




DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET

MASTEROPPGAVE

Studieprogram/spesialisering: Offshoreteknologi Teknisk Miljøvern	Vårsemesteret, 2009 Konfidensiell 
Forfatter: Mats Edgar Hallgren (signatur forfatter)
Faglig ansvarlig Torleiv Bilstad Veileder(e): Lucie Addicks (Aker Process Systems AS) Marion Seiersten (Institutt For Energiteknikk)	
Tittel på masteroppgaven: Drift og optimalisering av flash separatoren i en glykol reclamation enhet Engelsk tittel: Operation and optimization of the flash separator in a glycol reclamation unit	
Studiepoeng: 30 p	
Emneord: Monoetylglykol, saltfjerning, flash separator, hydratinhibitor, fortrenningspumpe	Sidetall: 96 + vedlegg/annet: 43 Stavanger, 15. juni 2009

Forord

Denne oppgaven ble utført ved Universitetet i Stavanger våren 2009 ved offshoreteknologi, teknisk miljøvern. Oppgaven omhandler saltfjerning fra MEG/vann-løsninger, samt praktiske problemer ved drift og interne løsninger i et MEG reclamation pilotanlegg.

Jeg vil takke Aker Process Systems AS og Institutt For Energiteknikk (IFE), avdeling Kjeller for å ha tildelt meg denne oppgaven og støtte og hjelp underveis. Spesielt vil jeg takke mine veiledere; Lucie Addicks ved Aker Process Systems AS og Marion Seiersten ved Institutt For Energiteknikk for uvurderlig hjelp med informasjon og beregninger.

En stor takk går også til de ansatte ved både Aker Process Systems AS og Institutt For Energiteknikk som har hjulpet meg både teoretisk og praktisk underveis i arbeidet.

Oppgaven har brakt med seg en stor arbeidsbelastning, men har vært svært interessant å jobbe med og mye lærdom har kommet ut av den. Jeg har fått jobbe både teoretisk og praktisk og det er noe jeg setter stor pris på.

Mats E. Hallgren

Sammendrag

Monoetylenglykol (MEG) benyttes ofte som inhibitor for å unngå hydrater i subsea gasstransportør. MEG er en miljøvennlig inhibitor, som kan resirkuleres om regenerering benyttes. Regenerering av MEG involverer to trinn; fjerning av salt fra MEG/vann-løsningen (reclamation) og fjerning av vann fra MEG/vann-løsningen (reconcentration).

Ved Institutt For Energiteknikk (IFE) har et MEG reclamation pilotanlegg blitt benyttet for å studere denne regenereringsprosessen.

Hovedmålene med denne oppgaven var å:

- Drifte MEG reclamation pilotanlegget og bestemme effekten av to forskjellige interne konstruksjoner i flash separatoren
- Bestemme hva som fører til begrensninger i pumpekapasiteten i pilotanlegget
- Bestemme saltkonsentrasjonen der utfelling vil inntreffe

Konstruksjon A er en enkel løsning uten innvendige konstruksjoner i flash separatoren. Konstruksjon B har montert vortex finder og vortex breaker i flash separatoren. Både konstruksjon A og B har tangentielle innløp

Det har vist seg at begrensninger i pumpehastigheten oppstår i fullskalaanlegg ved noen tilfeller. Det har blitt utført forsøk for å avgjøre om interne konstruksjoner, NPSH eller strømningsforhold kan ha effekt på pumpehastigheten.

For design av fullskalaanlegg er det viktig å vite hvilke saltkonsentrasjoner MEG-løsningen som mottas inneholder, og en studie på saltutfelling og viskositet har blitt utført.

Erfaringer under drift og bearbeiding av analyseresultatene danner grunnlaget for konklusjonen i denne oppgaven.

De viktigste funnene var:

- Vortex finder gjorde salt carry-over uavhengig av sirkulasjonspumpehastighet.
- Konstruksjon A gav opptil 200 ppm NaCl i kondensatet. Konstruksjon B gav opptil 50 ppm i kondensatet.
- Vortex breaker hindret muligheten for gassunderstrømning i flash separatoren.
- Konstruksjon B vil gi et effektivt og kompakt design.
- Pumpebegrensningene i MEG reclamation pilotanlegget skyldes strømningsmønstret mellom innløp til, utløp fra og selve varmeren. Det kan være andre grunner til begrensningene i fullskalaanlegg da disse benytter sentrifugalpumper og ikke fortrenningspumpe, slik det ble gjort i pilotanlegget.
- Utfellingen av NaCl skjer ved 6,1 % når føden inn i flash separator er 50 vekt% MEG og ved 6,6 % når føden består av 80 vekt% MEG.
- Viskositetens avhengighet av salter og MEG-konsentrasjon i flash separatoren har blitt vist og klare trender har blitt funnet.

Forslag til forbedringer av MEG reclamation pilotanlegg:

- Korrosjonsangrep ble avdekket ved åpning av anlegg. Rustfritt stål 316 tålte ikke kombinasjonen av høy temperatur, vann, salter og spor av oksygen. Nytt anbefalt materiale er Duplex eller karbonstål.
- Varmeren ble driftet ved 30 % effekt. En mindre varmer kan spare utgifter, både med hensyn på materiale og energi.
- Kjøleren (platevarmeveksleren) var svært effektiv. Dette kan ha ført til at gassen kondenseres ut for tidlig og bremser væskestrømmen gjennom den. Ved å senke effektiviteten vil kondenseringshastigheten økes.
- Rørdimensjonen for tømning av kondenstank bør økes. Automatisk tømning bruker lang tid. I tillegg bør varmeren slås av ved automatisk tømning slik at ikke temperaturen i flash separatoren stiger.

Innholdsfortegnelse

Forord	I
Sammendrag	II
Nomenklatur	VIII
1 Bakgrunn	1
2 Formål og problemstilling	4
2.1 Intern konstruksjon	4
2.2 Pumpekapasitet	4
2.3 Saltutfelling	4
3 Pilotanlegget	5
3.1 Fødetank	6
3.2 Fødepumpe	6
3.3 Flash separator	7
3.4 Sirkulasjonspumpe	9
3.5 Varmer	10
3.6 Kjøler	11
3.7 Kondenstank	11
3.8 Oppsamlingstank	12
3.9 Styringsenhet	12
3.10 Prøveuttak	13
4 Analysemetoder benyttet i forsøket	14
4.1 Vannkonsentrasjon	14
4.1.1 Standarder	16
4.1.2 Kontroll av Mettler Toledo DL 53 for vannanalyse	16
4.1.3 Analyse av prøve	17
4.2 Lysbrytning	18
4.2.1 Standarder	18
4.2.2 Kalibrering av Mettler Toledo 30GS	19
4.2.3 Analyse av prøve	19

4.3	Kloridanalyser	20
4.3.1	Standarder	21
4.3.2	Kalibrering av Mettler Toledo DL 53 for kloridanalyse	22
4.3.3	Analyse av prøve	22
4.4	Alkalieanalyser	23
4.4.1	Standarder	24
4.4.2	Kontroll av Metrohm 814 USB Sample Processor med 836 Titrando	24
4.4.3	Analyse av prøve	24
4.5	Viskositet	25
4.5.1	Standarder	26
4.5.2	Kalibrering av Anton Paar Physica MCR 301	28
4.5.3	Analyse av prøve	28
5	Forsøksmatrise	30
6	Analyseresultater	32
6.1	Konstruksjon A	32
6.1.1	6 % NaCl, 50 vekt% MEG	32
6.1.2	6 % NaCl, 80 vekt% MEG	33
6.1.3	6 % NaCl, 6 % KHCOO, 50 vekt% MEG	34
6.1.4	6 % NaCl, 6 % KHCOO, 80 vekt% MEG	35
6.1.5	12 % NaCl, 6 % KHCOO, 50 vekt% MEG	36
6.1.6	12 % NaCl, 6 % KHCOO, 80 vekt% MEG	37
6.2	Konstruksjon B	38
6.2.1	6 % NaCl, 50 vekt% MEG	38
6.2.2	6 % NaCl, 80 vekt% MEG	39
6.2.3	6 % NaCl, 6 % KHCOO, 80 vekt% MEG	39
6.2.4	12 % NaCl, 6 % KHCOO, 80 vekt% MEG	40
6.3	Alkalieanalyser	40

7	Interne konstruksjoner (internals).....	41
7.1	Teori	41
7.1.1	Salt carry-over	41
7.1.2	Gassunderstrømning	41
7.1.3	Konstruksjon A.....	42
7.1.4	Konstruksjon B	42
7.2	Resultater	46
7.2.1	Vortex finder – Salt carry-over.....	46
7.2.2	Vortex breaker – Gassunderstrømning	48
7.3	Diskusjon.....	49
7.3.1	Effekten av vortex finder	49
7.3.2	Effekten av vortex breaker	52
8	Pumpekapasitet.....	53
8.1	Teori	53
8.1.1	NPSH – Net Positive Suction Head.....	53
8.1.2	Turbulent strømningsmønster.....	55
8.1.3	Virvelforårsaket vibrasjon	56
8.2	Resultater	57
8.2.1	NPSH – Net Positive Suction Head.....	57
8.2.2	Reynolds tall	59
8.3	Diskusjon.....	63
8.3.1	Tilgjengelig NPSH	63
8.3.2	Strømningsmønster.....	64
8.3.3	Kavitasjon.....	65
9	Saltutfelling	66
9.1	Teori	66
9.2	Resultater.....	67
9.2	Diskusjon.....	71

10	Drift av pilotanlegg.....	73
10.1	Erfaringer.....	73
10.1.1	Drift	73
10.1.2	Pumpehavari	74
10.1.3	Korrosjon.....	74
10.2	Forbedringspotensial	76
10.2.1	Materiale.....	76
10.2.2	Varmer	76
10.2.3	Kjøler.....	76
10.2.4	Tømming av kondenstank	76
10.2.5	Lekkasjesikring.....	77
11	Konklusjon	78
	Referanser.....	79
	Tabeller.....	82
	Figurer	84
	Vedlegg.....	87

Nomenklatur

Beskrivelse av forkortelser og symboler benyttet i rapporten.

Tabell 1: Generell nomenklatur

Symbol	Beskrivelse	Enhet
a	Forbruk av Hydranal-Composite 5	ml
c	Lyshastighet i vakuum	m/s
D	Diameter på rør	m
e	Innveid prøve	g
E	Redokspotensiale	V
E^0	Standard elektrodepotensiale (ved 25 °C)	V
F	Faradays konstant	96485 C/mol
FS	Flash separator	-
h_{fs}	Friksjonsfaktor (Suction Friction Head)	m
h_{ss}	Static Suction Head	m
IFE	Institutt For Energiteknikk	-
KT	Kondenstank	-
ln	Naturlig logaritme (base e)	-
log	Logaritme (base 10)	-
MEG	Monoetylenglykol	-
M_{m_x}	Molar vekt til komponent x	g/mol
n	Lysbrytningsindeks	$^{\circ}B_x$
NPSHa	Net Pressure Suction Head available (tilgjengelig)	m
NPSHr	Net Pressure Suction Head required (nødvendig)	m
N_{Re}	Reynolds tall	-
p	Væskens damptrykk ved aktuell temperatur	m
Q	Pumpehastighet	m^3/h
Qmax	Maksimal pumpehastighet ved gitte betingelser	m^3/h
R	Gasskonstanten	8,314 $J/K \times mol$
T	Temperatur	K
TC	Temperatur	$^{\circ}C$
v	Væskehastighet	m/s
v_p	Lyshastighet i medium	m/s
WE	Vannekvivalent av reagens	mg
Wf_x	Vektfraksjon (vektfraksjon av MEG og vann er på saltfri basis)	%
z	Elektroner involvert i reaksjonen	-
η	Viskositet	cP
ρ	Tetthet	kg/m^3

Alle MEG konsentrasjoner oppgis i vekt% på saltfri basis i rapporten.

Saltkonsentrasjoner oppgis i vekt%.

1 Bakgrunn

Når gass transporteres fra olje/gass-feltene offshore blir det benyttet lange subsea-rør inn til land eller fra satelittfelt til plattformer. Trykket i transportrørene er høyt og temperaturen er lav. Avhengig av gasskomposisjonen vil vannet i gassen kondensere ut, noe som medfører at hydrater kan dannes og tette rørene. Tabell 1-1 viser ved hvilke trykk og temperaturer forskjellige gassblandinger vil kunne danne hydrater.

Tabell 1-1: Trykk og temperatur for hydratdannelse for forskjellige gassblandinger (Chen og Guo, 1996)

Gassblanding	Temperaturintervall (K)	Trykkintervall (bar)
$\text{CH}_4 + \text{C}_2\text{H}_6$	273 - 289	7,3 - 136
$\text{CH}_4 + \text{C}_3\text{H}_8$	274 - 304	2,6 - 689
$\text{CH}_4 + \textit{iso}\text{-C}_4\text{H}_{10}$	274 - 293	1,6 - 100
$\text{CH}_4 + \textit{n}\text{-C}_4\text{H}_{10}$	251 - 301	3,4 - 684
$\text{C}_2\text{H}_4 + \text{C}_2\text{H}_6$	273,9	5,8 - 9,2
$\text{C}_2\text{H}_6 + \text{C}_3\text{H}_8$	273 - 281	4,4 - 20
$\text{C}_3\text{H}_8 + \text{CO}_2$	273 - 285	3,0 - 42

Gasshydrater har mye av de samme egenskapene som snø og is. De dannes ved at et gassmolekyl (organisk molekyl) blir omsluttet av vannmolekyler og krystalliserer.



Figur 1-1: Gasshydrat. Til venstre vises hvordan et gasshydratmolekyl er bygget opp. Til høyre kan man se hvordan en hydratplugg kan se ut. (Addicks, 2008)

Egenskapene til gasshydrater er svært like egenskapene til is, men kan dannes ved høyere temperaturer enn is når trykket øker. Gasshydrater er stabile ved de trykk og temperaturer som ofte er å finne i transportrør fra offshore- til onshoreinnstallasjoner (Østergaard, et al., 2005). Ved transport i rørene subsea fra gassfeltet til land vil hydrater kunne blokkere rørene og skape høye trykk oppstrøms hydratpluggen. Røret kan da bryte og store mengder hydrokarboner slippes ut i omgivelsene. Dette er svært uheldig for nærliggende økosystem, sikkerhet for personer (avhengig av hvor bruddet skjer) og økonomien til selskapet, da de taper produksjon og reparasjonsutgifter vil tillegges (Masoudi, et al., 2004).

Det finnes flere metoder for å unngå hydratdannelse i transportrørene. Disse kan deles i grupper som elektrisk varming av rørene, termodynamiske inhibitorer (MEG eller metanol), lavdoseringsinhibitorer (kinetisk inhibitor eller "antiaglomerants"), samt nye metoder som for eksempel "cold flow".

Monoetylenglykol (MEG) er ofte benyttet. MEG forandrer de termodynamiske egenskapene til væskefasen slik at temperaturen for dannelse av hydrater senkes. I tillegg til å hindre hydrater, vil monoetylenglykol også ha en effekt på korrosjon, scaling, pH og gassløseligheten i væsken (Kaasa, Sandengen og Østvold, 2005).

Fordelen med MEG er at den kan bli benyttet i applikasjoner der gass blir transportert over store avstander. Dette lar seg for eksempel ikke gjøre med elektrisk varming da utgiftene ville blitt altfor høye. I tillegg anses MEG som et miljøvennlig kjemikalie da det ikke produseres store mengder avfall i forbindelse med regenerering. Ulempen med MEG er at det trengs høy konsentrasjon for å unngå hydratdannelse. Typiske konsentrasjoner er fra 50 vekt% og oppover. Siden MEG-konsentrasjonen må være så høy trengs derfor et regenereringsanlegg, slik at MEG kan behandles topside og reinjiseres (closed loop).

Når MEG injiseres i gasstrømmen, vil vannet som bindes til etylenglykolen også bære med seg salter og korrosjonsprodukter. Hvis saltene ikke behandles, vil de kunne felle ut på varme overflater, i separatorer, i ventiler eller i verste fall i subsea rørledninger. Det er derfor nødvendig å separere ut saltene i MEG regenereringssystemet, i tillegg til vannseparasjonen.

MEG regenereringsteknologien består av to trinn; fjerning av salter fra MEG/vann-løsningen (reclamation) og fjerning av vann fra MEG/vann-løsningen (reconcentration).

Salter fjernes i en vakuumkokingsprosess, i en flash separator, der MEG og vann fordampes, mens saltene akkumuleres i væskefasen.

Drift av flash separatoren, som separerer gass fra væske med saltpartikler, kan være utfordrende. Væsken består ikke bare av MEG/vann, men også varierende mengder av ulike typer salter, korrosjonsprodukter, hydrokarboner og produksjonskjemikalier (korrosjonsinhibitor, scale inhibitorer, etc.).

I samarbeid med Aker Process Systems har Institutt for Energiteknikk (IFE) bygget et MEG reclamation pilotanlegg. Dette er et pilotanlegg som måler ca. 1 x 3 x 3 m (b x l x h) og inneholder alle hovedelementene for MEG reclamation som benyttes i fullskala, spesielt flash separator.

I denne rapporten blir det sett på effekten av flash separatoren for gass/væske-separasjon og saltfjerning fra vann/MEG løsninger. Løsninger bestående av henholdsvis 50 vekt% og 80 vekt% MEG har blitt studert med forskjellig viskositet, saltinnhold, sirkulasjonshastigheter, samt forskjellige interne løsninger i separatoren.

2 Formål og problemstilling

Formålet med oppgaven var å studere gass/væske-separasjon i en flash separator i et MEG reclamation pilotanlegg, bygget av Institutt for Energiteknikk (IFE) på oppdrag fra Aker Process Systems AS og IFE. En flash separator benyttes i reclamation av MEG/vann og salter. Parametere som vakuumbet, hydrokarboner, partikler, varierende saltmengder og viskositet gjør gass/væske- og saltseparasjon vanskelig.

Det er tre hovedmål som studeres; intern konstruksjon (internals), pumpekapasitet og saltutfelling.

2.1 Intern konstruksjon

Målet med denne oppgaven var å finne den beste interne konstruksjonen for gass/væske-separasjon i flash separatoren ved forskjellige saltmengder og viskositeter på væsken.

To forskjellige interne konstruksjoner ble testet; uten vortex finder og vortex breaker (konstruksjon A) og med vortex finder og vortex breaker (konstruksjon B). Disse konstruksjonene ble studert ved varierende driftsbetingelser

Formålet med å forsøke forskjellige interne konstruksjoner var å designe en flash separator som er så kompakt som mulig, og som samtidig gir best mulig separasjon.

2.2 Pumpekapasitet

Målet med denne oppgaven var å finne problemet som begrenset pumpekapasiteten for resirkulering av væsken i flash separatoren. Dette ble utført ved å variere resirkuleringsstrømmen (flow) og finne maksimal strømming (Q_{max}) ved forskjellige driftsbetingelser i flash separatoren.

Formålet med å finne årsaker som begrenser pumpekapasiteten var å kunne gi økt sirkuleringshastighet og dermed mer kompakte anlegg.

2.3 Saltutfelling

Målet med denne oppgaven var å bestemme når NaCl begynner å felle ut i flash separatoren ved forskjellige MEG/vann-konsentrasjoner i føden (50 vekt% og 80 vekt%). Dette ble studert ved å variere saltinnholdet i forskjellige MEG/vann-løsninger i flash separatoren. Viskositeten ved de forskjellige saltkonsentrasjonene ble samtidig studert og sammenhengen mellom viskositet, saltinnhold og MEG-konsentrasjon i fødestrøm og i flash separator bestemt.

Formålet med å studere saltutfelling og viskositet var optimalisere drift av flash separator basert på bedre forståelse av væskens egenskaper i separatoren.

3.1 Fødetank

Fødetanken rommet 1 m³. I denne ble MEG og vann blandet for å oppnå ønsket konsentrasjon til forsøkene. Ved å måle hvor mye væsknivået sank under drift kunne fødestrømmen beregnes, da det ikke var montert noen strømningsmåler (flowmeter).

3.2 Fødepumpe

For å fylle separatorene med MEG/vann-løsning før start ble en fødepumpe (sentrifugalpumpe) benyttet. Denne var koblet direkte ned i fødetanken. Pumpen ble kun brukt til fylling av flash separatorene før start, da en kontrollventil (V06) sørget for tilførsel av føde under drift ved hjelp av undertrykk i anlegget. Kontrollventilen (V06) og lavnivåmåleren i separatorene (L03) kontrollerte væsknivået i separatorene. Under drift ble fødepumpen benyttet til sirkulering av væsken i fødetanken for å opprettholde en jevn konsentrasjon.

Tabell 3-1: Fødepumpens parametere og tilhørende verdier.

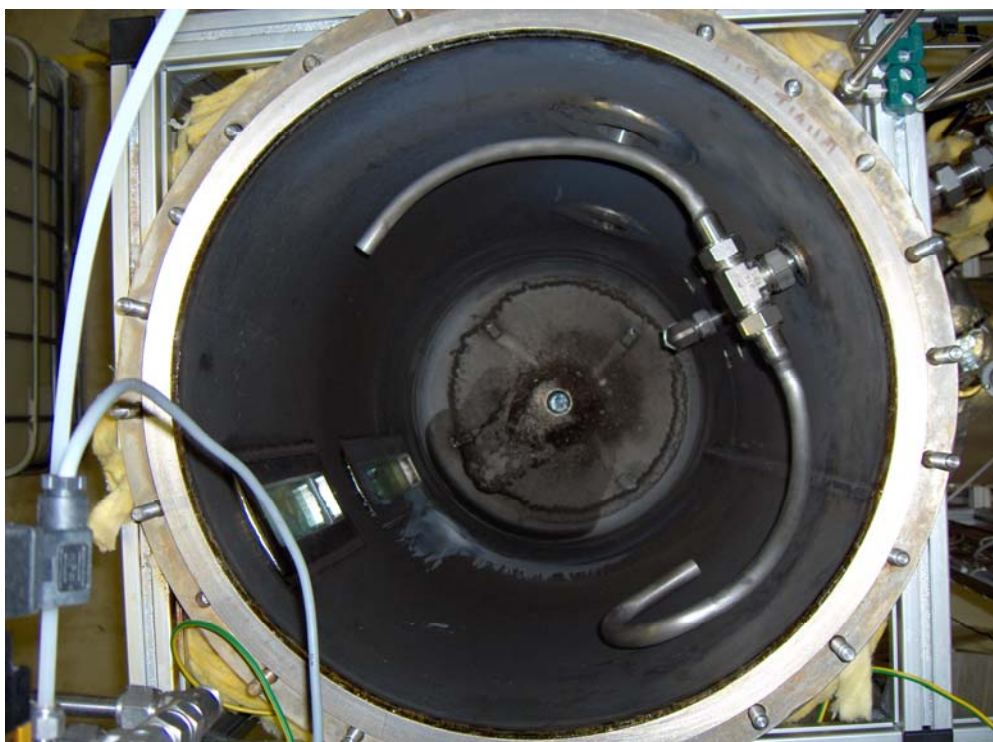
Parameter	Verdi
Type	Sentrifugalpumpe
Effekt	0,37 kW
Strømningsmengde	0,42 – 1,26 m ³ /h

3.3 Flash separator

Trykket i flash separatoren var 0,15 bara og temperaturen ble holdt ved væskens kokepunkt (110-130°C). Væsken i separatoren innstilte seg i likevekt med tilført føde og avdampet væske. Konsentrasjonen av MEG i separatoren var da noe høyere enn MEG-konsentrasjonen på føden til separatoren. I vedlegg 2 finnes et diagram for avlesning av kokepunkts- og kondensasjonstemperaturer mot komposisjon av MEG/vann-løsning ved forskjellige trykk. Det kan fra dette diagrammet finnes at ved 50 vekt% føde vil konsentrasjonen i flash separatoren innstilles på ca. 97 vekt% og koke ved ca. 127 °C, og ved 80 vekt% føde vil konsentrasjonen i separatoren innstilles på ca. 99 vekt% og holde ca. 139 °C ved 200 mmHg (0,267 bara) (Union Carbide Corporation, 1987).

Flash separatoren hadde to innløp– et nedre og et øvre. Det nedre pekte vertikalt nedover, mens det øvre var plassert tangentielt i forhold til separatorveggen for å skape spinn på væsken.

I figur 3-2 ser man hvordan innløpene var plassert. Det nedre innløpet har ikke blitt studert i denne rapporten. Innløpsrørene hadde en diameter på 2 cm. Dette gav en teoretisk innløpshastighet inn i separatoren på mellom $\approx 3 \text{ m/s}$ og $\approx 5,5 \text{ m/s}$.



Figur 3-2: Flash separatorens innside, sett ovenfra.

Det var montert 2 varmeelementer à 2kW langs veggene på flash separatoren. Disse hadde en termometer montert direkte på ett av elementene, men ble kontrollert av termometeren i væsken i separatoren (T02). Det fantes også en termometer på overflaten av separatoren (utvendig) under isolasjonen. Denne hadde ingen kontrollfunksjon.

Trykket i flash separatoren ble målt av en trykkmåler montert på i lokket (P01). Denne måleren kontrollerte nitrogentilførselen, hvis trykket ble for lavt i anlegget. Grunnen til at det ble benyttet nitrogen er korrosjonsfaren ved tilførsel av oksygen, som kan danne gropkorrosjon allerede ved 50 ppb for saltholdige MEG/vann-løsninger (Joosten, et al., 2007). Da separatoren arbeidet under vakuum kan noe oksygen ha trengt inn gjennom tilkoblinger.

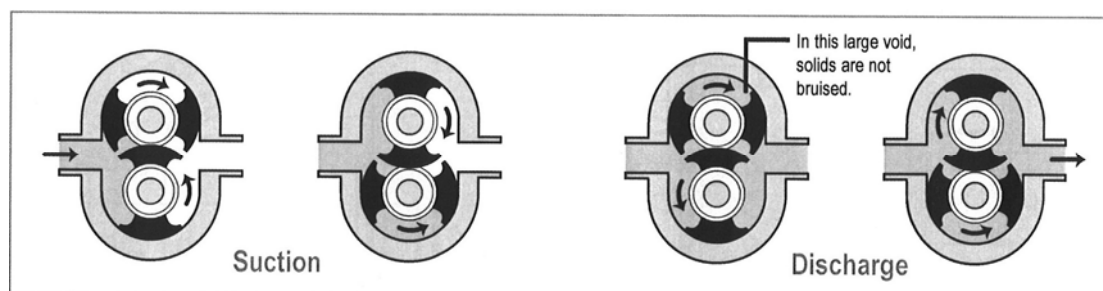
To nivååmalere var montert i flash separatoren; en LL (Low Level) (L03) og en HL (High Level) (L04). LL nivååmaleren styrte væskenivået i flash separatoren. HL måleren var en sikkerhet som stengte fødeventilen (V06) ved for høyt væskenivå.

Tabell 3-2: Flash separatorens parametere og tilhørende verdier.

Parameter	Verdi
Trykk	0,15 bara
Temperatur	≈ 110 – 130°C
Materiale	Titan
Effekt, varmeelementer	2 × 2kW
Pådrag, varmeelement	70 %
Høyde	135 cm
Diameter, indre	54 cm
Volum, totalt	310 liter
Væskehøyde	50 cm
Volum, væske	115 liter

3.4 Sirkulasjonspumpe

Væsken i flash separatoren ble sirkulert gjennom en varmer vha. en sirkulasjonspumpe med kapasitet på opptil 8,2 m³/h. Sirkulasjonspumpen var en fortrenningspumpe som vil si at to hjul med ”vinger” skaper et undertrykk ved innløpet og væsken suges inn. Mellom vingene transporteres væsken og blir presset ut på den andre siden (se figur 3-3) (”Sanitary positive displacement pumps”, 2006). Denne typen pumper tåler å trekke inn gass i korte perioder (Chaurette, 2008).



Figur 3-3: Skisse som beskriver hvordan sirkulasjonspumpen fungerer (”Sanitary positive displacement pumps”, 2006).

Sirkulasjonshastigheten var en av parameterne som ble variert. Etter som sirkulasjonshastigheten ble variert og væsknivået holdt konstant, ble også retensjonstiden variert. I reelle anlegg har væsken en retensjonstid på ca. 3 minutter.

Tabell 3-3: Sirkulasjonspumpens parametere og tilhørende verdier.

Parameter	Verdi
Type	Fortrenningspumpe
Effekt	1,27kW
Maksimal strømningsmengde	8,2 m ³ /h

3.5 Varmer

Varmeren hadde 6 varmeelementer à 4 kW montert. Temperaturen i varmeren ble kontrollert vha. en temperaturmåler i utløpet av varmeren (T01) og en temperaturmåler festet direkte på ett av varmeelementene. Pådraget på varmeelementene ble styrt ved å bestemme temperaturen på utløpet av varmeren, samt ved å sette effektpådraget manuelt.



Figur 3-4: Varmeren sett bakfra (til venstre) og fra siden (til høyre).

Tabell 3-4: Varmerens parametere og tilhørende verdier.

Parameter	Verdi
Effekt	6 × 4kW
Rørdiameter, innløp	5 cm
Rørdiameter, utløp	2 cm
Lengde	120 cm
Diameter, indre	35 cm
Volum, totalt	112 liter

3.6 Kjøler

Fordampet MEG/vann-løsning fra flash separatore ble avkjølt til ca. 20°C vha. en kjøler (platevarmeveksler) og kondensert ut som væske. Det kalde fluidet i kjøleren var vann med en innløpstemperatur på ca. 7°C.

Tabell 3-5: Kjølerens parametere og tilhørende verdier.

Parameter	Verdi
Volum, totalt	1,6 liter
Temperatur, kald væske inn	7,2°C (målt utenpå innløpsrør)

3.7 Kondenstank

I kondenstanken ble kondensat lagret og prøver kunne tas ut. Tanken hadde montert en vakuumpumpe som sugde når kontrollventil V01 ble åpnet. Trykkmåleren P02 åpnet kontrollventil V01 når trykket i kondenstanken var høyere enn set-punkt.

På tanken var det også montert en temperaturmåler (T04). Denne hadde ingen kontrollfunksjon.

To nivååmalere var montert (L01 og L02) i kondenstanken; en LL og en HL. Hvis HL ble utløst ville kontrollventilen i bunnen av tanken (V04) åpnes etter at systemet ble isolert og trykksatt (1,5 bara). Væsken ble overført til en oppsamlingstank.

Tabell 3-6: Kondenstankens parametere og tilhørende verdier.

Parameter	Verdi
Trykk	0,10 bara
Temperatur	≈ 20°C
Høyde	85 cm
Diameter, indre	50 cm
Volum, totalt	170 liter

3.8 Oppsamlingstank

Oppsamlingstanken rommet 1 m³. MEG/vann-kondensatet i denne tanken ble overført til fødetanken og brukt på nytt. Dette var både kostnadsbesparende og miljøvennlig.

3.9 Styringsenhet

Styringsenheten til anlegget bestod av kontrollere for trykk i separatoren og kondenstanken (henholdsvis P01 og P02), temperatur i varmeren og separator (henholdsvis T01 og T02), samt frekvensen på sirkulasjonspumpen (PU01). Disse ble styrt vha. styringsmoduler på kontrollpanelet, eller ved å benytte en PC som ble koblet til kontrollpanelet via USB. Programmet som ble benyttet til styring var Shimaden Lite. Det var også mulighet for loggføring av parameterne i Excel.

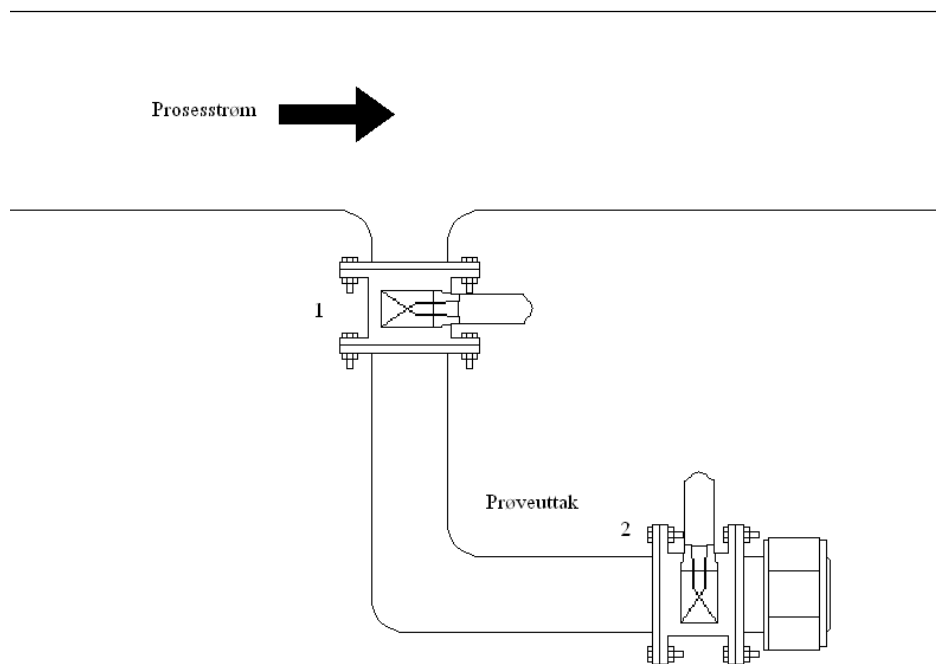
På kontrollpanelet kunne man i tillegg lese av overflatetemperaturen på varmeelementene, overflatetemperatur på separatoren (under isolasjonen) og temperaturen i kondenstanken.



Figur 3-5: Pilotanleggets kontrollpanel.

3.10 Prøveuttak

Pilotanlegget hadde to prøveuttak. Ett for væsken i separatoren og ett for væsken i kondenstanken. Prøveuttaket for væsken i separatoren var plassert mellom sirkulasjonspumpen og varmeren. Uttaket bestod av et sidemontert rørstykke til hovedstrømmen av væsken (se figur 3-6).



Figur 3-6: Skisse av prøveuttak for væske fra flash separatoren

En prøve ble tatt ut ved å holde ventil 2 i figur 3-6 lukket mens ventil 1 ble åpnet. Væske strømmet da inn i rørstykket. Ventil 1 ble så lukket og prøven var isolert. Ventil 2 ble åpnet og prøven ble samlet i en prøveflaske nedstrøms for ventilen. Rørdiameteren var her 2 cm.

Prøveuttagning av kondensatet ble også utført ved tilsvarende oppsats av ventiler under kondenstanken. Rørene i denne oppsatsen hadde en diameter på kun 1 cm og flere prøver måtte tas ut for å fylle prøveflasken.

