



Høgskulen  
på Vestlandet

# BACHELOROPPGAVE

Oljebruk i vannkraft fra et helse- og ytre miljøperspektiv

Use of oils in hydropower from a health and environmental perspective

**Ingrid Nygård & Oline Foss**

Bachelor i ingeniørfag, kjemi

Fakultet for ingeniør- og naturvitenskap/Institutt for sikkerheit, kjemi- og bioingeniørfag/Kjemiingeniør/Studieretning miljøteknologi

Innleveringsdato: 22.05.2023

Jeg bekrefter at arbeidet er selvstendig utarbeidet, og at referanser/kildehenvisninger til alle kilder som er brukt i arbeidet er oppgitt, jf. Forskrift om studium og eksamen ved Høgskulen på Vestlandet, § 12-1.

## Forord

Bacheloroppgaven «Oljebruk i vannkraft fra et helse- og ytre miljøperspektiv» er utarbeidet av to kjemiingeniørstudenter ved Høgskulen på Vestlandet (HVL) med studieretningen miljøteknologi for det avsluttende 20 studiepoengs emnet KJE350 i bachelorutdanningen. Arbeidet ble utført våren 2023.

Dette bachelorprosjektet er en ekstern oppgave gitt av Statkraft Energi AS. Statens arbeidsmiljøinstitutt (STAMI), det nasjonale kunnskapsorganet for arbeidsmiljø og -helse, organisert under Arbeids- og sosialdepartementet, har vært samarbeidspartner i prosjektet.

Vi ønsker å takke Statkraft Energi AS som har finansiert og ellers lagt til rette for å gjennomføre prosjektet. Vi takker spesielt vår eksterne veileder, Katrine Bråthen, leder for helse og sikkerhet. Vi vil også takke senioringeniør, Kjell-Tore Fjærvold, for tildeling av en spennende bacheloroppgave med en faglig interessant problemstilling, for tilgjengeliggjøring av alt nødvendig teoretisk materiale og tidligere rapporter, samt for støtten ved organisering og utførelse av arbeidet.

En stor takk til seniorforsker ved STAMI, Raymond Olsen, for god oppfølging under det eksperimentelle arbeidet og for hjelpen vi fikk i etterkant ved evaluering av resultater.

Vi ønsker også å spesielt takke vår interne veileder førsteamanuensis Yulia Skåtun og høgskolelektor Kristin Kvamme ved Institutt for sikkerhet, kjemi- og bioingeniørfag for all tiden og innsatsen som ble lagt i bachelorveiledningen vår. Vi setter stor pris på den gode oppfølgingen.

Bergen 22.05.23



---

Oline Foss

Ingrid Nygård

## Sammendrag

Bachelorprosjektet *Oljebruk i vannkraft fra et helse- og ytre miljøperspektiv* setter fokus på potensielle helse- og ytre miljøutfordringer knyttet til oljebruk i vannkraft. Oppgaven er tildelt av Statkraft Energi AS og utført i samarbeid med Statens arbeidsmiljøinstitutt (STAMI).

Bacheloroppgaven er basert på en komplementær tilnærming, som kombinerer teoretisk kartlegging og eksperimentelt felt- og analysearbeid. Kartleggingsoppgaven inneholder oversikt over relevant vitenskapelig litteratur, yrkeshygieniske målerapporter og relevant tilleggsinformasjon som Statkraft Energi AS har gjort tilgjengelig. Dessuten ble tre vannkraftverk, to av Statkraft Energi AS (Leirfossen og Bratsberg i Trondheim) og ett fra Eviny (Dale), brukt som casestudie i dette prosjektet til å identifisere risikoen for oljeutslipp, analysere kvalitativ og kvantitativ oljeforurensning av luft og vurdere mulige tilknyttede helsefarer for personell ved kraftverkene.

Det ble identifisert at en økt fare for oljeutslipp ved vannkraftverk er ved aggregat. Lagrene er et essensielt element i et aggregat og er nedsenket i smøreolje for å minimere friksjon mellom bevegelige deler. Oljesøl oppstår som oftest i lagre på grunn av svikt i tetninger. Pelton- og francisturbin, som brukes i vannkraftverk av Statkraft Energi AS, har minimal fare for oljeutslipp i vassdrag, da lager med smøreoljer ikke kommer i umiddelbar kontakt med vann som driver turbinbladene (1). Likevel forurensing av luft med oljetåke finner dessverre sted og utgjør fare for helsen til ansatte. Ved feltarbeidet ble tatt luftprøver av oljetåkekonsentrasjonen i luften. De målte resultatene ble sammenlignet med tidligere resultater, samt grenseverdier (NS-EN 689). Deretter ble oljetåkeeksponeringsnivået til ansatte evaluert, og nødvendigheten av strengere tiltak vurdert. I tillegg ble fordelene og ulempene med bruk av mineralolje og miljøolje som smøremidler i vannkraft sammenlignet i detalj.

## Abstract

The Bachelor thesis "*use of oils in hydropower from a health and environmental perspective*" focuses on health and environmental challenges associated with the use of oils in hydropower. The thesis has been assigned by Statkraft Energi AS and carried out in cooperation with the National institute of occupational health in Norway (STAMI). The bachelor's thesis is based on a complementary approach, which combines theoretical mapping, experimental fieldwork, and analysis work. The mapping exercise contains an overview of relevant scientific literature, occupational hygiene measurement reports, and additional relevant information that Statkraft Energi AS has provided. In addition, three hydropower plants, two from Statkraft Energi AS (Leirfossen and Bratsberg in Trondheim) and one from Eviny (Dale), were used as case studies for the project to identify the risk of oil spills, analyze qualitative and quantitative oil pollution of air, and assess possible association of health hazards for personnel at the power plants.

It was identified that an increased risk of oil spills at hydropower plants is in aggregates. The bearings are an essential element in an aggregate, where these are immersed in lubricating oil to minimize friction between the moving parts. Oil spills most often occur in bearings due to the failure of seals. The Pelton and Francis turbines, which are used in hydropower plants by Statkraft Energi AS, possess a minimal risk of oil spills in waterways, as the bearings do not come in immediate contact with the water that drives the turbine blades (1). Nevertheless, air pollution with oil vapor/oil mist, unfortunately, takes place and poses a risk to the health of employees. During the fieldwork, air samples were taken to determine quantitatively oil mist concentrations. The measured results were compared with previous results, as well as the limit values (NS-EN 689). The oil mist exposure level of employees was then evaluated, and the need for stricter measures was assessed. In addition, the advantages and disadvantages of using mineral oil and environmental oil as lubricants in hydropower were compared in detail.

## Forkortelser og ordforklaringer

<b>Forkortelse</b>	<b>Betydning</b>
NVE	Norges vassdrags- og energidirektorat
IEA	Det internasjonale energibyrådet
STAMI	Statens arbeidsmiljøinstitutt
PAO	Poly-alfa-olefiner
PAG	Polyalkylenglykoler
TCP	Trikresylfosfat
PAH	Polyaromatiske hydrokarbon
FT-IR	Fourier transformert infrarødt spektrometer
VOC	Flyktig organisk forbindelse
SVOC	Semiflyktig organisk forbindelse
OT	Batteripumpe, inhalerbar fraksjon
OTI	Totalstøv, torakal fraksjon
GC	Gasskromatografi
MOAH	Mineralolje aromatisk hydrokarbon
KFK	Klorfluorkarbon
HT	Hydrobehandlet base produkt

# Innholdsfortegnelse

<b>Forord</b> .....	<b>2</b>
<b>Sammendrag</b> .....	<b>3</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>4</b>
<b>Forkortelser og ordforklaringer</b> .....	<b>5</b>
<b>1 Introduksjon</b> .....	<b>8</b>
1.1 <i>Bakgrunn og tema</i> .....	8
1.2 <i>Problemstilling, formål og mål</i> .....	10
<b>2 Teori</b> .....	<b>12</b>
2.1 <i>Oljebruk i vannkraft</i> .....	12
2.2 <i>Oljebruk i aggregat</i> .....	14
2.2.1 <i>Klassifiseringer av smøreoljer</i> .....	14
2.2.2 <i>Additiver</i> .....	16
2.2.3 <i>Miljømerking av oljer</i> .....	17
2.3 <i>Oljesøl i aggregat</i> .....	18
2.4 <i>Effekter av oljesøl på ytre miljø</i> .....	20
2.4.1 <i>Bionedbryting</i> .....	20
2.4.2 <i>Nedbrytning av syntetisk olje</i> .....	20
2.4.3 <i>Nedbrytning av mineralolje</i> .....	21
2.5 <i>Helsefare ved eksponering av olje</i> .....	22
2.5.1 <i>Helsepåvirkning av additiver</i> .....	23
2.5.2 <i>Veien inn til kroppen</i> .....	25
2.5.3 <i>Grenseverdier for oljetåke</i> .....	27
2.6 <i>Analysemetode</i> .....	28
2.6.1 <i>Aerosol prøvetaking</i> .....	28
2.6.2 <i>FT-IR - Fourier transformert infrarødt spektrometer</i> .....	30
<b>3 Material og metode</b> .....	<b>32</b>
3.1 <i>Formler og ligninger</i> .....	32
3.2 <i>Kjemikalier og løsninger</i> .....	34
3.3 <i>Instrument og Apparaturer</i> .....	34
3.3.1 <i>Prøvetaking</i> .....	34
3.3.2 <i>Analyse</i> .....	34
3.4 <i>Utstyr</i> .....	35
3.4.1 <i>Utstyr for aerosol prøvetaking</i> .....	35
3.4.2 <i>Utstyr for Analysering av aerosol prøve</i> .....	35
3.4.3 <i>Utstyr for observering av olje i vann</i> .....	35
3.5 <i>Fremgangsmåte</i> .....	36
3.5.1 <i>Stasjonær prøvetaking – aktiv med absorbentør</i> .....	36
3.5.2 <i>Analyse</i> .....	37
3.5.3 <i>Flyktighetsvurdering</i> .....	39
3.5.4 <i>Observering av olje i vann</i> .....	40
<b>4 Resultat</b> .....	<b>41</b>

4.1	Standard for Teresstic T68.....	41
4.2	Flyktighets bestemmelse av Teresstic T68 .....	42
4.3	Konsentrasjon av oljetåke .....	46
<b>5</b>	<b>Diskusjon.....</b>	<b>52</b>
5.1	Resultat .....	52
5.1.1	Olje til observasjon .....	52
5.1.2	Flyktighetsvurdering .....	54
5.1.3	Oljetåke.....	54
5.1.4	Kritikk av metode og andre feilkilder.....	58
5.2	Videre diskusjon.....	60
5.3	Videre tiltak og arbeid .....	63
<b>6</b>	<b>Konklusjon .....</b>	<b>65</b>
<b>7</b>	<b>Referanse: .....</b>	<b>67</b>
<b>8</b>	<b>Appendiks.....</b>	<b>72</b>
8.1	Vedlegg - Teresstic T68.....	72
8.2	Vedlegg - Prøve analyser.....	72
8.3	Vedlegg – Flyktighet.....	73
8.4	Vedlegg – Tid .....	74
8.5	Vedlegg – Absorbents og luftstrøm .....	75
8.6	Vedlegg – Rådata for observasjon av olje.....	76
8.7	Vedlegg – Tidligere målinger .....	77

# 1 Introduksjon

Introduksjonskapittelet gir oversikt over bakgrunn for valg av oppgaven, temaene vannkraft og oljebruk og hvorfor det er viktig. Videre er problemstilling, formål og mål presentert.

## 1.1 Bakgrunn og tema

Global oppvarming og klimaendringer utgjør en alvorlig trussel mot natur og menneskers eksistens. De fleste klimaforskere i verden er enige om at de observerte klimaendringene skyldes menneskeskapt klimagassutslipp. FNs bærekrafts mål er verdens felles arbeidsplan for å bremse klimaendringene med å snu verden og Norge til grønnere steder med utslippsfrie fornybare energikilder (2).

Norge følger ambisiøst opp FNs bærekrafts målene for å redusere klimagassutslipp og etablere et bærekraftig lav utslipp samfunn innen 2050. Som et energirikt land, er Norge i en unik startposisjon med hensyn til energiomstilling. Norge har den høyeste andelen av produsert elektrisitet fra fornybare kilder i Europa, og de laveste utslippene fra kraftsektoren (2). 92% av elektrisitetsproduksjonen i Norge dekkes av vannkraft. Landets omfattende vannkraftressurser gir et stort potensial for ytterligere avkarbonisering, gjennom elektrifisering og lokalisering av energiforsyning. Samtidig er Norge verdens sjette største leverandør av råolje og nest største eksportør av naturgass. For å støtte en global energiomstilling, sikter Norge mot å bli en større eksportør av fornybar elektrisitet. Dermed har Norge i de siste årene hatt en stor utbygging av fornybar kraft (2), inkludert vind- og vannkraft.

Vindkraft er en av de raskest voksende energikildene i verden (3). Ifølge Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) økte produksjonen av vindkraft til 7,5 prosent av den norske kraftproduksjonen i 2021. Havvind har det største vekstpotensialet i Europa, som kan dekke rundt 20 prosent av EUs elektriske kraftforbruk i 2040, ifølge en analyse fra Det internasjonale energibyrået (IEA) (4).

For å utnytte norsk vannkraftpotensial til fulle, oppgraderes og utvides vannkraftverkene stadig. I Norge har man mange godkjente småkraftverk, som ikke utbygges ettersom tilkoblingen til strømmettet er for kostbart. Dette fører til at mye energi som kunne blitt utnyttet, forblir inntengt. Ved en lokal hydrogenproduksjon, vil man kunne utnytte energien uten utbyggelse av linjenettet. NVE har anslått at småkraft kan bidra med opp til to prosent økning i landets samlede vannkraftproduksjon (4).



For å sikre en bærekraftig fremtid bør fornybar energi produseres på en ansvarlig måte i tråd med FNs bærekrafts mål. Et av de kritiske elementene fra helse- og miljøperspektivet i både i vind- og vannkraftbransjen, er det utbredte bruket av oljer. Der valget av oljen som benyttes bestemmes ut fra egenskaper og formål (4). Oljebaserte smøremidler brukes til å opprettholde vedlikeholdet av vindturbinene; i vannkraft benyttes isoler-, transformator-, hydraulikk- og turbinoljer. Derved kan oljeforurensning av vann og luft føre til en rekke negative effekter på helse og ytre miljø. Fra et miljøsynspunkt bør dessuten klimagassutslipp knyttet til produksjon og transport av oljer samt deres resirkulering og deponering også vurderes (5).

Dette prosjektet setter fokus på potensielle helse- og ytre miljøutfordringer knyttet til oljebruk i vannkraft. Oppgaven er tildelt av Statkraft Energi AS og utført i samarbeid med Statens arbeidsmiljøinstitutt (STAMI).

Statkraft Energi AS er et norsk statsforetak og er Norges største elektriske kraftprodusent. Selskapet drifter og eier virksomheter i hele verden, da Europa, Asia og Sør-Amerika. I dag er Statkraft Energi AS Europas største vannkraftprodusent og en av de ledende produsentene av vindkraft i Nord-Europa, og er dermed Europas største leverandør av fornybar energi (6). Virksomheten har satt mål innenfor verdiskapning mot et nullslippsamfunn, der de har som strategi å satse på vekst innen solkraft, vindkraft og batterilagring med vannkraft som fundament. Dette ønsker de å oppnå innen 2030. Statkraft Energi AS har et sterkt fokus på både forskningsaktiviteter og nøye planlegging for å forutsi, forstå og minimere miljøpåvirkningene av kraftproduksjon. Virksomheten er opptatt av å håndtere miljøpåvirkningene av egne aktiviteter på en ansvarlig måte (7). Disse betraktningene danner grunnlaget for dette arbeidet.

Bacheloroppgaven er basert på en komplementær tilnærming, som kombinerer teoretisk kartlegging og eksperimentelt felt- og analysearbeid. Kartleggingsoppgaven inneholder oversikt over relevant vitenskapelig litteratur, yrkeshygiene målerapporter og relevant tilleggsinformasjon som Statkraft Energi AS har gjort tilgjengelig. Dessuten ble tre vannkraftverk, to av Statkraft Energi AS (Leirfossen og Bratsberg i Trondheim) og ett fra Eviny (Dale), brukt som casestudie i dette prosjektet. Dette ble gjort for å identifisere risikoen for oljeutslipp, analysere kvalitativ og kvantitativ oljeforurensning av luft og vurdere mulige tilknyttede helsefarer for personell ved disse kraftverkene.

## 1.2 Problemstilling, formål og mål

I denne bacheloroppgaven skal helse og ytre- miljøpåvirkning av oljebruk i vannkraft undersøkes. Statkraft Energi AS bruker en del oljer og kjemikalier i sin virksomhet. Flere av kraftverkene har utfordringer med oljetåke. Det etterfylles stadig olje, og helsefare og forurensningsproblematikk rundt dette er viktig å ha kontroll på. I den forbindelse er det ønskelig å starte en kartlegging av oljetåke og hvilke virkninger dette har på ansatte som jobber i Statkraft Energi AS. Denne problemstillingen har dannet grunnlag for bacheloroppgaven.

Hensikten med oppgaven er å kartlegge og analysere faren for oljeutslipp ved vannkraftverk for å danne et helhetlig bilde av hvilke helse- og miljøutfordringen man står ovenfor i dag. Videre vil det også drøftes hvordan man kan motarbeide og/eller redusere de negative effektene som er en følge av oljeutslippene. Hensikten med å kartlegge og analysere utslippene er for å vekke oppsikt, og å sette søkelys på helse- og miljøfarene. I tillegg bør bruk av mer miljøvennlige alternativer for råoljebaserte mineraloljer vurderes.

### **Forskningsspørsmål**

1. Hvor brukes oljer i et vannkraftverk?
2. Hvilke oljer brukes i et vannkraftverk?
3. Hva er forskjellene mellom mineral- og miljøoljer?
4. Er miljøoljer egentlig bærekraftige? Hva sier nyeste forskning om miljøoljer?
5. Hva er de mulige måtene for oljeutslipp fra vannkraftverk til miljøet og sannsynligheten for dem? I hvilken form og hvilke mengder kan oljeslippet skje?
6. Hvordan oppdages og kontrolleres oljeutslippet?
7. Hva er mulige konsekvenser av oljeutslippet for helse og ytre miljø? Hvilke helsefarer er knyttet til mineral- og miljøoljer? Inneholder oljen additiver som er farlige?
8. Er konsentrasjoner av oljer i luften ved vannkraftverker innenfor grenseverdiene?
9. Hvilke utfordringer skaper oljetåke for drift av kraftverkene?
10. Hvordan redusere oljeutslipp? Hvilke forebyggende metoder er allerede iverksatt for å redusere oljeutslippet?
11. Vil en erstatning av mineralolje med miljøolje redusere disse konsekvensene?

12. Finnes det mer miljøvennlige alternativer til noen av bruksområdene til mineral- og miljøolje?
13. For hvilke andre bransjer kan denne problematikken også være relevant?

### **Mål**

- Kartlegge helse- og miljøfarer knyttet til miljø- og mineraloljene.
- Vurdere faktorer som påvirker nivået av eksponering for oljetåke blant ansatte ved vannkraftverk.
- Vurder dagens tiltaks- og grenseverdier for oljetåke.
- Kartlegg forskningsfront for miljøvennlige oljer.
- Beskrive områder med forbedringspotensial.

## 2 Teori

I dette kapitlet presenteres teori innenfor områdene olje, vannkraft og helse og miljø, samt relevant teori i forhold til prøvetaking og analyse.

### 2.1 Oljebruk i vannkraft

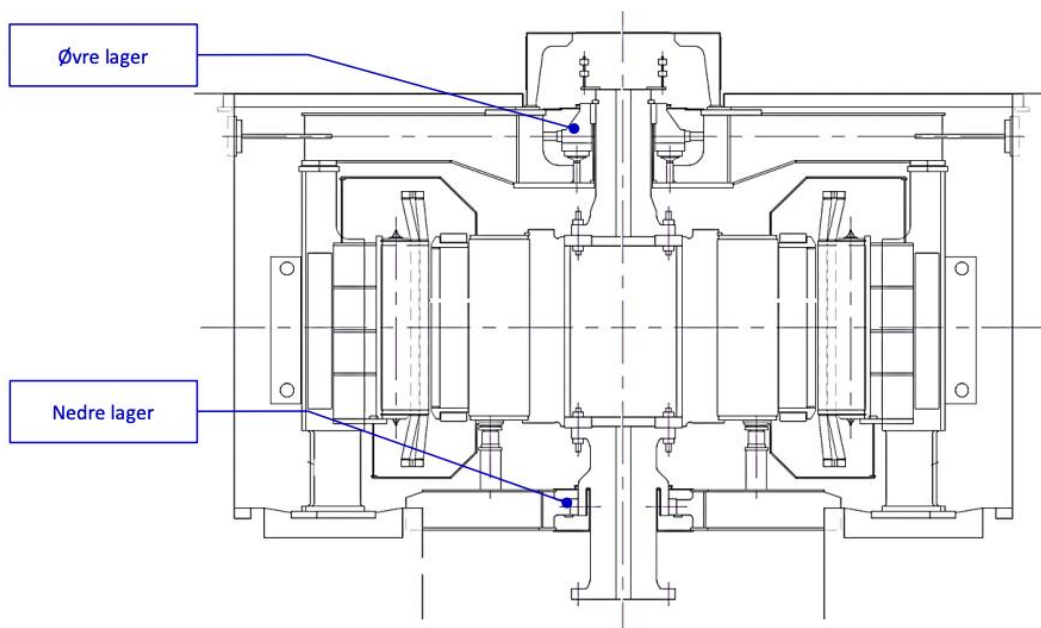
En olje er enhver upolar organisk væske, som hovedsakelig består av en sammensetning av ulike hydrokarboner og er hydrofob (blandes ikke med vann) (8) og lipofil (blander med andre oljer) (9). Det stort sett alle oljer har til felles er at de er smørende, viskøse eller fete. Olje er en kjemisk forbindelse som kan ha ulik opprinnelse og egenskaper, og brukes til en rekke forskjellige formål. Olje kan komme fra dyr, planter eller petrokjemiske kilder, og kan være flyktig eller ikke-flyktig. De brukes til matlaging, drivstoff, medisinske formål, smøring, produksjon av maling, plast og andre materialer (10). Oljer kan også brukes i vannkraft, som beskrives nærmere nedenfor.

Vannkraft er en fornybar energikilde som utnytter vannets fallenergi, samt vannets naturlige kretsløp (det hydrologiske kretsløp) (11). Vannet starter som oftest i en naturlig vannforekomst, som innsjø eller elvestrekning. Det demmes så opp og dannes om til ett magasin, altså et vann lager eller reservoar, som forsyner vannkraftproduksjon. I dag finner man som oftest kraftverk på innsiden av fjell, hvor vannet føres gjennom en vanntunell eller trykksjakt inn til aggregatene (12). Et aggregat består av en turbin og en generator (12). Turbinens oppgave er å omforme vannets potensielle- og kinetiske energi, da trykk og hastighet, til rotasjonsenergi som videre vil drive generatoren og produsere elektrisitet (13). For at spenningen som er dannet her skal være gunstig å sende over lengre strekninger i kraftledningene med minimalt energitap, strømmen føres så gjennom en transformator, som øker spenningen (14). Ved et vannkraftverk vil man hovedsakelig finne bruken av oljene i aggregat og transformator (15).

