



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

 Knutsen OAS  
Shipping

## *Måling av VOC dannelse fra råoljer ved forskjellige betingelser*



Bacheloroppgave utført ved  
Høgskolen Stord/Haugesund – Studie for ingeniørfag

---

Maskin, Prosess- og energiteknikk

Av:  
Roger Torkelsen  
Øystein Rødland Askeland

Kand.nr.:  
30  
22

# HOVEDPROSJEKT

**Studenten(e)s navn:** Roger Torkelsen og Øystein Askeland

<b>Linje &amp; studieretning</b>	Maskiningeniør/Prosess og energiteknologi
----------------------------------	---

**Oppgavens tittel:** *Måling av VOC dannelse fra råolje ved forskjellige betingelser*

**Oppgavetekst:**

Utslipp av flyktige organiske komponenter (VOC) er noe man ønsker å redusere mest mulig både av miljømessige og økonomiske årsaker. Det er flere mekanismer som fører til VOC utslipp ifm transport av råolje med skip. Denne oppgaven skal fokusere på avdamping fra oljen.

Hovedfokus vil være på laboratoriearbeid og det skal gjøres en rekke forsøk for å studere faktorer som påvirker avdamping.

**Endelig oppgave gitt:** 07.03-2014

**Innleveringsfrist:** Fredag 9.mai 2014 kl. 12.00

**Intern veileder:** Gunnar Thuestad

**Ekstern veileder:** Bjørn Joakim Ramsen

**Adresse ekstern veileder:**

**Godkjent av  
studieansvarlig:**

**Dato:**

*Brit Fullebø*  
23/4 -14

## Forord

Denne oppgaven er skrevet siste semester på maskiningeniør ved Høgskolen Stord/Haugesund i samarbeid med Knutsen OAS Shipping AS.

Rapporten krever noe kjennskap til laboratorieutstyr, samt noe kjennskap til fysikk.

Bjørn Joakim Ramsen hadde høsten 2013 en presentasjon av denne oppgaven ved HSH. Vi ble umiddelbart enige om at det er denne oppgaven vi ønsker å arbeide med. Å kunne bidra til klimabedring, samt økonomisk gevinst for offshorebransjen er vanskelig å takke nei til. Oppgaveteksten er blitt endret underveis, etter hvert som vi fikk mer innsikt i fagfeltet. Oppgaven er basert på å få teoretisk innsikt i området, for så å bruke dette praktisk i laboratoriearbeid. Testingen av råolje foregikk i biologi-laboratoriet ved Høgskolen Stord/Haugesund.

En stor takk rettes til vår hjelpelige interne veileder Gunnar Thuestad som til en hver tid har vært tilgjengelig og hjelpsom i laboratoriesammenheng. Han har vært den type veileder vi trengte for å kunne utføre gode tester. Ettersom vi har lite laboratoriearbeid i studieløpet vårt var det optimalt å ha en person med laboratorieerfaring som veileder. Vi vil også takke vår eksterne veileder Bjørn Joakim Ramsen som har gitt oss den faglige innsikten i området vi har arbeidet med, samt tilgang på råolje. Han har også tatt oss med om bord i en bøyelaster som har gitt oss gode muligheter for å koble teori opp mot praksis. Våre veiledere har under hele semesteret vært engasjerte og stilt opp på hyppige møter, vi setter pris på en så god oppfølging. En stor takk går til slutt til Knutsen OAS Shipping AS som velger å disponere en av sine ansatte til vårt formål selv i travle stunder, samt økonomisk støtte til vårt prosjekt.

Vi vil også takke Jostein Torkelsen og Harald Askeland for hjelp med utarbeiding av rapporten.

-----  
Roger Torkelsen

Haugesund 09. mai 2014

-----  
Øystein Rødland Askeland

Haugesund 09. mai 2014



# Innhold

---

<b>Forord</b> .....	2
<b>Figurliste</b> .....	4
<b>Sammendrag</b> .....	5
<b>1 Innledning</b> .....	6
1.1 Knutsen OAS Shipping AS .....	7
1.1.1 Historie.....	7
1.1.2 Knutsen Technology .....	8
1.2 Gassutvikling .....	9
1.2.1 VOC – Volatile organic compound.....	10
1.2.2 VOC dannelse i petroleumssektor .....	11
1.2.3 Tilstandsligninger .....	12
<b>2 Metode</b> .....	14
2.1 Vurderte målemetoder .....	14
2.1.1 Måling med vanntank .....	14
2.1.2 Måling med glassprøyte .....	15
2.2 Forundersøkelse .....	16
2.2.1 Dannelse av hydrogen.....	16
2.2.2 Utførelse .....	18
2.3 VOC.....	22
2.3.1 Mulige faktorer.....	22
2.3.2 Utførelse.....	23
<b>3 Resultater</b> .....	30
3.1 Forundersøkelse .....	30
3.2 VOC.....	31
3.2.1 Temperatur .....	31
3.2.2 Bevegelse .....	33
3.2.3 Overflateareal .....	34
3.2.4 Forhold mellom olje og luft .....	34
<b>4 Diskusjon</b> .....	35
4.1 Forundersøkelse .....	35
4.1.1 Valg av målemetode.....	37
4.2 VOC.....	38
4.2.1 Temperatur .....	39
4.2.2 Olje/luft forhold.....	41
4.2.3 Bevegelse .....	42
4.2.4 Overflateareal .....	43
4.2.5 Beregning av friksjon i glassprøyten .....	43
4.3 Konklusjon.....	44
4.4 Anbefaling for videre arbeid .....	45
<b>Referanser</b> .....	46
<b>Vedlegg</b> .....	48

# Figurliste

---

<b>Figur 1</b> - Knutsen OAS Shipping AS logo (Knutsen OAS Shipping AS) .....	7
<b>Figur 2</b> - A: Skipet Emma Bakke (Knutsen OAS Shipping AS) B: Skipsreder Trygve Seglem (Haugesund Avis).....	7
<b>Figur 3</b> - Pressurized natural gas (PNG) (Knutsen OAS Shipping AS) .....	8
<b>Figur 4</b> - Knutsen VOC Technology (Knutsen OAS Shipping AS) .....	8
<b>Figur 5</b> - Avdamping på mikronivå (Old leather shoe) .....	9
<b>Figur 6</b> - NMVOC-utslipp i Norge i 1997 (Miljødirektoratet) .....	10
<b>Figur 7</b> - Utslipp av VOC (Miljøstatus) .....	11
<b>Figur 8</b> - Prinsippskisse av måling med vanntank (New Mexico Tech).....	14
<b>Figur 9</b> - Prinsippskisse av måling med glassprøyte .....	15
<b>Figur 10</b> - Oppsett av metode med vanntank (New Mexico Tech) .....	19
<b>Figur 11</b> - Oppsett av metode med glassprøyte.....	20
<b>Figur 12</b> - Bruk av vannkjøling.....	21
<b>Figur 13</b> – CRC ECO Leak Finder.....	21
<b>Figur 14</b> - Jerrykanne og oppmålingsutstyr .....	24
<b>Figur 15</b> - Oppsett for måling av VOC.....	24
<b>Figur 16</b> - Oppsett ved temperaturmålinger .....	25
<b>Figur 17</b> - Bevegelse i gassfase.....	26
<b>Figur 18</b> - Forsøk med varierende olje/luft forhold .....	28
<b>Figur 19</b> – Barometer .....	29
<b>Figur 20</b> - VOC måling med varierende temperaturer .....	32
<b>Figur 21</b> - VOC dannelse ved bevegelse .....	33
<b>Figur 22</b> - VOC måling ved forskjellig overflateareal .....	34
<b>Figur 23</b> - Konsekvens av temperaturøkning.....	40
<b>Figur 24</b> - Mulig tiltak for reduksjon av kontaktareal.....	44

## Sammendrag

---

I denne oppgaven ser vi på mulige faktorer som har innvirkning på avdampning fra råolje på oljetankere. Denne avdampning kalles Volatile organic compounds (VOC). Hovedfokuset vil være på laboratoriearbeid der vi studerer avdampning fra råolje ved forskjellige betingelser.

Faktorer som ble testet er varierende temperatur, overflateareal og olje/luft forhold samt bevegelse i gass- og oljefasen.

To metoder for måling av VOC ble vurdert før vi startet oljetestene. Disse ble utprøvd ved hjelp av en forundersøkelse for å vurdere hvilken av metodene som var best egnet for oljetestene.

Den valgte metoden bygger på prinsippet der den fordampede gassen vil skape et overtrykk som kontinuerlig utlignes ved volumøkning. På denne måten vil systemet holde atmosfærisk trykk, og volumøkningen vil være et resultat av den genererte gassen. Målemetoden var en glassprøyte koblet til et lukket system som inneholdt råolje.

Etter analyse av resultater kunne vi konkludere med at temperatur var den mest påvirkende faktoren. Andre faktorer som hadde innvirkning på avdampning var overflateareal og bevegelse, men ikke i like stor grad som temperatur. Varierende olje/luft forhold hadde ikke stort utslag i testene våre. En mulig årsak til dette kan være utstyret vi benyttet.

# 1 Innledning

---

Global oppvarming er ett av århundrets mest omtalte tema. Offshorebransjen har i over 40 år bidratt til økt drivhuseffekt i form av utslipp av klimagasser. Utslipp til luft fra offshorebransjen kommer fra forskjellige faser i oljeløpet: leteboring, produksjon, drift og transport. (Miljølære)

Det er to metoder som kan brukes for transport av olje: bruk av oljetankere og pumping i rørledning. Vi skal i vår oppgave fokusere på førstnevnte. Oljetankere blir mye brukt for frakting av råolje fra offshore stasjoner til land, både globalt og på norsk sokkel. Oljetankere er skip med stor lagringskapasitet i form av tanker. En oljetanker består vanligvis av flere tanker med et sentralt laste-/losse system. Når tankene ikke inneholder olje er de fylte med inertgass. Inertgass er kort fortalt oksygenfattig luft, ofte røykgass, som har til formål å ikke reagere kjemisk med gass eller væske. Ved lasting skyves denne inertgassen ut gjennom en «riser». Etter hvert som lasting pågår vil gassen som skyves ut inneholde større mengder hydrokarboner. Denne økningen i konsentrasjon av hydrokarboner skyldes avdamping fra råolje. Hydrokarboner som avdampes fra råolje omtales som Volatile organic compounds (VOC). (Nedregaard, 2003)

Det er i dag lite utforsket hvilke hydrokarboner som faktisk slippes til fri luft og hvorfor disse oppstår. For måling av gasskomposisjon kreves spesielt utstyr som vi ikke har hatt tilgang til. Denne oppgaven skal omhandle faktorer som påvirker avdamping fra råolje og hovedfokus i oppgaven vil være på laboratoriearbeid. I liten skala skal det utføres en rekke tester i et lukket system med råolje.

Råolje fra forskjellige felter har forskjellig komponentsammensetning. Gassen som avdampes fra en gitt råolje vil variere etter hvilke komponenter råoljen består av. Vi tar i denne oppgaven utgangspunkt i olje levert fra tre forskjellige oljefelter på norsk sokkel; Heidrun, Skarv og Åsgard. Området vi ønsker å simulere i laboratoriet er ved lasting av olje på oljetankere ved rigger eller tankskip i Nordsjøen.

Hovedmålet med laboratoriearbeidet er å påvise faktorer som har innvirkning på avdamping fra råolje. Faktorer som skal utforskes er temperatur, bevegelse, olje/luft forhold og overflateareal. For utførelse av testene i laboratoriet trengs pålitelige målemetoder for måling av gassutvikling. Målemetoder som blir omtalt i denne rapporten bygger på prinsippet av å skape et kortvarig overtrykk, som kontinuerlig utlignes ved volumøkning. På denne måten vil systemet holde atmosfærisk trykk og volumøkningen vil være et resultat av den avdampede gassen.

## 1.1 Knutsen OAS Shipping AS

Knutsen OAS Shipping er et privat eid rederi med hovedoppgave å transportere olje på norsk sokkel. Knutsen driver også med teknologisk utvikling, frakting og prosjektarbeid med hovedkvarter i Haugesund. Knutsens båter holder høy standard og er under stadig utvikling.



Figur 1- Knutsen OAS Shipping AS logo (Knutsen OAS Shipping AS)

### 1.1.1 Historie

I 1896 grunnla Knut Knutsen O.A.S.(1871-1948) rederiet i Haugesund. Knut Knutsen var en mann av betydning for Haugesunds tilvekst. Knut gav støtte til Haugesund kommune på 1 million kroner i 1921 i anledning sin 50års dag. Dette var en viktig grunn til at byen fikk sitt rådhus som står i Haugesund sentrum. I 1947 gav også hans kone Elisabeth Knutsen, en ny gave på 1 million kroner til bygging av rådhusparken. I 1930 hadde Knutsen O.A.S. tredje mest tankskip i Norge. (Knutsen OAS Shipping AS, 2014) (Wikipedia)



A



B

Figur 2 - A: Skipet Emma Bakke (Knutsen OAS Shipping AS) B: Skipsreder Trygve Seglem (Haugesund Avis)

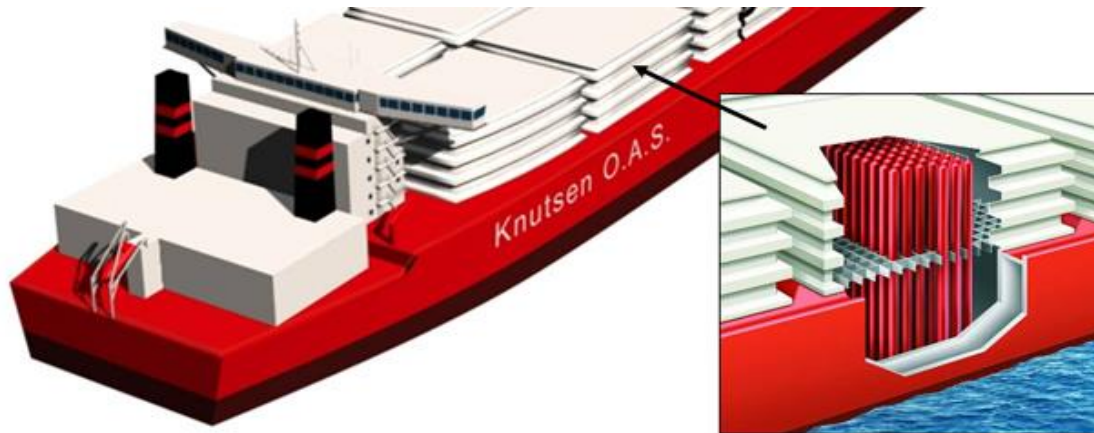
A: Knut Knutsens første skip. B: Trygve Seglem med modell av ett av rederiets skip

Etter rederikrisen på 80 tallet ble familiebedriften oppløst og det nye firmaet Knutsen OAS Shipping AS ble etablert av Bergen Bank i samarbeid med Knutsen familien og Jens Ulltveit-Moe. Kort tid etter bedriftens oppstart ble Trygve Seglem utnevnt som skipsreder, og ble i tillegg medeier. (Knutsen OAS Shipping AS)



### 1.1.2 Knutsen Technology

Knutsen har flere store utviklingsprosjekter under arbeid. Deriblant det nye skipskonseptet Pressurized natural gas - PNG og utslippsreduksjon vha. Knutsen VOC technology - KVOC og Knutsen ballast water treatment technology - KBAL.