Videre i rapporten vil prøvene bli kalt FS # og KT # avhengig om de er hentet fra flash separator eller kondenstank. Det ble alltid tatt prøve fra flash separator og kondenstank samtidig.

4 Analysemetoder benyttet i forsøket

For å bestemme MEG-konsentrasjonen i flash separatoren og kondensstanken ble vannkonsentrasjon og lysbrytningsindeks målt. Viskositet, klorinnhold og formiatinnhold ble også målt. I dette kapittelet vil de forskjellige metodene bli beskrevet. Datablader for de forskjellige kjemikaliene benyttet i analysene finnes i vedlegg 3, 4, 5 og 6.

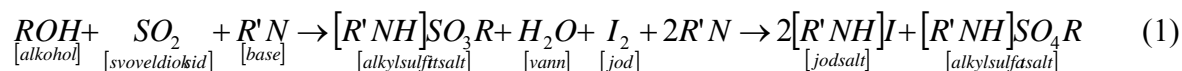
4.1 Vannkonsentrasjon

Da det ikke fantes noen direkte analyse på MEG-innhold i en væske ved IFE, ble det analysert for vann i væsken. Karl Fischer titrering ble benyttet for å bestemme vannkonsentrasjonen i væsken. For disse analysene ble en Mettler Toledo DL 53 Titrator brukt.



Figur 4-1: Mettler Toledo DL 53 for Karl Fischer analyser

Karl Fischer er en analysemetode som er vanlig å benytte for bestemmelse av H₂O-innhold i en væske. En alkohol reagerer med svoveldioksid (SO₂) og base for å danne et mellomprodukt (alkylsulfittsalt) som siden blir oksidert av jod til alkylsulfatsalt. Reaksjonen er som følger:



Vann og jod blir forbrukt i like mengder (molbasert). Potensiometrisk med to Pt-elektroder ble brukt. Elektrodene polariseres med en fast strøm og når vannet er forbrukt og det er overskudd av jod synker polariseringspotensialet fra flere hundre til noen få millivolt (mV). Dette regnes som titreringens endepunkt (EMD Chemicals Inc., 2007).

Alkoholen benyttet i analysene var vannfri metanol og titranten var Hydranal-Composite 5. Hydranal-Composite 5 består av jod (I₂), svoveldioksid (SO₂) og imidazol (C₃H₄N₂). Data blad for metanol og Hydranal-Composite 5 er å finne i henholdsvis vedlegg 3 og vedlegg 4.

Ut ifra mengden jod som har blitt benyttet vil mengden vann i prøven kunne beregnes. Likning (2) og (3) brukes ved beregning (EMD Chemicals Inc., 2007):

$$H_2O[mg] = a \times WE \quad (2)$$

$$H_2O[\%] = \frac{a \times WE}{10 \times e} \quad (3)$$

4.1.1 Standarder

Før forsøkene startet ble det laget standardkurver for MEG-løsninger på:

- 10-90 vekt% uten salter
- 46-54 vekt% med 6 % NaCl
- 90-98 vekt% med 6 % NaCl
- 10-90 vekt% med 6 % NaCl og 6 % KHCOO

Standardkurvene finnes i vedlegg 7. Ved hjelp av lineær regresjon ble det funnet formler for omregning fra vanninnhold gitt av analyseinstrumentet til faktisk MEG-konsentrasjon. Formlene som ble funnet er gjengitt i tabell 4-1.

Tabell 4-1: Formler for beregning av MEG-konsentrasjon fra vannanalyser ved hjelp av lineær regresjon. MEG-konsentrasjonen er oppgitt i vekt% på saltfri basis.

MEG-konsentrasjon	Formel
10-95 vekt% (uten salter)	$MEG\% = \frac{\text{Målt vann\%} - 99,016}{-99,526}$
46-54 vekt% (6 % NaCl)	$MEG\% = \frac{\text{Målt vann\%} - 94,186}{-95,911}$
90-98 vekt% (6 % NaCl)	$MEG\% = \frac{\text{Målt vann\%} - 98,825}{-98,902}$
10-90 vekt% (6 % NaCl + 6 % KHCOO)	$MEG\% = \frac{\text{Målt vann\%} - 90,098}{-89,628}$

4.1.2 Kontroll av Mettler Toledo DL 53 for vannanalyse

For å kontrollere at vannanalysene gav korrekte resultater ble natriumtartarat dihydrat benyttet som prøve. To prøver på henholdsvis 0,04g og 0,08g ble tilsatt prøveglasset og analysert. Saltet skulle inneholde 15,66 vekt% vann. Dette var en kontroll på både byrettens presisjon og at titranten hadde korrekt konsentrasjon.

4.1.3 Analyse av prøve

Før analysen ble startet, ble metanolen i prøveglasset skiftet ut med ny vannfri metanol. Deretter ble programmet "Kfny" åpnet og prøvemengde satt til 40,0 g. Det var ingen prøve i glasset, men denne prøvemengden ble satt for å fjerne eventuelt tilstedeværende vann før analysen startet. De nye detaljene ble lagret og programmet lastet inn på titeroren. Når programmet var lastet, og bekreftet, startet analysen.

Etter at programmet "Kfny" var ferdig var det nødvendig å kontrollere driften i løsningen ved å starte program "Kfdrift". Drift målte om væsken tok opp vann fra luften over en periode på 10 minutter. Prøvemengde ble også her satt til 40,0 ml og prosedyren ble lagret. Da programmet var lastet og bekreftet startet driftanalysen. Resultatet på "Kfdrift" skulle være under 0,003 % for å være en godkjent drift. Titeroren var så klar for bruk. Kontrollen ble utført hver dag og etter bytting av metanol i prøveglasset.

En 2 ml sprøyte ble benyttet for å trekke prøve ut av prøveflasken. Sprøyten ble tarert på en analysevekt og injisert i prøveglasset. Sprøyten ble så veid igjen og vekttapet etter ble notert. Vekttapet tilsvarte da mengden prøve som ble injisert. Ved prøver med høy H₂O vekt% ble 1-2 dråper analysert, mens ved prøver med lav H₂O vekt% ble opptil 8-9 dråper benyttet.

Program "Kfny" ble åpnet og prøvenavn, prøvemengde (vekttap) og dato ble ført inn. Programmet ble lagret og startet som beskrevet ovenfor. Da analysen var gjennomført, gav instrumentet prosent vann med tre desimaler nøyaktighet.

4.2 Lysbrytning

Lysbrytningsindeks ble benyttet for å bestemme konsentrasjonen av MEG-løsningen. Instrumentet var et refraktometer av typen Mettler Toledo Refracto 30GS. Dette er en raskere og enklere analyse enn Karl Fischer-analysen beskrevet under kapittel 4.1, men innehar en lavere nøyaktighet.

Lysbrytningsindeks (n) defineres som lyshastigheten i vakuum (c) delt på lyshastigheten i det medium man ønsker å måle (v_p) (Wikipedia, 2009). Likning (4) gir sammenhengen mellom disse parameterne:

$$n = \frac{c}{v_p} \quad (4)$$

Lysbrytningsindeks blir ofte benyttet for å identifisere en spesifikk komponent eller, som i denne rapporten, måle komponentens konsentrasjon. Lysbrytningsindeks for en væske endrer seg med sammensetningen og kan derfor benyttes til å måle komponenter løst i en væske (Wikipedia, 2009).

4.2.1 Standarder

De samme standardløsningene som for måling av vannkonsentrasjon ble benyttet til å lage standardkurver:

- 10-90 vekt% uten salter
- 46-54 vekt% med 6 % NaCl
- 90-98 vekt% med 6 % NaCl
- 10-90 vekt% med 6 % NaCl og 6 % KHCOO

Standardkurvene ble benyttet til å finne formler for omregning fra grader Brix til MEG-konsentrasjon ved hjelp av lineær regresjon.

Formlene gjengitt i tabell 4-2 og standardkurvene finnes i vedlegg 7.

Tabell 4-2: Formler for beregning av MEG-konsentrasjon fra lysbrytningsindeks ved hjelp av lineær regresjon. MEG-konsentrasjonen er oppgitt i vekt% på saltfri basis.

MEG-konsentrasjon	Formel
10-95 vekt% (uten salter)	$MEG\% = \left(\frac{^{\circ}Bx - 1,5321}{56,258} \right) \times 100\%$
46-54 vekt% (6 % NaCl)	$MEG\% = \left(\frac{^{\circ}Bx - 9,199}{52,604} \right) \times 100\%$
90-98 vekt% (6 % NaCl)	$MEG\% = \left(\frac{^{\circ}Bx - 17,366}{40,960} \right) \times 100\%$
10-90 vekt% (6 % NaCl + 6 % KHCOO)	$MEG\% = \frac{-61,925 + \sqrt{61,925^2 - 4 \times (-12,753) \times (9,4211 - Bx)}}{2 \times (-12,753)}$

4.2.2 Kalibrering av Mettler Toledo 30GS

For kalibrering av refraktometeret ble ionebyttet vann benyttet. Ionebyttet vann skulle gi en lysbrytningsindeks på 0°Bx. Da instrumentet kunne gi noe varierte resultater ved varierende lysterke, var det viktig å utføre alle målingene på samme sted som der standardkurven ble målt på grunn av at lysforholdene da vil være tilnærmet konstant.

4.2.3 Analyse av prøve

For å analysere en prøve ble en pipette benyttet. 1 ml prøve ble trukket ut og lagt i skålen på instrumentet. Analysen ble startet og resultatet kom ut som °Bx. Ved å kontrollere mot standardkurvene som var laget ble konsentrasjonen av MEG-løsningen bestemt.

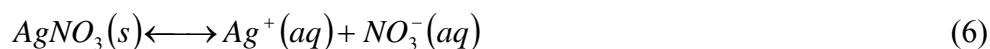
4.3 Kloridanalyser

For å finne NaCl-konsentrasjonen i prøvene ble kloridanalyser benyttet. Analysene ble utført på en Mettler Toledo DL 53 Titrator ved å benytte sølvnitrat titrering. Sølvnitrat vil løses i vann og danne ioner. Sølvionene vil knyttes til kloridionene fra NaCl-løsningen og felles ut som sølvklorid. Når kloridionene er forbrukt vil sølvioner som er i overskudd gi et utslag på titratorens elektrode som måler millivolt (mV) (elektrodepotensiale). Dette regnes som titreringens endepunkt. Som basis for elektrodepotensialet ligger Nernst likning (Lundström, Aromaa og Forsén, 2008):

$$E = E^0 + \frac{RT}{zF} \times \ln\left(\frac{[Oks]}{[Red]}\right) \quad (5)$$

Oks/Red = Konsentrasjonen til, henholdsvis, oksidert og redusert komponent
(Oks: $Ag^+ + e^- \rightarrow Ag$:Red)

Ut ifra mengden sølvnitrat som har blitt forbrukt vil mengden klorid i prøven kunne beregnes. Reaksjonslikningene for utfellingen er som følger:



Sølvnitrat og klorid blir forbrukt i like mengder (molbasert) og programmet beregner ut ifra dette kloridkonsentrasjonen i prøven. Resultatet ble gitt som prosent eller ppm Cl⁻. Da resultatene kommer ut som kloridkonsentrasjon må vekten av natrium legges for å få riktig konsentrasjonen av NaCl. Dette beregnes ved hjelp av følgende formel:

$$NaCl\% = måltCl^{-}\% \times \left(\frac{Mm_{Cl} + Mm_{Na}}{Mm_{Cl}} \right) \quad (8)$$

$$= måltCl^{-}\% \times \left(\frac{35,453 + 22,9898}{35,453} \right) \quad (9)$$

$$= måltCl^{-}\% \times 1,648 \quad (10)$$



Figur 4-2: Mettler Toledo DL 53 for sølvnitrat titering

4.3.1 Standarder

Det ble ikke laget noen standardkurve for kloridmålingene.

4.3.2 Kalibrering av Mettler Toledo DL 53 for kloridanalyse

Med kalibrering av Mettler Toledo DL 53 menes å beregne titer (målt konsentrasjon) for 0,01 N AgNO₃. Dette var nødvendig dersom sølvnitratløsningens titer var eldre enn en måned.

Ved å veie inn tre paralleller med mellom 0,007 g og 0,0012 g NaCl kan titer for 0,01 N AgNO₃ bestemmes. Når metode "M007" benyttes vil titratoren selv beregne titer.

For å kontrollere titratoren ble ca. 5 gram av en 200 ppm kloridløsning benyttet. Resultatene ved kontroll viste seg å være på 197 ppm (1,5% avvik).

4.3.3 Analyse av prøve

Prøvemengden ble variert med kloridkonsentrasjonen på prøvene. Prøver som inneholdt 5 % NaCl eller mer, benyttet en prøvemengde på en dråpe. Prøver med lav (<1 %) kloridkonsentrasjon benyttet en prøvemengde på 4,5 - 5,5 gram. Alle prøver ble tilsatt 40 ml vann og tre dråper HNO₃ for å senke pH-verdien (optimalt: pH 4,5).

Vekten av prøven ble ført inn på dataen som styrte titratoren og metode "10" ble benyttet. Titratoren kunne analysere opptil 8 prøver i serie, da den var utstyrt med en karusell.

Kloridanalysen var enkel og nøyaktig og gav små avvik ved parallelle målinger.

4.4 Alkalieanalyser

Alkalieanalyser ble benyttet for å finne mengde KHCOO . Dette var en metode som opprinnelig bestemte acetat (CH_3COO^-), men ble utvidet for å bestemme formiat (HCOO^-). I kontakt med MEG/vann-løsningen løste kaliumformiat (KHCOO) seg og dannet kaliumioner og formiationer. Formiationene ble først titrert med syre (HCl) til pH 2. Et ekvivalenspunkt ble da registrert. Ekvivalenspunktet viser at like store mengder (molbasert) syre og base var tilsatt og nøytraliseres. Dette vises på en kurve som det punktet der stigningen til kurven snur fra å være positiv til negativ. Dette gav mengde formiat i prøven.



Prøven ble etter syretitreringen titrert med base (NaOH) til pH 11. Metoden trakk fra forbrukt mengde syre i første titrering og beregnet igjen mengde formiat i prøven. Gjennomsnittsverdien av disse ble da benyttet som gjeldende konsentrasjon da dette gav et sikrere resultat.



Figur 4-3: Metrohm 814 USB Sample Processor med 836 Titrando for formiatanalyser

4.4.1 Standarder

Det ble ikke laget noen standardkurve for KHCOO. Det ble kun laget en 6 % løsning for kontroll av instrumentet. Dette er beskrevet i kommende delkapittel.

4.4.2 Kontroll av Metrohm 814 USB Sample Processor med 836 Titrando

Det ble laget en løsning med 6 % KHCOO for å kontrollere at instrumentet målte riktige verdier. Resultatene fra titratoren var gitt i mmol/kg og ble regnet om til prosent ved hjelp av følgende likning:

$$KHCOO[\%] = \frac{\text{målt}KHCOO^{mmol/kg} \times (39,098 + 12,01 + 15,999 \times 2 + 1,0079)^{g/mol}}{1000^{g/kg} \times 1000^{mmol/mol}} \times 100\% \quad (12)$$

$$KHCOO[\%] = \left(\text{målt}KHCOO^{mmol/kg} \times 8,411574 \times 10^{-3} \frac{kg}{mmol} \right) \% \quad (13)$$

4.4.3 Analyse av prøve

Avhengig av formiatkonsentrasjonen på prøvene ble mengden prøve variert. Ved prøver som inneholdt >5 % KHCOO, ble det benyttet en prøvemengde på et halvt gram, mens ved prøver med lav formiatkonsentrasjon, eller bare spor av formiat, ble en prøvemengde på 4,5 - 5,5 gram benyttet. Prøvene ble så tilsatt 60 ml ionebryttende vann.

Vekten av prøvene ble ført inn på dataen som styrer titratoren og metode "Acetat frem og tilbake" ble benyttet. Titratoren kunne analysere opptil 14 prøver i serie, da den var utstyrt med en karusell.

4.5 Viskositet

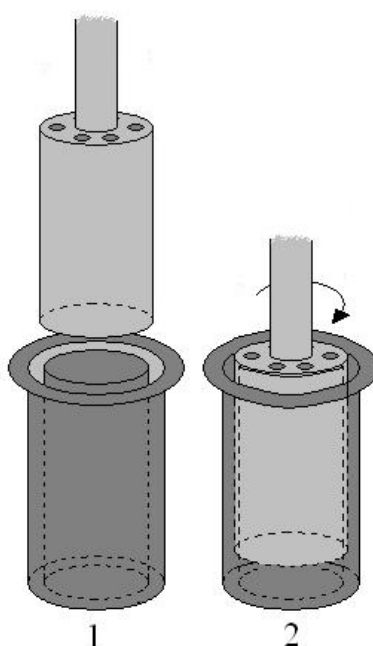
Viskositet var en av de parameterne i forsøket som var viktig å ha kontroll på. Det ble derfor utført viskositetsmålinger av prøvene som ble tatt ut og standardkurver ble laget av de samme løsningene som nevnt ovenfor. Instrumentet som ble benyttet i disse analysene var et rheometer fra Anton Paar; Physica MCR 301.

Da prøvene var forholdsvis tynne ble en hul sylinder benyttet for å måle viskositeten (se figur 4-4). Prøven ble lagt i koppen, som bestod av et beger med en søyle i midten og var laget av metall. Den hule sylindere var tilpasset koppen slik at det var nøyaktig like avstander mellom indre og ytre vegg i koppen til sylindere. Da denne roterte ble kreftene som virket mot rotasjonen omregnet til viskositet på prøven.

Instrumentet hadde også mulighet for å variere temperaturen på prøvene slik at det var mulig å måle en væskes viskositet ved forskjellige temperaturer i serie. Det ble målt viskositet ved 20 °C, 60 °C og 100 °C. For å finne viskositeten ved uttakstemperatur på prøvene ble punktene ekstrapolert i Microsoft Excel og tilpasset likning (14):

$$\log(\eta) = A + \frac{B}{C - T} \quad (14)$$

hvor A, B og C er konstanter funnet ved hjelp av funksjonen "Solver" i Microsoft Excel og T er temperaturen gitt i Kelvin.



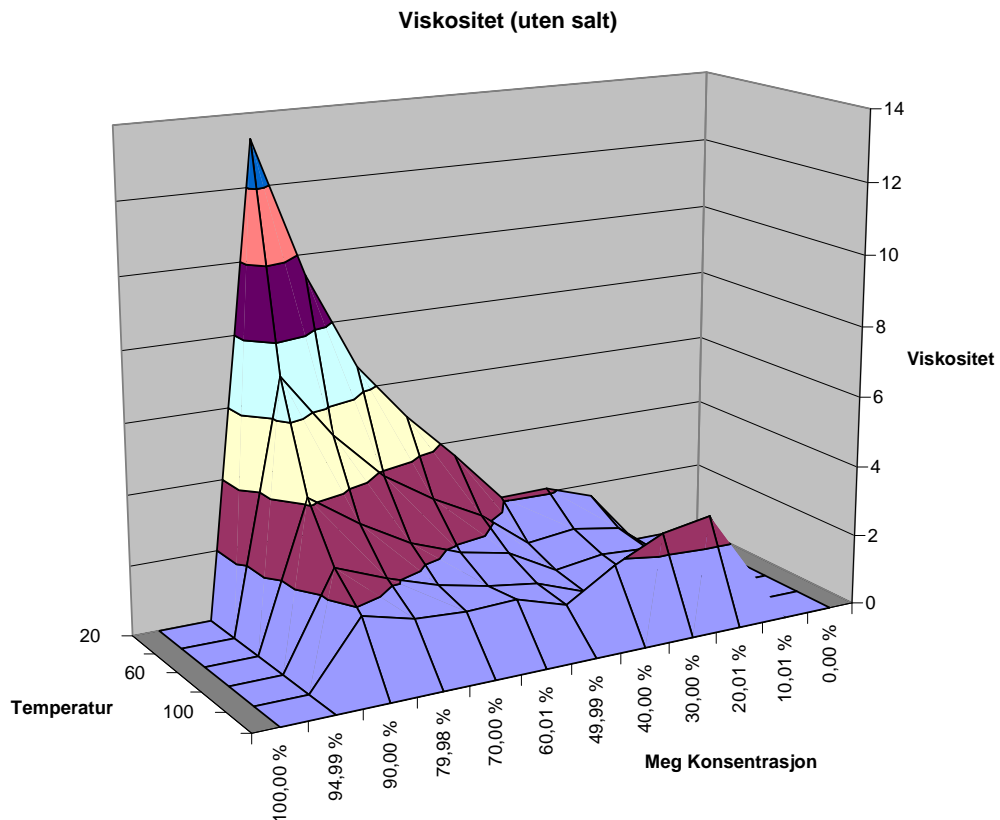
Figur 4-4: Illustrasjon av sylindere og prøvekoppen benyttet i viskositetsanalysene.

4.5.1 Standarder

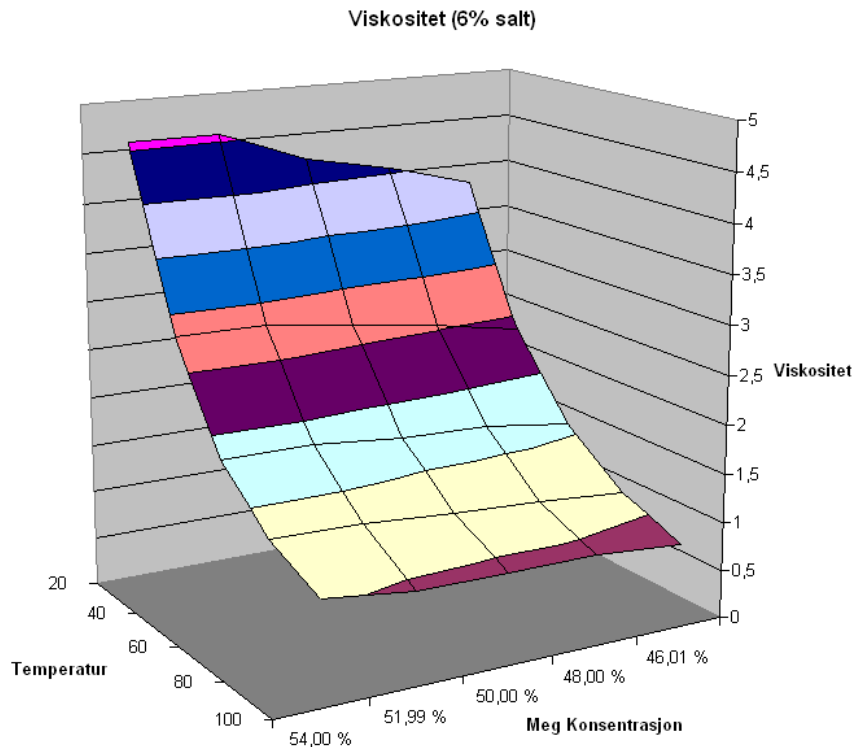
De samme standardløsningene som for måling av vannkonsentrasjon og brix ble benyttet til å lage standardkurver for viskositet. Standardene var:

- 10-90 vekt% uten salter
- 46-54 vekt% med 6 % NaCl
- 90-98 vekt% med 6 % NaCl
- 10-90 vekt% med 6 % NaCl og 6 % KHCOO

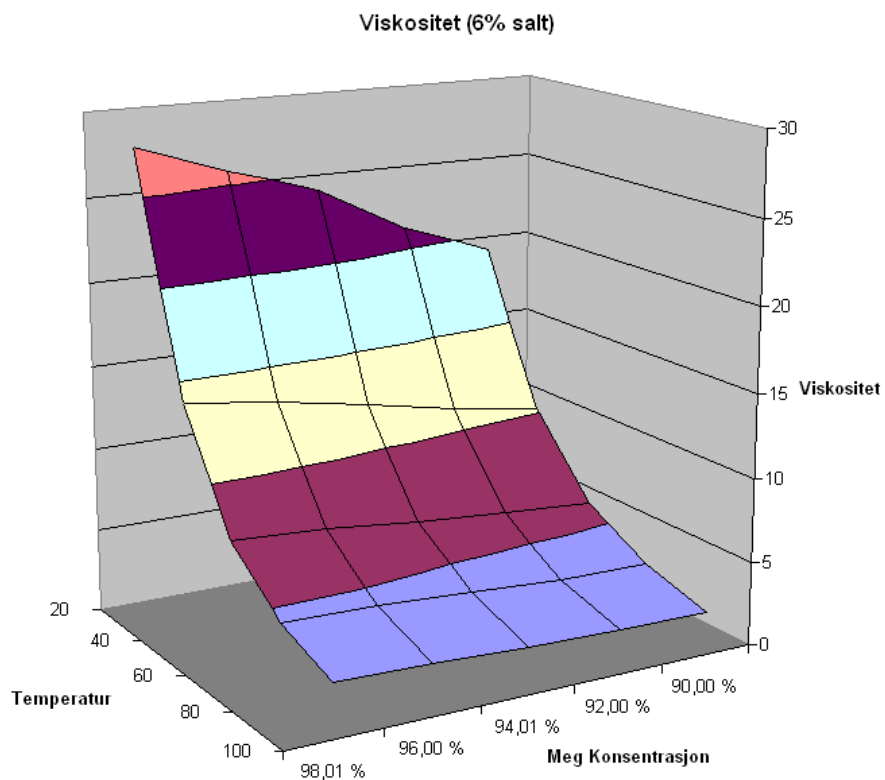
Standardkurvene ble her laget som tredimensjonale grafer, da både temperatur og MEG-konsentrasjon varierte viskositeten.



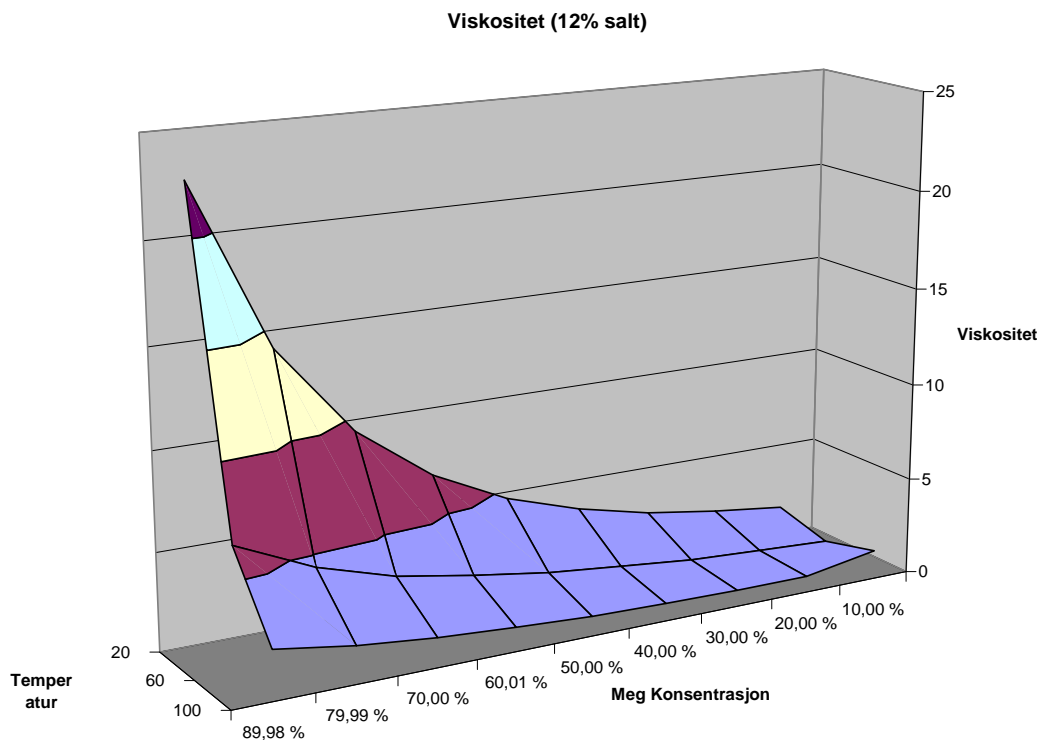
Figur 4-5: Standarder uten salter ved gitt temperatur og MEG-konsentrasjon [10 vekt%, 95 vekt%]. Da konsentrasjoner utenfor dette intervallet ikke ble målt, ble de satt til null.



Figur 4-6: Standarder med 6 % NaCl ved gitt temperatur og MEG-konsentrasjon [46 vekt%, 54 vekt%] (saltfri basis).



Figur 4-7: Standarder med 6 % NaCl ved gitt temperatur og MEG-konsentrasjon [90 vekt%, 98 vekt%] (saltfri basis).



Figur 4-8: Standarder med 6 % NaCl og 6 % KHCOO ved gitt temperatur og MEG-konsentrasjon [10 vekt%, 90 vekt%] (saltfri basis)

4.5.2 Kalibrering av Anton Paar Physica MCR 301

Kalibrering av rheometeret bestod av en motorjustering, samt kalibrering av målesystemet (geometrien). Motorjusteringen kalibrerte for variasjoner i luftlagrenes egenskaper ved forskjellige rotorposisjoner. Kalibreringen av geometrien bestod av korreksjoner ved å benytte en kalibreringsolje og justere for variasjoner ved forskjellige temperaturer. Under kalibreringer var det svært viktig at det ikke foregikk andre forsøk som kunne forårsake vibrasjoner, da rheometeret var svært sensitivt.

4.5.3 Analyse av prøve

3,28 ml prøve ble trukket ut ved hjelp av en 5 ml sprøyte. Prøven ble injisert i koppen. Koppen ble så plassert i instrumentet og geometrien ble senket ned i koppen ved hjelp av dataen som styrte instrumentet.

Et program for analysering av prøvene ble laget. Programmet satt starttemperaturen på prøven til $20 \pm 0,1^{\circ}\text{C}$. Prøven måtte holde stabil temperatur i 30 sekunder før programmet startet. Ved start ble viskositeten ved 20°C målt. Temperaturen økte så jevnt opp til 60°C . Temperaturstigningen var satt til å bruke 220 sekunder. En ny måling ble utført ved

60°C før en temperaturstigning økte temperaturen til 100°C i løpet av 300 sekunder og siste måling ble utført.

De første prøvene hadde også målinger ved 40°C og 80°C, men dette var mer tidkrevende og målinger ved disse temperaturene var ikke vesentlige for forsøket. De ble derfor utelukket etter noen målinger.

5 Forsøksmatrise

Før forsøkene startet ble det laget en forsøksmatrise basert på forsøksplanlegging (se vedlegg 8). Denne ble laget for å ha en plan å følge under drift. Tabell 5-1 viser den planlagte forsøksmatrisen. Det skulle utføres forsøk med og uten vortex breaker/finder. Det ble derfor lagt opp slik at alle forsøkene uten vortex breaker/finder (konstruksjon A) ble utført først. Konsentrasjonen av salter ble trinnvis økt fra lav (6 %) til høy (12 %) til utfelling ble observert (18 %). Ved hver av de forskjellige saltkonsentrasjonene skulle MEG-konsentrasjonen varieres mellom en lav og en høy verdi; 50 vekt% og 80 vekt%. Ved hver av disse konsentrasjonene ble pumpehastigheten variert. Dette var ikke fastsatte verdier da høyeste hastighet på pumpen ble bestemt av når pumpen ikke lenger kunne levere en væskestrøm uten at lyder begynte å komme og anlegget begynte å vibrere. Den midtre verdien (medium) ble satt når man visste den høye og lave pumpehastigheten og ble satt til middelveien av disse.

Tabell 5-1: Forsøksmatrise

Forsøk*	Vortex breaker/finder	Salt-kons.	MEG-kons. i føde	Pumpehastighet (m3/h)
1	Av	Lav	Lav	Lav
2	Av	Lav	Lav	Medium
3	Av	Lav	Lav	Høy
4	Av	Lav	Høy	Lav
5	Av	Lav	Høy	Medium
6	Av	Lav	Høy	Høy
7	Av	Høy	Lav	Lav
8	Av	Høy	Lav	Medium
9	Av	Høy	Lav	Høy
10	Av	Høy	Høy	Lav
11	Av	Høy	Høy	Medium
12	Av	Høy	Høy	Høy
13	Av	Utfelling	Lav	Lav
14	Av	Utfelling	Lav	Medium
15	Av	Utfelling	Lav	Høy
16	Av	Utfelling	Høy	Lav
17	Av	Utfelling	Høy	Medium
18	Av	Utfelling	Høy	Høy
19	På	Lav	Lav	Lav
20	På	Lav	Lav	Medium
21	På	Lav	Lav	Høy
22	På	Lav	Høy	Lav
23	På	Lav	Høy	Medium
24	På	Lav	Høy	Høy
25	På	Høy	Lav	Lav
26	På	Høy	Lav	Medium
27	På	Høy	Lav	Høy
28	På	Høy	Høy	Lav
29	På	Høy	Høy	Medium
30	På	Høy	Høy	Høy
31	På	Utfelling	Lav	Lav
32	På	Utfelling	Lav	Medium
33	På	Utfelling	Lav	Høy
34	På	Utfelling	Høy	Lav
35	På	Utfelling	Høy	Medium
36	På	Utfelling	Høy	Høy

* Forsøksnumrene i denne matrisen har ingen sammenheng med nummerringen av prøvene i forsøkene senere

6 Analyseresultater

Kapittel 6 presenterer analyseresultatene fra forsøkene utført. Resultatene vil bli videre bearbeidet under kapitlene senere i rapporten.

6.1 Konstruksjon A

Forsøkene ble først utført uten vortex finder og vortex breaker (konstruksjon A). Analyseresultatene er presentert i tabeller, hvor flash separator og kondenstank forkortet til henholdsvis FS og KT.

Trykket i flash separatorene var under alle forsøkene konstant på -0,85 barg (0,15 bara). Temperaturen ble styrt av trykket, konsentrasjonen på føden, samt saltinnholdet i separatorene. Pumpehastigheten ble variert under forsøkene fra lav hastighet opp til punktet hvor vibrasjoner i pumpen og anlegget inntraff.

Væsknivået i flash separatorene ble holdt konstant under samtlige forsøk.

6.1.1 6 % NaCl, 50 vekt% MEG

Ved drift av anlegget med 6 % NaCl (17,1 kg) i flash separatorene og 50 vekt% MEG som fødestrøm ble resultatene som presentert i tabell 6-1. Ingen saltutfelling ble observert.

Tabell 6-1: Resultater fra drift med 6 % NaCl (17,1 kg) i flash separatorene og 50 vekt% MEG i fødestrømmen. Målt saltinnhold i kondenstank er gitt i ppm grunnet lave konsentrasjoner.

