznosti.

Klasifikacija turbinskih ulja prema ISO standardu:

ISO L-TSA	Mineralno ulje koje se koristi u parnim turbinama za proizvodnju energije, u industrijskim i brodskim pogonima, gdje se ne zahtijeva povećana sposobnost podnošenja opterećenja na zupčasti prijenos
ISO L-TGA	Mineralno ulje koje se koristi u plinskim turbinama za proizvodnju energije, u industrijskim i brodskim pogonima, gdje se ne zahtijeva povećana sposobnost podnošenja opterećenja na zupčasti prijenos
ISO L-TSE	Mineralno ulje koje se koristi u parnim turbinama za proizvodnju energije, u industrijskim i brodskim pogonima, gdje se zahtijeva povećana sposobnost podnošenja opterećenja na zupčasti prijenos (EP svojstva)
ISO L-TGE	Mineralno ulje koje se koristi u plinskim turbinama, kontrolnim, industrijskim i brodskim pogonima, gdje se za zupčasti prijenos zahtijeva povećana sposobnost podnošenja opterećenja (EP svojstva)

ISO L-TGB	Mineralno ulje koje se koristi u plinskim turbinama za proizvodnju energije, u industrijskim i brodskim pogonima, gdje se zahtijeva otpornost prema visokoj temperaturi na mjestima pregrijavanja
ISO L-TGC	Sintetičko ulje koje se koristi u plinskim turbinama, pogonima i kontrolnim sustavima koji su sa njima povezani gdje se od ulja zahtijeva visoka oksidacijska stabilnost i dobra svojstva na niskim temperaturama
ISO L - TGSB	Ulje za plinske i parne turbine gdje se zahtijeva veća otpornost prema višim temperaturama ulja
ISO L - TGF	Mineralno ulje za plinske turbine gdje se zahtijeva otpornost prema višim temperaturama i povećane sposobnosti podnošenja opterećenja (EP svojstva)
ISO L - TGSE	Ulje za plinske i parne turbine gdje se zahtijeva veća otpornost prema višim temperaturama i boljim EP svojstvima ulja
ISO L - TGCH	Sintetičko turbinsko ulje za visoke radne temperature
ISO L - TGCE	Turbinsko ulje za visoke radne temperature, naročito aviona
ISO L - THA	Turbinsko ulje za normalne temperature rada i za rubne i mješovite načine podmazivanja
ISO L - THE	Turbinsko ulje za normalne temperature rada, za rubne i mješovite načine podmazivanja sa povišenim otpornostima na opterećenje (EP svojstva)
ISO L - TSC	Sintetičko ulje koje se koristi u parnim turbinama, pogonima i kontrolnim sustavima koji su sa njima povezani, gdje se od ulja zahtijeva visoka oksidacijska stabilnost i dobra svojstva na niskim temperaturama
ISO L - TSD	Nezapaljivo sintetičko ulje na bazi fosfatnih estera koje se koristi u parnim turbinama i pratećim kontrolnim sustavima
ISO L - TGD	Nezapaljivo sintetičko ulje na bazi fosfatnih estera koje se koristi u plinskim turbinama i pratećim kontrolnim sustavima koji su sa njima povezani
ISO L - THCH	Turbinska biorazgradiva ulja na bazi polialfaolefina
ISO L - THCE	Turbinska biorazgradiva ulja na bazi estera

### 2.3 Ulja za podmazivanje [4]

Ulje za podmazivanje od presudne je važnosti u svim tehničkim sklopovima gdje postoji međusobno gibanje elemenata (motori s unutarnjim izgaranjem, klizni dijelovi alatnih strojeva, sve vrste ležajeva). Uz smanjenje trenja gibanja, zadaća ulja za podmazivanje je i hlađenje, sprečavanje korozije te odnošenje nečistoća iz kontaktnog područja.

Pod pojmom ulja za podmazivanje podrazumijevaju se sve vrste materijala za smanjenje trenja u tekućem obliku. Sastoje se od kombinacije baznog ulja i dodataka koji osiguravaju određene karakteristike.

Glavne karakteristike ulja za podmazivanje su:

- visoka oksidacijska otpornost
- otpornost na starenje
- sposobnost podmazivanja
- toplinska stabilnost (pri niskim i visokim temperaturama)
- dobre filtracijske karakteristike
- mala sklonost stvaranju pjene

Odabir vrste ulja za podmazivanje prvenstveno ovisi od potrebne viskoznosti da bi se stvorio dovoljno debeo hidrodinamički film na normalnoj radnoj temperaturi. Viskoznost ulja pada s porastom temperature. Viskoznost ili unutarnje trenje je trenje nastalo pri strujanju fluida zbog različite brzine gibanja njegovih slojeva, a uzrok su mu međumolekulske kohezijske sile u fluidu i adhezijske sile između fluida i krutog tijela kroz koje se strujanje odvija.

U slučaju prevelike viskoznosti ulja, stvaraju se gubitci energije kao posljedica povećanog otpora.

Koriste se 3 metode označavanja viskoziteta, od kojih 2 imaju primjenu u automobilskoj industriji (SAE –Society of Automotive Engineers, ASTM), dok je standard za industrijska ulja nastao kao rezultat suradnje ASTM-a i STLE (Society of Tribologists and Lubrication Engineers).

Iako se u početku viskozitet označavao na 100°F , kasnije je u svrhu međunarodne standardizacije promijenjen, pa sada označava viskozitet na 40°C. Ovaj se standard sada pojavljuje kao ASTM Standard D, DIN No.51519, te ISO 3448.

### 3. ODRŽAVANJE ULJNIH SUSTAVA

Održavanje podrazumjeva skup aktivnosti kojih je zadatak osigurati nesmetani rad radnog sustava u što dužem vremenskom razdoblju. Dobro organiziran i implementiran program održavanja minimizira broj intervencija i prekida proizvodnje, produžuje srednje vrijeme između kvarova i značajno produljuje životni vijek svih komponenata uljnog sustava.

Koristi redovitog održavanja:

- Direktne
  - smanjenje troškova proizvodnje
  - smanjenje vremena ispada opreme
  - povećana sigurnosti imovine i okoliša
  
- Indirektne
  - povećanje morala osoblja
  - povećanje stručnosti
  - povećanje produktivnosti

Velik dio učinkovitog **preventivnog pregleda i održavanja** obuhvaćen je sljedećim koracima:

- vizualna kontrola uljnog sustava ( kontrola vodova i nepropusnosti sustava)
- kontrola radnih tlakova
- kontrola stanja filtarskih elemenata

Međutim, pošto servisiranje ispravnih komponenti predstavlja nepotreban trošak, ekonomičnije je **održavanje na osnovi predviđanja**. Ova se metoda oslanja na primjenu instrumenata kao što su monitori za praćenje vibracija, termografi, ferografi, itd. Pomoću ovih informacija moguće je u realnom vremenu postići visoku efikasnost u nagovještaju simptoma grešaka koje prijete. Značajna prednost ove metode je mogućnost ranijeg upozorenja koje može smanjiti broj katastrofalnih kvarova.

Nedostatak ove metode je nemogućnost ugradnje instrumenata u određene sustave, odnosno previsoka cijena novorazvijenih instrumenata.

Alternativa je **aktivno održavanje**-ono usmjerava pozornost na korijen uzročnika greške, a ne samo na simptome. Tu dolazi do izražaja važnost analize ulja kao radnog medija u uljnim sustavima, jer nam njegovo stanje otkriva mnogo o stanju sustava (porijeklo, oblik i materijal čestica nečistoće).

