

# Turbinska ulja - analiza sastava, mogućnosti primjene i utjecaj na okoliš

---

**Karić, Jakov**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2022**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:082920>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-16**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

**Jakov Karić**

Zagreb, 2022.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

Mentori:

Dr. sc. Davor Ljubas , dipl. ing.

Student:

Jakov Karić

Zagreb, 2022.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se svom mentoru dr. sc. Davoru Ljubasu na pomoći i savjetima tokom izrade završnog rada.

Jakov Karić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za završne i diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:  
Procesno-energetski, konstrukcijski, inženjersko modeliranje i računalne simulacije i brodstrojarski

Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 – 04 / 22 – 6 / 1	
Ur.broj: 15 - 1703 - 22 -	

## ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Jakov Karić** JMBAG: **0035218038**

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Turbinska ulja – analiza sastava, mogućnosti primjene i utjecaji na okoliš**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Turbine oils - composition analysis, application possibilities and environmental impacts**

Opis zadatka:

Pouzdan rad svih vrsta turbina ovisan je, između ostalog, i o sredstvima i načinu podmazivanja. Kako danas razlikujemo četiri osnovna tipa turbina u energetici – vodne, parne i plinske turbine te vjetroturbine, tako su i prikladna turbinska maziva međusobno različita. Kroz ovaj rad potrebno je:

- objasniti osnovne pojmove iz područja podmazivanja strojnih elemenata kapljevitim mazivima (uljima) - viskoznost, indeks viskoznosti, stišište, emulzivnost, oksidacijska stabilnost, temperatura stabilnost i dr.,
- utvrditi zakonske, normative i strukovne zahtjeve prema turbinskim uljima za svaku vrstu turbina i utvrditi osnovne sličnosti i razlike među njima,
- prepoznati najznačajnije probleme kod svakog tipa turbina i načine na koje mazivo sudjeluje u njihovom rješavanju,
- definirati parametre koji utječu na degradaciju ulja u turbinama tijekom eksploatacije kao i načine njihova utvrđivanja (analize) i prevladavanja,
- proučiti i navesti mogućnosti regeneracije i odlaganja turbinskih ulja nakon primjene kao i ukupne utjecaje na okoliš od procesa proizvodnje, eksploatacije do završnog zbrinjavanja.

U zaključnom dijelu rada potrebno je i dati pregled situacije na tržištu turbinskih ulja u svijetu i u Republici Hrvatskoj.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

30. 11. 2021.

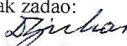
Datum predaje rada:

1. rok: 24. 2. 2022.  
2. rok (izvanredni): 6. 7. 2022.  
3. rok: 22. 9. 2022.

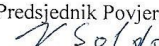
Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 28. 2. – 4. 3. 2022.  
2. rok (izvanredni): 8. 7. 2022.  
3. rok: 26. 9. – 30. 9. 2022.

Zadatak zadao:

  
Prof. dr. sc. Davor Ljubas

Predsjednik Povjerenstva:

  
Prof. dr. sc. Vladimir Soldo

**SADRŽAJ**

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	III
POPIS TABLICA	IV
POPIS OZNAKA	V
SAŽETAK	VI
SUMMARY	VII
1. UVOD	1
2. OSNOVNI POJMOVI	2
2.1 Viskoznost	3
2.2 Indeks viskoznosti	4
2.3 Stinište	5
2.4 Emulzivnost	6
2.5 Temperaturna stabilnost	6
2.6 Oksidacijska stabilnost	7
2.7 Biorazgradivost	8
2.8 Ekotoksičnost	9
2.9 Korozivnost	10
2.10 Gustoća	10
2.11 Pjenjenje	11
2.12 Opteretivost ulja	11
3. KAPLJEVITA MAZIVA	13
3.1 Podjela baznih ulja	14
3.2 Analize parametara koji utječu na degradaciju ulja	15
3. TURBINE	17
3.1 Vjetroturbine	17
Zahtjevi	18
Podjela ulja	19
Proces zamjene ulja	20
3.2 Parne turbine	21
Sustav za podmazivanje parnih turbina	21
Zahtjevi	22
3.3 Plinska turbina	23
3.4 Vodne turbine	25

4. NANOFLUIDI	28
5. REGENERACIJA I RECIKLIRANJE ULJA	29
6. ZAKONSKI OKVIR ZA TURBINSKA ULJA	31
6.1 Iz Zakona o gospodarenju otpadom (NN 84/21):	31
6.2 Iz Pravilnika o gospodarenju otpadnim uljima NN 124/2006:	32
7. ZAKLJUČAK	33
LITERATURA	34
PRILOZI	36

**POPIS SLIKA**

Slika 1.	Prikaz viskoznosti ulja različitih indeksa viskoznosti u ovisnosti o temperaturi	5
Slika 2.	INA Turbo 46, mineralno turbinsko ulje za podmazivanje ležajeva parnih, vodenih i plinskih turbina	13
Slika 3.	Glavni dijelovi vjetroturbine	18
Slika 4:	Stroj za izmjenu ulja u vjetroturbini	20
Slika 5:	Uporaba stroja za izmjenu turbinskog ulja	20
Slika 4.	Sustav za podmazivanje parne turbine	22
Slika 5.	Shema sustava za podmazivanje plinske turbine	24
Slika 6.	Peltonova turbina	25
Slika 7.	Francisova turbina	26
Slika 8.	Kaplanova turbina	26



## **POPIS TABLICA**

Tablica 1. Svojstva ulja za različite turbine

16

**POPIS OZNAKA**

<b>Oznaka</b>	<b>Jedinica</b>	<b>Opis</b>
$\eta$	Pas	Dinamička viskoznost
$\nu$	$\frac{m^2}{s}$	Kinematička viskoznost
$\rho$	$\frac{kg}{m^3}$	Gustoća

**SAŽETAK**

Gotovo kompletna svjetska električna energija se dobiva iz turbina. Postoje četiri ključna tipa energetske turbine, to su parna, plinska, vodna i vjetroturbina. Za rad svih navedenih turbina neophodno je podmazivanje, za to se koriste mazive masti, kruta maziva i u najvećoj mjeri kapljevita maziva, odnosno maziva ulja. Svaka od turbina zahtjeva posebna svojstva od maziva koje se koristi u njoj kako bi se osiguralo miran i dugovječan rad. U ovom radu predstavljene su značajke koje moraju zadovoljiti maziva da bi se mogla koristiti, pojednosti podmazivanja za svaki od pojedinih tipova turbina i sustavi koji omogućuju kvalitetno podmazivanje. Također, u sklopu rada je predstavljen i utjecaj ulja na okoliš, te zakonski okvir koji određuje način na koji treba zbrinuti ulja nakon svojeg radnog vijeka, tako da ona imaju minimalni utjecaj na okoliš. Korištenjem aktualnih normi koje vrijede za turbinska maziva prikazane su ključne karakteristike koje trebaju zadovoljavati svaki od pojedinih tipova ulja koja se danas koriste.

Ključne riječi: maziva, ulja, norme, zakoni, utjecaj na okoliš

**SUMMARY**

Almost all of the worlds electricity comes from turbines. There are four key turbine types in use today steam, gas, water and wind turbine. For this turbines to work it is necessary to have good lubrication, and for that we use lubricating greases, soild lubricants or for the most part we use lubricating oils. Each type of turbine requires unique attributes from its lubrication to maintain smooth and long lasting performance. This study presents the most important attributes that a lubricant must contain so it can be used as an lubricant in a turbine. Special needs in the diffenent types of turbines are also examined. Study presents environmental impact of turbine oils and rules and regulations that must be followed in order to make the least possible impact on the environment. Using current norms it is shown which characteristics oil must have in order to be used for todays lubrication needs.

Key words: lubricant, oil, norms, regulation, environmental impact

# 1. UVOD

Jedna od najvažnijih čimbenika, često potpuno zanemaren, u radu turbina je pravilno podmazivanje svih ključnih komponenata. Uz podmazivanje koje za svrhu ima smanjiti trenje između dijelova koji su u međusobnom kontaktu omogućujući im kvalitetniji i dugovječniji rad. U ovom radu je cilj bio prikazati osnovne razlike u podmazivanju četiri osnovna tipa turbina u energetici – vodene, parne, plinske i vjetroturbine, te koje su razlike u uljima koja se koriste za svaki tip turbine.

Ulje koje se koristi u turbinama mora zadovoljavati određene uvjete, ti su uvjeti definirani za svaki tip turbine zasebno. Prilikom procesa izbora ulja za turbine u obzir se uzimaju njegova posebna svojstva koja su definira pomoću njegovih osnovnih karakteristika, kao što su viskoznost, emulzivnost, oksidacijska stabilnost i brojne druge. Također važno je uzeti u obzir uvjete rada u kojima se nalaze turbine, te posebne zahtjeve u pogledu održavanja takvih sustava za podmazivanje. Za izbor odgovarajućeg maziva najčešće se služimo normama koje definiraju vrijednosti osnovnih svojstava koja ulja moraju zadovoljiti da bi se mogla koristiti u određenim turbinama. Također su definirani testovi kojima dolazimo do vrijednosti svih tih zadanih svojstava. Uglavnom se za turbinska ulja koriste ISO norme, u hrvatskoj priznate i primijenjene ISO norme se nazivaju HRN ISO, te ASTM norme.

Uz same zahtjeve tijekom rada, treba obratiti pažnju i na proces zbrinjavanja i odlaganja ulja nakon njihovog završenog radnog vijeka. Zaštita okoliša u današnje vrijeme postaje jedan od ključnih faktora u analizi turbinskih ulja, budući da ona stvaraju zagađenje kako svojom proizvodnjom tako i kasnijim zbrinjavanjem. Zakonskim okvirom su definirana postupanja s turbinskim uljima jednom kada više nisu u mogućnosti odrađivati svoju originalnu zadaću. Definirano je zakonom da se prvenstveno treba fokusirati na postupke regeneracije otpadnog turbinskog ulja, dok su postupci zbrinjavanja krajnja mjera koja se koristi kada su ostale mogućnosti iscrpljene.

## 2. OSNOVNI POJMOVI

Za bolje razumijevanje osnovnih karakteristika, te kako one utječu na ulja, pobliže će biti objašnjena u nastavku. Svaki od niže navedenih pojmova pobliže opisuje karakteristike ulja koje su potrebne prilikom izbora maziva. Svaki stroj ima svoje posebne uvjete rada iz kojih trebamo odrediti koje mazivo je najprikladnije za njegov rad. Proizvođači maziva daju nam vrijednosti koje njihova maziva imaju, zato je važno poznavati značenje tih oznaka.

Iz norme HRN ISO 8068 možemo odrediti koje su to karakteristike najvažnije za turbinska ulja. Tom normom je definirano za koji tip turbinskih ulja su važne koje karakteristike, te koji su postupci mjerenja tih karakteristika. Svaki postupak mjerenja vrijednosti karakteristika je definiran svojom zasebnom normom, dok da bi ulje zadovoljilo potrebe koje imaju turbine rezultat mjerenja mora biti u skladu s zadanim vrijednostima iz norme.

Stoga ćemo u ovom dijelu objasniti osnovne pojmove vezane uz turbinska ulja, a to su:

- Viskoznost
- Indeks viskoznosti
- Stinište
- Emulzivnost
- Oksidacijska stabilnost
- Temperaturna stabilnost
- Biorazgradivost
- Ekotoksičnost
- Korozivost
- Gustoća
- Pjenjenje
- Opteretivost ulja

## 2.1 Viskoznost

Vjerojatno najvažnije fizikalno svojstvo mazivih ulja je viskoznost ili koeficijent unutarnjeg trenja. Za najučinkovitije podmazivanje, viskoznost mora biti podređena brzini, opterećenju i temperaturi rada na kojoj se nalazi turbina. Viskoznost je trenje nastalo pri različitim brzinama strujanja fluida u njegovim slojevima. Uzrok viskoznosti su međumolekulske kohezijske sile u fluidu i adhezijske sile između fluida i krutoga tijela kroz koje ili oko kojeg se strujanje odvija. Puno fizikalnih faktora, kao što su tlak, temperatura, brzina okretanja, gustoća i brojne druge, imaju značajan utjecaj na vrijednost viskoznosti. Primjera radi veća gustoća, manja brzina, viši tlak i temperatura sve imaju za posljedicu veću viskoznost, što uzrokuje veći otpor strujanju. Postoje dva osnovna tipa viskoznosti, to su dinamička viskoznost i kinematička viskoznost[1].