Figur 3 - Pressurized natural gas (PNG) (Knutsen OAS Shipping AS)

Skisse av Pressurized natural gas løsningen til Knutsen OAS Shipping AS

I samarbeid med EUROPIPE GmbH og det Norske Veritas har Knutsen utviklet et nytt system for fraktning av naturgass under trykk. Konseptet tok utgangspunkt i lastning og lossing av gass både på land og offshore ved å utnytte elementer som allerede er i bruk, men på en bedre måte. Poenget med utviklingen er å få CNG (compressed natural gas) fraktning med båt økonomisk forsvarlig. (Knutsen OAS Shipping AS)



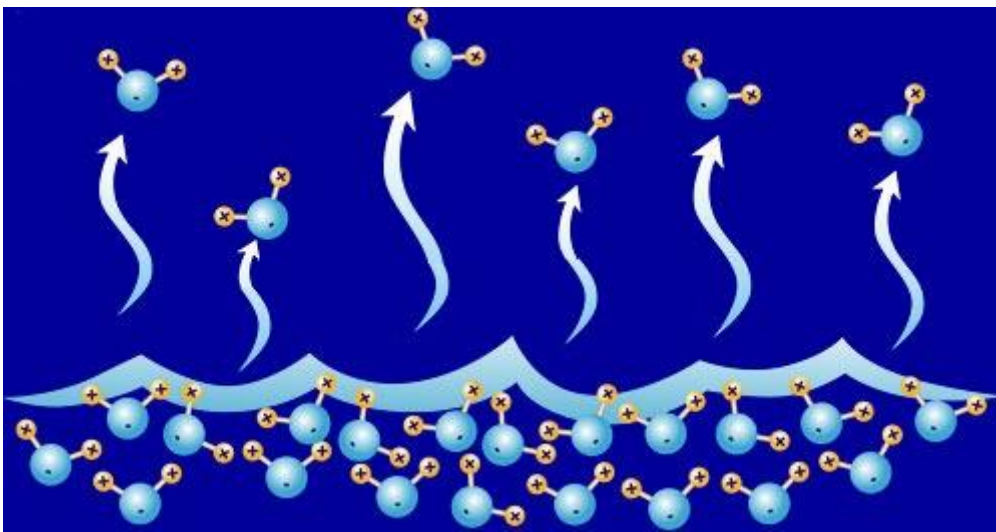
Figur 4 - Knutsen VOC Technology (Knutsen OAS Shipping AS)

Illustrasjon av KVOC systemet montert på oljetanker

KVOC er utviklet for å redusere utslipp av VOC ved lastning og lossing av oljetanker. Prinsippet med KVOC er å installere nye "drop lines" spesielt designet for hver enkelt oljetanker. Kjentetegnet for alle de nye "drop lines" er at diameteren er større enn på vanlige "drop lines", noe som fører til et "hull" i midten av røret der det ikke vil være noe olje. Resultatet av dette er en lavere hastighet på oljen, reduserte drag-krefter og oljedampen vil stige i midten av røret. (Knutsen OAS Shipping AS)

## 1.2 Gassutvikling

Når en faseovergang skjer fra væske til gass defineres dette som fordamping av væsken. Ved væskens kokepunkt vil fordampingen være særlig høy. Væsken trenger imidlertid ikke å koke for at fordamping skal oppstå. Når væsken ikke koker, vil fordamping foregå ved væskens overflate. Grunnen til dette er bevegelse i væskens molekyler. Når en væske når kokepunktet vil bevegelsen av molekylene være så stor at molekylene brytes fra hverandre. Ved temperaturer under kokepunktet vil vibrasjoner oppstå i mindre grad. Slike vibrasjoner vil kunne overføre kinetisk energi mellom molekyler. Hvis en slik energioverføring skjer mellom molekyler ved væskens overflate, og denne energimengden er stor nok til å bryte overflatespenningen, vil individuelle molekyler kunne løsrives fra resten og dermed fordampe. Dette er illustrert i figur 5. Ved denne energioverføringen vil de gjenværende molekylene ha en lavere gjennomsnittlig kinetisk energi enn før fordampingen. Dette resulterer i at væskens temperatur faller. (Store norske leksikon) (Hvafor) (Science Daily)



Figur 5 - Avdampning på mikronivå (Old leather shoe)

Illustrerer løsrivningen av individuelle molekyler fra væske

Vi vet fra målinger i offshorebransjen at råolje inneholder en del lette komponenter som fordamper over tid.

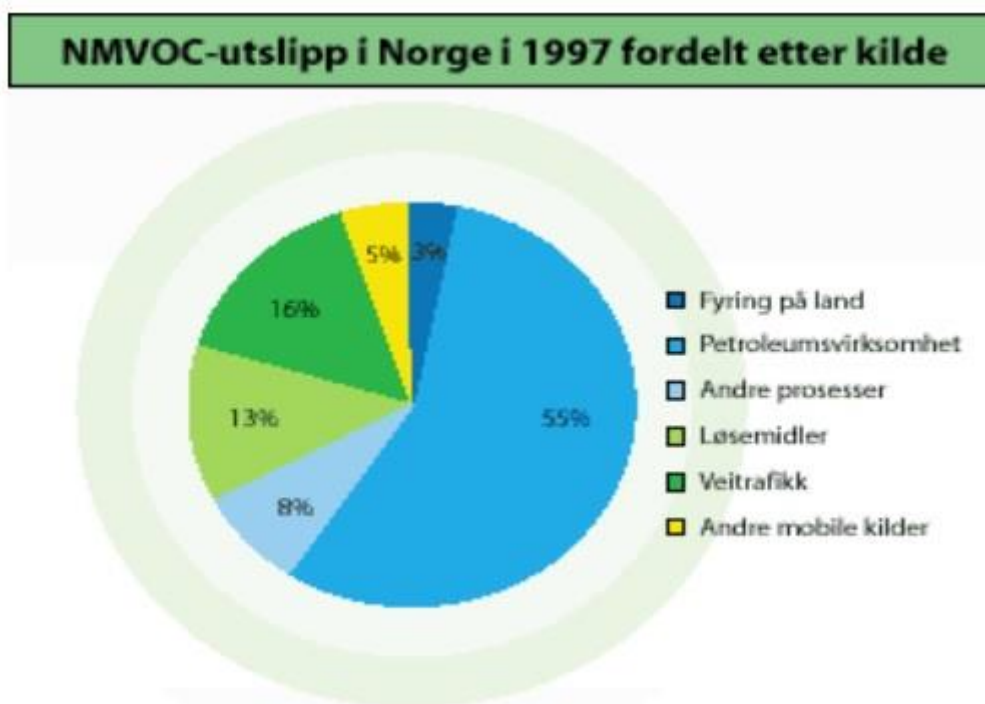
Når molekyler fordamper som forklart ovenfor, oppstår bevegelse i form av diffusjon og konveksjon. Diffusjon av stoff omtales ved at molekylene av ett stoff trenger inn i og sprer seg i et annet stoff. Molekyler beveger seg fra et sted med høy konsentrasjon av det gitte stoffet, til et sted med lavere konsentrasjon. Ved diffusjon kan gassmolekyler også spre seg i væsken. Raten av diffusjon avhenger blant annet av temperatur og størrelse på molekylene. Konveksjon kan beskrives som forflytningen av et stoff ved hjelp av en strøm av væske eller gass mellom disse stedene. (Mcgraw Hill Higher Education)

Når fordampingen fra råolje stopper, sier vi at oljen og luften den er i kontakt med er i likevekt. Med likevekt menes at både konsentrasjonen av reaktanter og produkter ikke vil endres over tid. Masseoverføringskoeffisienten (MTC) vil være den avgjørende faktoren for når likevekt oppnås. MTC avhenger av overføringsrate, overføringsareal og drivende krefter. MTC for gass og væske vil variere, og den laveste av koeffisientene vil være begrensende. (Chemistry Davidson)

### 1.2.1 VOC – Volatile organic compound

Volatile organic compounds også kjent som flyktige organiske forbindelser er damp som kommer fra blant annet råolje. Disse organiske forbindelsene har et høyt damptrykk ved vanlig romtemperatur. Grunnen til det høye damptrykket er dens lave kokepunkt ( $\leq 250^{\circ}\text{C}$ ) som fører til at store mengder med molekyler vil fordampe fra råoljen og ut i den omliggende luften. Oljedamp fra råolje består mest av hydrokarbon gasser i område fra metan til heptan. (Wikipedia)

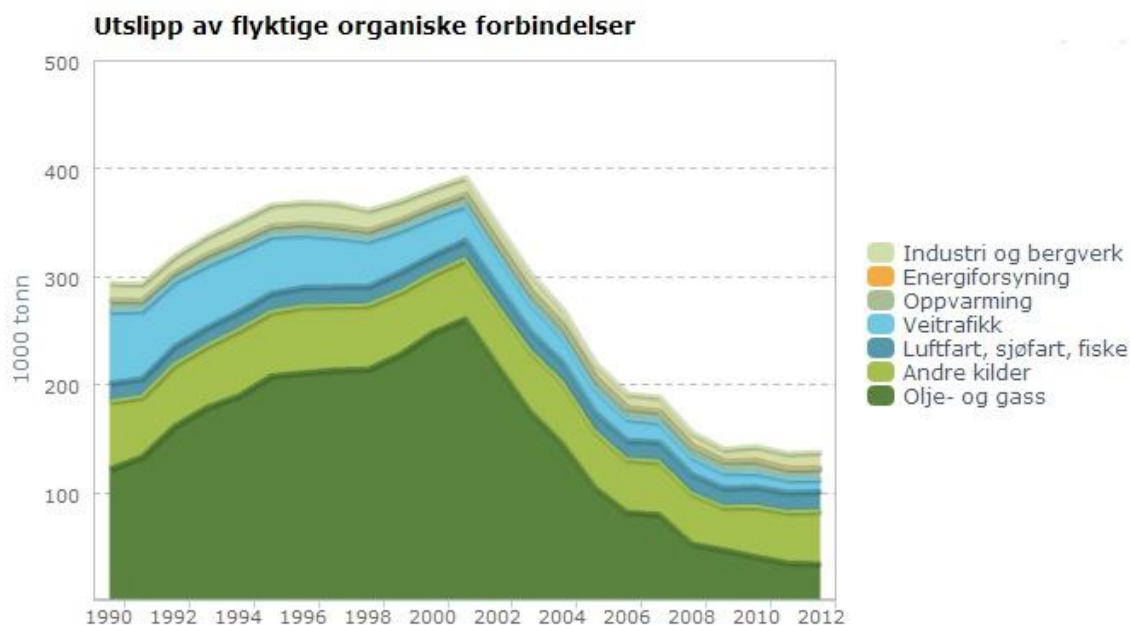
Bakkenært ozon er et resultat av reaksjonen mellom flyktige organiske forbindelser, nitrogenoksider og sollys. Ved bakkenivå er ozon giftig og svært uønsket, da det er skadelig for helse, vegetasjon og materialer. Utslippet er kategorisert både som et lokalt og regionalt forurensingsproblem. NMVOC (non-methane volatile organic compounds) som er flyktige organiske forbindelser unntatt metan er regulert av Gøteborg-protokollen som ble innført i 2005. Metan-utslipp blir derimot regulert av Kyoto-avtalen. Figur 6 viser en fordeling av hvor NMVOC-utslippene kommer fra. Vi ser med en gang at det er petroleumssektoren som står for den desidert største andelen med 55 %. (Miljødirektoratet) (Energilink) (Store norske leksikon)



Figur 6 - NMVOC-utslipp i Norge i 1997 (Miljødirektoratet)

Sektordiagram som viser utslipp NMVOC i Norge i 1997 fordelt etter kilde.

Figur 7 viser totalt utslipp av flyktige organiske forbindelser fra 1990 til 2012. Det var stor økning fra 1990-1999 pga. økt aktivitet i oljebransjen. Fra 2001 ble det en kraftig nedgang. Den viktigste årsaken til denne nedgangen er forbedret lasting av råolje. (Strand, Strand, & Nysterud)



Figur 7 - Utslipp av VOC (Miljøstatus)

Utslipp av VOC i tidsrommet 1990-2012, fordelt etter kilde.

Helseskader ved direkte eksponering av oljedamp har både akutte og kroniske symptomer. Akutte symptomer er øye, nese og hals irritasjon, hodepine, tap av koordinasjon, kvalme og astmautbrudd. Kroniske symptomer er skade på lever, nyre og sentralnervesystem, og i verste fall kreft. (Strand, Strand, & Nysterud)

### 1.2.2 VOC dannelse i petroleumssektor

Som tidligere nevnt er petroleumssektoren den viktigste årsaken til VOC-utslipp med 55%. Det er ikke bare miljøet som får konsekvenser av utslippet, da også petroleumsbedriftene lider økonomiske tap ved at store mengder med råolje fordampes og går tapt. Ved en lasteprosess av en oljetanker som kan ta opptil 12 timer, vil mye råolje gå over til damp. Norsk Marinteknisk Forskningsinstitutt AS (MARINTEK) har utført noen målinger av VOC utslipp per tonn råolje lastet. Utslippene varierte mellom 0,1 kg VOC per tonn ved terminal lasting til 2.8 kg VOC per tonn ved offshore lasting med dårlig vær. En bøyelaster tar omtrent 100000 tonn råolje og det sistnevnte utslippet vil representere et tap på rundt 2200 oljefat. Med en oljepris på rundt 100 US\$ per fat, vil utslippet VOC utslippet ha en verdi på 1 316 613 NOK per bøyelaster. (Sintef) (Sintef)

### 1.2.3 Tilstandsligninger

Innenfor termodynamikken beskrives en tilstandsligning som en matematisk relasjon mellom tilstandsvariabler. En tilstandsvariabel er definert som en egenskap ved et system som bare avhenger av den nåværende tilstanden i systemet. Eksempler på tilstandsvariabler er trykk, temperatur og volum. Tilstandsligninger er et nyttig verktøy for å beskrive egenskaper til gasser. Forskjellige ligninger er utarbeidet for å gi en god representasjon av virkelighet innenfor ulike områder. Valget av hvilken tilstandsligning som egnes best til et gitt formål må vurderes ut fra forskjellige parametere. Eksempler på parametere som er med på å bestemme valg av ligning er temperatur, trykk og stoff.

Tilstandsligninger som kan benyttes til VOC er blant annet Van der Waals-, SRK- og Peng-Robinsons tilstandsligning. Dette krever utstyr som kan måle gassens komposisjon. Ligning 1 er SRK-ligningen uttrykt med asentrisk faktor. (Skogestad, 2009)

#### Soave-Redlich-Kwongs tilstandsligning (SRK)

R: universal gasskonstant = 8,3145 J/molK

T: temperatur [K]

P: trykk [Pa]

$V_m$ : molart volum [ $m^3$ ]

a og b er konstanter som er spesifikke for hvert stoff

$\alpha$ : damptrykkdata (funksjon av asentrisk faktor og temperatur)

$\omega$ : asentrisk faktor

*Ligning 1:*

$$P = \frac{RT}{V_m - b} - \frac{a\alpha}{V_m(V_m + b)}$$

$$a = \frac{0.42747R^2T_c^2}{P_c}$$

$$b = \frac{0.08664RT_c}{P_c}$$

$$\alpha = (1 + (0.48508 + 1.55171\omega - 0.15613\omega^2)(1 - T_r^{0.5}))^2$$

$$T_r = \frac{T}{T_c}$$

Som utgangspunkt i vårt arbeid har vi valgt å betrakte VOC gass som en ideell gass. Denne antagelsen har vi tatt på grunnlag av at vi ikke kjenner komposisjonen av gassen, og dermed ikke har mulighet til å bruke ligninger med bedre nøyaktighet. Ettersom våre tester foregår ved atmosfærisk trykk, samt relativt høye temperaturer (sammenlignet med det absolutte nullpunkt), konkluderer vi med at ideell gasslov er tilstrekkelig til vårt formål.

## Ideell gasslov

Gasser som med god presisjon følger ideell gasslov blir omtalt som ideelle gasser. Ideell gasslov (ligning 2) fungerer imidlertid dårlig ved svært lave temperaturer og svært høye trykk. Definisjonen av en ideell gass er der alle kollisjoner mellom atomer er helt elastiske, og ingen intermolekylære krefter er til stede. Resultatet av dette er at all indre energi er lagret i form av kinetisk energi (bevegelses energi). All endring i indre energi er direkte tilknyttet temperaturendring. Alle ideelle gasser ved samme betingelser vil oppta samme volum. Ved standardbetingelser (STP) vil 1 mol av en ideell gass oppta 22,4 liter. Dette vil da si at gitt samme masse av 2 forskjellige gasser, vil de ikke ha samme volum da det er antall mol ligningen tar utgangspunkt i. Alle gasser følger loven  $m=n \cdot M_m$ , der  $M_m$  molarmasse [g/mol] er spesifikk for hvert enkelt grunnstoff. (Pedersen, Gustavsen, Kaasa, & Olsen, 2010) (Hyperphysics)

p: trykk [Pa]

V: volum [ $m^3$ ]

n: mengde [mol]

T: temperatur [K]

R: universal gasskonstant = 8,3145 J/molK

*Ligning 2:*

$$pV = nRT$$

## 2 Metode

For å kunne måle mengden gass som avdampes fra råolje over ett gitt tidsrom var det behov for en pålitelig metode for måling av gassutvikling. Målingene vi var ute etter var volumbaserte. Kapittel 2.1 og 2.2 tar for seg vurderte målemetoder og utprøving av disse målemetodene. Kapittel 2.3 omtaler utførelsen av valgt målemetode til måling av avdamping fra råolje. Alle tester ble utført i biologi lab ved Høgskolen Stord/Haugesund i syrefaste avtrekkskap.