Odabir optimalnog programa održavanja i kontrole stanja za pojedino postrojenje, odvojeni sustav ili dio opreme izravno ovisi o sljedećim faktorima:

- utjecaj kvara na sigurnost
- utjecaj kvara na produktivnost i profitabilnost (trošak neproizvodnje + trošak popravka, odnosno zamjene opreme)
- troškovi preventivnog održavanja
- učestalost kvarova
- očekivani životni vijek opreme
- mogućnost predviđanja kvara
- kvalificiranost osoblja za održavanje
- dostupnost informacija o pouzdanosti opreme

Iako proaktivno održavanje mnogi smatraju korisnim, ali ne i financijski opravdanim, višegodišnjim praćenjem rezultata proaktivnog održavanja utvrđeno je da se njime ostvaruju izravne financijske uštede od oko 25% u odnosu na ostale načine održavanja sustava. [5]



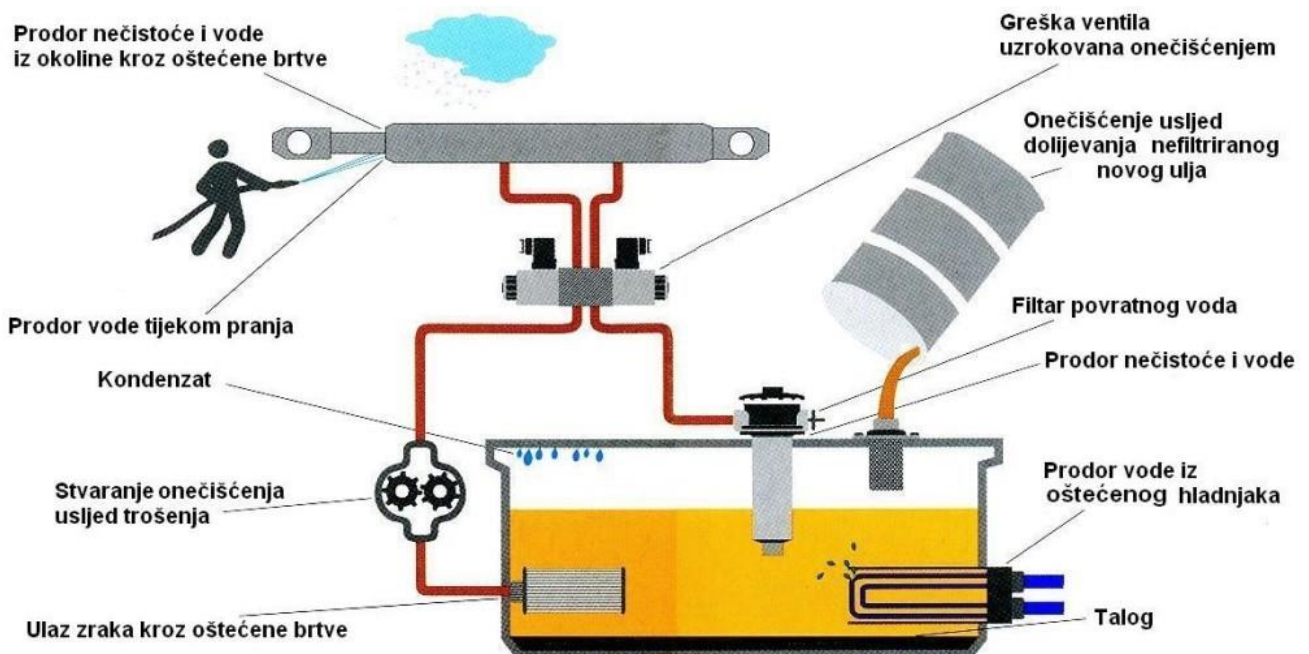
### 3.1 Onečišćenje ulja [1]

Onečišćenjem ulja smatra se svaki višak ili manjak tvari i/ili energije koja ima nepovoljan utjecaj na rad i pouzdanost uljnog sustava.

Uljni sustav podrazumijeva ulje kao radni medij, uljni spremnik i cjevovode, ali i sve ostale komponente koje su u kontaktu s radnim medijem.

Mogući izvori onečišćenja (Slika 1) su:

- proizvodnja
- montaža
- održavanje
- radni proces

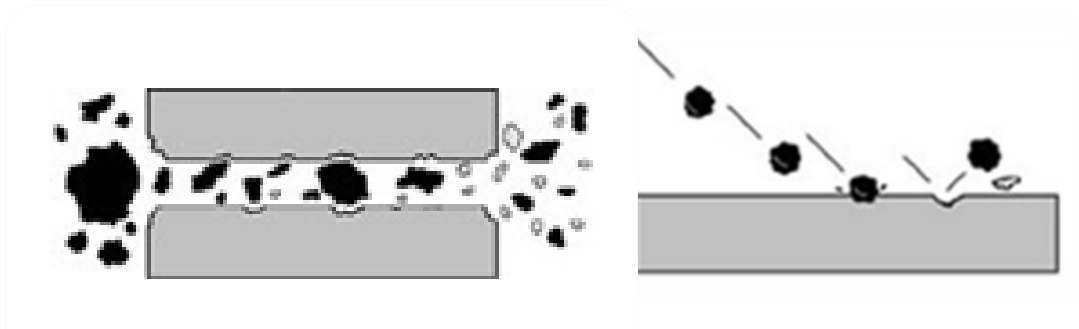


Slika 1. Izvori onečišćenja u uljnom sustava [6]

### 3.1.1 Onečišćenje ulja krutim česticama

Onečišćenje ulja krutim česticama nastaje ili unutar samog sustava (metalne krhotine generirane unutar uljnog sustava), ili u uljni sustav dolazi izvana (okolišne nečistoće krutih anorganskih čestica ).

Krute čestice putuju hidrauličnim sustavom pod visokim tlakom i velikom brzinom i oštećuju njegove komponente (pumpe, ventile, brtve i cilindre). Posebno su štetne čestice jednake ili manje od iznosa zračnosti pomičnih komponenata ( $<5\mu\text{m}$ ). One prolaze i kroz najuže dijelove sustava te uzrokuju oštećenja na jednoj ili obje površine (Slika 2.)



Slika 2. Mehaničko djelovanje krutih čestica u uljnom sustavu [7]

Dodatno, metali su vrlo aktivni katalizatori i ubrzavaju oksidaciju ulja. Proces oksidacije neutralizira se antioksidacijskim aditivima, koji procesom polimerizacije prijanjaju na površinu metala te tako onemogućuju izravan dodir ulja i metala. Međutim, nove metalne čestice zahtijevaju stalnu neutralizaciju, što znači da pada zasićenost ulja aditivom. Ubrzanim razvojem ovakvoga stanja ulje naglo počinje gubiti svoja fizikalna i kemijska svojstva (slika 3). Tada kao jedino rješenje preostaje izmjena ulja.



Slika 3. Vrlo onečišćeno, onečišćeno i čisto ulje

### 3.1.2 Onečišćenje ulja mekim česticama

Kao posljedica onečišćenja mekim česticama u uljnom sustavu stvara se talog i viskozni film (tanak, netopljiv film, koji s vremenom nastaje na unutarnjim površinama hidrauličkog sustava). Kontakt ulja sa vodom, zrakom, ili katalizatorima (čestice metala) ubrzava nastanak onečišćenja.

Činjenica je da je nastajanje uljnog taloga i viskoznog filma prisutno u gotovo svim vrstama hidrauličkih sustava. Budući da ova onečišćenja spadaju **u meka onečišćenja, ne bivaju mjerena tijekom uljnih analiza.**

Stoga, mnogi operateri nisu svjesni njihove prisutnosti u sustavu.

Posljedice onečišćenja mekim česticama:

- povećano trošenje  
(viskozni film hvata krute čestice stvarajući abrazivnu površinu koja ubrzava trošenje)
- smanjeno djelovanje izmjenjivača topline  
(stvara se sloj koji ima izolacijsko djelovanje)
- blokiranje filtara  
(viskozni film je tanka, netopljiva supstanca, pa zbog toga ostaje uhvaćena u porama filtra, brzo ih zatvarajući. To dovodi do smanjenja protoka, odnosno povećanja tlaka, što sa posljedicu ima usporavanje procesa, pojavu kavitacije i veću potrošnju energije)
- blokada ventila ili neispravan rad
- smanjenje zračnosti sa posljedicom smanjenog podmazivanja
- korozija sustava
- učestalo održavanje



Slika 4. Uljni talog

### 3.1.3 Onečišćenje ulja vodom

Konstantne promjene u temperaturi uzrokuju kondenzaciju vlage iz zraka. Ovo je najčešći razlog pojave vode u uljnom sustavu. Prisutnost vode značajno utječe na starenje ulja i pojavu oksidacije, osobito uz prisutnost katalizatora poput bakra (CU) ili željeza (FE).

**Prisutnost vode u uljnom sustavu može smanjiti životni vijek komponenata sustava i za 50%.**

Tolerancije u modernoj tehnologiji su obično toliko male, da pomični dijelovi uzrokuju nastanak pretlaka i vakuuma. U vakuumu, voda drastično ekspanzira, stvarajući pritom oštećenja na površinama sustava.

Moramo razlikovati prisutnost slobodne vode u ulju od one otopljene. Iako otopljena voda u ulju ne predstavlja izravni problem, promjenom tlaka ili temperature u sustavu vrlo lako može doći do pojave slobodne vode.

Prekomjerno onečišćenje ulja vodom ( pojava slobodne vode) uzrokuje:

- Ubrzano starenje i oksidaciju ulja
- pojavu korozije na elementima sustava
- pjenjenje ulja
- smanjenje debljine uljnog filma
- smanjenje izolacijskih svojstava ulja
- kemijsku razgradnju
- stvaranje taloga

Svi ti problemi mogu se izbjeći ili značajno smanjiti redovitom ili kontinuiranom kontrolom vode u sustavu.

Iako svako ulje, ovisno o svojim karakteristikama, ima sposobnost sadržavati veći ili manji postotak otopljene vode, pojavu slobodne vode nužno je spriječiti.