**Dinamička viskoznost( $\eta$ )** je fizikalna veličina kojom se opisuje značajka fluida da se opire različitim brzinama strujanja. Mjerna jedinica dinamičke viskoznosti je paskalsekunda [Pas]. Sila  $F$  na jedinicu površine između dvaju slojeva fluida razmjerna je gradijentu relativne brzine  $v$ , to jest brzini kojom se relativna brzina gibanja mijenja od sloja do sloja  $dy$  (1)

$$F = -\eta \frac{dv}{dy} \quad (1)$$

**Kinematička viskoznost( $\nu$ )** je omjer dinamičke viskoznosti  $\eta$  i gustoće fluida  $\rho$  (2)

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad (2)$$

Jedinica kinematičke viskoznosti je kvadratni metar po sekundi [ $\frac{m^2}{s}$ ], određena je kao kinematička viskoznost fluida kojoj je dinamička viskoznost jedna paskalsekunda, a gustoća jedan kilogram po kubičnome metru. [1]

Kod turbinskih ulja uglavnom se za mjeru viskoznosti uzima kinematička viskoznost, dok je mjerenje dinamičke viskoznosti rijetkost. Tako je normom HRN ISO 8068 definirano mjerenje isključivo kinematičke viskoznosti pri temperaturi od 40°C. Mjerenjem se dobivaju minimalna i maksimalna vrijednosti viskoznosti, a preporučena metoda mjerenja kinematičke viskoznosti definirana je normom ISO 3104.

Gotovo svi testovi koji određuju viskoznost ulja svode se na isti princip, svi mjere vrijeme koje je potrebno da određena količina ulja na određenoj temperaturi uz pomoć gravitacijske sile se giba kroz definirani element. Pri tome je izrazito važno kontrolirati temperaturu ulja, jer viskoznost raste kada temperatura opada, a opada kada povisimo temperaturu. Stoga vrijednost viskoznosti uvijek definiramo u odnosu na temperaturu pri kojoj je dobivena specifična vrijednost viskoznosti.

Dvije glavne metode za mjerenje viskoznosti su Saybolt-ova (ASTM D 88) i kinematička (ASTM D 445) metoda. Saybolt-ova metoda je češće upotrebljavanija metoda, pogotovo kada su u pitanju maziva ulja. Dok je kinematička metoda rjeđe u primjeni, iako ona u glavnom daje kvalitetnije rezultate[2].

## 2.2 Indeks viskoznosti

Poznato nam je da viskoznost, odnosno koeficijent unutarnjeg trenja, ovisi o temperaturi i tlaku na kojem se nalazi. Na nižim temperaturama uobičajeno je viskoznost ulja veća, dok se povećanjem temperature snižava njena vrijednost.

Indeks viskoznosti (IV) je empirijski broj bez mjerne jedinice koji nam pokazuje kako se viskoznost mijenja promjenom temperature. Odnosno, viskoznost ulja većeg indeksa viskoznosti će se manje mijenjati prilikom promjene temperature i obratno, pokazujući nam da je viši indeks viskoznosti uobičajeno povoljniji jer su njegova svojstva stalnija. To je posebno izraženo u postrojenjima gdje imamo fluktuacije temperature, a trebamo održavati konstantna svojstva podmazivanja.

Metode za određivanje indeksa viskoznosti temelje se na usporedbi viskoznosti dvaju različitih ulja na istim temperaturama, te zatim komparaciji promjene viskoznosti tih ulja. Od toga je jedno standardno ulje L – („low“) s indeksom viskoznosti koji iznosi nula i velikom ovisnosti viskoznosti o temperaturi, pretežno se radi o naftensko-aromatskim uljima. Drugo ulje je H – („high“) s indeksom viskoznosti koji iznosi sto i malom ovisnosti viskoznosti o temperaturi, pretežito se radi o parafinskim uljima. Indeks viskoznosti se izračunava mjerenjem viskoznosti na 40°C i 100°C. Metoda kojom se ispituje indeks viskoznosti je ASTM D 2270 i razvijena je nakon izvorne metode ASTM D 567 iz razloga što je puno preciznija kod ulja koja imaju indeks viskoznosti veći od sto, što danas postaje standard [2].

Indeks viskoznosti se izračunava iz viskoznosti izmjerenih na 40 °C i 100 °C (1)

$$IV = \frac{L - U}{L - H} \cdot 100 \quad (3)$$

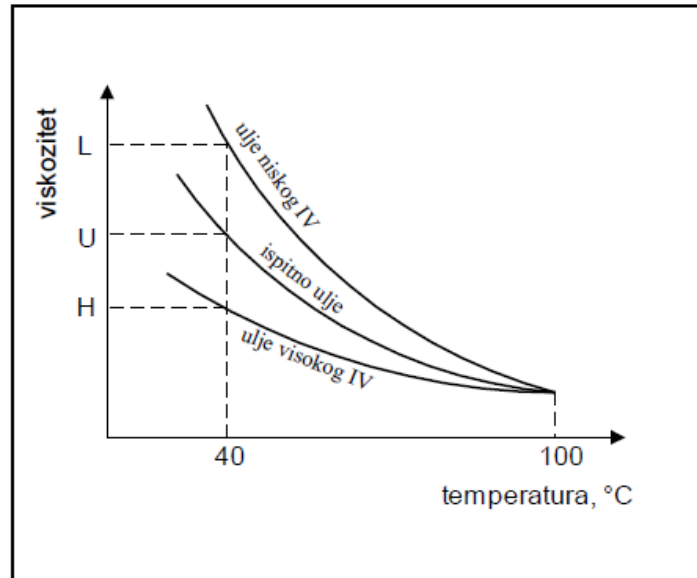
Gdje je:

L – viskoznost ulja L kod temperature T (40 °C):

H – viskoznost ulja H kod temperature T (40 °C):

U – viskoznost ispitivanog ulja kod temperature T (40 °C).





Slika1: Prikaz viskoznosti ulja različitih indeksa viskoznosti u ovisnosti o temperaturi [3]

### 2.3 Stinište

Stinište je granična temperatura ispod koje kapljevine gube svoju sposobnost tečenja. Definirana je kao minimalna temperatura u pri kojoj se kapljevine, u našem slučaju ulje, može smatrati kapljevinom i posjeduje sva svojstva tečenja. Treba paziti da ne poistovjetimo pojmove stiništa i leđišta. Glavna razlika između ta dva pojma ogleda se u tome što da bi se nešto smatralo temperaturom leđišta potrebno je da se kompletan sadržaju ulja skruti. Dok je stinište temperatura pri kojoj ulje gubi svoja svojstva tečenja, ali se još uvijek nije kompletno solidificiralo.

Postoje dvije glavne metode za mjerenje točke stiništa, to su manualna metoda (ASTM D97) i automatska metoda (ASTM D5949).

U manualnoj metodi uzorak se hladi unutar rashladne kupke kako bi se omogućilo stvaranje kristala parafinskog voska, na oko 9 °C iznad očekivane točke stiništa. Nakon toga se za svakih 3°C pada temperature posuda naginje kako bi se provjerilo kretanje površine ulje. Kada uzorak prestane teći nakon naginjana, toj konačnoj temperaturi se dodaju 3°C i to se smatra rezultatom, odnosno točkom stiništa.

Automatska metoda radi na istom principu kao i gore opisana manualna metoda, a glavna prednost je smanjenje mogućnosti ljudske pogreške korištenjem automatiziranog procesa [2].

## 2.4 Emulzivnost

Emulzija je smjesa dviju nemješivih tekućina, npr. ulje i voda. To je nestabilna smjesa koja se nakon mješanja ponovo razdvaja na svoje individualne sastojke. Da bi emulzija postala stabilna, potreban je emulgator, tvar koja emulziju održava stabilnom.

Tijekom rada turbine zbog nesavršenog brtvljenja vratila, dolazi do istjecanja pare ili vode u uljni sustav za podmazivanje. To je glavni razlog za pojavu vode u uljnom sustavu.

U turbinskim uljima poželjno je upravo suprotno svojstvo, odnosno ne želimo da se pojave stabilne emulzije vode i ulja. Želja nam je izbaciti vodu koja se nađe u ulju, stoga nam je poželjnija karakteristika demulzivnosti.

Demulzivnost je „sposobnost ulja da se razdvoji od vode. Voda može biti sadržana unutar ulja kao otopina, slobodna ili kao emulzija s uljem. Sve tri forme u kojima se nalazi ulje su nepoželjne, stoga ih je potrebno kontrolirati. Sadržaj vode pospješuje degradaciju ulja, kemijsku koroziju te trošenje ležajeva, što sve utječe na sposobnost ulja da obavlja svoje zadaće zbog koje se koristi u sustavu“

Dva su glavna testa kojima se određuju karakteristike demulzivnosti, to je stariji ASRM D 1401 koji je bio posebno razvijen za parne turbine, ali uz male preinake se može koristiti i za ostala ulja. Ova metoda je preporučljiva za koristiti u slučaju kada radimo s sintetičkim uljima. Druga metoda je ASTM D 2711 i prilagođenija je za ulja u kojima se nalaze aditivi koji imaju svojstva protiv razvijanja hrđe i oksidacije, također se može koristiti i za ostala ulja uz određene preinake u procesu testiranja[2].

## 2.5 Temperaturna stabilnost

Temperaturna stabilnost, odnosno točka zapaljenja ili plamište je mjera kojom određujemo zapaljivost naftnih derivata. Točka zapaljenja je minimalna temperatura pri kojoj se površinska kapljevina pretvara u paru, stvarajući smjesu zraka i naftnog derivata, u ovom slučaju mazivog ulja koja se kratkotrajni zapali otvorenim plamenom i vrlo brzo ugasi.. Uz točku zapaljenja poznata je i točka izgaranja ili gorište, radi se o minimalnoj temperaturi pri kojoj nastaje para naftnog derivata u smjesi sa zrakom u dovoljnim količinama da se održava proces izgaranja. Uobičajeno je točka izgaranja viša za 20-50°C od točke zapaljenja. Danas je postao standard bilježiti plamište, a nekada i gorište na mazivim uljima, no samo u određenim radnim uvjetima postoji realna opasnost od zapaljenja ulja. No plamište i gorište daju okvirne informacije o stabilnosti, te i o nekim drugim svojstvima ulja.

Sigurnosno najvažnija temperatura je ona pri kojoj dolazi do samozapaljenja naftnog derivata. Ako nemamo prisutan nikakav vanjski izvor zapaljenja, rastom temperature iznad temperature izgaranja dolazimo do točke samozapaljenja. To je temperatura pri kojoj će doći do zapaljenja ulja i u slučaju da nemamo prisutan nikakav vanjski izvor zapaljenja. Temperatura zapaljenja danas se određuje testom ASTM D 2155, koji je zamijenio stariji test ASTM D 286.

Točka samozapaljenja je prvenstveno važna da nam pokaže eventualnu opasnost od zapaljenja ili eksplozije ulja, prikazuje nam prikladnost korištenja nekog određenog ulja u odnosu na temperaturne uvjete unutar danog postrojenja.

Važan faktor koji treba uzeti u obzir je tlak ulja koje se koristi u turbini. Rastom tlaka u ulju pada temperatura samozapaljenja, te pri tlaku koji iznosi nekoliko atmosferskih tlakova,

temperatura samozapaljenja može pasti ispod temperature izgaranja ulja na atmosferskom tlaku [2].