Transformatorolje sin hovedfunksjon er å isolere og avkjøle en transformator. Dersom det skulle oppstå en oljelekkasje i et vannkraftverk kan en oljesenket krafttransformator være en mulig brann- og eksplosjonsrisiko. Transformatorene er dermed plassert i avskilte eksplosjonssikre rom med eksplosjonsskjold koblet til ventilasjonssystemet. Mange kraftstasjoner har eldre oljesenket krafttransformatorer som har en høyere risiko for feil (16). I norske vannkraftverk brukes moderne transformatorer som har

fordelen av å unngå fuktighet og oljelekkasjer. Noe oljeavdamping kan komme gjennom utluftingen, men ettersom det er ett lukket rom hvor man ikke oppholder seg er det ikke relevant. Transformatorene er plassert med oljegruver under, som skal forhindre oljesøl i å komme ut i naturen (17).

Et aggregat består av statiske og roterende deler. Lagrene er et essensielt element i systemet og er nedsenket i smøreolje for å unngå for tidlig slitasje på grunn av friksjon (Figur 1). Slik sett er et tynt lag med smøreolje det eneste som skiller de faste og roterende elementene. Disse lagrene er utstyrt med tetninger på over og undersiden. De skal forhindre at urenheter og fremmedpartikler kommer inn i lageret. De skal også forhindre at olje og oljetåke trenger ut i kraftverket (18)<sup>1</sup>. Reguleringsystemet består av rør som inneholder smøreolje, som justerer bevegelsen av mekaniske elementer gjennom økning eller reduksjon av trykket. Reguleringsystemet til turbingeneratoren inkluderer tanker som inneholder mellom 3000 og 80 000 L olje (19). Dette arbeidet setter fokus på oljer brukt i aggregater.



Figur 1: Illustrasjon av øvre og nedre lager i turbin. Bilde hentet fra presentasjon av Rolf Ove Korsrud (18).

## 2.2 Oljebruk i aggregat

### 2.2.1 Klassifiseringer av smøreoljer

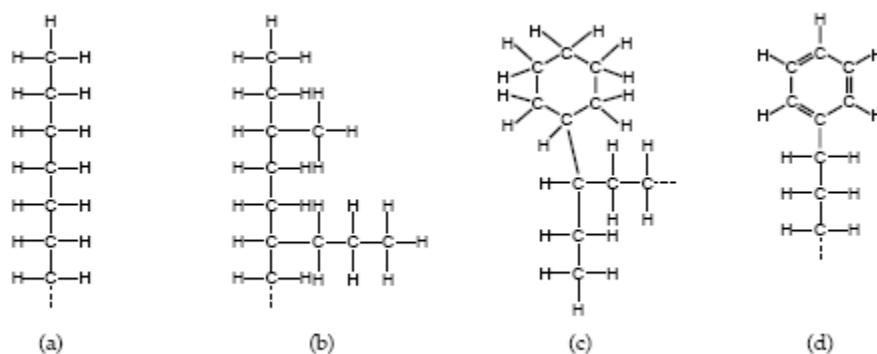
Smøreoljens oppgaver i et aggregat er å redusere friksjon og slitasje, kjøle systemet, hindre vanninntrengning og redusere korrosjon (20).

Smøreoljene er normalt sett laget av en base som vanligvis er står for 75-95% av oljen, der de resterende prosentene er additiver, som er med på å bestemme oljens egenskaper. Smøreoljer kan klassifiseres etter opprinnelse av basisoljen som mineraloljer, syntetisk oljer og oljer av naturlig opprinnelse (5).

#### 2.2.1.1 Mineralolje

Tradisjonelt er det brukt mineraloljer som smøreoljer til turbiner og hydrauliske deler i vannkraftverk (15). Mineraloljer er fremstilt fra av raffinert, rensset og behandlet råolje. Råolje forekommer naturlig, og består av flytende hydrokarboner. Selve råoljen må destilleres før oljen kan anvendes. Destillasjonsprosessen vil separere oljen ut ifra lengden på hydrokarbonkjedene frem til 350°C. Ettersom oljen ikke kan destilleres helt, vil det ligge igjen en rest av tunge forbindelser. Destillasjonsresten behandles så videre for fremstilling av smøreolje (21).

Mineralske basisoljer er kombinasjoner av parafin, Iso-parafin, naften, aromatiske og svovel- og nitrogenforbindelser. Basisoljer klassifiseres avhengig av parafin- og Iso-parafin-innhold i naftenske (innhold i parafin fra 42 % til 50 %), nøytrale (fra 50 % til 56 %) og parafinske (fra 56 % til 67 %) oljer (figur 2) (22).



Figur 2: Mineralske basisoljer: (a) Parafin, (b) Iso-parafin, (c) Naften, (d) Aromatisk. hentet fra AlterEvo Ltd (22).

### 2.2.1.2 Syntetisk olje

Syntetisk olje er et smøremiddel som har blitt kjemisk syntetisert fra petroleumskomponenter. Syntetiske oljer produseres i prosessene for syntese av råmaterialer fra den petrokjemiske industrien eller i den hydrokatalytiske prosessen med omdannelse av hydrokarboner fra naturgass (23). I verden produseres over 80 % av syntetiske basisoljer fra tre hovedklasser av materialer (dvs. poly-alfa-olefiner (PAO, 45 %), estere, inkludert di-basiske estere, polyolestere (25 %) og polyalkylenglykoler (PAG)) (10%) (24). De mest populære helsyntetiske oljene er PAO-oljer. Dette skyldes at oljer av denne typen kjennetegnes av relativt høy effektivitet, men også relativt høy pris. Dessverre er det også noen syntetiske oljer som kan utgjøre en trussel mot miljøet (25).

### 2.2.1.3 Oljer av naturlig opprinnelse

En økt interesse for vurdering av smøreoljers innvirkning på miljø og helse motiverer forskning på produksjon av fullstendig biologisk nedbrytbare smøreoljer av naturlig opprinnelse (23,26). Vegetabiliske oljer ha høyere biologisk nedbrytbarhet fra 70–100 % sammenlignet med andre typer basisoljer (27). Ingredienser i vegetabiliske basisoljer er triacylglyceroler og deres derivater (dvs. diacylglyceroler, monoacylglyceroler, frie fettsyrer og flytende (ved romtemperatur) glyserol) (23). Disse oljene er naturlige produkter og derfor kan deres kjemiske sammensetning variere når ulike avlinger vurderes 22.05.2023 11:53:00. De viktigste fordelene med vegetabiliske basisoljer inkluderer miljøvennlige verdier (f.eks. rask og enkel biologisk nedbrytbarhet og lav toksisitet for vannmiljøet) (28). Disse oljene kjennetegnes også av god smøreevne, høy effektivitet over et bredt temperaturområde, høy viskositetsindeks og polaritet, noe som sikrer en høy renseeffekt. Mer og mer forskning gjelder nye teknologier for produksjon av bioolje som fullstendig kan erstatte konvensjonelle smøreoljer (29,30). Deres lavtemperateregenskaper og oksidativ stabilitet er de største ulempene sammenlignet med mineraloljebaser, og dessverre er det nødvendig med tilsetningsstoffer for å overvinne disse problemene. Dessuten er vegetabiliske oljer forskjellige i pris, men generelt er de omtrent dobbelt så dyre som petroleumsoljer (31).

#### 2.2.1.4 Miljøolje

Miljøolje kan defineres som en olje som vil minimere forurensning av luft, vann, jord og sediment. Samtidig bør den minimere helse- og sikkerhetsfarer for mennesker, dyr og planter under prosessen med produksjon, bruk eller utilsiktet misbruk, og avhending eller resirkulering (32). Miljøoler kan være en olje av hvilken som helst opprinnelse som tilfredsstillere flere krav i forhold til oljens egenskaper for sertifisering som miljøolje. Nedenfor diskuteres miljømerking av oljer i Norge i detalj. Generelt har miljøoljer raskere og mer effektiv biologisk nedbrytning, ikke-bioakkumulering og lav-toksisitetsegenskaper og derfor kan minimere negative effekter på helse og miljø dersom oljen skulle lekke. Vegetabilsk olje viser best biologisk nedbrytbarhet, men syntetiske eller høyraffinerte mineraloljer kan også falle inn under klassifiseringen av miljøoljer (19).

#### 2.2.2 Additiver

Smøreolje er tilsatt diverse additiver som vil påvirke dens fysiske og kjemiske egenskaper. Additivene vil forbedre egenskapene oljen allerede har, og gi den nye egenskaper. For at oljen skal være optimal for bruk under gitte forhold, vil det være viktig at den er skreddersydd for bruksområdet. Viskositetsindeksen kan forbedres ved å tilsette langkjedede høymolekylære polymere, disse vil øke den relative viskositeten (33). Silikonpolymere kan tilsettes for å dempe skumdannelse. Disse vil bryte overflatespenningen til oljeboblene, slik at overflatehinnen brytes og ofte forbedre oljens emulgeringsevne. Antislitasjeadditiver tilsettes for å forhindre slitasje i smøresystemene. Her vil det dannes ett film på metalloverflaten for å forhindre direkte kontakt mellom metalloverflatene. De tilsatte stoffene hører til en gruppe av organofosfater. Korrosjonsinhibitorer, som for eksempel sinkdifosfat eller glykol, kan tilsettes for å danne ett beskyttende lag på metalloverflaten (33,34). Stivnepunkt nedsettende additiver, ofte alkylaromatiske polymere eller polymetakrylater, tilsettes for å holde oljen flytende ved lavere temperaturer (til å senke *pour point*), uten å endre viskositet (33).



### 2.2.3 Miljømerking av oljer

I Norge har man hovedsakelig to miljømerker, Svanemerket og EU Ecolable (EU-blomsten). Hvor svanemerket er Nordens miljømerke og EU Ecolable er miljømerket for EU. Disse er forvaltet av stiftelsen Miljømerking Norge i Norge, hvor de utvikler miljøkrav for ulike produktgrupper og behandler søknader fra ulike produsenter som ønsker sertifisering (35). Disse merkene skal være tildelt produkter som er bedre for miljøet, hvor dokumenterte helseskader, miljøvern og HMS har lagt til grunn for at miljøsertifisering av oljer er blitt mer vanlig. Både Svanemerket og EU Ecolabel er type 1 miljømerker. Det betyr at de ser på hele produktets livssyklus og at de vurderer mange ulike miljøfaktorer samtidig. Det innebærer også at kravene må revideres med jevne mellomrom slik at de hele tiden er ambisiøse – men også oppnåelige for de beste produsentene. De spesifikke kravene til vurdering og kontroll av smøreoljer, inkludert grenseverdier for giftige innholdsstoffer er angitt i EU Kommisjonsbeslutning om fastsettelse av kriteriene for tildeling av EU-miljømerket til smøremidler (36). Disse kravene må oppfylles både ved Svanemerket- og EU Ecolable-sertifiseringen (37). Samtidig kan leverandører også danne sin egen merkeordning. For å ha tillatelse til å bruke miljømerkene må da leverandørens kriterier oppfylles, hvor varigheten kan variere (38). Dermed har flere store leverandører har egne miljøklassifiseringer, samt at noen benytter EU sine kriterier for miljøoljer.

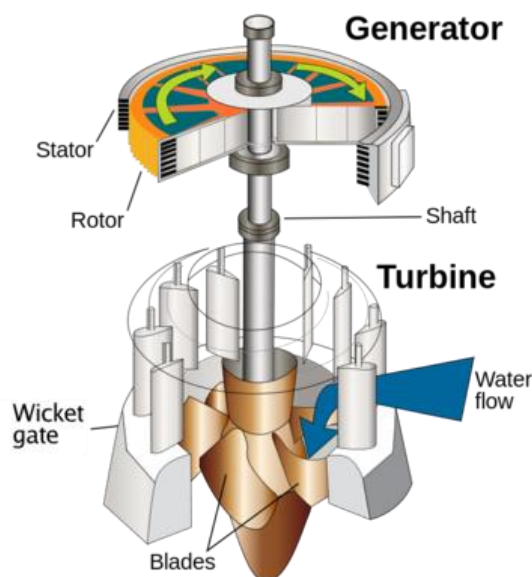
### 2.3 Oljesøl i aggregat

Oljesøl oppstår som oftest i lagre eller rør på grunn av ulykker eller lekkasjer til det hydrauliske systemet. I dag har de aller fleste turbiner sikkerhetsinstallasjoner for å minimere oljeutslipp. So oftest er dette en form for nedbørskuffe plassert under turbinkonstruksjonen. Slik at vannet som kommer i kontakt med de hydrauliske komponentene eller lagre i turbinen, separeres og lagres. Deretter kan vannet kontrolleres om tilsølt olje, gjennom manuell kontroll fra personell eller automatisert oljedeteksjon. Om oljesøl oppdages kan det da samles opp med oljeskimmere, eller oljeadsorberende strenger som settes i vann før utslipp i åpent vann (39).

Alle former for turbiner har ett kjølesystem som skal holde smøreoljen til en lav temperatur. En oljekjøler fungerer som en varmeveksler, hvor vann er kjølemediet. Om det skjer en indre lekkasje her, kan olje komme i kontakt med vann. Kjølevannet er i ett lukket system, men dette vannet må byttes ut. Om ikke lekkasje er oppdaget, kan vannet dermed bli sluppet direkte ut i elv (17).

Pelton- og francisturbin har minimal oljelekkasje, da undervannet (vann som går ut av turbin) ikke er i umiddelbar kontakt med lager eller smøremiddel. Slik at de ikke har mulighet for søl fra turbinen direkte til åpent vann. Oljesøl kan fortsatt forekomme i andre deler av systemet, som oftest i de hydrauliske sylindrerne som betjener inntaksportene (39).

Kaplanturbiner har større sjanse for lekkasje, da kaplanturbinen (figur 3) har regulerbare propellblader for å tilpasse vanntrykk og strømningsvolum.



Figur 3: Illustrasjon av kaplanturbin, bilde hentet fra Energy Education (40).

For hvert av disse bladene har man ett gir hus, hvor alle bevegelige deler trenger smøreolje. Disse gir husene er utstyrt med tetninger for å hindre olje lekkasje, skulle en av tetningene ryke vil olje komme direkte ut i undervannet, som videre slippes rett ut i elv (17). I eldre turbiner er hele løperen fylt med olje, mens i nyere modeller er kun deler av løperen fylt med olje (40).

I sammenheng med oljebruk er det en kjent problematikk med helse og miljøutfordringer, her tilknyttet til oljetåke. Oljedamp oppstår når olje fordamper ved kontakt med varme overflater, og dermed går over i gassform. Oljen vil så fordampe langsomt ut i lagerhuset og det vil oppstå en utveksling av molekyler mellom væske og gass, inntil det faller i likevekt. Luften med oljedamp vil deretter leke ut gjennom lagerhusets tetninger, og er drevet av trykkdifferansen over tetningene (18).

Oljedampen vil sige opp i luften til ett kjøligere miljø hvor det vil skje metning, her vil oljen rekondensere og feste seg til små partikler. Dette vil danne dråper i form av oljetåke. Moderne smøreoljer inneholder additiver som kan være helsefarlig ved innånding og ved direkte hudkontakt. Oljetåke kan også danne oljesøl ved kondensering i luftkjølere og kjølige overflater, dette vil legge et oljebelegg på flater og kan dermed gi sklifare (18).

## 2.4 Effekter av oljesøl på ytre miljø

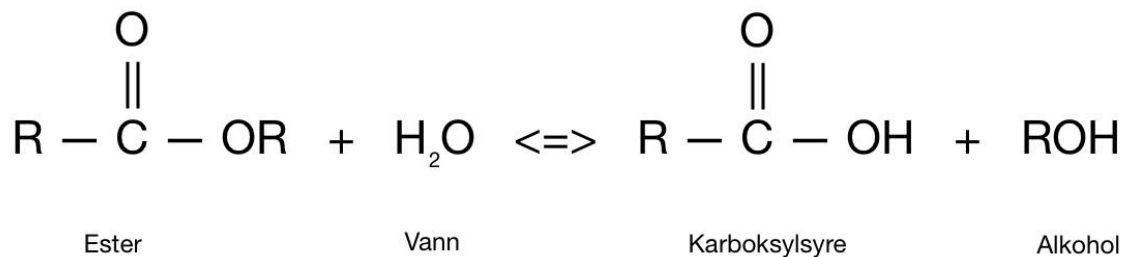
Oljesøl har effekter på miljøet på mange måter. De negative effektene på organismer kan enten skyldes direkte kontakt med oljen, eller ved sekundær kontakt gjennom bioakkumulering i næringskjeden. På vannoverflaten vil olje begrense oksygenutveksling og kan derfor forårsake problemer med oksygentilførsel for dyr. Myrer og andre ferskvannsmiljøer med lav energi som er forurenset av oljesøl, bruker lengre tid å gjenopprette enn marine miljøer. I noen tilfeller er det funnet olje i ferskvannssedimenter som fortsatt er vedvarende etter fem år (39). Effekten av olje på planter varierer etter hvor følsomme planteartene er og hvor giftige oljeforbindelsene er. Påvirkningene som oppstår når planter kommer i kontakt med olje kan være en reduksjon i transpirasjon, og derfor også resultere i en reduksjon av fotosyntese. Videre kan det føre til gulning og død av oljede blader, reduksjon av frøplanter og total reduksjon av ettårige arter (41).

### 2.4.1 Bionedbryting

Olje kan forurense vassdrag, det er derfor viktig å være klar over oljens biologiske nedbrytning i naturen. Biologisk nedbrytning, også kjent som forråtnelse er nedbrytning av organisk materiale av mikroorganismer som introduseres til miljøet. Dette vil gjøre at kompliserte kjemikalier kan brytes ned gjennom kjemiske prosesser til enklere molekyler (42). Bionedbrytning av oljer vil variere ut ifra mange ulike faktorer. Muligheten for at en forbindelse vil bli brutt ned vil normalt sett bli mindre ved økende molekylvekt og lengde. Forbindelser som er lite løselige i vann, eller uløselige er ofte ikke nedbrytbare. Mikroorganismene som bryter ned oljen, er svært sensitive til miljøet de vokser i, slik at cellens metabolisme og struktur vil endre seg i forhold til omgivelsene. Miljøforholdene til mikroorganismene, som temperatur, oksygentilgang og pH vil dermed ha en innvirkning på hastigheten til bionedbrytningen (43).

### 2.4.2 Nedbrytning av syntetisk olje

Nedbrytningen av en syntetisk olje (i form av syntetisk ester) kan skje i form av en syrekatalysert hydrolyse, der esteren tar opp vannmolekyl og spaltes til karboksylsyre og alkohol (44). Reaksjonen er illustrert i figur 4.



Figur 4: Reaksjonsligning for nedbrytning av miljøolje i vann (44).

Denne reaksjonen gjør at syntetisk ester brytes ned raskere en tradisjonell mineralolje, og gjør at de kan kalles miljø-olje. Den kan dermed brytes ned til sin opprinnelige tilstand når den er i kontakt med vann, inkludert eventuelle additiver som ble tilsatt under produksjonen. Reaksjonen vil føre til at oljen får en lavere viskositet, som kan gi en dårligere smøreevne. Dette kan resultere i friksjon mellom komponenter og danne varme, samt slitasje. Ett av produktene fra hydrolysen er karboksytsyre, som kan gi et surere og dermed korrosivt miljø i oljen (44).

#### 2.4.3 Nedbrytning av mineralolje

Vurdering av biologisk nedbrytbarhet i mineraloljer kan være utfordrende da de aller fleste mineraloljer ikke er vannløselige, eller har høy emulgeringsevne. Samt at de har en lavere tetthet enn vann, som vil resultere i at de flyter oppå vannet ved kontakt frem til de degraderes. I tillegg har de variert sammensetning som avhenger av komponent og additiver, som også kan gjøre det utfordrerne å vurdere nedbrytningsevne (45). Slik at det er mulig å danne nedbrytbare oljer med mineralsk basisolje, som ofte da kan kategoriseres som miljøolje (19).

## 2.5 Helsefarer ved eksponering av olje

Under en vanlig 8-timers arbeidsdag kan ansatte ved kraftverkstasjonen bli eksponert for oljetåke og oljedamp som frigjøres til arbeidsatmosfæren. Dette skjer gjennom oppvarming, lekkasjer, utslipp under trykk og/eller ulike typer mekanisk påvirkning (46). En ansatt er særs utsatt for denne typen eksponering i områder rundt turbiner, generatorer og kompressorer. Det er noe uvanlig for en ansatt ved Statkraft Energi AS sine kraftverk å være i turbinhallene i 8 timer dagen, men det skjer likevel varige opphold ved rengjøring, vedlikehold av maskineriet, reparasjoner og/eller ved montering av for eksempel støydempingsplater (46).

Eksponeringen de ansatte står ovenfor vil være av helsemessige bekymring da disse oljene kan inneholde kreftfremkallende stoffer som for eksempel 2,6-di-tert-butyl-p-cresol. Stoffer som dette er en betydelig utfordring i oljebransjen, da allerede kreftfremkallende benzen og polyaromatiske hydrokarboner finnes i råolje (47).

Skadelige additiver vil ofte ikke være listet opp i databladene, da de forekommer i betydelig lave konsentrasjoner. Leverandører er kun pliktet til å oppgi konsentrasjoner som inneholder visse vektprosent av farlige stoffer (48). Dette betyr imidlertid ikke at de lave konsentrasjonene ikke gjør skade, eller har langtidskonsekvenser.

På grunn av den lave konsentrasjonen vil forurensinger og additiver kunne fordampe fortere og trenge ut i arbeidsatmosfæren. Over tid vil dette kunne skape ubehag og kvalme, selv om nivåene er målt til under grenseverdiene. Helsefarer ved eksponering for hydraulikkoljer, skjer via hudopptak, inhalering og svelging (46).

Overeksponering av oljetåke kan forårsake hudirritasjon, oppkast, feber, rask hjerterytme og brennende følelse i munn, svelg og mage (45).

### **Teresstic T68**

I denne oppgaven ble det brukt mineraloljen Teresstic T68. Dette er en høykvalitetsolje, hovedsakelig beregnet som smøreolje til blant annet turbiner. Den fungerer optimalt under vanskelige forhold, som for eksempel ved damp-turbiner. Oljen er produsert med hensyn til strenge kvalitets-standarder (49). Den består dermed av utvalgte basisoljer og additiver som for eksempel antioksidanter, rust- og korrosjonshindrende midler og antiskummidler.

Noe særegent for denne type olje, er at de fungerer utmerket ved langvarig eksponering under høy temperatur (50).