### 3.1.4 Ostala onečišćenja ulja

Kemijsko onečišćenje posljedica je stranih tvari koje izazivaju promjenu kemijskog sastava ulja. Najčešći oblik kemijskog onečišćenja je korozija. Voda i zrak mijenjaju strukturu sastojaka ulja i uzrokuju koroziju, pa su jasni predstavnici kemijskog onečišćenja.

Do kemijskog onečišćenja može doći i u slučaju punjenja spremnika drugom vrstom ulja, kada dolazi do kemijske reakcije među aditivima.

Zrak, kao i voda, u ulju može biti prisutan na dva načina- otopljen ili u slobodnom stanju. Otopljeni zrak ne stvara probleme u hidrauličkom sustavu, ali padom tlaka dolazi do oslobađanja zračnih mjehurića čije posljedice mogu biti:

- nekontrolirani rad sustava
- gubitak podmazivačkih svojstava
- viša razina buke
- više radne temperature
- pjenjenje ulja
- povećanje oksidacijske brzine
- kavitacija

Onečišćenje mikroorganizmima posebno je prisutno kod sve popularnijih ekoloških medija (hidraulički mediji na osnovi vode). Mikroorganizmi u uljnom sustavu uzrokuju koroziju nehrđajućeg čelika, začepljenje filtara i cjevovoda.

Onečišćenje energijom, iako se često zanemaruje, u uljnom sustavu može biti prisutno u nekoliko oblika, a prepoznaje se analizom učinaka na sustav.

Najčešći oblici energije koji onečišćuju uljni sustav su:

#### a) Toplinska energija

Previsoka temperatura ulja uzrokuje:

- oštro padanje viskoziteta ulja
- promjenu podmazivačkog sloja
- pojačano trošenje komponenata uljnog sustava
- ubrzavanje trošenja brtvi i stvaranje brtvenog materijala
- kemijsku degradaciju ulja

b) Mehanička energija

Očituje se prevelikim ili premalim tlakom, a može uzrokovati:

- kavitaciju
- eroziju ventila
- prenisku dobavnu količinu ulja
- povećanje buke
- uljnu napuklinu (eng. cracking)

c) Zračenje

Prenosi se od okoline na sustav, ili sa sustava na okolinu, a utjecaji na sustav mogu bit sljedeći:

- pad viskoznosti u početku, a zatim rast
- povećanje kiselosti ulja
- povećanje hlapivosti ulja
- pojačanje pjenjenja ulja
- pojava karbonizacije
- spuštanje plamišta

Kod mineralnih ulja uzrokuje oslobađanje vodika i metana, stvaranje nakupina gela koji blokira filtre, što za posljedicu ima nepouzdan rad sustava

d) Električna energija

Može uzrokovati požar, eksploziju i oštećenje komponenti uljnog sustava

e) Magnetizam

Može izazvati poremećaje pri podmazivanju u uljnom sustavu

### 3.2 Gibanje onečišćenja u uljnim sustavima

Ukoliko se ne uklone, čestice nečistoća putuju sa uljem, a utjecajem gravitacije, s vremenom nastaju talozi. Iznenadna promjena strujanja može povući nataložene čestice koje tako mogu ući u osjetljive dijelove uljnog sustava. Pri tom može doći do blokade, zračnosti i trošenja površina.

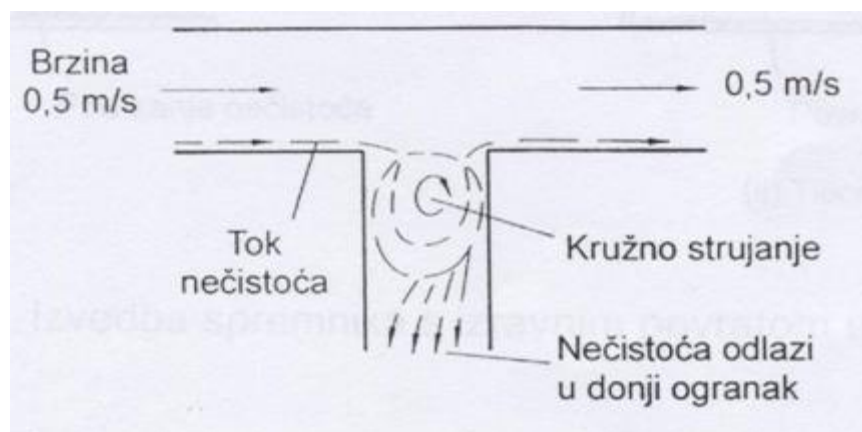
Ispitivanja gibanja čestica pokazuju da je slijeganje čestica ovisno o viskoznosti ulja. Niža viskoznost za posljedicu ima brže slijeganje. Kako se onečišćenja uglavnom sliježu za vrijeme prekida rada, najveća opasnost oštećivanja je upravo pri puštanju sustava u rad.

Možemo razlikovati gibanje čestica u cjevovodima od onog u spremnicima ulja

#### 3.2.1 Gibanje čestica u cjevovodu [1]

Uljni sustavi normalno imaju i okomito postavljene ogranke cjevovoda. Smjer ogranaka bitno utječe na kretanje čestica nečistoće.

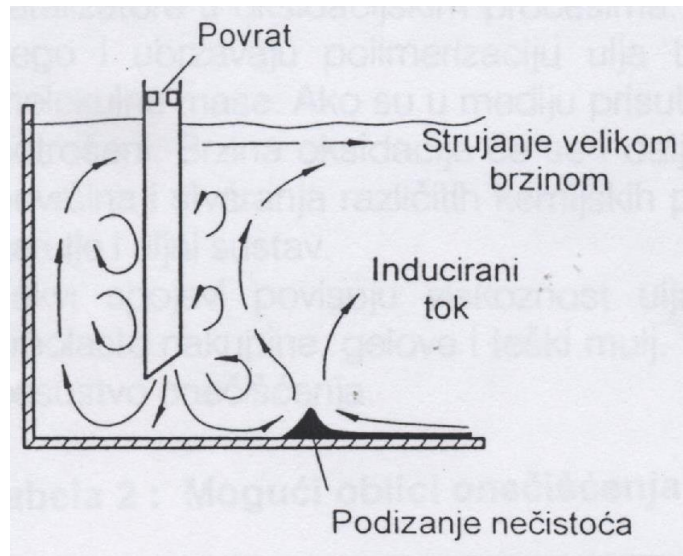
Ispitivanjima je utvrđeno da se, kod ogranaka koji idu prema dolje, čestice pri brzini od 0.5 m/s dijele u dvije struje, a najveći dio čestica ulazi u ogranak. Povećanjem brzine protoka na 2 m/s sprječava se ulazak onečišćenja u ogranak (slika 5).



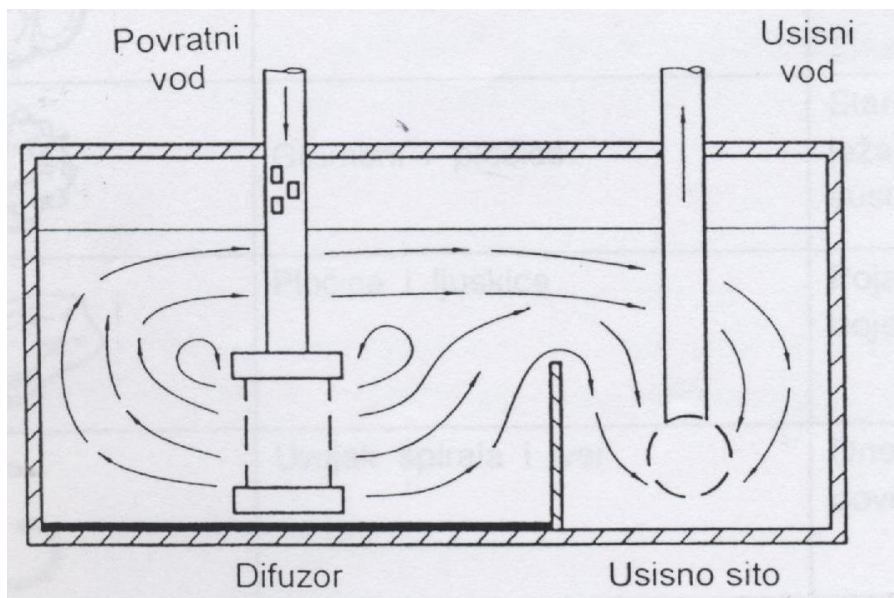
Slika 5. Gibanje čestica u cjevovodu

### 3.2.2 Gibanje čestica u spremniku [1]

Pri konstrukciji spremnika bitno je osigurati da nataložene čestice mogu takve i ostati, tj. spriječiti mogućnost da ih strujanje povuče u glavni radni tok. Spremnik na slici 6 predstavlja značajan rizik od iznenadnih začepljenja, za razliku od unaprijedene verzije spremnika na slici 7.