## 2.6 Oksidacijska stabilnost

Oksidacija je oblik raspadanja kroz koji prolaze sva ulja tijekom svojeg radnog vijeka. Radi se o kemijskoj reakciji između čestica ulja i kisika, uglavnom se radi o kisiku koji se nalazi u okolišnom zraku. Oksidacija mazivih ulja se ubrzava pri višim temperaturama, uz prisustvo katalizatora kao što su bakar, prisutnosti vode, kiselina i brojnih drugih primjesa. Proces oksidacije uglavnom povisuje viskoznost ulja, što za posljedicu ima povećanja otpora strujanja ulja. Oksidacija je vrlo nepovoljna za ulja, stoga je puno pažnje posvećeno poboljšanju otpornosti ulja na proces oksidacije. Korištena su drugačija bazna ulja, mijenjan je postupak rafiniranja, te su korišteni razni inhibitori koji sprječavaju oksidaciju.

Postoje brojni testovi koji se koriste za određivanje oksidacijskih svojstava, neki su bolje prilagođeni za određeni tip maziva od drugih. Svi su zamišljeni da simuliraju radne uvjete koji su u postrojenju. Na povišenim temperaturama, uzima se uzorak ulja, te ga se izloži kisiku bilo onom prisutnom u zraku ili iz drugog izvora, uz dodavanje katalizatora kao što su metali bakar ili željezo, te voda. Svi ovi čimbenici pospješuju proces oksidacije. Rezultati se prikazuju u obliku vremena potrebnog da dođe do vidljivih promjena, gdje se mjeri količina nastalog mulja ili količini kisika koji se konzumira u tom procesu [4].

Jedna od najprimjenjenijih metoda za provjeru oksidacije ulja u parnim turbinama je ASTM D 943. Ova metoda je bazirana na vremenu potrebno da se razvije određeni postotak oksidacije u uvjetima koji uzrokuju ubrzanje procesa oksidacije. Što je dulje vrijeme potrebno da nastane taj determinirani postotak oksidacije smatra se da je ulje kvalitetnije. Oksidacija ulja se određuje temeljem povećanja kiselosti turbinskog ulja.

Oksidacijska stabilnost je važan faktor u predviđanju uspješnosti ulja da izvrši svoj zadatak. Bez potrebne oksidacijske stabilnosti, radni vijek ulja bio bi prekratak, te bi bilo potrebo konstantno mijenjati ulje. Također ulje koje oksidira uglavnom postaje kiselije, stoga ima za posljedicu pospješivanje korozije metala s kojima dođe u kontakt. Uz to mulj koji nastaje prilikom oksidacije može se taložiti na površinama koje se podmazuju, uzrokujući dodatno trenje koje za posljedicu ima ubrzano trošenje materijala.

Glavni zahtjeva za ulja koja rade u zatvorenim sustavima podmazivanja, gdje se ulja koriste znatno duže vrijeme, je oksidacijska stabilnost. Što je viša radna temperatura ulja, veća je potreba za oksidacijskom stabilnošću. U parnim turbinama je najveća potreba za oksidacijskom stabilnošću ulja, posljedica koje bi nastale ukoliko bi došlo do problema s ležajem turbine mogu uzrokovati i prekida rada cijelog sustava.

Također u turbinskim uljima često je oksidacija definirana mjerenjem „Acid Numer“ (kiselinski broj) odnosno mjerenjem kiselosti. U normama za turbinska ulja je najčešće prisutno mjerenje kiselosti upravo ovom metodom, a najčešći postupak je definiran normom ASTM D974. Kiselost je određena mjerenjem količine kalijevog oksida (KOH) koji je potrebno dodati da bi se neutralizirala kiselost koja je nastala pod djelovanjem oksidacije u turbinskim ulju. Turbinska ulja tijekom svojeg rada oksidiraju kako bi stvarali kiselost. Dopuštene vrijednosti kiselosti mjerene upravo ovom metodom za turbinska ulja definirana su normom ASTM D4304- 17 [2].

## 2.7 Biorazgradivost

Biorazgradivost je proces raspadanja materijala u okolišno prihvatljive produkte poput vode, ugljikovog dioksida i biomase uz prirodno dostupne mikroorganizme i bakterije.

Ona je posebno važna kod vjetroturbina kojima je cilj da ulja budu upotrebljiva uz minimalnu prisutnost radnika na njihovom održavanju. Uz to uzmemo li u obzir da se često nalaze na udaljenim i osamljenim mjestima, jako je važno da prilikom odabira ulja u obzir uzmemo njegovu sposobnost biorazgradivosti. Nije realno očekivati da neće doći do istjecanja makar minimalne količine ulja iz turbine.

Budući da se vjetroturbine nalaze u prirodi, a ne kao parne i plinske turbine, koje se nalaze u zatvorenom postrojenju, gdje lako možemo kontrolirati istjecanje ulja, teže se može kontrolirati istjecanje. Biorazgradivost se postavlja skoro kao nužan preduvjet za ulja koja se koriste u vjetroturbinama. Jer, istjecanjem nerazgradivog ulja, poput mineralnog ulja, nastalo bi dugoročno onečišćenje okoliša. Koje bi zahtijevalo enormne resurse za saniranje.

Postoje tri osnovna tipa degradacije koja se javljaju u uljima za vjetroturbine:

- Primarna
- Ultimativna
- Svojtvena

„Primarna biorazgradivost je definirana kao minimalna modifikacija supstance pomoću mikroorganizama uzrokujući promjenu u mjerljivim svojstvima tvari“[5]

„Ultimativna biorazgradivost je degradacija postignuta kada je supstanci potpuno potrošena od strane mikroorganizama, uzrokujući nastanak ugljikovog dioksida, metana, vode, mineralnih soli, te novi mikrobnih staničnih sastojaka.“[5]

„Svojtvena biorazgradivost je klasifikacija kemikalija za koje postoje nedvosmisleni dokazi koji ukazuju na biorazgradivost(primarnu ili ultimativnu) u bilo kojem testu na biorazgradivost. Ovaj pojam se najčešće veže uz mineralna ulja zbog njihovog niskog stupnja biorazgradivosti. Ulja koja su klasificirana kao svojevrsno razgradiva također se smatraju zagađivačima, te njihovim nepravilnim zbrinjavanjem se uništava okoliš“ [5].

## 2.8 Ekotoksičnost

Ocjenjivanje utjecaja na okoliš određenih supstanci uključuje njihov utjecaj na rast, reprodukciju, ponašanje i smrtnost testiranjem na živim organizmima. Najčešće se ekotoksičnost mjeri korištenjem morskih organizama kao što su ribe, morski račići i alge. Uglavnom se prikazuje pomoću laboratorijske mjere za smrtnost „LC<sub>50</sub>“, značenja „Lethal concentration 50“, prevedeno to predstavlja postotak smrtnosti testiranih organizama od 50%. Podaci koji se dobiju ispitivanjem ekotoksičnosti, ukoliko se radi o pravilo izvedenim testiranjima s dobro prikupljenim podacima i kvalitetnom analizom, daju nam dobre informacije o potencijalnim opasnostima koje imaju turbinska ulja na okoliš. Neke od najčešće korištenih organizama za testiranje ekotoksičnosti su Kalifornijska pastrva, Kozice, Vodenbuhe i Zelene alge.

Standardni testovi za ekotoksičnost su jednostavni u svojem pristupu, te korisnost takvih testova uvelike ovisi o pogledu koji koristimo kada ih analiziramo. Testovi koje radimo uglavnom neće biti sposobni uzeti u obzir sve varijable koje postoje u kompliciranom okolišu unutar kojeg se nalazimo. Da bismo stvarno mogli odrediti utjecaj na okoliš pojedinih proizvoda potrebni su nam potpunija istraživanja, kao što je cjeloživotno ispitivanje utjecaj proizvoda na okoliš. Ono u obzir uzima sve faze nekog proizvoda, počevši od njegove proizvodnje, transporta, korisnosti i u konačnosti njegovog zbrinjavanja nakon završetka radnog vijeka. To je izrazito važno kada uspoređujemo proizvode iz kompletno drugačijih klasa, na primjeru ulja imamo usporedbu između mineralnih baznih ulja i biljnih baznih ulja. [2]

Ne treba stavljati preveliku važnost na kvalitativne rezultate. Ovakvi testovi ekotoksičnosti mogu služiti samo da podupru tezu koju već imamo o utjecaju proizvoda na okoliš, ne smiju nam biti temelj na kojem određujemo što je manja, a što je više štetno za okoliš[2].

Kod turbinski ulja najveći utjecaj ekotoksičnosti imamo za vrijeme zbrinjavanja ulja nakon završetka njegovog radnog vijeka. Ulja za vrijeme svog radnog vijeka ne izlaze iz postrojenja i ne predstavljaju značajan problem za okolinu, no u procesu zbrinjavanja može doći do negativnog utjecaja na okoliš. Stoga je potrebno uzeti u obzir utjecaj na okoliš ulja ukoliko dođe do nepravilnog zbrinjavanja i turbinska ulja završe u okolišu. Naravno i u samom proces zbrinjavanja, što se najčešće obavlja spaljivanjem ulja, nam je važna ekotoksičnost. Potrebno je obratiti pozornost na nusprodukte procesa izgaranja koji mogu imati negativan utjecaj na okoliš.

---

## 2.9 Korozivnost

Korozija je razaranje konstrukcijskih materijala kemijskim djelovanjem fluida, u ovom slučaju radi se o uljima. Korozija razara metale i anorganske nemetale. Veliki broj industrijskih strojeva, pa tako i turbine sadrže bakara bilo samostalno ili u nekoj leguri. Stoga je važno da ulje u dodiru s bakrom nema korozivan utjecaj na njega, odnosno da ne dođe do razaranja bakrenih materijala[6].

Bakar se u turbinama najčešće nalazi u ležajevima, zupčanicima u reduktorima i multiplikatorima. Stoga proizvođači komponenata za turbine uvijek naglašavaju da je potrebno koristiti mazivo koje nije korozivno prema bakru da bi se ostvarile performanse koje su zadane. Iako je moderna tehnologija napredovala u eliminiranju štetnih materijala iz mazivih ulja, korozija je još uvijek moguća i trebamo ju uzeti u obzir prilikom izbora odgovarajućeg maziva. Stoga, da bismo provjerili korozivna svojstva ulja prema bakru razvijen je test zvan „Copper strip“ u prijevodu test bakrene trake. Ovaj test je definiran normom ASTM D 130, te određuje sposobnost ulja da se primjenjuje u turbinama gdje imamo prisutan bakar [2].

## 2.10 Gustoća

Gustoća je numerička vrijednost koja određuje odnos između fizikalnih veličina mase i volumena. U SI sustavu mjernih jedinica gustoća je određena u kilogramima po metru kubnom. Kod turbinskih ulja, kako je definirano normom HRN ISO 8068 gustoća se uvijek mjeri na temperaturi od 15°C. Gustoća je važna u izračunima gdje imamo pretvorbe iz mase u volumen, te iz volumena u masu. Iako nije direktan indikator kvalitete nekog ulja, ponekad je dobar indikator.

Najčešća upotreba podatka o gustoći maziva je definiranje konzistentnosti u proizvodnji. Odnosno ukoliko se pokaže da postoje velike razlike u gustoći između različitih serija u proizvodnji ulja, onda znamo da postoje problemi s uljem. Postupak za mjerenje ulja definiran je normom ASTM D 1298, gdje se za određivanje gustoće koristi aerometar [2].

Kontroliranjem gustoća različitih serija turbinskih ulja možemo se osigurati da prilikom zamjene ulja novo ulje koje će se koristiti u sustavu ima jednaka svojstva ulju koje smo izbacili. Ukoliko je nova serija ulja svojim karakteristikama različita od trenutno korištenog ulja, može doći do smetnji u radu turbine i do oštećenja samih komponenata.

## **2.11 Pjenjenje**

U uljnim sustavima za podmazivanje koji imaju velike brzine cirkulacije ulja važno je da ne dođe do propuštanja zraka kroz brtve ili kroz spremnik ulja. Ukoliko dođe do propuštanja treba taj zrak što brže ukloniti iz ulja. Zrak ako se zadrži u ulju uzrokuje nastajanje pjene koja ima za posljedicu kavitacijsko djelovanje, te smanjene sposobnosti podmazivanja ulja.