Ifølge HMS-databladet inneholder produktet det farlige stoffet 2,6-di-tert-butyl-p-cresol, som kan gi lungeskader, være kreftfremkallende og være skadelig for miljøet (51). Oljen inneholder også raffinert basisolje, som ifølge sikkerhetsdatabladet ikke har vært kreftfremkallende eller allergifremkallende i eksponeringsstudier. Samt at hudeksponerings- og inhalasjonsstudier ikke skal gi betydelige effekter, men lege skal likevel kontaktes dersom det oppstår ubehag (51).

### **Hydromax HT ECO**

Hydromax HT ECO er en hydraulikk- og hydroturbinvæske. Hydromax HT ECO har både høy viskositet, og tåler høye temperaturer. Den har også gode og antislitasjeegenskaper som kommer godt med når den brukes som smørelje.

Miljøoljen har en lang levetid, den er biologisk nedbrytbar og ikke-giftig. Dette resulterer igjen i mindre avfallsmateriale og lavt oljefilterforbruk. Hydromax HT ECO er en miljøolje med høyraffinert mineralsk basisolje. Oljen kategoriseres av ISO/FDIS 15380 HEPR standard som tilsier at den er biologisk nedbrytbar, samt at den er hydrologisk stabil. Hvor HEPR kategori tilsier at oljen i dette tilfellet er et hydrobehandlet basisprodukt (HT) (52).

Ifølge Matrix Lubricant har Hydromax HT ECO meget gode vannseparasjonsegenskaper som tillater drenering av vann fra systemer ved vanninntrengning. Konduktiviteten for Hydromax HT ECO er svært lav, noe som gjør at denne oljen kan fungere som en transformator og hydraulikkolje samtidig (53).

Ifølge HMS-databladet inneholder ikke produktet noen opplysningspliktige farlige elementer (54).

#### **2.5.1 Helsepåvirkning av additiver**

Eksponering for additiver i olje i kraftverk kan ha alvorlige helsepåvirkninger på arbeidstakere og miljøet rundt anlegget. Disse additivene brukes for å forbedre ytelsen og øke levetiden til oljen, men mange av dem kan være giftige og potensielt farlige hvis de ikke håndteres på riktig måte (5,55).

Til tross for at additivene bidrar til mye godt mekanisk, vil det likevel kunne skape uønskede helsepåvirkninger. De ulike additivene vil kunne forårsake hudirritasjon og allergiske reaksjoner, irritasjon i øyne og luftveier. De kan til og med forårsake

nevrologiske skader. Langvarig eksponering for disse additivene kan føre til alvorlige helseproblemer som blant annet kreft og andre kroniske sykdommer (56).

Dette gjelder spesielt arbeidere som jobber i umiddelbar nærhet av anlegg som for eksempel vannkraftverk. Arbeiderene gjennomfører rutiner og vedlikehold av maskineriet, og risikerer å være i direkte kontakt med oljer og additiver. I slike tilfeller er arbeiderene spesielt sårbare for medfølgende helseeffekter, noe som gjør det desto viktigere å følge satte forholdsregler for denne typen eksponering.

#### *2.5.1.1 Organofosfat*

Organofosfat er ett produkt av estrifikasjonen mellom fosforsyre og alkohol. Organofosfat kan gjennomgå hydrolyse og dermed gi fra seg ester bindingen og alkohol. Disse produktene er noen av hovedkomponentene i insektmiddel, plantevern og ugressmiddel, men organofosfat er også hovedkomponent i nervegass. Dette kan ha mange skadelige helseeffekter på mennesker, men spesielt på utsatte grupper som barn og gravide. Ved inntak av organofosfat vil det dannes en kovalent binding til enzymet acetylkolinestrase, dette enzymet overfører nerveimpulser og muskelsammentreknings på dyr (57).

Det er ett stort antall organofosfater som brukes til slitasjereduserende middel, i Norge benyttes ofte trikresylfosfat (TCP). TCP er klassifisert som helsefarlig og miljøfarlig. Da det er skadelig svelge og å få på huden, samt det er giftig for akvatisk liv (58).

#### *2.5.1.2 Aromatiske forbindelser*

Aromatiske forbindelser er plane konjugerte sykliske ringer som oppfyller Hückles tall. Mineraloljer inneholder aromatiske forbindelser, da mineralolje aromatisk hydrokarbon (MOAH). MOAH er en mangfoldig gruppe av hydrokarboner og aromatiske forbindelser. Dette inkluderer en gruppe kalt polyaromatiske hydrokarboner (PAH). PAH er en organisk syklisk forbindelse som består av to eller flere aromatiske ringer. Gruppen har mange ulike egenskaper, da den består av over 100 forbindelser. Den mest omtalte egenskap er karsinogen, - og kan gi skader på dyrs arvestoff (59).

#### *2.5.1.3 Glykoler*

Glykoler er kjemiske forbindelser som brukes i forskjellige sammenhenger, blant annet som kjølevæske og som smøremiddeladditiv i oljer (60). De vanligste glykolene som



brukes i smøreljer er etylenglykol og propylenglykol (61). Imidlertid kan bruken av glykol også ha uønskede effekter på helse og miljø. Glykoler er giftige og kan skade økosystemet ved lekkasje og utslipp (62). De kan forårsake irritasjon i luftveier, hud og øyne (63). Dette kommer av at glykoler kan trenge inn i vev og gjøre skade (64).

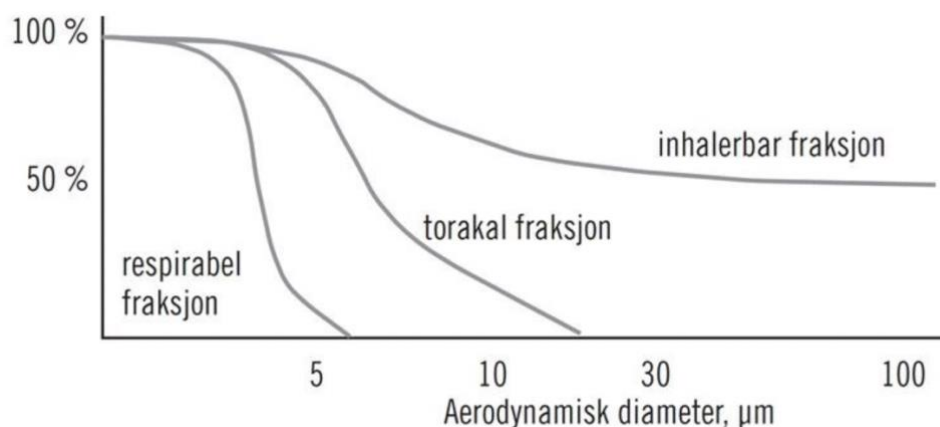
Ved svelging, innånding og kontakt med huden i høye konsentrasjoner, kan glykoler forårsake alvorlige helseproblemer, inkludert nyreskader, leverskade og hjerneskade. Etylenglykol, en vanlig type glykol, kan brytes ned i leveren og omdannes til oksalsyre og glykolsyre. Disse forbindelsene kan også forårsake lever- og hjerneskade (65).

## 2.5.2 Veien inn til kroppen

### 2.5.2.1 Aresolfraksjon

En aerosol er hvilke så helst små partikler i væske eller fast fase som holder seg svevende i en gass eller da i luften. Inhalering av partikler fra aerosol kan føre til helseskade, hvor størrelsen av partikkelen som er definert av partikkelens aerodynamiske diameter er en betydelig faktor. Partikkelens aerodynamiske diameter er avhengig av dens størrelse, tetthet og form. Ut ifra størrelsen til aerosolen vil det variere hvor langt ned i luftvegssystemet partikkelen vil reise. Partiklene er påvirket av tyngdekraften, slik at jo større partikkel, jo kortere kommer partikkelen. Dermed deles aerosol fraksjon inn i tre deler, inhalerbar, torakal og respirabel fraksjon (66).

I figur 5 vises den totale aerosolen som en funksjon av partikkelens størrelse, hvor inhalerbar, torakal og respirabel fraksjon inngår og er definert.



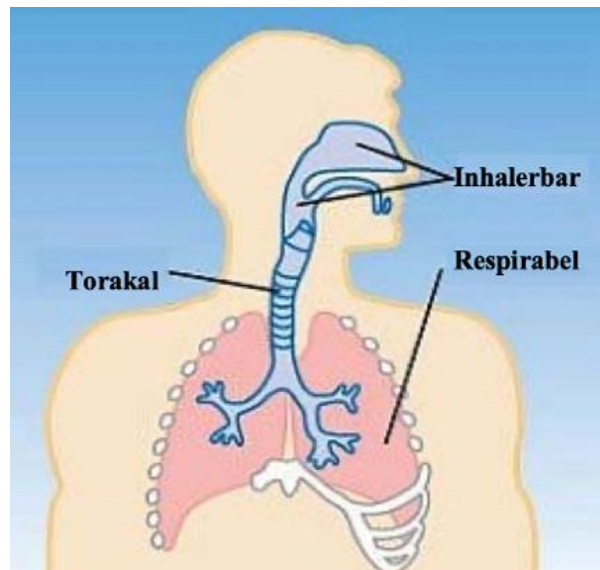
Figur 5: Figur viser total aerosol som funksjon av partikkelstørrelse, hvor respirabel, torakal og inhalerbar fraksjon inngår. definert i NS-EN 481. Figuren er hentet fra arbeidstilsynet sin nettside om forurensninger i arbeidsatmosfæren (67).

Inhalering av disse partiklene kan føre til helseproblemer som astma, bronkitt og lungeskade. Akutte symptomer for aerosol ved innånding av fordampet kjemikalie kan irritere luftveiene, gi sprekke-dannelser og eksem, gi irritasjon av slimhinner, oppkast og diaré, samt irritere øynene og forårsake rødhet og svie. Dersom et slikt ubehag ikke gir seg, må lege kontaktes umiddelbart (50,54).

Inhalerbar aerosolfraksjon er faste- og væske-partikler som kommer inn i kroppen gjennom nese og/eller munn ved innånding, og har en aerodynamisk diameter  $\leq 100 \mu\text{m}$  (68). Denne fraksjonen er essensiell for helseeffekter i hele respirasjonssystemet, som for eksempel ved rhinitis (betennelse i neseslimhinnen), kreft i nesen og lungene, samt for andre luftveislidelser. 100% av partiklene i luften vil kunne kategoriseres som inhalerbar aerosolfraksjon (69).

Torakal aerosolfraksjon er partikler som kan komme inn nedenfor strupehodet, og har en diameter på opp til  $\leq 30 \mu\text{m}$  (68). Disse partiklene kan være spesielt skadelig da de trenger dypt inn i lungene og kan forårsake alvorlige helseproblemer. Disse partiklene vil kunne bli tatt opp av celler i lungene, passere videre til blodet, eller reise gjennom lymfesystemet og nå andre organ i kroppen. Hvis partiklene av de ulike fraksjonene inneholder kreftfremkallende stoffer, vil de kunne gjøre skade på DNA, eller øke risikoen for kreft.

De trenger inn i den trakeobronkiale delen av lungene, og det er her helseeffekter som astma, obstruktive lungesykdommer, bronkitt og lungekreft kommer inn i bildet (69). Torakal aerosolfraksjon er en underfraksjon av den inhalerbare fraksjonen (67). Respirabel aerosolfraksjon inneholder de partiklene som trenger ned i den alveolære delen av lungene, altså til bronkioler og alveolære blærer og kanaler (67). Respirabel aerosolfraksjon kan også være skadelig da partiklene kan føre til irritasjon i øyne, nese og hals, hoste, kortpustethet og astma. Fraksjonen har en diameter på  $\leq 10 \mu\text{m}$  (68), og kan for eksempel medføre utvikling av kroniske sykdommer som emfysem og støvlungesykdommer (69). Respirabel aerosolfraksjon er underfraksjoner av både den torakale og den inhalerbare fraksjonen. De ulike fraksjonene er vist på bildet under (figur 6).



Figur 6: Illustrasjon av de ulike fraksjonene, og hvor lang ned i systemet de når. Bildet er hentet fra presentasjon om aerosoler av Magne Bråtveit (68).

### 2.5.2.2 Hudeksponering

Hudeksponering kan skje ved direkte kontakt med væske eller sprut fra væske, avsetning av aerosol på hud eller opptak av oljetåke gjennom hud, og ved direkte kontakt av forurensende overflater (70).

### 2.5.3 Grenseverdier for oljetåke

Grenseverdier i arbeidsmiljø er ofte med på å vurdere tiltak for endring og redusere risiko. Fastsettelsen av grenseverdier ble til grunnet direktiver av Norges tilknytning til EU gjennom EØS avtalen. For oljetåke er den fastsatte grenseverdier på  $1 \text{ mg/m}^3$  over ett åtte timers skift, slik at for kortvarige overskridelser kan forekomme om konsentrasjonen ellers holdes gjennomsnittlig lav. Overskridelser vurderes opp mot andre faktorer som støy og varme. Dette viser da til den høyeste tillatte gjennomsnittskonsentrasjonen i hensyn til helse, men også økonomi (71).

Grenseverdiene er ikke en tydelig grense mellom farlig og ufarlige konsentrasjoner, slik at man er ikke sikret utelukkelse av helsemessige skader og ubehag. Dette kommer av menneskets biologiske ulikhet, da to personer ikke nødvendigvis trenger å reagere likt på samme mengde eksponering eller påvirkning. Dermed er det viktig å ha lavest mulig forurensning i arbeidsatmosfæren, ettersom man også kan bli utsatt for flere ulike forurensninger samtidig. Et kjemikales toksisitet kan ikke sammenlignes ved satte tallverdier, ettersom de kan ha helt ulike egenskaper som ligger til grunn for gitte begrensninger (71).

## 2.6 Analysemetode

Oljetåke skal analyseres kvantitativt ved bruk av aerosolprøvetaking og analyseres ved Fourier transformert infrarødt spektrometer.

### 2.6.1 Aerosol prøvetaking

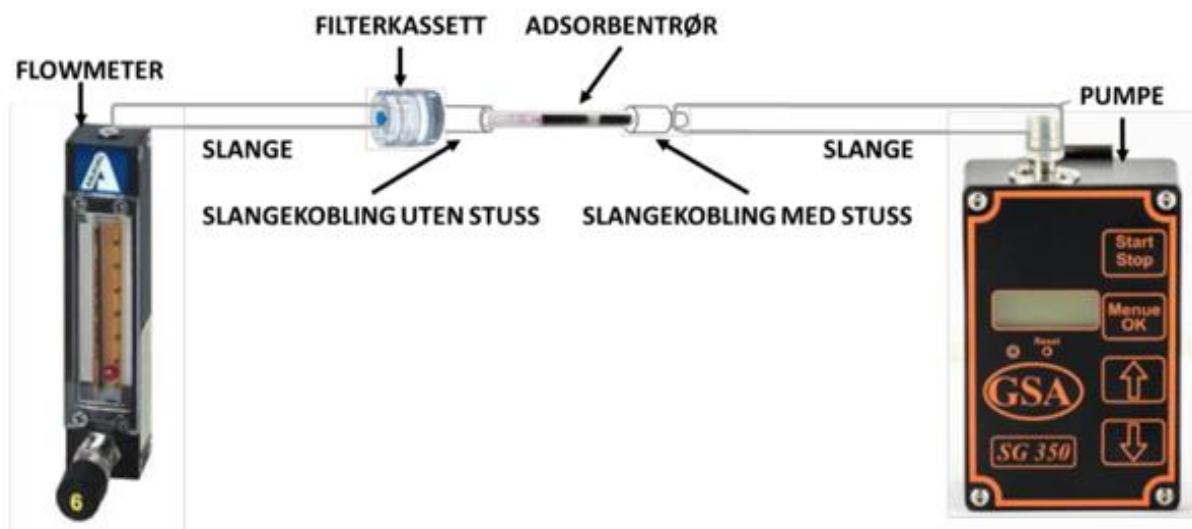
Aerosol prøvetakning kan gi ett bilde av hvilke komponenter som er til stede og hvilke konsentrasjoner av bestemte stoffer som er i luften. Man kan velge mellom å sette personlige, stasjonære eller mobile prøver. Personlige prøver skal kartlegge konsentrasjoner i luften som antas å være representativ for luften som inhaleres. Stasjonære prøver skal kartlegge personlig eksponering hvor forurensingen i lokaler er homogen fordelt eller ved forurensings kilde. Mobile prøver skal kartlegge et gjennomsnittsnivå i store lokaler med varierende bakgrunnsnivå, hvor prøvetakingsutstyr transporteres gjennom en representabel rute for arbeidstaker.

For luftprøver har man både passiv og aktiv prøvetakning, hvor ved aktiv prøvetakning bruker man ofte en pumpe til å dra luft gjennom et medium. Pumpen vil dra en kjent mengde med luft, slik at konsentrasjonen beregnes ved bruk av masse og luftvolum (formel 4). Prøvetakningstiden strekker seg over 2-8 timer, for å representere en arbeidsdag. Mens ved passiv prøvetakning benyttes ikke pumper, men heller diffusjon (67).

Man har også direktevisende måleinstrumenter, som er utviklet for organiske, uorganiske gasser og løsemidler, samt partikler. Disse instrumentene utfører prøvetakning samt analyse, og viser deretter direkte til konsentrasjon. Resultatene loggføres fortløpende, slik at estimater som standardverdi og middelvei kan beregnes. Slike instrumenter kan være unøyaktige og mindre spesifikke enn andre metoder, kalibrering av instrumentet er dermed viktig for å få mer pålitelige resultater (67).

For å orientere seg i undersøkelser gjøres det ofte en såkalt materialprøve, dette vil hjelpe med å avklare forekomsten av helsefarlige stoffer. Dette gjøres i analyse av luftprøver ved analyse for oljetåke, her brukes oljeprøven som referanse (67).

Utstyr som vanligvis benyttes for aerosol prøvetakning, er prøvetakningspumpe (for aktiv), filterkassett og filte, samt utstyr for bestemmelse av luftvolum (for aktiv) (figur 7). De er vanligvis utstyrt med en adsorbent av aktivt kull, for å samle opp organiske forbindelser, for spesifikke oppgaver benyttes ofte en annen spesifikk adsorbent (67).



Figur 7: Oppsett for måling av flow ved hjelp av flow-meter. Figur hentet fra STAMI prosedyre om montering av utstyr for oljetåke (72).

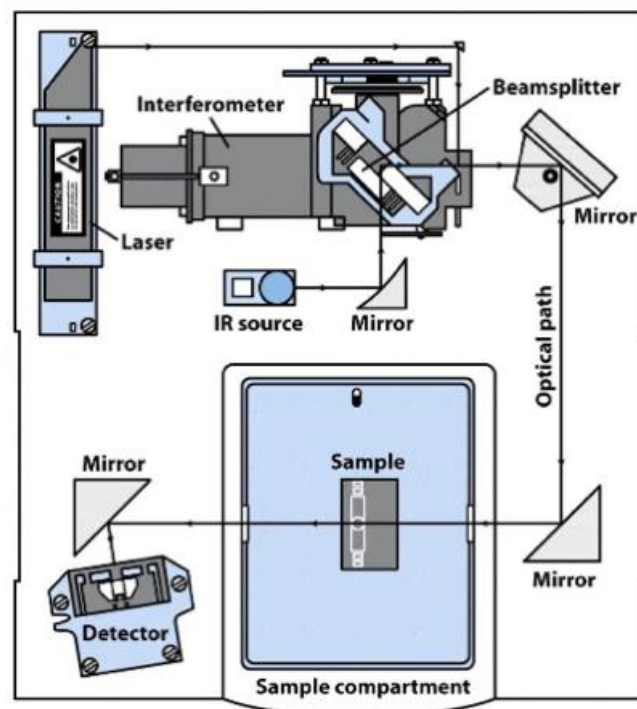
De fleste direktevisende instrument er basert på lysspredning, hvor egenskaper for partikler som overflatestruktur, optiske egenskaper og størrelse påvirker lysspredningens intensitet. Instrumentet bør fortrinnsvis kalibreres for gitt støvtype som skal analyseres, da aerosoler baseres på masse, slik at partikkelvekten kan estimeres fra lysspredning og dens antatte tetthet. Ofte er det antatt best å utføre kalibrering ved å samtidig utføre prøvetakning med filter i miljøet som skal analyseres (67).

## 2.6.2 FT-IR - Fourier transformert infrarødt spektrometer

Fourier transformert infrarødt spektrometer (FT-IR spektrometer) er en analyse teknikk som brukes for å danne et infrarødt spektrum av emisjon eller absorpsjon av fast stoff, gass eller væske. Et molekyl har ulike nivåer av vibrasjon, deriblant translasjons-rotasjons- og vibrasjonsbevegelser. Når molekyl beveger seg mellom disse ulike vibrasjonsnivåene, sender den ut energi som tilsvarer elektromagnetisk stråling innenfor infrarødt område. Vibrasjonen vil gi en endring i molekylvekt, strålingen adsorberes med frekvenser i IR-området, og gjør den dermed IR-aktiv (73).

Kvantitativ analyse er mengdebestemt basert på hvor mye av de kjemiske komponentene som adsorberes. I FT-IR føres IR- strålingen gjennom et interferometer før det går gjennom prøven. I IR spektroskopi måler man hvor molekylet absorberer fotoner av IR-stråling, hvor toppene er områder av spekteret der spesifikke bindingsvibrasjoner oppstår (73).

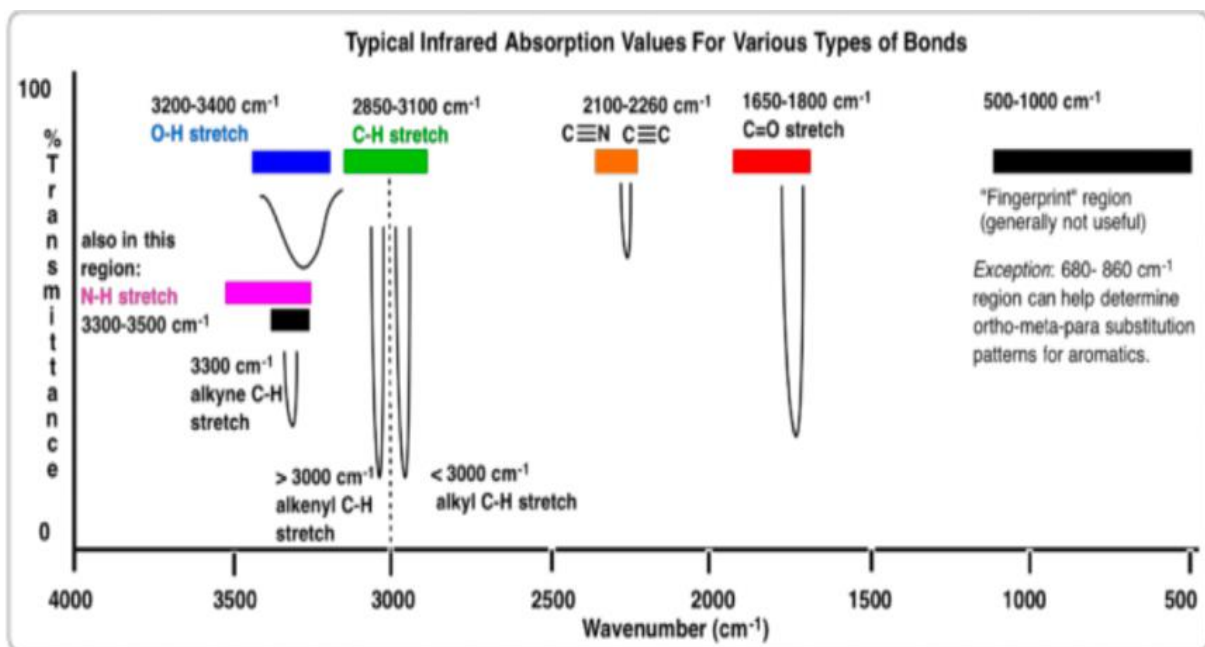
Lyskilden vil sende ut kontinuerlig spekter av lys ved hjelp av speil, speilene vil modulere lyset til en lavere frekvens. Dette gjør at detektoren er i stand til å detektere lyset. Lyset vil være interfererende mønster (73). Dette er bedre illustrert i skjematisk oppbygging av instrument i figur 8.