Slika 6. Izvedba spremnika s izravnim povratom ulja



Slika 7. Unaprijeđena konstrukcija spremnika ulja



## 4. KONTROLA KVALITETE ULJA

### 4.1 Označavanje razreda čistoće ISO standardom

ISO standard za označavanja razreda čistoće koristi se za količinski prikaz onečišćenja po mililitru tekućine reprezentativnih veličina krutih čestica (4 $\mu$ m, 6 $\mu$ m, 14 $\mu$ m). Oznaka se uvijek sastoji od 3 broja (npr. 15/14/12), gdje se svaki od brojeva odnosi na određenu skupinu čestica onečišćenja. Tako broj 15 predstavlja količinu svih čestice jednakih ili većih od 4 $\mu$ m (160-320 ppm), broj 14 odnosi se na čestice jednake ili veće od 6 $\mu$ m, a broj 12 na čestice jednake ili veće od 14 $\mu$ m. [8]

Bitno je uočiti da se sa svakim jediničnim porastom oznake količina čestica udvostručava (Tablica 1).

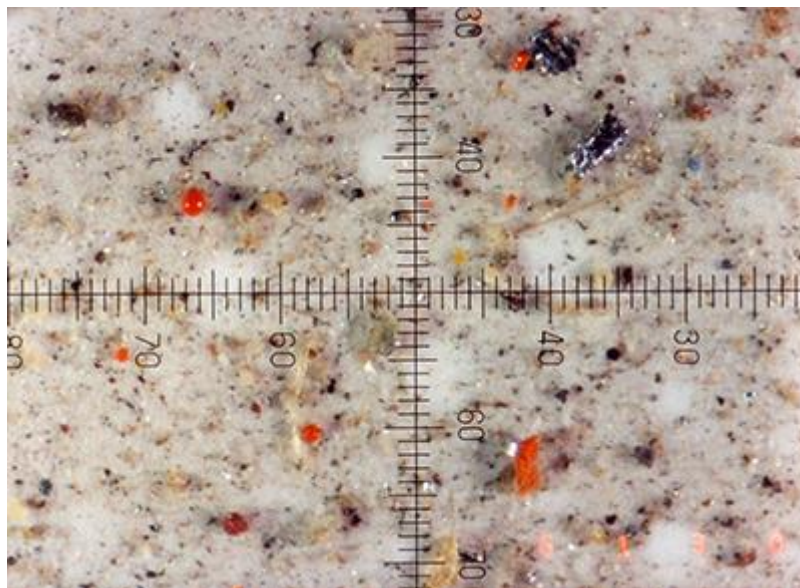
Tablica 1. Označavanje razreda čistoće ulja - ISO 4406 [8]

ISO 4406 STANDARD			VELIČINA ČESTICA	ČESTICE PO MILILITRU	ISO 4406 PODRUČJE RAZREDA	ISO OZNAKA
OZNAKA RAZREDA	ČESTICE PO MILILITRU					
	VIŠE OD	DO / UKLJUČUJUĆI				
24	80000	160000	4 $\mu$ m <sub>fc</sub>	151773	80000~160000	24
23	40000	80000	4.6 $\mu$ m <sub>fc</sub>	87210		
22	20000	40000	6 $\mu$ m <sub>fc</sub>	38363	20000~40000	22
21	10000	20000	10 $\mu$ m <sub>fc</sub>	8229		
20	5000	10000	14 $\mu$ m <sub>fc</sub>	3339	2500~5000	19
19	2500	5000	21 $\mu$ m <sub>fc</sub>	1048		
18	1300	2500	38 $\mu$ m <sub>fc</sub>	112		
17	640	1300	68 $\mu$ m <sub>fc</sub>	2		
16	320	640				
15	160	320				
14	80	160				
13	40	80	4 $\mu$ m <sub>fc</sub>	69	40~80	13
12	20	40	4.6 $\mu$ m <sub>fc</sub>	35		
11	10	20	6 $\mu$ m <sub>fc</sub>	7	5~10	10
10	5	10	10 $\mu$ m <sub>fc</sub>	5		
9	2.5	5	14 $\mu$ m <sub>fc</sub>	0.4	0.32~0.64	6
8	1.3	2.5	21 $\mu$ m <sub>fc</sub>	0.1		
7	0.64	1.3	38 $\mu$ m <sub>fc</sub>	0.0		
6	0.32	0.64	68 $\mu$ m <sub>fc</sub>	0.0		

Uobičajno je da novo ulje bude razreda čistoće 25/22/19, što nije primjereno za hidrauličke sustave. Dobar cilj za čistoću novog ulja je razred čistoće 16/15/12 (slika 8).



Slika 8. Prikaz razine onečišćenja za pojedine razrede čistoće u  $\mu\text{m}$



Slika 9. Novo ulje 25/22/19, skala izražena u  $\mu\text{m}$  [7]

Iz ovoga je vidljivo da i novo ulje predstavlja potencijalno kritično onečišćenje sustava, pa osim analize ulja u sustavu, potrebno je voditi računa i o čistoći novog ulja !

## 4.2 Uzorkovanje [9]

Postoje 4 metode uzorkovanja ulja. Metoda 1 je najbolji izbor, zatim metoda 2. Metoda 3 koristi se samo onda kada ne postoji mogućnost uzimanja uzorka izravno iz cijevi, a metoda 4 samo onda kada su sve ostale nepraktične.

Uzorci se nikada ne uzimaju na ispusnom ventilu spremnika.

Uvijek uzimati uzorke u najčišćim mogućim uvjetima, koristeći potpuno čiste boce za uzorak.

### Metoda 1—uzorkovanje sa ventila za uzorkovanje

1. Pokrenuti sustav na barem 30 min prije uzimanja uzorka, kako bi se čestice jednoliko rasporedile.
2. Otvoriti ventil za uzorkovanje i ispustiti minimalno 1 litru ulja kroz ventil. Ne zatvarati ventil nakon ispuštanja.
3. Pri otvaranju boce za uzorke, posebno paziti da se ne onečisti.
4. Napuniti bocu do pola, time isprati bocu, pa ju isprazniti.
5. Ponoviti korak 4 još jednom, ventil svo vrijeme ostaje otvoren.
6. Napuniti bocu na  $\frac{3}{4}$  zapremnine. Odmah zatvoriti bocu.
7. Zatvoriti ventil. UPOZORENJE: Ne dirati ventil tijekom uzimanja uzorka !
8. označiti uzorak podacima o sustavu, zatim pohraniti uzorak na način prikladan za transport.

### Metoda 2—uzorkovanje sa ventila gdje ne znamo reprezentativno stanje ulja

1. Pokrenuti sustav na barem 30 min prije uzimanja uzorka, kako bi se čestice jednoliko rasporedile.
2. Otvoriti ventil za i ispustiti minimalno 3 - 4 litre ulja kroz ventil (najbolje spojiti izlaz ventila savitljivim crijevom natrag u spremnik). Ne zatvarati ventil nakon ispuštanja.
3. Nakon ispiranja ventila, odvojiti povratno crijevo (bez zatvaranja protoka na ventilu) . Uzeti uzorak prema koracima 4-6 Metode 1.
4. Zatvoriti ventil. UPOZORENJE: Ne dirati ventil tijekom uzimanja uzorka !
5. označiti uzorak podacima o sustavu, zatim pohraniti uzorak na način prikladan za transport.

### Metoda 3–uzorkovanje iz spremnika (kada su nemoguće metode 1. i 2.)

1. Pokrenuti sustav na barem 30 min prije uzimanja uzorka, kako bi se čestice jednoliko rasporedile.
2. Očistiti područje ulaza u spremnik.
3. Isprati crijevo vakuumske pumpe za uzorkovanje filtriranom ( $0.8\mu\text{m}$ ) otopinom kako bi se uklonile moguće nečistoće.
4. Pažljivo uroniti crijevo na pola dubine ulja. Paziti da crijevo ne dodiruje stijenke ili pregrade spremnika.
5. Bocu isprati uljem 2-3 puta.
6. Napuniti bocu na  $\frac{3}{4}$  zapremnine. Odmah zatvoriti bocu.
7. označiti uzorak podacima o sustavu, zatim pohraniti uzorak na način prikladan za transport.

### Metoda 4–uzorkovanje potapanjem boce ( najmanje pogodna metoda.)

1. Pokrenuti sustav na barem 30 min prije uzimanja uzorka, kako bi se čestice jednoliko rasporedile.
2. Očistiti područje ulaza u spremnik.
3. Osigurati čiste vanjske stijenke boce ispiranjem filtriranom otopinom.
4. Pažljivo napuniti bocu potapanjem u ulje, a zatim je isprazniti. Ponoviti još jednom.
5. Pažljivo napuniti bocu na  $\frac{3}{4}$  zapremnine. Odmah zatvoriti bocu.
7. označiti uzorak podacima o sustavu, zatim pohraniti uzorak na način prikladan za transport.