Iako minerala bazna turbinska ulja nisu u velikoj mjeri podložna pjenjenju, dodavanjem aditiva mijenjaju se njegove karakteristike i ono postaje podložnije nastajanju pjene uz prisutnost zraka. Postoje posebni aditivi koji reduciraju nastajanje pjene i pospješuju sposobnost ulja da ispusti zrak koji se našao u njemu.

Metoda za mjerenje pjenjenja je definirana normom ASTM D 892, tamo se određuje tendencija ulja da stvori pjenu uz prisutnost zraka. Postoje tri slijeda mjerenja, prvi na temperaturi od 24 °C, drugi na temperaturi od 93,5 °C i zadnji, treći, također na temperaturi od 24 °C. Mjeri se količina nastale pjene u mililitrima, a normom je definirana dopuštena količina pjene za određeni slijed u mjerenju [2].

Nastajanjem pjene u turbinskom ulju dolazi do raznih problema u sustavu za podmazivanje, uz to proces kavitacije može dovesti do erozijskih oštećenja komponenata turbine. Erozijsko djelovanje ima za posljedicu nastajanje hrapavih površina, to u konačnosti može dovesti do problema u podmazivanju i do skupljanja sitnih nečistoća u ulju. Provođenjem testiranja možemo definirati podložnost ulja nastajanju pjene, te samim time izabrati ona ulja koja imaju manju vjerojatnost za pjenjanje.

## **2.12 Opteretivost ulja**

Kod turbina u kojima imamo visoko opterećenje na pojedine dijelove, važno da ulje ima sposobnost da podnese to opterećenje. Ulje mora biti u mogućnosti održavati film ulja između dijelova koji su u međusobnom kontaktu, bez obzira na silu koja djeluje. Bez toga dolazi do oštećenja površina i do mogućeg propadanja dijelova. Opterećenja u turbinskim uljima mogu biti posljedica različitih faktora, primjera radi u vodnim turbinama, ako dođe do promjene protoka vode kroz turbinu, dolazi do značajnog porasta opterećenja na ležajeve koji se podmazuju, stoga je potrebno da oni imaju sposobnost da podnesu takav značajan porast opterećenja.

Nekoliko ispitnih metoda je razvijeno da bi se odredila sposobnost ulja da podnese visoko opterećenje. Za turbinska ulja je definirano normom HRN ISO 8068 da se za testiranje opteretivosti ulja koristi FZG test, koji je поближе definiran normom ISO 14635-1.

U FZG testu koji se najčešće koristi u Europi, se služimo s dva seta suprotnih zupčanika koji su opterećeni do faze popuštanja površina zuba. Rezultat test je broj stupnjeva koji su uspjeli pretrpjeti zupčanici pri takvom opterećenju. Uz vrijeme koje je proteklo u samom testiranju, uvijek su definirani i temperatura, te brzina kojom se pomiču zupčanici [2].



### 3. KAPLJEVITA MAZIVA

Mazivo je tvar koja se zbog svoji posebnih fizikalnih svojstava koristi za podmazivanje. Njezino djelovanje uzrokuje smanjenje trenja između kliznih ploha koje se nalaze pod opterećenjem i međusobnom relativnom gibanju. Uz glavno djelovanje koje im je smanjenje trošenja strojnih dijelova, važnu funkciju posebice u turbinama imaju u odvođenju topline.

Iako se u podmazivanju turbina uz kapljevita maziva koriste i kruta maziva, te mazive masti. Primjera radi, mazive masti se često koriste u kliznim ležajevima koji se nalaze u vodnim turbinama. U ovome radu tema su isključivo kapljevita mazivima, odnosno maziva ulja.

Kapljevita maziva su najvažnija vrsta maziva za turbine, sastoje se od baznog ulja i različitih aditiva. Bazno ulje se dijeli u pet grupa, te može biti mineralnog ili sintetskog podrijetla.

Kapljevita maziva najčešće se dijele u dvije ključne kategorije, motorna ulja(maziva za motorna vozila) i industrijska ulja(maziva za razne strojeve), kao što su ulja za turbine. Industrijska ulja svojim su radnim strojevima prilagođena vrsti stroja i mjestu na kojem se taj stroj primjenjuje. Glavna uloga turbinskih ulja je podmazivanje ležajeva, uglavnom se radi o kliznim ležajevima, i ostalih pomičnih dijelova turbine osiguravajući miran i dugovječan rad. Uz podmazivanje turbinska ulja ovisno o tipu mogu imati i druge namjene, primjera radi kod plinskih i parnih turbina ulja imaju i važnu ulogu u odvođenju topline i hlađenju cijelog postrojenja. Također važno svojstvo za turbinska ulja je i dobro odvajanje vode, te i dobra otpornost na oksidaciju.



Slika 2: INA Turbo 46, mineralno turbinsko ulje za podmazivanje ležajeva parnih, vodnih i plinskih turbina [7]

### 3.1 Podjela baznih ulja

Prema dogovoru bazena ulja smo, radi lakšeg raspoznavanja, podijelili u pet kategorija, d kojih u prve tri grupe ulja spadaju mineralna bazna ulja. Četvrta grupa su kompletno sintetička (polialfaolefinska) ulja, a u petu grupu spadaju sva bazna ulja koja nisu sadržana unutar prve četiri grupe. Prije nego što se u njih dodaju aditivi, sva maziva svoj put započnu kao jedna od ovih pet grupa.

**Grupa I:** odnosi se na ulja koja su manje od devedeset posto zasićena, te sadrže više od 0.3% sumpora s indeksom viskoznosti u rasponu od 80 do 120. Temperaturni raspon ovih ulja je između 0 °C i 65 °C. Prva grupa baznih ulja dobivena je rafiniranjem pomoću otapala, što je jednostavniji proces rafiniranja zbog čega su to najjeftinija bazna ulja na tržištu.

**Grupa II:** baznih ulja su više od 90% zasićena, a sadrže manje od 0.3% sumpora uz indeks viskoznosti također od 80 do 120. Najčešće se proizvode hidrokrekiranjem, što je zahtjevniji proces u usporedbi s Grupom I. Druga grupa baznih ulja ima bolja antioksidacijska svojstva, te imaju čišću boju. U usporedbi s prvom grupu imaju višu cijenu, unatoč tome ova ulja danas postaju sve češća na tržištu, te su cjenovno sve bliža prvoj grupi.

**Grupa III:** bazna ulja koja su više od 90% zasićena, sadrže manje od 0.3% sumpora te imaju indeks viskoznosti veći od 120. Ova ulja su dodatno rafinirana u usporedbi s drugom grupom, uglavnom su dobivena hidrokrekiranjem na višoj temperaturi i tlaku u usporedbi s drugom grupom. Ovaj duži proces je zamišljen da postigne višu čistoću konačnog ulja. Iako se radi o baznim mineralnim uljima, treća grupa se nekada opisuje kao sintetizirani ugljikovodici. Ova grupa također danas postaje sve korištenija, isto kao i druga grupa.

**Grupa IV:** polialfaolefinska (PAO) bazna ulja. Radi se o sintetičkim baznim uljima dobivenim u procesu koji se naziva sintetiziranje. Imaju znatno širi spektar temperatura u usporedbi s mineralnim baznim uljima, te su prilagođenija za korištenje na ekstremno niskim temperaturama i na značajno višim temperaturama od mineralnih baznih ulja.

**Grupa V:** se klasificira kao sva ostala bazna ulja koja ne spadaju u niti jednu od prethodne četiri kategorije. Tu su uključena silikonska, fosfatno esterska, poliesterska i brojna druga ulja. Esteri su čest primjer za ulja iz pete grupe, koriste se u raznim forma maziva za poboljšanje svojstva postojećih baznih ulja. Esterska ulja mogu podnijeti veća opterećenja na višim temperaturama, te isporučiti višu čistoću u usporedbi s PAO sintetičkim baznim uljima, što za posljedicu ima produljenje vijeka trajanja.

### 3.2 Analize parametara koji utječu na degradaciju ulja

Eksploatacijom ulja dolazi do njegovog degradiranja, brojni su faktori koji utječu na smanjenje kvalitete ulja. Među ostalim to su prisutnost zraka i prisutnost sitih čestica nečistoća koja se mogu naći u uljima. Stoga je važno odrediti njihovu eventualnu prisutnost, a za to se koriste posebni testovi.

#### Prisutnost zraka

Disperzija zračnih mjehurića unutar ulja utječe može dovesti do nestabilnog i neučinkovitog rada turbina, stoga je potrebno provesti analize da bi se utvrdila njihova koncentracija. Zrak unutar ulja nalazi se u obliku mjehurića koji mogu brzo izlaziti na površinu ili se dulje zadržavati unutar ulja.

Sadržaj zraka unutar ulja nije uobičajena pojava, ukoliko se utvrdi njegova prisutnost pomoću testa definiranog normom DIN 51381 koji utvrđuje svojstva otpuštanja zraka iz ulja. Prisutnost zraka indicira postojanje nekog problema unutar turbine koji je doveo do njegove prisutnosti. To mogu biti problemi jednostavni poput nedostatne količine ulja u spremniku ulja, zbog čega dolazi do usisavanja zraka iz spremnika. Također nepravilan način dodavanja ulja u sustav također može dovesti do ulaska zraka. Drugi problemi mogu biti ozbiljnije prirode, kao što su pukotine unutar sustava koje dovode do propuštanja ili sistemski problemi koji su nastali još u fazi razvoja turbine ili njezinoj proizvodnji.

Mnogi naftni derivati su dobra otapala za mnoge tvari. Stoga je često dobro znati kakvu sposobnost otapanja posjeduju određena maziva. Za određivanje sposobnosti kao otapala određenog ulja koristi se metoda ASTM D611 kojom se mjeri temperatura pri kojoj se jednake količine anilina ( $C_6H_5NH_2$ ) i ulja miješaju, odnosno tvore jednu fazu. Anilin je tvar koje je najteže topiva u gotovo svim ugljikovodicima, a njegovo otapanje se olakšava povišanjem temperature. Stoga što je niža temperatura na kojoj dolazi do nastajanja jedne faze, to ulje ima bolju sposobnost otapanja.

Za maziva ulja sposobnost otapanja je važna jer što je ona veća to je veća vjerojatnost omekšavanja i oticanja gumenih dijelova koji se nalaze unutar sustava za podmazivanje, te sprječavaju istjecanje ulja[2].

#### Prisutnost nečistoća

Sadržaj nečistoća u mazivim uljima je povezan sa sadržajem nesagorivih materijala u samome ulju. Iako su destilirana mineralna ulja sama po sebi gotovo u potpunosti bez sadržaja nečistoća, određena ulja su izrađena sa metalnim aditivima koji neće biti u potpunosti spaljeni tijekom procesa izrade. Uz to, mnoga ulja koja se nalaze neko vrijeme u radu mogu biti kontaminirana nečistoćama kao što su otkrnuti komadi metala ili razne nečistoće koje se nalaze u zraku.

Stoga nakon završetka proces spaljivanja ulja, količina pepela koja ostaje iza procesa je jako dobar pokazatelj sadržaja nečistoća. Sadržaj nečistoća ovisi o tipu ulja koji se ispituje, njegovom stanju i naravno o testu koji je izvedena da provjeri njegov sadržaj.

Najjednostavnija metoda određivanja sadržaja nečistoća u mazivom ulju je spaljivanje definirane manje količine ulja, na način da se dovede dovoljna količina topline da se sav zapaljivi sadržaj ulja izgori. Masa koja ostane nakon takvog postupka je određuje postotak nečistoća koji se nalazio u ulju. Sami postupak spaljivanja, te naknadnog mjerenja preostalog pepela definiran je postupkom ASTM D 482. Preferira se metoda ASTM D 874, jer u toj metodi se prvo filtriraju svi veći komadi nečistoća. Zatim se spaljuje u kontroliranim uvjetima, nakon

čega se zaostali pepeo tretira sumpornom kiselinom radi osiguravanja konstantnog stupnja oksidacije. Korištenjem kiseline dobiva se uniformnost rezultata, što ga čini pouzdanijim [8].