Prøve	Beregnet MEG-kons. fra Brix (vekt %)*	Beregnet MEG-kons. fra vannanalyse(vekt %)*	Gjennomsnitt av Brix og vannanalyse (vekt %)*	Målt NaCl (vekt %/ ppm)	Målt KHCOO (vekt %/ ppm)	Salter totalt (vekt %/ ppm)	Viskositet (cP)			Temp. i FS (°C)	Pumpehastighet (m ³ /h)
							20	60	100		
FS 24	97,74 %	97,44 %	97,59 %	5,53 %	-	5,53 %	29,60	7,67	2,93	129,9	3,42
KT 24	53,51 %	54,83 %	54,17 %	24	-	24	5,21	2,11	0,91		
FS 25	97,01 %	96,81 %	96,91 %	5,47 %	-	5,47 %	28,50	7,58	2,83	112,8	3,42
KT 25	45,72 %	51,49 %	48,61 %	63	-	63	4,16	1,64	0,80		
FS 26	97,25 %	97,38 %	97,32 %	5,48 %	-	5,48 %	28,60	7,59	2,84	113,7	3,42
KT 26	46,01 %	51,00 %	48,50 %	56	-	56	4,19	1,68	0,84		
FS 27	97,74 %	97,77 %	97,76 %	5,56 %	-	5,56 %	29,30	7,73	2,88	106,7	8,20
KT 27	44,30 %	49,21 %	46,75 %	171	-	171	4,00	1,72	0,80		
FS 28	97,50 %	97,83 %	97,66 %	5,53 %	-	5,53 %	29,10	7,72	2,87	106,8	8,20
KT 28	46,01 %	52,02 %	49,01 %	233	-	233	4,21	1,69	0,84		
FS 29	96,76 %	97,32 %	97,04 %	5,54 %	-	5,54 %	28,60	7,46	2,84	85,6	5,47
KT 29	46,01 %	52,90 %	49,45 %	183	-	183	4,20	1,66	0,81		
FS 30	97,50 %	97,66 %	97,58 %	5,57 %	-	5,57 %	28,70	7,62	2,85	113,9	5,47
KT 30	47,05 %	51,12 %	49,09 %	100	-	100	4,32	1,84	0,90		
FS 31	97,50 %	97,54 %	97,52 %	5,52 %	-	5,52 %	28,70	7,53	2,84	109,6	5,47
KT 31	46,77 %	51,32 %	49,04 %	90	-	90	4,24	1,74	0,83		

*Vektprosent er på saltfri basis

6.1.2 6 % NaCl, 80 vekt% MEG

Ved drift av anlegget med 6 % NaCl (17,1 kg) i flash separatoren og 80 vekt% MEG som fødestrøm ble resultatene som presentert i tabell 6-2. Ingen saltutfelling ble observert.

Tabell 6-2: Resultater fra drift med 6 % NaCl (17,1 kg) i flash separatoren og 80 vekt% MEG i fødestrømmen. Målt saltinnhold i kondensstank er gitt i ppm grunnet lave konsentrasjoner.

Prøve	Beregnet MEG-kons. fra Brix (vekt %)*	Beregnet MEG-kons. fra vannanalyse(vekt %)*	Gjennomsnitt av Brix og vannanalyse (vekt %)*	Målt NaCl (vekt%/ppm)	Målt KHCOO (vekt%/ppm)	Salter totalt (vekt%/ppm)	Viskositet (cP)			Temp. i FS (°C)	Pumpehastighet (m ³ /h)
							20	60	100		
FS 19	96,03 %	97,76 %	96,89 %	5,77 %	-	5,77 %	25,70	6,98	2,95	117,9	4,65
KT 19	46,96 %	53,39 %	50,17 %	0**	-	0	4,25	1,73	1,02		
FS 20	97,98 %	98,25 %	98,12 %	5,78 %	-	5,78 %	30,10	7,80	3,43	121,5	4,65
KT 20	41,82 %	47,39 %	44,61 %	0**	-	0	3,72	1,50	0,84		
FS 21	98,72 %	99,07 %	98,89 %	5,72 %	-	5,72 %	30,80	8,01	2,98	119,1	4,10
KT 21	50,38 %	55,84 %	53,11 %	0**	-	0	4,76	1,95	0,89		
FS 22	99,20 %	99,30 %	99,25 %	5,82 %	-	5,82 %	32,20	8,19	3,03	123,4	3,55
KT 22	81,23 %	81,11 %	81,17 %	46	-	46	9,99	3,28	1,38		
FS 23	99,20 %	99,30 %	99,25 %	5,71 %	-	5,71 %	32,60	8,28	3,20	116,7	3,55
KT 23	81,23 %	79,65 %	80,44 %	37	-	37	9,96	3,29	1,39		

*Vektprosent er på saltfri basis

**Analyseinstrumentet viste ikke spor etter NaCl, men det antas at salter har gått over i kondensatet og at utslaget skyldes usikkerheten i analysen.

6.1.3 6 % NaCl, 6 % KHCOO, 50 vekt% MEG

Ved drift av anlegget med 6 % NaCl (17,1 kg) og 6 % KHCOO (15 kg) i flash separatoren og 50 vekt% MEG som fødestrøm ble resultatene som presentert i tabell 6-3. Prøvene som ble tatt ut av flash separatoren under disse betingelsene felte ut salter når temperaturen sank til romtemperatur. Ingen saltutfelling ble observert under drift.

Tabell 6-3: Resultater fra drift med 6 % NaCl (17,1 kg) og 6 % KHCOO (15 kg) i flash separatoren og 50 vekt% MEG i fødestrømmen. Målt saltinnhold i kondensstank er gitt i ppm grunnet lave konsentrasjoner.

Prøve	Beregnet MEG-kons. fra Brix (vekt %)*	Beregnet MEG-kons. fra vannanalyse(vekt %)*	Gjennomsnitt av Brix og vannanalyse (vekt %)*	Målt NaCl (vekt%/ppm)	Målt KHCOO (vekt%/ppm)	Salter totalt (vekt%/ppm)	Viskositet (cP)			Temp. i FS (°C)	Pumpehastighet (m ³ /h)
							20	60	100		
FS 32	97,43 %	97,31 %	97,37 %	5,39 %	4,85 %	10,24 %	33,60	8,62	3,21	117	3,83
KT 32	33,43 %	42,09 %	37,76 %	41	84	125	3,30	1,36	0,77		
FS 33	97,03 %	98,07 %	97,55 %	4,95 %	5,07 %	10,02 %	33,30	8,61	3,24	119	3,83
KT 33	36,26 %	43,93 %	40,10 %	43	84	128	3,55	1,50	0,68		
FS 34	97,43 %	97,44 %	97,44 %	5,09 %	5,00 %	10,10 %	33,40	8,72	3,37	114,2	5,06
KT 34	40,48 %	47,38 %	43,93 %	54	84	138	3,96	1,61	0,80		
FS 35	96,76 %	97,88 %	97,32 %	4,73 %	4,82 %	4,73 %	31,30	8,85	3,21	112,8	4,51
KT 35	40,77 %	48,81 %	44,79 %	57	84	141	4,02	1,61	0,91		

*Vektprosent er på saltfri basis

6.1.4 6 % NaCl, 6 % KHCOO, 80 vekt% MEG

Ved drift av anlegget med 6 % NaCl (17,1 kg) og 6 % KHCOO (15 kg) i flash separatoren og 50 vekt% MEG som fødestrøm ble resultatene som presentert i tabell 6-4. Prøvene som ble tatt ut av flash separatoren under disse betingelsene felte ut salter når temperaturen sank til romtemperatur. Ingen saltutfelling ble observert under drift.

Tabell 6-4: Resultater fra drift med 6 % NaCl (17,1 kg) og 6 % KHCOO (15 kg) i flash separatoren og 80 vekt% MEG i fødestrømmen. Målt saltinnhold i kondensstank er gitt i ppm grunnet lave konsentrasjoner.

Prøve	Beregnet MEG-kons. fra Brix (vekt %)*	Beregnet MEG-kons. fra vannanalyse(vekt %)*	Gjennomsnitt av Brix og vannanalyse (vekt %)*	Målt NaCl (vekt%/ppm)	Målt KHCOO (vekt%/ppm)	Salter totalt (vekt%/ppm)	Viskositet (cP)			Temp. i FS (°C)	Pumpehastighet (m ³ /h)
							20	60	100		
FS 36	98,24 %	99,35 %	98,80 %	4,66 %	4,85 %	9,51 %	34,80	9,09	3,47	138	3,83
KT 36	68,26 %	75,87 %	72,07 %	32	0**	32	8,55	2,92	1,29		
FS 37	98,38 %	99,54 %	98,96 %	4,56 %	4,88 %	9,44 %	34,50	9,17	3,56	134,9	6,83
KT 37	68,15 %	75,55 %	71,85 %	41	0**	41	8,54	2,92	1,29		
FS 38	98,38 %	99,62 %	99,00 %	4,52 %	4,88 %	9,40 %	34,00	8,96	3,79	129,8	5,33
KT 38	71,78 %	79,09 %	75,44 %	37	0**	37	9,67	3,23	1,38		

*Vektprosent er på saltfri basis

**Analyseinstrumentet viste ikke spor etter KHCOO, men det er forventet at salter har fulgt med gassfasen i separatoren over i kondensatet og at utslaget skyldes usikkerheten i analysen. Dette gir da også en usikkerhet i total mengde salter.

6.1.5 12 % NaCl, 6 % KHCOO, 50 vekt% MEG

Ved drift av anlegget med 12 % NaCl (34,2 kg) og 6 % KHCOO (15 kg) i flash separatoren og 50 vekt% MEG som fødestrøm ble resultatene som presentert i tabell 6-5. Prøvene som ble tatt ut av flash separatoren under disse betingelsene felte ut salter når temperaturen sank til romtemperatur. Det ble også observert at salter felte ut i flash separatoren under drift da det la seg salter på ”karmen” i innsynsvinduet.

Tabell 6-5: Resultater fra drift med 12 % NaCl (34,2 kg) og 6 % KHCOO (15 kg) i flash separatoren og 50 vekt% MEG i fødestrømmen. Målt saltinnhold i kondensstank er gitt i ppm grunnet lave konsentrasjoner.

Prøve	Beregnet MEG-kons. fra Brix (vekt %)*	Beregnet MEG-kons. fra vannanalyse(vekt %)*	Gjennomsnitt av Brix og vannanalyse (vekt %)*	Målt NaCl (vekt%/ppm)	Målt KHCOO (vekt%/ppm)	Salter totalt (vekt%/ppm)	Viskositet (cP)			Temp. i FS (°C)	Pumpehastighet (m ³ /h)
							20	60	100		
FS 42	98,92 %	95,79 %	97,36 %	5,97 %	4,84 %	10,81 %	37,30	9,37	3,48	111,7	3,83
KT 42	63,94 %	84,45 %	74,19 %	77	0**	77	10,70	3,50	1,46		
FS 43	98,11 %	95,78 %	96,94 %	6,06 %	4,97 %	11,03 %	35,90	8,98	3,44	109,8	5,33
KT 43	44,00 %	54,39 %	49,20 %	102	0**	102	4,18	1,64	0,84		
FS 44	97,84 %	95,26 %	96,55 %	5,81 %	4,85 %	10,65 %	35,20	8,90	3,29	113,3	5,33
KT 44	42,63 %	55,05 %	48,84 %	76	0**	76	4,13	1,66	0,98		
FS 45	98,11 %	95,04 %	96,57 %	5,55 %	4,34 %	9,89 %	36,40	9,15	3,40	113,3	4,65
KT 45	41,45 %	47,27 %	44,36 %	92	0**	92	4,06	1,70	0,82		

*Vektprosent er på saltfri basis

**Analyseinstrumentet viste ikke spor etter KHCOO, men det er forventet at salter har fulgt med gassfasen i separatoren over i kondensatet og at utslaget skyldes usikkerheten i analysen. Dette gir da også en usikkerhet i total mengde salter.

6.1.6 12 % NaCl, 6 % KHCOO, 80 vekt% MEG

Ved drift av anlegget med 12 % NaCl (34,2 kg) og 6 % KHCOO (15 kg) i flash separatoren og 80 vekt% MEG som fødestrøm ble resultatene som presentert i tabell 6-6. Prøvene som ble tatt ut av flash separatoren under disse betingelsene felte ut salter når temperaturen sank til romtemperatur. Det ble også observert at salter felte ut i flash separatoren under drift da det la seg salter på ”karmen” i innsynsvinduet.

Tabell 6-6: Resultater fra drift med 12 % NaCl (34,2 kg) og 6 % KHCOO (15 kg) i flash separatoren og 80 vekt% MEG i fødestrømmen. Målt saltinnhold i kondensstank er gitt i ppm grunnet lave konsentrasjoner.

Prøve	Beregnet MEG-kons. fra Brix (vekt %)*	Beregnet MEG-kons. fra vannanalyse(vekt %)*	Gjennomsnitt av Brix og vannanalyse (vekt %)*	Målt NaCl (vekt%/ppm)	Målt KHCOO (vekt%/ppm)	Salter totalt (vekt%/ppm)	Viskositet (cP)			Temp. i FS (°C)	Pumpehastighet (m ³ /h)
							20	60	100		
FS 39	98,65 %	99,44 %	99,04 %	6,41 %	5,09 %	11,51 %	40,00	10,00	3,76	134	5,06
KT 39	46,38 %	55,03 %	50,71 %	93	0**	93	4,59	1,76	0,87		
FS 40	99,47 %	99,69 %	99,58 %	5,84 %	5,04 %	10,88 %	39,20	9,82	3,68	131,6	3,83
KT 40	71,32 %	79,95 %	75,64 %	54	0**	54	9,45	3,24	1,38		
FS 41	99,74 %	97,12 %	98,43 %	6,17 %	4,97 %	11,14 %	40,40	9,98	4,01	130,4	5,33
KT 41	68,04 %	76,79 %	72,41 %	64	0**	64	8,54	2,91	1,28		

*Vektprosent er på saltfri basis

**Analyseinstrumentet viste ikke spor etter KHCOO, men det er forventet at salter har fulgt med gassfasen i separatoren over i kondensatet og at utslaget skyldes usikkerheten i analysen. Dette gir da også en usikkerhet i total mengde salter.

6.2 Konstruksjon B

Resultatene under dette kapittelet er fra forsøkene som ble først utført med vortex finder og vortex breaker (konstruksjon B). Analyseresultatene er presentert i tabeller. I tabellene er flash separator og kondensstank forkortet til henholdsvis FS og KT.

Trykket under alle forsøkene var konstant på -0,85 barg (0,15 bara). Temperaturen ble styrt av trykket, konsentrasjonen på føden, samt saltinnholdet i separatoren. Pumpehastigheten ble variert under forsøkene fra lav hastighet opp til punktet hvor pumpebegrensningene inntraff.

Væskeniivået i flash separatoren ble holdt konstant under samtlige forsøk på samme nivå som under forsøkene med konstruksjon A.

Da resultatene fra forsøkene uten vortex breaker og finder gav liten variasjon ved forskjellig MEG-konsentrasjon i føden (50 vekt% og 80 vekt%), ble forsøkene med 6 % NaCl og 6 % KHCOO, samt 12 % NaCl og 6 % KHCOO kun utført med 80 vekt% MEG som føde.

6.2.1 6 % NaCl, 50 vekt% MEG

Ved drift av anlegget med 6 % NaCl (17,1 kg) i flash separatoren og 50 vekt% MEG som fødestrøm ble resultatene som presentert i tabell 6-7.

Tabell 6-7: Resultater fra drift med 6 % NaCl (17,1 kg) i flash separatoren og 50 vekt% MEG i fødestrømmen. Målt saltinnhold i kondensstank er gitt i ppm grunnet lave konsentrasjoner.

Prøve	Beregnet MEG-kons. fra Brix (vekt %)*	Beregnet MEG-kons. fra vannanalyse(vekt %)*	Gjennomsnitt av Brix og vannanalyse (vekt %)*	Målt NaCl (vekt%/ppm)	Målt KHCOO (vekt%/ppm)	Salter totalt (vekt%/ppm)	Viskositet (cP)			Temp. i FS (°C)	Pumpehastighet (m ³ /h)
							20	60	100		
FS 48	97,74 %	97,44 %	97,59 %	5,78 %	-	5,78 %	29,00	7,62	2,84	112,4	3,83
KT 48	59,49 %	58,97 %	59,23 %	50	-	50	4,46	1,78	0,84		
FS 49	98,23 %	97,80 %	98,01 %	5,82 %	-	5,82 %	29,90	7,74	2,90	110,9	6,01
KT 49	60,02 %	59,96 %	59,99 %	33	-	33	4,44	1,77	0,96		
FS 50	98,23 %	97,58 %	97,90 %	6,02 %	-	6,02 %	30,10	7,80	2,97	119,6	4,92
KT 50	60,91 %	60,54 %	60,73 %	39	-	39	4,72	1,88	0,89		

*Vektprosent er på saltfri basis

6.2.2 6 % NaCl, 80 vekt% MEG

Ved drift av anlegget med 6 % NaCl (17,1 kg) i flash separatoren og 80 vekt% MEG som fødestrøm ble resultatene som presentert i tabell 6-8.

Tabell 6-8: Resultater fra drift med 6 % NaCl (17,1 kg) i flash separatoren og 80 vekt% MEG i fødestrømmen. Målt saltinnhold i kondensstank er gitt i ppm grunnet lave konsentrasjoner.

Prøve	Beregnet MEG-kons. fra Brix (vekt %)*	Beregnet MEG-kons. fra vannanalyse(vekt %)*	Gjennomsnitt av Brix og vannanalyse (vekt %)*	Målt NaCl (vekt%/ppm)	Målt KHCOO (vekt%/ppm)	Salter totalt (vekt%/ppm)	Viskositet (cP)			Temp. i FS (°C)	Pumpehastighet (m ³ /h)
							20	60	100		
FS 57	98,96 %	99,01 %	98,99 %	5,68 %	-	5,68 %	30,30	7,92	3,04	127	3,83
KT 57	78,69 %	79,43 %	79,06 %	32	-	32	8,63	2,92	1,30		
FS 58	98,47 %	99,02 %	98,75 %	5,63 %	-	5,63 %	30,30	7,95	3,02	125,9	6,01
KT 58	79,22 %	79,42 %	79,32 %	17	-	17	8,81	2,99	1,31		
FS 59	98,96 %	99,02 %	98,99 %	5,83 %	-	5,83 %	29,80	7,83	3,12	127,1	4,92
KT 59	79,22 %	79,27 %	79,24 %	26	-	26	8,84	3,01	1,31		

*Vektprosent er på saltfri basis

6.2.3 6 % NaCl, 6 % KHCOO, 80 vekt% MEG

Ved drift av anlegget med 6 % NaCl og 6 % KHCOO i flash separatoren og 80 vekt% MEG som fødestrøm ble resultatene som presentert i tabell 6-9. Prøvene som ble tatt ut av separatoren under disse betingelsene felte ut salter når temperaturen sank til romtemperatur.

Tabell 6-9: Resultater fra drift med 6 % NaCl (17,1 kg) og 6 % KHCOO (15 kg) i flash separatoren og 80 vekt% MEG i fødestrømmen. Målt saltinnhold i kondensstank er gitt i ppm grunnet lave konsentrasjoner.

Prøve	Beregnet MEG-kons. fra Brix (vekt %)*	Beregnet MEG-kons. fra vannanalyse(vekt %)*	Gjennomsnitt av Brix og vannanalyse (vekt %)*	Målt NaCl (vekt%/ppm)	Målt KHCOO (vekt%/ppm)	Salter totalt (vekt%/ppm)	Viskositet (cP)			Temp. i FS (°C)	Pumpehastighet (m ³ /h)
							20	60	100		
FS 60	98,92 %	99,02 %	98,97 %	5,05 %	5,15 %	10,20 %	35,30	9,11	3,49	128,7	3,83
KT 60	78,33 %	79,05 %	78,69 %	43	421	464	8,53	3,03	1,29		
FS 61	98,11 %	98,79 %	98,45 %	5,25 %	5,16 %	10,41 %	33,40	8,72	3,64	122,3	4,92
KT 61	77,62 %	77,90 %	77,76 %	39	168	207	8,16	2,81	1,25		
FS 62	98,11 %	98,95 %	98,53 %	4,95 %	5,24 %	10,19 %	34,30	8,94	3,36	120,1	6,15
KT 62	76,91 %	76,38 %	76,64 %	48	253	300	8,00	2,75	1,22		

*Vektprosent er på saltfri basis

6.2.4 12 % NaCl, 6 % KHCOO, 80 vekt% MEG

Ved drift av anlegget med 12 % NaCl (34,2 kg) og 6 % KHCOO (15 kg) i separatoren og 80 vekt% MEG som fødestrøm ble resultatene som presentert i tabell 6-10. Prøvene som ble tatt ut av separatoren under disse betingelsene felte ut salter når temperaturen sank til romtemperatur. Det ble også observert at salter felte ut i separatoren under drift da det la seg salter på ”karmen” i innsynsvinduet.

Tabell 6-10: Resultater fra drift med 12 % NaCl (34,2 kg) og 6 % KHCOO (15 kg) i separatoren og 80 vekt% MEG i fødestrømmen. Målt saltinnhold i kondensstank er gitt i ppm grunnet lave konsentrasjoner.

Prøve	Beregnet MEG-kons. fra Brix (vekt %)*	Beregnet MEG-kons. fra vannanalyse(vekt %)*	Gjennomsnitt av Brix og vannanalyse (vekt %)*	Målt NaCl (vekt%/ppm)	Målt KHCOO (vekt%/ppm)	Salter totalt (vekt%/ppm)	Viskositet (cP)			Temp. i FS (°C)	Pumpehastighet (m ³ /h)
							20	60	100		
FS 63	99,20 %	98,92 %	99,06 %	7,74 %	5,14 %	12,87 %	40,20	9,86	3,63	126,4	3,83
KT 63	74,42 %	75,49 %	74,96 %	107	168	275	7,39	2,64	1,16		
FS 64	98,92 %	98,62 %	98,77 %	5,47 %	4,98 %	10,45 %	38,10	10,00	3,51	124,6	6,97
KT 64	77,62 %	79,72 %	78,67 %	34	84	118	8,41	2,92	1,26		
FS 65	98,65 %	98,65 %	98,65 %	6,19 %	5,03 %	11,22 %	36,70	9,24	3,54	124	5,33
KT 65	74,60 %	77,30 %	75,95 %	46	84	130	7,34	2,58	1,16		

*Vektprosent er på saltfri basis

6.3 Alkalieanalyser

Analysen av kaliumformiat var bygget på en acetatanalysemetode. Dette gav gode resultater ved konsentrasjoner rundt >5 %, slik man kunne finne i flash separatoren, men var ikke følsom nok til å analysere små mengder, som kunne finnes i kondensatet. At resultatene ble null er mest sannsynlig på grunn av at analysen ikke var sensitiv nok til å detektere så små mengder.

7 Interne konstruksjoner (internals)

Teori, resultater og diskusjon rundt de forskjellige interne konstruksjonene som ble undersøkt i flash separatoren er å finne i dette kapitlet. Forsøk ble utført både uten og med interne konstruksjoner i flash separatoren (konstruksjon A og B henholdsvis).

7.1 Teori

Effektivitet av gass/væskeseparasjon kan beskrives med ”gas carry-under” og ”liquid carry-over”. Disse blir beskrevet i dette kapitlet, samt teorien bak de to konstruksjonene som har blitt studert. Fordi væske i gass ikke var mulig å måle i pilotanlegget, beskrives kvalitet av overflow som ”salt carry-over” i stedet for ”liquid carry-over”.

7.1.1 Salt carry-over

Salt carry-over vil si konsentrasjonen av salter som bæres med gassen over i kondensranken. Kondensatet som samles opp skal være fritt for salter, da saltrik væske har høyere kokepunkt og samles i flash separatoren. Ved kraftig koking, høy viskositet og eventuell skumming i flash separatoren vil noe salt kunne følge med i dråper i dampen. Dette er en uønsket hendelse og kalles salt carry-over.

7.1.2 Gassunderstrømning

Med gassunderstrømning, eller ”gas carry-under”, menes at det finnes gass i væskeutløpet på flash separatoren. Dette kan inntreffe når den vertikale hastigheten på væsken i flash separatoren er stor nok til å trekke gassbobler ned til utløpet, eller hvis det dannes en virvel slik at gass blir trukket nedover. Innløpsdysene i separatoren var montert tangentielt, slik at de skulle gi opphav til sirkulær strømning i separatoren (se figur 3-2). Den sirkulære strømningen skulle teoretisk sett kunne danne en virvel. På separatoren var det montert et innsynsvindu. Det skulle dermed være mulig å observere om det ble dannet en virvel under drift eller ikke.

Når en virvel dannes vil stoffene med høyest tetthet trekke mot ytterkant og stoffene med lavest tetthet inn mot sentrum av virvelen på grunn av sentripetalkraften. I følge CAPLEX (2009) defineres sentripetalkraften som kraften som påvirker en gjenstand i sirkulær bevegelse vinkelrett inn mot sentrum av sirkelbanen. Stoffene med høyest tetthet i denne oppgaven er væsken (MEG/vann/salt-løsningen) og saltene som felles ut. Stoffene med lavest tetthet er det som måtte fordampe fra væsken. Da gass er svært lett i forhold til væske vil det sirkulære strømningsmønsteret danne en vei for gassen ned til utløpet av

separatoren. Hvis gassen rekker ned til utløpet og videre inn i pumpen vil dette kunne påvirke pumpens kapasitet. Pumpen kan bli påvirket av gassbobler som mekanisk trekkes gjennom den. Dette er hovedsakelig et problem for sentrifugalpumper og ikke for fortrenningspumper som er benyttet i forsøkene og tåler mer gass.

7.1.3 Konstruksjon A

Konstruksjon A er en løsning hvor flash separatoren har tangentielt innløp og ikke vortex finder eller vortex breaker montert. Fordelen med denne konstruksjonen er at det er en enkel og økonomisk løsning. I tillegg er det mindre fare for scaling og tetting, spesielt ved væskeutløpet. Ulempen er at væsken som fødes inn i flash separatoren og som fordamper vil kunne trekkes direkte til gassfasen og dermed øke saltkonsentrasjonen i kondensatet (stor salt carry-over).

Det tangentielle innløpet vil også kunne skape en virvelstrøm i separatoren som igjen kan føre gass ned i pumpen og forårsake skade, spesielt hvis det blir benyttet sentrifugalpumpe for resirkulering. Det er denne typen Pumpe som benyttes i fullskalaanlegg.

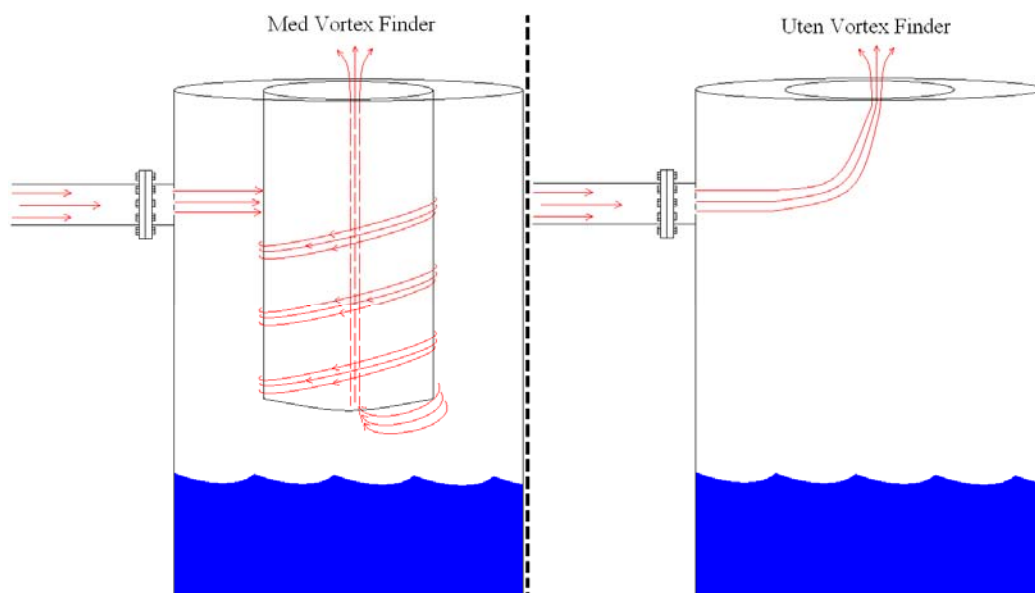
7.1.4 Konstruksjon B

Konstruksjon B har tangentielt innløp og både vortex finder og vortex breaker montert. En vortex finder er en forlengelse av utløpsrøret over toppen på separatoren. Figur 7-1 viser vortex finderens montert i lokket på separatoren.



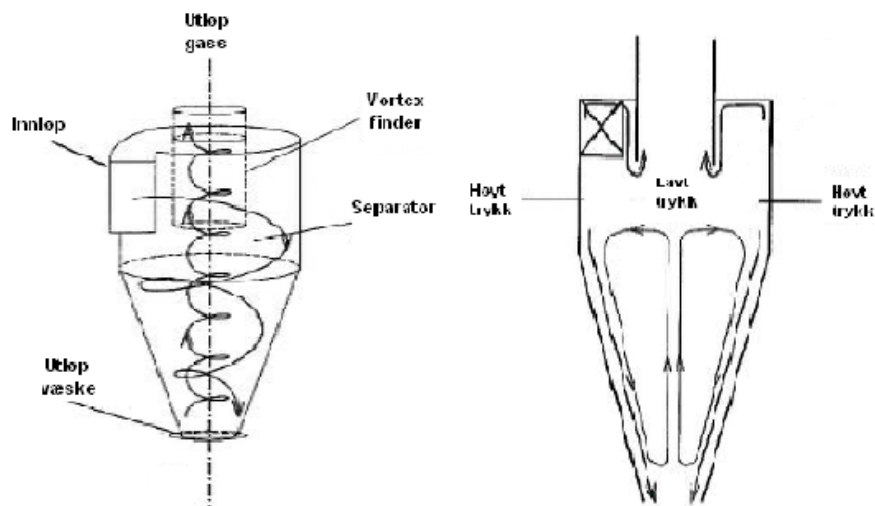
Figur 7-1: Vortex finder montert i lokket til separatoren (stor grå sylinder i midten).

Hensikten med en vortex finder er å forlenge gassens vandring i separatoren. Som man kan se i figur 7-2 vil gassens vandring bli vesentlig lenger med en vortex finder enn uten. Dette vil forbedre separasjonen av salter fra MEG/vann-løsningen og føre til at saltene holdes i separatoren og ikke blir trukket over i kondenstanken.



Figur 7-2: Forenklet visualisering av gassens vandring med, og uten, vortex finder.

Separasjonen av gass/væske utnytter den sirkulære strømmingen som dannes av de tangentielle innløpene. Ved ytterkantene vil væsken bli trukket nedover mens gassen i midten vil trekkes oppover. Strømningene som oppstår på konkave overflater, som inne i flash separatoren, er ustabile. Trykkgradienter blir dannet langs veggene og inn mot sentrum av separatoren. Det er såkalte sekundære strømmer som forårsaker dette. De tangentielle og sekundære strømmingene kan sees i figur 7-3. De sekundære strømmingene virker på separasjonen i tillegg til virvelstrømmingene forårsaket av det tangentielle innløpet og kan bære større partikler enn forventet over toppen på separatoren. Dette kan skje hvis det er uregelmessigheter langs separatorveggen som sveiseskjøter, partikkelansamlinger, skadede/eroderte vegger, innsynsvinduer, sensorer osv. (Hoffmann og Stein, 2002).



Figur 7-3: Strømningsmønstre i separatoren. Til venstre vises de tangentielle strømmingene og de sekundære strømmingene vises i figuren til høyre (Hoffmann og Stein, 2002)

En vortex breaker er en fysisk hindring for gass til å bli trukket gjennom utløpet i bunnen av tanken og videre inn i pumpen. Vortex breakereren som ble benyttet i forsøkene kan sees i figur 7-4.



Figur 7-4: Vortex breaker montert i bunnen av flash separatoren

Vortex breakereren bestod av to metallplater satt sammen i et kryss. Disse vil dempe virvelbevegelsen væsken innehar. Veggene var støttet opp ved hjelp av plater som hindret direkte tilgang til utløpet for en eventuell dannet virvel. Ved å stanse virvelbevegelsen

ønsker man å finne ut om gassunderstrømning blir stanset og om pumpehastigheten kan økes.

En vortex breaker er typisk montert i bunnen av separatoren, og kun over væsketiløpet, men dette kan skape problemer med scaling/blokkering. Vortex breakereren ble derfor montert noe høyere enn ved et fullskalaanlegg.

Både vortex breaker og -finder ble montert samtidig og effekten av begge innretningene ble studert.

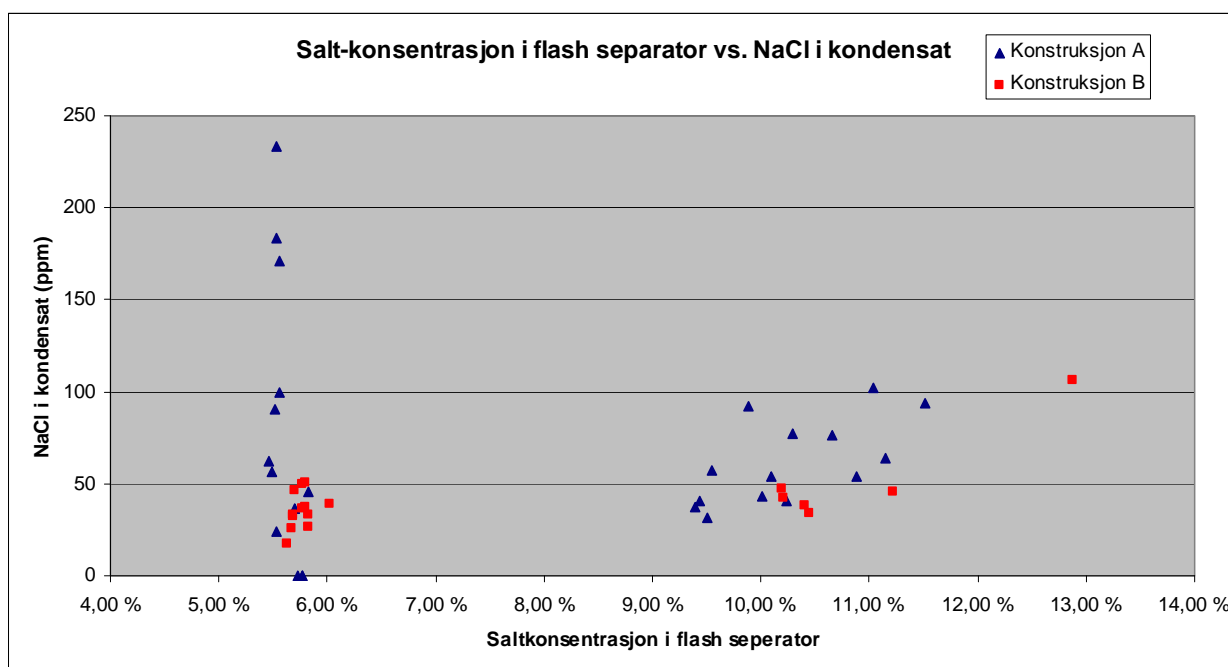
7.2 Resultater

Resultater fra drift ved de to forskjellige konstruksjonene blir presentert i dette kapittelet, fremgår av analyseresultatene i kapittel 6.