Slika 10. Pribor za uzorkovanje ulja



Slika 11. Označeni uzorci ulja

### 4.3 Određivanje prisutnosti krutih čestica u ulju

Mogućnost određivanja količine krutih čestica (onečišćenja) u uljnom sustavu od iznimne je važnosti za ispravnost, pouzdanost i dugotrajnost sustava. Imajući uvid u količinu i vrstu čestica, operater je u mogućnosti donositi zaključke o stanju uljnog sustava, pravovremeno djelovati, te tako osigurati optimalne performanse sustava. [10]

Mjerenje onečišćenja ulja moguće je na 3 načina:

- stalni nadzor - ugrađenim senzorom u sustav
- periodičnim nadzorom- spajanjem prijenosnog mjernog uređaja
- analizom uzoraka ulja

#### **Periodični (povremeni) nadzor**

Analiza ulja vrši se u određenim vremenskim intervalima, ovisno o zahtjevima sustava.

Neke od prednosti ovog načina mjerenja su:

- mogućnost mjerenja na različitim točkama sustava tokom normalnog rada sustava
- smanjena mogućnost utjecaja okoline na rezultate mjerenja
- moguća trenutna usporedba izmjerenih i zahtijevanih vrijednosti
- statistička dosljednost i ponovljivost mjerenja
- analiza utjecaja dinamičkih promjena u sustavu na rezultate mjerenja

-nedostatak ove metode je nemogućnost analize ulja koje sadrži slobodnu vodu ili plinove, vrlo onečišćeno ulje, ulje visoke viskoznosti

#### **Analiza uzoraka ulja**

Analiza uzoraka ulja vrši se u laboratoriju na unaprijed pripremljenim testnim uzorcima

Prednosti:

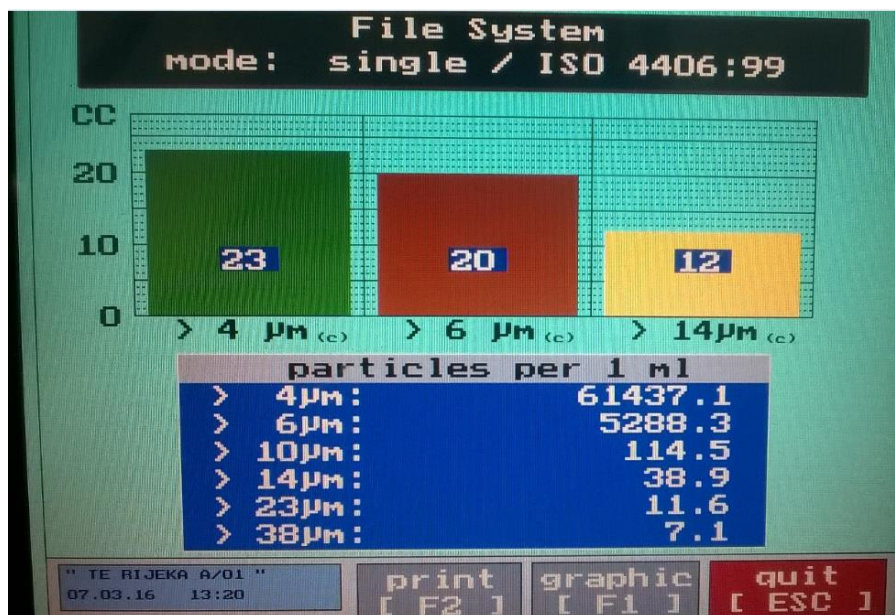
- kontrolirani laboratorijski uvjeti eliminiraju mogućnost pogreške automatskog brojača čestica (npr. utjecaj zraka ili meteoroloških uvjeta)
- ulja izrazitog onečišćenja ili velike viskoznosti moguće dodatno pripremiti za mjerenje
- laboratorij pruža mogućnost dodatnih analiza (npr. analiza čestica)

Nedostaci:

- vremensko razdoblje između uzimanja uzorka i dobivanja rezultata analize
- mogućnost netočnih rezultata uzrokovanih ili onečišćenjem tijekom uzimanja uzorka, ili nedovoljno čistim bocama za uzroke
- otežano razumijevanje utjecaja dinamičkih promjena na sustav



Slika 12. CCS2 –Automatski prijenosni brojač čestica



Slika 13. Prikaz rezultata mjerenja CCS2 uređajem



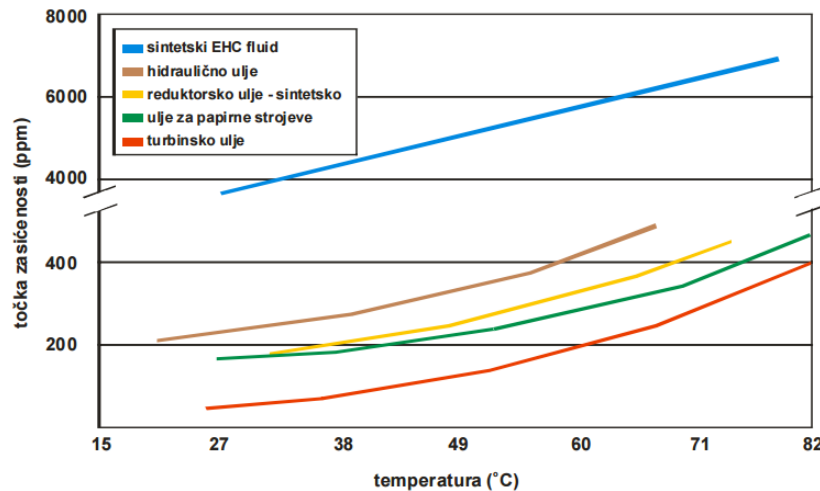
#### 4.4 Određivanje prisutnosti vode u ulju [11]

Osim nadzora krutih onečišćenja u ulju, od kritične je važnosti spriječiti pojavu slobodne vode u ulju. Slobodna voda u uljnim sustavima uzrokuje koroziju, starenje ulja, kemijsko rastvaranje aditiva, smanjuje podmazivačka svojstva ulja, doprinosi povećanom trošenju elemenata i nastanku krutih onečišćenja. Prisutnost slobodne vode mjeri se ugrađenim senzorima u cjevovodima sustava, ili izravno u spremniku ulja (slika 14).



Slika 14. Mjerenje prisutnosti vode u spremniku generatorskog ulja

Ovisno o vrsti, ulje može sadržavati određenu količinu otopljene vode, koja u takvom stanju nije posebno štetna za sustav. Međutim, smanjenjem temperature ili tlaka u sustavu, može doći do oslobađanja slobodne vode. Kako bi se to izbjeglo, važno je poznavati karakteristike ulja kao i trenutnu postotnu zasićenost ulja vodom.



Slika 15. Prikaz zasićenosti vodom za različite vrste ulja [11]

Razlikujemo postotnu (%) i apsolutnu (ppm) zasićenost vodom.

Slika 15. Pokazuje točku zasićenja od koje voda više ne može biti otopljena u ulju i počinju se formirati kapljice slobodne vode ili uljna emulzija. Ta točka može varirati ovisno o starosti ulja, prisustvu aditiva, onečišćenju...

Pošto nam podatak o apsolutnoj količini vode u ulju (ppm) sam za sebe ne govori o postojanju slobodne vode, puno je praktičnije količinu vode u ulju izražavati u postotnom obliku (% zasićenja ulja vodom, % S (saturation)).

Vrijednost 0 %S odgovara stanju ulja bez vode, dok je 100%S rubno stanje, odnosno maksimalna količina vode koju ulje može otopiti, za zadanu temperaturu.