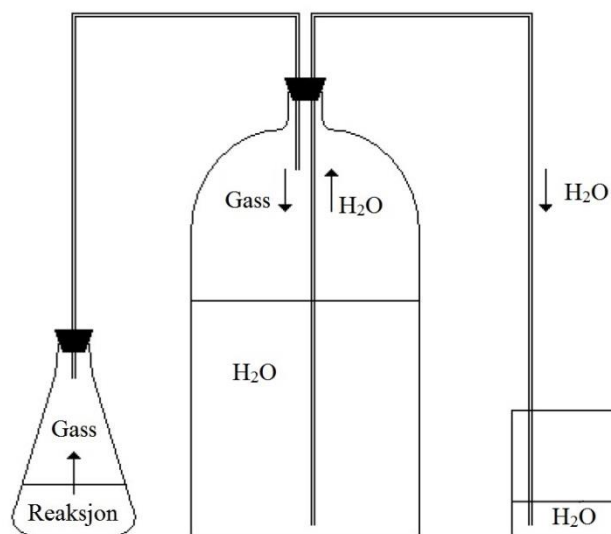
### 2.1 Vurderte målemetoder

To forskjellige metoder som vi mente kunne være passende for vårt bruksområde ble utprøvd. Begge metodene bygger på prinsippet der den fordampede gassen vil skape et overtrykk som kontinuerlig utlignes ved volumøkning. På denne måten vil systemet holde atmosfærisk trykk, og volumøkningen vil være et resultat av den fordampede gassen.

Samme reaksjon med samme betingelser ble brukt for begge metodene, dette for å kunne sammenligne dem og derifra konkludere hvilken av de to metodene som ville være best egnet for våre oljeprøver. Vi betraktet faktorer som: pålitelighet, nøyaktighet, holdbarhet og brukervennlighet.

#### 2.1.1 Måling med vanntank

Den første målemetoden for gass er ved hjelp av vanntank som illustrert i figur 8. Den forseglede erlenmeyerkolben er koblet sammen med vanntanken ved hjelp av en gummislange, en propp og en sprøytespiss i hver ende av slangen. Slangeendene skal kun være i kontakt med luften i kolben og vanntanken. Vanntanken er omtrent halvfull med vann og fra vanntanken går det en gummislange videre til et målebeger med vann som står fritt til atmosfæren. Her er det veldig viktig at begge ender av slangen er nedi vannet på begge steder. Det er også viktig at denne gummislangen er fylt med vann før den kobles opp. Hvis ikke så vil det kun blåses kobler i det siste begeret i starten av gassutviklingen.



Figur 8 - Prinsippkisse av måling med vanntank (New Mexico Tech)

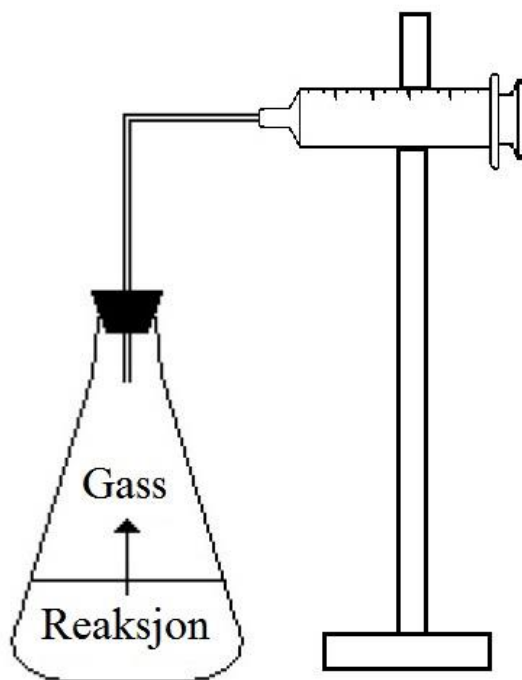
Oppsett av beskrevet metode med vanntank, samt illustrasjon av hvordan målingen fungerer

Gassutviklingen foregår i den forseglede kolben. Gassutviklingen resulterer i overtrykk i systemet. Eneste mulighet for å gjenskape atmosfærisk trykk i systemet, blir ved å sende vann til målebegeret gjennom gummislangen for å danne mer plass til den nye gassen som blir produsert. Til slutt leser en av økning av vann som er i målebegeret etter at gassutviklingen er ferdig.

### 2.1.2 Måling med glassprøyte

Den andre målemetoden vår er ved hjelp av en glassprøyte som illustrert på bilde nedenfor. Glassprøyten er festet med klemmer i et stativ og koblet til erlenmeyerkolben (kan også være reagensrør) ved hjelp av en gummislange, som kun er i kontakt med luften kolben, en propp og en sprøytespiss. Henviser til figur 9 for illustrasjon av oppsett.

Gassutviklingen foregår i den forseglede kolben. Volumendringen som følge av gassutviklingen fører til overtrykk i kolben. Dette fører videre til overtrykk i glassprøyten, og stempelet i sprøyten flytter seg utover, mens en kan lese av på siden av sprøyten hvor stor volumendringen er. Dette er en relativ enkel metode. Med få komponenter, vil sannsynligheten for feil være lavere enn i den andre metoden.



*Figur 9 - Prinsippkisse av måling med glassprøyte*

*Oppsett av beskrevet metode med glassprøyte, samt illustrasjon av hvordan målingen fungerer*



## 2.2 Forundersøkelse

Ettersom gassutvikling fra råolje er lite kartlagt er det ikke mulig å teste påliteligheten til vurderte metoder med råolje direkte. Målet med dette delkapittelet er å se om de vurderte metodene er mulige å bruke til måling av VOC. For å utrede dette utførte vi en forundersøkelse som bygger på samme prinsippet som VOC dannelsen, der væske går over til gassform. Vi hadde derfor behov for en reaksjon hvor teoretisk gassutvikling er mulig å regne ut. For utregning av teoretisk gassmengde er ideell gasslov benyttet.

### 2.2.1 Reaksjon benyttet til testing av målemetoder

Reaksjonen vi valgte å teste metodene med, var mellom sink (Zn) og saltsyre (HCl) (ligning 3). Sink og saltsyre reagerer, og danner hydrogengass og sinkklorid. Sink og klor binder seg sammen, mens hydrogenatomene frigis og skaper hydrogengass. Man kan se under reaksjonen at det dannes små bobler fra sinken. Dette er hydrogengass som stiger opp gjennom sinkkloriden og blander seg med luft. (Naturfag)

*Ligning 3:*

Reagerende stoffer:

- 
- 

Produkter:

- 
- 

Det vi skal se videre på i dette avsnittet, er hvilken mengde sink og HCl vi må/bør ha når vi tester metodene, samt hvor mye hydrogengass som blir produsert ved disse mengdene.

Vi valgte å regne gjennom med 0,2 g sink for å se hvor stor teoretisk mengde hydrogen gass vi får produsert.

Ut fra reaksjonsligningen ser vi at vi må ha to ganger mer mol HCl enn mol sink. Vi bruker dette til å finne minimum mengde HCl vi trenger i forsøkene for å få en fullstendig reaksjon.

Ligning 4:

$$n_{\text{HCl}} = 2n_{\text{Zn}} = 6,1178 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

$$M_{\text{HCl}} = 6,00 \text{ mol} / \text{dm}^3$$

$$V = \frac{n}{M} = \frac{6,1178 \cdot 10^{-3} \text{ mol}}{6,00 \text{ mol} / \text{dm}^3}$$

$$V = 1,019 \cdot 10^{-3} \text{ L} = 1,019 \text{ mL}$$

Det neste vi må finne er mengden hydrogengass som blir produsert ved å bruke en sink mengde på 0,2 g. Temperaturen i rommet testene blir utført i holder cirka 21 °C. Vi ser ut fra reaksjonsligningen at det blir produsert like mye mol hydrogen som mol sink brukt i forsøket.

Ligning 5:

$$n_{\text{Zn}} = n_{\text{H}_2} = 3,0589 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

$$pv = nRT \rightarrow V = \frac{nRT}{p}$$

$$V_{\text{H}_2} = \frac{3,0589 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot 8,3145 \text{ J} / \text{molK} \cdot (21 + 273,15) \text{ K}}{1,01325 \cdot 10^5 \text{ Pa}}$$

$$V_{\text{H}_2} = 7,38 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 = 7,38 \cdot 10^{-2} \text{ L} = 73,8 \text{ mL}$$

Ved bruk av 0,2 g sink i forsøket, vil vi få en teoretisk mengde hydrogen gass på 73,8 mL. I og med at glassprøyten vi brukte i den ene metoden har en maksimal måleverdi på 100 mL, vil det være fornuftig å bruke en sinkmengde på rundt 0,2 g. Vi ser av ligning 4 at nødvendig mengde HCl for 0,2 g Zn er ca 1 mL. I praksis vil dette være så lite at det vil være vanskelig å få hele sinkbiten til å reagere. Vi valgte derfor å benytte større mengder av HCl. Dette har ingen innvirkning på resultatene ettersom sink vil være den begrensende faktoren, og samme mengde hydrogengass vil bli utviklet som ved bruk av 1 mL HCl. Samme formler er brukt videre når vi regnet ut teoretisk mengde hydrogen gass for hvert enkelt forsøk.

## 2.2.2 Testing av målemetoder

Testing av målemetodene skjedde under forskjellige betingelser. Vi startet testingen med bruk av 10 mL HCl og ca. 0,2 g Zn ved romtemperatur på 20 °C. Testene ble utført med både erlenmeyerkolbe og reagensrør i hver sine separate forsøk. Alle forundersøkelser er utført med bruk av nitrilhansker med tykkelse 0,18 mm (artikkelnummer: 112-2769, hentet fra VWR).

### Vanntank

Det første som ble gjort, var å koble en sprøytespiss på hver ende av den teflonbelagte silikonslangen på 15 cm (artikkelnummer: 228-0706, hentet fra VWR). Teflonbelagt silikonslange blir videre i rapporten omtalt som gummislange. I forsøkene som ble utført med erlenmeyerkolbe, koblet vi den ene sprøytespissen i korken som hadde ett hull, mens i forsøkene med reagensrør ble den stukket gjennom en mye mindre gummikork som passet reagensrøret. Den andre enden ble satt i korken som har to hull. I det andre hullet trakk vi en annen gummislang på 30 cm, mens andre enden ble lagt oppi målebegeret. Denne måtte gå omtrent 10 cm gjennom hullet.

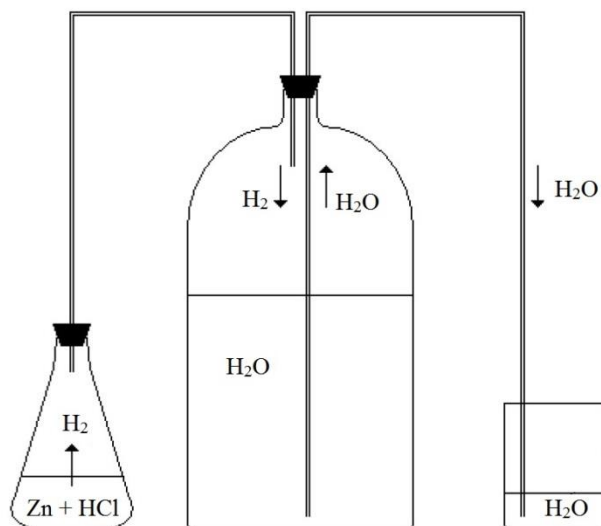
Måleflasken ble fylt halvfull med vann og målebegeret ble fylt med 100 mL vann. Viktig at hver ende av gummislangen på 30 cm var under vannflaten for ikke å miste trykket under testing. Ved hjelp av en pipette fylte vi den lange gummislangen helt full med vann, og satt på en slangeklype for å unngå luft i slangen da dette ville gitt avvik i resultatene.

Neste steg var å koble erlenmeyerkolben/reagensrøret i et stativ. Erlenmeyerkolben/reagensrøret ble fylt med HCl med konsentrasjon på 6 mol/dm<sup>3</sup>. Kolben satte vi litt på siden for å få samlet HCl på et område i kolben, som vist i figur 10B. Målte opp rundt 0,2 g sink ved hjelp av en vekt av typen Sartorius BP 211S som har nøyaktighet på 0,001 gram. Sinkbiten ble lagt oppi erlenmeyerkolben/reagensrøret og korken ble satt på.

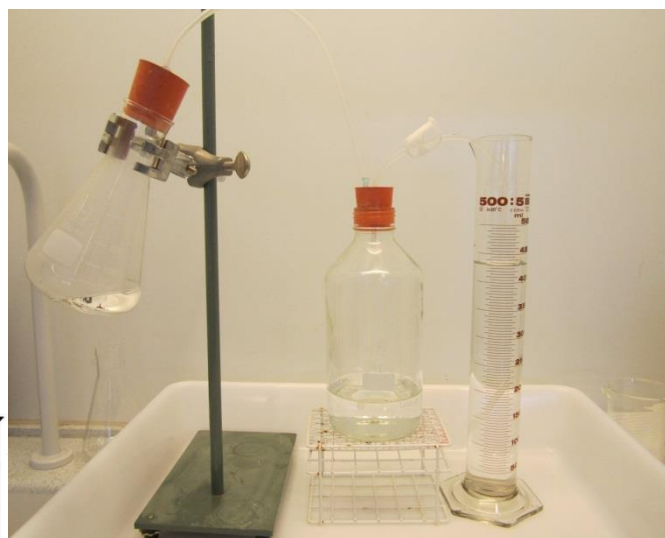
Det siste steget var å lese av den økte volummengden med vann, som var videreført til målebegeret gjennom forsøket etter at reaksjonen var fullført. Den avleste volumøkningen tilsvarte mengde gassutvikling.

Utstørsliste:

- Gummislange
- 2 stk sprøytespiss
- 25 mL reagensrør med tett gummikork
- 250 mL erlenmeyerkolbe
- 1L måleflaske
- Gummikork til måleflaske med to hull, det ene til sprøytespiss og det andre til gummislange
- Gummikork til erlenmeyerkolbe med ett hull til en sprøytespiss
- 1L målebeger
- 6M Hydrogenklorid (HCl)
- Sink (Zn)
- Vann (H<sub>2</sub>O)
- Stativ med klype
- Slangeklype
- Pipette



A



B

Figur 10 - Oppsett av metode med vanntank (New Mexico Tech)

Illustrasjon av oppsettet av metode med vanntank som A: prinsippskisse, og B: utførelse i lab.

## Glassprøyte

Det første som ble gjort var å sette glassprøyten i ett stativ med ved hjelp av en klype. Høyden på sprøyten var omtrent 20 cm over bordet. En hyssing ble knyttet mellom glassprøytenes sylindervegg og stempel, dette som en sikkerhetsbarriere om gassutviklingen skulle bli så stor at stempelet ville falle ut av sylindere. (Kpt Komet)

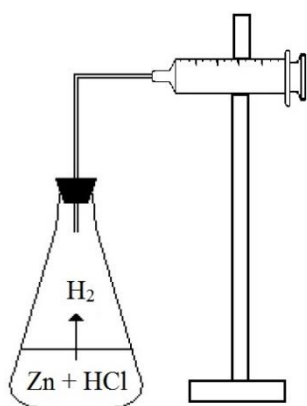
Neste steg var å koble en gummislang på 10 cm til glassprøyten. Glassprøyten hadde en konisk Luer-lock metallkonus som passet perfekt for gummislangen, og holdt det helt tett. Den andre enden av slangen ble det satt på en sprøytespiss. I forsøkene med reagensrør ble denne sprøytespissen stukket gjennom en liten gummikork som passet erlenmeyerkolben, mens for forsøkene med erlenmeyerkolbe ble den koblet i gummikorken med et hull. Erlenmeyerkolben/reagensrøret ble satt i et stativ med en klype på samme måte som for forsøkene med vanntank. Oppsett med reagensrør er illustrert i figur 11B.

HCl med konsentrasjon på  $6 \text{ mol/dm}^3$  fylt i erlenmeyerkolben/reagensrøret. Vi målte opp rundt 0,2 g sink ved hjelp av vekten som er omtalt tidligere. Sinkbiten ble lagt oppi erlenmeyerkolben/reagensrøret og korken ble satt på.