Tablica 1: Svojstva ulja za različite turbine [9]

Vrsta turbine	Vodena	Parna	Plinska
Kritični dijelovi turbine	ležajevi, usmjeravajuće lopatice, sustav regulacije	ležajevi, sustav regulacije	ležajevi, reduktori, sustav regulacije
Tipični broj okretaja, o/min.	50-600	>3000	3000-7000
Maks. temperatura ulja, °C	75 - 90	80 - 150	150 - 250
Temperatura ulja u spremniku, °C	40-60	45-65	50-95
Nepovoljni utjecaji	voda zrak	para zrak	zrak visoka temperatura

## 3. TURBINE

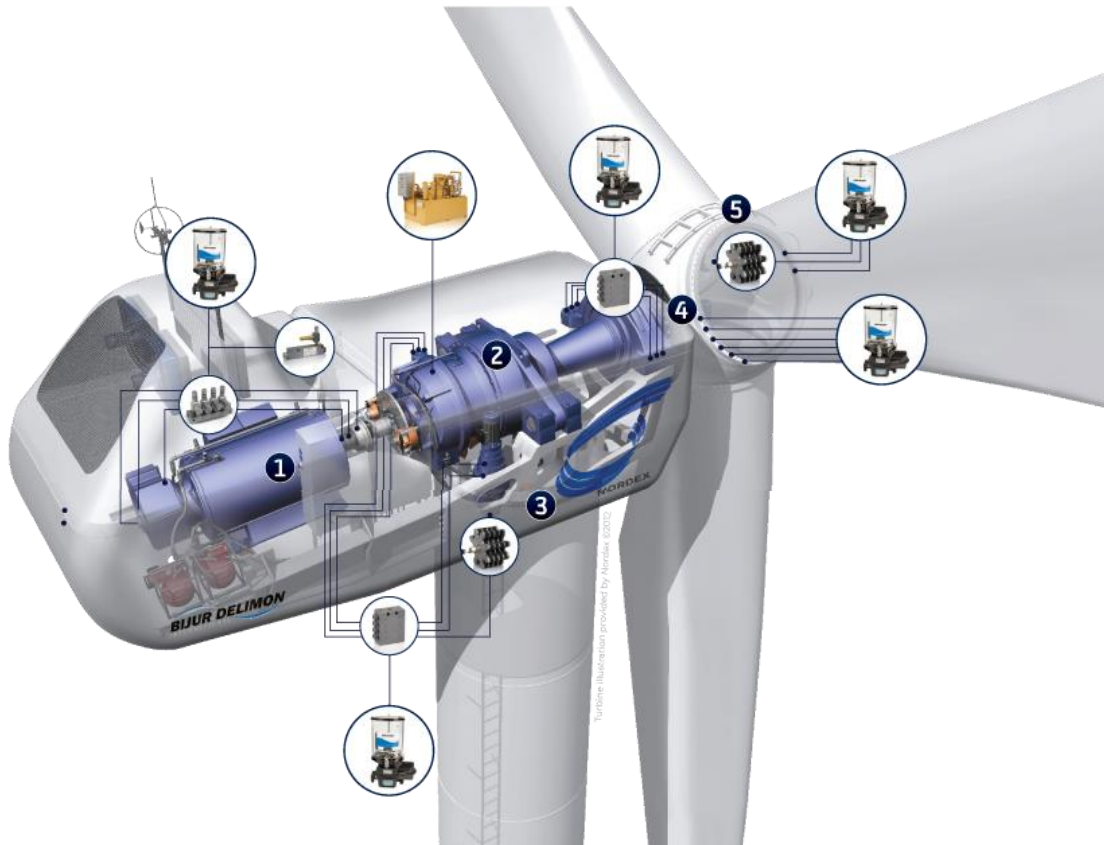
Turbina je energetska stroj koji se sastoji od sustava statorskih i rotorskih lopatica s kontinuiranim protokom radnog fluida kroz njih, a fluid može biti u tekućem ili plinovitom stanju. Turbine uzimaju energiju od fluida te je pretvaraju u mehanički rad. Razlikujemo toplinske turbostrojeve u kojima dolazi do promjene entalpije radnog fluida, to su parne i plinske turbine te hidrauličke turbostrojeve u kojima ne dolazi do promjene entalpije radnog fluida, to su vjetroturbine i vodene turbine.

### 3.1 Vjetroturbine

Vjetroturbina je stroj sastavljen od rotora, generatora i okolne strukture koje ga čini cjelinom. Rotor se sastoji od lopatica koje pretvaraju kinetičku energiju vjetra u mehanički rad, koji se kasnije preko generatora pretvara u električnu energiju.

U današnje vrijeme kada je ključan prijelaz s zagađujućih fosilnih goriva, na niskougljične izvore energije, vjetroturbine su jako važan čimbenik u toj tranziciji, budući da pretvaraju praktički neiscrpan izvor energije kinetičku energiju vjetra u električnu energiju. U nekim visoko razvijenim sjevernoeuropskim državama energija iz vjetra je zaslužna za 50% i više proizvedene električne energije. S obzirom na konstantno proširenje korištenja vjetroturbina važno se upoznati s svim njezinim prednostima i manama, kako bismo najbolje donijeli odluku o energetska budućnosti Zemlje.

Jedan od važnih, a rijetko spominjanih sudionika u radu vjetroturbina, su ulja i maziva. Kao što znamo niti jedan stroj ne može raditi bez potrebnog podmazivanja, a posebno vjetroturbine koje koriste mazivo za više namjena [10].



1. Generator
2. Multiplikator
3. Motor za skretanje lopatica
4. Glavni ležaj
5. Ležaj lopatica

Slika 3: Sustav za podmazivanje vjetroturbine [11]

## Zahtjevi

- Stvaranje zaštitnog filma
- Zaštita od abrazijskog trošenja
- Otpornost na koroziju
- Odvođenje topline
- Prijenos snage
- Transport zagađivača

Šest je ključnih zahtjeva koje mazivo treba zadovoljiti kako se moglo koristiti u podmazivanju vjetroturbin. Prvi i osnovni zahtjev je stvaranje filma maziva između dijelova turbine koji se nalaze u kontaktu, uz je važan i zahtjev za sprječavanje trošenja. Tu se prvenstveno misli na abrazijsko trošenje, koje je trošenje materijala prouzročeno rezanjem ili grebanjem čvrstih tijela ili čvrstih čestica. Treći zahtjev je postizanje otpornosti na koroziju, tu se uglavnom govori o sprječavanju oksidacije materijala turbine, koje bi za posljedicu imalo propadanje materijala i

značajno skraćanje radnog vijeka. Nužna posljedica mehaničkog rada je stvaranje topline, iz tog razloga važan zahtjev na maziva je odvođenje te topline u svrhu sprječavanja toplinskog naprezanja u turbini [10].

Za određene konstrukcije turbina moguće je postaviti zahtjev za prijenos snage preko maziva, najčešće se radi o prijenosu hidrauličke sile. Zadnji jako važni zahtjev je transport zagađivača koji se nalaze u mazivu. Tri su ključna zagađivača koje se mogu naći u ulju: voda, sitne čestice i zrak. Bez transporta nečistoća smanjuje se stabilnost rada turbine, te se javlja potreba za češćim izmjenama maziva u postrojenju.

Dakle ključna uloga podmazivanja kod vjetroturbina je osiguravanje dugoročne stabilnosti u njezinom radu, a to se može postići samo pravilnim odabirom maziva i pravovremenim održavanjem, odnosno izmjenama. Zbog svih navedenih zahtjeva, konstantna je potraga za sve boljim i izdržljivijim mazivima.

## Podjela ulja

Četiri su osnovne kategorije ulja koja se koriste u vjetroturbinama:

- Mineralna ulja
- Sintetička PAO ulja
- Sintetička Esterska ulja
- Sintetička PAG ulja

80% maziva koje se konzumiraju u industriji vjetroturbina, uz tendenciju daljnjeg rasta, su sintetička ulja.

Sintetički proizvedena ulja daju dobru energetska učinkovitost, štedeći značajnu količinu energije tijekom svoje proizvodnje. U današnje vrijeme gdje je štednja energije ključna, za maksimizaciju profita, te naravno i smanjenje utjecaja na okoliš, to im daje veliku prednost i čini ih izrazito poželjnim. Sintetička ulja formulirana za generalnu upotrebu u turbinama uglavnom koriste neku od kombinacija PAO, Diester, Poliester i PAG ulja.

PAO(Polialfaolefinska) ulja su sintetički ugljikovodici. Ona ne sadrže prstenastu strukturu, dvostruke veze, dušične spojeve ili voskaste ugljikovodike. Zbog nedostajanja navedenih struktura i elemenata, ona su nepolarna i imaju visoki indeks viskoznosti (oko 130). Njihova prednost je što za razumnu cijenu daju vrlo dobre performanse uz maleni broj problema. PAO sintetska ulja su vrlo slična mineralnim uljima, uz ključnu prednost da se direktno proizvode, a ne ekstrakcijom iz ugljikovodika.

Druga ključna skupina sintetski maziva su Polialkilen-glikolna ulja(PAG), koja daju dobro podmazivanje uz visoki indeks viskoznosti(od 180 do 280), te dobru stabilnost pri povišenim temperaturama u radu. Ona se koriste u situacijama gdje je potrebna iznimno visoki indeks viskoznosti, budući da su značajno skuplja od PAG ulja.

Esterski bazirana ulja na diesteru, triesteru i naročito na poliesteru imaju visoku polarnost, te vrlo snažne međumolekulske veze. Zbog toga posjeduju odlično termalno-oksidacijsku stabilnost, koja je ključna za rad pri povišenim temperaturama. U određen primjenama to svojstvo može biti presudno za njihov odabir [5].

## Proces zamjene ulja

Postoje dva osnovna tipa izmjene ulja u vjetroturbinama, to su dvostupanjski i četverostupanjski proces izmjene ulja. Dvostupanjski proces uključuje dva koraka spuštanje starog ulja iz turbine i ubacivanje novog ulja za danji rad. Četverostupanjski proces je nešto složeniji, te također sadrži ispiranje uljnih kanala i izmjenu svih filtera kojima se uklanjaju nečistoće iz ulja.

Trenutno u industriji postoje dvije metode za izmjenu ulja u vjetroturbinama, „Bucket“ metoda i korištenje tlačnog spremnika za ispiranje uljnih cjevovoda. Obije metode su zahtjevne zbog svoje relativno slabe učinkovitosti, te potrebe za značajnom radnom snagom. Također problem „Bucket“ metode je što se može koristiti isključivo za dvostupanjski proces izmjene ulja [12].



Slika 4: Stroj za izmjenu ulja u vjetroturbinama [13]



Slika 5: Uporaba stroja za izmjenu turbinskog ulja [13]



### 3.2 Parne turbine

Parna turbina je toplinski stroj koji pretvara energiju tlaka i temperature vodene pare u mehanički rad kojim se pokreće turbina. Rad dobiven okretanjem rotora turbine najčešće se koristi za pokretanje električnih generatora. Energija potrebna za zagrijavanje vode najčešće dolazi od izgaranja fosilnih goriva poput prirodnog plina, ugljena ili nafte, ali u zadnje vrijeme sve više ima postrojenja koja koriste obnovljive izvore energije, kao što je sunčeva ili geotermalna energija, za dobivanje pare.

Važan izvor energije u plinskim turbinama je i nuklearna energija, čija važnost nakon dugo vremena ponovo raste. Glavna prednost nuklearne energije je njena gotovo nulta stopa emisije ugljikovog dioksida i ostalih stakleničkih plinova, uz mogućnost konstantne dobave velike količine električne energije, što joj daje značajnu prednost u odnosu na obnovljive izvore energije poput sunca i vjetra [14].