7.2.1 Vortex finder – Salt carry-over

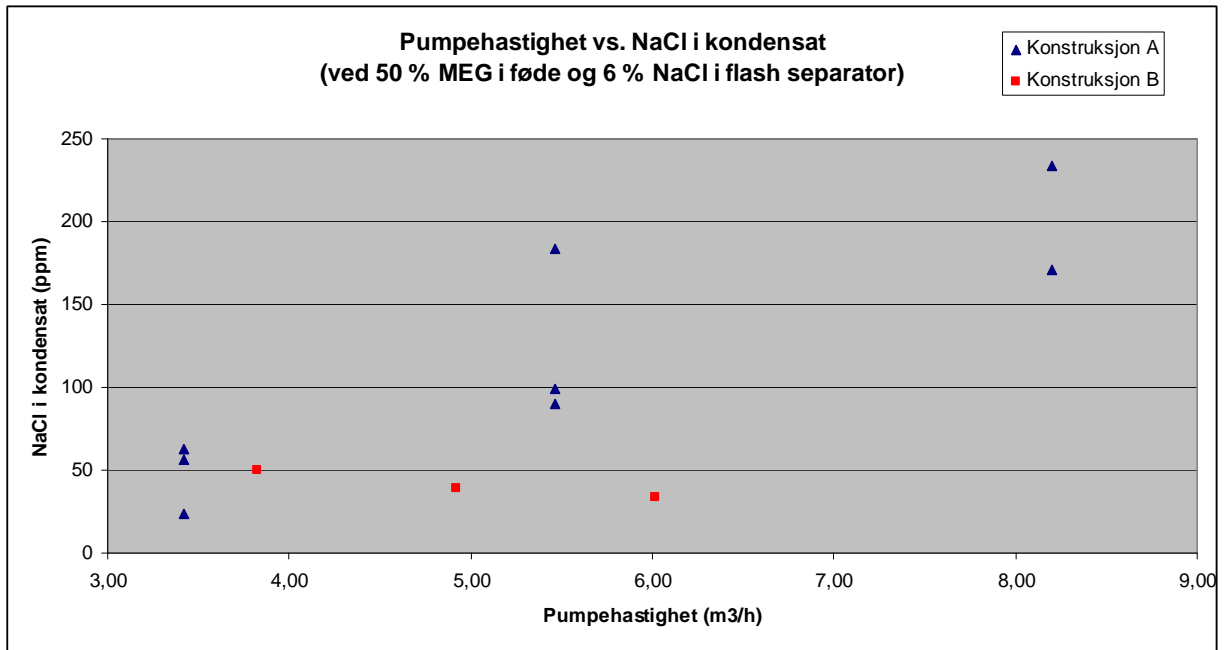
Under finnes resultatene fra forsøkene som omhandler vortex finder. Det har blitt sett på henholdsvis saltkonsentrasjon i flash separator og pumpehastighet mot NaCl-konsentrasjon i kondensat for å avdekke hva som påvirker salt carry-over.

Figur 7-5 viser sammenhengen mellom total saltkonsentrasjon og NaCl som har blitt med gassfasen over i kondensatet for konstruksjon A og B.



Figur 7-5: Sammenhengen mellom den totale saltkonsentrasjonen i flash separatoren og NaCl-konsentrasjonen i kondensatet ved de forskjellige interne konstruksjonene. I figuren viser de blå trekantene forsøkene under konstruksjon A og de røde firkantene viser forsøkene under konstruksjon B. Resultatene er hentet fra tabell 6-1 til 6-10.

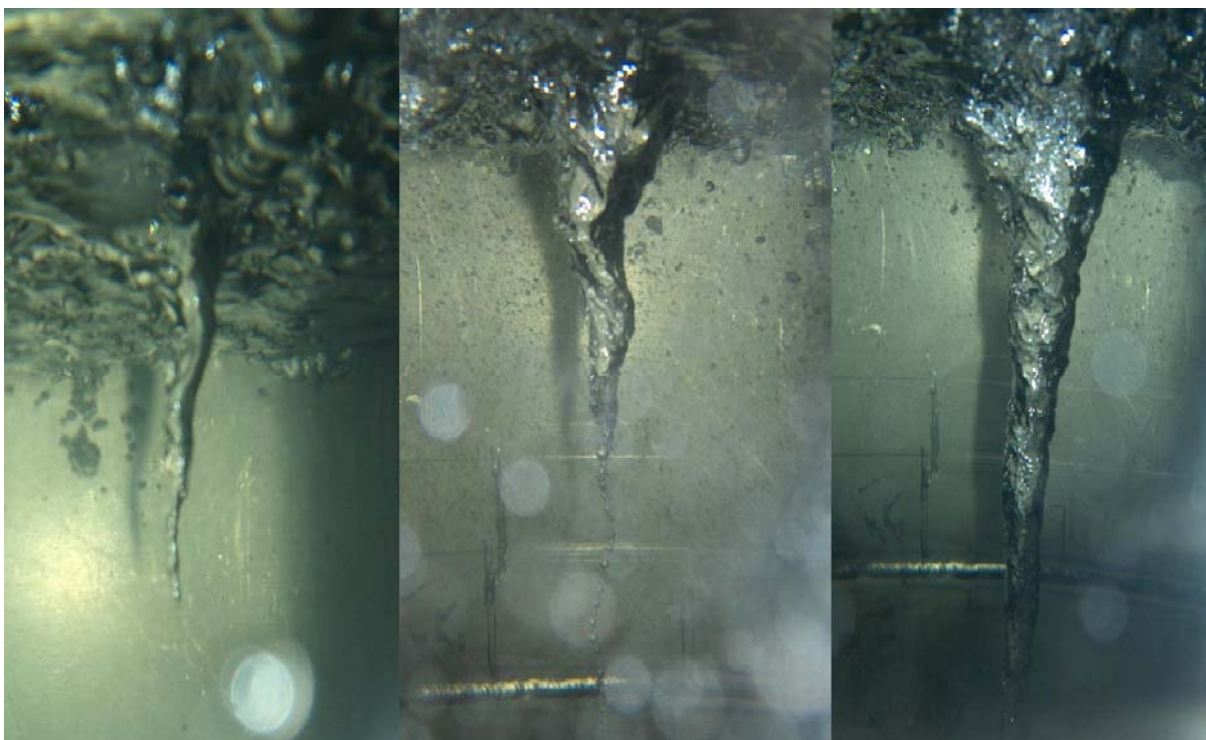
Figur 7-6 viser sammenhengen mellom pumpehastigheten og NaCl i kondensatet ved 6 % NaCl i flash separatoren for konstruksjon A og B. Det ble valgt å bare presentere resultatene ved denne saltkonsentrasjonen og 50 vekt% MEG i føden fordi dette gav mest tydelig skille på konstruksjon A og B, selv om samme trend også kunne finnes ved andre salt- og MEG-konsentrasjoner.



Figur 7-6: Sammenhengen mellom pumpehastighet og NaCl-konsentrasjonen i kondensatet ved de forskjellige interne konstruksjonene. Diagrammet gjelder for betingelsene ved 50 vekt% MEG i føden og 6 % NaCl i flash separatorene. I figuren viser de blå trekantene forsøkene under konstruksjon A og de røde firkantene viser forsøkene under konstruksjon B. Resultatene er hentet fra tabell 6-1 og 6-7.

7.2.2 Vortex breaker – Gassunderstrømning

Resultatene fra forsøkene rundt vortex breakerer blir presentert i dette kapittelet. Under forsøket uten vortex breaker ble virvlene i figur 7-7 observert. Da vortex breaker ble montert forsvant også dannelsen av virvler.



Figur 7-7: Virvler som ble dannet under forsøkene med konstruksjon A. Hastighetene på pumpen ved de forskjellige bildene var (fra venstre) 3,8 m³/h, 5,5 m³/h (oppstartsfase) og 5,5 m³/h (full virvel).

Ved å sammenlikne Q_{max}-verdiene ved konstruksjon A og B er det mulig å avgjøre effekten av vortex breakerer med hensyn på pumpekapasitet.

Tabell 7-1: Sammenlikning av Q_{max} ved de forskjellige konstruksjonene under like betingelser i flash separatoren.

Prøve	MEG-kons. i føde (vekt %)	Salter totalt i flash separator (vekt %)	Q _{max} uten vortex breaker (m ³ /h)	Q _{max} med vortex breaker (m ³ /h)	Q _{max} forskjell
FS 6/7/8 & 47	50,00 %	0 %	5,06	6,15	22 %
FS 9/10/11 & 46	80,00 %	0 %	6,15	5,74	-7 %
FS 27/28 & 49	50,00 %	6 %	8,2	6,03	-27 %
FS 19/20 & 58	80,00 %	6 %	4,63	6,03	30 %
FS 37 & 62	80,00 %	10 %	6,83	6,15	-10 %
FS 41 & 58	80,00 %	18 % (utfelling)	5,33	6,97	31 %

7.3 Diskusjon

Resultatene fra de ulike forsøkene blir diskutert i de påfølgende kapitlene.

7.3.1 Effekten av vortex finder

For å studere sammenhengen mellom total mengde salter i separatoren og NaCl-konsentrasjonen i kondensatet kan figur 7-5 betraktes. Når den totale saltkonsentrasjonen i flash separatoren er lav (ca. 6 %) vil konstruksjon A gi en mye høyere konsentrasjon av NaCl i kondensatet enn ved konstruksjon B. Tilsvarende resultat vises også ved høyere saltkonsentrasjoner i flash separatoren. NaCl-konsentrasjoner i kondensatet ved konstruksjon B når opptil 50 ppm, med unntak av ett punkt på ca 110 ppm. Ved konstruksjon A når konsentrasjonen opptil ca 100 ppm. Unntaket er tre punkter ved lavt saltinnhold med konsentrasjoner mellom 175 ppm og 230 ppm. Ved å benytte konstruksjon B holdes NaCl-mengden lav i kondensatet uavhengig av saltkonsentrasjonen i flash separatoren, noe som understreker at vortex finder har en effekt på saltmedrivningen.

Figur 7-6 viser sammenhengen mellom pumpehastighet og NaCl-konsentrasjonen i kondensatet ved de forskjellige interne konstruksjonene. Diagrammet gjelder for betingelsene ved 50 vekt% MEG i føden og 6 % NaCl i flash separatoren. Figuren viser at for konstruksjon A øker salt carry-over med økt pumpehastighet. Denne sammenhengen er ikke å finne ved konstruksjon B.

I tabell 6-2 (6 % NaCl, 80 vekt% MEG) er det kun to gyldige prøver; KT 22 og KT 22, da det er lite trolig at ikke noe NaCl har kommet med i kondensatet i prøvene KT 19, KT 20 og KT 21. Sannsynligvis har noe skjedd under analysene, slik at det ikke ble detektert noe NaCl. De to gyldige prøvene var tatt ut ved en pumpehastighet på 3,55 m³/h og gav henholdsvis 46 og 37 ppm NaCl i kondensatet. Ved å sammenlikne med tilsvarende pumpehastigheter i tabell 6-1 ved 50 vekt% MEG i føden (3,42 m³/h) finnes 24, 63 og 56 ppm NaCl i kondensatet. Ved disse betingelsene er det tilsynelatende mindre salt carry-over ved 80 vekt% MEG i føden enn ved 50 vekt%.

Videre ble 15 kg kaliumformiat tilsatt flash separatoren. Tabell 6-3 (50 vekt% MEG i føden) viser at også her vil NaCl-konsentrasjonen i kondensatet øke med pumpehastigheten. Konsentrasjonen av kaliumformiat var jevn over alle forsøkene og var høyere enn NaCl-konsentrasjonen.

I forhold til forsøkene med kun NaCl kan det se ut til at mindre NaCl følger med gassfasen når kaliumformiat er tilstede, men den totale saltmengden i kondensatet er likevel jevnt høy.

Når fødekonsentrasjonen av MEG økte til 80 vekt% ved samme saltkonsentrasjon er mengden NaCl i kondensatet lavere enn når det ble benyttet 50 vekt% MEG som føde. Som de tidligere forsøkene har vist, ser det også her ut til av salt carry-over øker med økt pumpehastighet.

Det ser ikke ut til å være spor etter kaliumformiat i kondensatet ved 80 vekt% MEG i føden, men den generelle trenden viser at konsentrasjonen av kaliumformiat er høyere enn NaCl i kondensatet og analyseresultatene antas ikke å være korrekte.

17,1 kg NaCl ble tilsatt flash separatoren for å oppnå utfelling av salter. Det ble da observert saltutfelling langs karmen på innsynsvinduet i separatoren. Igjen viser resultatene ved 50 vekt% MEG i føden (tabell 6-5) de samme trendene som diskutert over, men prøven KT 44 har noe lavt NaCl-innhold. Dette kan skyldes usikkerhet i analysen. Samme problem med kaliumanalysene dukket opp både ved 50 vekt% og 80 vekt% MEG i føden. Ved 80 vekt% MEG i føden (tabell 6-6) er igjen NaCl-innholdet lavere enn ved 50 vekt%.

Ved konstruksjon A er trenden at salt carry-over øker med økende pumpehastighet. Denne trenden er gjeldende for alle prøvene. Videre kan det også sees at salt carry-over minker ved økt konsentrasjon av MEG i føden. For å holde salt carry-over lav uten bruk av vortex finder, vil det da være optimalt å benytte en så høy MEG-konsentrasjon i føden inn i anlegget som mulig, og samtidig holde en lavere pumpehastighet. På den andre siden vil en lavere pumpehastighet føre til stor flash separator, varmer og pumpe. Dette øker kostnadene og anlegget blir større.

Under drift med konstruksjon B, 6 % NaCl i flash separatoren og 50 vekt% MEG i føden (tabell 6-7) ser det ikke ut til å være noen trend mellom pumpehastighet og NaCl-konsentrasjonen i kondensatet. Ved å sammenlikne med tilsvarende betingelser under konstruksjon A ser man at NaCl-mengden er lavere ved konstruksjon B.

Fødekonsentrasjonen ble økt til 80 vekt%, også for konstruksjon B (tabell 6-8), og som for konstruksjon A minker NaCl-innholdet i kondensatet. Heller ikke her kan det sees noen tydelig sammenheng med pumpehastigheten. Da tre av resultatene fra samme betingelser under konstruksjon A er fraværende, er det vanskelig å sammenlikne, men ved tilsvarende

pumpehastighet som de gyldige prøvene under konstruksjon A, er konsentrasjonen av NaCl ved konstruksjon B noe lavere.

Etter tilsats av 15 kg kaliumformiat viser resultatene (tabell 6-9) at kaliumformiat fulgte gassfasen og kom med i kondensatet i betydelige mengder. NaCl-konsentrasjonen er den samme som under konstruksjon A ved de samme betingelsene. Det kan derfor antas at også en tilsvarende kaliumformiatkonsentrasjon var tilsvarende der. Verken NaCl- eller kaliumformiatkonsentrasjonen i kondensatet ser ut til å ha noen sammenheng med pumpehastigheten.

Til slutt ble 17,1 kg NaCl tilsatt for å oppnå utfelling i separatoren. resultatene fra disse analysene finnes i tabell 6-10. Som under forsøkene ved konstruksjon A, ble utfelling observert i karmen på innsynsvinduet i separatoren. Forsøk 63 gav høye saltutslag i både flash separator og kondensat. Grunnen til dette er uvisst. Det ser ikke ut til at pumpehastigheten har noen påvirkning på saltkonsentrasjonen i disse forsøkene. Kaliumformiatkonsentrasjonen er også her høyere enn NaCl-konsentrasjonen i kondensatet.

For sammenlikning med konstruksjon A under samme betingelser ser man at konsentrasjonen i prøvene KT 64 og KT 65 er lavere enn KT 39, KT 40 og KT 41.

Ved konstruksjon B kan det ikke finnes noen sammenheng mellom salt carry-over og pumpehastighet. Ved sammenlikning med konstruksjon A gir konstruksjon B lavere salt carry-over. Konstruksjon B fungerer optimalt ved høye konsentrasjoner av MEG i føden og høy hastighet på pumpen, da denne ikke er utslagsgivende for separeringseffekten. Konstruksjon B førte til at salt carry-over var uavhengig av saltkonsentrasjonen i flash separatoren. Ved å kunne benytte en høyere hastighet på pumpen, vil anleggene kunne designes mer kompakte og effektive.

7.3.2 Effekten av vortex breaker

Figur 7-7 viser at det ble dannet virvler ved konstruksjon A. Denne kan ha trukket gass ned i pumpen. Virvelen til venstre i figur 7-7 er i startfasen av å bygge seg opp. Det tok mellom tre og fem sekunder før den hadde bygget seg opp til maksimal størrelse. Hastigheten på pumpen da denne vortexen ble dannet var $3,8 \text{ m}^3/\text{h}$.

Bildet i midten av figur 7-7 viser en virvel lenger ut i oppbyggingen. Små bobler kan observeres under selve vortexen. Disse holdt seg svært stasjonære før virvelen nådde maksimal størrelse, slik man kan se på bildet til høyre. Hastigheten på pumpen da bildet i midten og til høyre ble tatt var $5,5 \text{ m}^3/\text{h}$.

Tilsats av føde var ikke konstant og virvelen bygde seg opp når det ikke var tilførsel av føde. Da føde ble tilført begynte væsken spontant å koke og strømningsforholdene i separatoren ble forstyrret slik at virvelen ble brutt. Med det samme tilførselen av føde stanset, og dermed også det meste av kokingen, begynte virvelen igjen å dannes.

Ved konstruksjon B ble det ikke observert noen dannelse av virvel. Det var kun mulig å se inn i flash separatoren før tilsats av salter, da saltene farget væsken grå og deretter brun. Begrensninger i pumpehastigheten inntraff også under konstruksjon B, men denne gangen uten virvel.

Ved sammenlikning av virveldannelsene, har det blitt funnet at det blir dannet virvel i flash separatoren ved konstruksjon A og ikke ved konstruksjon B. Konstruksjon B ser ut til å gi en mer stabil væskeoppførsel og vil mest sannsynlig føre til mindre gassunderstrømning.

For å bestemme om pumpens maksimale hastighet vil variere ved de to forskjellige konstruksjonene ble Q_{\max} målt. Q_{\max} er definert som den pumpehastigheten der pumpen og pilotanlegget begynner å vibrere.

Resultatene i tabell 7-1 gir en sammenlikning av Q_{\max} -verdiene med og uten vortex breaker under tilsvarende forhold i flash separator.

Resultatene viser at montering av vortex breaker ikke øker Q_{\max} og at problemer med begrensninger i pumpehastigheten ikke skyldes gass som blir trukket ned i pumpen som ble benyttet i forsøket. Dette kan være annerledes for andre typer pumper, som sentrifugalpumper, da disse er sensitive for gass.

8 Pumpekapasitet

Teori, resultater og diskusjon rundt studiet om pumpekapasitet er å finne i dette kapitlet.

8.1 Teori

Under drift av reclamation-anlegget oppstod begrensninger i pumpekapasiteten slik at volumstrømningen som anlegget var designet for ikke ble nådd. I pumpen oppstod en lyd som kunne minne om slag i takt med hastigheten, samt vibrasjoner i anlegget.

Pumpetypen som benyttes i fullskalaanlegg er sentrifugalpumper. I pilotanlegget ble det benyttet en fortrenningspumpe som beskrevet i kapittel 3.4. Dette forsøket er derfor ikke helt representativt, fordi sentrifugalpumper er mer sensitive til gass og kan lide av kavitasjon. Det ble derfor gjort forsøk for å vurdere om det er noe annet enn kavitasjon som kan være problemet i fullskalaanleggene, slik at dette kan forbedres og redusere retensjonstiden.

Forsøkene i denne oppgaven ble utført ved lav, medium og høy hastighet på pumpen. Den høye hastigheten ble dermed satt av begrensningen som oppstod (Q_{max}). Det ble fremlagt to teorier om hva årsakene til dette var. Teoriene gikk ut på at pumpen ikke hadde tilstrekkelig NPSH (Net Positive Suction Head) eller at et strømningsmønster påvirket anlegget slik at vibrasjonene oppstod.

8.1.1 NPSH – Net Positive Suction Head

NPSHa er differansen mellom det totale absolutte trykket på pumpens sugeside under drift og damptrykket ved temperaturen som væsken innehar ved dette punkt (Perry og Green, 2008, (1)). Hvis en væske innehar lavere trykk enn væskens eget damptrykk ved gitt temperatur vil væsken fordampe ($NPSHa < NPSHr$). Dette kan oppstå på pumpens sugeside og i selve pumpehuset, og vil kunne skape problemer for pumpen i form av vibrasjoner, redusert strømning, effektivitetstap og tæring av materialet i pumpehuset (Perry og Green, 2008, (1)).

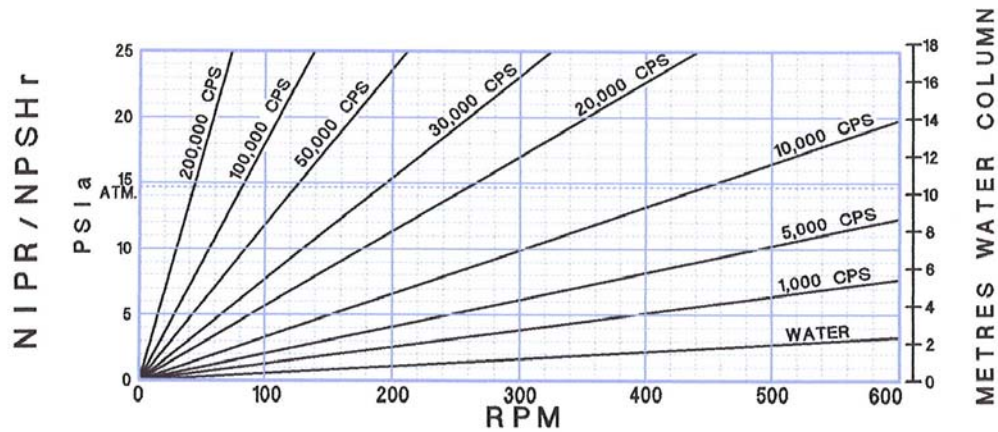
NPSHa Net Positive Suction Head available (tilgjengelig)

NPSHr Net Positive Suction Head required (nødvendig)

NPSH kan beregnes og formel (15) ble benyttet (Perry og Green, 2008, (1)):

$$NPSHa = h_{ss} - h_{fs} - p \quad (15)$$

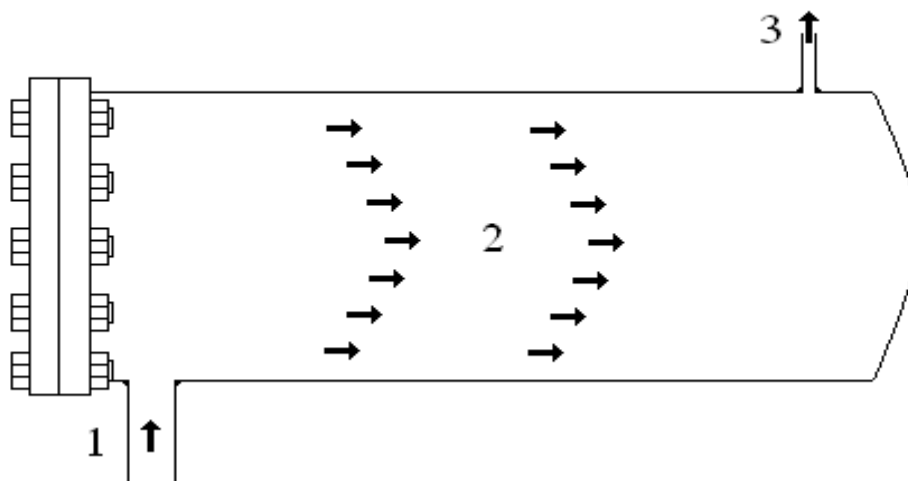
For å finne nødvendig NPSH (NPSHr) ble diagrammet i figur 8-1 benyttet. Dette diagrammet fulgte med pumpen og videre beregninger ble basert på dette.



Figur 8-1: Diagram for avlesning av pumpens NPSHr. Langs x-aksen finner man motorhastigheten på pumpen (RPM). Skjæringspunktet mellom motorhastigheten og målt viskositet (CPS = cP) gir NPSHr langs y-aksen i psia (til venstre) og meter vannsøyle (til høyre).

8.1.2 Turbulent strømningsmønstre

Strømningsmønstret i resirkuleringen i anlegget skulle studeres ved å beregne Reynolds tall. Figur 8-2 illustrerer hvor Reynolds tall ble beregnet.



Figur 8-2: Illustrasjon av hvor Reynolds tall skulle beregnes. Punkt 1: Innløpsrøret til varmeren. Røret hadde en diameter på 5 cm. Punkt 2: Varmeren. Varmeren hadde en diameter på 35 cm. Punkt 3: Utløpsrøret fra varmeren. Røret hadde en diameter på 2 cm.

Reynolds tall ble beregnet ved hjelp av følgende formel (Perry og Green, 2008, (2)):

$$N_{Re} = \frac{Dv\rho}{\eta} \quad (16)$$

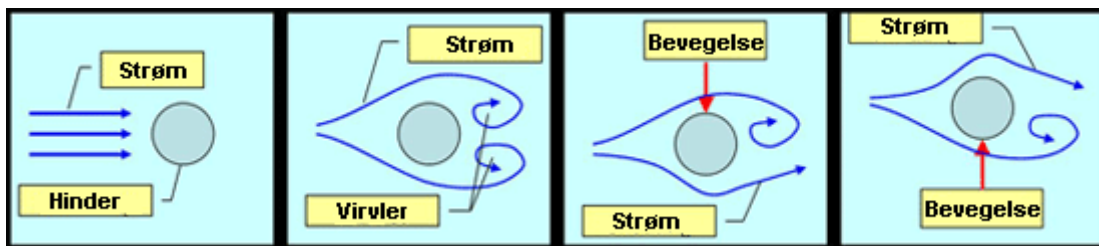
Ved laminær strømming i rør har væsken en jevn flyt i rørene og kan ansees som en bevegelse i parallelle lag. Hastighetsprofilen på en laminær strømming i et rør er en paraboloid på grunn av friksjonskrefter som vil bremse væsken noe langs veggene. Denne type strømming oppstår i rette rør (Schlumberger, 2009, (1)). For at strømmingen skal betegnes som laminer må Reynolds tall være under 2300 (The Engineering Toolbox, 2009).

Ved turbulent strømming i rør vil strømmingshastigheten ved hvilket som helst punkt i røret variere i både intensitet og vinkel, og kjennes igjen ved strømmingens varierende sirkulære strømmer og virvler (Schlumberger, 2009, (2)). Når hastigheten øker vil Reynolds tall øke og når Reynolds tall passerer 4000 vil strømmingen innta et turbulent strømningsmønster (The Engineering Toolbox, 2009).

I intervallet mellom laminær og turbulent strømning ($2300 < N_{Re} < 4000$) kan væskestrømmen inneha begge strømningsmønstrene. Dette er en overgangsfase der deler av røret kan ha laminær strømning og andre deler kan ha turbulent.

8.1.3 Virvelforårsaket vibrasjon

Virvelforårsaket vibrasjon, eller vortex induced vibration, er et fenomen som oppstår når en væske passerer et hinder og virvler dannes nedstrøms for hinderet. Virvelen danner en kraft som fører til at gjenstanden presses til motsatt side av der virvelen oppstår. Samtidig vil strømmer som passerer hinderet på motsatt side av der virvelen oppstår hjelpe til å trekke hinderet fra virvelen (vinkelrett på strømningsretningen). Gjenstanden får alternerende bevegelser på grunn av dette fenomenet. Ved visse strømninger, avhengig av hinderets form, lengde, festepunkter etc. kan bevegelsen treffe gjenstandens egenfrekvens. Dette vil kunne føre til vibrasjoner og mekanisk svikt rundt sylindriske elementer (Perry og Green, 2008, (3)), som varmeelementene montert i varmeren. Figur 8-3 viser hvordan strømninger påvirker sylindriske gjenstander.



Figur 8-3: Illustrasjon av hvordan virvelforårsaket vibrasjon oppstår (Vortex Hydro Energy, 2007).

8.2 Resultater

Følgende resultater ble observert angående begrensningene i pumpehastigheten.

8.2.1 NPSH – Net Positive Suction Head

Resultatene fra beregning av NPSH ved drift for konstruksjon A er gitt i tabell 8-1 og ved drift for konstruksjon B i tabell 8-2. Beregningene for viskositet ved betingelsene ved prøveuttak er gitt i vedlegg 9. Beregningene for NPSHa er gitt i vedlegg 10. NPSHr er lest av figur 8-1. Det ble oppgitt at pumpens maksimale hastighet er 200 RPM. Det ble antatt lineær korrelasjon mellom RPM og m^3/h .

Tabell 8-1: Tabellen viser beregnet NPSHr og NPSHa ved Qmax for konstruksjon A. NPSH-verdiene er beregnet ut ifra betingelsene ved det aktuelle prøveuttaket.

Prøve	MEG-kons. i føde (vekt %)	MEG-kons. i separator (vekt %)*	Temp. (°C)	Salter totalt (vekt %)	Viskositet ved uttak (cP)	Pumpehastighet (m ³ /h)	NPSHr (m)	NPSHa (m)	NPSH diff. (m)
FS 9	80,00 %	94,72 %	109,90	0,00 %	1,66	6,15	1,37	2,33	0,96
FS 10	80,00 %	94,71 %	110,10	0,00 %	1,66	6,15	1,37	2,33	0,96
FS 11	80,00 %	95,25 %	110,10	0,00 %	1,66	6,15	1,37	2,32	0,95
FS 19	80,00 %	97,76 %	117,90	5,77 %	2,19	4,65	1,10	2,30	1,20
FS 20	80,00 %	98,25 %	121,50	5,72 %	2,49	4,65	1,16	2,34	1,18
FS 27	50,00 %	97,77 %	106,70	5,24 %	2,50	8,20	2,12	2,33	0,20
FS 28	50,00 %	97,83 %	106,80	5,53 %	2,48	8,20	2,12	2,33	0,21
FS 34	50,00 %	97,44 %	114,20	9,56 %	2,56	5,06	1,33	2,34	1,01
FS 37	80,00 %	99,54 %	134,90	8,92 %	1,89	6,83	1,63	2,31	0,68
FS 41	80,00 %	97,12 %	130,40	10,61 %	2,42	5,33	1,41	2,27	0,86
FS 43	50,00 %	95,78 %	109,80	10,50 %	2,84	5,33	1,51	2,33	0,82
FS 44	50,00 %	95,26 %	113,30	10,14 %	2,50	5,33	1,43	2,35	0,92

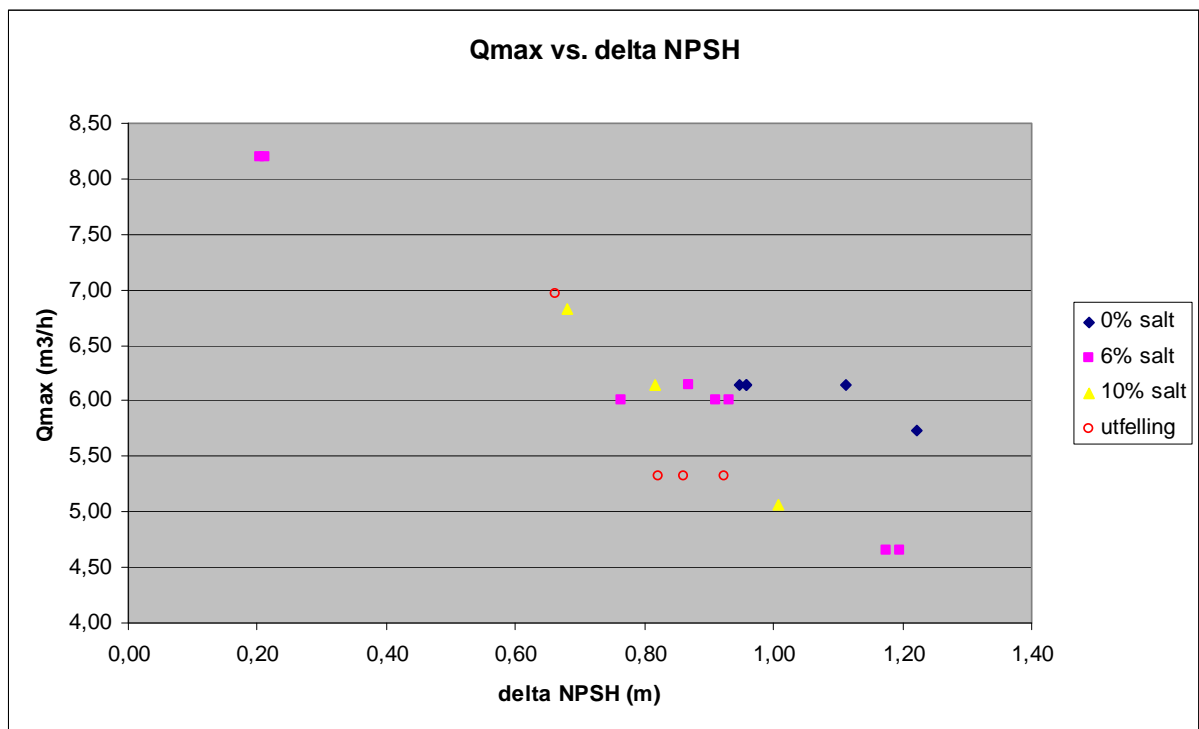
*Vektprosent er på saltfri basis

Tabell 8-2: Tabellen viser beregnet NPSHr og NPSHa ved Qmax for konstruksjon B. NPSH-verdiene er beregnet ut ifra betingelsene ved det aktuelle prøveuttaket.