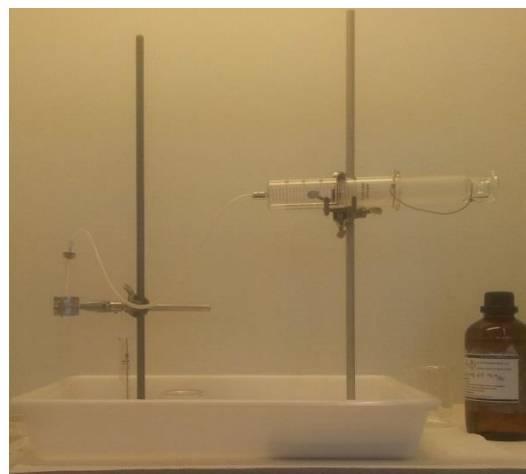
Til slutt gjenstod det å lese av på glassprøyten hvor stor volumøkning vi hadde i systemet etter at reaksjonen var fullført. Dette tilsvarte mengden gassutvikling.

Utstørliste:

- 2 stk 100 mL glassprøyte
- Gummislange
- 1 stk sprøytespiss
- 25 mL reagensrør med tett gummikork
- 250 mL erlenmeyerkolbe
- Gummikork til erlenmeyerkolbe med ett hull til en sprøytespiss
- 6M Hydrogenklorid (HCl)
- Sink (Zn)
- 2 stk stativ med klype
- Tynn hyssing



A



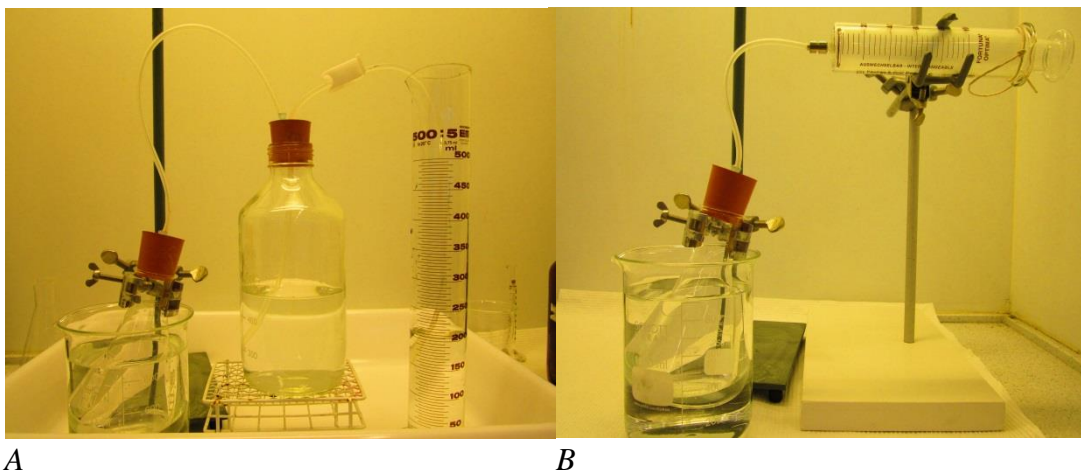
B

Figur 11- Oppsett av metode med glassprøyte

Illustrasjon av oppsettet av metode for glassprøyte som A: prinsippskisse, og B: utførelse i lab.

## Vannkjøling

Til vannkjøling satte vi erlenmeyerkolben i et målebeger på 500 mL fylt med romtemperert vann. Et 5 L målebeger ble fylt med vann dagen før og satt i avtrekksskap for at vannet skulle ha romtemperatur. Oppsettet for metodene med bruk av vannkjøling er illustrert i figur 12.



A

B

Figur 12 - Bruk av vannkjøling

Illustrasjon av vannkjøling brukt i A: metode med vanntank og B: metode med glassprøyte

## Testing av reservesprøyte og bruk av lekkasjespray

Stempelet til reservesprøyten ble utsatt for urenheter, og dette medførte økt friksjon mellom stempel og sylinder. Reservesprøyten ble derfor kjørt gjennom en laboratorieoppvaskemaskin av typen Miele Mielabor G7733. Utførte tester med den nyvaskede sprøyten, og verifiserte at vi fikk de samme resultatene som ved bruk av den første sprøyten.

I dette forsøket brukte vi også lekkasjespray for å sjekke eventuelle lekkasjer i knutepunkter og slanger. Lekkasjesprøyten vi brukte er av typen «CRC ECO Leak Finder». (Figur 13A) Lekkasjesprøyten består av en vannbasert såpeløsning som ved sprøyting legger seg som et skumlag. For å sjekke gasslekkasje sprayer vi lekkasjesprøyten på kritiske områder i systemet, og ser om det dannes bobler i såpeløsningen. (Figur 13B) (CRC Industries)



A

B

Figur 13 – CRC ECO Leak Finder

Illustrasjon av A: CRC ECO Leak Finder og B: bruk av lekkasjespray

## 2.3 VOC

Måling av VOC ble utført med glassprøyte metoden som beskrevet i avsnitt ovenfor, og i syrefaste avtrekkskap i biologilaben ved HSH. Tre oljetyper fra forskjellige oljefelt på norsk sokkel ble testet. Oljen ble levert i totalt 160 L, derav 2x10 L plastkanne og 7x20 L jerrykanne. Tabell 1 viser informasjon om hvilke oljetyper som er benyttet i forsøkene.

### *Tabell 1: Informasjon om oljeprøvene*

*Tabell 1 presenterer informasjon om de forskjellige oljetyperne som har vært benyttet i forsøkene. Informasjonen er oljefelt, tankbåt, mengde og konsistens. Videre i rapporten blir oljene omtalt som oljetype 1, 2 og 3.*

Oljetype	Oljefelt	Tankbåt	Mengde [L]	Konsistens
1	Åsgard	Hilda Knutsen	40	Tyntflytende
2	Heidrun	Randgrid	60	Tyktflytende
3	Skarv	Amundsen Spirit	60	Gjennomsnittlig

### 2.3.1 Mulige faktorer som påvirker avdamping

Mulige faktorer som ble testet er temperatur, bevegelse, overflateareal og luft/råolje forhold. Alle tester er utført separat for å få konkrete resultater knyttet til hver enkelt faktor. Faktorene som ble undersøkt er relevante for offshorelasting av olje på oljetankere.

### 2.3.2 VOC måling

Jerrykanner ble lagret i maskin lab ved HSH, dette av sikkerhetsmessige årsaker. I maskinlaben er det en stor carport kombinert med god ventilering. Det ble fraktet 20 L om gangen inn til biologi lab for testing. I biologilabben var fire avtrekksskap tilgjengelige. Alle avtrekksskap ble utstyrt med olje absorberende matter. Ett av skapene ble disponert til oppbevaring av en jerrykanne som inneholdt fersk råolje som skulle brukes til testing, og en jerrykanne til avfall (ferdigtestet råolje). Jerrykannen med fersk råolje var plassert som vist i figur 14A i ett plastkar for oppsamling av råolje-søl. Dette skapet ble stasjon for helling av råolje fra jerrykanne over til ett 500 mL begerglass før hver test.

All behandling av jerrykanner, samt utførelse av testene ble gjort med fokus på sikkerhet. Det ble brukt lab-frakk, vernebriller og nitrilhansker under alle forsøkene. Refererer til avsnitt 2.1.2 for hvordan oppsett for metode med glassprøyte var koblet opp. Videre beskrives hvordan forsøkene med råolje ble utført, fra oljen er i jerrykanne og til gassutviklingen måles. Henviser til figur 14B for oppmålingsutstyr brukt til råolje.

Felles utstyrliste:

- 160 L råolje
- Lekkagespray
- Olje absorberende matter
- 2 stk 100 mL glassprøyter
- Gummislange
- Sprøytespisser
- Nitrilhansker
- 250 mL erlenmeyerkolber
- Gummikorker til erlenmeyerkolbe med ett sentrert hull til en sprøytespiss
- 2 stk stativ med klype
- Tynn hyssing
- Vernebriller
- Lab-frakker



Prosedyren for utførelse av testene var som følger:

Trinn 1: Jerrykanne åpnes og olje overføres fra jerrykanne til 500 mL begerglass. Jerrykanne lukkes.

Trinn 2: Olje helles videre fra begerglass til målesylinder for oppmåling av korrekt mengde.

Trinn 3: Olje helles i erlenmeyerkolbe.

Trinn 4: Kork settes på erlenmeyerkolbe

Trinn 5: Noterer temperatur og starter stoppeklokke.

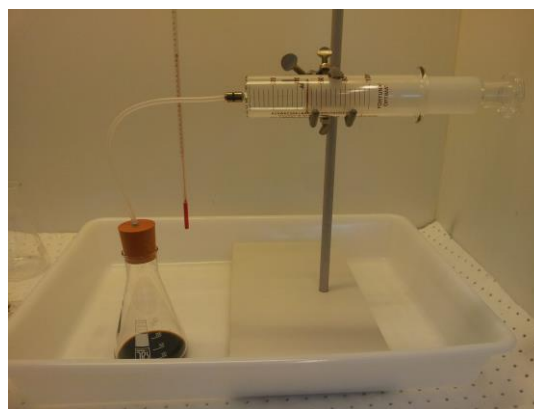
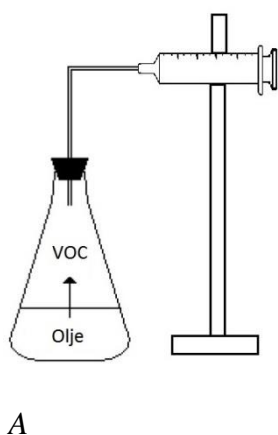
Trinn 6: Leser av volum gass i glassprøyte etter at likevekt er oppnådd mellom olje og gass.



Figur 14 - Jerrykanne og oppmålingsutstyr

Illustrasjon av avtrekksskap brukt til oppmåling av råolje. A: jerrykanne med råolje, B: måleutstyr brukt til oljetype 2

Trinn 1-4 er utført i samme tempo, varighet omtrent ett minutt, i alle forsøkene. Trinnene ble utført rolig for å oppnå sammenlignbare tester og for å unngå oljesøl. Etter avlest gassmengde tas korken av erlenmeyerkolben, og oljen tømmes i avfallsjerrykannen. For å unngå å spre oljen på andre ting, tørket vi av erlenmeyerkolben med papir etter hver tømming.



Figur 15 - Oppsett for måling av VOC

Illustrasjon av oppsettet for måling av VOC som A: prinsippsskisse, og B: utførelse i lab.

## Temperatur

Temperaturene som ble undersøkt var 20 °C (romtemperatur), 30 °C, 40 °C og 50 °C. Disse temperaturene ble oppnådd ved å plassere målesystemet i et vannbad av typen GFL 1083 (vist i figur 16A). Henviser til vedlegg XIII for mer informasjon om vannbadet. Vannbadet kunne justeres mellom temperaturene 10-110 °C. Eksternt termometer ble plassert med føler nærmest mulig reaksjonsområdet.

Ved måling av 40-50 °C ble to glassprøyter brukt til måling for å øke volumet som kan måles til 200 mL. Dette ble løst ved å bruke korken med to hull fra vanntank metoden (beskrevet i avsnitt 2.1.1). Glassprøytene ble parallellkoblet med hver sin slange koblet til erlenmeyerkolben i hvert sitt hull av korken. Sprøytene ble montert ovenfor hverandre i stativ slik vist i figur 16B.



A

B

*Figur 16 - Oppsett ved temperaturmålinger*

*Illustrasjon av oppsett brukt ved måling av VOC med varierende temperatur. A: GFL 1083, B: parallellkoblede glassprøyter*

## Bevegelse

Vannbadet ble også brukt til å oppnå bevegelse i oljen ved hjelp av en riste funksjon som beveger vannbadet fra side til side med en amplitude på 22 mm. Frekvensen på bevegelsen ble stilt til 117 pr. min. Ved disse testene var varmeelementet i vannbadet skrudd av.

Bevegelse i gassfasen ble også testet ved å montere en sinkbit bøyd i omtrent 90° vinkel mellom 2 magnetpar. Formen på sinkbiten ble valgt for å få størst mulig kontaktflate mot gassen ved bevegelse opp og ned. Magnetene med sinkbiten imellom ble plassert på innsiden av målesylinderen, mens et magnetpar på utsiden av målesylinderen sørget for at vi kunne bevege sinkbiten fra utsiden. Konstruksjonen er vist i figur 17.



*Figur 17 - Bevegelse i gassfase*

*Bevegelse i gassfase utført med selvlaget konstruksjon med bruk av magneter og sink.*

**Overflateareal**

Overflateareal ble testet ved å gjøre parallelle forsøk. Ett av forsøkene ble gjort med 250mL erlenmeyerkolbe, mens det andre ble utført med 250 mL målesylinder. Grunnen til valg av dette utstyret var at gummikorker vi hadde tilgjengelige i laben passet til dette utstyret, og diameterforskjellen på utstyret var markant.

Ettersom overflatearealet i erlenmeyerkolben varierer med høyden, har vi valgt å ta utgangspunkt i kontaktflate mellom olje og gass ved innhold av 40 mL olje. Ytre diameter av utstyr er målt med skyvelære. For å måle veggtykkelse knuste vi utstyret, for så å måle veggtykkelsen ved aktuelt område. Mål av utstyr er presentert i tabell 2.

*Tabell 2: Teknisk data for utstyr benyttet i forsøkene med varierende overflateareal*

*Tabell 2 presenterer ytre diameter, veggtykkelse, indre diameter og overflater for utstyr benyttet i forsøkene med varierende overflateareal*

Utstyr	Ytre diameter $D_y$ [mm]	Veggtykkelse $t$ [mm]	Indre diameter $D_i$ [mm]	Overflateareal $A$ [mm <sup>2</sup> ]
Erlenmeyer	84	2	80	5020
Sylinder	39	1,75	35,5	989,8

Ligning 6 er benyttet for å regne ut data presentert i tabell 2.

*Ligning 6:*

$$A = \pi r^2 = \pi \left( \frac{D_i}{2} \right)^2$$

$$D_i = D_y - t$$

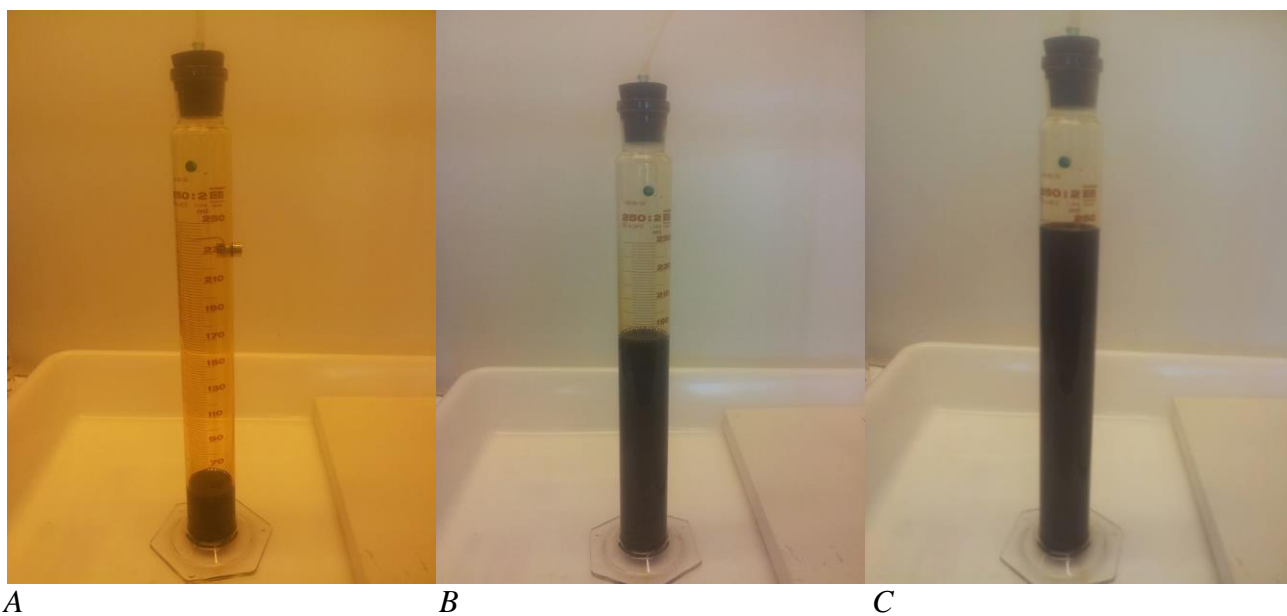
## Olje/luft forhold

Tre forskjellige olje/luft forhold ble testet ved bruk av en målesylinder med tilnærmet samme totalvolum (3,1 % mindre) som erlenmeyerkolben fra tidligere tester. Målesylinderen har konstant tverrsnitts areal, teknisk data beskrevet i tabell 3. Figur 18A viser tilnærmet samme olje/luft forhold som brukt i tidligere forsøk med erlenmeyerkolbe. Vi halverer luftmengden i hvert trinn av testfasen, vist i figur 18B og 18C.