Slika 16. Rezultat mjerenja količine vode u ulju uređajem WSTM 01



## 5. FILTRIRANJE ULJA

Funkcija filtra je da uhvati ili onemogući prolaz velikim i malim česticama onečišćenja, propuštajući pri tom radni medij. Učinak filtra ovisi o dva nepovoljna faktora:

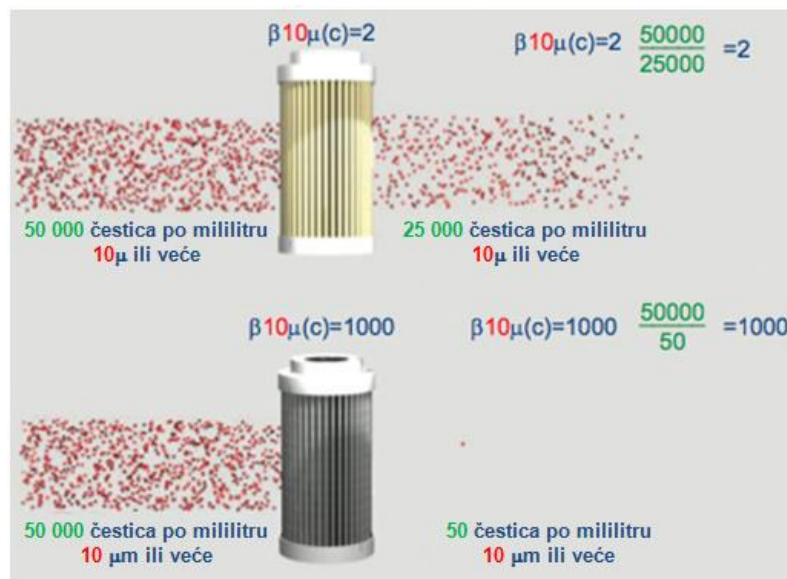
- padu tlaka i intenzivnosti rada
- nepouzdanosti rada unutarnjih brtvi i premosnih ventila

Kod zasićenja filtra neki njegovi prolazi postanu začepljeni, javlja se veći protok kroz ostale dijelove filtra, a time se povećava i pad tlaka kroz filter. Posljedica je prolaz većih čestica kroz filter strojnog sustava.

Iako je otvaranje premosnih ventila predviđeno samo za slučaj potpunog zasićenja filtra, promjene tlaka i promjene protoka tijekom normalnog rada mogu privremeno otvoriti premosne ventile i time dopustiti prolaz onečišćenja kroz filter. Iz tog razloga, filtri su efikasniji pri niskom tlaku i niskom protoku.

Standardni filtri ugrađeni su na takav način da su izloženi radnom tlaku i protoku sustava, što im značajno smanjuje učinkovitost. Zbog toga se u zaobilazne krugove ugrađuju dodatni mikrofiltri koji osiguravaju zahtijevanu čistoću ulja. Postoje i mobilni filtarski uređaji, koji se koriste za filtraciju u određenim vremenskim intervalima, ili za uklanjanje onečišćenja uzrokovanog nepredvidivim kvarom.

Većina filtera će propustiti i čestice nekoliko puta veće od veličine pore filtra, o čemu nam govori koeficijent filtra  $\beta$  (slika 17). Stoga, podatak o veličini pore filtra ne može biti pokazatelj apsolutnog razreda čistoće.



Slika 17. Koeficijent filtracije  $\beta$  [8]

Standardni filtri ugrađeni su na takav način da su izloženi radnom tlaku i protoku sustava, što im značajno smanjuje učinkovitost.

Odgovarajuću zaštitu uljnog sustava i potrebnu čistoću ulja moguće je postići samo kombinacijom filtara strojnog sustava i prenosnog filtra za mikrofiltriranje i pročišćavanje (slika 18).



Slika 18. Sustav filtara za kontinuirano mikrofiltriranje

Postoje i mobilni filtarski uređaji (slika 19), koji se koriste za povremenu filtraciju, filtraciju u određenim vremenskim intervalima, ili za uklanjanje onečišćenja uzrokovanog nepredvidivim kvarom



Slika 19. Mobilni sustav za povremeno mikrofiltriranje

Prednosti filtriranja ulja su:

#### Produženje životnog vijeka uljnog punjenja

Dovoljno čisto ulje svoju funkciju može obavljati tako dugo, dok ga se štiti od oksidacije i kvarenja, stoga će kvalitetan sustav filtriranja znatno smanjiti broj izmjena ulja, posebno u slučaju hidrauličkih radnih sustava

#### Značajno smanjenje abrazijskog trošenja

Eliminiranjem krutih čestica (Slika 20) iz uljnog sustava izbjeći će se efekt pjeskarenja tih čestica po površini komponenata sustava

#### Sprečavanje zastoja

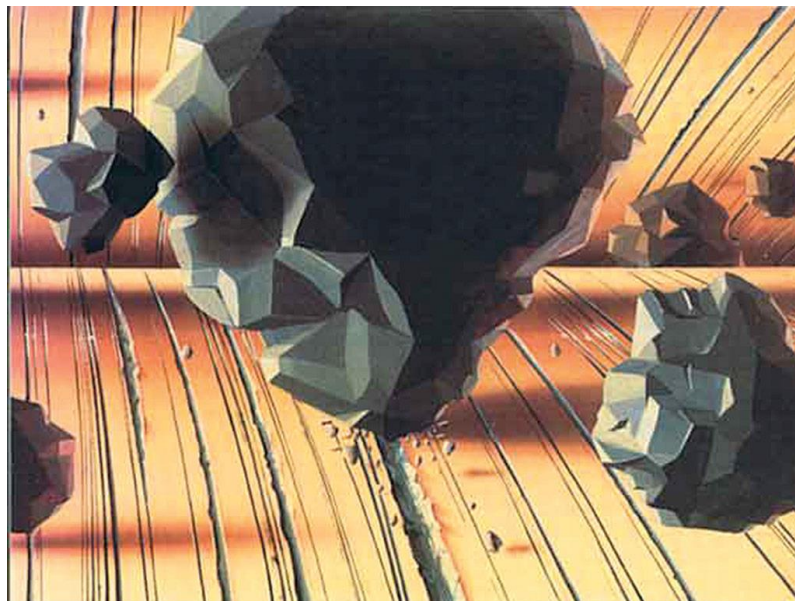
Blokiranje dinamičkih zračnosti sklopova česticama nečistoće onemogućiti će se hvatanjem tih čestica u filtru

#### Produljenje životnog vijeka stroja i smanjenje troškova održavanja

Manje trošenje elemenata produljuje trajnost cijelog sustava, istovremeno povećavajući pouzdanost strojnog sustava

#### Očuvanje okoliša

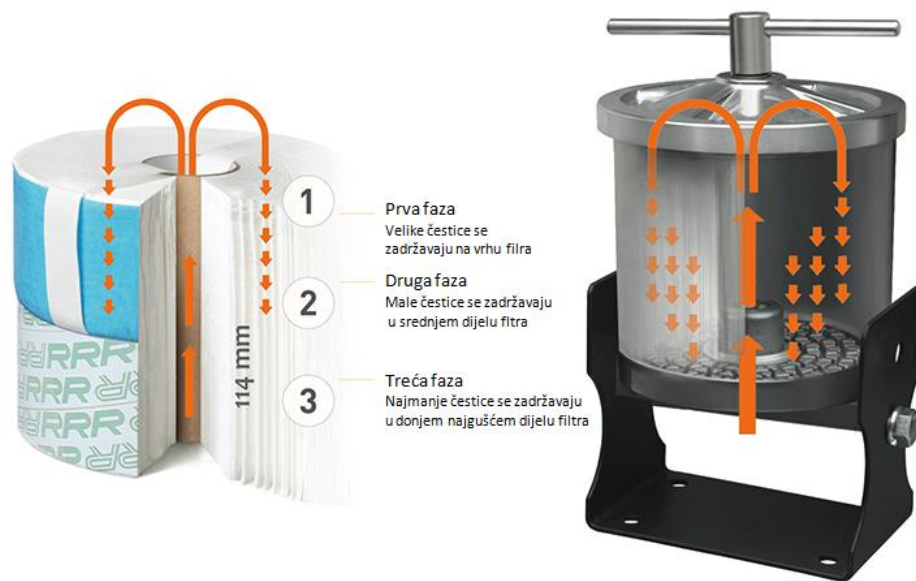
Pravilnim održavanjem čistoće ulja i produljenjem njegova životna vijeka sprječava se stvaranje otpadnog ulja i onečišćenja prirode.



Slika 20. Utjecaj onečišćenja na površine u uljnom sustavu

## 5.1 Filtriranje u sporednom krugu

Filtriranje u sporednom krugu temelji se na posebnim filtarskim elementima, načinjenim od celuloznih vlakana, koja su ravnomjernom napetošću savijana u cilindar. To osigurava ravnomjernu gustoću samog filtra. Konstrukcijsko rješenje osigurava aksijalno filtriranje, uz debljinu filtra oko 115 mm (debljina filtra strojnog sustava iznosi 2-3 mm).



Slika 21. Faze aksijalnog filtriranja mikrofiltrom u zaobilaznom krugu [6]

Filtar zaobilaznog kruga u hidraulički se sustav ugrađuje blizu pumpe, na rashladni kompresor, ili se priključuje izravno na spremnik. Na odabir mjesta priključenja utječe i veličina radnog tlaka u sustavu.

Prednost filtracije u zaobilaznom krugu je neometanje rada glavnog uljnog kruga, čak i u slučaju potpunog prestanka protoka u zaobilaznom krugu. To omogućuje optimalno podešavanje tlaka i protoka kroz filtara, što kod filtera strojnog sustava nije moguće.