Prøve	MEG-kons. i føde (vekt %)	MEG-kons. i separator (vekt %)*	Temp. (°C)	Salter totalt (vekt %)	Viskositet ved uttak (cP)	Pumpehastighet (m ³ /h)	NPSHr (m)	NPSHa (m)	NPSH diff. (m)
FS 46	80,00 %	94,33 %	119,20	0,00 %	0,86	5,74	1,08	2,30	1,22
FS 47	50,00 %	93,62 %	113,20	0,00 %	1,12	6,15	1,23	2,34	1,11
FS 49	50,00 %	98,01 %	110,90	5,82 %	2,32	6,01	1,55	2,31	0,76
FS 54	65,00 %	98,08 %	119,10	5,70 %	2,03	6,15	1,47	2,34	0,87
FS 56	70,00 %	98,46 %	126,20	5,67 %	1,75	6,01	1,40	2,33	0,93
FS 58	80,00 %	98,75 %	125,90	5,63 %	1,84	6,01	1,42	2,33	0,91
FS 62	80,00 %	98,53 %	120,10	10,19 %	2,26	6,15	1,53	2,35	0,82
FS 64	80,00 %	98,77 %	124,60	10,45 %	2,05	6,97	1,68	2,34	0,66

*Vektprosent er på saltfri basis

Sammenhengen mellom Q_{max} og delta NPSH for både konstruksjon A og B for forskjellige saltkonsentrasjoner er gitt i figur 8-4.



Figur 8-4: Diagrammet viser differansen mellom NPSHa og NPSHr mot Q_{max} ved 6 % og 10 % saltkonsentrasjon, samt ved saltkonsentrasjon høy nok til å gi utfelling. Det er ikke skilt mellom de forskjellige konstruksjonene i figuren.

8.2.2 Reynolds tall

Resultatene fra beregningen av Reynolds tall er presentert i tabell 8-3 (ved Qmax) og 8-4 (ekskludert Qmax).

Tabell 8-3: Tabellen viser beregnede Reynolds tall ved Qmax. Rød bakgrunn betyr at strømmingen er turbulent, grønn bakgrunn betyr at strømmingen er laminær og gul bakgrunn betyr at strømmingen er i mellomskiktet og kan da både være turbulent og laminær.

Prøve	MEG-kons. i separator (vekt %)*	Temp. (°C)	Salter totalt (vekt %)	Viskositet ved uttak (cP)	Pumpehastighet (m ³ /h)	Tetthet (kg/m ³)	N _{Re} (Pkt.1)	N _{Re} (Pkt. 2)	N _{Re} (Pkt. 3)
FS 19	97,76 %	117,90	5,77 %	2,19	4,65	1159	17409	2487	43524
FS 20	98,25 %	121,50	5,72 %	2,49	4,65	1159	15330	2190	38324
FS 27	97,77 %	106,70	5,24 %	2,50	8,20	1155	26786	3827	66965
FS 28	97,83 %	106,80	5,53 %	2,48	8,20	1157	27046	3864	67616
FS 34	97,44 %	114,20	9,56 %	2,56	5,06	1188	16612	2373	41530
FS 37	99,54 %	134,90	8,92 %	1,89	6,83	1185	30278	4325	75696
FS 41	97,12 %	130,40	10,61 %	2,42	5,33	1195	18650	2664	46625
FS 43	95,78 %	109,80	10,50 %	2,84	5,33	1193	15861	2266	39652
FS 44	95,26 %	113,30	10,14 %	2,50	5,33	1190	17942	2563	44855
FS 49	98,01 %	110,90	5,82 %	2,32	6,01	1160	21264	3038	53160
FS 54	98,08 %	119,10	5,70 %	2,03	6,15	1159	24851	3550	62128
FS 56	98,46 %	126,20	5,67 %	1,75	6,01	1159	28134	4019	70335
FS 58	98,75 %	125,90	5,63 %	1,84	6,01	1159	26816	3831	67041
FS 62	98,53 %	120,10	10,19 %	2,26	6,15	1194	23003	3286	57509
FS 64	98,77 %	124,60	10,45 %	2,05	6,97	1196	28759	4108	71897

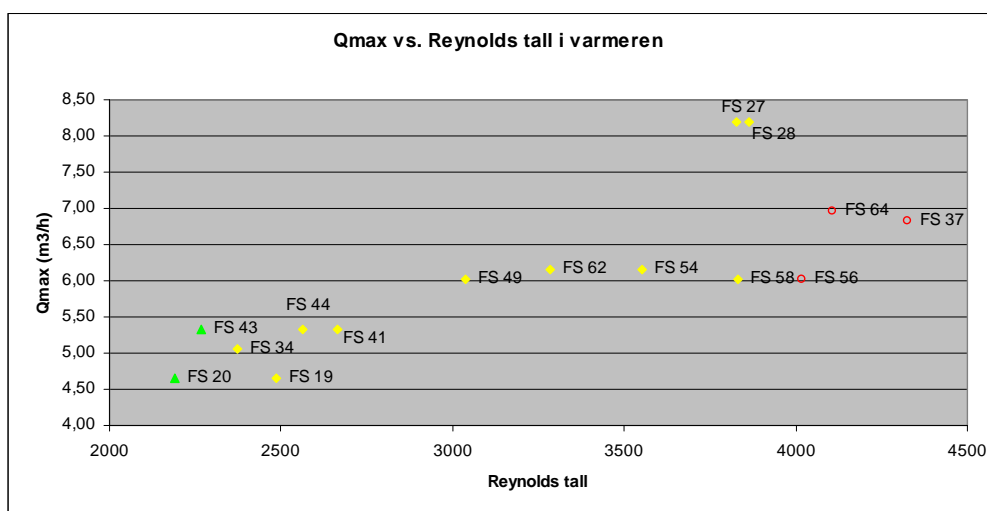
*Vektprosent er på saltfri basis

Tabell 8-4: Tabellen viser beregnede Reynolds tall ved øvrige prøver som ikke er Qmax. Rød bakgrunn betyr at strømmingen er turbulent, grønn bakgrunn betyr at strømmingen er laminær og gul bakgrunn betyr at strømmingen er i mellomskiktet og kan da både være turbulent og laminær.

Prøve	MEG-kons. i separator (vekt %)*	Temp. (°C)	Salter totalt (vekt %)	Viskositet ved uttak (cP)	Pumpe-hastighet (m ³ /h)	Tetthet (kg/m ³)	N _{Re} (Pkt.1)	N _{Re} (Pkt. 2)	N _{Re} (Pkt. 3)
FS 21	99,07 %	119,10	5,82 %	2,03	4,10	1161	16599	2371	41497
FS 22	99,30 %	123,40	5,71 %	1,90	3,55	1160	15333	2190	38331
FS 23	99,30 %	116,70	5,53 %	2,33	3,55	1159	12507	1787	31268
FS 24	97,44 %	129,90	5,53 %	1,68	3,42	1157	16656	2379	41641
FS 25	96,81 %	112,80	5,46 %	2,17	3,42	1156	12857	1837	32143
FS 26	97,38 %	113,70	5,48 %	2,14	3,42	1156	13037	1862	32593
FS 29	97,32 %	85,60	5,54 %	3,89	5,47	1157	11497	1642	28742
FS 30	97,66 %	113,90	5,57 %	2,14	5,47	1157	20898	2985	52245
FS 31	97,54 %	109,60	5,52 %	2,33	5,47	1157	19183	2740	47958
FS 32	97,31 %	117,00	9,72 %	2,28	3,83	1189	14137	2020	35342
FS 33	98,07 %	119,00	9,47 %	2,22	3,83	1188	14474	2068	36186
FS 35	97,88 %	112,80	9,03 %	2,42	4,51	1184	15645	2235	39111
FS 36	99,35 %	138,00	8,99 %	1,73	3,83	1186	18548	2650	46369
FS 38	99,62 %	129,80	8,87 %	2,38	5,33	1185	18807	2687	47018
FS 39	99,44 %	134,00	10,96 %	2,00	5,06	1200	21503	3072	53757
FS 40	99,69 %	131,60	10,34 %	2,03	3,83	1196	15975	2282	39937
FS 42	95,79 %	111,70	10,29 %	2,74	3,83	1192	11791	1684	29478
FS 45	95,04 %	113,30	9,42 %	2,59	4,65	1184	15018	2145	37546
FS 48	97,59 %	112,40	5,78 %	2,20	3,83	1159	14265	2038	35661
FS 50	97,90 %	119,60	6,02 %	2,03	4,92	1161	19893	2842	49732
FS 51	98,35 %	117,30	5,80 %	2,28	3,83	1160	13760	1966	34401
FS 52	98,38 %	119,30	5,76 %	2,30	4,92	1160	17573	2510	43932
FS 53	97,95 %	119,20	5,69 %	2,07	4,92	1159	19456	2779	48641
FS 55	98,52 %	124,20	5,80 %	1,89	3,83	1160	16594	2371	41485
FS 57	98,99 %	127,00	5,68 %	1,83	3,83	1160	17122	2446	42805
FS 59	98,99 %	127,10	5,83 %	1,94	4,92	1161	20860	2980	52150
FS 60	98,97 %	128,70	10,20 %	2,05	3,83	1194	15786	2255	39465
FS 61	98,45 %	122,30	10,41 %	2,52	4,92	1195	16488	2355	41220
FS 63	99,06 %	126,40	11,88 %	2,17	3,83	1206	15074	2153	37685
FS 65	98,65 %	124,00	11,22 %	2,26	5,33	1201	20019	2860	50047

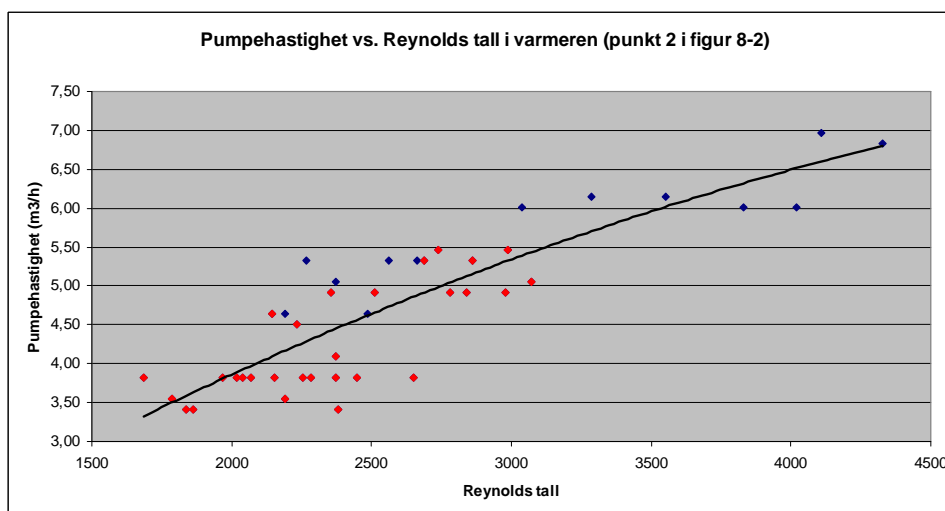
*Vektprosent er på saltfri basis

Sammenhengen mellom Q_{max} og Reynolds tall er vist i figur 8-5.



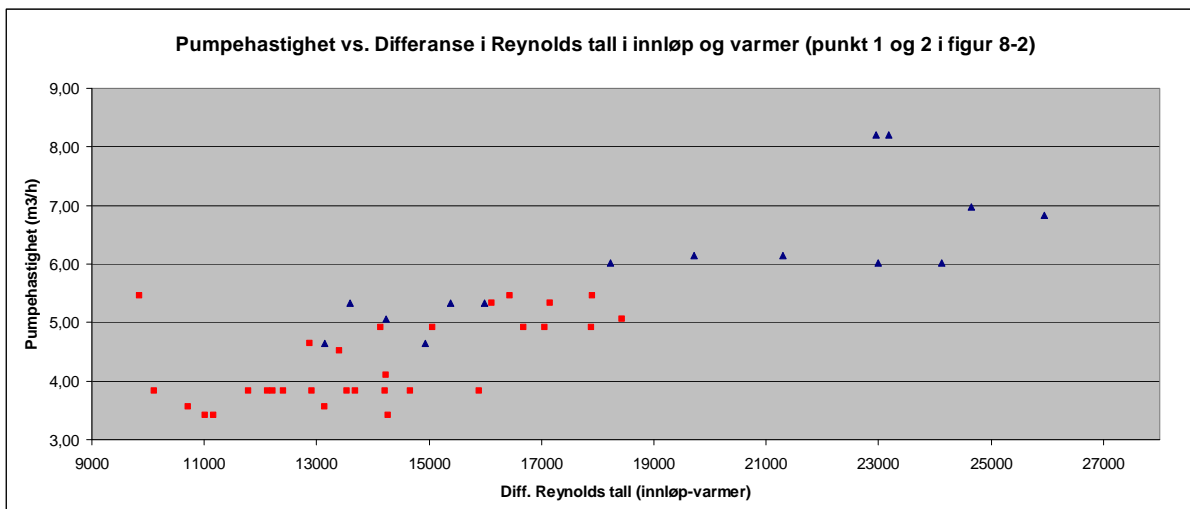
Figur 8-5: Diagrammet viser Q_{max} mot Reynolds tall i varmeren. De røde ringene ligger i det turbulente område, de grønne trekantene ligger i det laminære området og de gule rombene ligger i mellomskiktet og kan da både være turbulent og laminær.

Sammenhengen mellom pumpehastighet og Reynolds tall er vist i figur 8-6.

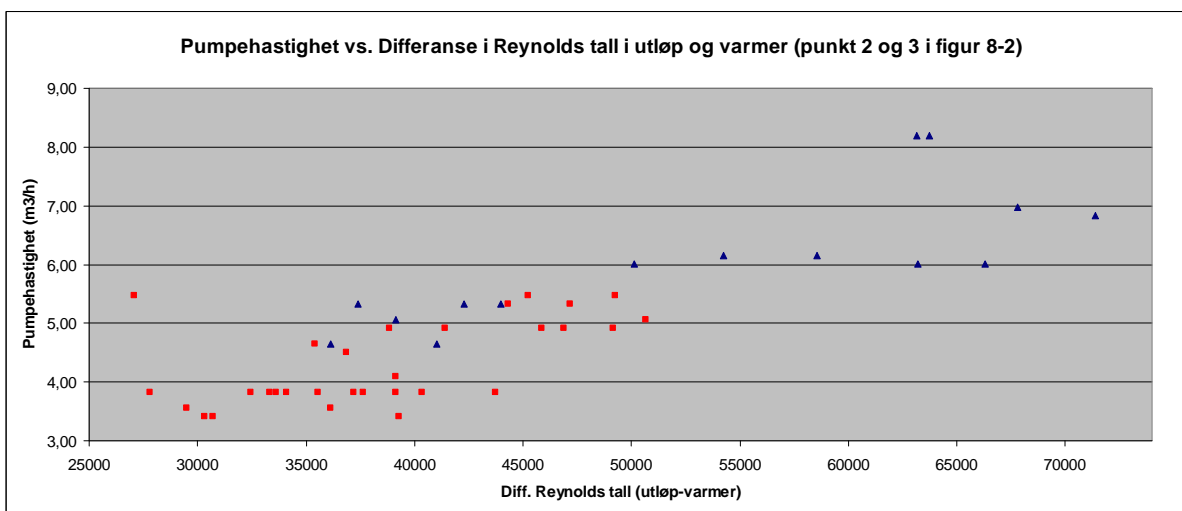


Figur 8-6: Diagrammet viser alle pumpehastigheter mot Reynolds tall i varmeren. Punktene FS 27, FS 28 og FS 29 er fjernet fra diagrammet, da disse ikke er representative. De blå punktene representerer Q_{max} -verdier og de røde punktene representerer øvrige hastigheter ved prøveuttak.

Forandring i strømningsmønster ved innløp og utløp av varmeren er vist i figur 8-7 og 8-8 i sammenheng med pumpehastighet. Det er ikke skilt mellom konstruksjon A og B.



Figur 8-7: Diagrammet viser alle pumpehastigheter mot differansen i Reynolds tall mellom innløpet til varmeren og i selve varmeren. De blå trekantene representerer Qmax-verdier og de røde firkantene representerer øvrige hastigheter ved prøveuttak.



Figur 8-8: Diagrammet viser alle pumpehastigheter mot differansen i Reynolds tall mellom selve varmeren og dens utløp. De blå trekantene representerer Qmax-verdier og de røde firkantene representerer øvrige hastigheter ved prøveuttak.

8.3 Diskusjon

Dette kapitlet inneholder diskusjon rundt de to teoriene om hvorfor begrensningene i pumpekapasiteten i pilotanlegget inntraff.

8.3.1 Tilgjengelig NPSH

Resultatene viser at alle NPSHa-verdier er større enn tilhørende NPSHr. Forsøkene FS 27 og FS 28 representerer ikke begrensningene man ønsket å studere, da disse skyldes mekaniske begrensninger i pumpen. Resultatene er likevel valgt å vises for å demonstrere pumpens NPSH ved maksimal hastighet. FS 27 og FS 28 vises i figur 8-5, 8-7 og 8-8 som de to punktene ved høyest hastighet.

Da alle delta NPSH-verdier er positive, ligger ikke problemet i manglende innløpstrykk til pumpen. Punktene, som tabell 8-1, tabell 8-2 og figur 8-4 viser, har verdier som i hovedsak ligger mellom 0,7m og 1,2m. Dette beviser at tilgjengelig NPSH er tilstrekkelig.

Væsknivået i flash separatoren ble økt 5cm under tre av forsøkene. Forholdene ved høyt og lavt nivå var identiske, slik at kun væsknivået skal ha en påvirkning på Qmax. Ingen trend i forandringene på Qmax ble påvist (se vedlegg 11)

Ut ifra figur 8-4 kan det ikke finnes noen sammenheng mellom NPSH og Qmax uavhengig av saltkonsentrasjon i flash separatoren. En økning av væsknivå hadde heller ikke utslag på Qmax. Pumpebegrensningene skyldes derfor ikke NPSH. Av tabell 8-1 og 8-2 ser man at endringen i de innvendige konstruksjonene i flash separatoren ikke har noen innvirkning på NPSH, noe den teoretisk sett heller ikke skulle ha.

8.3.2 Strømningsmønster

Beregningene av Reynolds tall viser turbulente forhold i innløp (punkt 1 i figur 8-2) og utløp (punkt 3 i figur 8-2) av varmeren. Rørene har liten diameter og diameteren har en omvendt proporsjonal sammenheng med Reynolds tall ved konstant volumstrøm.

I figur 8-5 er Q_{max} -verdiene plottet mot Reynolds tall. Hvis man også her ser bort ifra forsøkene FS 27 og FS 28, som er begrenset av pumpens maksimale hastighet, kan det se ut til at det er en trend i Q_{max} -verdiene. Ved å plote alle pumpehastighetene mot Reynolds tall i varmeren ser man at trendkurven passer godt (figur 8-6). Trenden viser at de praktisk målte verdiene (pumpehastighet, viskositet, saltinnhold, temperatur og MEG-konsentrasjon) gir en utvikling i Reynolds tall slik man skulle forvente basert på teorien.

Figur 8-6 viser at når Reynolds tall overskrider ≈ 3000 i varmeren vil Q_{max} inntreffe. Men Q_{max} har inntruffet også under denne verdien.

Figurene 8-7 og 8-8 viser differansen mellom Reynolds tall i varmeren og henholdsvis innløp og utløp. Ved en differanse i Reynolds tall mellom innløp og varmer på >18000 (figur 8-7) vil mest sannsynlig Q_{max} inntreffe. Det er et tilsvarende skille ved en differanse på >50000 mellom varmer og utløp (figur 8-8).

Ved beregningene av Reynolds tall ble det ikke tatt hensyn til intern konstruksjon (internals) i varmeren. Væskens hastighet kan være høyere og gi opphav til et noe høyere Reynolds tall enn det som er kalkulert i denne rapporten.

Trendene i plottene viser at Reynolds tall, og dermed strømningsmønsteret, vil begrense pumpehastigheten i anlegget. At Q_{max} inntreffer ved visse grenser retter mistanken til et fenomen kalt virvelforårsaket vibrasjon, som gir vibrasjoner slik som opplevd i pilotanlegget under drift.

8.3.3 Kavitasjon

I pilotanlegget ble en positive displacement pumpe benyttet. Denne pumpetypen er ikke følsom for gassbobler og kavitering kunne derfor ikke studeres som en del av denne rapporten.

En klar virvel, samt gass i væskefasen ble observert i konstruksjon A (se kapittel 7.2.2) og kan være en grunn til pumpebegrensninger i virkelige anlegg, da disse benytter sentrifugalpumper. Under kapittel 7.3.2 blir effekten av vortex breaker med hensyn på pumpekapasitet diskutert.

9 Saltutfelling

Teori, resultater og diskusjon rundt studiet om saltutfelling er å finne i dette kapittelet.

9.1 Teori

Viskositeten for væsken i flash separatoren er en viktig parameter. Viskositeten til MEG/vann-løsninger er velkjent og omtalt i flere artikler, men viskositeten i forsøkene utført i denne rapporten er avhengig av saltkonsentrasjonen og vil øke proporsjonalt med tilsatt mengde salt. I hvilken grad disse faktorene avhenger av hverandre ønskes å studeres i pilotanlegget. Metningsgraden av salter i MEG/vann-løsningen vil variere med konsentrasjonen av MEG, og viskositeten i væsken påvirker flash separatorens effektivitet og dermed designet av et reelt anlegg.

Ved IFE har det blitt utført studier av viskositeten til saltholdige MEG/vann-løsninger. Det har her blitt funnet at viskositeten i saltholdig MEG/vann-løsninger følger likning (17) (Seiersten, 2008):

$$\ln(\eta) = \ln(\eta_{MEG+H_2O}) + Wf_{salt} \times \frac{1428,535}{177,1887 + TC} \quad (17)$$

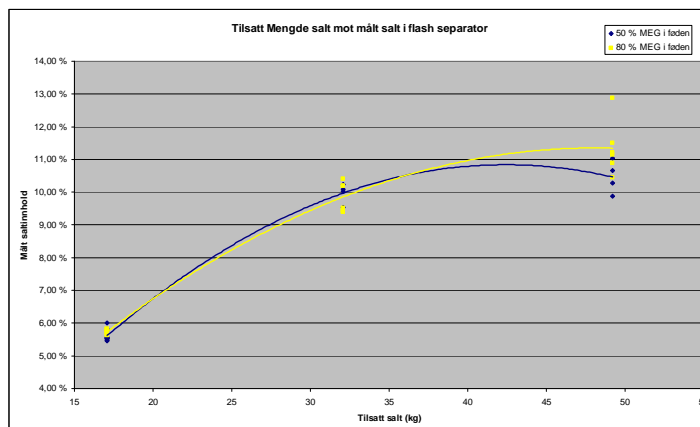
Viskositet og saltinnhold er parametere som er avhengig av hverandre og viskositeten ble satt ved å justere saltinnholdet i løsningene. Saltene som ble benyttet var NaCl (natriumklorid) og KHCOO (kaliumformiat). Disse saltene har svært like egenskaper når det gjelder å øke viskositeten på vann/MEG-løsninger. NaCl var foretrukket, men feller ut ved en konsentrasjon på ca. 6,6 % i ren etylenglykol (Trimble, 1930).

Metningskonsentrasjonen av NaCl i flash separatoren ved 50 vekt% og 80 vekt% MEG i føden ble studert.

9.2 Resultater

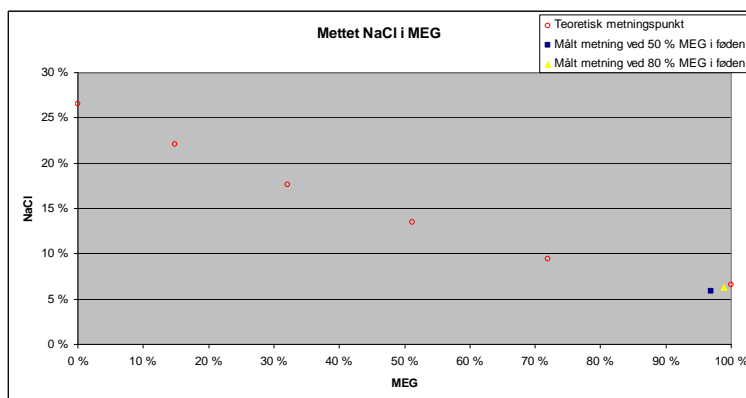
Resultatene nedenfor er bearbejdet med hensyn på saltutfelling og viskositet.

I figur 9-1 er total mengde tilsatt salt plottet mot målt saltkonsentrasjon for å avgjøre når saltutfelling vil finne sted i flash separatoren. Trendkurver benyttes for å finne den høyeste konsentrasjonen.



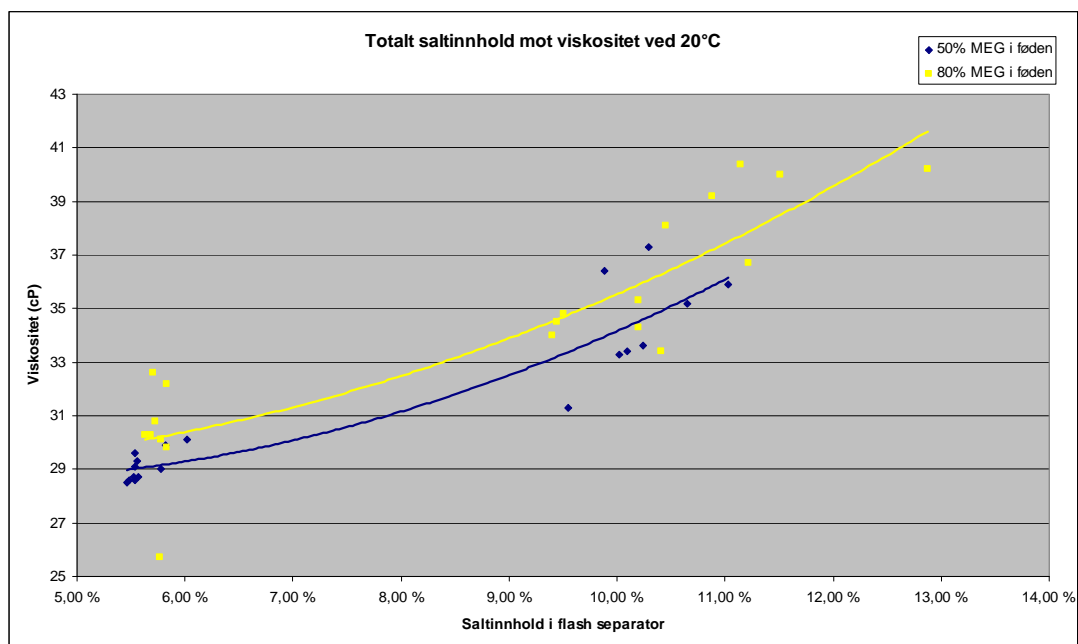
Figur 9-1: Diagrammet viser målt konsentrasjon av salter (NaCl + KHCOO) i flash separator mot mengde tilsatt salt ved 50 vekt% og 80 vekt% MEG i føden.

Figur 9-2 viser teoretiske og målte metningsgrader av NaCl i MEG/vannløsninger. Fra tabell 6-5, 6-6 og 6-10 har gjennomsnittskonsentrasjonen og temperatur av MEG i flash separator blitt beregnet for 50 vekt% og 80 vekt% MEG i føden for å gi verdiene i figuren. Ved 50 vekt% MEG i føden var MEG-konsentrasjonen i flash separator 96,9 vekt% og temperaturen 112,5 °C, og ved 80 vekt% MEG i føden var konsentrasjonen 98,9 vekt% og temperaturen 128,5 °C. Alle prøver ble avkjølt til romtemperatur før analyse ble utført.

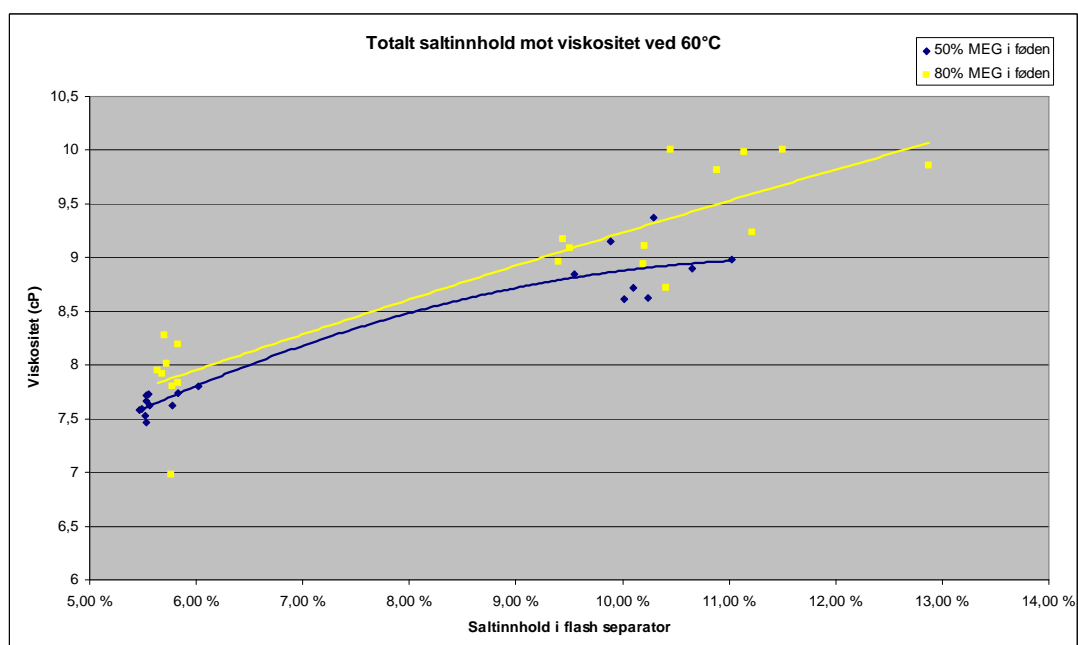


Figur 9-2: Diagrammet viser teoretisk metningsgrad av NaCl i MEG/vannløsninger (røde ringer) (Trimble, 1930) og målte metningsgrader ved 50 vekt% MEG i føden (blå kvadrat) og 80 vekt% MEG (gul trekant). Temperaturen for teoretiske verdier er oppgitt til 30 °C.

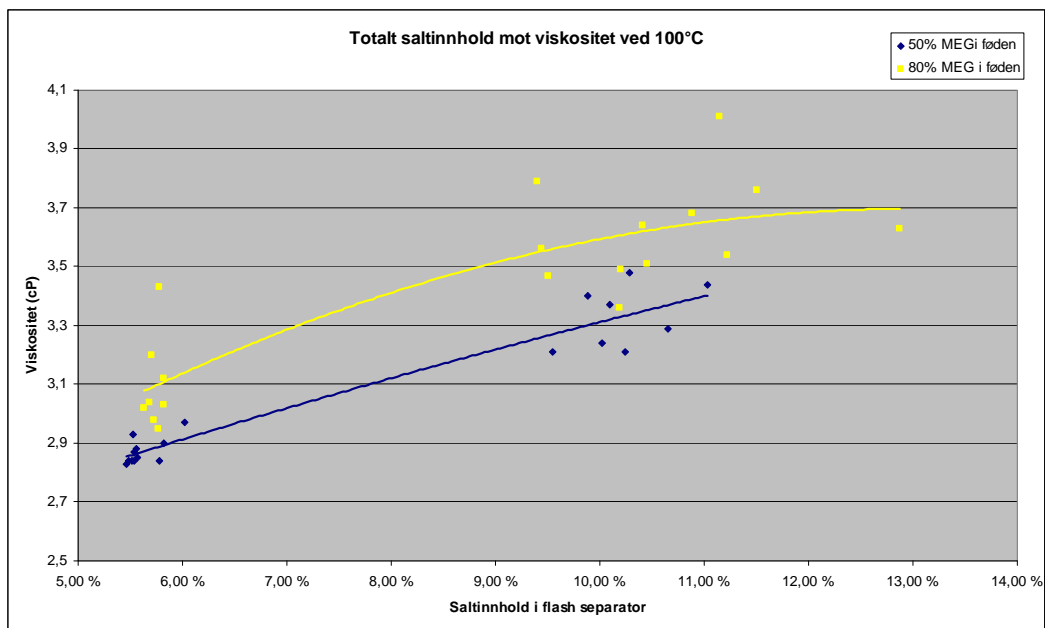
I figur 9-3, 9-4 og 9-5 er saltinnhold i flash separatoren plottet mot viskositeten på prøvene fra flash separator ved henholdsvis 20 °C, 60 °C og 100 °C. Plottene viser utviklingen av viskositeten i forhold til saltkonsentrasjonen opp til punktet ved saltutfelling.



Figur 9-3: Diagrammet viser målt konsentrasjon av salter (NaCl + KHCOO) i flash separator mot viskositet ved 20 °C ved 50 vekt% og 80 vekt% MEG i føden.

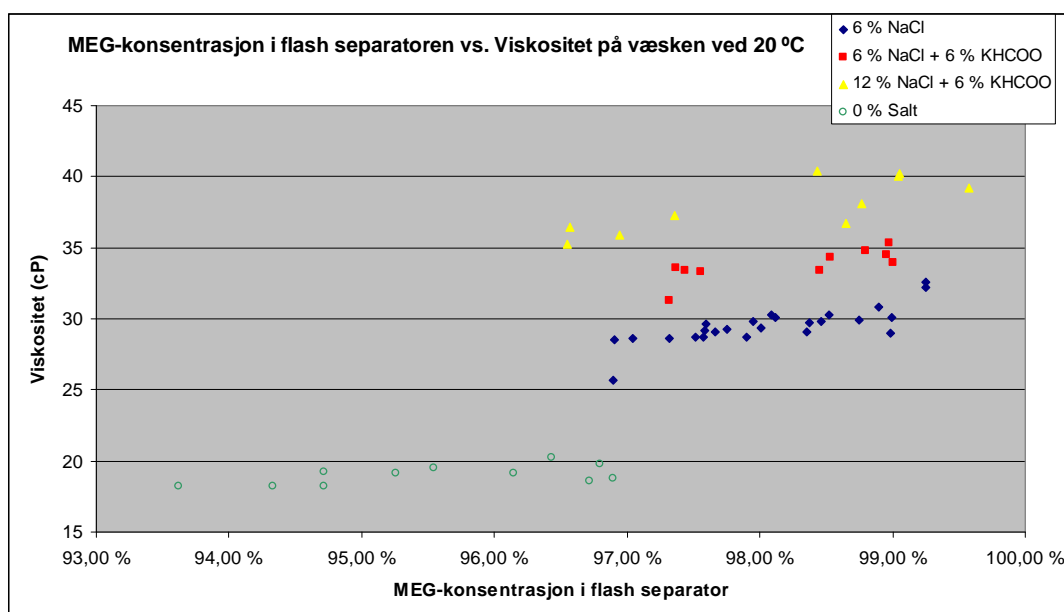


Figur 9-4: Diagrammet viser målt konsentrasjon av salter (NaCl + KHCOO) i flash separator mot viskositet ved 60 °C ved 50 vekt% og 80 vekt% MEG i føden.