Figur 8: Skjematisk oppbygging av et FT-IR instrument. Figur hentet fra Quantitative Chemical Analysis (73)

Ved transmisjon metode vil IR-stråling passere gjennom prøven, og mengden av IR-stråling som adsorberes vil bli målt som funksjon av bølgelengde. Om man allerede vet lengden på cellene som måles, kan man benytte kvantitativ analyse. Slik at når strålen inntreffer krystall, vil den reflekteres videre og man vil få målingen man er ute etter (73).

For analyse av oljetåke ved bruk av FT-IR, ser man på C-H strekk med en topp på  $2929\text{ cm}^{-1}$ . Altså da enkeltbindinger for karbon og hydrogen i området  $2700\text{--}3200\text{ cm}^{-1}$ . Oljene vil ha utslag i andre topper, men for olje konsentrasjonen måler man kun adsorbents for  $2929\text{ cm}^{-1}$  (74). Illustrasjon av områder på infrarødt spekter, inkludert C-H strekk er gitt i figur 9.



Figur 9: Illustrasjon over infrarødt spekter område. Bilde hentet fra Master Organic Chemistry (75).

## 3 Material og metode

Dette kapittelet beskriver forsøksmetodene som benyttes i bacheloroppgaven, for å svare på forskningsspørsmålene som ble gitt i introduksjonskapittelet. Hoved forsøket i prosjektet er kvantitativ bestemmelse av oljetåke ved aerosol prøvetakning og analyse med FT-IR. Samt at det ble gjort flyktighetsprøve av olje, og observasjon av olje i vann.

Opgaver er hovedsakelig en kartleggingsoppgave, som inneholder litteraturstudie, samt feltarbeid på Dale kraftstasjon, Leirfossene kraftstasjon og Bratsberg kraftstasjon.

### 3.1 Formler og ligninger

Formler og ligninger som er brukt i resultats bestemmelse av oljetåkekonsentrasjon, vurdering av flyktighet for olje og observasjon av olje i vann.

#### **Fortynningslov:**

$$C_1 * C_2 = V_1 * V_2 \quad (1)$$

$C_1$  – konsentrasjon før fortynning

$V_1$  – volum før fortynning

$C_2$  – konsentrasjon etter fortynning

$V_2$  – volum etter fortynning

#### **Regresjonsligning:**

$$y = m * x + b$$

(2)

$m$  - stigningstall

$b$  – skjæringspunkt i  $y$

$y$  – absorbans

$x$  – løsningskonsentrasjon

#### **Beer's lov:**

$$C_{prøve} = \frac{ABS_{prøve}}{ABS_{kalib}} * C_{kalib} \quad (3)$$

$ABS_{prøve}$  – absorbanse til prøve

$ABS_{kalib}$  – absorbanse til kalibrerings prøve

$C_{prøve}$  – konsentrasjon i prøve

$C_{kalib}$  – konsentrasjon i kalibrerings prøve



**Konsentrasjon i luft:**

$$C_{luft} = \frac{Masse}{Luftolum} \quad (4)$$

**Standardavvik:**

$$s = \sqrt{\frac{\sum(x-\bar{x})^2}{n}} \quad (5)$$

$\bar{x}$  – gjennomsnitt

$n$  – antall prøver

**Gjennomsnitt:**

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{N} \quad (6)$$

**Liter luftgjennomstrømning:**

$$L_{luft} = \left( \frac{L_{start} + L_{slutt}}{2} \right) * \text{antall minutter} \quad (7)$$

$L_{start}$  – luftgjennomstrømning start

$L_{slutt}$  – luftgjennomstrømning slutt

**Prosentavvik:**

$$\%avvik = \left| \left( \frac{x_2 - x_1}{x_1} \right) * 100 \right| \quad (8)$$

$x_1$  – opprinnelig målt verdi

$x_2$  – redusert målt verdi

**Prosent gjenfinning:**

$$\left( \frac{\text{del av tall}}{\text{hele tallet}} \right) * 100 \quad (9)$$

**Differanse:**

$$|\text{originaltall} - \text{nytt tall}| = \text{differanse} \quad (10)$$

**Prosentnedgang:**

$$\left( \frac{\text{differanse}}{\text{originaltall}} \right) * 100 \quad (11)$$

## 3.2 Kjemikalier og løsninger

Tabell 1 viser en oversikt over oljer som skal brukes i prosjektet, samt litt informasjon om hvert enkelt stoff.

Tabell 1: Oljer brukt i prosjektet.

Navn	innhold	Farlige stoff	Leverandør	CAS
Teresstic T68	Ikke gitt, definert som blanding	2,6-di-tert-butyl-p-cresol	Exxon Mobil Petroleum & Chemical B.V.	Ikke oppgitt
Hydromax HT ECO	Blanding av hydrokarboner og tilsetningsstoff	Ingen opplysningspliktige elementer	Matrix Speciality Lubricants B.V.	Ikke oppgitt

Tabell 2 viser oversikt over kjemikalie brukt i prosjektet, samt litt informasjon om det enkelte kjemikalie.

Tabell 2: Kjemikalie brukt i prosjektet.

Navn	Kjemisk formel	Vekt (g/mol)	Leverandør	CAS
Freon 113	$C_2Cl_3F_3$	187,37	Fisher scientific	76-13-1

## 3.3 Instrument og Apparaturer

### 3.3.1 Prøvetaking

- Dust Track DRX
  - Anbefalt luftstrøm (3,5 l/min)
- Batteridreven pumpe
  - Anbefalt luftstrøm (1,2-1,5 l/min)

### 3.3.2 Analyse

- Fourier transform infrarød spektroskopi (FT-IR) av Perkin Elmer, spectrum 100
  - 16 scan, oppløsning  $4\text{ cm}^{-1}$
  - Måleområde  $3200\text{-}2700\text{ cm}^{-1}$
  - Basert på NIOSH 5026 (74)
- SOP for veiing, mettler toledo XPR 205
- Ultralydbad

### 3.4 Utstyr

Utstyr som ble brukt under prøvetaking og analyse for analyse av oljetåke og flyktighetsvurdering av olje.

#### 3.4.1 Utstyr for aerosol prøvetaking

- 3 delt filterkassett med to filter (celluloseacetat og glassfiber)
  - Filter (37 mm diameter)
  - Glassfiber – Whatman, GF/A
  - Celluloseacetat – porestørrelse 0,8 mm – Millipore AAWP
- Adsorbent: Kullrør (SKC 226-09)
- Slange
- Overganger
- Glasskutter
- Flow-meter

#### 3.4.2 Utstyr for Analysering av aerosol prøve

- 25 og 50 ml Begerglass
- Reagensrør
- 50 og 75 µl sprøyte
- Pasteurpipetter av glass med gummi smokk
- 5 ml glasspipette med peleusballong
- 5 ml målekolbe
- Lofritt tørkepapir
- Kyvette

#### 3.4.3 Utstyr for observering av olje i vann

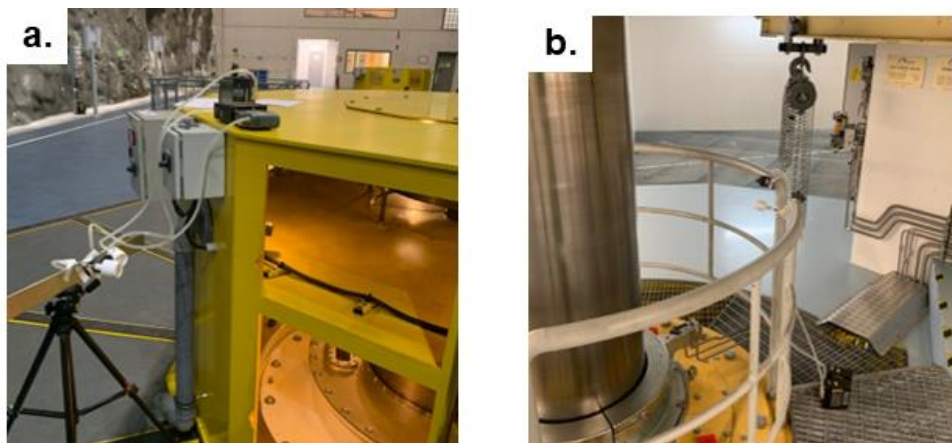
- 2000 ml, 1000ml og 25 ml målebeger
- 1 ml glasspipette med Peleusballong
- analysevekt

### 3.5 Fremgangsmåte

fremgangsmåte som ble brukt under prøvetaking og analyse for analyse av oljetåke, flyktighetsvurdering av olje og olje til observasjon.

#### 3.5.1 Stasjonær prøvetaking – aktiv med adsorbenttrør

Først ble 8 batteripumper og 4 totalstøvpumper oppladd, for å ha så gunstig drift som mulig under prøvetakning. Deretter ble proppene på prøvetakningskassett kuttet av med glasskutter. Så ble slange og overganger for tilkobling av kullrør (adsorbenter for videre arbeid) og filterkassett klargjort. Deretter ble flow-meter festet med slange til inlet av pumpe, og flow ble satt til ca. 1,4 l/min for batteripumper (OT) og ca. 3,5 l/min for totalstøvpumper (OTI) (se vedlegg 8.5). Det beholdes lav flow på prøvetaker for å hindre oljene å fordampe bort fra filtrene/luften under prøvetakning. Så ble pumpene koblet til slange med filterkassett og adsorbenter, og prøvetakningsoppsett ble satt til prøvetakning (figur 10). Deretter ble prøvetakings start klokkeslett og flow notert for hver prøvetaker. Det ble satt opp målepunkt rett ved ventilasjonen til generatoren, samt ved akslingen. Det ble også satt opp et målepunkt utenfor ventilasjonsanlegget. Prøvetakerne ble satt ut i 7-8 timer, under konstant drift av aggregatene, området ble så forlatt.



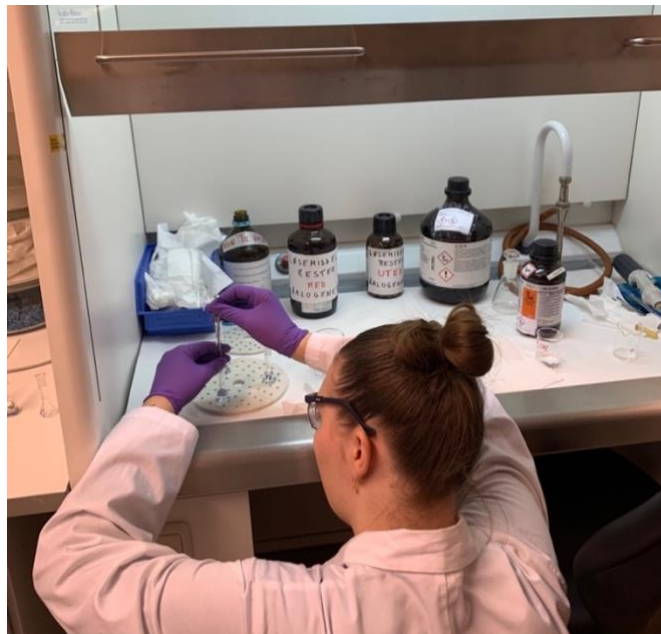
Figur 10: a. Prøveoppsett ved aksling, b. ved aggregattopp.

Etter endt prøvetakning ble slutt klokkeslett og flow-verdi sjekke og notert. Propper ble så satt tilbake på kassett, og plast hetter på adsorbenttrør. Prøvene ble så lagret mørkt og kjølig frem til analyse. For dag 2 ble samme forberedelser, utføringer og notering gjort, samt at prøvene ble lagret på samme måte.

## 3.5.2 Analyse

### 3.5.2.1 Stamløsning og kalibreringsstandarder

Først ble analyse vekten kalibrert ved innveing av 100 mg og 10 g lodd. Vekten ble så skrevet inn i veie-bok. Deretter ble kalibreringsstandarder laget ved å lage stamløsning av Terestic T68. En dråpe olje ble da tilsatt til 5 ml målekolbe, målekolben ble så veid for videre dokumentering av dråpens tyngde. Deretter ble prøven fortynnet til linjen med freon 113. Her var det viktig å ta hensyn til forhåndsregler ved bruk av Freon, da dette er et ekstremt flyktig stoff. Stamløsningen ble så vendt 5 ganger med kork for blanding.



Figur 11: Tillaging av stamløsning.

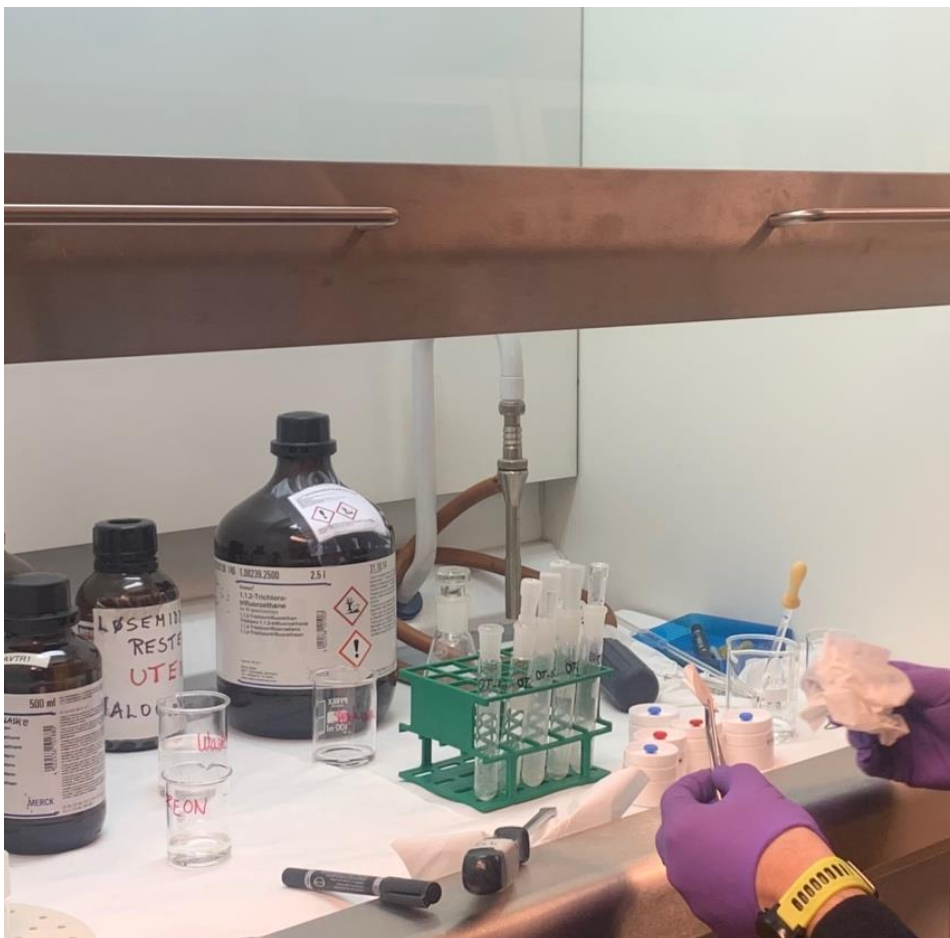
Stamløsning ble brukt til tilberedning av alle standarder, hvor 0,005 - 0,010 - 0,025 - 0,050 ml ble uthentet med 50  $\mu$ l sprøyte, og tilsatt til hver sin 5 ml målekolbe. For fortynning nummer 5 ble det byttet sprøyte til 75  $\mu$ l sprøyte, og 0,075 ml stamløsning ble hentet ut og tilsatt i 5 ml målekolbe. Deretter ble alle standarder fortynnet til merket med freon 113. Alle målekolber ble så påsatt kork og vendt 5 ganger for jevn blanding.

Før uthenting av stamløsning ble sprøytene vasket 3 ganger med freon 113 før vasking med stamløsning 3 ganger. Etter bruk ble sprøyten vasket med freon 113 ti ganger. Alle målekolber ble vasket med freon 113 før tilsetting av stamløsning for danning av standardløsninger.

### 3.5.2.2 Oljefilterprøver

Alle filterprøvene ble forsiktig håndtert med hansker og hentet ut av kassett med pinsett og lofritt papir, deretter brettet og tilsatt i hver sitt reagensrør, det ble så pipettert 5 ml freon med fullpipette og påsatt kork før de ble satt i ultralydbad i 15 min.

For felt blank ble filter ble hentet ut av kassett med pinsett og lofritt papir, deretter ble det brettet og tilsatt i reagensrør (figur 12). Så ble det pipettert 5 ml freon 113 ved bruk av fullpipette til reagensrøret. Prøven ble så satt i ultralydbad i 15 min. For tillaging av reagensblank ble freon 113 tilsatt til kyvette.



Figur 12: Håndtering av oljefilter prøver.

### 3.5.2.3 FT-IR

#### **Spekter for standard**

Først ble indikator på tørkemiddel sjekket, alle indikatorer var blå. Som viste til at luftfuktigheten var under 10% og instrumentet var klart til analyse. Deretter ble reagensblank prøve analysert, og satt som bakgrunn. Deretter ble alle standarder (1 til 5) analysert og satt spekter av standardløsninger, fra svakeste til sterkeste standard.

For måling av standardløsninger ble kyvetten vasket 2 ganger med freon 113, deretter ble det vasket 2 ganger med standardløsning. Målingene startet fra svakeste standard til sterkeste standard. Etter analyse ble det hentet ut spekter for standarder av Teresstic T68 (vedlegg 8.1).

#### **Spekter for oljefilter prøve**

Videre analyseres reagensblank på nytt, samt feltblank og satt som bakgrunn. Deretter ble oljefilter prøvene analysert etter endt ultralydbad. For måling av oljefilter prøver ble kyvetten vasket 2 ganger med freon 113, deretter ble det vasket 2 ganger med filter prøve. Etter analyse ble det hentet ut spekter for oljefilter prøve (vedlegg 8.2).

### 3.5.3 Flyktighetsvurdering

#### *3.5.3.1 Prøvetakning*

Seks prøvetakere ble gjort klare, hvor tre ble satt som aktive og dermed forberedt på samme måte som prøvetakere i kapittel 3.5.1. Tre ble satt som passive prøvetakere, og ble dermed kun koblet sammen uten flow-meter sjekk og batteridreven pumpe. Olje ble så tilført filtrene, deretter ble de vegd inn og vekt notert. De ble så satt ut for prøvetakning i to timer.

Etter to timer ble prøveapparatene hentet inn igjen, hvor aktiv prøvetaker deretter ble målt med flow-meter. Kassetene ble så veid inn igjen og vekten ble notert.

### 3.5.3.2 *Analyse*

Alle prøver ble analysert med samme fremgangsmåte som kapittel 3.5.2.2 oljefilter prøver.

### 3.5.4 Observering av olje i vann

Først ble to 2000 ml og to 1000 ml målebegre veid inn, og vekt notert. Deretter ble 2000 ml målebegre ble fylt med ca. 1,5 L vann, og to 1000 ml målebegre ble fylt med ca. 0,8 L vann, samt veid inn og vekten notert. Deretter ble det plassert termometer i vannet. Matrix Hydromax HT ECO og Teresstic T68 ble deretter helt over i hver sin 25 ml målebeger. Det ble deretter pipettert over ca. 1 ml av hver av oljene i ett 2000 ml målebeger og ett 1000 ml målebeger, målebegrene ble så vegd og vekten ble notert. Observeringer fra oljens oppførsel ble notert.

Dagen etter ble det observert for endringer av oppførsel på oljen, observeringer ble deretter notert. Seks dager og ni etter pipettering ble det igjen sjekket for endringer på oljen, observeringer ble deretter notert. Forsøket ble deretter gjentatt fem ganger.



## 4 Resultat

Dette kapittelet gjør rede for de resultatene som ble oppnådd fra analysene som ble gjort. Resultater for beregninger av resultater for bestemmelse av flyktigheten til olje, analyse av oljetåkeprøve og observasjon av olje i vann.

### 4.1 Standard for Teresstic T68

Masse av oljedråpe veid inn er 0,0102 g, oljekonsentrasjon av stamløsning i 5 ml målekolbe ble da beregnet til ved bruk av formel 1.

$$C_{stamløsning} = \frac{0,0102 \text{ g} * 1000 \text{ mg}}{5 \text{ ml}} = 2,04 \text{ mg/mL}$$

For beregning av konsentrasjon for standardløsninger ble formel 1 brukt, samt resultat av konsentrasjon av stamløsning.

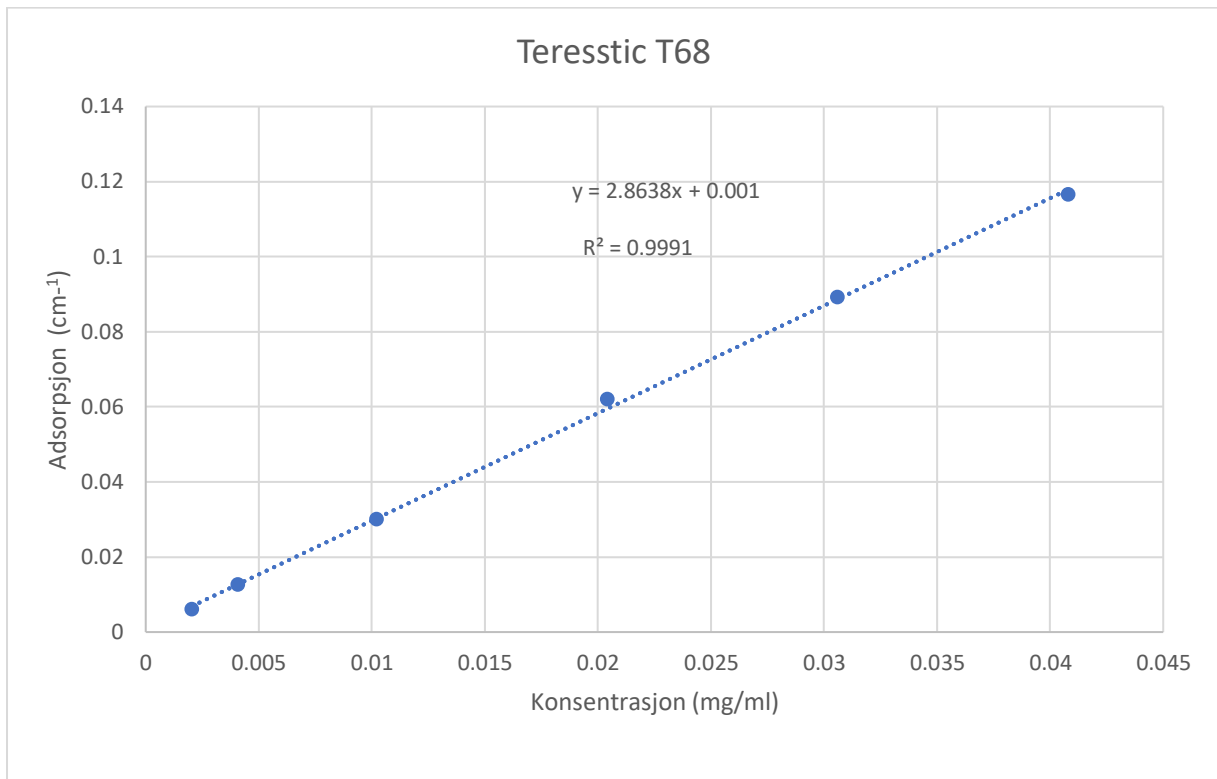
$$C_{standard 1} = \frac{\left( \left( \frac{5 \text{ ul}}{1000 \text{ mg}} \right) * 2,04 \frac{\text{mg}}{\text{ml}} \right)}{5 \text{ ml}} = 0,00204 \text{ ml}$$

Tabell 3 viser konsentrasjon for stamløsning, beregnet konsentrasjon av olje og analysert adsorbents hentet fra vedlegg 8.1.