*Tabell 3: Teknisk data for varierende olje/luft forhold forsøk*

*Tabell 3 presenterer mengde olje og luft i kolonne 2 og 3 ved forsøkene med varierende olje/luft forhold. Kolonne 4 viser forholdet mellom olje og luft.*

Test	Olje [mL]	Luft [mL]	Olje/luft
1	40	270	0,1481
2	175	135	1,2962
3	242,5	67,5	3,5925



*Figur 18 - Forsøk med varierende olje/luft forhold*

*Figuren viser markant forskjell i olje/luft forhold benyttet i forsøkene. A: test 1, B: test 2, C: test 3.*

## Tester overtrykk med barometer

Som nevnt i avsnitt 2.1 bygger metoden vår på prinsippet der den fordampede gassen vil skape et overtrykk som kontinuerlig utlignes ved volumøkning. Koblet et barometer til systemet vårt for å sjekke hvor stort dette overtrykket var, og for å se den kontinuerlige utligningen i praksis.

Barometeret ble koblet til på samme måte som når vi koblet opp en ekstra sprøyte (se avsnitt om utførelse av temperaturtester). Sprøytespiss ble ikke brukt i enden av slangen i denne testen. Slangen ble her trukket 10 cm gjennom gummikorken.



*Figur 19 – Barometer*

*Barometeret benyttet i forsøk. Bildet viser hvordan barometeret er tilkoblet systemet.*

## 3 Resultater

Resultater er presentert som gjennomsnittsmålinger basert på rådata gitt som vedlegg. I dette avsnittet er kun informasjon som er direkte knyttet til sammenligning av resultater tatt med. For en mer utdypende gjennomgang av resultater fra forsøkene henvises det til vedlegg.

### 3.1 Forundersøkelse

Ettersom hensikten med forundersøkelsen var å bestemme hvilken av de to vurderte metodene som var best egnet til måling av VOC, er resultater her presentert i to tabeller, en for hver av metodene. Resultatene er gjennomsnittsmålinger basert på rådata gitt i vedlegg I-IV.

*Tabell 4: Resultater ved måling med vanntank*

*Tabell 4 presenterer resultatene fra forundersøkelse med bruk av vanntank. Resultatene er gjennomsnittsverdier basert på vedlegg I. Tabellen inneholder gjennomsnittlig mengde sink, teoretisk og målt volum hydrogen. Kolonne 7 presenterer avvik mellom teoretisk og målt mengde hydrogen.*

Forsøks ID	$\bar{Z}_n$ (g)	Vannkjøling	Utstyr	$\bar{H}_{teoretisk}$	$\bar{H}_{målt}$	Gjennomsnittlig avvik [%]
1	0,415	Nei	Erlenmeyer	153,1	157,5	2,87
2	0,220	Ja	Erlenmeyer	80,83	84,5	4,54

*Tabell 5: Resultater ved måling med vanntank*

*Tabell 5 presenterer resultatene fra forundersøkelse med bruk av glassprøyte. Resultatene er gjennomsnittsverdier basert på vedlegg II-IV. Tabellen inneholder gjennomsnittlig mengde sink, teoretisk og målt volum hydrogen. Kolonne 7 presenterer avvik mellom teoretisk og målt mengde hydrogen.*

Forsøks ID	$\bar{Z}_n$ (g)	Vannkjøling	Utstyr	$\bar{H}_{teoretisk}$	$\bar{H}_{målt}$	Gjennomsnittlig avvik [%]
1	0,213	Nei	Reagensrør	78,5	81	3,18
2	0,208	Nei	Erlenmeyer	76,5	83,5	9,15
3	0,219	Ja	Erlenmeyer	80,15	80,25	0,001

## 3.2 VOC

De viktigste faktorene er her trukket frem. Resultatene er presentert med gjennomsnittsvolum VOC inkl. standardavvik. Kolonne 2 (fra venstre) er i alle tabeller varierende informasjon unik for hver faktor som ble vurdert. Som presentert i tabell 1, omtales olje levert fra Åsgard som oljetype 1, olje levert fra Heidrun som oljetype 2 og olje levert fra Skarv som oljetype 3.

### 3.2.1 Temperatur

I vedlegg IV-VIII er rådata presentert med tabellinndeling for hver temperatur. Ettersom gjennomsnittsverdiene er mest interessante å sammenligne for hver oljetype mot forskjellige temperaturer, er data presentert i tabell 6,7 og 8 for hver oljetype.

#### Tabell 6: VOC måling for oljetype 1 med varierende temperatur

Tabell 6 presenterer gjennomsnittresultatene av VOC måling med varierende temperatur for oljetype 1. Tabellen inneholder temperatur, volum råolje, forsøksstid, gjennomsnittlig mengde VOC og avvik mellom resultatene.

Forsøks ID	T [°C]	V <sub>olje</sub> [mL]	t [min]	$\bar{V}_{VOC}$	Std. Avvik
1	20	25	30	47,55	5,43
2	20	40	35	38,71	9,33
3	30	40	30	76,2	2,51
4	40	40	15	120,08	7,99
5	50	40	10	196,9	14,31

#### Tabell 7: VOC måling for oljetype 2 med varierende temperatur

Tabell 7 presenterer gjennomsnittresultatene av VOC måling med varierende temperatur for oljetype 2. Tabellen inneholder temperatur, volum råolje, forsøksstid, gjennomsnittlig mengde VOC og avvik mellom resultatene.

Forsøks ID	T [°C]	V <sub>olje</sub> [mL]	t [min]	$\bar{V}_{VOC}$	Std. Avvik
1	20	40	135	25,00	4,95
2	30	40	90	24,25	0,35
3	50	40	30	62,50	7,07

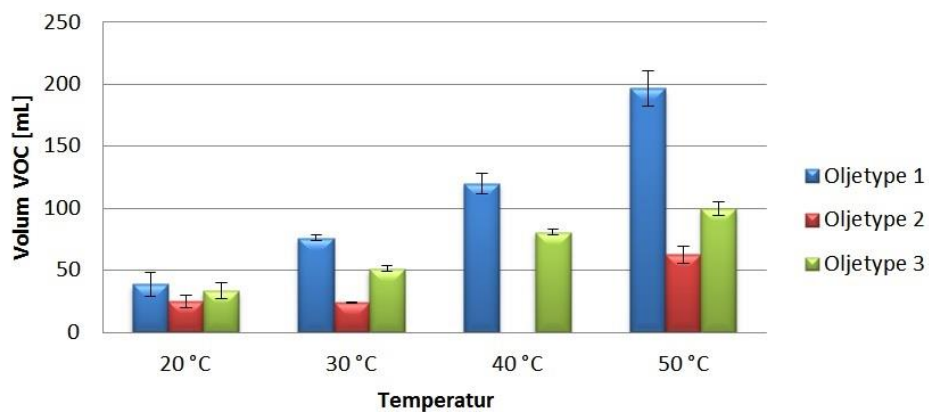
#### Tabell 8: VOC måling for oljetype 3 med varierende temperatur

Tabell 8 presenterer gjennomsnittresultatene av VOC måling med varierende temperatur for oljetype 3. Tabellen inneholder temperatur, volum råolje, forsøksstid, gjennomsnittlig mengde VOC og avvik mellom resultatene.

Forsøks ID	T [°C]	V <sub>olje</sub> [mL]	t [min]	$\bar{V}_{VOC}$	Std. Avvik
1	20	40	30	33,33	6,32
2	30	40	30	51,30	2,41
3	40	40	20	80,70	2,11
4	50	40	20	99,80	5,66



## VOC måling ved varierende temperaturer



*Figur 20 - VOC måling med varierende temperaturer*

*Stolpediagram som illustrerer gjennomsnittsdata presentert i tabell 6,7 og 8 for alle tre oljetyper. Figuren illustrerer volum VOC ved temperaturspennet 20-50 °C. 40 mL olje ble testet i en erlenmeyerkolbe med totalvolum 320 mL. Standardavvik er vist i diagram med svarte «klemmer».*

### 3.2.2 Bevegelse

Resultater presentert i tabell 9 og 10 er gjennomsnittsmålinger beregnet fra vedlegg IX-X. Den varierende faktoren her er om systemet er statisk eller i bevegelse. To typer bevegelse er presentert, bevegelse i oljen og bevegelse i gassen.

**Tabell 9: VOC måling med bevegelse i olje**

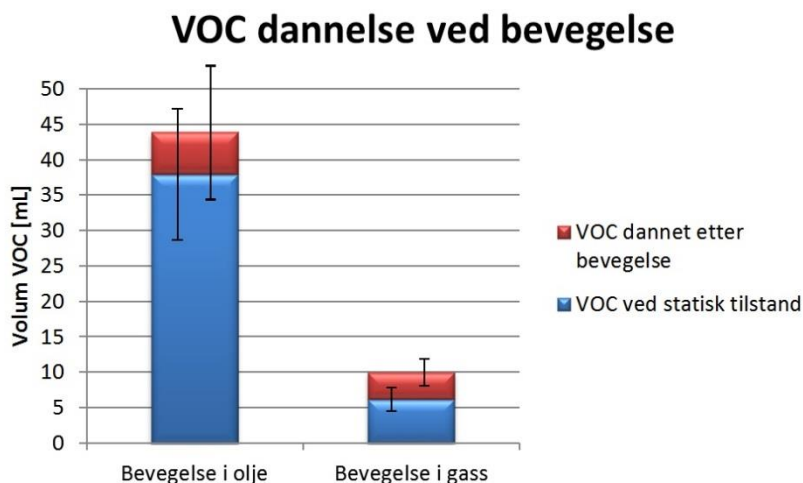
Tabell 9 presenterer gjennomsnittresultatene av VOC måling med og uten bevegelse i oljen for oljetype 1. Forsøks ID 1 og 2 er utført parallelt. Tabellen inneholder informasjon om bevegelse, volum råolje, forsøksid, gjennomsnittlig mengde VOC og avvik mellom resultatene.

Forsøks ID	Bevegelse	V <sub>olje</sub> [mL]	t [min]	$\bar{V}_{VOC}$	Std. Avvik
1	Nei	40	20	38,00	9,12
2	Ja	40	20	43,90	9,15

**Tabell 10: VOC måling med bevegelse i gass**

Tabell 10 presenterer gjennomsnittresultatene av VOC måling med bevegelse i gassfasen for oljetype 3. Forsøks ID 1a og 1b er utført i serie (dvs. at ett forsøk består av forsøks ID 1a + 1b, hvor 1a utføres før 1b). Tabellen inneholder informasjon om bevegelse, volum råolje, forsøksid, gjennomsnittlig mengde VOC og avvik mellom resultatene.

Forsøks ID	Bevegelse	V <sub>olje</sub> [mL]	t [min]	$\bar{V}_{VOC}$	Std. Avvik
1a	Nei	40	10	6,17	1,61
1b	Ja	40	5	3,83	1,89



**Figur 21 - VOC dannelse ved bevegelse**

Stolpediagram som presenterer gjennomsnittsdata presentert i tabell 9 og 10 ved bevegelse og statiske forhold. 40 mL olje ble testet i en erlenmeyerkolbe med totalvolum 320 mL. Figuren illustrerer forskjellen på bevegelse i gass i forhold til bevegelse i olje. Standardavvik er vist i diagram med svarte «klemmer».

### 3.2.3 Overflateareal

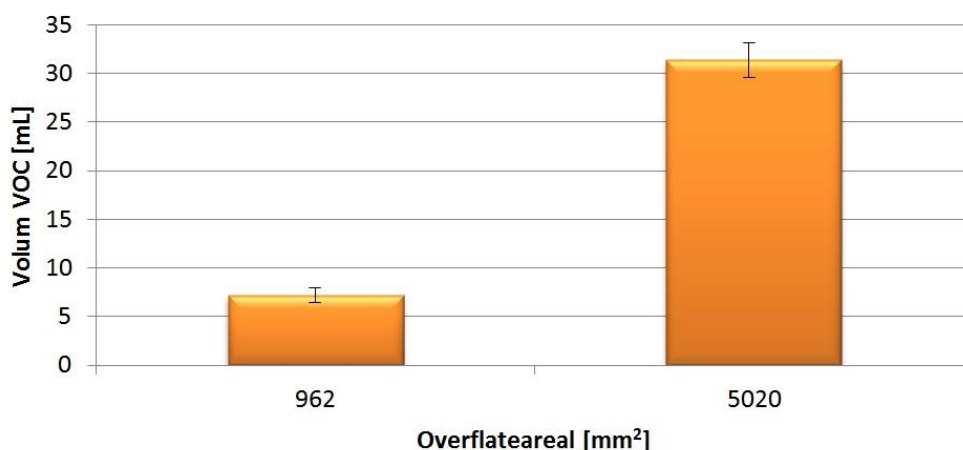
Resultatene presentert i tabell 11 er basert på rådata gitt i vedlegg XI. Den varierende faktoren er overflateareal, som beskrevet i avsnitt 2.3.2.

#### Tabell 11: VOC måling med varierende overflateareal

Tabell 11 presenterer gjennomsnittresultatene av VOC måling med to forskjellige overflateareal for oljetype 3. Tabellen inneholder informasjon om overflateareal, volum råolje, forsøksstid, gjennomsnittlig mengde VOC og avvik mellom resultatene.

Forsøks ID	Areal [mm <sup>2</sup> ]	V <sub>olje</sub> [mL]	t [min]	$\bar{V}_{VOC}$	Std. Avvik
1	5020	40	30	31,40	1,78
2	989,8	40	30	7,20	0,76

### VOC måling ved forskjellig overflateareal



#### Figur 22 - VOC måling ved forskjellig overflateareal

Stolpediagram som presenterer gjennomsnittsdata presentert i tabell 11 ved varierende overflateareal. Høyre søyle representerer forsøk gjort med 40 mL olje testet i en erlenmeyerkolbe med totalvolum 320 mL. Venstre søyle representerer forsøk gjort med 40 mL olje testet i en målesylinder med totalvolum 310 mL. Standardavvik er vist i diagram med svarte «klemmer».

### 3.2.4 Forhold mellom olje og luft

Resultatene presentert i tabell 12 er basert på rådata gitt i vedlegg XII. Tre forskjellige olje/luft forhold er sammenlignet, som beskrevet i avsnitt 2.3.2.

#### Tabell 12: VOC måling med varierende olje/luft forhold

Tabell 12 presenterer gjennomsnittresultatene av VOC måling med to forskjellige olje/luft forhold ved bruk av oljetype 3. Tabellen inneholder informasjon om volum luft, volum råolje, forsøksstid, gjennomsnittlig mengde VOC og avvik mellom resultatene.

Forsøks ID	V <sub>luft</sub> [mL]	V <sub>olje</sub> [mL]	t [min]	$\bar{V}_{VOC}$	Std. Avvik
1	270	40	10	7,20	0,76
2	135	175	10	6,83	0,29
3	67,5	242,5	10	8	0

## 4 Diskusjon

---

I dette kapittelet vurderes resultater fra de forskjellige forsøkene.

4.1 omhandler resultatene presentert i kapittel 3.1 samt vedlegg I-III. Konklusjonen ut fra diskusjon av disse resultatene er basert på hvilken av de to vurderte målemetodene som videre brukes til måling av VOC.

4.2 omhandler resultatene presentert i kapittel 3.2 samt vedlegg IV-XII. 4.3 resulterer i en konklusjon ut fra vurdering av resultatene. Ettersom det var begrenset med tid i forhold til omfanget av denne oppgaven føler vi det er en del faktorer som bør arbeides videre med. Anbefalinger for videre arbeid er presentert under 4.3.1.