## 5.2 Filtriranje ulja mobilnim filtarskim uređajem [6]

Kod utvrđenje nedozvoljene razine onečišćenja ulja krutim česticama, tj. kada izmjereni razred čistoće ne zadovoljava propisani ili zahtijevani razred čistoće, pristupa se filtriranju ulja mobilnim filtarskim uređajem. Za razliku od konstantnog filtriranja u zaobilaznom krugu, ovi se uređaji uglavnom spajaju izravno na spremnik. Ukoliko je onečišćenje takvih razmjera da je razred čistoće neprihvatljiv za rad, sustav se isključuje iz rada do završetka filtracije.

Ovisno o vrsti ulja, stupnju onečišćenja, količini ulja u i potrebnom razredu čistoće odabire se odgovarajući filtarski uređaj, kao i filtarski element (filtrar).

Također, prijenosni se filtarski uređaji koriste kod uvođenja novog ulja u sustav, koje je nužno dovesti na zadovoljavajuću razinu čistoće.



Slika 22. Mobilni filtarski uređaj (za mehaničke nečistoće) [6]



### 5.3 Vrste filtarskih elemenata

Filtarski element naziv je za vitalni dio svakog filtarskog uređaja, a može biti radijalni ili aksijalni. Potrebna finoća filtracije uvjetuje odabir filtarskog elementa ovisno o materijalu izrade:

**-nehrđajuće žičano tkanje** finoće od 25  $\mu\text{m}$ , 40  $\mu\text{m}$ , 80  $\mu\text{m}$  ili grublje primjenjuje se tamo gdje je dovoljna površinska filtracija (slika 23)



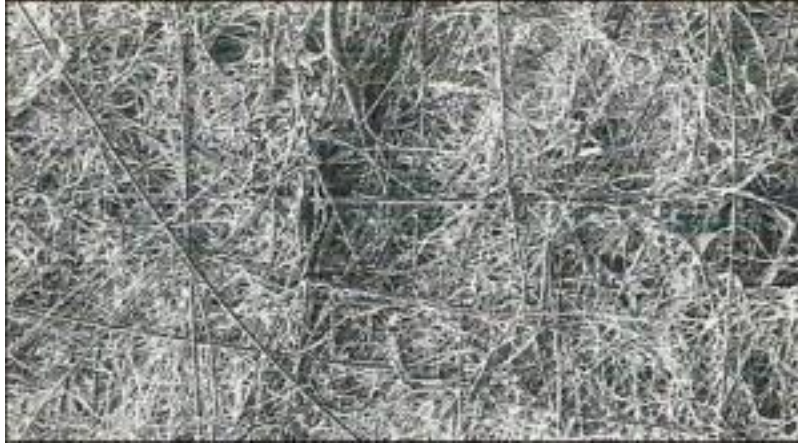
Slika 23. Nehrđajuće žičano tkanje

**-tkanja iz celuloznih vlakana ili kombinacije celuloznih i poliesterskih vlakana** primjenjuju se za finoće filtracije u rasponu od 10  $\mu\text{m}$  do 25  $\mu\text{m}$ . Također spada u područje površinske filtracije.



Slika 24. Celulozna vlakna

-**staklena vlakna** koja osiguravaju dubinsku filtraciju, veliki kapacitet apsorpcije i zadržavanja onečišćenja, visoku finoću filtracije (3, 6, 10, 16, 25  $\mu\text{m}$ ) i pri velikoj razlici tlaka.



Slika 25. Staklena vlakna

### 5.3.1 Radijalni filtarski elementi

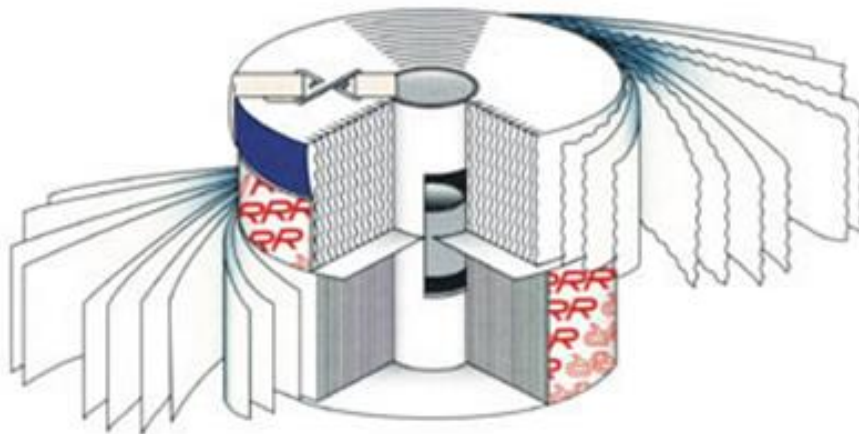
Filtarski elementi kod kojih se strujanje medija kroz filter odvija radijalno kroz stijenku filtarskog elementa (površinska filtracija) najčešće se koriste kod systemske radne filtracije (filtracija pri radnom tlaku i protoku).



Slika 26. Radijalni filtarski elementi

### 5.3.2 Aksijalni filtarski elementi

Aksijalni filtarski elementi koriste se kod dubinskih filtracija i mikrofiltracija, osiguravajući visok stupanj filtracije. Zbog potrebe za korekcijom radnog tlaka i protoka, koriste se u zaobilaznom krugu (by-pass krug). Aksijalni filtarski elementi jedinstveni su po svom "3 u 1" učinku. Osim uklanjanja 99,9 % svih mehaničkih onečišćenja, apsorbiraju i vodu do razine 80 ppm, te zadržavaju sve produkte oksidacije i polimerne sluzi



Slika 27. Presjek radijalnog mikrofiltarskog elementa



Slika 28. Radijalni mikrofiltarski element



Slika 29. Kućište radijalnog filtra



## 6. PRAKTIČNI PRIMJER FILTRIRANJA VODE IZ ULJA

U generator termoelektrane došlo je do prodora vode iz sustava za hlađenje (Slika 30). Generator je pravovremeno isključen iz rada, a nakon sanacije tehničkog kvara, za povratak generatora u rad nužno je osigurati potrebnu kvalitetu ulja u sustavu. To je moguće ili zamjenom kompletnog ulja, ili sušenjem onečišćenog ulja (uklanjanjem vode iz ulja). [6]



Slika 30. Stanje ulja uzrokovano prodorom vode

Tehničke karakteristike sustava:

Vrsta ulja:	Turbinsko ulje, INA FLUID V32
Količina ulja:	1800 litara
Zasićenost vodom:	100 % *
Temperatura ulja:	12 °C
Točka priključenja:	Drenažni ventil spremnika
Točka povrata:	Izravno u spremnik (gornji otvor)
Predviđeni filtarski element:	3µm

\*u sustavu je prisutna slobodna i emulgirana voda

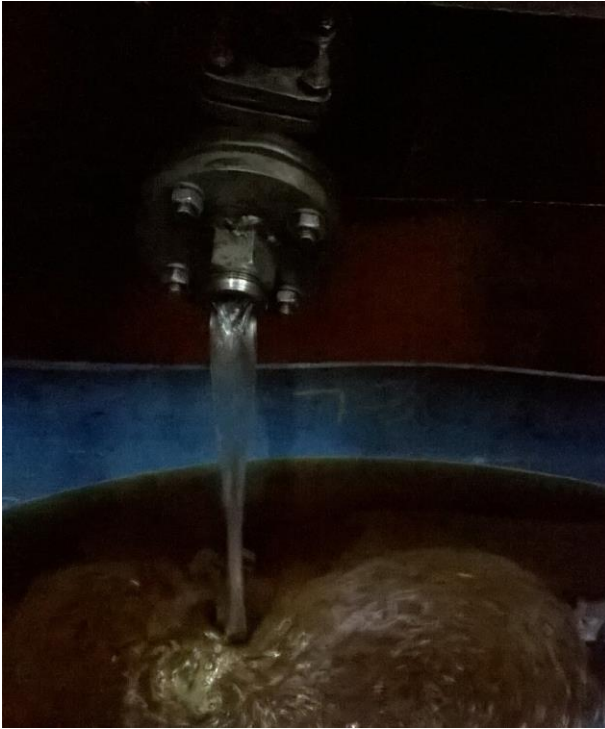
U zavisnosti o stanju ulja u uljnom sustavu, vrši se odabir odgovarajućeg filtarskog uređaja. U ovom slučaju potrebno je obaviti vakuumsku filtraciju vode iz ulja. Za to je odabran uređaj IFPM 21 (Internormen Fluid Purifier System) (slika 31 ). S obzirom na nisku temperaturu ulja, a s ciljem efikasnije filtracije, ispred filtarskog uređaja spajamo i grijač ulja.



Slika 31. Filtarski uređaj IFPM 21

Prije početka radova potrebno je uvjeriti se da je mjesto sigurno za rad (konzultacija sa sektorom održavanja postrojenja). Obavezna je uporaba osobnih zaštitnih sredstava! Mjesto filtracije potrebno je vizualno odvojiti od ostatka pogona sigurnosnom trakom.