Tabell 3: Konsentrasjon for stamløsning, konsentrasjon av olje og analysert adsorbents.

Prøve	Tilsatt stamløsning (µL)	Konsentrasjon olje (mL)	adsorbents
Standard 1	5	0,00204	0,005896
Standard 2	10	0,00408	0,012554
Standard 3	25	0,0102	0,029932
Standard 4	50	0,0204	0,06189
Standard 5	75	0,0306	0,089046
Standard 6	100	0,0408	0,11652

Resultat for konsentrasjon og adsorbents ble hentet fra tabell 3, og plottet inn i kalibreringskurve i figur 13 ble stigningstallet 2,8638 funnet.



Figur 13: Kalibreringskurve for Teresstic T68.

#### 4.2 Flyktighets bestemmelse av Teresstic T68

Bestemmelse av tap av olje etter 2 timer prøvetakning ved ca. 1,4 liter/min luftgjennomstrømningshastighet. Beregnet konsentrasjon før fortykning av prøve 02 ble utregnet med formel 1, data ble hentet fra vedlegg 8.3 i tabell 16.

$$C_{\text{før fortykning}} = \left( \frac{0,01089 \text{ g}}{5 \text{ mL}} \right) * 1000 = 2,178 \text{ mg/mL}$$

Beregnet konsentrasjon av fortykning av prøve 02 ble utregnet med formel 1, samt resultat av konsentrasjon før fortykning.

$$C_{\text{etter fortykning}} = \frac{\left( \frac{50 \text{ mL}}{1000} \right) * 2,178 \text{ mg/mL}}{5 \text{ mL}} = 0,02178 \text{ mg/mL}$$

Tabell 4 viser resterende beregnede resultater for konsentrasjon før fortyning og konsentrasjon etter fortyning i målekolbe.

Tabell 4: Beregnet konsentrasjon før fortyning og beregnet konsentrasjon etter fortyning.

Prøve	Konsentrasjon før fortyning (mg/mL)	konsentrasjon etter fortyning i målekolbe (mg/mL)
Prøve 01	2,628	0,02628
Prøve 02	2,178	0,02178
Prøve 04	2,304	0,02304
Prøve 05	2,256	0,02256
Prøve 06	2,268	0,02268

Beregnet luftvolum for prøve 02 ble utregnet ved bruk av formel 7, data ble hentet fra tabell 16 i vedlegg 8.3.

$$V_{luft} = \frac{\left( \left( \frac{1,44 \frac{L}{min} + 1,43 \frac{L}{min}}{2} \right) * 120 \text{ min} \right)}{1000} = 0,172 \text{ m}^3$$

Tabell 5 viser beregnet luftvolum for resterende prøver.

Tabell 5: Beregnet luftvolum for prøve.

Prøve	Luftvolum (m3)
Prøve 02	0,172
Prøve 04	0,167
Prøve 06	0,172

Analysert konsentrasjon av prøve 02 etter fortynning ble beregnet ved bruk av formel 3, data ble hentet fra tabell 16 i vedlegg 8.3, stigningstall hentet fra figur 15.

$$C_{\text{analysert}} = \frac{0,064508 A}{2,8638} = 0,02252531601 \text{ mg/mL}$$

Tabell 6 viser resultat for konsentrasjon etter fortynning for resterende prøver.

Tabell 6: Konsentrasjon etter fortynning.

Prøve	Konsentrasjon etter fortynning (mg/mL)
Prøve 01	0,026182
Prøve 02	0,022525
Prøve 04	0,022928
Prøve 05	0,024209
Prøve 06	0,022362

Beregnete resultat for gjenfinning av prøve 02 ble utregnet med bruk av formel 9, data ble hentet fra tabell 6.

$$Gjenfinning = \left( \frac{0,02252 \text{ mg/mL}}{0,02178 \text{ mg/mL}} \right) * 100 = 103,4\%$$

Tabell 7 viser resultat av gjenfinning for oljens flyktighet for resterende prøver.

Tabell 7: Gjenfinning av oljens flyktighet.

Prøve	Gjenfinning (%)
Prøve 01	99,6
Prøve 02	103,4
Prøve 04	99,5
Prøve 05	107,3
Prøve 06	98,6

Beregnet gjennomsnitt for prøve ble beregnet ved bruk av formel 6, data ble hentet fra tabell 7.

$$\bar{x} = \frac{(103,4 + 99,4 + 98,6)}{3} = 100,5\%$$

Beregnet standardavvik for prøve ble beregnet ved bruk av formel 5, data ble hentet fra tabell 7, samt beregnet gjennomsnitt.

$$s = \sqrt{\frac{(103,4 - 100,5)^2 + (99,4 - 100,5)^2 + (98,6 - 100,5)^2}{2}} = 2,1\%$$

Tabell 8 viser gjennomsnitt og standardavvik for prøvene.

Tabell 8: Standardavvik og gjennomsnitt.

Verdier	Resultat (%)
Gjennomsnitt	100,5
Standardavvik	2,1

### 4.3 Konsentrasjon av oljetåke

For beregning av oljetåke konsentrasjon brukes først formel 7 for å beregne volumgjennomstrømning av OT-07, rådata hentet fra tabell 18 i vedlegg 8.5.

$$L_{luft} = \left( \frac{1,41 + 1,56}{2} \right) * 423 \text{ min} = 628 \text{ L} \approx 0,628 \text{ m}^3$$

Ut fra regresjonsligningen i kalibreringskuven (figur 15), henter man stigningstall 2,8638. Deretter brukes formel 4 for å beregne masse av konsentrasjon, data ble hentet fra 18 i vedlegg 8.5..

$$C_{masse} = \left( \frac{0,25877}{2,8638} \right) * 5 \text{ ml} = 0,452 \text{ mg}$$

Deretter brukes formel 1, for å beregne volum konsentrasjon for oljetåke i luft.

$$C_{volum} = \frac{0,452 \text{ mg}}{0,628 \text{ m}^3} = 0,72 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$$

Prosent av funnet olje i forhold til grenseverdi ble beregnet ved bruk av formel 9.

$$C_{prosent} = \frac{0,72 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}}{1 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}} * 100 = 72\%$$

Tabell 9 viser luftstrøm, total luftstrøm i liter og volum, samt resultat av beregnet konsentrasjon for oljetåke i luft.

Tabell 9: Beregnet konsentrasjon for all oljetåke prøver for Teresstic T68.

Prøve ID	Luftstrøm (liter)	luftstrøm (m <sup>3</sup> )	Konsentrasjo n (mg)	Konsentrasjon (mg/m <sup>3</sup> )	Funnet konsentrasjon av grenseverdi (%)
OT-01	482	0,482	0,008	0,016	1,619
OT-13	859	0,859	0,014	0,016	1,592
OTI-1	1497	1,497	0,012	0,008	0,834
OT-02	593	0,593	0,008	0,013	1,279
OTI-2	1412	1,412	0,035	0,025	2,453
OT-03	565	0,565	0,019	0,033	3,335
OTI-4	1390	1,390	0,074	0,053	5,338
OT-05	257	0,257	0,017	0,065	6,518
OTI-3	1419	1,419	0,003	0,002	0,202
OT-04	576	0,576	0,003	0,006	0,571
Student-1	574	0,574	0,005	0,009	0,920
OTI-5	1522	1,522	0,012	0,008	0,812
OT-07	628	0,628	0,452	0,719	71,924
OTI-6	1411	1,411	0,020	0,014	1,385
OT-08	571	0,571	0,043	0,075	7,507
OTI-8	1371	1,371	0,060	0,044	4,357
OT-10	248	0,248	0,022	0,088	8,793
Student-2	528	0,528	0,011	0,021	2,082
OTI-7	1403	1,403	0,006	0,004	0,425
OT-09	533	0,533	0,016	0,030	3,002
OT-14	824	0,824	0,001	0,001	0,072
OT-06	534	0,534	0,001	0,002	0,204

Deretter beregnes gjennomsnitt og totalt gjennomsnitt for oljetåke prøver ved bruk av formel 6, data hentet fra tabell 9. Prøve OT-07 ses bort ifra.

$$Gjennomsnitt_{turbinhall, Bratsberg} = \frac{(1,6 + 1,6 + 0,8 + 1,3 + 0,8)\%}{5} = 1,2\%$$

Deretter beregnes standardavvik og totalt standardavvik for oljetåke prøver ved bruk av formel 5, data hentet fra tabell 9. Prøve OT-07 ses bort ifra.

$$S_{turbinhall, Bratsberg} = \sqrt{\frac{(1,6 - 1,2)^2 + (1,6 - 1,2)^2 + (0,8 - 1,2)^2 + (1,3 - 1,2)^2 + (0,8 - 1,2)^2}{5}} = 0,35\%$$

Tabell 10 viser resultater av gjennomsnitt og standardavvik for turbinhall og aksling for begge kraftverk. Sett bort fra prøve OT-07.

Tabell 10: Resultat av standardavvik og gjennomsnitt for turbinhall og aksling for begge kraftverk.

	Gjennomsnitt (%)	Standardavvik (%)
Turbinhall, Bratsberg	1,23	0,35
Turbinhall, Leirfossene	1,17	1,30
<b>Total, turbinhall</b>	1,20	0,84
Aksling, Bratsberg	4,42	2,20
Aksling, Leirfossene	5,65	2,38
<b>Total, aksling</b>	4,96	2,39



#### 4.4 Olje til observering

For beregning av innveid masse av olje og vann ble differansen beregnet ved bruk av formel 10, data hentet fra tabell 19 i vedlegg 8.6.

$$Terrestic_{1,1} = |1809,55g - 373,47g| = 1436,08g$$

Total reduksjon av vann ble beregnet med bruk av formel 10.

$$Terrestic_{1,1} \text{ reduksjon} = |180,22g - 1436,08g| = 1255,86$$

Tabell 11 viser dag og vekt for vann og olje med 1,5 (1) og 0,8 (2) L målebeholder samt totalreduksjon av vann for hver prøve.

Tabell 11: Dag og vekt for 1,5 (1) og 0,8 (2) L målebeholder.

Prøve	Dag 1, masse vann og olje (g)	Dag 6, masse vann og olje (g)	Dag 9, masse vann og olje (g)	Total reduksjon (g)
1.1 Teresstic	1436,08	583,38	180,22	1255,86
1.1 Hydromax	1437,01	1327,9	982,9	454,11
1.2 Teresstic	1437,9	564,57	159,33	1278,57
1.2 Hydromax	1441,2	1299,7	893,7	547,5
1.3 Teresstic	1432,99	595,89	182,7	1250,29
1.3 Hydromax	1431,78	1350,83	998,2	433,58
1.4 Teresstic	1434,02	625,42	203,9	1230,12
1.4 Hydromax	1427,99	1289,76	923,3	504,69
1.5 Teresstic	1440,08	612,78	198,47	1241,61
1.5 Hydromax	1432,5	1382,01	981,6	451,1
2.1 Teresstic	776,82	351,5	1,88	774,94
2.1 Hydromax	778,3	706,5	659,76	118,54
2.2 Teresstic	790,67	348,76	2,08	788,59
2.2 Hydromax	759,8	689,87	645,89	113,91
2.3 Teresstic	766,8	403,15	3,56	763,24
2.3 Hydromax	789,45	678,9	617,4	172,05
2.4 Teresstic	790,01	378,55	1,12	788,89
2.4 Hydromax	768,5	642,33	604,87	163,63
2.5 Teresstic	789,9	257,99	1,98	787,92
2.5 Hydromax	787,88	699,97	625,7	162,18

Prosentvis reduksjon for prøve ble beregnet med formel 11, data hentet fra tabell 11.

$$Terrestic_{1,1} = \left| \frac{(180,22g - 1436,08g)}{1436,08g} \right| * 100 = 87,45056\%$$

Tabell 12 viser beregnet prosentvis nedgang for resterende prøver.

Tabell 12: Prosentvis nedgang for alle prøver.

Prøve	Prosentvis nedgang	Prøve	Prosentvis nedgang
1.1 Teresstic	87,45	1.1 Hydromax	31,60
1.2 Teresstic	88,91	1.2 Hydromax	37,98
1.3 Teresstic	87,25	1.3 Hydromax	30,28
1.4 Teresstic	85,78	1.4 Hydromax	35,34
1.5 Teresstic	86,21	1.5 Hydromax	31,49
2.1 Teresstic	99,75	2.1 Hydromax	15,23
2.2 Teresstic	99,73	2.2 Hydromax	14,99
2.3 Teresstic	99,53	2.3 Hydromax	21,79
2.4 Teresstic	99,85	2.4 Hydromax	21,29
2.5 Teresstic	99,74	2.5 Hydromax	20,58

Gjennomsnitt ble beregnet ved bruk av formel 6, data hentet fra tabell 12.

$$Terrestic_1 = \frac{87,45 + 88,91 + 87,25 + 85,78 + 86,21}{5} = 87,12\%$$

Tabell 13 viser gjennomsnitt for hver størrelse av olje prøve.

Tabell 13: Gjennomsnitt for prøver.

Prøve	Gjennomsnitt
Teresstic 1	87,12
Teresstic 2	99,73
Hydromax 1	31,49
Hydromax 2	18,78

Totalt gjennomsnitt ble beregnet ved bruk av formel 6, data hentet fra tabell 13.

*Terrestrial*

$$= \frac{87,45 + 88,91 + 87,25 + 85,78 + 86,21 + 99,75 + 99,73 + 99,53 + 99,85 + 99,74}{10}$$

$$= 93,43\%$$

Standardavvik for prøve ble beregnet ved formel 5, data hentet fra tabell 12.

$S_{\text{terrestrial } 1}$

$$= \sqrt{\frac{(87,45 - 93,43)^2 + (88,91 - 93,43)^2 + (87,25 - 93,43)^2 + (85,78 - 93,43)^2 + (86,21 - 93,43)^2}{5}}$$

$$= 1,09\%$$

Tabell 14 viser beregning for gjennomsnittlig reduksjon for hver prøve, total gjennomsnittlig reduksjon for hver olje og standardavvik for prosentvis nedgang.

*Tabell 14: Gjennomsnittlig reduksjon for hver prøve, total gjennomsnittlig reduksjon for hver olje, standardavvik, samt totalt standardavvik.*

Prøve	Total gjennomsnittlig reduksjon (%)	Standardavvik (%)
1 Teresstic	93,43	1,09
2 Teresstic		0,10
1 Hydromax	26,059875	2,87
2 Hydromax		3,02

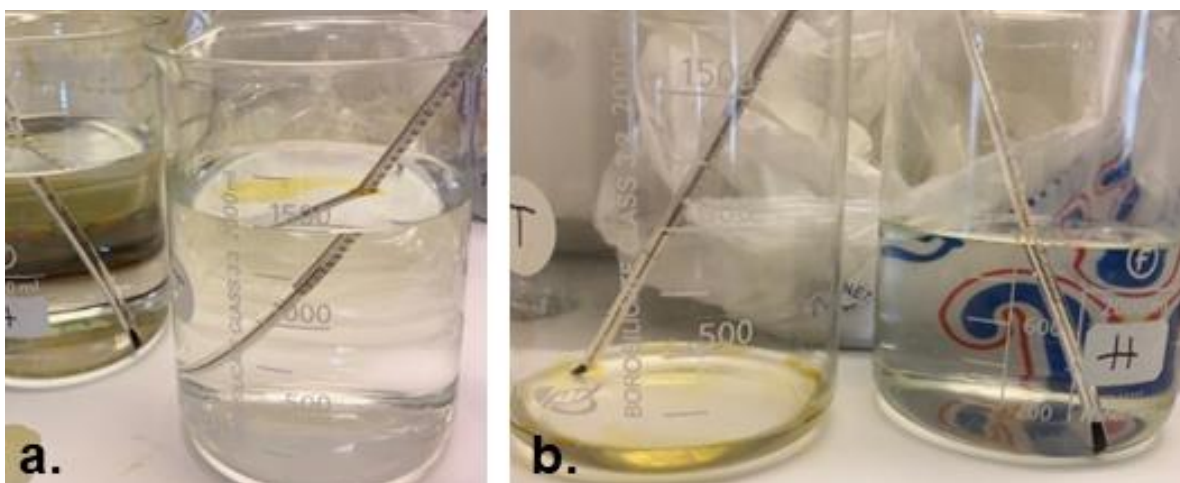
## 5 Diskusjon

I rammen av dette prosjektet ble en omfattende litteraturgjennomgang utført for å kartlegge risiko for oljelekkasje ved vannkraftverk, samt mulig påvirkning på ytre miljø og helse til ansatte. Den høyeste risikoen for oljelekkasje ble identifisert ved utslipp fra aggregat. Det brukes vanligvis mineralolje i vannkraft i dag, men med det grønne skiftet har miljøoljer kommet i vinden. Gjennom litteraturstudie og feltarbeid er det funnet at utslipp direkte til naturen er lite sannsynlig, men eksponering av personell må vurderes. Dermed utføres det forsøk ved prøvetaking av oljetåke på kraftverk i Trondheim.

### 5.1 Resultat

#### 5.1.1 Olje til observasjon

Det ble utført en eksperimentell observasjon da det ville være en relevant og nyttig test for å finne ut hvordan oljene oppfører seg i vann. Resultat fra olje til observasjon ble at vannet i miljøoljen (Matrix Hydromax HT ECO) minket totalt i snitt med 26,05% mens mineraloljen (Teresstic T68) minket totalt i snitt med 93,43%. Etersom prøvene ble laget til med to ulike volum opplevdes det at i prøve 2 var det svært lite vann på slutten, som resulterte i at man utførte fire ulike standardavvik. Dette ga standardavvikene 1,09% for Teresstic 1, 0,10% for Teresstic 2 og 2,87 % for Hydromax 1, 3,02% for Hydromax 2. Alle standardavvik var under 5% som viser til god riktighet. Bilder illustrert for resultat fra dag 1 (a) og dag 9 (b) av prøvene Teresstic 1.1 og Hydromax 1.1 er bedre vist i figur 14.



Figur 14: Resultat fra Hydromax 1.1 og Teresstic 1.1 a.) dag 1; b.) dag 9.

Som tidligere nevnt vil ikke de fleste oljer blandes med vann, da de har lavere tetthet enn vann. Mineraloljen vil ofte dermed legge seg på toppen av vannet, og danne et tynt lag eller en hinne som dekker vannoverflaten. Denne hinnen kan hindre vann i å fordampe.

Hydrolyse er det viktigste og første skrittet til biologisk nedbrytning, vil biologisk nedbrytbare oljer (her: mineraloljebasert miljøolje, Matrix Hydromax HT ECO) hydrolyseres lettere og raskere enn mineralolje. Hydrolyse av olje er en reaksjon mellom vann og olje, der det dannes glyserol og fettsyrer. På grunn av sine tre hydroksylgrupper vil glyserol være blandbart med vann, og er hygroskopisk i naturen, altså at det har en evne til å absorbere fuktighet fra luft. Dette vil hindre vannet i å fordampe, som forklarer hvorfor prøven med mineraloljen fordampet mye raskere enn prøven med miljøoljen. På grunn av sin hygroskopiske natur, kan miljøoljen i dette steget trekke til seg vann fra miljøet rundt og man kan da ende opp med mer vann enn det man startet med (76).

Flere feilkilder kan påvirke resultatene i dette forsøket. En av de vanligste feilkildene er ulikhet i oljesammensetning, da bruk av forskjellige oljer med ulik sammensetning kan gjøre sammenligninger vanskelig. Spesielt da den ene oljen er biologisk nedbrytbar og den andre ikke. Luftfuktighet er også en viktig faktor å ta hensyn til, da endringer i luftfuktighet kan påvirke fordampningsevnen til vannet og dermed resultatene. Prøvene ble dermed holdt i et stabilt miljø i avtrekkskap for å unngå dette. Videre kan ulikhet i vanntemperatur og bevegelse påvirke resultatene hvis man ikke holder disse faktorene konstant gjennom hele forsøket.

Det befinner seg flere grupper på laboratorium, der medstudenter kan søle og berøre prøvene. Dette kan føre til uønsket bevegelse i løsningsene, og påvirke fordampningsevnen til vannet. Dette kan igjen gi mindre nøyaktige resultater. Prøvene ble dermed holdt avskilt fra studenter i avtrekkskap med lapp for å unngå kontamineringer eller bevegelser.

Bruk av forskjellige mengder olje i ulike forsøk og ulik observasjonstid kan også påvirke resultatene. For å minimere disse feilkildene, bør man være nøye med å holde alle faktorer så konstante som mulig og gjenta forsøket flere ganger for å sikre mer pålitelige og gjentakbare resultater. Det ble dermed brukt Peleusballong og glasspipette for å holde volumet med olje så konstant som mulig, samt at forsøket ble gjort fem ganger med replikable resultat.

### 5.1.2 Flyktighetsvurdering

Ut ifra flyktighetsvurderingen som ble tatt, viser Teresstic T68 seg til å være en semiflyktig olje. Da det gjennomsnittlig ble gjenfunnet 100,5% olje og et standardavvik på 2,1%. Standardavviket var under 5% som viser til god riktighet. Semiflyktig olje vil si at de er mindre flyktige enn VOC, altså flyktig organisk komponent. Koepunktet til semiflyktige komponenter (SVOC) er høyere enn VOC, da SVOC har 240-260°C og 380-400 °C, mens VOC har 50-100°C og 240-260°C (77). Koepunktet til Teresstic T68 er ifølge datablad er estimert til å være over 316°C (30). Ut ifra dette kan man dra konklusjon at lite eller ingen betydelig mengde olje vil fordampet bort fra oljefilter prøvene i kassetene under prøvetaking i Leirfossene og Bratsberg kraftverk.