#### Sustav za podmazivanje parnih turbina

Sustavi za podmazivanje sastoje se od nekoliko ključnih dijelova koji mogu biti izvedeni na različite načine, a to su:

- Pumpe
- Filteri
- Hladnjaci
- Spremnici
- Kontrolna oprema

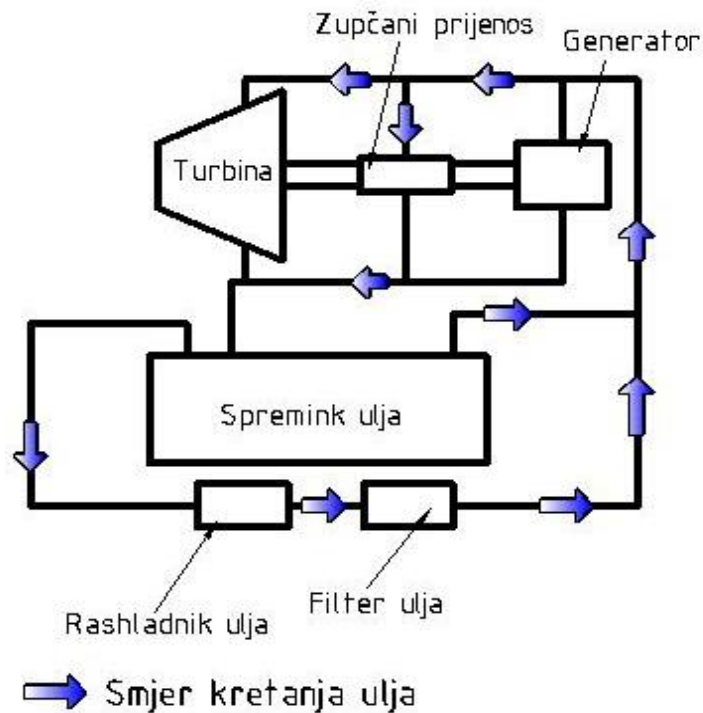
Svaki sustav za podmazivanje sastoji se od jedne ili više glavnih pumpi, koje su u standardnim radnim uvjetima dovoljne za dobavu svog potrebnog ulja u sustav. Uz glavnu pumpu postavljaju se i dodatne pumpe, koje imaju dvije ključne uloge u sustavu. Prvo je pružanje sigurnosti sustavu ukoliko dođe do problema s glavnom pumpom, a drugo je mogućnost ostvarivanja dodatnog protoka ukoliko nastane situacija u kojoj je to potrebno.

Filteri ulja su neophodni za uklanjanje sitnih nečistoća koje se mogu naći u ulju. Standardni filteri izdvajaju nečistoće veličine od 25 mikrometara, a moguće je postavljanje kvalitetnijih filtera koji mogu izdvojiti nečistoće veličine svega 5 mikrometara. Redovito održavanje i zamjena filtera jedan je od ključnih zadataka koji omogućava duži vijek trajanja svih ostali dijelova turbinskog postrojenja.

Hladnjaci ulja su neophodni jer kao ulje na previsokim temperaturama degradira, te gubi svoju sposobnost podmazivanja. Najčešće korišteni hladnjaci u parnim turbinama su „Shell and Tube“ izmjenjivači topline. Odnosno to je izmjenjivač topline oblika cijevi unutar cijevi, gdje rashladna voda struji kroz sitne cijevi koje se nalaze unutra plašta veće cijevi kojom struji ulje. Uglavnom se ulje hladi s početne temperature od 60 °C na temperaturu od 50 °C koja je uglavnom optimalna temperatura za rad sustava.

Spremnici ulja se koriste kako bi se osigurala neophodna količina ulja unutar sustava, te se u njima nalazi potrebna rezerva dodatnog ulja. Uvijek postoji mogućnost da ulje isteče iz sustava ukoliko se pojavi neka mala rupa, stoga je potrebno osigurati zalihu ulja koja se može brzo dodati u sustav.

Ostala oprema koja se nalazi u sustavu za podmazivanje su termometri za mjerenje temperature ulja, manometri za mjerenje tlaka ulja, ventili koji reguliraju propuštanje ulja unutar sustava. Također postoje i sustavi za upozorenje unutar kojeg se nalazi alarm, čija je zadaća spriječiti bilo kakvu nezgodu u sustavu [2].



Slika 6: Sustav za podmazivanje parne turbine [14]

## Zahtjevi

- Podmazivanje ležajeva, brtvi, hidrauličkog sustava, zupčanika
- Hlađenje sustava
- Sprječavanje korozije i trošenja
- Demulzibilnost

### 3.3 Plinska turbina

Plinska turbina je energetska stroj koji fluid, u ovom slučaju su to produkti izgaranja plina, koji se nalaze na povišenoj temperaturi i tlaku pretvara u mehanički rad. Sastoji se od turbokompresora, koji osigurava dobavu plina u turbinu, komore za izgaranje gdje izgara tekuće ili plinovito gorivo iz kojeg nastaju dimni plinovi povišene temperature i tlaka, te turbine sastavljene od lopatica gdje se kinetička energija dimnih plinova pretvara u mehanički rad okretanja vratila.

Dva su osnovna tipa plinskih turbina koje se danas koriste. Prvo su to industrijske plinske turbine koje se uglavnom koriste u termoelektranama za proizvodnju električne energije, a osim njih također postoje i manje plinske turbine, npr. pogonski mlazni motori na zrakoplovima.

Velike industrijske turbine nisu ograničene svojom veličinom, njezine komponente su velike, te uglavnom su udaljenije od izvora topline. Stoga za njihovo podmazivanje se uglavnom koriste širokodostupna ulja bazirana na naftnim derivatima. Najpoznatija grupa ulja koje se koriste za industrijske plinske turbine su ulja „Teresstic“ proizvođača Mobil. Uglavnom se koriste podvrste „T 32“ i „T 46“, radi se o uljima s mineralnim baznim uljem u koje se dodaju različiti tipovi aditiva kako bi se poboljšala određena svojstva ulja.

Za razliku od velikih industrijska plinskih turbina, manje plinske turbine kao one u mlaznim motorima su puno manjih dimenzija i kompaktnije izvedbe. U njima su ležajevi bliže izvoru topline same turbine, stoga su im potrebna ulja koje ne služe samo za podmazivanje u tim otežanim termalnim i oksidacijskim uvjetima, nego služe i za prijenos topline i hlađenje svih ključnih komponenata.

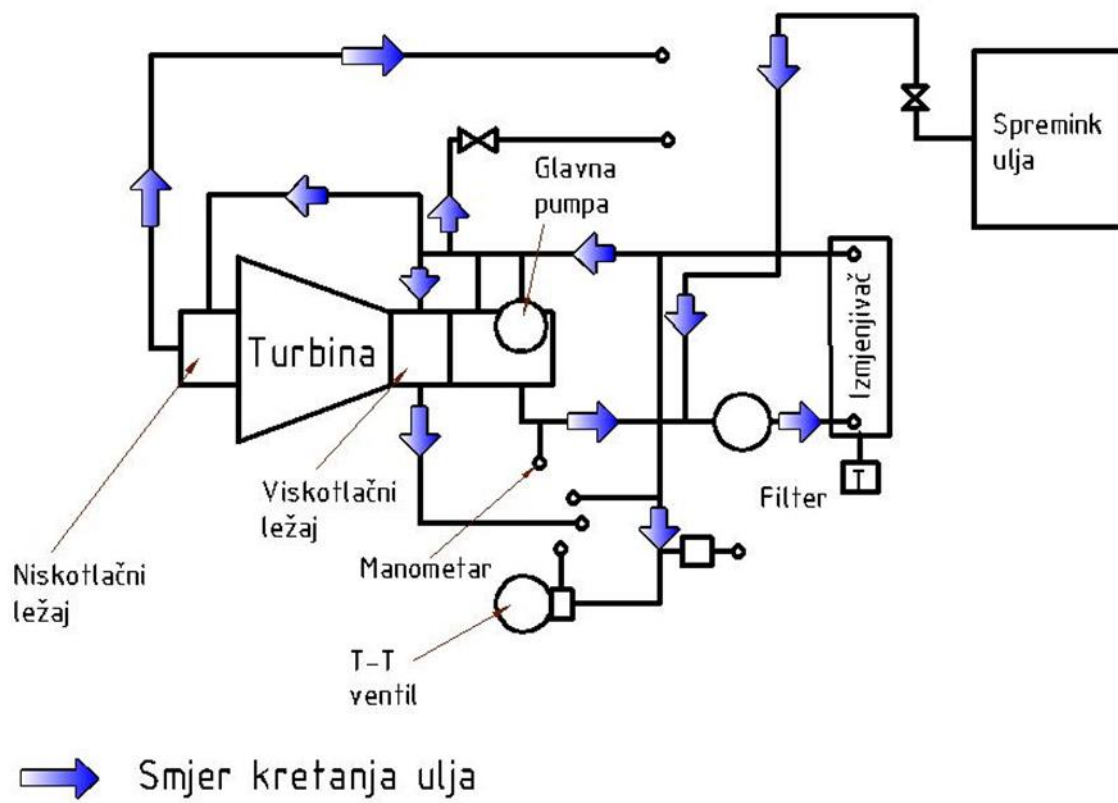
Zbog takvih otežanih uvjeta uglavnom se koriste visokokvalitetna sintetička ulja kao što je ulje proizvođača „Exxon“ naziva „ETO 2380“. Prema riječima proizvođača gotovo polovina svjetskog avioprijevoza koristi ovo mazivo.

„U većini slučajeva ulja izrađena od baznog mineralnog ulja daju izvrsnu sposobnost podmazivanja, ali moderna industrija stavlja sve veći teret na maziva. Novi strojevi su konstruirani za brži rad s većim opterećenjem uzrokujući više temperature u samome radu. Starija oprema se stavlja pod sve veći teret za maksimiziranje proizvodnje, ovi vrlo teški uvjeti stavili su veliku važnost na maziva radi osiguranja pouzdanosti i učinkovitosti u radu.

Također dodatni propisi za poboljšanje sigurnosti i smanjenje utjecaja na okoliš, potaknuli su korištenje dugovječnijih maziva s rjeđim ciklusima zamjena. Ovi zahtjevi doveli su do limita učinkovitost baznih mineralnih ulja, stoga je potrebno razviti novu generaciju maziva, a to su sintetička maziva“[2]

Iako je njihova cijena u startu veća, sintetička ulja u plinskim turbinama imaju brojne prednosti u usporedbi s konvencionalnim baznim mineralnim uljima. Prvenstveno je to njihov duži vijek trajanja, produžujući period u kojem ulje daje svoje najbolje rezultate. Zatim imaju bolju sposobnost zaštite od triboloških oštećenja, te su podložnija višim temperatura što je izrazito važno kod ulja koje se koriste u mlaznim motorima.

Sve ove prednosti imaju za posljedicu dugoročne uštede, ako se uzmu u obzir svi troškovi koji nastaju u radu jedne plinske turbine [2].



Slika 7: Shema sustava za podmazivanje plinske turbine [2]

### 3.4 Vodne turbine

Vodne turbine su energetska stroj u kojem se kinetička energija vode u obliku protoka i brzine strujanja pretvara u mehanički rad vratila kojim se pogoni električni generator koji služi za proizvodnju električne energije. Ovisno o smjeru strujanja vode, turbine se dijele na radijalne, aksijalne i radijalno- aksijalne. Vodene turbine su obično korištene u elektranama koje se nalaze na udaljenim i teže dostupnim mjestima, stoga je izrazito važno osigurati sigurnost i stabilnost u radu.