### 4.1 Forundersøkelse

Hensikten med forundersøkelsene var å vurdere de mulige metodene med tanke på pålitelighet, nøyaktighet, holdbarhet, brukervennlighet og se at det ikke var lekkasje eller lignende. Vi valgte å sammenligne de målte verdiene våre opp mot de teoretiske verdiene.

I vedlegg I er målingene gjort ved hjelp av vanntank prinsippet som er beskrevet i avsnitt 2.2.2. Forsøks ID 1 og 2 presenterer målingene utført med reagensrør, mens i forsøks ID 3-7 ble erlenmeyerkolbe benyttet. Reagensrør ble testet siden det passet best til disse typer tester med HCl og Zn, da med tanke på nødvendig volum, mens erlenmeyerkolbe vil være mer relevant for råolje testene. Med erlenmeyerkolbe fikk vi et mye større volum luft i systemet. Testene med reagensrør fikk et resultat nærmere den teoretiske verdien grunnet at denne hadde et mindre luftvolum over reaksjonen. Vi går nærmere inn på grunnen til denne feilkilden litt senere i avsnittet.

En annen feilkilde under testene med vanntank er vanndamp dannet i vanntanken. Noe av vannet i vanntanken vil gå over til vanndamp under testene. Når vann går over til vanndamp, vil volumet målt i målesylinder øke. Dermed vil dette ha innvirkning på målt gassutvikling. Gassen som blir målt vil være en sammensetning av luft, fordampet vann og hydrogengass, hvor det aller meste vil være hydrogengass.

Det neste vi skal ta for oss er måling med glassprøyte. Resultatene for glassprøyten står i tabell 5, samt vedlegg II. Det ble brukt både erlenmeyerkolbe og reagensrør i disse forsøkene. Forsøks ID 1 i tabell 5 presenterer resultater med bruk av reagensrør. Disse målingene har et lav avvik i forhold målingene med erlenmeyerkolbe som er presentert med forsøks ID 2 i samme tabell. Grunnen til dette er nevnt tidligere i delkapittelet.

Ser ut fra resultatene at den målte mengden gass er større enn den teoretiske mengden hydrogen. Dette skyldes at reaksjonen mellom HCl og sink er en eksoterm reaksjon. I en eksoterm reaksjon blir det utviklet netto energi, dette medfører oppvarming av luften i systemet. I vårt tilfelle vil denne luften være i erlenmeyerkolben/reagensrøret, samt en liten mengde i gummislangen. Vi anser dette som den største feilkilden ved resultatene våre. Ved reaksjonen mellom HCl og sink vil det være en temperaturøkning på rundt 9 °C på område rundt reaksjonen. Dette fikk vi opplyst muntlig av intern veileder. Vi har derfor valgt å bruke dette i våre utregninger. Resultatet av denne oppvarmingen av luften i erlenmeyerkolben er regnet ut nedenfor. Utregningene er gjort med et HCl volum på 40 mL og temperatur 20,5 °C. (Rystad & Lauritzen, 2010)

Ligning 7:

$$n = \frac{pV}{RT}$$

$$n_1 = \frac{pV_1}{RT_1} = \frac{1,01325 \cdot 10^5 \cdot 0,28 \cdot 10^{-3}}{8,3145 \cdot 293,65} \text{ mol} = 0,0116 \text{ mol}$$

$$n_2 = n_1$$

$$V_2 = \frac{nRT_2}{p} = \frac{0,0116 \cdot 8,3145 \cdot 302,65}{1,01325 \cdot 10^5} \text{ m}^3 = 2,88 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$\Delta V = 288 \text{ mL} - 280 \text{ mL} = 8 \text{ mL}$$

Vi ser ut fra resultatet i ligning 7 at volumøkning pga. eksoterm reaksjon er 8mL. Om en sammenligner dette resultatet med forsøks ID 6 og 7 i vedlegg II, ser en at hvis vi trekker dette volumet fra målingene, vil resultatet bli tilnærmet lik teoretisk mengde.

Et tiltak som ble gjort for å forhindre innvirkningen av den eksoterme reaksjonen, var å sette erlenmeyerkolben i et vannbad. Vannbadet var et målebeger fylt med romtemperert vann. Hensikten med dette var å kjøle luften som er i erlenmeyerkolben. Resultatet av dette tiltaket er i tabell 4, forsøks ID 2, og tabell 5, forsøks ID 3. Feilmarginen i testene med glassprøyte og med erlenmeyerkolben i vannbad var 0,001 % som er tilnærmet neglisjerbart. I forsøkene med vanntank og erlenmeyerkolben i vanntank ble feilmarginen 4,54 %. Årsaken til at denne feilmarginen ikke ble like bra som med glassprøyten, er vanndampen som dannes i vanntanken som beskrevet tidligere i avsnittet.

En mindre feilkilde var vår evne til å lese av med veldig høy presisjon ettersom avlesningsskalaen på glassprøyten var inndelt i 4 mL intervaller.

I vedlegg III ble testene utført med reagensrør hvor gummislangen mellom glassprøyten og erlenmeyerkolben ble kuttet ned fra 50 cm til 15 cm. Et annet tiltak som ble gjort, var å fylle reagensrøret med 25 mL HCl i forholdt til 10 mL som tidligere. Dette kunne vi gjøre uten at det vil gi negativ innvirkning på resultatet, siden sink er den begrensende faktoren i reaksjonen. Hensikten med disse tiltakene var å minske mengden luft i systemet og for å minimere feilkilder som er uavhengige av glassprøyten. Resultatet av disse tiltakene ble en feilmarginen ble 0,26 % og 0,13 % mellom teoretisk og målt mengde hydrogen.

De siste testene vi gjorde under forundersøkelsen var å teste reservesprøyten for å sjekke om den gav korrekte resultater. Feilmarginen ble 0 %, 0 % og 1,2 %, som presentert i vedlegg IV. Vi konkluderer med at reservesprøyten er svært nøyaktig. Testet også lekkasjespray under disse forsøkene og vi fant ingen lekkasje.

### 4.1.1 Valg av målemetode

Bruk av vannbad forbedret resultatene. Vi fikk begrenset temperaturøkningen i luften som et resultat fra den eksoterme reaksjonen, slik at oppvarming av luften i erlenmeyerkolben omtrent kan neglisjeres. Ettersom avdampning fra råolje ikke er en eksoterm reaksjon, var det ikke nødvendig å bruke vannbadet videre.

Som grunnlag for å sammenligne metodene antok vi at resultatene var normalfordelte, og brukte formler for gjennomsnittsfilmargin, samt beregning av standardavvik for feilmarginen som vist i ligning 8. Resultatene av disse beregningene er presentert i tabell 4 og 5. (Matematikk) (Løvås, 2011)

Ligning 8:

Vanntank:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

$$\bar{x} = \frac{3,03 + 5,26 + 5,13}{3} = 4,47\%$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

$$s = \sqrt{\frac{(3,03 - 4,47)^2 + (5,26 - 4,47)^2 + (5,13 - 4,47)^2}{3}}$$

$$s = 1,02\%$$

Glassprøyte:

$$\bar{x} = \frac{0 + 0,25 + 1,2 + 0 + 0}{5} = 0,29\%$$

$$s = \sqrt{\frac{(0 - 0,29)^2 + (0,25 - 0,29)^2 + (1,2 - 0,29)^2 + (0 - 0,29)^2 + (0 - 0,29)^2}{5}}$$

$$s = 0,47\%$$

Som presentert i resultatene ser vi at glassprøyten både er mest pålitelig, nøyaktig og brukervennlig. Ettersom metoden med vanntank inneholder mer luft og i tillegg inneholder vannmengder, vil feilkildene bli mye mer omfattende ved bruk av denne metoden til måling av VOC. Ettersom målingene våre vil skje med temperaturer mellom 20 og 50 °C vil en del av vannet fordampe, og i tillegg vil større mengder med luft vil bli oppvarmet enn ved bruk av glassprøyte. Dette medfører at det volumet gass vi måler inneholder store deler luft og vanndamp, som gjør at målingen blir mer upålitelige.

Det eneste negative med glassprøytene er at de er ømfintlige for fett. VOC gassen som blir utviklet kan kanskje medføre treghet i stempelen som gjør at målingene over tid kan bli gradvis mindre nøyaktige.

Vi konkluderer med at glassprøyten er vårt beste alternativ til måling av VOC. Som tiltak til den mulige feilkilden velger vi å teste motstanden mellom stempel og sylindere med jevne mellomrom. Med antydning til treghet i stempelen vil sprøyten bli vasket i laboratorieoppvaskemaskinen.

## 4.2 VOC

Diskusjon av mulige faktorer som har innvirkning på mengde VOC avdampet fra råolje er presentert i avsnittene 4.2.1-4.2.5. Faktorene er diskutert uavhengig av hverandre for å kunne konkludere med mulige tiltak direkte tilknyttet hver enkelt faktor.

De to plastkannene à 10 L (beskrevet i avsnitt 2.3), var av oljetype 3. Ved åpning av kannene var det ikke noe overtrykk. Olje fra disse kannene ble testet og det resulterte i svært lav gassutvikling. Vi konkluderte med at plastkannene ikke var tette nok for å holde på VOC, eller at korkene var for dårlig tilskrudd. Testene utført med olje fra disse kannene gav så dårlige resultater sammenlignet med prøver fra jerrykanner at vi valgte å forkaste resultatene.

Som tiltak for å prøve å få en mer kontrollert helling fra jerrykannene, ble det kjøpt inn to påfyllingsrør for jerrykannene (artikkelnummer: 39104 og 39163 fra Biltema). Disse fungerte ikke ettersom at den ene ikke passet til kannene, mens med den andre fikk vi lekkasje ved bruk. Etter noe øving, gikk det problemfritt å helle fra jerrykannen selv uten påfyllingsrør.

Oljetype 2 levert fra Heidrun feltet var som tidligere nevnt veldig tyktflytende. Dette førte til at gassutviklingen gikk veldig sakte og testene tok mer enn to timer hver. Henviser til vedlegg V, VI og VIII for resultater fra forsøk med denne oljetypen. En annen ulempe var at alt utstyret som ble brukt i forbindelse med denne oljetypen, ikke kunne benyttes til forsøkene med de andre oljetypene ettersom det var større mengder olje som satt igjen i utstyret. Det var heller ikke mulig å gjøre utstyret rent.

Aceton ble prøvd som tiltak for å rengjøre utstyret som var i kontakt med olje. Aceton er et kraftig løsemiddel som kunne være en mulighet for å få bort oljerester. Etter flere forsøk med rengjøring ved hjelp av aceton, konkluderte vi med at dette ikke fungerte med våre oljetyper. Utstyr som var i kontakt med oljetype 2, ble ikke bedre etter acetonvask. Vasking med aceton ble forkastet ettersom utstyret var renere uten vask. Papir ble heller brukt til å tørke vekk overflødig olje.

Friksjonen i glassprøytene økte over tid. Dette var noe vi hadde antatt på forhånd ettersom vi visste glassprøytene var ømfintlige. Som tiltak for å opprettholde samme nøyaktighet på målingene ble sprøytene sjekket for mulig overtrykk etter hver måling. Sprøytene ble koblet fra systemet hver dag for å se om det var økt motstand mellom stempel og sylinder. Ved merkbar endring i motstanden ble sprøytene vasket i laboratorieoppvaskemaskin.

Tidlig i testfasen av råolje ble det utført en test hvor VOC dannelse ble notert etter en bestemt tid. Etterpå stod systemet urørt til neste dag for å se om det ble avdampet mer VOC utover den tiden vi mente var tilstrekkelig. Resultatet ble ingen avdamping utover den bestemte tiden.

## 4.2.1 Temperatur

Hovedmålet med temperaturtestene var å se hvor stor innvirkning temperaturforskjeller har for mengde VOC avdampet fra råolje. Tester ble utført med temperaturer på 20-50 °C. De første testene ble utført (se vedlegg V rad 1-12) med oljevolum på 25 mL. Etter samtale med ekstern veileder ble vi enige om å bruke et oljevolum på 10-15 % av testkolben. Oljevolumet ble derfor oppjustert til 40 mL. Alle tester utført f.o.m. 22/4-2014 er utført med 40 mL. 40 mL olje i en erlenmeyerkolbe med totalvolum 320 mL, gir et forhold som vist i ligning 9.

Ligning 9

$$\frac{40}{320} = 12,5\%$$

Forsøk med temperaturer på 20-30 ble utført med bruk av én glassprøyte ettersom målingene var under 100 mL, som er begrensningen på sprøyten. Målingene ved 40-50 °C resulterte i større gassutvikling enn 100 mL. Dette løste vi ved å parallell koble begge sprøytene som beskrevet i avsnitt 2.3.2.

Henviser til tabell 6,7 og 8 for diskusjon av resultater fra tester utført ved forskjellige temperaturer med olje levert fra oljefeltene Skarv og Åsgard. All rådata for testene utført med varierende temperatur er presentert i vedlegg V-VIII.

### Tabell 13: Prosentvis økning av VOC ved temperaturøkning

Tabell 13 presenterer prosentvis økning i avdampning fra råolje ved temperaturøkning i forhold til avdampning ved 20 °C for oljetype 1 og 3. Temperaturspenn benyttet er 20-50 °C.

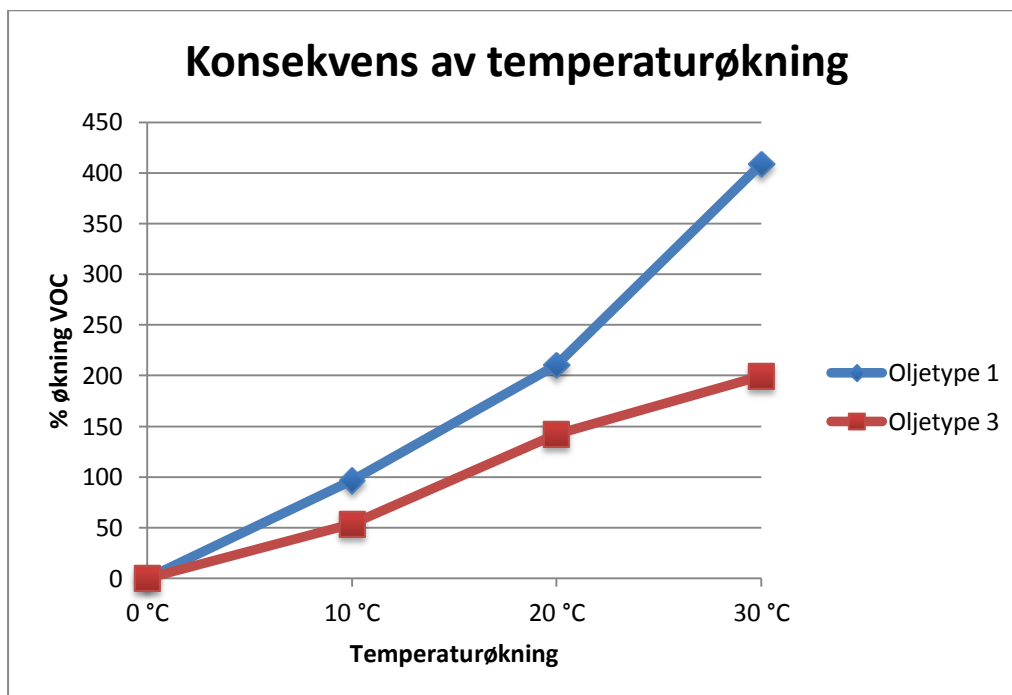
Oljetype	Temperaturøkning [°C]	% økning $\bar{V}_{VOC}$
1	10	96,84
1	20	210,20
1	30	408,65
3	10	53,91
3	20	142,12
3	30	199,43

Oljetype 1 har en kraftig økning i VOC dannelse ved relativt små temperaturendringer. Med en økning fra 20-30 °C blir volumet VOC dannet omtrent doblet (96,84 % økning). Videre oppvarming gav økt volum VOC dannet. Oljetype 3 gav også relativt stor økning i VOC dannelse ved oppvarming.

Økningen i VOC dannelse var ikke like stor ved bruk av oljetype 3 som ved oljetype 1. Oljetype 3 er som nevnt i tabell 1 mindre tyntflytende enn oljetype 1. Vi konkluderer med at oljetype 1 inneholder mer lette komponenter enn oljetype 3.

Ser ut fra tabell 13 at temperatur er en svært viktig faktor. Økningen er tilnærmet lineær i temperaturområdet vi har undersøkt. Økningen er godt illustrert i figur 23.