Gjennomsnitt av gjenfunnet olje ble funnet til å være høyere enn 100% som kan tyde på at det er kommet inn kontamineringer i prøven under prøveopparbeiding, som kan ha skjedd ved å ta på filteret. Det kan også ha kommet støv, fukt og ulike partikler på filteret under prøvetakingen. Dette kan påvirke resultatene for forsøket, men det ansees fortsatt som ett greit resultat.

### 5.1.3 Oljetåke

Over et tidsforløp på to dager ble det utført 10 målinger på Bratsberg kraftverk. På hver av dagene ble det satt opp en målestasjon rett ved en av de to generatorene i turbinhallen, samt to til ved akslingen i underetasjen. Leirfossane kraftverk er et nyere bygg som erstatter Nedre- og Øvre Leirfossen sin produksjon, da de er gjort om til småkraftverk med minstevannføring (79). Over et tidsforløp på to dager ble det utført 12 målinger på Leirfossane kraftverk. To ved generatoren og to ved akslingen.

På dag to ble det også satt opp to ekstra målinger, en i generatorrommet og en ved ventilasjonsanlegget.

Det ble funnet relativt jevne verdier for konsentrasjon av oljetåke, sett bort ifra prøve OT-07 som viser en konsentrasjon på 0,72 mg/m<sup>3</sup>. Dette kan komme av at oljedråper av og til kan slynges ut gjennom eksosen til aggregatet og at denne har truffet inn i den ene prøvetakeren. Resultatet fra OT-07 ble beregnet til å være 72% av gitt grenseverdi, og er dermed høyeste funnet verdi. Ut ifra at denne mest sannsynlig er preget av en målefeil, ble ikke den prøven ansett som representabel. Resterende prøver varierer fra ca. 1-9% av gitt grenseverdi på 1 mg/m<sup>3</sup>. Ingen av prøvene overstiger dermed grenseverdiene.

Prøvene ble satt ut på ulike punkt for å undersøke om det er mer oljetåke i ulike deler av kraftverket, samt at det ble satt ut prøver på to ulike kraftverk (se notasjon i vedlegg 8.5). Det ble dermed beregnet gjennomsnitt og standardavvik for de ulike. For prøver satt i turbinhall ved generatortopp ble gjennomsnitt for funnet prøve av grenseverdi i Bratsberg funnet til å være 1,23%, og ved leirfossene ble det funnet til å være 1,17%. Det ga et totalt gjennomsnitt på 1,20%. Standardavviket for turbinhall i Bratsberg ble funnet til å være 0,35%, mens Leirfossene ble funnet til å være 1,30%, som ga et totalt standardavvik på 0,84%. For prøver satt ut ved aksling ble gjennomsnitt for funnet prøve av grenseverdi ved Bratsberg 4,42%, og gjennomsnitt for Leirfossene 5,64%. Dette ga et totalt gjennomsnitt på 4,96%. Standardavviket for aksling i Bratsberg ble funnet til å være 2,20%, mens aksling i Leirfossene ble funnet til å være 2,38%. Dette ga et totalt standardavvik på 2,39%. Alle standardavvik ble dermed funnet til å være under 5%, som viser til et godt resultat.

Det ble også satt ut to prøver i generatorrom i Leirfossene, hvor det ble funnet 2,1% ved luftekanal og 0,2% i rommet av gitt grenseverdi. Man kan dermed se ut ifra beregningene av gjennomsnitt at det ble funnet en totalt høyere gjennomsnittlig prosent ved akslingen i forhold til generatortoppen i turbinhall. Dette viser at det er en høyere konsentrasjon av oljetåke ved akslingen, i forhold til turbinhallen. Totalt sett ble dermed de høyeste målingene tatt ved aksling, og de høyeste målte verdiene ble funnet på Leirfossene kraftverk ved akslingen.

Inkludert i disse resultatene ligger både resultat for batteridreven pumpe og totalstøv pumpe. Her var en flow på ca. 3,5 l/min for totalstøv og en flow på ca. 1,4 l/min for batteridreven pumpe. Dette er for å skille mellom ulike aerosol fraksjoner, der pumpene som måler med 1,4 l/min måler opp til torakal fraksjon, mens 3,5 l/m måler opp til inhalerbar fraksjon. Disse to også måler respirabel fraksjon, men man har ikke en spesifikk måling for det. Disse ulike målingene ble tatt for å skille hvilken fraksjon man har mest av. Ettersom resultatene er tilnærmet like forteller dette at oljetåkedråpene er torakal fraksjon eller mindre (respirabel fraksjon).

Ett par av batteripumpene stoppet før ca. 7-8 timer med prøvetakning. Hvor OT-01 stoppet etter 5 timer og 35 minutt, OT-04 stoppet etter 2 timer og 56 minutt, og OTI-07 stoppet etter 2 timer og 56 minutt. Dette kan gjøre at resultatene kan påvirkes litt, men ettersom de har gått i over 2 timer, kan prøven enda være representabel for en arbeidsdag. Dette vil ikke utgjøre en signifikant forskjell, da det på forhånd ble forventet

at oljeeksponeringen er jevn, spesielt da prøvene ble tatt ved konstant drift av aggregat.

Filtrene i prøvetakerkassetene ble veldig forsiktig håndtert med nye og rene hansker, samt pinsett, ettersom de er lette å forurense. Om man tar på mye annet før håndtering av prøvene kan annen olje fra for eksempel hud kontaminere prøvene. Prøvene berøres minst mulig, men man kan likevel ikke se bort ifra at kontaminering kan skje. Under opparbeiding av prøve ble det brukt freon 113, som er et svært flyktig løsemiddel (80). Her er det viktig å bruke kork. Dersom kork ikke ble satt på hurtig etter opparbeiding, kan løsningen ha en annen konsentrasjon enn ment. Freon 113 ble flere ganger tilsatt prøver i små konsentrasjoner. Her er det viktig å sette sprøytene/pipettene ned i løsningen før det sprøytes ut. Slik er det lettere å unngå at løsemiddelet fordufter.

For analyse ved bruk av FT-IR brukes kyvette. Ved analyse av standarder ble de laget fra svakeste til sterkeste standard, med grundig skylling mellom hver standard. For å skylle ble det brukt freon 113 og deretter tørket med lofritt papir. Dette gjelder også for oljetåkeprøver, der kyvetten kan bli forurenset dersom ikke vasket eller tørket nøye nok. Dette kan igjen interferere med analyseresultatene.

Under er det illustrert tabell 15 som viser gruppen sitt sammenligningsgrunnlag fra en tidligere rapport utført av Statkraft Energi AS sin tidligere bedriftshelsetjeneste, Avonova. Rapporten er utført med et oppsett fra eurofinns (46).



Tabell 15: Oversikt over sammenligningsgrunnlag mellom studentenes målinger og en tidligere rapport utført av Avonova (46).

	Avonova rapport	Student rapport
Sted	Bratsberg, Svean, Fjæremfossen, Leirfossane	Bratsberg og Leirfossane
Antall kraftverk	4 stk	2 stk
Analysemetode	euofins (GC-MS-metode)	FT-IR-spektroskopi
Målinger	4, Bratsberg 4, Svean 4, Fjæremfossen 4, Leirfossane	10, Bratsberg 12, Leirfossane
Totalt antall målinger	16	22
Prøvetakingsperiode	01.06 –16.06.21, 16 dager	13-14.03.23, 2 dager
Type målinger	Kartlegging av oljedamp/VOC, oljetåke + støyforhold	Kartlegging av oljetåke
Gjennomført av	yrkeshygieniker/HMS-rådgiver	Seniorforskere /kjemiingeniørstudenter
Bedrift	bedriftshelsetjeneste	forskningsinstitutt
Høyeste målte verdi	12%	8,8%
Luft flow	1 l/min	1,5 L/min og 3,5 L/min

Bedriftshelsetjenesten Avonova utførte prøvetaking på 4 ulike kraftverk med totalt 16 målinger over 16 dager (vedlegg 8.7). Studentene sin prøvetaking ble gjennomført på 2 kraftverk, der begge kraftverkene også er å finne i Avonova sin rapport. Studentene sin testing ble utført over 2 dager, der det ble tatt 22 prøver. Avonova brukte en flow på 1 L/min, mens studentene brukte 1,5 L/min og 3,5 L/min som en del av en mer utvidet kartlegging for oljetåke. Avonova gjorde en bredere kartlegging da de også tok for seg analyse av oljedamp og støyforhold i tillegg til oljetåke. Studentene tok kun for seg kartlegging av oljetåke. Avonova er en bedriftshelsetjeneste og ble kontaktet for en kartlegging av oljeavdampinger våren 2021 (46). Ettersom at resultatene for oljeeksponering ikke gjenspeilet i det de ansatte reporterte inn til HMS, valgte Statkraft

Energi AS å videre kartlegge ved Nidelven-vassdraget. Det ble dermed utført en kartlegging av STAMI, som er ett forskningsinstitutt i samarbeid med studenter.

For tidligere målinger var det ingen verdier som var over grenseverdiene, og verdiene ble funnet til å være tilnærmet like studentenes verdier. Resultat av tidligere måledata er vedlagt i vedlegg 8.7. Avonova brukte gasskromatografi (GC) i motsetning til studentene som utførte analysen ved bruk av FT-IR.

Man kan da se at høyeste målte verdi av Avonova er  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , som er tilnærmet likt 12% av grenseverdien på  $1 \text{ mg}/\text{m}^3$ . Hvor de 4 høyeste målingene av Avonova ble tatt ved Leirfossene kraftverk, mens resterende var svært lave (46). Studentene sin høyeste gjennomsnittlig verdi ble også funnet ved Leirfossene kraftverk, da det ble funnet 5,65% ved aksling i Leirfossene. De målte verdiene av Avonova ble dermed funnet til å være høyere enn studentenes høyeste verdi på 8.8 %, da man ser bort ifra prøve OT- 07 på grunn av en sannsynlig målefeil. Dermed ansees resultat analysert av studenter som et godt resultat sammenlignet med resultat av Avonova.

#### 5.1.4 Kritikk av metode og andre feilkilder

Bachelorprosjektet er hovedsakelig en kartleggingsoppgave, som bygger på litteraturtekster og det å opparbeide informasjon rundt temaer og problematikk. Oppgaven baserer seg imidlertid også på kvantitativ forskningsmetode, da det ble arbeidet med innsamling og analyse i form av tall og data. Det ble gjort en rekke målinger som skal gi en strukturert oversikt over informasjon om innholdet av oljenivåer i luften.

Under prosjektet ble det utført kvantitativ bestemmelse av oljetåke, ved bruk av FT-IR-spektroskopi. Denne analysemetoden er effektiv for å finne flyktighet og konsentrasjon av oljetåke. Det ble også gjort en observasjon av olje i vann og en flyktighetsvurdering for oljen analysert ved FT-IR. FT-IR er en følsom og enkel måleteknikk, hvor man får sett nærmere på bindingene mellom karbon og hydrogen. Her kan man også få informasjon om sammensetningen av oljetåke, som kan være nyttig dersom det skulle oppstå en eventuell forurensning. FT-IR-spektrometeret måler adsorpsjonen av infrarødt lys av prøven som undersøkes. Adsorpsjonen kan gi informasjon om molekylene i prøven, og kan brukes videre til å identifisere sammensetningen av stoff i prøven (73).

FT-IR trenger lite forbehandling av prøvene for analyse, som reduserer analysens kompleksitet og tidsforbruk. FT-IR-spektroskopi møter likevel på utfordringer. Det er et

svært følsomt instrument som gjør at selv det minste lille fingeravtrykk eller annen forurensning på kyvetten vil kunne forstyrre signalene i toppene som skrives ut i resultatskjemaene. Et slikt fingeravtrykk vil gi bakgrunnsstøy.

En alternativ analysemetode er GC, dette ble ikke brukt da GC gir en svært nøyaktig analyse for spesifikke forbindelsene som er til stede i en prøve. Dette kan gjøre det vanskelig å separere og analysere alle forbindelsene i oljetåke, spesielt når det er et bredt spekter av forbindelser (73). Derfor ble det brukt FT-IR spektroskopi i dette prosjektet for å gi en rask og enkel analyse av oljetåke.

Ved bruk av GC kreves det at oljetåke ekstraheres fra luftprøven og konsentreres før de kan analyseres. Dette ekstraksjons- og konsentrasjonsarbeidet kan være mer tidkrevende enn FT-IR-analyse, som kan utføres direkte på luftprøven uten behov for ekstraksjon eller konsentrasjon.

Det ble også tatt i bruk løsemiddelet Freon 113. Dette er et ideelt løsemiddel når det kommer til oljer og fettstoffer, samt at det er relativt ufarlig for mennesker og ikke-brennbart. Det kan være en god løsning for å ekstrahere oljetåke fra luftprøver. Opprinnelig ble det brukt karbontetraklorid, men ettersom dette er skadelig for mennesker, ble det erstattet av Freon 113 (74). Karbontetraklorid er svært farlig for mennesker, da det er giftig ved innånding, svelging og hudkontakt. Det kan påvirke sentralnervesystemet, gi nyre og leverskader, samt at det er karsinogent (81). Freon 113 er vanskelig å få tak i, samt at det er dyrt da bruken reduseres på grunn av skaden det kan utføre på ozonlaget (74). Freon 113 gir fra seg klorfluorkarbon gass (KFK-gass), som er kjent for å bryte ned ozonlaget. KFK er dermed blitt redusert kraftig i bruk, men i Norge er det tillatt i laboratoriesammenheng (82). Valget falt likevel på freon 113 som løsemiddelet da det ikke er helsefarlig å eksponeres for. Stoffet er imidlertid meget flyktig, og vil fordufte dersom det brukes i små mengder i gangen (80). Ettersom oppgaven hovedsakelig er en kartleggingsoppgave, vil mesteparten av oppgaven bygge på opparbeiding av informasjon og litteraturtekster. Oppgaven baserer seg imidlertid også på kvantitativ forskningsmetode, noe som gjør at det er desto viktigere å være kildekritiske. Det er viktig å opparbeide seg et helhetlig bilde, og gjerne finne samme informasjon flere plasser.

## 5.2 Videre diskusjon

Det ble identifisert at den største faren for oljeutslipp ved vannkraftverk er ved aggregat. Hvor oljesøl oppstår som oftest i lagre på grunn av svikt i tetninger. De fleste turbiner ble funnet til å ha minimal fare for oljeutslipp i vann, da lager med smøreolje ikke kommer i umiddelbar kontakt med vann. Likevel finner forurensing av luft med oljetåke dessverre sted og utgjør fare for helsen til ansatte.

I dag finnes det lite informasjon om hva oljer inneholder, det beskrives ofte som en blanding av kjemiske forbindelser. Datablad er ikke til hjelp da produsent kun må oppgi ingredienser som inneholder en viss verdi og da kan klassifiseres som helsefarlig. Slik at man vet jo ikke hva oljene egentlig inneholder, dette kommer mye av at om man kjenner ingrediensene, er det lett å replikere oppskriften for konkurrenter. Slik at det kan ansees som et økonomisk grunnlag, og kanskje ikke helse eller miljømessig grunnlag. Det kan dermed være skummelt å stole på at oljen egentlig er trygg, da datablad for oljene man har tatt for seg sier at konsentrasjonene er veldig lave eller ubetydelige, men kommer man i fysisk kontakt så må man umiddelbart kontakte lege eller helsehjelp (51,54). Undersøkinger fra kreftregisteret viser at kontakt med råolje gir økt risiko for hudkreft, da ansatte i olje bransjen som var mye utsatt for olje hadde 7 ganger så høy risiko for hudkreft. Råolje inneholder mange ulike kjemiske forbindelser, som f.eks. benzen og PAH (47). Helseutfordringer med arbeid av oljer har lenge vært kjent, hvor en overeksponering av oljetåke ses på som en utfordring. Da dette ikke bare eksponeres til hud, men også ved inhalering av luft (70).

Olje har mange oppgaver, den skal for eksempel ta opp fukt og bryte ned sopp og bakterier. Olje vil ikke klare å ta opp mye fukt på grunn av metningspunkt (17). Dette er ting som man naturlig har på huden (83), slik at man ikke kan vite hva som skjer når man får det på huden eller inn i lungene. Man kan se på forskning fra ulike mennesker som tidligere har blitt mye utsatt for olje, at de kan få påfølgende sykdommer som astma, dermatitt og allergiske reaksjoner (84).

Det har lenge vært ett omdiskutert tema om man skal bytte ut tradisjonell mineralolje med miljøolje. Et offisielt miljømerke kan være en enkel måte å gi en troverdighet hos forbruker og kommunisere at varen står til høy standard. Ettersom produsenter selv kan bestemme kriterier for miljømerking, kan de merke mineraloljer med miljømerke så lenge det oppfyller deres kriterier (38). Det kan dermed settes ett skille mellom miljøvennlig og miljøolje, da alle leverandørene kan ha ulike krav til deres miljøoljer. Ofte har likevel produsenter andre tester, eller vurderinger som gjør at oljene oppfyller

ulike standarder. Som for eksempel Matrix Hydromax HT ECO som ble tatt for seg i dette prosjektet, oljen har ingen offisiell miljømerking, men har gjennomgått OECD 301F test som viser til 97,7% og gjør at den oppnår ISO/FDIS 15380 standard (85). Som igjen gjør at den kan bli omtalt som en miljøolje. Men er denne egentlig da miljøvennlig? Den vil få en lengre og bedre livssyklus, men den krever mye energi å utvinne med HT, etter bruk av høy varme samt tilsetning/frakting av hydrogen. Oljen kommer av fossilt brensel, som gjør at oljen ikke er fornybar, og dermed kan det etterlate ett stort CO<sub>2</sub>-fotavtrykk (karbondioksid) (86).

Smøreolje er et viktig element i vind og vannkraftproduksjon i forhold til miljø og bærekraft, med tanke på disse oljenes livssyklus. Dette med tanke på energibruk, utslipp og kostnader. Et bytte fra mineraloljer til miljøoljer ved vannkraftverk kan være en utfordring på flere områder (19). Biologisk nedbrytbare oljer vil svare seg i forhold til mineralske oljer, da de totalt sett har ett mindre CO<sub>2</sub>-fotavtrykk, fra produksjon, resirkulering og videre håndtering. Likevel har mineralske oljer bedre ytelsesegenskaper sammenlignet med biologisk nedbrytbare oljer, spesielt de av naturlig opprinnelse. Biologisk nedbrytbare oljer vil brytes raskere ned om den blandes med vann. Som videre vil påvirke oljens kjemiske egenskaper, og kan da påvirke driften av det mekaniske anlegget (19).

Selv om miljøoljer er biologisk nedbrytbare, og utviklet for å være mindre skadelige for miljøet enn tradisjonelle mineraloljer, betyr imidlertid ikke dette at de vil være lett å bytte ut smøreoljene i vannkraft. Det vil kunne oppstå problemer med driften av vannkraftverk, da dette er to ganske ulike oljer ut fra sammensetning og som følge, ytelsesegenskaper. Et bytte ville dermed by på økonomiske utfordringer.

Miljøoljer er ofte generelt sett dyrere enn tradisjonelle mineraloljer, noe som vil føre til en økte driftskostnader for kraftverket. Dette kommer av at miljøoljen trenger lengre behandling enn samtlige tradisjonelle mineraloljer, og dermed er dyrere å produsere. I tillegg vil oljen også ha høye kostnader for sertifisering og testing. Miljøoljer har relativt strenge krav for å sikre at de oppfyller miljøkrav og standarder (19). Miljømerker koster både tid og penger, og må ofte ha en årlig vurdering på om produsenten får beholde sertifiseringen (36).

Miljøvennlige oljer kan også ha andre krav til vedlikehold enn tradisjonelle mineraloljer, samt ha andre krav til oppbevaring på grunn av høyere biologisk nedbrytbarhet. De er mer sensitive til temperatur og luftfuktighet enn tradisjonelle mineraloljer, noe som gjør det nødvendig å lagre dem under spesifikke forhold for å opprettholde oljens

egenskaper og ytelse. Tradisjonelle mineraloljer er potensielt skadelige for miljøet, og det kan være kostbart å deponere dem på en trygg og miljøvennlig måte når de ikke lenger er i bruk. Mens felles for de begge vil det være at de kan gjenbrukes, da de kan redestilleres og renses (19).

Dersom man bytter til biologisk nedbrytbar miljøolje, vil dette kunne kreve en utbytting av utstyr, som igjen kan føre til økte kostnader. Her vil faktorer som driftstemperatur, trykk og strømningsmønster, pakninger og slangemateriale, samt potensiale for forurensing av vann og filtreringssystem måtte vurderes, ut ifra om det er tilstrekkelig for den nye væsken. Det kan dermed være nødvendig å skifte enkelte komponenter for å unngå lekkasjer og slitasje. Ikke bare utstyr må skiftes ut, men også eventuelle prosedyrer ved drift av anlegget, da hvert kraftverk er skreddersydd til fallhøyde, geografi og topologi. Dette kan dermed bli et usikkerhetsmoment da oljen som allerede er i bruk fungerer som den skal ut fra mekanisk drift (87).

En viktig faktor som også må bli tatt i betraktning, er hvorvidt et eventuelt bytte til biologisk nedbrytbar væske er kompatibelt med mineralolje. Hvis ikke kan det oppstå alvorlige problemer dersom all den gamle mineraloljen ikke skylles grundig ut av systemet før den nye væsken installeres. Symptomer på en ufullstendig konvertering fra tradisjonell mineralolje til biologisk nedbrytbar olje kan gi kraftig skumdannelse, lekkende tetninger, tette filtre, høyere slitasje enn normalt på enkelte komponenter (som hydraulikkpumpen) og økte driftstemperaturer (87).

Overgangen til miljøvennlige oljer kan kreve opplæring av ansatte for å sikre at de vet hvordan de håndterer oljen på en trygg og effektiv måte. I tillegg kan overgangen til miljøoljer kreve godkjenning fra myndighetene og møte motstand ved bekymring for kostnader, driftsstabilitet og andre faktorer (88). Det kan derfor være en utfordring å få støtte og samarbeid fra alle involverte parter.

Til tross for disse utfordringene kan overgangen fra mineraloljer til miljøoljer være en viktig og nødvendig investering, for å redusere miljøpåvirkningen av vannkraftverk og øke bærekraften i energiproduksjonen (87).

Smøreoljeproblematikken er ikke bare relevant for vannkraft, men for alt maskineri med bevegelige deler, som for eksempel vindkraft. I vindkraft vil ikke helserisiko stå like mye i rampelyset da vindmøller, da spesielt vindmølleparker på havet svært er sjeldent bemannet. Her vil heller miljørisiko tas inn til vurdering da det står til utslipp for akvatisk liv og direkte ut i luft. her vil det å benytte miljøoljer også være svært viktig da disse har høyere biologisk nedbrytning og ofte en lavere økotoksitet (19).