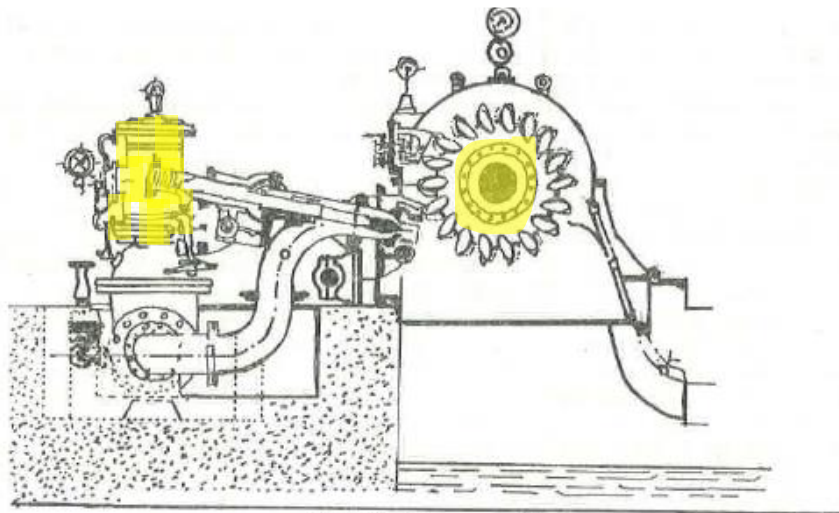
Za turbinska ulja koja se koriste u podmazivanju vodnih turbina ključni zahtjev je mogućnost separacije vode iz ulja. Ukoliko dođe do popuštanja sustava za brtvljenje može doći do prolaska vode u sustav za podmazivanje, stoga je ključna sposobnost deemulzivnosti ulja. Voda unutar ulja dovodi do smanjene kvalitete podmazivanja, a ono što je izrazito opasno je pojava korozije na komponentama unutar turbine.

Dijelovi vodnih turbina koji zahtijevaju podmazivanje su ležajevi turbine i generatora, ležajevi za vratilo, ventili za regulaciju protoka vode i kontrolni sustav same turbine[15].

Na slikama 8.,9. i 10. žutom bojom naznačeni su dijelovi turbina koji se podmazuju uljima.

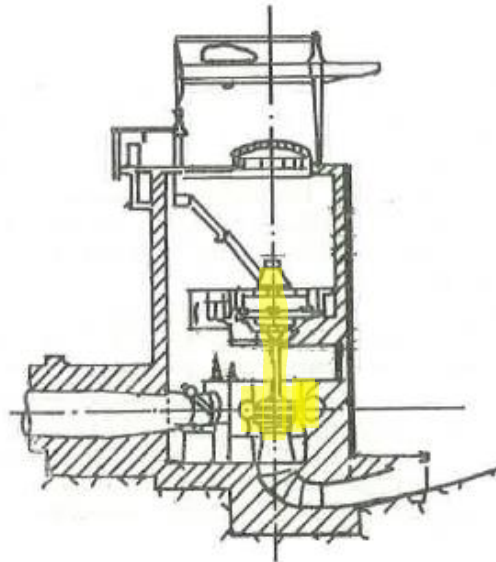
Postoje tri glavna tipa vodenih turbina koje se danas najviše koriste, te se nalaze u gotovo svim većim hidroelektranama na svijetu. To su Francisova turbina koja je ujedno i najzastupljenija, Peltonova i Kaplanova turbina. Određivanje koji tip vodne turbine je najprikladniji za ugradnju ovisi o raspoloživoj količini, brzini i padu vode koja se nalazi na tom mjestu.

**Peltonova** turbina se primjenjuje u uvjetima gdje postoji veliki geodetski pad vode, a usporedno relativno mali protok. Zbog toga Peltonove turbine karakterizira velika specifična brzina vrtnje. Prema raspoloživoj količini vode, Peltonova turbina ima jednu do šest sapnica, što ovisi o protoku u vodotoku i geodetskom padu, a te veličine definiraju i specifičnu brzinu vrtnje.



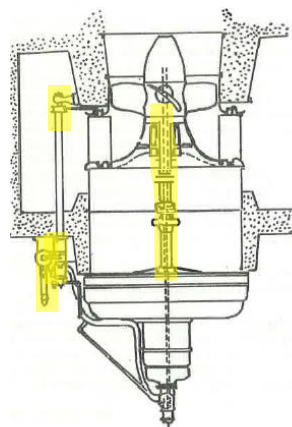
Slika 8: Peltonova turbina [16]

**Francisova** turbina se primjenjuje za srednje geodetske padove i protoke, a prema specifičnoj brzini vrtnje može biti sporohodna, srednjehodna i brzohodna. Relativno je širok spektar geodetskih padova i protoka za koje se može primijeniti Francisova turbina. Oblik i dimenzija radnog kola određuje se temeljem specifične brzine vrtnje.



Slika 9: Francisova turbina [16]

**Kaplanove** turbine primjenjive su za uvjete u kojima imamo vrlo velik protok, a mali geodetski pad. Zbog svoje elastičnosti u radu, Kaplanove turbine su poželjne u elektroenergetskom sustavu, ali kako je već spomenuto za to moraju postojati uvjeti velikog protoka i relativno malog geodetskog.



Slika 10: Kaplanova turbina [16]

Kod vodnih turbina kao i svi ostalih drugih energetski strojeva podmazuju se glavni dijelovi stroja različitim postupcima. Ključna razlika u podmazivanju kliznih ležajeva u vodenim turbinama u odnosu na parne turbine je smanjeno toplinski opterećenje, jedina toplina koja nastaje kod vodnih turbina uzrokovana je trenjem u radu. Kod parne turbine imamo veliko toplinsko opterećenje na sve dijelove turbine, stoga ulje obavlja važnu ulogu u hlađenju cijelog sustava.

U Peltonovoj turbini svaki ležaj ima svoje kućište i korito ima zasebno ulje, ti ležajevi se podmazuju pomoću prstena. Kod Francisove turbine noseći ležaj je segmentni ležaj potopljen u ulje koje se zajedno s ležajem nalazi u zasebnoj posudi. Kod Kaplanovih turbina ležaji i uređaji za zakretanje lopatica propelera koriste isto ulje. U sustavima za podmazivanje vodnih turbina uz spremnik, pumpu i cjevovod nalaze se filteri i hladnjaci za ulje, koji zahtijevaju redoviti servis i zamjenu za održavanje kvalitetnog podmazivanja [16].

## 4. NANOFUIDI

Do sada su ulja koja su se koristila u turbinama bila bazirana na naftnim derivatima, koji su neobnovljivi i toksični ukoliko ispušteni u okoliš. Stoga postoji veliki interes za razvijanje novih, obnovljivih i biorazgradivih ulja, a tu se danas prvenstveno govori o nanofluidnim uljima.

Nanofluidi su fluidi koji sadrže sitne čestice, koje nazivamo nanočestice. On se nalaze unutar fluida, u ovom slučaju radi se o uljima, veličine su uglavnom od 1 do 100 nanometara. Nanočestice su uglavnom izrađene od različitih metala, oksida i karbida.

Ideja koja stoji iza nanofluida je korištenje baznih ulja dobivenih iz raznih biorazgradivih izvora, na primjer iz uljarica poput palminog ulja ili drugog biljnog ulja, te dodavanjem nanofluida poboljšati svojstva maziva te ga učiniti konkurentnim s trenutno korištenim uljima. Dodavanjem nanočestica u ulja dolazi do promjene njegovih svojstava kao što su viskoznost, indeks viskoznosti, temperatura staništa, gustoće i koeficijenta trenja.

U istraživanju kojeg su proveli A. Greco, K. Mistry, V. Sista, o. Eryilmaz i A. Erdemir [17] uspoređivali su trenje i trošenje materijala koji se podmazuje s dva različita ulja. Oba ulja su bila PAO esterska ulja uz ključnu razliku da su u drugo ulje dodani komercijalno dostupne nanočestice borovog nitrida. Pokazali su da se dodavanjem nanočestica borovog nitrida značajno smanjilo nastajanje oštećenja trošenjem u usporedbi s uljem koje nije sadržavala nanočestice. Također je došlo i do smanjena faktora trenja između površina u kojima se koristilo ulje koje je sadržalo nanočestice borovog nitrida.

Dodavanjem nanočestica u bazno ulje također dolazi do poboljšanja termodinamičkih svojstava maziva, što je izrazito važno za ulja koja se koriste u plinskim i parnim turbinama, u kojima se ulja, među ostalim zadaćama koriste i za hlađenje ključnih komponenata kao što su klizni ležajevi [17].



## 5. REGENERACIJA I RECIKLIRANJE ULJA

Istrošena turbinska ulja, kao i sva druga iskorištena maziva ulja, spadaju među su od najopasnije zagađivača koji prijete našem okolišu ukoliko nisu kvalitetno zbrinuta. Zbog štetnih čestica koje se nalaze u njima predstavljaju veliku opasnost da nepopravljivo unište vode ili zemlju gdje dođe do njihovog ispuštanja. Ponovno korištenje ili recikliranje je smjer u kojem se danas nastoji ići kada govorimo o turbinskim uljima, među ostalima to je i određeno EU regulativama. Danas se smatra da istrošena ulja nisu otpad, već se radi o vrijednom resursu prikladnom za korištenje u proizvodnji novog ulja, bilo da se tu radi o njegovoj regeneraciji ili o recikliranju da dobijemo kompletno novo ulje.

Regeneracija turbinskog ulja odnosi se na obradu ulja u kojoj se ulje nakon određenog vremena pročisti i time se omogućuje njegovo kontinuirano korištenje u istoj ulozi kojoj je i do sada imalo. Danas kada govorio o pročišćivanju uglavnom se misli na pročišćivanje ulja od vode te sitnih nečistoća unutar ulja. Obnavljanje se odnosi na dodavanje određene količine aditiva za pročišćivanje ulja i dodavanje nekih već potrošenih aditiva.

Proces obnavljanja neće izbaciti nečistoće koje su nastale u ulju kao što je mulj koji je nastao procesom oksidacije. Takav proces do danas nije postao komercijalno dostupan, iako mnoge kompanije rade na njegovom usavršavanju.

Praćenjem programa koji detektira povišenu količinu vode u sustavu, veću od 500 ppm-a, ili povećanu količinu neke druge nečistoće, omogućuje nam da brzo reagiramo. Cirkulacijom ovih nečistoća kroz turbinu može nepopravljivo oštetiti dijelove turbine i uzrokovati probleme u njezinom radu. Regeneriranjem možemo učinkovito smanjiti koncentraciju vode i drugih nečistoća, ali uz to je potrebno odrediti koji su uzroci doveli do njihove povišene prisutnosti u vodi. Zatim treba otkloniti te nađene probleme, kako u budućnosti ne bi došlo do pojave tih istih problema.

Regeneriranje, odnosno pročišćivanje ulja od vode i nečistoća je vrlo jednostavan postupak i može se relativno jednostavno ostvariti. Voda se može izbaciti iz turbinskog ulja procesom sedimentacije, vakuumske dehidracije i procesom centrifuge. Broj čestica nečistoća se može umanjiti procesom sedimentacije, mehaničke filtracije i korištenjem elektrostatičkog filtera. Sve ove metode su učinkovite u smanjivanju broja nečistoća, uz to ne smanjuju količinu aditiva koja se nalazi u ulju regeneriranog ulja.

Obnavljanje, odnosno dodavanje aditiva u turbinsko ulje je puno zahtjevniji postupak koji zahtjeva poznavanje formulacije ulja. Turbinska ulja imaju balansiranu formulaciju osmišljenu da omogući optimalan rad turbine. Dodavanje drugih aditiva u korišteno ulje može uzrokovati promjene koje dovode do narušavanja ravnoteže u formulaciji ulja, što može uzrokovati negativne posljedice na kvalitetu ulja.

Metoda kojom se dodaju potrebni aditivi, u propisanoj količini, kako bismo ponovo postigli propisanu formulaciju je ključna. Većina aditiva ima limit na svoju topivost u baznim uljima, te imaju veću viskoznost u usporedbi s turbinskim uljima, stoga je potrebno ih dobro promiješati kako bismo imali ispravnu formulaciju. Poželjno je da oprema s kojom miješamo aditive u ulje ima potrebnu sposobnost linijskog miješanja. Takva oprema će postepeno dodavati potrebnu količinu aditiva u istrošeno mazivo ulje, osiguravajući nam da nećemo izgubiti potrebni balans ulja. Nakon što smo završili s postupkom dodavanja aditiva i njihovog miješanja s uljem, potrebno je uzeti uzorak ulja na testiranje kako bismo dokazali da je dodavanje aditiva bilo uspješno, te da su postignuta željena svojstva ulja.