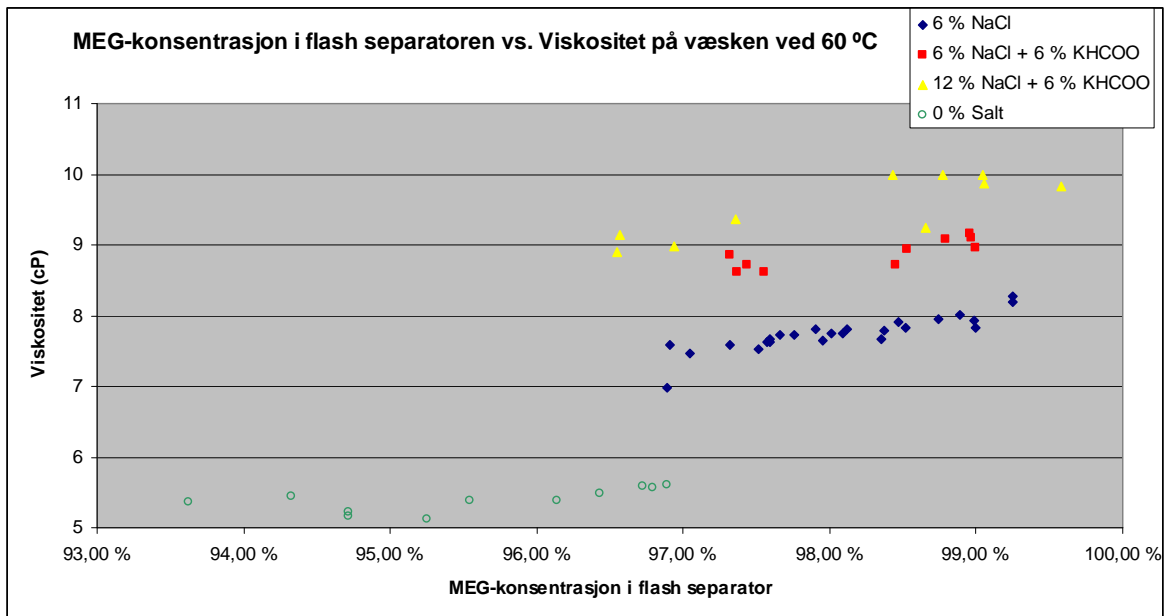


Figur 9-5: Diagrammet viser målt konsentrasjon av salter (NaCl + KHCOO) i flash separator mot viskositet ved 100 °C ved 50 vekt% og 80 vekt% MEG i føden.

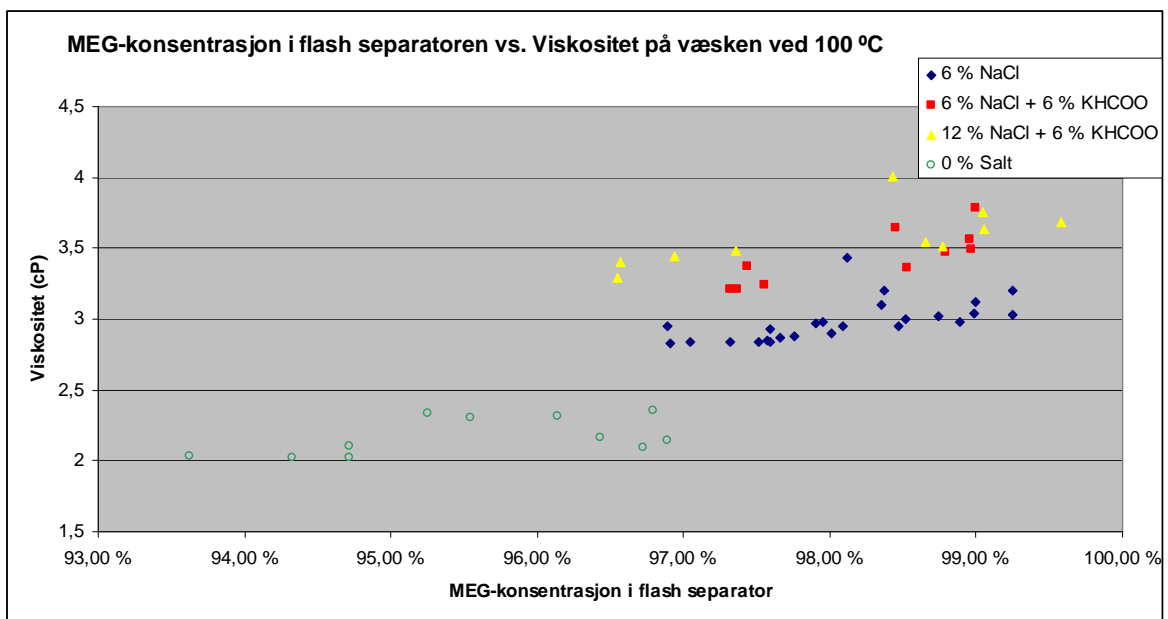
I figur 9-6, 9-7 og 9-8 er MEG-konsentrasjonen i flash separator plottet mot tilhørende viskositet ved forskjellig saltinnhold. Alle viskositetene er målte verdier. Plottene viser hvordan viskositeten øker ved økende salttilsetning i flash separatoren. Det er her utelukket utfelling av salter.



Figur 9-6: Diagrammet viser viskositeten ved gitt MEG-konsentrasjon og saltinnhold ved 20 °C. Vektprosent MEG er gitt på saltfri basis.



Figur 9-7: Diagrammet viser viskositeten ved gitt MEG-konsentrasjon og saltinnhold ved 60 °C. Vektprosent MEG er gitt på saltfri basis.



Figur 9-8: Diagrammet viser viskositeten ved gitt MEG-konsentrasjon og saltinnhold ved 100 °C. Vektprosent MEG er gitt på saltfri basis.

9.2 Diskusjon

Saltutfellingen ble først observert i anlegget når 12 % NaCl (34,2 kg) og 6 % kaliumformiat (15kg) var tilsatt flash separatoren. Dette kunne da observeres som et lag på karmen på innsynsvinduet i separatoren.

Utfelling ble også observert ved 6 % NaCl (17,1 kg) og 6 % kaliumformiat (15 kg), men kun i prøver som var avkjølt til romtemperatur. Prøvene inneholdt ikke utfelte salter ved selve prøveuttaket. Det antas at saltene var løst i flash separatoren, felte ut ved avkjøling til romtemperatur.

I figur 9-1 vises total mengde tilsatt salt i flash separatoren mot målt saltkonsentrasjon i prøvene fra flash separatoren. På grunn av at løsningen i flash separatoren når sitt metningspunkt vil trendkurvene flate ut. Når føden inneholdt 80 vekt% MEG ble toppen på trendkurven funnet til å være ca. 11,5 % og når føden hadde 50 vekt% MEG var toppen på i underkant av 11 %. Dette er total mengde salt og mengden KHCOO må da trekkes fra for å finne ut når NaCl felles ut.

Fra tabellene 6-5, 6-6 og 6-10 kan det finnes at gjennomsnittskonsentrasjonen av KHCOO er ca. 4,9 %. Ved å trekke dette fra toppene i figur 9-1, gir det en utfelling av NaCl ved 6,1 % ved 50 vekt% MEG i føden og 6,6 % ved 80 vekt% MEG i føden. Gjennomsnittskonsentrasjonen av NaCl fra de samme tabellene gav 5,9 % ved 50 vekt% MEG i føden og 6,3 % ved 80 vekt% MEG i føden.

Ved konsultasjon med Institutt For Energiteknikk ble det oppgitt at løseligheten av NaCl i MEG er mer avhengig av MEG-konsentrasjonen enn temperatur og at metningspunktet dermed ikke endrer seg stort ved endring av temperatur.

I figur 9-2 vises at de målte metningsgradene har små avvik fra de teoretiske verdiene. At 80 vekt% MEG i føden gir et høyere metningspunkt (6,3 % NaCl i 98,9 vekt% MEG) enn 50 vekt% MEG i føden (5,9 % NaCl i 96,9 vekt% MEG) kan skyldes analyseusikkerhet da alle prøver holdt romtemperatur ved måling. Resultatene ansees allikevel som gode.

Sammenhengen mellom viskositeter ved forskjellige temperaturer og målt saltkonsentrasjon av salter i flash separatoren finnes i figur 9-3, 9-4 og 9-5.

Ved 20 °C ser viskositeten ut til å stige ved økt mengde tilsatt salt uten å nå noen topp. Prøvene som inneholdt mest salter hadde allerede fått utfelling av salter før disse målingene ble utført og var dermed mettet. Med i prøven for viskositetsmåling kan utfelte salter ha fulgt med, da det ikke ble benyttet filter. Hvis dette var tilfelle, ville løsning være mettet høyere opp på temperaturskalaen, men samtidig kan faste partikler påvirke målingene ved de lavere temperaturer.

Ved 60 °C når ikke prøvene som er tatt ved 80 vekt% MEG i føden noen topp. Prøvene som er tatt ved 50 vekt% MEG i føden viser en svak tendens til å flate ut, selv om punktene i plottet er noe spredt til å gi en god trend.

Ved 100 °C flater begge kurvene ut. Også her er punktene for spredte til å kunne påstå at det er en trend.

Variasjonene i plottene skyldes trolig variasjoner i MEG-konsentrasjonen i flash separatoren. På grunn av dette ble det laget et plott av viskositet mot MEG-konsentrasjon i flash separator ved forskjellig saltinnhold.

Figurene 9-6, 9-7 og 9-8 viser at salter har en klar påvirkning på viskositeten og gir gode skiller ved økt saltkonsentrasjon. Selv når saltkonsentrasjonen er høy nok til å gi utfelling øker viskositeten.

Ved 20 °C (figur 9-6) vises et klart skille avhengig av saltkonsentrasjon. Uten salter ligger viskositeten rundt 20 cP, men ved høyeste saltinnhold vil viskositeten være opptil 40 cP.

Når temperaturen øker er skillene fortsatt skarpe (figur 9-7). Uten salter vil viskositeten være rundt 5,5 cP og bevege seg opp til 10 cP ved høyeste saltinnhold.

I figur 9-8, ved 100 °C, har viskositetene ved 12 % NaCl og 6 % KHCOO og 6 % NaCl og 6 % KHCOO overlappende områder. Viskositetene ved denne temperaturen er relativt lave og selv små variasjoner i saltkonsentrasjonen vil gi store utslag på viskositeten.

Salter i flash separatoren påvirker viskositeten og gir klare skiller ved forskjellige konsentrasjoner. Konsentrasjonen av MEG i føden påvirker ikke viskositeten i større grad, da likevekten (med hensyn på MEG-konsentrasjon) som innstilles i flash separatoren ikke varierer stort om fødekonsentrasjonen endres. Hvis konsentrasjonen i flash separatoren skulle påvirkes i større grad vil dette gi utslag på viskositeten.

10 Drift av pilotanlegg

Erfaringer og forbedringspotensial fra drift av MEG reclamation pilotanlegget presentert i dette kapitlet.

10.1 Erfaringer

Dette kapitlet forteller om erfaringer under drift.

10.1.1 Drift

Ved oppstart ble anlegget driftet ved å stille inn temperatur og trykk. Det viste seg at dette førte til at temperaturen stadig måtte økes for å opprettholde kokingen. Dette førte til at forholdene i separatoren ikke ble konstante og dermed vanskelige å sammenlikne. Effekten på varmerne ble redusert og temperaturen ble innstilt på 150 °C. Temperaturen ble aldri nådd fordi effekten på varmeelementene var dempet. Dette førte til at varmerne ikke ble slått av og på ved set-punkt temperaturen, men i stedet ble styrt av trykket og sammensetningen av væsken i separatoren. Varmeren på separatorveggen ble kjørt ved 70 % effekt og hovedvarmeren ved 30 %. Ved å kjøre anlegget på denne måten var det konstant koking i separatoren. temperaturen stilte seg selv når forholdene ble endret (endring av fødekonsentrasjon, tilsats av salter, etc.).

Det viste seg også at trykkmålerne som var montert ikke viste riktig trykk før oppstart. Trykkmåleren i separatoren hadde en feil på $\approx 0,05$ bar noe som gav store utslag på kokepunktet ved de trykkene testene ble utført på. Dette ble rettet opp slik at forholdene var korrekte under forsøkene diskutert i denne rapporten.

Hysteresen på instrumentene, som avgjør hvor fort endringer skal forkomme i kontrollinstrumentene, ble justert for å gi anlegget en jevnere drift.

10.1.2 Pumpehavari

I løpet av forsøkene havarerte sirkulasjonspumpen. Anlegget ble stanset, da det ikke fantes noen tilsvarende pumpe tilgjengelig på IFE. Pumpehuset ble sendt til leverandøren der den ble inspisert og reparert. Det viste seg at saltene som ble benyttet i flash separatoren har trengt gjennom foringene i pumpen og tært på dem slik at det oppstod lekkasje.

Produsenten monterte nye deler og boret inn vannkanaler som hadde som oppgave å skylle vekk eventuelle salter som kom bak foringene. Etter to ukers opphold i driften var pumpen tilbake og forsøkene kunne gjenopptas. Det har ikke blitt sett noe nærmere på pumpeproblemene som oppstod i denne rapporten.

Opprinnelig var dette en pumpe som skulle jobbe i overtrykk og i saltfritt miljø, men da pumpen ble levert, ble IFE informert av leverandøren at verken undertrykket eller saltene skulle by på problemer.

10.1.3 Korrosjon

Etter forsøkene med konstruksjon A ble det oppdaget korrosjon på det nedre innløpet i separatoren. Korrosjonen skyldes mest sannsynlig at oksygen var tilstede i systemet under drift.



Figur 10-1: Korrosjonsangrep på endestykket på det nedre innløpet i separatoren.

Korrosjonsangrepet ser ut til å være en kombinasjon av gropkorrosjon og erosjonskorrosjon. Gropkorrosjonen finnes på enden av rørstykket og i fordypningene dannet av erosjonen. Da dette innløpsstykket ikke har blitt benyttet under forsøkene og konstant har befunnet seg i væskefasen har det vært tilnærmet stillestående væske inni rørstykket og vekslende forhold utenpå. Rørstykket er laget av rustfritt stål 316.

Monoetylenglykol med vann og salter danner et svært korrosivt miljø hvis oksygen er tilstede og mulige punkter der oksygen kan ha lekket inn kan være:

- Lekkasjer i pakninger og koblinger mellom forskjellig utstyr
- Oksygenet i væsken i fødetanken var i likevekt med oksygeninnholdet i luften over væsken. Væsken vil frigi oksygenet når den kommer inn i flash separatorene, der temperaturen er høy og trykket er lavt (tiltak: CO₂-atmosfære i fødetank etter at korrosjonen ble oppdaget).
- Salttilsetningen ble foretatt ved å utnytte vakuemet i flash separatorene til å suge opp saltløsningen. Luft kan da ha blitt trukket inn i anlegget.
- Oksygenet i saltløsningen var i likevekt med oksygeninnholdet i luften over væsken. Saltløsningen vil frigi oksygenet når den kommer inn i flash separatorene på grunn av høy temperatur og lavt trykk (tiltak: CO₂-atmosfære i saltløsningsbeholderen etter at korrosjonen ble oppdaget).

10.2 Forbedringspotensial

Dette kapitlet tar for seg endringer og forbedringer som kan gjøres med anlegget eller med driften av anlegget.

10.2.1 Materiale

Materialet som ble angrepet var 316 rustfritt stål. 316 rustfritt stål tålte ikke påkjenningen fra kombinasjonen av vann, høy temperatur og salter. Etter konsultasjon med materialavdelingen i Aker Solutions ble det anbefalt å benytte Duplex eller karbonstål for å unngå dette problemet.

10.2.2 Varmer

Forsøkene viste at varmeren hadde svært høy effekt i forhold til hva som var nødvendig. Ved oppstart av forsøkene ble varmeren driftet ved 100 % effekt, men dette førte til uregelmessig koking. Driften ble endret og hovedvarmeren senket til 30 % effekt, noe som tilsvarte 7,2 kW. Varmeren rundt separatoren ble også dempet og jobbet med en effekt på 70 %. Dette utgjør 2,8 kW. Varmerne jobbet jevnt mot en temperatur over kokepunktet i stedet for å koble seg inn og ut rundt en satt temperatur. Ved bygging av et eventuelt nytt pilotanlegg kan varmeren bli designet mindre, da dette sparer penger og energi.

10.2.3 Kjøler

Kjøleren var svært effektiv. Temperaturen på kjølevæsken (vann) økte kun fire grader fra den entret kjøleren til den forlot den, men kondensatet sank 94,7 grader gjennom kjøleren. Dette vil kunne forårsake at gass tidlig i kjøleren blir omdannet til væske som igjen vil medføre stor motstand i systemet. Ved å senke effektiviteten på kjøleren vil det trolig la seg gjøre å øke hastigheten på prosessen. Å senke effektiviteten på kjøleren kan la seg gjøre ved å senke gjennomstrømningshastigheten til kjølevæsken. Videre studier rundt forbedring av kjøleren bør utføres.

10.2.4 Tømming av kondenstank

Når kondenstanken er full registreres dette av nivåmåleren i tanken og gir et signal til styringsenheten. Logikken i styringsenheten setter i gang tømmeprosedyren for kondenstanken. Prosedyren isolerer kondenstanken og trykksetter den for så å åpne kontrollventil V04 slik at tømming starter.

Under tømning av kondensstanken kan trykket i flash separatoren øke noe. Dette fører til at også temperaturen øker. Ved å legge til at varmeelementene (i varmer og rundt separatoren) slås av i styringen vil man kunne unngå dette problemet.

Prosessen med å tømme kondensstanken tar også lang tid. Grunnen til dette er en kombinasjon av stort volum i tanken og små utløp. Mellom hver prøvetagning rakk sjeldent kondensstanken å fylles, da den ble tømt etter hver prøvetagning slik at prøvene ikke skulle påvirke hverandre. Prosessen kan forbedres ved å øke dimensjonen på utløpsrørene, samt å minke volumet i kondensstanken.

10.2.5 Lekkasjesikring

Hvis en lekkasje skulle inntreffe var det under drift ingen anordning som registrerte dette. Ved å montere sensorer på undersiden av anlegget som registrerer fuktighet vil anlegget kunne sikres ved at pumpe og varmer stanser. Hvis anlegget skulle gå tørt ville pumpen og varmeren bli ødelagt.

11 Konklusjon

Fra bearbeiding og diskusjon rundt resultatene fra drift av MEG reclamation pilotanlegget kan følgende konklusjoner bli trukket:

- Konstruksjon B gav flere fordeler fremfor konstruksjon A.
- Montering av vortex finder førte til at salt carry-over ble uavhengig av sirkulasjonspumpehastighet. Dette fører til at anlegg kan bygges mer kompakt og fortsatt opprettholde samme effektivitet.
- Vortex finder senket konsentrasjonen av NaCl i kondensatet betydelig. Konstruksjon A gav opptil 200 ppm NaCl i kondensatet, mens konstruksjon B gav opptil 50 ppm.
- Vortex breaker stanset virvelbevegelsen i separatoren og fjernet dermed en mulighet for gassunderstrømming. Dette hadde vært svært viktig om det var benyttet en sentrifugalpumpe som i fullskalaanlegg. Sentrifugalpumper er sensitive for gass, noe fortreningspumper, som ble benyttet i pilotanlegget, ikke er.
- Pumpebegrensningene i MEG reclamation pilotanlegget skyldes strømningsmønstret mellom innløp til, utløp fra, og i selve varmeren. Verken NPSH eller vortex breaker hadde innvirkning på pumpehastigheten.
- Prøvene viste at utfellingen av NaCl skjer ved 6,1 % når føden inn i flash separator er 50 vekt% MEG og ved 6,6 % når føden består av 80 vekt% MEG. Dette stemmer godt med teorien.
- Viskositeten øker ved økende mengde salter og MEG-konsentrasjon i flash separatoren. Ved 20 °C øker viskositeten fra 20 cP til 40 cP, ved 60 °C øker viskositeten fra 5 cP til 10 cP og ved 100 °C øker viskositeten fra 2 cP til 4 cP, når man øker saltkonsentrasjon fra 0 % til utfelling. MEG-konsentrasjonen lå i området 93 vekt% til 99 vekt% (saltfri basis).

Referanser

Addicks, L., 2008, *MEG Reclamation and Reconcentration Systems*, Presentasjon, Aker Solutions

Box, G.E.P., Hunter, J.S., Hunter, W.G., 2005, *Statistics for Experimenters*, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., Publication

Brustad, S., K.P. Loken og J.G. Waalman, 2004 januar, *MEG enhances flow assurance in subsea-to-beach developments: when its application is properly understood and utilized, MEG is an effective hydrate and corrosion inhibitor in long, subsea-to-beach transportation*, [online], Aker Kværner Technology. Tilgjengelig fra: <http://findarticles.com/p/articles/mi_m3159/is_1_225/ai_n27790876?tag=content;coll> [2. februar 2009]

CAPLEX, (sist oppdatert: ikke oppgitt), *Sentripetalkraft*, Cappelen, Tilgjengelig fra: <<http://www.caplex.no/Web/ArticleView.aspx?id=9331655>>, [8. mai 2009]

Chaurette, J., 2008, 20. desember, *www.lightmypump.com*, [online], Tilgjengelig fra: <http://www.lightmypump.com/pump_glossary.htm#gl32>, [11. mars 2009]

Chaurette, J., 2003, *More on What is Cavitation?*, [online], *www.lightmypump.com*, Tilgjengelig fra: <<http://www.lightmypump.com/download-free/npsa.pdf>> [11. mars 2009]

Chen, G.-J., Guo, T-M, 1996, *Thermodynamic modeling of hydrate formation based on new concepts*, *Fluid Phase Equilibria*, nr. 122, s. 55, Table 5.

The Engineering Toolbox, 2009, *Reynolds Number*, [online], tilgjengelig fra: <http://www.engineeringtoolbox.com/reynolds-number-d_237.html>, [12. mai 2008]

EMD Chemicals Inc., august 2007, *Karl Fischer Titration Basics*, [online], tilgjengelig fra: <http://www.emdchemicals.com/analytics/literature/KF_Titration_Basics.pdf>, [11. mars 2009]

Hoffmann, A. C. og L. E. Stein, 2002, *Gas Cyclones and Swirl Tubes*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, s. 37-41.

Joosten, M.W., B. Tier, M. Seiersten og C. Wintermark, 2007, *Materials Considerations for MEG (Mono Ethylene Glycol) Reclamation Systems*, Corrosion 2007 Conference & Expo, Nace International, Paper No. 07116, s. 2-5.

Kaasa, B., K. Sandengen og T. Østvold, 2005, *Thermodynamic Prediction of Scale Potential, pH, and Gas Solubility in Glycol-Containing Systems*, SPE 95075, artikkel skrevet i forbindelse med SPE International (vitenskapelig konferanse), 11-12 mai, 2005, Aberdeen.

Lundström, M., Aromaa, J., Forsén, O., 2008, *Redox potential characteristics of cupric chloride solutions*, Hydrometallurgy, nr. 95 (2009), s. 285-289

Masoudi, R., R.W. Burgass, R. Anderson, B. Tohidi og J. Yang, 2004, *Experimental measurement and thermodynamic modelling of clathrate hydrate equilibria and salt solubility in aqueous ethylene glycol and electrolyte solutions*, Fluid Phase Equilibria, nr. 219, s. 157-163.

Perry, R. H. og D. W. Green, 2008, (1), *Perry's Chemical Engineers' Handbook*, 8. utgave, McGraw-Hill Companies, USA, s. 10-28

Perry, R. H. og D. W. Green, 2008, (2), *Perry's Chemical Engineers' Handbook*, 8. utgave, McGraw-Hill Companies, USA, s. 1-21

Perry, R. H. og D. W. Green, 2008, (3), *Perry's Chemical Engineers' Handbook*, 8. utgave, McGraw-Hill Companies, USA, s. 6-41 – 6-42

"Sanitary positive displacement pumps", 2006, Wright Pump (Brukermanual for TRA®10 Series), IDEX Corporation, Wisconsin.

Schlumberger, 2009, (1) *Laminar Flow*, [online], tilgjengelig fra: <<http://www.glossary.oilfield.slb.com/Display.cfm?Term=laminar%20flow>> [12. mai 2009]

Schlumberger, 2009, (2) *Turbulent Flow*, [online], tilgjengelig fra: <<http://www.glossary.oilfield.slb.com/Display.cfm?Term=turbulent%20flow>> [12. mai 2009]

Seiersten, M., 2007, *Design og drift av glykolsystemer for flerfasetransport*, presentasjon ved "Design og drift av flerfasesystemer for olje og gass", Lillestrøm, 25-26. april, 2007.

Seiersten, M., 2008, "Viscosity of saline MEG", intern studie, IFE, Kjeller.

Trimble, H. M., 1930, "Solubilities of Salts in Ethylene Glycol and Its Mixtures with Water", Oklahoma Agricultural and Mechanical College, Stillwater, Oklahoma, i *Industrial and Engineering Chemistry*, februar 1931, side 165-167

Union Carbide Corporation, 1987, *Product Information Bulletin; Ethylene Glycol Produktinformasjon*, Danbury, USA

Vortex Hydro Energy, 2007, *VIVACE (Vortex Induced Vibrations Aquatic Clean Energy)*, [online], Tilgjengelig fra: <<http://www.vortexhydroenergy.com/>> [9. juni 2009]

Wikipedia, 1. mars 2009, *Brix*, [online], tilgjengelig fra: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Brix>> [11. mars 2009].

Østergaard, K.K., R. Masoudi, B. Tohidi, A. Danesh og A.C. Todd, 2005, *A general correlation for predicting the suppression of hydrate dissociation temperature in the presence of thermodynamic inhibitors*, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, nr. 48, s. 70-80.

Tabeller

Tabell 1:	Generell nomenklatur	VIII
Tabell 1-1:	Trykk og temperatur for hydratdannelse for forskjellige gassblandinger (Chen og Guo, 1996).....	1
Tabell 3-1:	Fødepumpens parametere og tilhørende verdier.	6
Tabell 3-2:	Flash separatorens parametere og tilhørende verdier.	8
Tabell 3-3:	Sirkulasjonspumpens parametere og tilhørende verdier.....	9
Tabell 3-4:	Varmerens parametere og tilhørende verdier.	10
Tabell 3-5:	Kjølerens parametere og tilhørende verdier.	11
Tabell 3-6:	Kondenstankens parametere og tilhørende verdier.	11
Tabell 4-1:	Formler for beregning av MEG-konsentrasjon fra vannanalyser ved hjelp av lineær regresjon. MEG-konsentrasjonen er oppgitt i vekt% på saltfri basis....	16
Tabell 4-2:	Formler for beregning av MEG-konsentrasjon fra lysbrytningsindeks ved hjelp av lineær regresjon. MEG-konsentrasjonen er oppgitt i vekt% på saltfri basis.....	19
Tabell 5-1:	Forsøksmatrise.....	31
Tabell 6-1:	Resultater fra drift med 6 % NaCl (17,1 kg) i flash separatoren og 50 vekt% MEG i fødestrømmen. Målt saltinnhold i kondensstank er gitt i ppm grunnet lave konsentrasjoner.....	32
Tabell 6-2:	Resultater fra drift med 6 % NaCl (17,1 kg) i flash separatoren og 80 vekt% MEG i fødestrømmen. Målt saltinnhold i kondensstank er gitt i ppm grunnet lave konsentrasjoner.....	33
Tabell 6-3:	Resultater fra drift med 6 % NaCl (17,1 kg) og 6 % KHCOO (15 kg) i flash separatoren og 50 vekt% MEG i fødestrømmen. Målt saltinnhold i kondensstank er gitt i ppm grunnet lave konsentrasjoner.	34
Tabell 6-4:	Resultater fra drift med 6 % NaCl (17,1 kg) og 6 % KHCOO (15 kg) i flash separatoren og 80 vekt% MEG i fødestrømmen. Målt saltinnhold i kondensstank er gitt i ppm grunnet lave konsentrasjoner.	35
Tabell 6-5:	Resultater fra drift med 12 % NaCl (34,2 kg) og 6 % KHCOO (15 kg) i flash separatoren og 50 vekt% MEG i fødestrømmen. Målt saltinnhold i kondensstank er gitt i ppm grunnet lave konsentrasjoner.	36
Tabell 6-6:	Resultater fra drift med 12 % NaCl (34,2 kg) og 6 % KHCOO (15 kg) i flash separatoren og 80 vekt% MEG i fødestrømmen. Målt saltinnhold i kondensstank er gitt i ppm grunnet lave konsentrasjoner.	37

Tabell 6-7:	Resultater fra drift med 6 % NaCl (17,1 kg) i flash separatoren og 50 vekt% MEG i fødestrømmen. Målt saltinnhold i kondenstank er gitt i ppm grunnet lave konsentrasjoner.....	38
Tabell 6-8:	Resultater fra drift med 6 % NaCl (17,1 kg) i flash separatoren og 80 vekt% MEG i fødestrømmen. Målt saltinnhold i kondenstank er gitt i ppm grunnet lave konsentrasjoner.....	39
Tabell 6-9:	Resultater fra drift med 6 % NaCl (17,1 kg) og 6 % KHCOO (15 kg) i flash separatoren og 80 vekt% MEG i fødestrømmen. Målt saltinnhold i kondenstank er gitt i ppm grunnet lave konsentrasjoner.	39
Tabell 6-10:	Resultater fra drift med 12 % NaCl (34,2 kg) og 6 % KHCOO (15 kg) i separatoren og 80 vekt% MEG i fødestrømmen. Målt saltinnhold i kondenstank er gitt i ppm grunnet lave konsentrasjoner.	40
Tabell 7-1:	Sammenlikning av Qmax ved de forskjellige konstruksjonene under like betingelser i flash separatoren.....	48
Tabell 8-1:	Tabellen viser beregnet NPSHr og NPSHa ved Qmax for konstruksjon A. NPSH-verdiene er beregnet ut ifra betingelsene ved det aktuelle prøveuttaket.....	57
Tabell 8-2:	Tabellen viser beregnet NPSHr og NPSHa ved Qmax for konstruksjon B. NPSH-verdiene er beregnet ut ifra betingelsene ved det aktuelle prøveuttaket.....	57
Tabell 8-3:	Tabellen viser beregnede Reynolds tall ved Qmax. Rød bakgrunn betyr at strømmingen er turbulent, grønn bakgrunn betyr at strømmingen er laminær og gul bakgrunn betyr at strømmingen er i mellomskiktet og kan da både være turbulent og laminær.	59
Tabell 8-4:	Tabellen viser beregnede Reynolds tall ved øvrige prøver som ikke er Qmax. Rød bakgrunn betyr at strømmingen er turbulent, grønn bakgrunn betyr at strømmingen er laminær og gul bakgrunn betyr at strømmingen er i mellomskiktet og kan da både være turbulent og laminær.	60

Figurer

Figur 1-1:	Gasshydrat. Til venstre vises hvordan et gasshydratmolekyl er bygget opp. Til høyre kan man se hvordan en hydratplugg kan se ut.	1
Figur 3-1:	Flytskjema over MEG regenerering pilotanlegget	5
Figur 3-2:	Flash separatorens innside, sett ovenfra.	7
Figur 3-3:	Skisse som beskriver hvordan sirkulasjonspumpen fungerer ("Sanitary positive displacement pumps", 2006).	9
Figur 3-4:	Varmeren sett bakfra (til venstre) og fra siden (til høyre).	10
Figur 3-5:	Pilotanleggets kontrollpanel.	12
Figur 3-6:	Skisse av prøveuttak for væske fra flash separatorens.	13
Figur 4-1:	Mettler Toledo DL 53 for Karl Fischer analyser	14
Figur 4-2:	Mettler Toledo DL 53 for sølvnitrat titering	21
Figur 4-3:	Metrohm 814 USB Sample Processor med 836 Titrande for formiatanalyser	23
Figur 4-4:	Illustrasjon av sylindere og prøvekoppen benyttet i viskositetsanalysene.	25
Figur 4-5:	Standarder uten salter ved gitt temperatur og MEG-konsentrasjon [10 vekt%, 95 vekt%]. Da konsentrasjoner utenfor dette intervallet ikke ble målt, ble de satt til null.	26
Figur 4-6:	Standarder med 6 % NaCl ved gitt temperatur og MEG-konsentrasjon	27
Figur 4-7:	Standarder med 6 % NaCl ved gitt temperatur og MEG-konsentrasjon	27
Figur 4-8:	Standarder med 6 % NaCl og 6 % KHCOO ved gitt temperatur og MEG-konsentrasjon [10 vekt%, 90 vekt%] (saltfri basis)	28
Figur 7-1:	Vortex finder montert i lokket til separatorens (stor grå sylinder i midten).	42
Figur 7-2:	Forenklet visualisering av gassens vandring med, og uten, vortex finder...	43
Figur 7-3:	Strømningsmønstre i separatorens. Til venstre vises de tangentielle strømningsene og de sekundære strømningsene vises i figuren til høyre (Hoffmann og Stein, 2002)	44
Figur 7-4:	Vortex breaker montert i bunnen av flash separatorens	44
Figur 7-5:	Sammenhengen mellom den totale saltkonsentrasjonen i flash separatorens og NaCl-konsentrasjonen i kondensatet ved de forskjellige interne konstruksjonene. I figuren viser de blå trekantene forsøkene under konstruksjon A og de røde firkantene viser forsøkene under konstruksjon B. Resultatene er hentet fra tabell 6-1 til 6-10.	46
Figur 7-6:	Sammenhengen mellom pumpehastighet og NaCl-konsentrasjonen i kondensatet ved de forskjellige interne konstruksjonene. Diagrammet	

	gjelder for betingelsene ved 50 vekt% MEG i føden og 6 % NaCl i flash separatoren. I figuren viser de blå trekantene forsøkene under konstruksjon A og de røde firkantene viser forsøkene under konstruksjon B. Resultatene er hentet fra tabell 6-1 og 6-7.....	47
Figur 7-7:	Virvler som ble dannet under forsøkene med konstruksjon A. Hastighetene på pumpen ved de forskjellige bildene var (fra venstre) 3,8 m ³ /h, 5,5 m ³ /h (oppstartsfasen) og 5,5 m ³ /h (full virvel).....	48
Figur 8-1:	Diagram for avlesning av pumpens NPSHr. Langs x-aksen finner man motorhastigheten på pumpen (RPM). Skjæringspunktet mellom motorhastigheten og målt viskositet (CPS = cP) gir NPSHr langs y-aksen i psia (til venstre) og meter vannsøyle (til høyre).....	54
Figur 8-2:	Illustrasjon av hvor Reynolds tall skulle beregnes. Punkt 1: Innløpsrøret til varmeren. Røret hadde en diameter på 5 cm. Punkt 2: Varmeren. Varmeren hadde en diameter på 35 cm. Punkt 3: Utløpsrøret fra varmeren. Røret hadde en diameter på 2 cm.	55
Figur 8-3:	Illustrasjon av hvordan virvelforårsaket vibrasjon oppstår (Vortex Hydro Energy, 2007).....	56
Figur 8-4:	Diagrammet viser differansen mellom NPSHa og NPSHr mot Qmax ved 6 % og 10 % saltkonsentrasjon, samt ved saltkonsentrasjon høy nok til å gi utfelling. Det er ikke skilt mellom de forskjellige konstruksjonene i figuren.	58
Figur 8-5:	Diagrammet viser Qmax mot Reynolds tall i varmeren. De røde ringene ligger i det turbulente område, de grønne trekantene ligger i det laminære området og de gule rombene ligger i mellomskiktet og kan da både være turbulent og laminær.	61
Figur 8-6:	Diagrammet viser alle pumpehastigheter mot Reynolds tall i varmeren. Punktene FS 27, FS 28 og FS 29 er fjernet fra diagrammet, da disse ikke er representative. De blå punktene representerer Qmax-verdier og de røde punktene representerer øvrige hastigheter ved prøveuttak.	61
Figur 8-7:	Diagrammet viser alle pumpehastigheter mot differansen i Reynolds tall mellom innløpet til varmeren og i selve varmeren. De blå trekantene representerer Qmax-verdier og de røde firkantene representerer øvrige hastigheter ved prøveuttak.	62
Figur 8-8:	Diagrammet viser alle pumpehastigheter mot differansen i Reynolds tall mellom selve varmeren og dens utløp. De blå trekantene representerer Qmax-verdier og de røde firkantene representerer øvrige hastigheter ved prøveuttak.	62
Figur 9-1:	Diagrammet viser målt konsentrasjon av salter (NaCl + KHCOO) i flash separator mot mengde tilsatt salt ved 50 vekt% og 80 vekt% MEG i føden. ...	67
Figur 9-2:	Diagrammet viser teoretisk metningsgrad av NaCl i MEG/vannløsninger (røde ringer) (Trimble, 1930) og målte metningsgrader ved 50 vekt% MEG i	