### 5.3 Videre tiltak og arbeid

Undersøkelsen ble satt i gang da Statkraft Energi AS var bekymret for usunne og helsefarlige oljenivåer i luften. Det ble forventet at nivåene var høye, og de ønsket dermed å iverksette tiltak for å redusere risikoen for helseproblemer til ansatte. De ønsker å unngå opptrapping av verneutstyr, og heller nedtrapping av faremoment for å sikre arbeidsmiljøet til ansatte (89).

Det er tidligere gjort undersøkelser av Avonova, men ettersom Statkraft Energi AS ikke ble fornøyd med at nivåene av oljetåke ble målt til under grenseverdien, ville de foreta en utvidet undersøkelse. Dermed ble det tatt flere målinger, og målinger for ulike aerosol fraksjoner. Da Statkraft Energi AS ønsket å sikre de ansatte, besøkende og sensitive gruppers helse på best mulig måte. Dermed ble det investert i mer omfattende målinger, for å redusere helserisiko (89). I dette delkapittelet ses på videre tiltak som bør iverksettes med hensyn på helse og miljø.

Det er ønsket en vurdering for nedsetting av grenseverdier, selv om konsentrasjonene av oljetåke ble funnet til å være en del lavere enn grenseverdiene. Dette er grunnet at det fortsatt rapporteres ubehag med symptomer på oljetåke. Det vil derfor være lurt å ha en klar oversikt over rapporteringer av ubehag, lukt og søl. Samt å ha oppfølgende prøvetakinger jevnlig for å ha kontroll på oljenivåer.

Videre tiltak for kraftverk vil være å ha god kontroll på hydraulikk- og turbinoljer. Derav ha et krav om å melde inn etterfyllinger av olje i et program som for eksempel SAP. På denne måten vil man få en større forståelse av hvor mye olje som mistes årlig. Samt en loggføring av alle visuelle observasjoner ved oljesøl og/eller lekkasjer under vedlikeholdsrunder for å til enhver tid ha kontroll på de eksponerte punkter rundt aggregatene.

Det ønskes at aggregatene holdes ved jevn drift, og regelmessig vedlikehold som vil føre til mindre skade, uønskede hindringer og å unngå en full stopp, og rask start. Da dette som etterfølger vil gjøre at oljen når en høyere temperatur og større oljeavdampning (46). Aggregater er utstyrt med ulike tetninger og pakninger som slites ut, disse må byttes ut da de har mye å si på hvor mye oljeavdampning som slippes ut. Noen må også etterjusteres for optimal drift (15).

Ett ønskelig tiltak er at flere kraftverk bytter til fornybare miljøoljer, slik at bruken av fossilt brensel skrur ned og vannkraft er 100% fornybar energi. Ved en total ombygging vil det trenge en systematisk undersøkelse av oljer hvor miljøoljetyper undersøkes for oljer som har mest mulig like reologiske egenskaper og stabilitet som oljer brukt i dag.

Dette vil føre til at man kan være mer sikre på at aggregat ikke skades, eller satt ute av drift. En eventuell utvikling av turbiner med lager som er kompatible med miljøoljer kan også foretas for å oppnå glatt drift. Gir denne studien resultat hvor olje eller turbiner går som det skal, anbefales det å bytte oljer. I en slik systematisk evaluering er en eventuell statlig støtte som Enova ettertraktet, da utbytting ansees som kostbart.

Miljøoljen man har tatt for seg, Matrix Hydromax HT ECO, er imidlertid en mineraloljebasert miljøolje, som gjør den til et utmerket mellomtrinn, der den ikke vil være for ulik fra mineraloljene som allerede er i bruk, men likevel godt rensert og raffinert, og derfor mindre økotoksisk og biologisk nedbrytbar (50). Dette kan dermed være midlertidig valg for produsenter til å ta en grønnere utvei.

En form for oppsamling av oljeaerosol kan utgjøre en stor forskjell, hvor oljen da kan bli isolert og ikke kontaminere arbeidsluften. Dette kan gjøres ved ett avsug med filter, hvor oljen trekkes inn, kondenseres og lagret. Dette ble gjort ved Dale kraftverk for avstøving av karbonbørster ved bruk av en sterk støvsuger (15).

Redusere vedlikehold under drift eller straks etter drift av aggregat for å minske oljetåke i luften.

De fleste kraftverk er utstyrt med friluftsanlegg, som er en form for ventilasjon hvor deler av luften byttes ut (15). Det kan dermed være ønskelig å utbedre ventilasjonen for å utbedre luften og minske aerosoler.

Det ønskes å unngå personligbåret verneutstyr da det er lett å begå menneskelig feil. Om ikke større tiltak for oppsamling av oljetåke kan utføres kan det tas i bruk friluftsmasker være opphold i kortere perioder. Det vil dermed være viktig å gi alle ansatte god opplæring, ha strenge krav til informasjon om sikkerhetsprosedyrer, samt å ha gode holdninger ved å ta i bruk utdelt verneutstyr.

Grunnet begrenset tid for prosjektets varighet er det stort potensiale for videre arbeid. For eksempel HMS rundt transformatorolje holdes utenfor rammene av dette prosjektet i denne oppgaven, men burde sees nærmere på ved videre oppfølgingsarbeid. Da disse inneholder en betydelig mengde olje og deler ventilasjonssystem med friluftsanlegget. Ved studentenes prøvetaking i Trondheim ble det også tatt prøver for oljedamp (kull adsorbenter), ved et videre arbeid ønskes det analyse av disse.



## 6 Konklusjon

Bacheloroppgaven omhandler kartlegging av helse- og miljøutfordringer knyttet til bruk av olje i vannkraft samt forbedringsmuligheter for å overkomme disse utfordringene.

Det ble identifisert at en økt fare for oljeutslipp ved vannkraftverkene til Statkraft Energi AS er ved aggregat. Lagrene er et essensielt element i et aggregat og er nedsenket i smøreolje for å minimere friksjon mellom bevegelige deler. Oljesøl oppstår som oftest i lagre på grunn av svikt i tetninger. Pelton- og francisturbin, som brukes i vannkraftverk av Statkraft Energi AS, har minimal fare for oljeutslipp i vassdrag, da lager med smøreoljer ikke kommer i umiddelbar kontakt med vann som driver turbinbladene (1). Likevel finner forurensing av luft med oljetåke dessverre sted og utgjør fare for helsen til ansatte.

For å bestemme oljeeksponering til ansatte ble befaring av tre vannkraftverk, to av Statkraft Energi AS (Leirfossen og Bratsberg i Trondheim) og ett fra Eviny (Dale) utført. Målinger av luftprøver ble tatt for å identifisere kilden til luftforurensingen og kvantifisere konsentrasjon av oljetåke i luften. Alle prøvesvar for oljetåke-konsentrasjoner ble funnet til å ligge under grenseverdien og oljen ble identifisert som lite flyktig. Oljetåkeeksponeringen ble dermed vurdert til å medføre liten helserisiko. Det kan fortsatt være skadelig å eksponeres for oljen over lengre tid. Grenseverdiene må ikke oppfattes som tydelige grenser mellom ufarlige og farlige konsentrasjoner (71). Man skal alltid strebe etter å holde konsentrasjonen av forurensninger i arbeidsatmosfæren så lav som mulig. Spesielt i tilfeller når ansatte utfører fysisk arbeid, da øker luftinntaket betraktelig og dermed kan opptaket av oljetåke i kroppen øke. Det er dermed ønskelig å anta en vurdering av å sette ned grenseverdien for oljetåke. Det bør også fortsatt fokuseres på å ha oljeeksponeringen under kontroll, og å ha kontroll på lekkasjer og utslipp. Dette vil også bidra til å opprettholde miljøstandard og redusere negative effekter på natur og dyreliv i området rundt kraftverket. Dette kan innebære å installere bedre ventilasjonssystemer, bruke personlig verneutstyr eller å bytte til en annen type olje som ikke forårsaker helseproblemer. Det er viktig å prioritere helse og sikkerhet for ansatte på arbeidsplassen, og å ta de nødvendige tiltakene for å beskytte deres velvære.

I tillegg ble fordelene og ulempene med bruk av mineralolje og miljøolje som smøremidler i vannkraft sammenlignet i detalj. De fleste av vannkraftverk, inkludert vannkraftverk til Statkraft Energi AS, bruker mineraloljer som smøremidler. Ved å

erstatte potensielt skadelige mineraloljer med miljøoljer med høy ytelse, kan eiere av vannkraftressurser generere ren elektrisk kraft og støtte helse- og miljømessig bærekraft. Likevel viser det seg at ikke alle miljøoljer er like bærekraftige og har like høy ytelse. Miljøoljer basert på syntetisk eller høyraffinerte mineralske basisoljer, som allerede ble implementert i noen vannkraftverk, er fremstilt fra ikke fornybare råstoffer (de fleste fra råolje) (90). Bærekraftige miljøoljer med basisoljer og additiver av naturlig opprinnelse viser fortsatt ikke tilfredsstillende ytelsesegenskaper sammenlignet med mineraloljer (91). Dermed skal videre forskning og utvikling av bærekraftige miljømessig akseptable smøremidler med biobaserte basisoljer og sikrere tilsetningsstoffer utføres for å oppnå lignende ytelsesegenskaper (spesielt lavtemperaturregnskaper og oksidativ stabilitet) som petroleumbasert mineralolje brukt i vannkraft (92,93). Flere prosjekter som viser gjennomførbarheten av å bruke miljøoljer i vannkraftanlegg bør utføres. Gjennomføring av slike prosjektene er kostbart og bør derfor støttes av myndighetene (94).

Miljøoljen Matrix Hydromax HT ECO, som ble undersøkt i dette bachelorprosjektet, er basert på en høyraffinert mineralolje. Oljen er biologisk nedbrytbar og mindre økotoksisk enn tradisjonelle mineraloljer og viser lignende ytelsesegenskaper som mineraloljer (e.g. Teresstic T68 som er brukt ved vannkraftverk av Statkraft Energi AS). Derfor har miljøoljen Matrix Hydromax HT ECO et potensiale til å erstatte tradisjonelle mineraloljer i vannkraftverk og tjene som et mer bærekraftig mellomledd på veien til å gå over til biobaserte miljøoljer.

Samtidig skal nye lagertyper og oljefrie turbiner (f.eks. selvsmørende eller vannsmurte turbiner) utvikles, som kan forbedre bærekraften til vannkraftsektoren, og minimere risikoen og påvirkningene forbundet med tilfeldige oljesøl og lekkasjer.

## 7 Referanse:

1. Quaranta E. Lubricant Oil Consumption and Opportunities for Oil-Free Turbines in the Hydropower Sector: A European Assessment. *Energies* [Internett]. januar 2023 [sitert 21. mai 2023];16(2):834. Tilgjengelig på: <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/2/834>
2. Ren energi til alle [Internett]. 2023 [sitert 10. mars 2023]. Tilgjengelig på: <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal/ren-energi-til-alle>
3. vindkraft-aug-2010-no\_tcm10-11471.pdf [Internett]. [sitert 21. mai 2023]. Tilgjengelig på: [https://www.statkraft.no/globalassets/old-contains-the-old-folder-structure/documents/no/vindkraft-aug-2010-no\\_tcm10-11471.pdf](https://www.statkraft.no/globalassets/old-contains-the-old-folder-structure/documents/no/vindkraft-aug-2010-no_tcm10-11471.pdf)
4. NORWAY2022.pdf [Internett]. [sitert 10. mars 2023]. Tilgjengelig på: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/de28c6a6-8240-41d9-9082-a5dd65d9f3eb/NORWAY2022.pdf>
5. Nowak P, Kucharska K, Kamiński M. Ecological and Health Effects of Lubricant Oils Emitted into the Environment. *Int J Environ Res Public Health* [Internett]. januar 2019 [sitert 23. januar 2023];16(16):3002. Tilgjengelig på: <https://www.mdpi.com/1660-4601/16/16/3002>
6. Strategi: Kraft til en grønn fremtid | Statkraft [Internett]. [sitert 23. mars 2023]. Tilgjengelig på: <https://www.statkraft.com/om-statkraft/strategi/>
7. Vannkraft | Statkraft [Internett]. [sitert 7. februar 2023]. Tilgjengelig på: <https://www.statkraft.com/var-virksomhet/vannkraft/>
8. Pedersen B. hydrofob. I: Store norske leksikon [Internett]. 2023 [sitert 20. mai 2023]. Tilgjengelig på: <https://snl.no/hydrofob>
9. Lipid | Definition, Structure, Examples, Functions, Types, & Facts | Britannica [Internett]. 2023 [sitert 20. mai 2023]. Tilgjengelig på: <https://www.britannica.com/science/lipid>
10. olje. I: Store norske leksikon [Internett]. 2023 [sitert 20. mai 2023]. Tilgjengelig på: <https://snl.no/olje>
11. Tollan A. vannets kretsløp i naturen. I: Store norske leksikon [Internett]. 2023 [sitert 20. mai 2023]. Tilgjengelig på: [https://snl.no/vannets\\_kretsl%C3%B8p\\_i\\_naturen](https://snl.no/vannets_kretsl%C3%B8p_i_naturen)
12. Rosvold KA, Halleraker JH. vannkraftverk. I: Store norske leksikon [Internett]. 2023 [sitert 15. februar 2023]. Tilgjengelig på: <http://snl.no/vannkraftverk>
13. Heggstad R, Lundby L, Rosvold KA. vannkraftmaskin. I: Store norske leksikon [Internett]. 2023 [sitert 15. februar 2023]. Tilgjengelig på: <http://snl.no/vannkraftmaskin>
14. Saugstad K. transformator. I: Store norske leksikon [Internett]. 2023 [sitert 15. februar 2023]. Tilgjengelig på: <http://snl.no/transformator>
15. Ove Korsrud R. Eviny oljedamproblematikk. 2023 feb 8; Dale Kraftverk.
16. Kontani Y, Kobayashi T, Tamura Y, Buhr T, Thompson PM. Gas insulated transformer application for an environmentally-friendly power station upgrade. *PES TD 2012* [Internett]. 2012 [sitert 9. mai 2023];1–4. Tilgjengelig på: [https://journals.scholarsportal.info/details/21608555/v2012inone/1\\_gitafaepsu.xml](https://journals.scholarsportal.info/details/21608555/v2012inone/1_gitafaepsu.xml)
17. Foss GA. Faglig diskusjon. 2023.
18. Ove Korsrud R. oljedamproblematikk og systemer for lagertetning Linnebo ABB AS. 2023 feb 8; Dale Kraftverk.
19. González-Reyes GA, Bayo-Besteiro S, Vich Llobet J, Añel JA. Environmental and Economic Constraints on the Use of Lubricant Oils for Wind and Hydropower Generation: The Case of NATURGY. *Sustainability* [Internett]. januar 2020 [sitert 17. februar 2023];12(10):4242. Tilgjengelig på: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/10/4242>
20. Lundberg NH. smøreolje. I: Store norske leksikon [Internett]. 2023 [sitert 20. mai 2023]. Tilgjengelig på: <https://snl.no/sm%C3%B8reolje>
21. Lundberg NH. oljeraffinering. I: Store norske leksikon [Internett]. 2023 [sitert 16. mai 2023]. Tilgjengelig på: <https://snl.no/oljeraffinering>

22. AlterEvo Ltd: Formulation of Lubricants: Base Oils [Internett]. AlterEvo Ltd. 2016 [sitert 20. mai 2023]. Tilgjengelig på:  
<http://alterevoingenieros.blogspot.com/2016/03/formulation-of-lubricants-base-oils.html>
23. Beran E. Wpływ budowy chemicznej bazowych olejów smarowych na ich biodegradowalność i wybrane właściwości eksploatacyjne. Pr Nauk Wydz Chem Politech Wroc Monogr [Internett]. 2008 [sitert 20. mai 2023];(Nr 5, nr 5):178 s. Tilgjengelig på:  
<https://www.infona.pl/resource/bwmeta1.element.baztech-article-BPW8-0012-0010>
24. Hsu CS, Robinson PR, redaktører. Practical Advances in Petroleum Processing [Internett]. New York, NY: Springer; 2006 [sitert 20. mai 2023]. Tilgjengelig på:  
<http://link.springer.com/10.1007/978-0-387-25789-1>
25. Totten GE, Shah RJ, Forester DR. Fuels and Lubricants Handbook: Technology, Properties, Performance, and Testing, 2nd Edition [Internett]. 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959: ASTM International; 2019 [sitert 20. mai 2023]. Tilgjengelig på: <https://www.astm.org/doiLink.cgi?MNL37-2ND-EB>
26. Shahabuddin M, Masjuki HH, Kalam MA, Bhuiya MMK, Mehat H. Comparative tribological investigation of bio-lubricant formulated from a non-edible oil source (Jatropha oil). Ind Crops Prod [Internett]. 1. mai 2013 [sitert 20. mai 2023];47:323–30. Tilgjengelig på: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669013001544>
27. Cain, R.B. Biodegradation of lubricants. I Amsterdam: Elsevier Science Publisher; 1991. s. 249–75.
28. Beran E. Biodegradowalność jako nowe kryterium w ocenie jakości olejów smarowych. Przem Chem [Internett]. 2005 [sitert 20. mai 2023];(T. 84, nr 5):320–8. Tilgjengelig på: <https://www.infona.pl/resource/bwmeta1.element.baztech-article-AGH4-0001-0055>
29. Hłowska J, Chrobak J, Grabowski R, Szmatoła M, Woch J, Szwach I, mfl. Designing Lubricating Properties of Vegetable Base Oils. Molecules [Internett]. august 2018 [sitert 20. mai 2023];23(8):2025. Tilgjengelig på: <https://www.mdpi.com/1420-3049/23/8/2025>
30. Singh Y. Tribological behavior as lubricant additive and physiochemical characterization of Jatropha oil blends. Friction [Internett]. 1. desember 2015 [sitert 20. mai 2023];3(4):320–32. Tilgjengelig på: <https://doi.org/10.1007/s40544-015-0095-1>
31. Dirt Doctor - Library Topics [Internett]. [sitert 20. mai 2023]. Tilgjengelig på: [https://www.dirtdoctor.com/garden/Vegetable-Oil-for-Lubricating-Chain-Saws\\_vq3131.htm](https://www.dirtdoctor.com/garden/Vegetable-Oil-for-Lubricating-Chain-Saws_vq3131.htm)
32. Özgülsün A, Karaosmanoğlu F. Environmentally friendly lubricating oil candidate. Appl Biochem Biotechnol [Internett]. 1. mars 1999 [sitert 20. mai 2023];77(1):83–9. Tilgjengelig på: <https://doi.org/10.1385/ABAB:77:1-3:83>
33. Øvrebø S, Kirkeleit J, Kristensen P, Thorud S. Vurdering av helseeffekter ved eksponering for hydraulikkoljer/ -væsker og turbinoljer.
34. Glycol In Lubricating Oil - Detection, Analysis and Removal [Internett]. [sitert 20. mai 2023]. Tilgjengelig på: <https://www.machinerylubrication.com/Read/193/oil-glycol>
35. Om Miljømerking Norge [Internett]. Svanemerket. [sitert 4. mai 2023]. Tilgjengelig på: <https://svanemerket.no/om-miljomerking-norge/>
36. 32018d1702.pdf [Internett]. [sitert 20. mai 2023]. Tilgjengelig på: <https://lovdata.no/static/NLX3/32018d1702.pdf>
37. Hva er EU Ecolabel? [Internett]. Svanemerket. [sitert 20. mai 2023]. Tilgjengelig på: <https://svanemerket.no/eu-ecolabel/>
38. Miljømerking [Internett]. [sitert 4. mai 2023]. Tilgjengelig på: <https://www.altinn.no:443/starte-og-drive/starte/rettighetsbeskyttelse/miljomerking/>
39. Enzenhofer K. Statkraft Hydro Power Plants – Oil Spills and Valuable Areas.
40. Åstrand S. Miljøeffekter av turbinoljeläckage från vattenkraftverk till älvar.
41. Baker JM. The effects of oils on plants. Environ Pollut 1970 [Internett]. 1. juli 1970

- [sitert 15. mai 2023];1(1):27–44. Tilgjengelig på:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013932770900042>
42. forråtnelse – Store medisinske leksikon [Internett]. [sitert 15. mai 2023]. Tilgjengelig på: <https://sml.snl.no/forr%C3%A5tnelse>
43. Varjani SJ. Microbial degradation of petroleum hydrocarbons. *Bioresour Technol* [Internett]. 1. januar 2017 [sitert 15. mai 2023];223:277–86. Tilgjengelig på: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852416314432>
44. Synthetic Esters: Engineered to Perform [Internett]. [sitert 16. mai 2023]. Tilgjengelig på: <https://www.machinerylubrication.com/Read/29703/synthetic-esters-perform>
45. Susanne Jøntvedt Jørgensen, Dina Riis Kallman. Smøre- og Isoleroljer. 2019.
46. Kirkevold S. Kartlegging av støyforhold og oljedamp/-tåke i 4 kraftverk i Nidelvvassdraget. 2021 okt.
47. Kontakt med råolje gir økt risiko for hudkreft [Internett]. [sitert 3. mai 2023]. Tilgjengelig på: <https://www.kreftregisteret.no/Generelt/Nyheter/hudkreft-og-benzen/>
48. Sikkerhetsdatablad [Internett]. [sitert 20. mai 2023]. Tilgjengelig på: <https://www.arbeidstilsynet.no/tema/kjemikalier/stoffkartotek/sikkerhetsdatablad/>
49. KJE7 Bacheloroppgåve våren 2023 - Rapport sommerjobb 2019 Oljer i Statkraft.pdf - Alle dokumenter [Internett]. [sitert 15. mars 2023]. Tilgjengelig på: <https://hvl1365.sharepoint.com/sites/KJE7Bacheloroppgvevren20232/Delte%20dokumenter/Fo rms/AllItems.aspx?id=%2Fsites%2FKJE7Bacheloroppgvevren20232%2FDelte%20dokument er%2FGeneral%2FLitteratur%2FRapport%20sommerjobb%202019%20Oljer%20i%20Statkr aft%2Epdf&viewid=11bc968d%2D0f6d%2D48c3%2D8621%2D541d37a701f5&parent=%2 Fsites%2FKJE7Bacheloroppgvevren20232%2FDelte%20dokumenter%2FGeneral%2FLittera tur&fbclid=IwAR0fFdmwyyFQBBJemygvfleeYsq57%2Dk87Mw3u02E42LKAXF%5FKlcc 1uFGGbY>
50. Mobil Teresstic T 68 [Internett]. Bunker Oil. [sitert 21. februar 2023]. Tilgjengelig på: <https://www.bunkeroil.no/no/produktkatalog/mobil-teresstic-t68>
51. 603155.pdf [Internett]. [sitert 15. mai 2023]. Tilgjengelig på: <https://ordre.bunkeroil.no/datablad/603155.pdf>
52. MSL\_Brochure\_EAL20p\_NO\_V1.2\_LR.pdf [Internett]. [sitert 19. mai 2023]. Tilgjengelig på: [https://www.matrix-lubricants.com/wp-content/uploads/2023/05/MSL\\_Brochure\\_EAL20p\\_NO\\_V1.2\\_LR.pdf](https://www.matrix-lubricants.com/wp-content/uploads/2023/05/MSL_Brochure_EAL20p_NO_V1.2_LR.pdf)
53. Matrix Industrial Lubricants [Internett]. [sitert 21. februar 2023]. Tilgjengelig på: <https://www.matrix-lubricants.com/en/products/industrial-lubricants/571d1fe5526f54f31d8b456d/product/5719400e526f54ca668b456a>
54. pdf.pdf [Internett]. [sitert 16. mai 2023]. Tilgjengelig på: [https://app.ecoonline.com/api/document/v1/sds/14843637/pdf?accesskey=Xkic7hTq7PU2h\\_Am83Tuqd64T1A/qz9HgpEahyqtTLipsYlxaNFkVfEoHa884LfgU&applicationID=7&int\\_status=0](https://app.ecoonline.com/api/document/v1/sds/14843637/pdf?accesskey=Xkic7hTq7PU2h_Am83Tuqd64T1A/qz9HgpEahyqtTLipsYlxaNFkVfEoHa884LfgU&applicationID=7&int_status=0)
55. Lubricant Additives - A Practical Guide [Internett]. [sitert 21. mai 2023]. Tilgjengelig på: <https://www.machinerylubrication.com/Read/31107/oil-lubricant-additives>
56. Services D of H& H. Workplace safety - hazardous substances [Internett]. Department of Health & Human Services; [sitert 21. mai 2023]. Tilgjengelig på: <http://www.betterhealth.vic.gov.au/health/healthyliving/workplace-safety-hazardous-substances>
57. Organofosfater - Institutt for biovitenskap [Internett]. [sitert 16. mai 2023]. Tilgjengelig på: <https://www.mn.uio.no/ibv/tjenester/kunnskap/plantefys/leksikon/o/organofosfater.html>
58. PubChem. Tricresyl phosphate [Internett]. [sitert 8. mars 2023]. Tilgjengelig på: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/6529>