Figur 23 - Konsekvens av temperaturøkning

Grafene viser prosentvis økning i avdampning fra råolje ved temperaturøkning i forhold til avdampning ved 20 °C. Referansetemperaturen er presenter som 0 °C på horisontal akse i diagrammet. Data er hentet fra tabell 13.

Standardavvik er utregnet og presentert i tabell 6,7 og 8 med faste verdier. Omregnet avvikene vha. ligning 10 til prosent av gjennomsnittsmåling for bedre presentasjon av nøyaktigheten til målingene.

Ligning 10:

$$\frac{\text{standardavvik}}{\text{gjennomsnittsmåling}}$$

Tabell 14: Prosentvis avvik ved forsøkene ved varierende temperatur

Tabell 14 presenterer avvikene gitt i tabell 6, 7 og 8 i forhold til gjennomsnittlig målt volum VOC ved varierende temperatur.

Oljetype	Temperatur [°C]	% avvik
1	20	24,10
1	30	3,29
1	40	6,65
1	50	7,27
3	20	18,96
3	30	4,70
3	40	2,61
3	50	5,67

Ser av tabell 14 at målingene ved 30-50 °C at avvikene er relativt lave (2,61-7,27 %). Temperaturen under disse målingene ble nøye overvåket og avviket aldri mer enn med 1 °C. Det vil med andre ord si at målingene var pålitelige. Målingene utført ved 20 °C er mer avvikende (18,96-24,10 %). Grunnen til dette er at målingene er utført ved romtemperatur rundt 20 °C. Romtemperaturen har vi målt med termometer og den har variert med opp til 2 °C.

Når romtemperaturen avviket fra 20 °C, hadde vi ikke noe mulighet for å endre temperaturen. Vannbadet kunne ikke brukes til justering av romtemperaturen ettersom det kun kan brukes på 5 °C over omgivelsestemperatur, eller høyere (refererer til vedlegg XIII). Ettersom vi har konkludert med at temperatur er en forholdsvis viktig faktor, vil disse avvikene i temperatur medføre utslag i resultatene.

Enkelte målinger avviker mye og feilkilder er vurdert. Målingene i Vedlegg VIII rad 3-5 skyldes større friksjon i glassprøyten. Sprøyten er etter disse målingene blitt vasket i laboratorieoppvaskemaskin. Målingene presentert i vedlegg VII rad 6-7 skyldes lekkasje, dette ble påvist ved bruk av lekkasjespray. Tiltak for denne feilkilden var å bytte gummislange og sprøytespiss. Etter tiltakene ble resultatene sammenlignbare igjen.

#### 4.2.2 Olje/luft forhold

Henviser til resultater ved forskjellige olje/luft forhold i tabell 12. Ser av resultatene at selv ved drastiske endringer i olje/luft forholdet er VOC dannelsen tilnærmet konstant. Forskjellen i VOC målt fra størst til minst olje/luft forhold er på kun 11,1 %. Avvik i testene er svært lave (maksimalt 10,6 %).

Det første forsøket med hvert forhold ble utført over et tidsrom på 30 minutt. Likevekten så ut til å være oppnådd innen 10 minutt. Vi konkluderte derfor med at et tidsrom på 10 minutt var tilstrekkelig for de neste forsøkene.

Resultatene bekrefter vår teori om at det dannes en lokal likevekt i grensesjiktet mellom væske- og gassfase. Dette medfører at store mengder gass, og store mengder olje ikke vil ha direkte innvirkning på VOC dannelse, gitt at andre faktorer som omtales i rapporten holdes konstante.

En mulig feilkilde til disse forsøkene kan være måleutstyret som ble benyttet. Målesylinderen som inneholdt oljen hadde relativt liten indre diameter, som resulterte i at helling uten å få oljesøl på sylinderveggen ble vanskelig. Dette kan ha innvirkning på resultatene våre.

### 4.2.3 Bevegelse

Teorien bak bevegelsestestene er basert på Le Châteliers prinsipp. Når en endring i systemet forekommer etter oppnådd likevekt, vil likevekten deretter endres. Formålet med disse testene var å forstyrre den lokale likevekten ved å innføre bevegelse i deler av systemet. Vi testet råolje som beskrevet i avsnittet 4.2.1 med 20 °C. For testene utført med bevegelse i oljen, er oljetype 1 benyttet. For testene utført med bevegelse i gassen, er oljetype 3 benyttet. Råoljen som ble benyttet i forsøkene hadde gjennomsnittlig lavere VOC utvikling i forhold til tidligere forsøk, og dette kan være deler av grunnen til at avvikene ble forholdsvis store. (Wikipedia)

#### Diskusjon av resultater for bevegelse i oljefasen av systemet.

Refererer til tabell 9 for gjennomsnittlige resultater av tester utført med bevegelse i oljen. Ser av resultatene at vi får en økt mengde VOC avdampet på 15,52 % i bevegelsestestene sammenlignet med de parallelle statiske testene. Avvikene på disse resultatene var relativt store sammenlignet med tester av andre faktorer. Dette medfører at resultatene ikke er like pålitelige som i andre forsøk.

#### Diskusjon av resultater for bevegelse i gassfasen av systemet.

Refererer til tabell 10 for gjennomsnittlige resultater av tester utført med bevegelse i gassen. Resultatene forteller oss at den lokale likevekten blir brutt med sirkulasjon i gassfasen, som medfører mer dannelse av VOC. Den eneste måten tilgjengelig for oss til å utføre denne typen forsøk var ved bruk av 250 mL målesylinder. Målesylinderen har relativt lite overflateareal, dette medførte at gassutviklingen ble svært lav. Som tidligere nevnt er avlesningsmulighetene på glassprøyten dårlig ved så lave verdier. Avvikene ble derfor relativt store også ved disse forsøkene.

*Tabell 15: Prosentvis økning av VOC ved bevegelse i olje- og gassfase.*

*Tabell 15 presenterer økningen i volum VOC som er omtalt i tabell 9 og 10. Den prosentvise økningen er utregnet med å dele økningen på volum VOC utviklet ved statiske forhold.*

Bevegelse	% økning $\bar{V}_{VOC}$
Oljefase	15,52
Gassfase	62,07

Ser ut fra tabell at bevegelse i gassfasen har større innvirkning på VOC dannelse enn bevegelse i oljefasen. Vi konkluderer i at bevegelse i gassfasen er en viktig faktor.

#### 4.2.4 Overflateareal

Referer til resultater av variasjon av overflateareal presentert i tabell 11. Oljetype 3 er benyttet i alle forsøkene. Ville gjerne kjørt parallelle tester med oljetype 1 også, men gikk tom 29/4 for denne oljetypen. Ser av forholdet mellom  $\bar{V}_{VOC}$  i de forskjellige testene er direkte tilknyttet arealet..

*Tabell 16: Forhold i overflateareal sammenlignet med forhold i VOC dannelse.*

*Tabell 16 presenterer en sammenligning av resultater gitt i tabell 11. Forhold mellom de forskjellige arealene og de målte mengdene VOC er representert ved forsøks ID 1 dividert på forsøks ID 2.*

Arealforhold	VOC forhold
5,07	4,36

I tabell 16 er det illustrert at  $\bar{V}_{VOC}$  øker i takt med overflateareal. Dvs. økt overflateareal resulterer i økt VOC dannelse.

#### 4.2.5 Beregning av friksjon i glassprøyten

Som en tilleggs test valgte vi å måle overtrykket i systemet med et barometer for å kunne beregne friksjonen mellom stempel og sylindervegg i glassprøyten.

Barometer ble benyttet for å måle størrelsen på overtrykket som dannes i starten av gassutviklingen. Maksimalt overtrykk ble målt til 475 Pa. Overtrykket holdt seg konstant de 10 første sekundene for så å avta til ca. 425 Pa. Som grunnlag for beregning av friksjon i sprøyten er 425 Pa benyttet i ligning 11.

*Ligning 11:*

$$P = \frac{F}{A}$$

$$F = P * A$$

$$F = 425 * 10^{-6} \text{ MPa} * \left( \pi * \left( \frac{34,2 \text{ mm}}{2} \right)^2 \right) = 0,39 \text{ N}$$

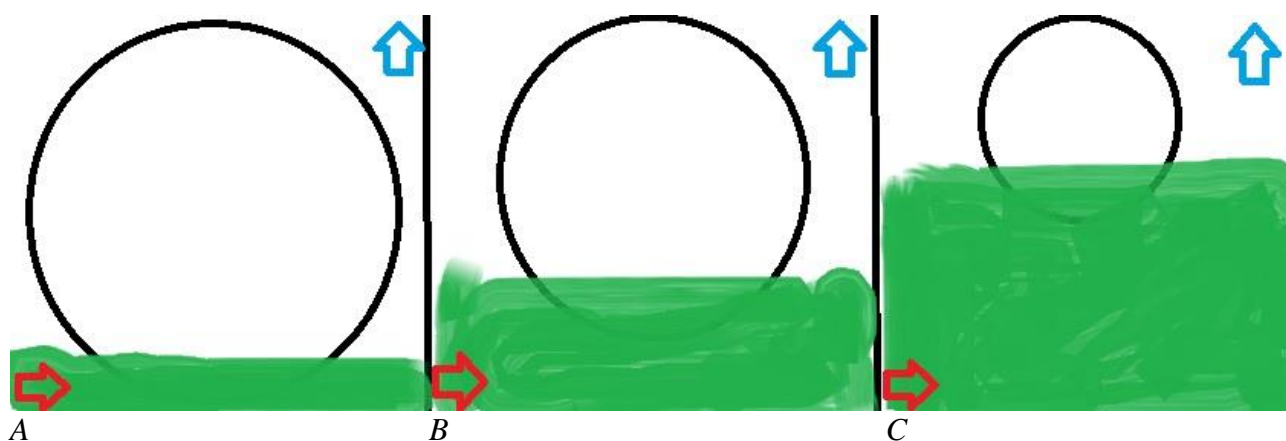
Ser at friksjonen i glassprøyten er veldig lav, noe som resulterer i pålitelige målinger.

## 4.3 Konklusjon

Etter grundig utført laboratoriearbeid med utdypende analyse av resultater har vi funnet frem til hvilke faktorer vi mener har størst betydning for avdamping fra råolje.

Den mest utslagsgivende faktoren mener vi er temperatur. Temperatur var den faktoren vi utførte flest forsøk med. Store mengder rådata er presentert i vedlegg V-VIII. Vi ser av resultatene at temperaturendring gir store utslag for avdamping ved oljetype 1 og 3. En lavere temperatur på råoljen ved lasting/lossing av oljetankere vil føre til en kraftig reduksjon i utslipp av VOC. Mulige tiltak for å redusere temperatur på oljen vil være en form for kjøling.

En annen faktor vi vurderer som viktig er overflateareal. Avdamping fra råolje vil være omtrent direkte proporsjonal med kontaktarealet mellom olje og gassen over. En mulig løsning til reduksjon av overflateareal er vist i figur 24. Prinsippet går ut på å minimere kontaktareal ved hjelp av en «storskala ballong funksjon», hvor en har mulighet for å justere ballongens størrelse. Hensikten blir at ballongen vil være i kontakt med oljen over ett stort areal, dette minsker kontaktarealet mellom olje og gass, og som igjen resulterer i mindre avdamping.



Figur 24 - Mulig tiltak for reduksjon av kontaktareal

Figuren illustrerer påfylling av en oljetank ved bruk av «storskala ballong funksjon». Røde piler illustrerer oljestrøm, blå piler illustrerer gass til riser, grønn farge illustrerer råolje. A: start av lasting. B: midt i lasting. C: slutten av lasting.

Bevegelse i gassfase gav økning i avdamping. Vi fikk informasjon fra ekstern veileder om at hastigheten på inertgassen som tilføres oljetankene ved lossing er på rundt 10m/s. Mulige tiltak for reduksjon av utslipp kan være å redusere hastigheten på inertgassen. En annen mulighet kan være å finne en ny metode for tilførsel av inertgass som resulterer i mindre bevegelse i gassen over råoljen. Bevegelse i oljen gav relativt lave utslag sammenlignet med bevegelse i gassfasen. Vi konkluderer med at ressurser heller bør brukes på begrensning av bevegelse i gassfasen.

Vi undersøkte også om variasjon i olje/luft forhold hadde innvirkning på avdamping fra råolje. Resultatene gav tilnærmet konstant mengde avdamping, selv ved store forskjeller i olje/luft forhold. Det vi kan konkludere med ut fra resultatene er at det oppstår en lokal likevekt mellom råoljen og gassfasen.

## 4.4 Anbefaling for videre arbeid

Ettersom forskning på VOC er et stort og omfattende tema er det vanskelig for oss å kunne si oss helt ferdige etter fire måneders arbeid. Vår rapport kan gi grunnlag for videre forskning og utredning. Vår erfaring fra utført lab arbeid har i senere tid gitt oss noen idéer for videre arbeid.

Tester med tilførsel av frisk luft er en av dem. Etter et par av testene våre, prøvde vi å ta korken av målekolben vår. Etter å ha hatt korken av i et minutt satte vi den på igjen og VOC dannelsen økte. Ettersom vi ikke hadde rett utstyr eller tid til overs, fikk vi ikke gått grundig inn på dette.

Et annet forslag er å ha et lukket system med trykkmåling for måling av damptrykket til oljen. Damptrykket kan videre brukes til å finne mass transfer coefficient, og videre studere masseoverføringen fra væske til gass.

I våre forsøk brukte vi erlenmeyerkolbe og målesylinder under forsøkene. Disse har en annen geometrisk form enn en oljetank. Et forslag vil da være å benytte en «tankformet» beholder for råoljen under forsøkene. Dette hadde vi ikke mulighet til ettersom vi ikke kunne holde systemet lukket med det utstyret vi disponerte.

Råolje ved lastning av råolje kan være opp mot 60 °C. Glassprøytene våre var en begrensning for at vi ikke fikk utført tester ved denne temperaturen og ved at vi bare kunne måle opp til 200 mL VOC.

Andre typer bevegelse samt flere hastigheter på bevegelse i gassfase, kan være interessant å se videre på.

Forsøkene med varierende olje/luft forhold ble som nevnt i 4.2.2 utført med målesylinder med relativt liten indre diameter. Til videre forsøk kan det lønne seg å ha utføre slike tester i en målesylinder med større diameter for å begrense oljesøl på innsiden av sylinderveggen.