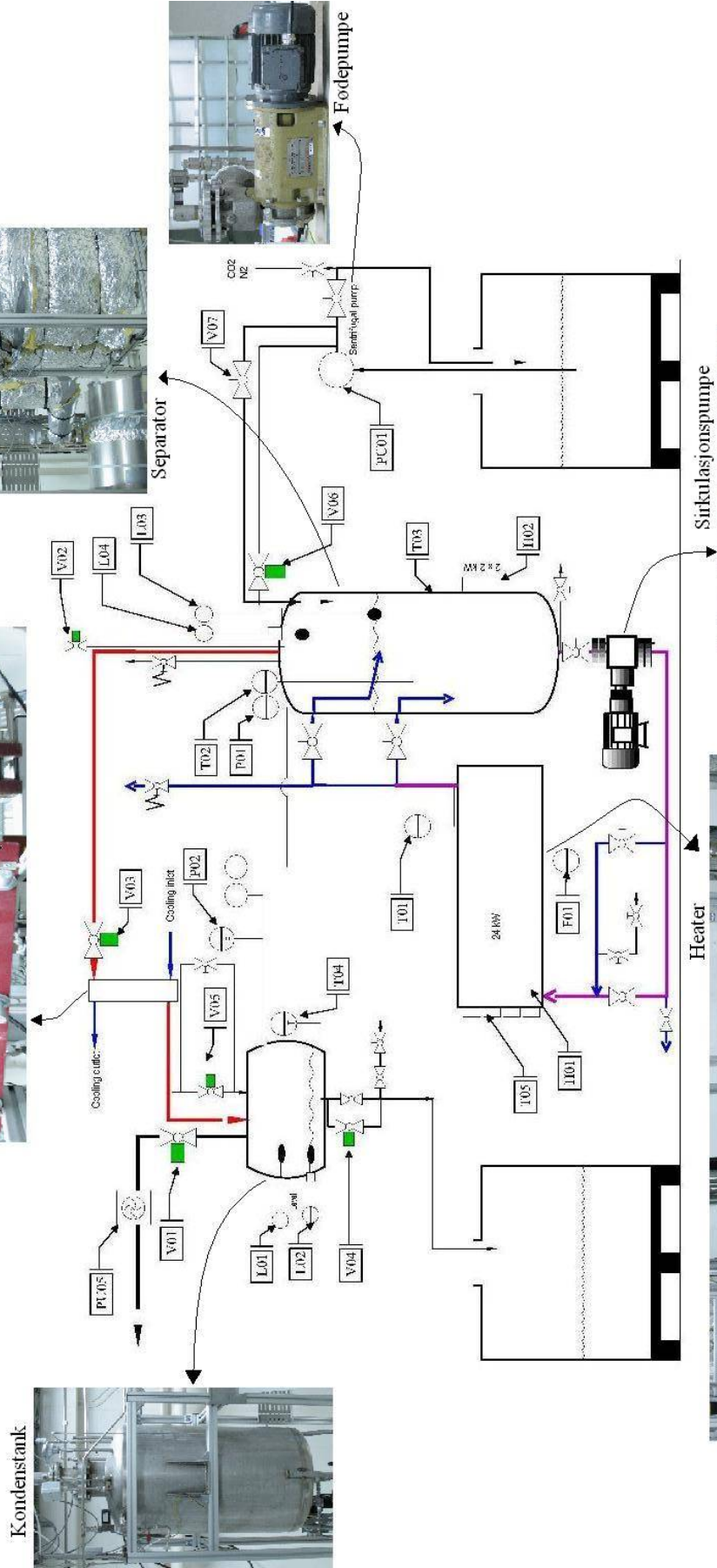
	føden (blå kvadrat) og 80 vekt% MEG (gul trekant). Temperaturen for teoretiske verdier er oppgitt til 30 °C.....	67
Figur 9-3:	Diagrammet viser målt konsentrasjon av salter (NaCl + KHCOO) i flash separator mot viskositet ved 20 °C ved 50 vekt% og 80 vekt% MEG i føden.	68
Figur 9-4:	Diagrammet viser målt konsentrasjon av salter (NaCl + KHCOO) i flash separator mot viskositet ved 60 °C ved 50 vekt% og 80 vekt% MEG i føden.	68
Figur 9-5:	Diagrammet viser målt konsentrasjon av salter (NaCl + KHCOO) i flash separator mot viskositet ved 100 °C ved 50 vekt% og 80 vekt% MEG i føden.	69
Figur 9-6:	Diagrammet viser viskositeten ved gitt MEG-konsentrasjon og saltinnhold ved 20 °C. Vektprosent MEG er gitt på saltfri basis.....	69
Figur 9-7:	Diagrammet viser viskositeten ved gitt MEG-konsentrasjon og saltinnhold ved 60 °C. Vektprosent MEG er gitt på saltfri basis.....	70
Figur 9-8:	Diagrammet viser viskositeten ved gitt MEG-konsentrasjon og saltinnhold ved 100 °C. Vektprosent MEG er gitt på saltfri basis.....	70
Figur 10-1:	Korrosjonsangrep på endestykket på det nedre innløpet i separatoren.	74

Vedlegg

- Vedlegg 1: Flytskjema med bilder av de viktigste elementene
- Vedlegg 2: Kokepunkts- og kondenseringstemperaturer mot komposisjon av MEG ved 200, 760 og 1520 mmHg
- Vedlegg 3: Datablad for Metanol
- Vedlegg 4: Datablad for Hydranal-Composite 5
- Vedlegg 5: Datablad for Monoetylglykol
- Vedlegg 6: Datablad for Kaliumformiat
- Vedlegg 7: Standardkurver for brix og vanninnhold for varierende mengder salt
- Vedlegg 8: Forsøksplanlegging
- Vedlegg 9: Beregning av viskositet
- Vedlegg 10: Beregning av NPSHa
- Vedlegg 11: Q_{max} og NPSH ved økt væskeniå

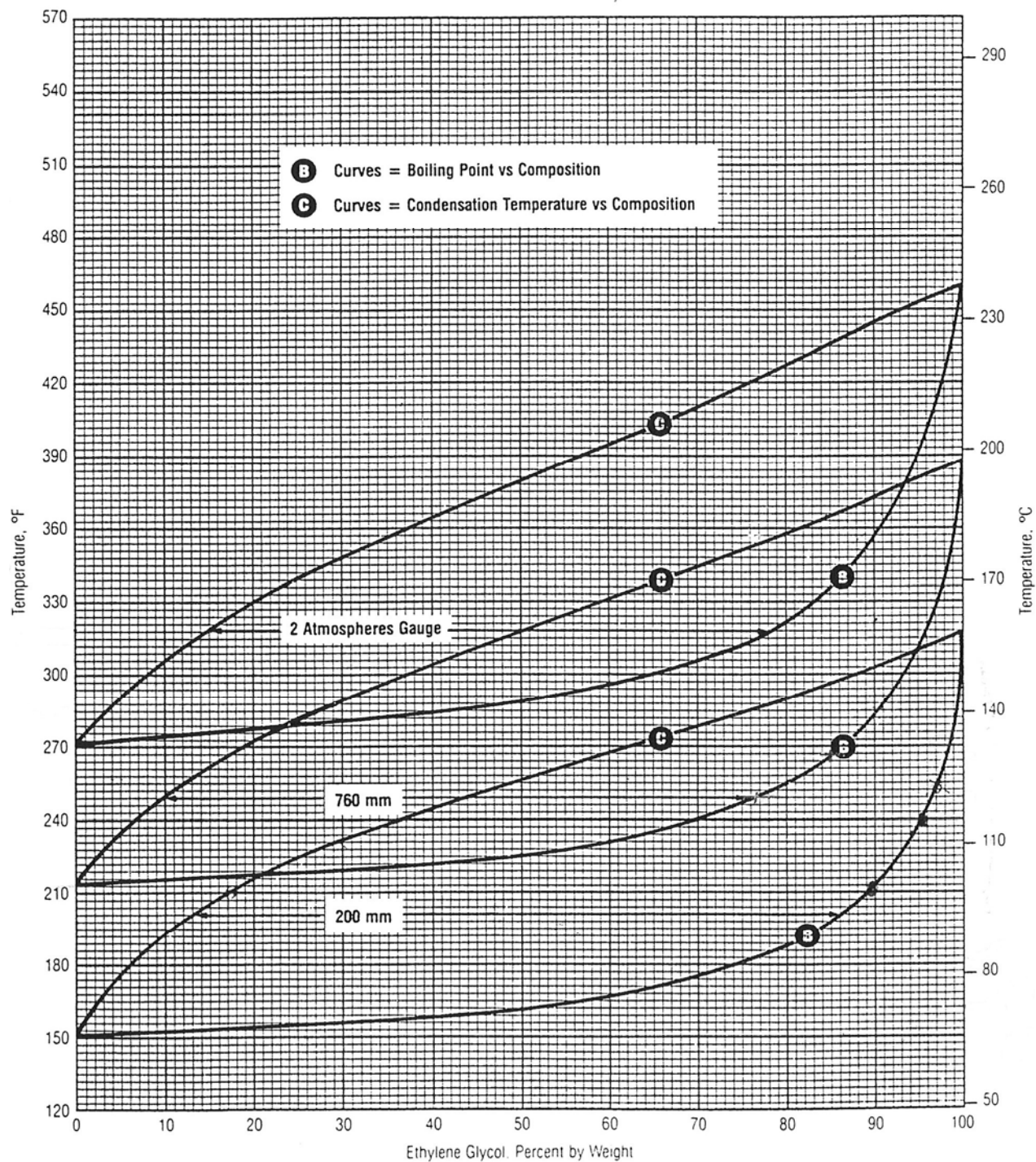
Vedlegg 1

Flytskjema med bilder av de viktigste elementene



Vedlegg 2

**Kokepunkts- og
kondenseringstemperaturer mot
komposisjon av MEG ved 200, 760 og
1520 mmHg**



200 mmHg = 0,267 bar

760 mmHg = 1,013 bar (1 atm)

1520 mmHg = 2,026 bar (2 atm)

Hentet fra: Union Carbide Corporation, 1987, *Product Information Bulletin; Ethylene Glycol*
 Produktinformasjon, Danbury, USA

Vedlegg 3

Datablad for Metanol

HMS-DATABLAD



Sist endret: 18.05.2006

Internt nr:

Erstatter dato: 15.08.2005

Metanol

1. IDENTIFIKASJON AV KJEMIKALIET OG ANSVARLIG FORETAK

HANDELSNAVN	Metanol
KJEMISK NAVN	Metanol, Metylalkohol
SYNONYMER	Fluormone EL Red, Alkaline Phosphatase substrate kit
BRUKSOMRÅDE	Laboratoriekjemikalie
FORMEL	CH ₃ OH

Cas-nr.	67-56-1
EC-nr.	200-659-6
Indeksnr.	603-001-00-X

Artikkelnummer

M089

Deklarasjonsnummer (PRN-nr.)

001423

Nasjonal produsent/importør

Foretak	VWR International AS
Adresse	Postboks 45
Postnr./sted	NO-0901 OSLO
Land	N
E-post	ehs@se.vwr.com
Telefon	02290
Faks	22 90 00 40

Navn	E-post	Tlf. (arb.)
Miljø & Sikkerhet		

Nødtelefonnummer

Nødtelefonnummer	Bistandstype
112	Politi
110	Brann
113	Med.nødhjelp

2. OPPLYSNINGER OM KJEMISK SAMMENSETNING

Nr.	Ingrediensnavn	EC-nr.	Cas-nr.	Kons.	Merking
1	Metanol	200-659-6	67-56-1	>99%	T,F,R23/24/25 - R39/23/24/25 - R11

Tegnforklaring: T+=meget giftig, T=giftig, C=etsende, Xn=helseskadelig, Xi=irriterende E=eksplosiv, O=oksidierende, F+=ekstremt brannfarlig, F=meget brannfarlig, N=miljøskadelig, Kreft=kreftfremkallende, Mut=arvestoffskadelig, Rep=reproduksjonsskadelig, Kons.=konsentrasjon

INGREDIENSKOMMENTARER

Organisk løsemiddel.

Metanol

3. VIKTIGSTE FAREMOMENTER



Meget
brannfarlig



Giftig

GENERELT

MEGET BRANNFARLIG.

GIFTIG VED INNÅNDING, HUDKONTAKT OG SVELGING.

GIFTIG: FARE FOR ALVORLIG VARIG HELSESKADE VED INNÅNDING, HUDKONTAKT OG SVELGING.

Kan medføre bevisløshet, blindhet, evt. død.

4. FØRSTEHJELPSTILTAK

GENERELT

Flytt straks den skadede fra eksponering. Gi aldri mat eller drikke til bevisstløs person. Legg bevisstløs person i stabilt sideleie. Kontakt lege umiddelbart.

INNÅNDING

Frisk luft. Skyll nese, munn og svelg med vann. Gi kunstig åndedrett ved behov. Kontakt lege.

HUDKONTAKT

Ta av tilsølt tøy. Skyll huden med mye vann.

ØYEKONTAKT

Skyll med vann. Hold øynene vidåpne. Kontakt lege hvis symptomene vedvarer.

SVELGING

Gi mye vann å drikke. Fremkall brekning. Gi straks 7-8 spiseskjeer (ca. 1 dl) brennevin (konjakk, akevitt, whisky e.l.). Senere gis 3-4 spiseskjeer annenhver time inntil legebehandling. Kontakt lege. Si ifra om at den skadede har drukket metanol. Gi kunstig åndedrett ved behov.

MEDISINSK INFORMASJON

Vis datablad eller etikett til legen. Magepumping kan behøves.

5. TILTAK VED BRANNSLUKKING

EGNET BRANNSLUKKINGSMIDDEL

CO₂, skum, pulver.

BRANN- OG EKSPLOSJONSFARE

Meget brannfarlig. Dampene kan allerede ved temperaturer under romtemperatur danne eksplosive blandinger med luft. Forurenset tøy utgjør brannrisiko. Dampene er tyngre enn luft og kan samles ved gulvet og spredes til andre rom.

Ta forholdsregler mot statisk elektrisitet. Eliminer antenneskilder. Ved brann kan karbonmonoksid, karbondioksid og andre irriterende gasser frigjøres. Vær oppmerksom på faren for etterantennelse.

Metanol

PERSONLIG VERNEUTSTYR VED SLUKKING AV BRANN

Ved brann skal passende beskyttelsesklær og pusteapparat benyttes.

ANNEN INFORMASJON

Vær oppmerksom på risiko for eksplosjon. Beholdere i nærheten av brann flyttes og/eller nedkjøles med vann. Forhindre vann fra slukningsarbeidet å forurense overflate- og grunnvann.

6. TILTAK VED UTILSIKTET UTSLIPP

SIKKERHETSTILTAK FOR Å BESKYTTE PERSONELL

Unngå innåndning av damp/aerosoler. Unngå kontakt med stoffet. Sørg for god ventilasjon. Benytt hensiktsmessig verneutstyr ihht seksjon 8.

SIKKERHETSTILTAK FOR Å BESKYTTE YTRE MILJØ

Forhindre utslipp til kloakk. Saneringsavfall tas hånd om som farlig avfall.

METODER FOR OPPRYDDING OG RENGJØRING

Omkranses og oppsamles med inert absorpsjonsmiddel f.eks. Vermikulit eller Chemizorb. Rengjør med vann.

ANNEN INFORMASJON

Vær oppmerksom på risikoen for antennelse og eksplosjon.

7. HÅNTERING OG OPPBEVARING

HÅNTERING

Produktet håndteres varsomt, som kjemikalier i allminnelighet. Beholder og overføringsutstyr må jordes for å eliminere gnister dannet ved utladning av statisk elektrisitet.

OPPBEVARING

Oppbevares godt lukket i romtemperatur (+15 °C til +25 °C). Oppbevares på godt ventilert sted. Oppbevares som brannfarlig vare. VÆR OPPMERKSOM PÅ at stoffet er giftig. Oppbevares adskilt fra antennelseskilder. Røyking forbudt. Tilgang kun for autorisert personale.

Oppbevaring skal skje i samsvar med lov om brannfarlige varer, med forskrifter, samt regler og bestemmelser fastsatt av Direktoratet for Brann- og Eksplosjonvern.

8. EKSPONERINGSKONTROLL OG PERSONLIG VERNEUTSTYR

BEGRENSNING OG KONTROLL AV EKSPONERING

Alt arbeide med farlige kjemikalier skal utføres i avtrekkskap eller i godt ventilert og godkjent rom. Eliminér alle muligheter for antennelse. Mulighet for øyeskylling skal finnes på arbeidsplassen.

Forbudt å spise eller drikke under arbeidet med produktet. Vask hendene etter arbeid med produktet. Ta forholdsregler mot statisk elektrisitet.

ÅNDEDRETTSVERN

Åndedrettsvern med filter AX (brun) ved behov.

ØYEVERN

Ved risiko for direkte kontakt eller sprut skal det benyttes øyebeskyttelse. Vernebriller.

Metanol

HÅNDVERN

Vernehansker skal benyttes ved fare for direkte kontakt og sprut.

Vernehanskene som brukes må være i hht spesifikasjonene i EU direktiv 89/686/EEC og standarden EN374. Våres anbefaling gjelder kun for produktet nevnt i HMS-databladet og leverert av oss for laboratoriebruk. Anbefalingen gjelder ikke ved oppløsning eller blanding med andre stoffer under betingelser som er forskjellige fra det. Vernehansker av følgende materiale har normalt ved romtemperatur gjemnombruddstid mer enn 4 timer: 4H® (PE/EVAL). Butylgummi. Viton®.

ANNET HUDVERN ENN HÅNDVERN

Ved risiko for direkte kontakt eller sprut skal verneklær benyttes. Bruk av barriere krem (før arbeid med produktet) anbefales.

ADMINISTRATIVE NORMER

Ingrediensnavn	Cas-nr.	Intervall	ppm	mg/m ³	År	Anm.
Metanol	67-56-1	8 timer	100,0	130,0	2003	H

9. FYSISKE OG KJEMISKE EGENSKAPER

Tilstandsform	Væske.
Farge	Fargeløs.
Lukt	Karakteristisk.
Løselighet	Løselig i: Etanol. Eter. Vann.
Løselighet i vann	Løslig.

FYSISKE OG KJEMISKE PARAMETERE

Parameter	Verdi/enhet	Metode/referanse	Merknad
Smeltepunkt	-98 °C		
Kokepunkt	64,5 °C		
Flammepunkt	11 °C	c.c	
Ekspløsjonsområde	5,5 - 36,5 %		
Selvantennings temp.	455 °C		
Damptrykk	128 hPa	20 °C	
Rel. damp tetthet	1,11		
Tetthet	0,79 g/cm ³	20 °C	
Viskositet	0,597 mPas	20 °C	
Molvekt	32.04 g/mol		
log P(ow)	-0,74		
BCF:	1		

10. STABILITET OG REAKTIVITET

STABILITET

Hygroskopisk. Unngå fukt. Unngå oppvarming.

MATERIALER SOM SKAL UNNGÅS

Kan reagere eksplosjonsartet med sterke oksidasjonsmidler som hydrogenperoksid. Perklorater. Kromat. Salpetersyre. Halogener. Sink og sinkforbindelser. Hydrider.
Reagerer med en rekke metaller under utvikling av hydrogengass, som kan danne eksplosiv blanding med luft.
Reagerer under varmeutvikling med syrer. Reagerer med alkali under kraftig varmeutvikling.

Metanol

FARLIGE SPALTINGSPRODUKTER

Ved oppvarming kan skadelige avfallsprodukter dannes.

ANNEN INFORMASJON

Skader visse plaster og gummityper. Uegnede materialer: Sinklegeringer.

11. OPPLYSNINGER OM HELSEFARE

Akutte toksiske testresultater

Akutt oralt toks.	5 628 mg/kg	LD-50 (orl-rat)
Inneh. toksisitet	64 000 ppm/4h	LC-50 (inh-rat)

GENERELT

Produktet skal håndteres med den største forsiktighet!!!

Litteraturdata overensstemmer ikke fullstendig med EU's stoffdirektiv. EU:s arkiv inneholder andre, enda ikke publiserte data.

INNÅNDING

Irritasjon i luftveiene. Komponenter av produktet kan tas opp i kroppen ved innånding.

HUDKONTAKT

Avfetter huden. Kan trenge gjennom huden.

ØYEKONTAKT

Irriterende på øyne og slimhinner.

SVELGING

Absorpsjon av toksiske kvantiteter kan gi: Kvalme. Brekninger. Hodepine. Svimmelhet. Synsforstyrrelser. Permanent synsskade.

Systemiske effekter: Acidose. Sirkulasjonsproblemer. Narkotisk effekt. Kramper. Bevisstløshet. Kan forårsake død. Symptomer kan oppstå etter en latensperiode.

ALLERGI

Produktet har ved durtester ikke vist seg å være sensibiliserende.

KREFT

Forårsaker ikke kreft ifølge tilgjengelig litteratur.

MUTAGENE EFFEKTER

Ikke mutagen i AMES-test. Mutagenisitet i mikrokjernetest: negativt.

FOSTERSKADELIGE EFFEKTER

Risikoen for fosterskader er lav ved eksponering under de angitte grenseverdiene.

ANNEN TOKS. INFORMASJON

Humane data: LD-Lo= 143 mg/kg (metanol). Forgiftning kan oppstå både ved svelging, innånding og hudkontakt såvel ved akutt som ved kronisk eksponering. Den største giftvirkningen er på nervesystemet, spesielt på synsnerven. Metanolforgiftning kan medføre blindhet og i verste fall død.

12. MILJØOPPLYSNINGER

Metanol

ØKOTOKSISITET

Skadelig for vannlevende organismer.

Giftighet for fisk: *L. macrochirus* LC50 (96h) : 15400 mg/l

Giftighet for krepsdyr: *Daphnia magna* EC50 (48h): >10000 mg/l

Giftighet for alger: *Sc. quadricauda* IC5 (8 d): 8000 mg/l

Giftighet for bakterier: *Ps. putida* EC-5: 6600 mg/l (16 h)

PERSISTENS OG NEDBRYTBARHET

Lett nedbrytbart. BOD 76% av ThOD

BOD : 0.60 g/g -1.12 g/g

COD : 1.42 g/g

BIOAKKUMULERINGS- POTENSIAL

log P(ow) < 1 , Forventes ikke å bioakkumulere.

ANNEN INFORMASJON

Skadelige effekter på vannorganismer kan ikke utelukkes om produktet håndteres på uriktig måte. Kan danne eksplosive blandinger med luft over vannflaten. Ved rett håndtering av produktet forventes ingen forstyrrelser i renseanlegg.

13. FJERNING AV KJEMIKALIEAVFALL **GENERELT**

Klassifisert som farlig avfall. Hvis kjemikaliespill eller avfall ikke kan gjenvinnes eller destrueres i egen regi (obs! krav om tillatelse) kontakt kommunen eller et godkjent mottak.

AVFALLSGRUPPER

Forslag til EAL-kode(r): 07 01 04 Andre organiske løsemidler, vaskevæsker og utgangsvæsker.

14. OPPLYSNINGER OM TRANSPORT

Kjemikaliet er klassifisert som farlig gods: Ja Nei Ikke vurdert

UN-nr: 1230

VARENAVN OG BESKRIVELSE:

METHANOL

ADR/RID (veitransport/jernbanetransport)

Klasse:	3	Forpakkingsgr:	II
Fareseddel:	3+6.1		

IMDG (sjøtransport)

Klasse:	3	Forpakkingsgr:	II
Sub. risiko:	6.1	EMS:	F-E,S-D

IATA (lufttransport)

Klasse:	3	Forpakkingsgr:	II
Sub. risiko:	6.1		
Etikett:	3 + 6.1		

Metanol

15. OPPLYSNINGER OM LOVER OG FORSKRIFTER 

Meget
brannfarlig



Giftig

EF-etikett

Nei

Ja

Ikke vurdert

SAMMENSETNING

Metanol (>99%)

R-SETNINGER

Nr.	R-setningstekst
R11	Meget brannfarlig.
R23/24/25	Giftig ved innånding, hudkontakt og svelging.
R39/23/24/25	Giftig; fare for alvorlig varig helseskade ved innånding, hudkontakt og svelging.

S-SETNINGER

S7 Emballasjen skal holdes tett lukket.

S16 Holdes vekk fra antenneskilder - Røyking forbudt.

S36/37 Bruk egnede verneklær og vernehansker.

S45 Ved uhell eller illebefinnende er omgående legebehandling nødvendig; vis etiketten om mulig.

REFERANSER

Forskrift om klassifisering og merking av farlige kjemikalier 2002 eller Stoffliste 2002

HMS-databladet er revidert i.h.t. 29 ATP (2004/73/EU)

Merck Safety Data Sheet.

ANNEN INFORMASJON

Produktet og/eller dets ingredienser omfattes ikke av merkingsendringene i 29 atp.

16. ANDRE OPPLYSNINGER AV BETYDNING FOR HMS

LEVERANDØRENS ANMERKNINGER

Opplysningene i dette databladet baseres på vår nåværende kunnskap og er ment å beskrive produktet fra et sikkerhetsaspekt. Databladet er ikke å betrakte som en kjemisk spesifisering. Det er derfor kundens ansvar å kontrollere att produktet er egnet til kundens spesifikke bruk.

LISTE OVER ALLE RELEVANTE RISIKOSETNINGER

Nr.	R-setningstekst
R11	Meget brannfarlig.
R23/24/25	Giftig ved innånding, hudkontakt og svelging.
R39/23/24/25	Giftig; fare for alvorlig varig helseskade ved innånding, hudkontakt og svelging.

HMS-DATABLAD



Sist endret: 18.05.2006

Internt nr:

Erstatter dato: 15.08.2005

Metanol

YL-gruppe

5

YL-tall

>3200 m³/l

RÅD OM OPPLÆRING

VWR International Norge forutsetter at personer som håndterer produktet har tilegnet seg de kunnskaper og ferdigheter som kreves for laboratoriearbeide.

UTGITT:

16.08.1999

REVISJONSOVERSIKT

Versjon	Rev.dato	Ansvarlig	Endringer
0.0.1	10.02.2004	PISE	Generell oppdatering
0.0.2	15.08.2005	Michaela Sandvik	Endret merking av produktet (S-settninger)
0.0.3	18.05.2006	Siri Lindström	Generell oppdatering.

HMSD er utarbeidet av

Foretak	VWR International AB
Postnr./sted	SE-163 94 STOCKHOLM
Land	S
E-post	info@se.vwr.com
Telefon	+46 8 621 34 00
Faks	+46 8 760 45 20

Navn	E-post	Tlf. (arb.)
Miljö & Säkerhet	ehs@se.vwr.com	+46 8 621 34 00

Vedlegg 4

Datablad for Hydranal-Composite 5

Material Safety Data Sheet

Date Printed: 27/JAN/2005

Date Updated: 14/MAR/2004

Version 1.6

According to 91/155/EEC

1 - Product and Company Information

Product Name HYDRANAL-COMPOSITE 5 ONE-COMPONENT
REAGENT VOLUMETRIC KF TITRATION
Product Number 34805
Company Sigma-Aldrich Company Ltd.
The Old Brickyard
New Road, Gillingham SP8 4XT
United Kingdom
Technical Phone # 44-(0)-1747-833000
Fax 44-(0)-1747-833313
Emergency Phone # 44-(0)-1747-833100

2 - Composition/Information on Ingredients

Product Name	CAS #	EC no	Annex I Index Number
HYDRANAL-COMPOSITE 5, ONE COMPONENT REAGENT	None	None	None

Ingredient Name	Percent	CAS #	EC no	Annex I Index Number
2-METHYLIMIDAZOLE	>= 5 <= 15	693-98-1	211-765-7	None

Symbols: C

R-Phrases: 22 34

Harmful if swallowed. Causes burns.

IMIDAZOLE	>= 5 <= 15	288-32-4	206-019-2	None
-----------	---------------	----------	-----------	------

Symbols: C

R-Phrases: 22 34

Harmful if swallowed. Causes burns.

SULFUR DIOXIDE	>= 5 <= 15	7446-09-5	231-195-2	None
----------------	---------------	-----------	-----------	------

Symbols: T

R-Phrases: 23 34

Toxic by inhalation. Causes burns.

IODINE	>= 5 <= 15	7553-56-2	231-442-4	053-001-00-3
--------	---------------	-----------	-----------	--------------

Symbols: Xn N

R-Phrases: 20/21 50

Harmful by inhalation and in contact with skin. Very toxic to aquatic organisms.

3 - Hazards Identification

SPECIAL INDICATION OF HAZARDS TO HUMANS AND THE ENVIRONMENT

Not hazardous according to Directive 67/548/EC.

4 - First Aid Measures

AFTER INHALATION

If inhaled, remove to fresh air. If not breathing give artificial respiration. If breathing is difficult, give oxygen.

AFTER SKIN CONTACT

In case of contact, immediately wash skin with soap and copious amounts of water.

AFTER EYE CONTACT

In case of contact, immediately flush eyes with copious amounts of water for at least 15 minutes.

AFTER INGESTION

If swallowed, wash out mouth with water provided person is conscious. Call a physician.

5 - Fire Fighting Measures

EXTINGUISHING MEDIA

Suitable: Water spray. Carbon dioxide, dry chemical powder, or appropriate foam.

SPECIAL RISKS

Specific Hazard(s): Combustible liquid. Emits toxic fumes under fire conditions.

SPECIAL PROTECTIVE EQUIPMENT FOR FIREFIGHTERS

Wear self-contained breathing apparatus and protective clothing to prevent contact with skin and eyes.

6 - Accidental Release Measures

PERSONAL PRECAUTION PROCEDURES TO BE FOLLOWED IN CASE OF LEAK OR SPILL
Evacuate area.

PROCEDURE(S) OF PERSONAL PRECAUTION(S)

Wear respirator, chemical safety goggles, rubber boots, and heavy rubber gloves.

METHODS FOR CLEANING UP

Cover with dry-lime, sand, or soda ash. Place in covered containers using non-sparking tools and transport outdoors. Ventilate area and wash spill site after material pickup is complete.

7 - Handling and Storage

HANDLING

Directions for Safe Handling: Avoid breathing vapor. Avoid contact with eyes, skin, and clothing. Avoid prolonged or repeated exposure.

STORAGE

Conditions of Storage: Keep tightly closed. Keep away from heat and open flame.

8 - Exposure Controls / Personal Protection

ENGINEERING CONTROLS

Safety shower and eye bath. Mechanical exhaust required.

GENERAL HYGIENE MEASURES

Wash contaminated clothing before reuse. Wash thoroughly after handling.

PERSONAL PROTECTIVE EQUIPMENT

Respiratory Protection: Government approved respirator.

Hand Protection: Compatible chemical-resistant gloves.

Eye Protection: Chemical safety goggles.

9 - Physical and Chemical Properties

Appearance	Physical State: Liquid	
Property	Value	At Temperature or Pressure
pH	4.5 - 5.5	20 °C
BP/BP Range	194 °C	
MP/MP Range	N/A	
Flash Point	90 °C	Method: closed cup
Flammability	N/A	
Autoignition Temp	N/A	
Oxidizing Properties	N/A	
Explosive Properties	N/A	
Explosion Limits	N/A	
Vapor Pressure	N/A	
SG/Density	1.17 g/cm ³	
Partition Coefficient	N/A	
Viscosity	N/A	
Vapor Density	N/A	
Saturated Vapor Conc.	N/A	
Evaporation Rate	N/A	
Bulk Density	N/A	
Decomposition Temp.	N/A	
Solvent Content	N/A	
Water Content	N/A	
Surface Tension	N/A	
Conductivity	N/A	
Miscellaneous Data	N/A	
Solubility	Solubility in Water: Miscible.	

10 - Stability and Reactivity

STABILITY

Stable: Stable.

Materials to Avoid: Strong oxidizing agents.

HAZARDOUS DECOMPOSITION PRODUCTS

Hazardous Decomposition Products: Carbon monoxide, Carbon dioxide, Nitrogen oxides, Sulfur oxides, Hydrogen iodide, Iodine.

HAZARDOUS POLYMERIZATION

Hazardous Polymerization: Will not occur

11 - Toxicological Information

ACUTE TOXICITY

LD50

Oral

Rat

> 2,000 mg/kg

LD50
Skin
Rat
> 2,000 mg/kg

IRRITATION DATA

Skin
Rabbit
Remarks: No irritation effect
Eyes
Rabbit
Remarks: No irritation effect

SENSITIZATION

Sensitization: Prolonged or repeated exposure may cause allergic reactions in certain sensitive individuals.