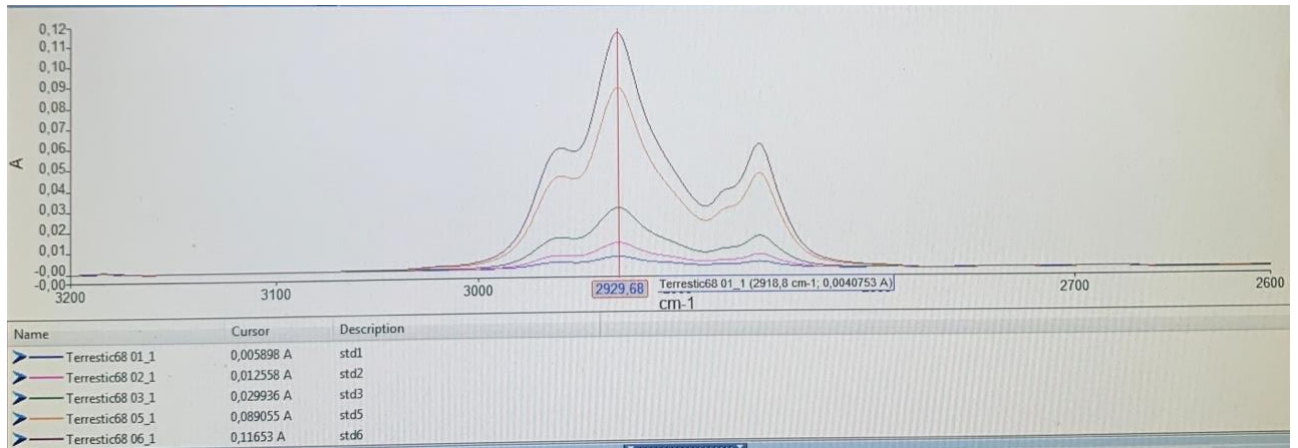
59. polysykliske aromatiske hydrokarboner. I: Store norske leksikon [Internett]. 2023 [sitert 10. mars 2023]. Tilgjengelig på: [https://snl.no/polysykliske\\_aromatiske\\_hydrokarboner](https://snl.no/polysykliske_aromatiske_hydrokarboner)
60. Er frostvæske giftig? Giftinformasjonen [Internett]. 2018 [sitert 19. mai 2023]. Tilgjengelig på: <https://www.helsenorge.no/giftinformasjon/husholdningskjemikalier/etylenglykol/>
61. Etylenglykol - behandlingsanbefaling ved forgiftning [Internett]. Helsebiblioteket. [sitert 19. mai 2023]. Tilgjengelig på: <https://www.helsebiblioteket.no/forgiftninger/gasser-og-kjemikalier/etylenglykol-behandlingsanbefaling-ved-forgiftning>
62. glykol. I: Store norske leksikon [Internett]. 2023 [sitert 19. mai 2023]. Tilgjengelig på: <https://snl.no/glykol>
63. frame.pdf [Internett]. [sitert 19. mai 2023]. Tilgjengelig på: <https://www.hmsassist.com/master/content/frame.asp?init=D&site=datasheets&event=1&lang=N&name=GLYKOL+FROSTV%C6SKE>
64. Publisert. Kjemikalier og mulige helseeffekter [Internett]. Folkehelseinstituttet. 2019 [sitert 19. mai 2023]. Tilgjengelig på: <https://www.fhi.no/nettpub/kjemikalier/kjemikalier-og-mulige-helseeffekter/kjemikalier-og-mulige-helseeffekter2/>
65. Eksplosjonsfarer - PASSENDE BRANNSLUKNINGSMIDDEL.pdf [Internett]. [sitert 19. mai 2023]. Tilgjengelig på: <https://www.returgass.no/Hovedmeny/Kuldemedier%20og%20HMS/HMS/~media/Files/HMS%20datablader/Etylenglykol.ashx>
66. provetaking--og-analysemetoder-stami.pdf [Internett]. [sitert 19. mai 2023]. Tilgjengelig på: <https://offshorenorge.no/globalassets/dokumenter/drift/arbeidsmiljo/kjemisk-arbeidsmiljo/fagtema/prosjektrapporter/provetaking--og-analysemetoder-stami.pdf>
67. Metoder for måling av forurensninger i arbeidsatmosfæren [Internett]. [sitert 16. mars 2023]. Tilgjengelig på: <https://www.arbeidstilsynet.no/tema/kjemikalier/metoder-for-maling-av-forurensninger-i-arbeidsatmosfaren/>
68. aerosoler-compatibility-mode-.pdf [Internett]. [sitert 16. mai 2023]. Tilgjengelig på: <https://w2.uib.no/filearchive/aerosoler-compatibility-mode-.pdf>
69. Skaugset et al. - Eksponeringskartlegging ved norske aluminiumverk.pdf [Internett]. [sitert 20. mai 2023]. Tilgjengelig på: [https://stami.brage.unit.no/stami-xmlui/bitstream/handle/11250/288574/stamirapporter\\_94.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://stami.brage.unit.no/stami-xmlui/bitstream/handle/11250/288574/stamirapporter_94.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
70. STAMI-rapport-nr-3-2013.pdf [Internett]. [sitert 20. mai 2023]. Tilgjengelig på: <https://stami.no/content/uploads/2015/03/STAMI-rapport-nr-3-2013.pdf>
71. forskrift-om-tiltaks--og-grenseverdier.pdf [Internett]. [sitert 15. mars 2023]. Tilgjengelig på: <https://www.arbeidstilsynet.no/globalassets/regelverkspdf/forskrift-om-tiltaks--og-grenseverdier>
72. Oljetåke-og-oljedamp.pdf [Internett]. [sitert 21. februar 2023]. Tilgjengelig på: <https://stami.no/content/uploads/2020/11/Oljet%C3%A5ke-og-oljedamp.pdf>
73. Harris DC, Harris DC. Quantitative chemical analysis. Tenth edition. New York, NY: Macmillan International Higher Education; 2020.
74. 5026.pdf [Internett]. [sitert 19. mai 2023]. Tilgjengelig på: <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2003-154/pdfs/5026.pdf>
75. Ashenhurst J. Infrared Spectroscopy: A Quick Primer On Interpreting Spectra [Internett]. Master Organic Chemistry. 2016 [sitert 16. mai 2023]. Tilgjengelig på: [https://www.masterorganicchemistry.com/2016/11/23/quick\\_analysis\\_of\\_ir\\_spectra/](https://www.masterorganicchemistry.com/2016/11/23/quick_analysis_of_ir_spectra/)
76. Chen HJ, Lee PY, Chen CY, Huang SL, Huang BW, Dai FJ, mfl. Moisture retention of glycerin solutions with various concentrations: a comparative study. Sci Rep [Internett]. 17. juni 2022 [sitert 9. mai 2023];12(1):10232. Tilgjengelig på: <https://www.nature.com/articles/s41598-022-13452-2>
77. US EPA O. Technical Overview of Volatile Organic Compounds [Internett]. 2014

- [sitert 14. mai 2023]. Tilgjengelig på: <https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/technical-overview-volatile-organic-compounds>
78. 603155.pdf [Internett]. [sitert 15. mars 2023]. Tilgjengelig på: <https://ordre.bunkeroil.no/datablad/603155.pdf>
79. Leirfossene vannkraftverk [Internett]. [sitert 18. mai 2023]. Tilgjengelig på: <https://www.statkraft.com/om-statkraft/hvor-vi-har-virksomhet/norge/leirfossene-vannkraftverk/>
80. msds.pdf [Internett]. [sitert 20. mai 2023]. Tilgjengelig på: <https://www.fishersci.com/store/msds?partNumber=T1781&productDescription=1+1+2-TRICHLORO-1+2+2-TRIFLUOR&vendorId=VN00033897&countryCode=US&language=en>
81. karbontetraklorid. I: Store norske leksikon [Internett]. 2023 [sitert 19. mai 2023]. Tilgjengelig på: <https://snl.no/karbontetraklorid>
82. klorfluorkarboner. I: Store norske leksikon [Internett]. 2023 [sitert 19. mai 2023]. Tilgjengelig på: <https://snl.no/klorfluorkarboner>
83. Langeland T, Holck P. huden. I: Store medisinske leksikon [Internett]. 2023 [sitert 20. mai 2023]. Tilgjengelig på: <https://sml.snl.no/huden>
84. Solbu KF. Organofosfater i arbeidsatmosfæren på norske offshoreinstallasjoner - Dagens eksponeringsbilde.
85. Hydromax HT ECO, biodegradability & eco toxicity. Matrix speciality lubricants; 2023.
86. Hofstad K, Rosvold KA. fossilt brensel. I: Store norske leksikon [Internett]. 2023 [sitert 20. mai 2023]. Tilgjengelig på: [https://snl.no/fossilt\\_brensel](https://snl.no/fossilt_brensel)
87. Biodegradable Oils - How to Apply and Maintain [Internett]. [sitert 21. mai 2023]. Tilgjengelig på: <https://www.machinerylubrication.com/Read/511/biodegradable-oils>
88. Granholm og Chester - 2007 - MICHIGAN DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL QUALITY.pdf [Internett]. [sitert 21. mai 2023]. Tilgjengelig på: <https://www.michigan.gov/-/media/Project/Websites/egle/Documents/Programs/draft/deq-ess-p2tas-generatormotoroil.pdf?rev=9800687eaf4349fa983ff872c4953634>
89. Kjell-Tore Fjærvold. Faglig diskusjon. 2023.
90. Using Biodegradable Lubricants [Internett]. [sitert 22. mai 2023]. Tilgjengelig på: <https://www.hydroreview.com/world-regions/using-biodegradable-lubricants/#gref>
91. Environmentally acceptable lubricants show reduced capabilities under certain conditions [Internett]. DNV. 2019 [sitert 22. mai 2023]. Tilgjengelig på: <https://www.dnv.com/news/environmentally-acceptable-lubricants-show-reduced-capabilities-under-certain-conditions-158982>
92. Coleman L. Environmentally Acceptable Lubricants: Advancing to Commercialization [Internett]. National Hydropower Association. 2022 [sitert 22. mai 2023]. Tilgjengelig på: <https://www.hydro.org/powerhouse/article/environmentally-acceptable-lubricants-advancing-to-commercialization/>
93. Cholli A. Development of Environmentally Acceptable Lubricants for hydropower Applications [Internett]. Polnox Coroporation; 2022 jan [sitert 22. mai 2023]. Report No.: Final Report-DOE-SBIR Phase II. Tilgjengelig på: <https://www.osti.gov/biblio/1867023>
94. Anyadike N. Biodegradable lubricants taking centre stage [Internett]. Offshore Technology. 2023 [sitert 22. mai 2023]. Tilgjengelig på: <https://www.offshore-technology.com/features/biodegradable-lubricants-offshore/>

## 8 Appendiks

### 8.1 Vedlegg - Terestic T68

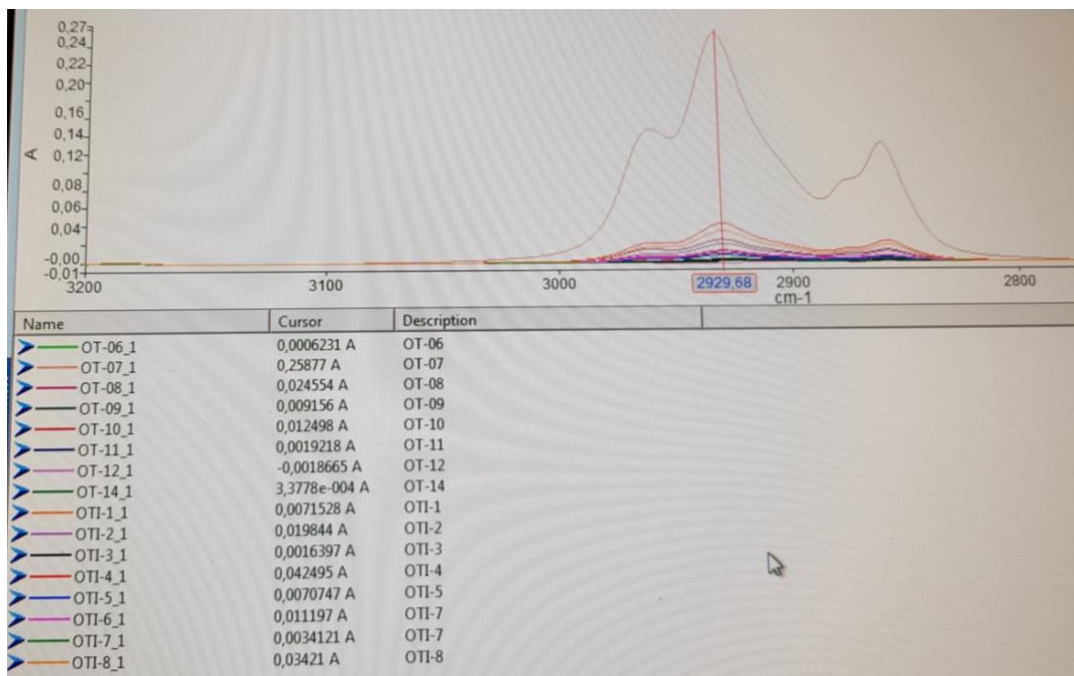
Figur 15 viser spekter for standard av oljen Terestic T68.



Figur 15: FT-IR-spekter for standard av Terestic T68.

### 8.2 Vedlegg - Prøve analyser

Figur 16 viser spekter av analyserte oljefilterprøver for konsentrasjon av oljetåke.



Figur 16: FT-IR-spekter av analyserte oljefilterprøver for konsentrasjon av oljetåke.



### 8.3 Vedlegg – Flyktighet

Tabell 16 viser rådata for beregning av flyktighet av oljen Teresstic T68.

Tabell 16: Rådata for beregning av flyktighet.

Prøve	Innveid prøve (g)	Flow før (L/min)	Flow etter (L/min)	Adsorbans
Prøve 01	0,01314	passiv	passiv	0,07498
Prøve 02	0,01089	1,44	1,43	0,064508
Prøve 03	Målekolbe knuste	-	-	-
Prøve 04	0,01152	1,42	1,37	0,06566
Prøve 05	0,01128	passiv	passiv	0,069329
Prøve 06	0,01134	1,43	1,43	0,064039

## 8.4 Vedlegg – Tid

Tabell 17 viser rådata for tid og dato for prøvetaking av oljefilterprøver.

Tabell 17: Rådata for tid og dato for prøvetaking.

Prøve ID	Dato	Start kl.	Stopp kl.	Antall timer og minutter	Antall minutter
OT-01	13.03.2023	08:43	14:18	05:35	335
OT-13	13.03.2023	08:43	15:45	07:02	422
OTI-1	13.03.2023	08:44	15:45	07:01	421
OT-02	13.03.2023	08:52	15:45	06:53	413
OTI-2	13.03.2023	09:02	15:41	06:39	399
OT-03	13.03.2023	09:02	15:41	06:39	399
OTI-4	13.03.2023	09:40	16:20	06:40	400
OT-05	13.03.2023	09:40	12:36	02:56	176
OTI-3	13.03.2023	09:30	16:20	06:50	410
OT-04	13.03.2023	09:27	16:20	06:53	413
Student-1	13.03.2023	09:37	16:20	06:43	403
OTI-5	14.03.2023	07:52	14:53	07:01	421
OT-07	14.03.2023	07:50	14:53	07:03	423
OTI-6	14.03.2023	08:00	14:45	06:45	405
OT-08	14.03.2023	08:00	14:45	06:45	405
OTI-8	14.03.2023	08:55	15:25	06:30	390
OT-10	14.03.2023	08:55	11:51	02:56	176
Student-2	14.03.2023	08:55	15:25	06:30	390
OTI-7	14.03.2023	08:30	15:25	06:55	415
OT-09	14.03.2023	08:40	15:25	06:45	405
OT-14	14.03.2023	08:35	15:25	06:50	410
OT-06	14.03.2023	09:00	15:30	06:30	390

## 8.5 Vedlegg – Absorbents og luftstrøm

Tabell 18 viser rådata for luftgjennomstrømning, adsorbents og merknad for oljefilter prøver.

Tabell 18: Rådata for luftgjennomstrømning, absorbents og merknad.

Prøve ID	Luftgjennomstrømningshastighet (liter/min) Start	Luftgjennomstrømningshastighet (liter/min) Stopp	Absorbans	Merknad
OT-01	1,44		0,0044739	Turbinhall Bratsberg, Generator 2, Stoppet etter 335 min
OT-13	2,03	2,04	0,0078304	Turbinhall Bratsberg, Generator 2
OTI-1	3,52	3,59	0,0071528	Turbinhall Bratsberg, Generator 2
OT-02	1,46	1,41	0,0043404	Turbinhall Bratsberg, Generator 1
OTI-2	3,52	3,56	0,019844	Aksling Bratsberg
OT-03	1,42	1,41	0,010785	Aksling Bratsberg
OTI-4	3,52	3,43	0,042495	Aksling Leirfossene
OT-05	1,46		0,0095924	Aksling Leirfossene, Stoppet etter 176 minutter
OTI-3	3,52	3,40	0,0016397	Turbinhall Leirfossene
OT-04	1,46	1,33	0,0018849	Turbinhall Leirfossene
Student-1	1,46	1,39	0,0030264	Turbinhall Leirfossene
OTI-5	3,56	3,67	0,0070747	Turbinhall Bratsberg, Generator 2
OT-07	1,41	1,56	0,25877	Turbinhall Bratsberg, Generator 2
OTI-6	3,51	3,46	0,011197	Aksling Bratsberg
OT-08	1,41	1,41	0,024554	Aksling Bratsberg
OTI-8	3,52	3,51	0,03421	Aksling Leirfossene
OT-10	1,41		0,012498	Aksling Leirfossene, Stoppet etter 176 minutter
Student-2	1,41	1,3	0,0063009	Generatorrom/luftekanal
OTI-7	3,52	3,24	0,0034121	Turbinhall Leirfossene
OT-09	1,39	1,24	0,009156	Turbinhall Leirfossene
OT-14	2,02	2,00	0,00033778	Turbinhall Leirfossene
OT-06	1,41	1,33	0,0006231	Generatorrom, Kun OT

## 8.6 Vedlegg – Rådata for observasjon av olje

Tabell 19 viser rådata for observasjon av olje.

Tabell 19: Rådata for observasjon av olje.

Prøve	Dag 1, masse målebeger (g)	Dag 6, masse målebeger (g)	Dag 9, masse målebeger (g)	Vekt av målebeger (g)
1.1 Teresstic	1809,55	956,85	553,69	373,47
1.1 Hydromax	1778,61	1669,5	1324,5	341,6
1.2 Teresstic	1811,37	938,04	532,8	373,47
1.2 Hydromax	1782,8	1641,3	1235,3	341,6
1.3 Teresstic	1806,46	969,36	556,17	373,47
1.3 Hydromax	1773,38	1692,43	1339,8	341,6
1.4 Teresstic	1807,49	998,89	577,37	373,47
1.4 Hydromax	1769,59	1631,36	1264,9	341,6
1.5 Teresstic	1813,55	986,25	571,94	373,47
1.5 Hydromax	1774,1	1723,61	1323,2	341,6
2.1 Teresstic	1026,21	600,89	251,27	249,39
2.1 Hydromax	1029,29	957,49	910,75	250,99
2.2 Teresstic	1040,06	598,15	251,47	249,39
2.2 Hydromax	1010,79	940,86	896,88	250,99
2.3 Teresstic	1016,19	652,54	252,95	249,39
2.3 Hydromax	1040,44	929,89	868,39	250,99
2.4 Teresstic	1039,4	627,94	250,51	249,39
2.4 Hydromax	1019,49	893,32	855,86	250,99
2.5 Teresstic	1039,29	507,38	251,37	249,39
2.5 Hydromax	1038,87	950,96	876,69	250,99

## 8.7 Vedlegg – Tidligere målinger

Tabell 20 viser data fra tidligere målinger tatt av Avonova (46).

Tabell 20: Data av tidligere målinger.

Sted	Dato	plassering	Måletid (tt:mm)	Oljetåke (ug/m <sup>3</sup> )
Bratsberg	17.jun	Generatortopp	07:20	<30
Bratsberg	18.jun	Generatortopp	07:15	<30
Bratsberg	17.jun	Ledeapparat	07:10	<30
Bratsberg	18.jun	Ledeapparat	07:15	<30
Svean	24.jun	Turbinlager	05:10	<40
Svean	24.jun	Sleperinger	04:36	<40
Svean	25.jun	Turbinlager	07:06	<30
Svean	25.jun	Sleperinger	07:05	<30
Fjæremsfossen	05.jul	Generatortopp	06:34	<25
Fjæremsfossen	06.jul	Generatortopp	07:14	<23
Fjæremsfossen	05.jul	Turbinlager	06:34	<25
Fjæremsfossen	06.jul	Turbinlager	07:17	<23
Leirfossane	08.jul	Generatortopp	07:22	36
Leirfossane	09.jul	Generatortopp	07:15	120
Leirfossane	08.jul	Turbinlager	07:22	57
Leirfossane	09.jul	Turbinlager	07:15	60