Recikliranje mazivih ulja uključuje korištenje istrošenog ulja u drugim, manje važnim zadaćama od onih za koje je bilo originalno namijenjeno. Primjer ovakvog postupanja sa uljem je korištenje istrošenog motornog ulja kao sekundarnog goriva u procesu proizvodnje cementa. Drugi oblik recikliranja je uz pomoć procesa rerafiniranja, u kojem se pomoću niza procesnih koraka istrošeni aditivi i nečistoće izbacuju iz ulja, u konačnosti dobivajući rerafinirano bazno ulje [18].

---

## 6. ZAKONSKI OKVIR ZA TURBINSKA ULJA

Zakonom o gospodarenju otpadom definirani su pojmovi koji su važni u zbrinjavanju otpadnog ulja. Zakon je temelj uređivanja svakog područja, u ovom slučaju to se odnosi na gospodarenje otpadnim uljima. Zakonom se definira što su to otpadna ulja, kako ih je potrebno zbrinuti kada im završi radni vijek, dali postoji zakonska obveza recikliranja ili regeneriranja. Zakon također propisuje kaznene mjere u slučaju da se otpadna ulja ne zbrinjavaju na propisan način ili ne regeneriraju ili recikliraju kako je službeno propisano. Zakon ne daje uvijek konkretne mjere za sve dijelove njegove nadležnosti, već kaže da će pojedini dijelovi biti dodatno pojašnjeni u podzakonskim aktima, kao što su pravilnici, pojedini propisi i tako dalje.

### **6.1 Iz Zakona o gospodarenju otpadom (NN 84/21):**

Otpadana ulja su definirana kao mineralna ili sintetička bazna ulja s dodatkom aditiva koja služe za podmazivanje, te su postala neprikladna za obavljanje svoje zadane funkcije. U zakonu su turbinska ulja smještena u isti razred s motornim uljima, uljima za reduktore, uljima za podmazivanje i hidrauličkim uljima. Zakonom je također definirano što znači da je nešto biorazgradivo, konkretno biorazgradivost je definirana na način da je svaki biorazgradivi otpada onaj koji je podložan anaerobnoj ili aerobnoj razgradnji.

Zakonom je definirano da je postupak regeneracije ulja uporaba ulja kojom se bazna ulja mogu proizvesti rafiniranjem otpadnih ulja, na način da se iz ulja uklone nečistoće, proizvodi nastali postupkom oksidacije i aditivi koji su zaostali u uljima.

Kod postupanja s otpadnim uljima određeno je da prednost ima postupak regeneracije ili bilo koji drugi postupak recikliranja koji daje jednako vrijedan ili bolji ishod za okoliš od regeneracije, dok se odlaganje ulja smatra manje vrijednom metodom za zbrinjavanje ulja, također i postupci spaljivanja imaju nižu vrijednost te bi se trebali koristiti isključivo ako su jedina moguća metoda za zbrinjavanje ulja.

Definirano je da je strogo zabranjeno miješanje otpadnih ulja koja imaju različita svojstva, te miješanje ulja i drugog otpada, ako takvo miješanje onemogućuje regeneraciju ili neki drugi postupak recikliranja. Cilj je sačuvati ulje da se može dobiti proizvod koji je još uvijek iskoristiv, jer najčešće miješanjem ulja dobijemo proizvod koji kasnije nije moguće separirati ili iskoristiti ga takvog pomiješanog.

Zakonom se daju smjernice koje definiraju što je potrebno napraviti s otpadnim uljima jednom kad im prođe radni vijek. Definirano je da se prednost daje regeneraciji otpadnog ulja u odnosu na postupke njegovog odlaganja. U članku 5. istog zakona je definirano da „Gospodarenje otpadom mora se provoditi na način kojim se ne ugrožava zdravlje ljudi i ne uzrokuje štetni utjecaj na okoliš“. Prednost se daje postupcima kojima otpadno ulje može biti iskorišteno u korisne svrhe i nakon što je izgubilo vrijednost ta svoju izvornu zadaću.

Pravilnikom o gospodarenju otpadnim uljima su definirani načini na koje treba gospodariti otpadnim uljima, da se osigura što bolja provedba onoga što je zamišljeno zakonom. Unutar pravilnika su pobliže definirane neki ključni postupci koji se koriste za gospodarenje otpadnim uljima, kao što su zbrinjavanje ulja, termička obrada, sakupljanje itd. Definirani su postupci koji su strogo zabranjeni u procesu odlaganja i zbrinjavanja ulja, također su dane generalne smjernice koje određuju koji postupci imaju prednost u procesu odlaganja.

## **6.2 Iz Pravilnika o gospodarenju otpadnim uljima NN 124/2006:**

Pravilnik definira da je postupak termičke obrade otpadnih ulja onaj koji označava uporabu otpadnih ulja kao gorivo, na primjer to je korištenje istrošenog turbinskog ulja u proizvodnji cementa. Tamo je potrebna velika količina goriva, a unutar samog postrojenja se postiže izrazito visoka temperatura što uzrokuje kompletno izgaranje maziva.

Također je pravilnikom određeno da je strogo zabranjeno ispuštanje otpadnih ulja u površinske vode, podzemne vode, priobalne vode i drenažne sustave. Cilj je spriječiti kontaminaciju izvora vode s nečistoćama koja se nalaze u uljima, te zaštititi živi svijet koji ne smije doći u kontakt s tvarima iz ulja. Zabranjeno je i odlaganje ili ispuštanje otpadnih ulja u tlo, te svako nekontrolirano ispuštanje ostataka od obrade otpadnih ulja. Ostaci obrade otpadnih ulja moraju se odložiti na posebno zamišljena mjesta koja definira pravilnik ili zakon. Također je zabranjena i uporaba ili zbrinjavanje otpadnih ulja koja uzrokuje onečišćenje zraka iznad razine propisane važećim propisima i utječu na zdravlje ljudi i biljni i životinjski svijet. Zabranjeno je i odlaganje i sakupljanje otpadnih ulja u spremnike koji nisu propisano opremljeni za prihvatanje otpadnih ulja, jer se želi spriječiti mogućnost curenja ulja u okoliš.

Materijalna uporaba ulja ima prednost u odnosu na ostale načine uporabe, što znači da je uvijek preferirana metoda kojom se ulje može vratiti u funkciju podmazivanja, a ne da se koristi kao gorivo. Jedino u slučajevima gdje nije moguće materijalno oporabiti ulja možemo se koristiti postupkom termičke obrade, pri čemu se mora osigurati da se termička obrada obavlja prema propisima koji uređuju područje zaštite okoliša u energetske i proizvodnim postrojenjima.

U koliko nije moguće zbrinuti ulje ni materijalnom ni termičkom obradom, potrebno je osigurati da se otpadno ulje konačno zbrine nekim drugim odgovarajućim postupkom.

---

## 7. ZAKLJUČAK

Maziva ulja sastoje se od baznog ulja i raznih aditiva za poboljšanje njihovih svojstava, jako su važan čimbenik svakog postrojenja, pa tako i turbine. U turbinama se koriste prvenstveno za podmazivanje ležajeva, ali i brojnih drugih strojnih dijelova. Uz podmazivanje i smanjenje trenja među dijelovima u kontaktu ulja imaju i brojne druge zadaće, tako na primjer kod parnih i plinskih turbina imaju važnu ulogu u hlađenju, te se koriste za odvođenje topline iz turbine. Također turbinska ulja moraju imati i određene karakteristike da bi bila primjenjiva za svoju ulogu, primjerice ulja koja se koriste za podmazivanje vodnih turbina moraju imati dobru sposobnost separacije vode. Jer ukoliko dođe do prolaska vode kroz sustav brtvljenja ta se voda mora vrlo brzo izbaciti iz sustava, inače ima vrlo negativan utjecaj.

U današnjem svijetu u svim tehničkim sustavima potrebno je obraćati veliku pažnju o zaštiti okoliša, od toga nisu izdvojena ni maziva za turbine. Tradicionalna maziva ulja koja se dobivaju iz naftnih derivata predstavljaju veliki ekološki problem, najveća boljka im je veliki ugljikovog otisak, od same proizvodnje ulja gdje se emitira ugljikov dioksid, pa sve do njegovog kraja radnog vijeka kada se najčešće spaljuje. Stoga je danas velika pažnja usmjerena novim mazivima koja imaju znatno duži radni vijek, a uz to i bolja svojstva podmazivanja. Također se koriste i ulja koja su biljnog podrijetla te se u njih dodaju aditivna sredstva da bi se dobile nove povoljnije karakteristike, primjer toga su nanofluidna maziva. Ona se najčešće izrađuju od biljnog ulja u koje se dodaju nano čestice metala da bi se postigla zadovoljavajuća svojstva. Traži se danas da su ulja u velikoj mjeri biorazgradiva, jer takva ulja, ako dođe do eventualnog curenja u prirodi uzrokuju značajno manje posljedice na okoliš. Naravno, ono najvažnije što se danas čini je regeneracija ulja, odnosno pokušava se isto ulje upotrijebiti što je moguće dulje. To je najučinkovitija mjera za zaštitu okoliša.

U svijetu koji se gotovo u potpunosti okreće električnoj energiji kao izvoru sve potrebne energije, a gotovo sva električna energija povezana je pogonom turbina, postojat će stalna potreba za unaprjeđivanje efikasnosti turbinskog procesa. Tu će važnu ulogu imati i maziva. Ulja budućnosti trebat će imati još efikasnije podmazivanje svih dijelova turbine, te naravno sve manji utjecaj na okoliš.

---

**LITERATURA**

- [1] Viskoznost, <https://enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=64830>, 19.09.2022
- [2] P. Bloch, Heinz: Practica, Lubrication for Industrial Facilities 2nd Edition, The Fairmont Press, Inc., 2009
- [3] Ljubas, D: Podloge za auditorne vježbe VGM-E, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2020.
- [4] Migdal, C. A., Wardlow, A. B., Ameye, J. L.: Oxidation and the testing of turbine oils, AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS INTERNATIONAL, West Conshohocken, PA., 2008.
- [5] Lesinski, D: Synthetics to protect the wind turbine and the environment, www.windssystemsmag.com, 2013.
- [6] Korozija, <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=33255>, 14.9.2022
- [7] Turbinsko ulje, <https://www.ina-maziva.hr/turbinska-ulja-c52>, 28.8.2022.
- [8] Muller, J., Errichello, R.: Oil cleanliness in Wind Turbine Gearboxes, Machinery Lubrication (7/2002), 2002.
- [9] Petković, V., Kovač, O., Petković, M.: Predosti HC baznih ulja u formulaciji turbinskih ulja, GOMABN 51, 4, 329-340, 2012..
- [10] A. Spera, D.: Wind turbine technology second edition, Asme press, New York, 2009.
- [11] Sustav za pomazivanje vjetroturbine, <https://www.bijurdelimon.com/industries-served/wind-energy.html>, 19.09.2022.
- [12] Glessner, J.: Oil change systems designed for safety and & efficiency, www.windssystemsmag.com, 2012.
- [13] Proces zamijene ulja, <https://www.windssystemsmag.com/changing-turbine-gearbox-oil/>, 19.09.2022
- [14] P. Bloch, H., P. Singh, M.: Steam turbines design, applications and re-rating Second Edition, The McGraw-Hill Companies, Inc., 2009.
- [15] Jasak, H.: Predavanje iz Vodnih turbina, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2022.
- [16] Verčon, J.: Maziva i podmazivanje, Savez jugoslavenskih društava za primjenu goriva i maziva, Zagreb, 1986.

- [17] Greco, A., Mistry, K., Sista, V., Eryilmaz, O., Erdemir, A.; Friction and wear behaviour of boron based surface treatment and nano-particle lubricant additives for wind turbine gearbox applications, Elsevier, 271, 9-10, 1754-1760, 2011.
- [18] Bowden, R. W, Stein, W.H: Turbine Oil Reclamation and Refortification, Machinery Lubrication (7/2004), 2004.
- [19] R. Herguth, W., M. Warne, T.: Turbine Lubrication in the 21st Century, AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, West Conshohocken, 2001.
- [20] Jha, A.R, Ph.D. : Wind Turbine Technology, Taylor and Francis Group, LLC, Broken Sound Parkway NW, 2011

**PRILOZI**

I. CD-R disc