## Referanser

---

- Mcgraw Hill Higher Education. (u.d.). Hentet 2014 fra Mcgraw Hill Higher Education:  
[https://highered.mcgraw-hill.com/sites/0072495855/student\\_view0/chapter2/animation\\_\\_how\\_diffusion\\_works.html](https://highered.mcgraw-hill.com/sites/0072495855/student_view0/chapter2/animation__how_diffusion_works.html)
- Chemistry Davidson. (u.d.). Hentet 2014 fra Chemistry Davidson:  
<http://www.chm.davidson.edu/vce/equilibria/BasicConcepts.html>
- CRC Industries. (u.d.). Hentet 2014 fra CRC Industries:  
[http://www.crcind.com/csp/web/ProdDisp.csp?lng=3&idx=407108&country=OTHER&product=LEAKFINDER&business=INDUSTRY&CSPCHD=00000001000041pkuirILc0000gtm3c2oh6L35KK\\$\\_4n5ekQ--](http://www.crcind.com/csp/web/ProdDisp.csp?lng=3&idx=407108&country=OTHER&product=LEAKFINDER&business=INDUSTRY&CSPCHD=00000001000041pkuirILc0000gtm3c2oh6L35KK$_4n5ekQ--)
- Energilink. (u.d.). Hentet 2014 fra Energilink: <http://energilink.tu.no/leksikon/oljedamp.aspx>
- Haugesund Avis. (u.d.). Hentet 2014 fra Haugesund Avis: <http://www.h-avis.no/nyheter/ser-en-fossil-framtid-1.1776892>
- Hvafor. (u.d.). Hentet 2014 fra Hvafor: <http://www.hvafor.no/vitenskap/hvorfor-fordamper-vann-som-ikke-koker>
- Hyperphysics. (u.d.). Hentet 2014 fra Hyperphysics: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/kinetic/idegas.html>
- Knutsen OAS Shipping AS. (u.d.). Hentet 2014 fra Knutsen OAS Shipping AS:  
<http://knutsenoas.com/about-knutsen-offshore-tankers/history/>
- Knutsen OAS Shipping AS. (u.d.). Hentet 2014 fra Knutsen OAS Shipping AS:  
<http://knutsenoas.com/knutsen-technology/knutsen-compressed-natural-gas-technology-png%C2%AE/>
- Knutsen OAS Shipping AS. (u.d.). Hentet 2014 fra Knutsen OAS Shipping AS:  
<http://knutsenoas.com/knutsen-technology/knutsen-voc-technology-kvoc%c2%ae/>
- Knutsen OAS Shipping AS. (u.d.). Hentet 2014 fra Knutsen OAS Shipping AS:  
<http://knutsenoas.com/>
- Knutsen OAS Shipping AS. (u.d.). Hentet 2014 fra Knutsen OAS Shipping AS:  
<http://knutsenoas.com/about-knutsen-offshore-tankers/history/>
- Knutsen OAS Shipping AS. (2014). *Knutsen OAS Shipping AS*. Hentet fra  
<http://knutsenoas.com/about-knutsen-offshore-tankers/history/>
- Kpt Komet. (u.d.). Hentet 2014 fra Kpt Komet:  
[http://www.kptkomet.no/produkter/\\_no\\_kjemi\\_glassutstyr\\_\\_og\\_\\_tilbeh%25C3%25B8r\\_23/draapetellere-og-pipetter/vnr/021550/](http://www.kptkomet.no/produkter/_no_kjemi_glassutstyr__og__tilbeh%25C3%25B8r_23/draapetellere-og-pipetter/vnr/021550/)
- Løvås, G. G. (2011). *Statistikk for universiteter og høyskoler 2. utgave*. Oslo: Universitetsforlaget AS.
- Matematikk. (u.d.). Hentet 2014 fra Matematikk:  
<https://www.matematikk.org/artikkel.html?tid=68746>
- Miljødirektoratet. (u.d.). Hentet 2014 fra Miljødirektoratet:  
<http://www.miljodirektoratet.no/no/Tema/Luft/VOC/>
- Miljødirektoratet. (u.d.). Hentet 2014 fra Miljødirektoratet:  
[http://www.miljodirektoratet.no/old/klif/publikasjoner/luft/1735/ta1735\\_09.html](http://www.miljodirektoratet.no/old/klif/publikasjoner/luft/1735/ta1735_09.html)
- Miljølære. (u.d.). Hentet 2014 fra Miljølære:  
[http://www.miljolare.no/tema/avfall/artikler/olje\\_kjemikal.php](http://www.miljolare.no/tema/avfall/artikler/olje_kjemikal.php)
- Miljøstatus. (u.d.). Hentet 2014 fra Miljøstatus:  
<http://www.miljostatus.no/Tema/Luftforurensning/Sur-nedbor/NMVOC/>
- Naturfag. (u.d.). Hentet 2014 fra Naturfag: [http://naturfag.info/4fenomener/d\\_kjemiske.htm](http://naturfag.info/4fenomener/d_kjemiske.htm)
- Nedregaard, T. (2003). *Produksjon av olje og gass*. Bergen: Vett & Viten AS.
- New Mexico Tech. (u.d.). Hentet 2014 fra New Mexico Tech:  
<http://infohost.nmt.edu/~jaltig/VolHydrogen.pdf>
- Old leather shoe. (u.d.). Hentet 2014 fra Old leather shoe:

<http://oldleathershoe.com/wordpress/?p=504>

Pedersen, S. E., Gustavsen, J., Kaasa, S., & Olsen, O. (2010). *Teknisk formelsamling med tabeller*. Oslo: Gyldendahl Undervisning.

Rystad, B., & Lauritzen, O. (2010). *Kjemi og miljøkunnskap 3. utgave*. Trondheim: NKI Forlaget. Science Daily. (u.d.). Hentet 2014 fra Science Daily:

<http://www.sciencedaily.com/articles/e/evaporation.htm>

Sintef. (u.d.). Hentet 2014 fra Sintef: <http://www.sintef.no/home/MARINTEK/About-MARINTEK/Services/Services1/VOC-Emission-from-Crude-Oil-carriers/About-VOC-Emission-from-Crude-Oil-Carriers/>

Sintef. (u.d.). Hentet 2014 fra Sintef: <http://www.sintef.no/home/MARINTEK/About-MARINTEK/>

Skogestad, S. (2009). *Prosessteknikk, Masse- og energibalanser*. Oslo: Tapir Akademisk forlag.

Store norske leksikon. (u.d.). Hentet 2014 fra Store norske leksikon:

<http://snl.no/G%C3%B6teborg-protokollen>

Store norske leksikon. (u.d.). Hentet 2014 fra Store norske leksikon: <http://snl.no/fordamping>

Strand, J. E., Strand, B., & Nysterud, A. (u.d.). Hentet 2014 fra NTNU:

<http://www.ipt.ntnu.no/~jsg/undervisning/naturgass/oppgaver/Oppgaver2003/03NysterudStrandStrand.pdf>

Wikipedia. (u.d.). Hentet 2014 fra Wikipedia: [http://en.wikipedia.org/wiki/Le\\_Chatelier's\\_principle](http://en.wikipedia.org/wiki/Le_Chatelier's_principle)

Wikipedia. (u.d.). Hentet 2014 fra Wikipedia:

[http://en.wikipedia.org/wiki/Volatile\\_organic\\_compound](http://en.wikipedia.org/wiki/Volatile_organic_compound)

Wikipedia. (u.d.). Hentet 2014 fra Wikipedia: [http://no.wikipedia.org/wiki/Knutsen\\_OAS\\_Shipping](http://no.wikipedia.org/wiki/Knutsen_OAS_Shipping)



## Vedlegg

---

### I

Tabell 17 – Målt gassutvikling av hydrogen med vanntank

Forsøks ID	T [°C]	Zn [g]	HCl [mL]	Vannkjøling	H <sub>teoretisk</sub> [mL]	H <sub>målt</sub> [mL]	Feilmargin [%]
1	20,7	0,209	10	Nei	-	-	-
2	20,7	0,600	10	Nei	221,3	225	1,67
3	21,1	0,611	10	Nei	225,7	230	1,90
4	20,9	0,218	10	Nei	80,5	85	5,59
5	20,1	0,215	10	Ja	79,1	81,5	3,03
6	20,2	0,222	10	Ja	81,7	86	5,26
7	20,3	0,222	10	Ja	81,8	86	5,13

**II**

Tabell 18 – Målt gassutvikling av hydrogen med glassprøyte

Forsøks ID	T [°C]	Zn [g]	HCl [mL]	Vannkjøling	H <sub>teoretisk</sub> [mL]	H <sub>målt</sub> [mL]	Feilmargin [%]
1	20,4	0,207	10	Nei	76	79	3,54
2	20,6	0,214	10	Nei	79	82	3,93
3	20,5	0,217	10	Nei	80	81,5	1,89
4	20,6	0,215	10	Nei	79	81,5	2,77
5	20,6	0,205	10	Nei	-	-	-
6	20,6	0,217	10	Nei	80	90	12,50
7	20,5	0,198	10	Nei	73	77	5,48
8	20,5	0,217	10	Ja	80	80	0
9	20,5	0,22	10	Ja	80,3	80,5	0,25

Tabell 19 – Målt gassutvikling av hydrogen med glassprøye (mindre luft volum)

Forsøks ID	Temperatur [°C]	Zn [g]	HCl [mL]	H <sub>teoretisk</sub> [mL]	H <sub>målt</sub> [mL]	Feilmargin [%]
1	20,1	0,211	25	77,7	77,5	0,26
2	20,3	0,208	25	76,6	76,5	0,13

## IV

Tabell 20 - Testing av reservesprøyte og bruk av lekkasjespray

Forsøks ID	T [°C]	Zn [g]	HCl [mL]	Vannkjøling	H <sub>teoretisk</sub> [mL]	H <sub>målt</sub> [mL]	Feilmargin [%]
1	21,0	0,225	10	Ja	83	84	1,2
2	21,0	0,210	10	Ja	77	77	0
3	21,1	0,216	10	Ja	80	80	0

Tabell 21 - Resultater oljeprøver ved 20 °C

Forsøks ID	Oljetype	Dato	V <sub>olje</sub> [mL]	V <sub>luft</sub> [mL]	t <sub>reaksjon</sub> [min]	V <sub>VOC</sub> [mL]
1	1	8/4-2014	25	295	30	36,5
2	1	8/4-2014	25	295	30	- <sup>1</sup>
3	1	8/4-2014	25	295	30	44
4	1	8/4-2014	25	295	30	52
5	1	8/4-2014	25	295	30	48,5
6	1	8/4-2014	25	295	30	47
7	1	8/4-2014	25	295	30	47
8	1	8/4-2014	25	295	30	46,5
9	1	9/4-2014	25	295	30	57,5
10	1	9/4-2014	25	295	30	46
11	1	9/4-2014	25	295	30	53
12	1	9/4-2014	25	295	30	45
13	2	22/4-2014	40	280	135	28,5
14	2	22/4-2014	40	280	135	21,5
15	3	23/4-2014	40	280	75	42
16	3	23/4-2014	40	280	35	28
17	3	23/4-2014	40	280	30	29
18	3	23/4-2014	40	280	30	39
19	3	24/4-2014	40	280	30	43
20	3	24/4-2014	40	280	30	32
21	3	24/4-2014	40	280	30	31
22	3	24/4-2014	40	280	30	30
23	3	24/4-2014	40	280	30	26
24	1	29/4-2014	40	280	35	31
25	1	29/4-2014	40	280	35	50
26	1	29/4-2014	40	280	35	54
27	1	29/4-2014	40	280	35	33,5
28	1	29/4-2014	40	280	35	32,5
29	1	29/4-2014	40	280	35	33
30	1	29/4-2014	40	280	35	37

<sup>1</sup> Lekkasje

## VI

Tabell 22 – Resultater oljeprøver ved 30 °C

Forsøks ID	Oljetype	Dato	V <sub>olje</sub> [mL]	V <sub>luft</sub> [mL]	t <sub>reaksjon</sub> [min]	V <sub>voc</sub> [mL]
1	2	22/4-2014	40	280	90	24
2	2	22/4-2014	40	280	90	24,5
3	3	23/4-2014	40	280	35	55
4	3	23/4-2014	40	280	30	49,5
5	3	23/4-2014	40	280	30	52,5
6	3	23/4-2014	40	280	30	50
7	3	23/4-2014	40	280	30	49,5
8	1	28/4-2014	40	280	30	80
9	1	28/4-2014	40	280	30	76,5
10	1	28/4-2014	40	280	30	75,5
11	1	28/4-2014	40	280	30	76
12	1	28/4-2014	40	280	30	73

**VII**

Tabell 23 – Resultater oljeprøver ved 40 °C

Forsøks ID	Oljetype	Dato	V <sub>olje</sub> [mL]	V <sub>luft</sub> [mL]	t <sub>reaksjon</sub> [min]	V <sub>VOC</sub> [mL]
1	3	24/4-2014	40	280	20	83
2	3	24/4-2014	40	280	20	79
3	3	24/4-2014	40	280	20	83
4	3	24/4-2014	40	280	20	79
5	3	24/4-2014	40	280	20	79,5
6	1	28/4-2014	40	280	15	95 <sup>2</sup>
7	1	28/4-2014	40	280	15	59 <sup>3</sup>
8	1	28/4-2014	40	280	15	125,5
9	1	28/4-2014	40	280	15	106
10	1	28/4-2014	40	280	15	124
11	1	28/4-2014	40	280	15	115
12	1	28/4-2014	40	280	15	124
13	1	28/4-2014	40	280	15	126

---

<sup>2</sup> Lekkasje<sup>3</sup> Lekkasje

Tabell 24 – Resultater oljeprøver ved 50 °C

Forsøks ID	Oljetype	Dato	V <sub>olje</sub> [mL]	V <sub>luft</sub> [mL]	t <sub>reaksjon</sub> [min]	V <sub>VOC</sub> [mL]
1	3	24/4-2014	40	280	20	106
2	3	24/4-2014	40	280	20	100,5
3	3	24/4-2014	40	280	20	96,5 <sup>4</sup>
4	3	24/4-2014	40	280	20	92 <sup>5</sup>
5	3	24/4-2014	40	280	20	104 <sup>6</sup>
6	2	24/4-2014	40	280	30	67,5
7	2	24/4-2014	40	280	30	57,5
8	1	28/4-2014	40	280	10	210
9	1	28/4-2014	40	280	10	187,5
10	1	28/4-2014	40	280	10	177
11	1	28/4-2014	40	280	10	209
12	1	28/4-2014	40	280	10	201

---

<sup>4</sup> Friksjon stempel<sup>5</sup> Friksjon stempel<sup>6</sup> Friksjon stempel



**IX**

Tabell 25 – Parallell tester uten og med oljebevegelse

Forsøks ID	Oljetype	Dato	V <sub>olje</sub> [mL]	V <sub>luft</sub> [mL]	t <sub>reaksjon</sub> [min]	V <sub>voc</sub> [mL]	Bevegelse
1	1	29/4-2014	40	280	20	58	Ja
2	1	29/4-2014	40	280	20	54	Nei
3	1	29/4-2014	40	280	20	34,5	Ja
4	1	29/4-2014	40	280	20	33,5	Nei
5	1	29/4-2014	40	280	20	42	Ja
6	1	29/4-2014	40	280	20	32,5	Nei
7	1	29/4-2014	40	280	20	47	Ja
8	1	29/4-2014	40	280	20	33	Nei
9	1	29/4-2014	40	280	20	38	Ja
10	1	29/4-2014	40	280	20	37	Nei

**X**

Tabell 26 – Bevegelse i gass etter likevekt

Forsøks ID	Oljetype	Dato	V <sub>olje</sub> [mL]	V <sub>luft</sub> [mL]	t <sub>reaksjon</sub> [min]	V <sub>voc</sub> [mL]	Bevegelse
1a	3	2/5-2014	40	270	10	8	Nei
1b	3	2/5-2014	40	270	15	14	Ja
2a	3	2/5-2014	40	270	10	5,5	Nei
2b	3	2/5-2014	40	270	15	8	Ja
3a	3	2/5-2014	40	270	10	5	Nei
3b	3	2/5-2014	40	270	15	8	Ja

**XI**

Tabell 27 – Parallele tester med variasjon i overflateareal

Forsøks ID	Oljetype	Dato	V <sub>olje</sub> [mL]	V <sub>luft</sub> [mL]	t <sub>reaksjon</sub> [min]	A <sub>overflate</sub> [mm <sup>2</sup> ]	V <sub>VOC</sub>
1	3	2/5-2014	40	280	30	5020	32
2	3	2/5-2014	40	280	30	5020	32,5
3	3	2/5-2014	40	280	30	5020	33
4	3	2/5-2014	40	280	30	5020	31
5	3	2/5-2014	40	280	30	5020	28,5
6	3	2/5-2014	40	270	30	989,8	8
7	3	2/5-2014	40	270	30	989,8	6,5
8	3	2/5-2014	40	270	30	989,8	7
9	3	2/5-2014	40	270	30	989,8	6,5
10	3	2/5-2014	40	270	30	989,8	8

**XII**

Tabell 28 – Tester med forskjellige olje/luft forhold

Forsøks ID	Oljetype	Dato	V <sub>olje</sub> [mL]	V <sub>luft</sub> [mL]	t <sub>reaksjon</sub> [min]	V <sub>voc</sub> [mL]
1	3	2/5-2014	40	270	30	8
2	3	2/5-2014	40	270	10	6,5
3	3	2/5-2014	40	270	10	7
4	3	2/5-2014	40	270	10	6,5
5	3	2/5-2014	40	270	10	8
6	3	2/5-2014	175	135	30	6,5
7	3	2/5-2014	175	135	10	7
8	3	2/5-2014	175	135	10	7
9	3	2/5-2014	242,5	67,5	30	8
10	3	2/5-2014	242,5	67,5	10	8
11	3	2/5-2014	242,5	67,5	10	8

Teknisk datablad for vannbad.

**1083** **Technical Data**

Temperature range:  
approx. 5 °C above ambient to +99,9 °C  
with water level regulator 1919: approx.  
3 °C above tap water temperature to +99,9 °C  
Temperature constancy (temporal):  $\pm 0,1$  °C  
Shaking motion: reciprocating,  
with on / off switch  
Shaking amplitude: 22 mm  
Exterior dimensions (W x D x H):  
715 x 520 x 330 mm  
Net / gross weight: 28 / 32 kg  
Packing volume: approx. 0.29 m<sup>3</sup>

**■ Order No. 1083**