Prvi korak je uzimanje uzorka trenutnog stanja ulja (slika 33). Pošto je u sistemu prisutna slobodna voda, a predviđena točka priključenja na sustav je drenažni ventil spremnika, potrebno je drenirati slobodnu vodu prije uzimanja uzorka. Dreniranu vodu nužno je zbrinuti na odgovarajuć način.



Slika 32. Dreniranje slobodne vode



Slika 33. Uzorak prije filtracije

Nakon uzimanja uzorka, drenažni ventil gibljivim crijevom spajamo na ulaz grijača ulja, a njegov izlaz zatim na ulaz filtarske jedinice IFPM 21. Povrat sa filtarske jedinice vodi ponovno u spremnik ulja. Time je zatvoren filtracijski krug.



Slika 34. IFPM 21 i grijač ulja spremni za puštanje u rad

Nakon provjere predfiltra i filtra uređaja, provjere svih spojeva i položaja ventila, uređaj se pušta u rad. Nakon uspostavljenog stalnog zatvorenog protoka radnog medija, uključuje se i predgrijač (prije uključena nužan je stalan protok radnog medija kroz grijač). Iako je IFPM 21 automatski uređaj, obavezan je nadzor uređaja određeno vrijeme nakon puštanja u rad (temperatura, tlak, protok, nepropusnost spojeva). Zadana temperatura postupka iznosi  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ , vakuum  $-0,7$  bar.

S obzirom na količinu ulja od 1600 litara, predviđen je samostalan rad uređaja iduća 72 sata.

### Princip rada

Onečišćeni radni medij povlači se u IFPM 21 uređaj pomoću vakuuma od  $-0.7$  bar-a (preporučeno radno područje od  $-0.6$  do  $-0.8$  bar-a). Radni medij prolazi kroz ugrađeni grijač koji podiže temperaturu s ciljem povećanja brzine filtracije. Zatim prolazi kroz vakuumski upravljani ventil u vakuumsku komoru, gdje prolazi preko kaskadnih elemenata koji raspršuju tekućinu u kapljice. To povećava ukupnu površinu tekućine i pretvara vodu u vodenu paru, koja se izvlači i kondenzira u drenažni spremnik. U sljedećem koraku radni medij, koji sada više ne sadrži vodu, prolazi kroz visokoučinkoviti filter krutih čestica, te se zatim vraća natrag u sustav.

Ugrađeni senzor vode omogućuje uvid u trenutnu postotnu zasićenost radnog medija vodom (slika 35).



Slika 35. Kontrolna ploča IFPM 21 uređaja s prikazom trenutne postotne zasićenosti vodom, temperature i vakuuma (podtlak)



Po isteku zadanog vremena započinje proces gašenja uređaja. Prije samog isključenja, gasi se predgrijač, te se temperatura sustava postavlja na 25 °C. Uzima se novi uzorak ulja, ovoga puta sa ventila za uzorkovane na samom uređaju, koji se nalazi ispred filtarskog elementa! Tek nakon postignute novo zadane temperature, uređaj se isključuje. Pri demontaži posebna pozornost usmjerena je na zaštitu od uljnog onečišćenja okoline.

Nakon provedene filtracije zasićenost vodom iznosi 30% na temperaturi 50°C (slika 36) (preporučena zasićenost vodom iznosi do 50% za radnu temperaturu sustava, pa je ovaj rezultat vrlo zadovoljavajuć).



Slika 36. Uzorak nakon filtracije

Ovim je postupkom termoelektrana uštedjela značajan financijski iznos, a također je izbjegnuta potencijalni problem zbrinjavanja 1800 L otpadnog ulja.

## **7. ZAKLJUČAK**

Bilo da se radi o hidrauličkim sustavima za prijenos energije ili sustavima za podmazivanje, čistoća ulja nužan je preduvjet ispravnog rada sustava.

Neodgovarajuće održavanje ulja i uljnih sustava općenito za posljedicu ima kontinuirano visok trošak otklanjanja posljedica onečišćenog medija. Uz redovit nadzor razine onečišćenja, te ugradnjom filtara sporednog kruga, moguće je kontrolirati razinu onečišćenja radnog medija. Time je moguće produljiti životni vijek ulja najmanje 4 puta, što u kombinaciji sa značajnim smanjenjem kvarova i produljenim životnim vijekom komponenata, ima dalekosežne učinke na produktivnost i ekonomičnost sustava.

Osim pogodnosti za sustav, održavanje ulja smanjuje i potrebu za njegovom izmjenom, čime se smanjuje i količina otpadnog ulja, pa tako pozitivno utječe i na zaštitu okoliša i očuvanje prirodnih resursa.

## **8. LITERATURA**

- [1] EGE 3/2000, 2/2001, 3/2001
- [2] R. Korbar: "Pneumatika i hidraulika", Veleučilište u Karlovcu, 2007.
- [3] [www.nisotec.eu/sr-lat/turbinska-ulja](http://www.nisotec.eu/sr-lat/turbinska-ulja)
- [4] D.M.Pirro, A.A.Wessol: "Lubrication Fundamentals", Second Edition
- [5] A.Rogić: Mogućnosti produženja trajnosti ulja i uljnih sustava,  
GOSPODARSTVO I OKOLIŠ 6/96
- [6] [www.domes.hr](http://www.domes.hr)
- [7] [WWW.triple-r-europe.com/solid-particles](http://WWW.triple-r-europe.com/solid-particles)
- [8] [www.hyprofiltration.com](http://www.hyprofiltration.com)
- [9] PALL Corporation: "Pocket Book"
- [10] [www.machinerylubrication.com](http://www.machinerylubrication.com)
- [11] D.Grđić Voda u ulju – Dijagnostika i sušenje ulja

## 9. PRILOZI

### 9.1 Popis slika

Slika 1. Izvori onečišćenja u uljnom sustava [6] .....	9
Slika 2. Mehaničko djelovanje krutih čestica u uljnom sustavu [7] .....	10
Slika 3. Vrlo onečišćeno, onečišćeno i čisto ulje .....	10
Slika 4. Uljni talog .....	11
Slika 5. Gibanje čestica u cjevovodu .....	15
Slika 6. Izvedba spremnika s izravnim povratom ulja .....	16
Slika 7. Unaprijeđena konstrukcija spremnika ulja .....	16
Slika 8. Prikaz razine onečišćenja za pojedine razrede čistoće u $\mu\text{m}$ .....	18
Slika 9. Novo ulje 25/22/19, skala izražena u $\mu\text{m}$ [7] .....	18
Slika 10. Pribor za uzorkovanje ulja .....	20
Slika 11. Označeni uzorci ulja .....	20
Slika 12. CCS2 –Automatski prijenosni brojač čestica .....	22
Slika 13. Prikaz rezultata mjerenja CCS2 uređajem .....	22
Slika 14. Mjerenje prisutnosti vode u spremniku generatorskog ulja .....	23
Slika 15. Prikaz zasićenosti vodom za različite vrste ulja [11] .....	24
Slika 16. Rezultat mjerenja količine vode u ulju uređajem WSTM 01 .....	24
Slika 17. Koeficijent filtracije $\beta$ [8] .....	25
Slika 18. Sustav filtera za kontinuirano mikrofiltriranje .....	26
Slika 19. Mobilni sustav za povremeno mikrofiltriranje .....	26
Slika 20. Utjecaj onečišćenja na površine u uljnom sustavu .....	27
Slika 21. Faze aksijalnog filtriranja mikrofiltrom u zaobilaznom krugu [6] .....	28
Slika 22. Mobilni filtarski uređaj (za mehaničke nečistoće) [6] .....	29
Slika 23. Nehrdajuće žičano tkanje .....	30
Slika 24. Celulozna vlakna .....	30
Slika 25. Staklena vlakna .....	31
Slika 26. Radijalni filtarski elementi .....	31
Slika 27. Presjek radijalnog mikrofiltarskog elementa .....	32
Slika 28. Radijalni mikrofiltarski element .....	32
Slika 29. Kućište radijalnog filtra .....	32
Slika 30. Stanje ulja uzrokovano prodorom vode .....	33
Slika 31. Filtarski uređaj IFPM 21 .....	34
Slika 32. Dreniranje slobodne vode .....	35
Slika 33. Uzorak prije filtracije .....	35
Slika 34. IFPM 21 i grijač ulja spremni za puštanje u rad .....	35
Slika 35. Kontrolna ploča IFPM 21 uređaja s prikazom trenutne postotne zasićenosti vodom, temperature i vakuuma (podtlak) .....	36
Slika 36. Uzorak nakon filtracije .....	37



## 9.2 Popis tablica

Tablica 1. Označavanje razreda čistoće ulja - ISO 4406 [8].....	17
---	----