SIGNS AND SYMPTOMS OF EXPOSURE

To the best of our knowledge, the chemical, physical, and toxicological properties have not been thoroughly investigated.

ROUTE OF EXPOSURE

Skin Contact: May cause skin irritation.
Skin Absorption: May be harmful if absorbed through the skin.
Eye Contact: May cause eye irritation.
Inhalation: Material may be irritating to mucous membranes and upper respiratory tract. May be harmful if inhaled.
Ingestion: May be harmful if swallowed.

TARGET ORGAN INFORMATION

Kidneys. Liver. Thyroid. Endocrine system.

CHRONIC EXPOSURE - TERATOGEN

Result: Exposure to excessive amounts of iodine during pregnancy is capable of producing fetal hypothyroidism. Iodine-containing drugs have been associated with fetal goiter.

12 - Ecological Information

No data available.

13 - Disposal Considerations

SUBSTANCE DISPOSAL

Contact a licensed professional waste disposal service to dispose of this material. This combustible material may be burned in a chemical incinerator equipped with an afterburner and scrubber. Observe all federal, state, and local environmental regulations.

14 - Transport Information

RID/ADR

Non-hazardous for road transport.

IMDG

Non-hazardous for sea transport.

IATA

Non-hazardous for air transport.

15 - Regulatory Information

16 - Other Information

WARRANTY

The above information is believed to be correct but does not purport to be all inclusive and shall be used only as a guide. The information in this document is based on the present state of our knowledge and is applicable to the product with regard to appropriate safety precautions. It does not represent any guarantee of the properties of the product. Sigma-Aldrich Inc., shall not be held liable for any damage resulting from handling or from contact with the above product. See reverse side of invoice or packing slip for additional terms and conditions of sale. Copyright 2005 Sigma-Aldrich Co. License granted to make unlimited paper copies for internal use only.

DISCLAIMER

For R&D use only. Not for drug, household or other uses.

Vedlegg 5

Datablad for Mono Etylenglykol

Versjonsdato 27-01-04	Versjonsnummer 2	Utskriftsdato 11-05-05	Side 1
MSDS:			
MO066 ETYLENGLYKOL-mono 40 - 90% M/INHIBITOR			

1. Identifikasjon av kjemikaliet og ansvarlig firma

Produktnavn MONOETYLENGLYKOL 40 - 90%

Adresseopplysninger

UNIVAR AS, Postboks 49 Bryn, 0611 OSLO

Telefon: 22 88 16 00

Utarbeidet av: Miljø & Kvalitet i Oslo

Telefon: +47 22 88 16 00. Fax: +47 22 72 00 52

Alarmsentral Brann Øst, telefon: 69 20 17 81

Kjemisk beskr./anv. anvendes til korrosjonsbeskyttelse

PRN-nr: 0061119

Dette HMS-datablad gjelder for følgende artikler:

Dette HMS-datablad gjelder for alle kvaliteter Monoetylen glykol med sammensetning: 40-90% Monoetylen glykol og 60-10% vann

2. Opplysninger om kjemisk sammensetning

CAS-nr	EINECS-nr	%	Symboler
107-21-1	203-473-3	40-90	XN R-setninger R22

Øvrig informasjon

* Fareklasse/R-setning(er) er angitt for 100%-ig vare av hver komponent.

Eksakt klassifisering for produktet angis på punkt 15.

3. Viktigste faremomenter

R22 Farlig ved svelging.

4. Førstehjelpstiltak

INNÅNDING :

Frisk luft, varme og hvile

HUDKONTAKT:

Ta av tilsølte klær. Skyll huden med mye vann.

ØYEKONTAKT:

Skyll med vann i minst 15 minutter. Kontakt lege ved fortsatt ubehag.

SVELGING:

Om mer enn en ubetydelige mengde er svelget - til sykehus.

Forsøk å fremkalle brekning om det er langt til sykehus (mer enn 30 minutters kjøring) og den skadede er ved full bevissthet. Gi i så tilfelle den skadede vann før evt. fremkallelse av brekning.

INFORMASJON TIL LEGER:

Tidlig behandling med Etanol kan oppheve toksiske virkninger av Etylen glykol som metabolisk acidiose og nyreskader.

Hemodialyse eller peritoneal dialyse har gitt gode resultater. Behandles symptomatisk. Behandling baseres på legens vurdering og pasientens reaksjoner.

5. Tiltak ved brannslukning

Versjonsdato	Versjonsnummer	Utskriftsdato	Side
27-01-04	2	11-05-05	2

MSDS:

MO066

ETYLENGLYKOL-mono 40 - 90% M/INHIBITOR
BRANN- OG EKSPLOSJONSFARER:

Ikke brannfarlig, men brennbar.

Ved sterk oppvarming avgis damper, som kan danne

eksplosive blandinger med luft.

Fullstendig forbrenning gir Karbondioksid og vann.

SLUKNINGSMIDLER:

Slukkes med Karbondioksid eller pulver.

Beholdere i nærheten av brann flyttes eller kjøles med vann.

6. Tiltak ved utilsiktet utslipp

Forhindre utslipp i avløp.

SMÅ SPILL:

Absorberes i sand, jord eller lignende. Tett igjen sluk etc.

STORE SPILL:

Kontakt brannvesenet.

Ved større spill i vann/avløp kontakt vannverk eller

renseanlegg.

SIKKERHETSTILTAK FOR Å BESKYTTE PERSONELL:

Benytt personlig verneutstyr som angitt i pkt. 8.

7. Håndtering og oppbevaring

HÅNTERINGSVEILEDNING:

Sørg for god ventilasjon.

Mulighet for øyenskylling.

Utvis forsiktighet med ild, gnister og sveising.

OPPBEVARING:

Lagres tørt, kjølig og i godt lukket emballasje.

8. Eksponeringskontroll og personlig verneutstyr

ADMINISTRATIVE NORMER:

Navn: Etandiol, damp Cas.nr.107-21-1 Adm.norm. 25ppm, T (01)

Observer de gjeldende hygieniske grenseverdier for

Etylenglykol.

ØYEVERN:

Ved fare for sprut bruk godkjente vernebriller.

HÅNDVERN:

Bruk arbeidshansker av f.eks. Butylgummi.

ÅNDEDRETTSVERN:

Bruk helmaske med gassfilter A (brun), ved utilstrekkelig

ventilasjon.

ANNET HUDVERN ENN HÅNDVERN:

Bruk verneklær etter behov.

9. Fysiske og kjemiske egenskaper

Farget væske med svak lukt.

Tetthet kg/m³ 1052*

Kokepunkt °C ca 100*

Damptrykk kPa 2,1*

" ved 20 °C

" Fullstendig løslig

Løselig i org.løsn.m Løslig i

Versjonsdato	Versjonsnummer	Utskriftsdato	Side
27-01-04	2	11-05-05	3

MSDS: MO066	ETYLENGLYKOL-mono 40 - 90% M/INHIBITOR
-----------------------	---

" f.eks. alkoholer
Flammepunkt °C ca 116*
 * gjelder 40%-ig Monoetylglykol

10. Stabilitet og reaktivitet

Reagerer under kraftig varmeutvikling med rykende Svovelsyre og Perklorsyre.

11. Opplysninger om helsefare

LD50 oralt, rotte: 6.100 mg/kg (ubehandlet Etylglykol)
 Dødelig dose hos menneske vurderes til 100 ml.
INNÅNDING:
 Av damper i flere timer kan gi hodepine, svimmelhet og evt. tap av bevissthet.
HUD:
 Kan ved langvarig eksponering gi irritasjon.
ØYNE:
 Sprut av løsning i øynene kan gi irritasjon.
SVELGING:
 Kan virke sløvende, gi svimmelhet, illebefinnende, magesmerter, muskelsvakhet og bevisstløshet. Nyreskader og evt. hjerneskader kan oppstå.

12. Opplysninger om miljøfare

LAV GIFTIGHET FOR VANNORGANISMER. Tilgjengelige miljødata tyder på at kun større lokale utslipp utgjør noen risiko.
 LAV GIFTIGHET FOR LANDLEVENDE PATTEDYR. Normal håndtering og mindre utslipp bedømmes å ikke utgjøre noen skaderisiko.
 LETTNEDBRYTBART. Brytes ned relativt raskt av naturlige forekomster av mikroorganismer.
 BIOAKKUMULERES IKKE i vannmiljøer.
 Verdiene referer seg til Etylglykol.
 LC50 96h (fisk) : 46 000 mg/l Salmo gairdneri
 LC50 24h (fisk) : > 5 000 mg/l gullfisk
 EC50 48h (Daphnia): 51 100 mg/l
 IC50 96h (alger) : 9500-13 500 mg/l
 Selenastrum Capricornutum
NEDBRYTBARHET:
 BOD28/ThOD : >60%
 BOD5/COD : >0,5
BIOAKKUMULASJON:
 BCF : <10 fisk (beregnet)
 log Pow : -1,36

13. Fjerning av kjemikalieavfall

Søk råd hos lokale myndigheter ved håndtering av avfall.
 Benytt forskrift: Spesialavfall. Den inneholder EAK-koder for avfallstyper i ulike prosesser som omfattes av forskriften.
 Emnet omfattes av bestemmelsen om spesialavfall.
 Unngå utslipp til miljøet.

Versjonsdato	Versjonsnummer	Utskriftsdato	Side
27-01-04	2	11-05-05	4
MSDS: MO066 ETYLENGLYKOL-mono 40 - 90% M/INHIBITOR			

14. Opplysninger om transport

Ikke farlig gods jfr. ADR/RID, IMDG eller DGR.

15. Opplysninger om lover og forskrifter

Klassifisering

Symbol / Farekode

Helsefare

XN : Andreaskors Helseskadelig

Miljøskade

- : Ikke merkepliktig

Brannfare

- : Ikke merkepliktig

Innhold

ETYLENGLYKOL

R- og S-setninger

R22 Farlig ved svelging.

S23 Unngå innånding av gass/røyk/damp/sprøytetåke.

Øvrige bestemmelser

REFERANSER:

Gjeldende forskrifter pr dags dato:

Administrative normer - Forskrift om spesialavfall -

Forskrift om stoffliste - Forskrift om klassifisering

og merking av farlige kjemikalier -

ADR-vegtransport av farlig gods.

16. Andre oppl. av betydning for brukernes sikkerhet/helse

YL-gruppe: 00

R22 Farlig ved svelging.

Endring på punkt 1, 2 og 8 i henhold til utgivelse fra 22.08.00.

27.01.04 Korrigering av feil oppstått ved datakonvertering.

Vedlegg 6

Datablad for Kaliumformiat



MATERIAL SAFETY DATA SHEET

#1700, 407 2ND STREET S.W., CALGARY, ALBERTA T2P 2Y3
TELEPHONE: (403) 269-2242 FAX: (403) 269-2251
1-613-996-6666 – CANUTEC – Transportation Emergency
1-888-243-9771 – ChExSS – Chemical Exposure

POTASSIUM FORMATE SALT

SECTION I: IDENTIFICATION OF PRODUCT

Proper Shipping Name: Potassium Formate
Product Name: POTASSIUM FORMATE
Chemical Family: Mixture
WHMIS Classification: D2B

Workplace Hazard: Might cause irritation to the eyes, skin and if inhaled.

Product Use: Oil well drilling fluid additive

TDG Classification: Not regulated

Packaging Group: Not applicable

PIN: Not applicable

SECTION II: HAZARDOUS INGREDIENTS

Ingredients	Percent	CAS Number	LD ₅₀ (Species/Route)	LC ₅₀ (Species/Route)
Potassium formate	100	590-29-4	5500mg/kg (Oral/Mouse)	

SECTION III: TOXICOLOGICAL PROPERTIES

Route of entry: Skin Eye Contact Inhalation Ingestion

Effects of acute exposure: Dust may irritate respiratory tract and lungs. Prolonged or repeated contact may cause irritation to the skin,. May cause irritation to the eyes. If significant amounts are ingested may cause nausea and discomfort.

Exposure limits:

OEL Value

Ingredient Name	CAS No.	Interval	ppm	mg/m3	Year	Notification
NUISANCE DUST, TOTAL DUST	-	8 h		10	2003	
NUISANCE DUST, RESPIRABLE DUST	-	8 h		5	2003	

Irritancy of product: Eye, skin, lung

Sensitization to product: Not applicable

Carcinogenicity: Not applicable

Reproductive toxicity: Not applicable

Tetratogenicity: Not applicable

Mutagenicity: Not applicable

Name of toxicological synergistic products: Not applicable



POTASSIUM FORMATE SALT

SECTION IV: FIRST AID MEASURES

Skin contact: Wash skin thoroughly with soap and water.

Eye contact: Remove any contact lenses. Rinse immediately with plenty of water, also under the eyelids. Continue to rinse for at least 15 minutes.

Inhalation: Move the exposed person to fresh air at once. Blow the nose.

Ingestion: DO NOT INDUCE VOMITING! Rinse nose, mouth and throat with water. Give 1-2 glasses of water to drink.

Get medical attention if any discomfort continues.

SECTION V: PHYSICAL DATA

Physical state: Powder, crystalline

Appearance and odour: White, odourless

Odour threshold: Not determined

Density: 1.08 g/cm³

Vapor pressure (mmHG): Not applicable

Vapor density (Air=1): Not applicable

Evaporation rate: Not applicable

Boiling point (°C): Not determined

Melting point : 169°C (336°F)

pH (%): 8-12

Co-efficient of water/oil distribution: Soluble in Water



POTASSIUM FORMATE SALT

SECTION VI: FIRE AND EXPLOSION DATA

Conditions of flammability: Non-flammable. When heated up to 360 °C the product decompose to hydrogen and potassium oxilate.

Means of extinguishing: Use extinguishing media appropriate for surrounding fire.

Flash point: Not applicable

Upper flammable limit: Not applicable

Lower flammable limit: Not applicable

Auto-ignition temperature: Not determined

Hazardous combustion products: Not applicable

Explosion data-sensitivity to mechanical impact: Not applicable

Explosion data-sensitivity to static discharge: Not applicable

SECTION VII: REACTIVITY DATA

Chemically unstable (conditions): Normally stable

Product incompatible with: Oxidizers, acids

Conditions of reactivity: Avoid contact with acids

Hazardous decomposition products: When heated up to 360 °C the product decompose to hydrogen and potassium oxilate.



POTASSIUM FORMATE SALT

SECTION VIII: PREVENTATIVE MEASURES

Personal protective equipment: Wear mask supplied with: Dust filter P2 (for fine dust). Wear approved, tight fitting safety glasses. Use protective gloves made of: Natural rubber or plastic. Wear body-covering protective suit is recommended if risk for repeated or prolonged skin contact.

Specific engineering controls: Provide adequate general and local exhaust ventilation. Isolate contaminated clothing and wash before reuse. Provide eyewash station. Wash at the end of each work shift and before eating, smoking and using the toilet.

Procedures for leak/spills: Avoid discharge to water sources, sewer or the environment. Sweep up carefully. Collected material must be stored on closed, marked containers. Flush with large amounts of water to clean the area. Inform Authorities if large amounts are involved.

Waste disposal: Not hazardous waste. Recover and reclaim or recycle if practical. Can be delivered to approved waste recipient.

Handling procedures and equipment: Avoid spilling, skin and eye contact. Provide good ventilation. Avoid handling which leads to creations of dust.

Storage requirements: Keep in cool, dry, ventilated place and closed containers. Store above freezing. Protect against light, including direct sunlight.

Special shipping information: Not regulated by TDG.

SECTION IX: PREPARATION

Date updated: December 19, 2007

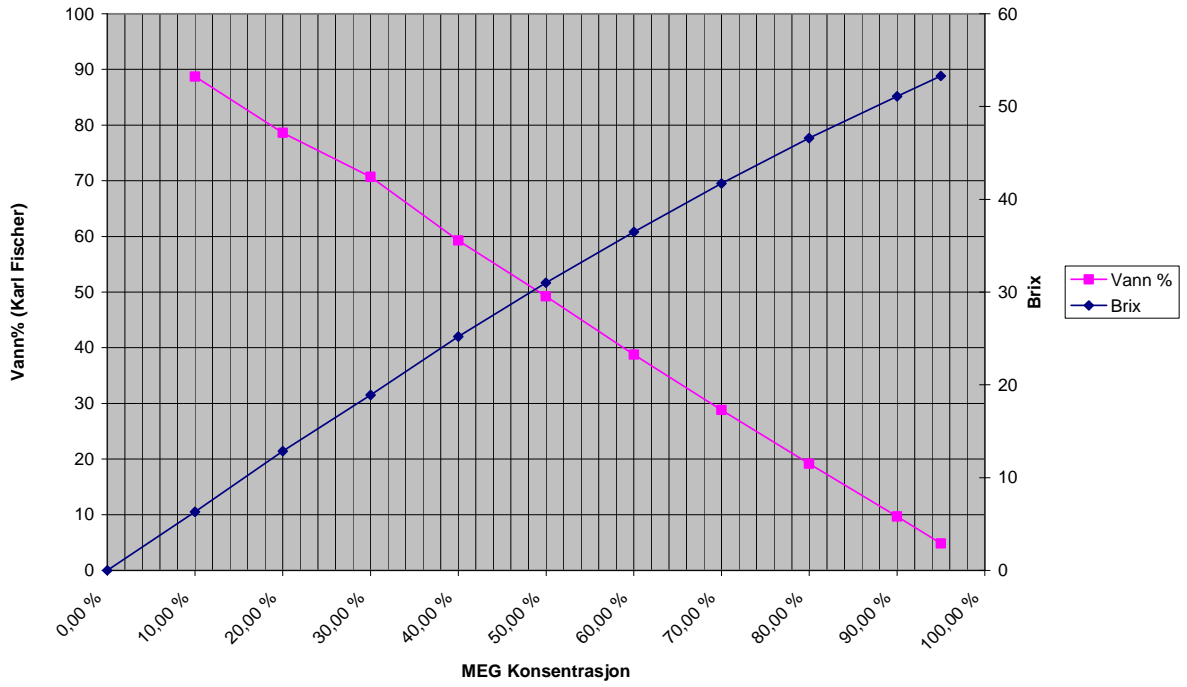
Prepared by: Product Safety Committee

All the recommendations and suggestions herein concerning this product are based upon tests and data believed to be reliable, however it is the user's responsibility to determine the safety, toxicity and sustainability for their own use of the product described herein. Since the actual use by others is beyond our control, no guarantee, expressed or implied, is made by Q'Max Solutions Inc. as to the effects of such use, the results to be obtained, or the safety and toxicity of the product nor does Q'Max Solutions Inc. assume any liability arising out of use by others. Nor is the information herein to be considered as absolutely complete since additional information may be necessary or desirable when particular or exceptional conditions or circumstances exist or because of applicable laws or government regulations.

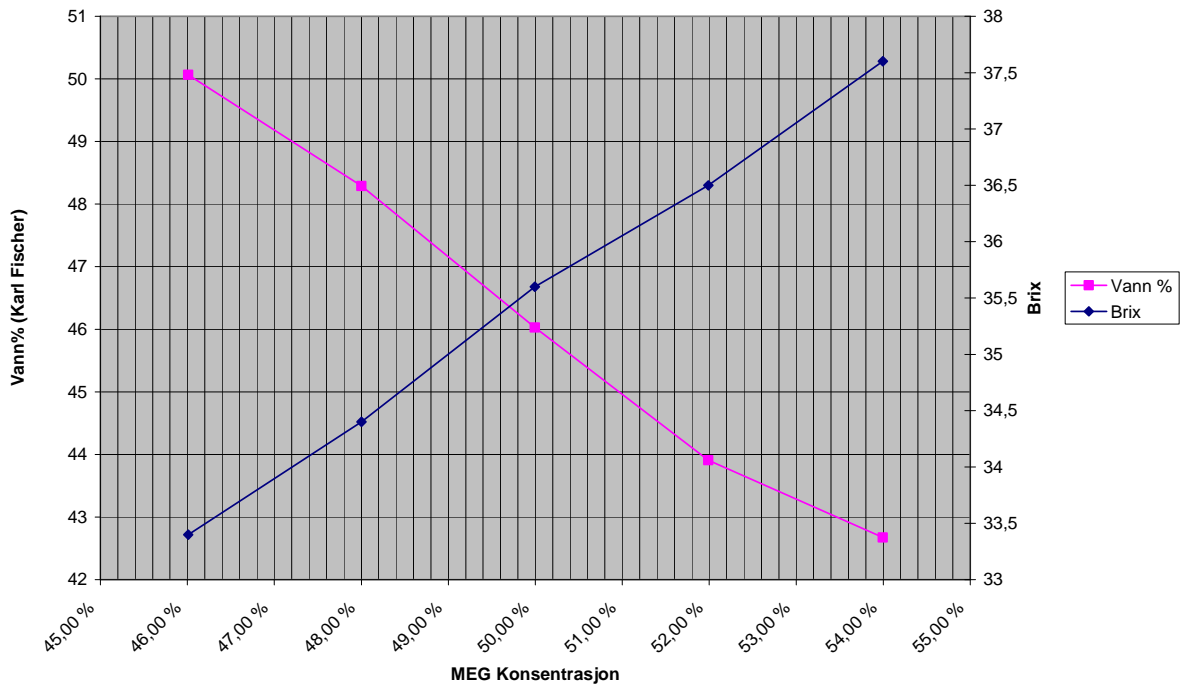
Vedlegg 7

Standardkurver for brix og vanninnhold for varierende mengder salt

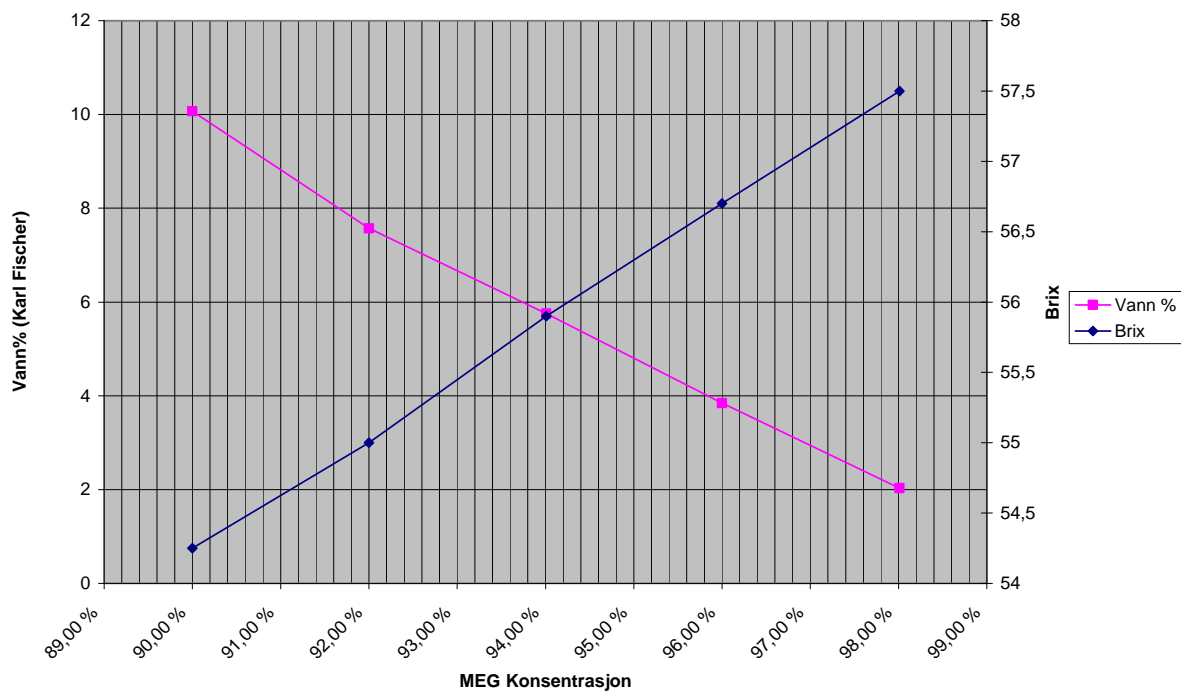
MEG Konsentrasjon vs. Brix/Målt vann%
0-95%



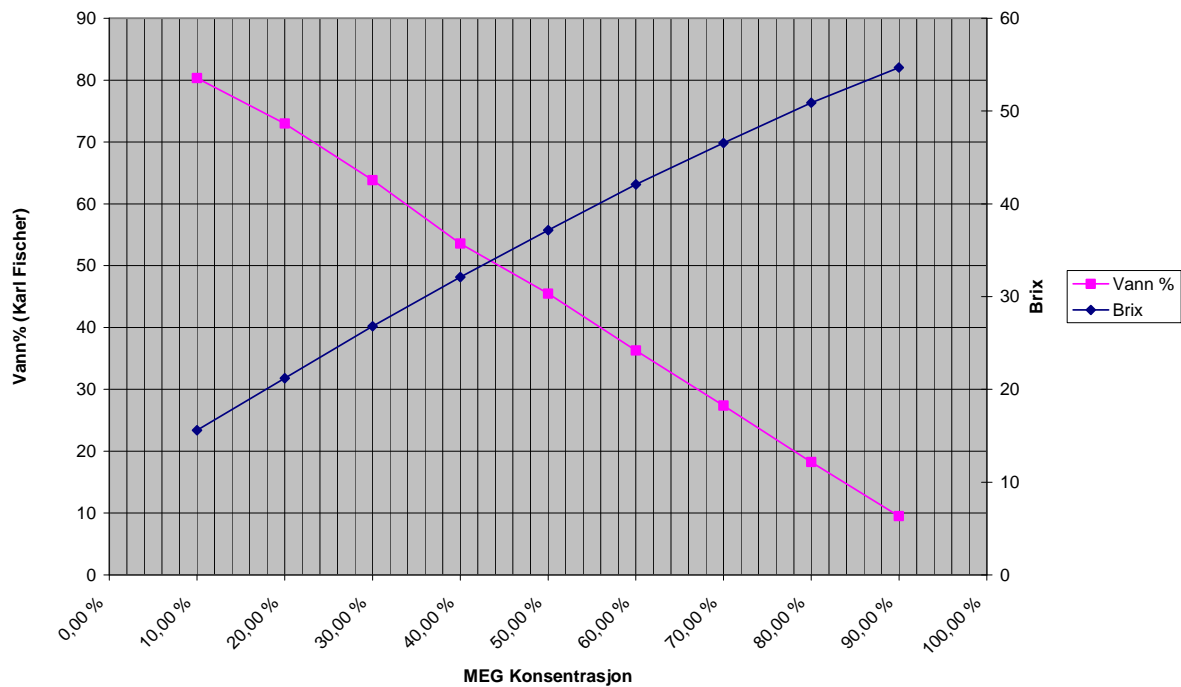
MEG vs. Brix, vann%
46-54 %, 6% NaCl



MEG vs. Brix, Vann%
90-98 %, 6% NaCl



MEG vs. Brix, vann%
46-54 %, 6% NaCl, 6% KCOO-



Vedlegg 8

Forsøksplanlegging

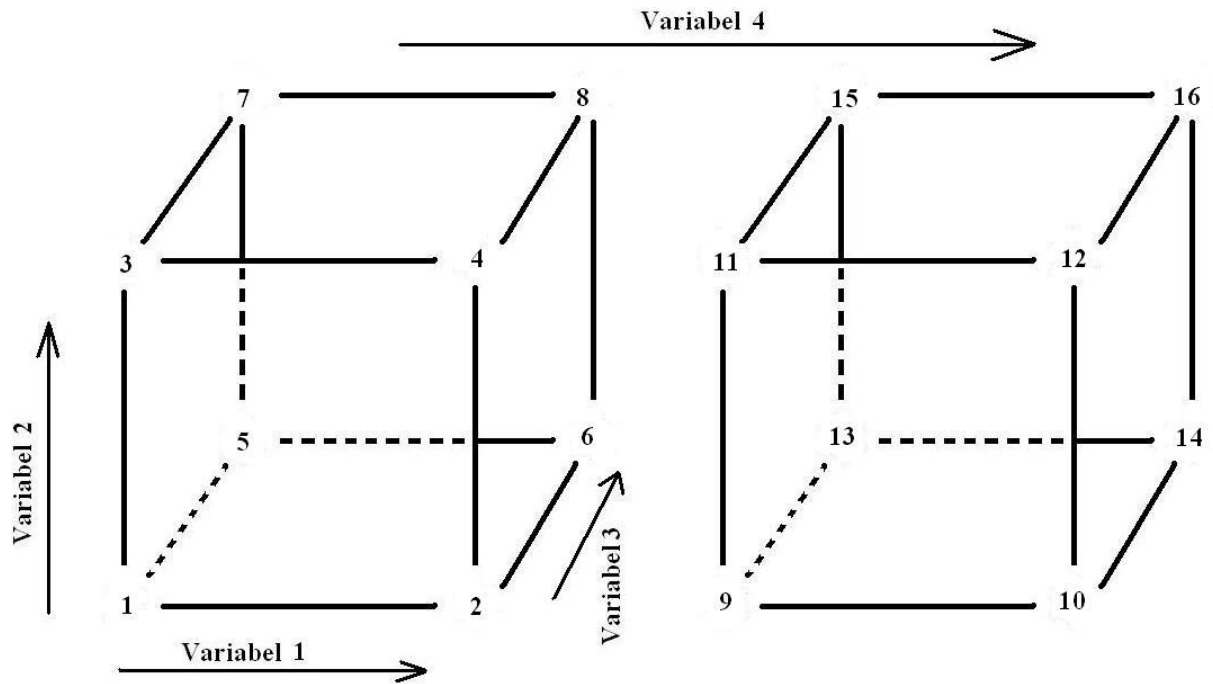
For å legge opp forsøkene ble faktorforsøk, som er en form for forsøksplanlegging, benyttet. Metoden gikk ut på å velge en øvre og en nedre verdi av parameterne som skal undersøkes. Ved å justere én og én variabel kunne man lett gå glipp av samspillet mellom to eller flere variabler. Faktorforsøkene tok hensyn til dette på en enkel og strukturert måte (Blom, H., 1993, (1)).

I dette forsøket ble det benyttet et 2^4 -faktorforsøk, som betyr at forsøket hadde 4 variabler som ble satt sammen i de mulige kombinasjonene som fantes og gav 16 forsøk.

Tabell 1: Variasjon av variablene i et 2^4 -faktorforsøk. ”+” og ”-” henviser til henholdsvis høy og lav verdi av variabelen.

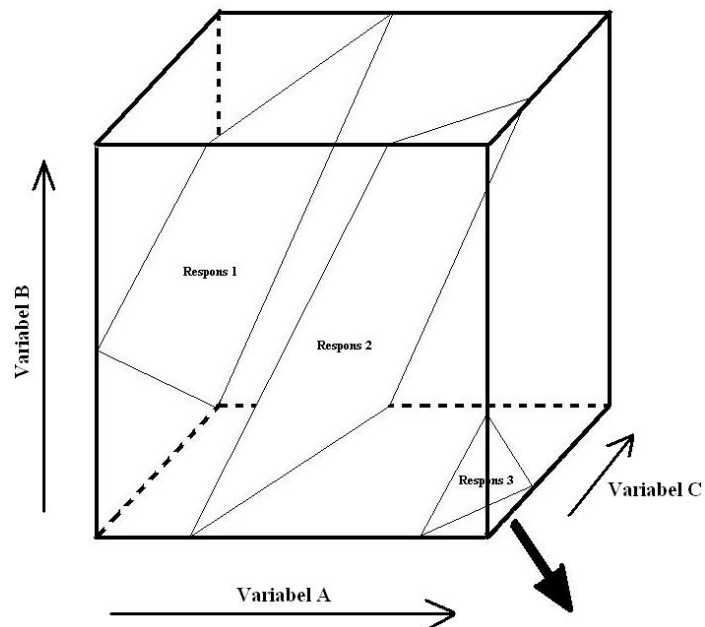
Forsøk	Variable			
	1	2	3	4
1	-	-	-	-
2	+	-	-	-
3	-	+	-	-
4	+	+	-	-
5	-	-	+	-
6	+	-	+	-
7	-	+	+	-
8	+	+	+	-
9	-	-	-	+
10	+	-	-	+
11	-	+	-	+
12	+	+	-	+
13	-	-	+	+
14	+	-	+	+
15	-	+	+	+
16	+	+	+	+

Ved å benytte faktorforsøk får man en 2-dimensjonal firkant eller en 3-dimensjonal kube, avhengig av hvor mange variabler man har, som gjør det lettere å se hvordan parameterne bør justeres for å oppnå best resultat. Et 2^4 -faktorforsøk vil opptre som to kuber (se figur 1).



Figur 1: 2^4 -faktorforsøk sett som to 3-dimensjonale kuber. Tallene i hvert hjørne refererer til forsøksnummer som kan finnes igjen i tabell 1.

Ved å sette inn de målte verdiene (responsen) til hvert av forsøkene i hjørnene av kubene, kunne man se i hvilken retning de neste prøvene burde rettes. I figur 2 ser vi hvordan man kan benytte dette når resultater er satt inn.



Figur 2: 2^4 -faktorforsøk med respons av variablene. Flatene dannes ved å trekke rette linjer mellom lik respons.

Av figur 2 ser vi at forsøket gir høyere respons i det hjørnet der variabel A har høy verdi, variabel B har lav verdi og variabel C har lav verdi. For å finne optimale verdier må man her sette opp et nytt forsøk ut i fra det hjørnet på kubens som gav høyest respons.

Ved å kombinere de forskjellige variablene kan man finne den kombinerte effekten av to, tre eller fire variabler. Kombinasjonen av tre og fire kombinerte variabler benyttes til å finne standardavviket til fordelingen ved hjelp av denne formelen:

$$SE \text{ effect} = \frac{1}{5}((\text{"123"})^2 + (\text{"124"})^2 + (\text{"134"})^2 + (\text{"234"})^2 + (\text{"1234"})^2)$$

der tallene i apostrof henviser til koblede variabler.

I faktorforsøk kan det bli samlet inn store mengder data som gir store tabeller. Disse tabellene har lett for å bli uoversiktelige og relevant informasjon kan være vanskelig å trekke ut. Ved å sette opp et koordinatsystem, der x- og y-aksen representerer hver sin variabel, kan man studere sammenhengen mellom to variabler. Hvis disse variablene har en korrelasjonskoeffisient, r , der $r > 0,58$ eller $r < -0,58$ har man en statistisk signifikant lineær sammenheng mellom de to variablene, og desto nærmere koeffisientene er 1 eller -1, desto sterkere er den lineære sammenhengen (Blom, H., 1993, (2)).

Referanser:

Blom, H., 1993. (1) *Kjemometri – et fagfelt med mange muligheter (I)*, s. 22-23, I: Kommunalteknikk, Utgave 2/93

Blom, H., 1993. (2) *Kjemometri – et fagfelt med mange muligheter (II)*, s. 74-76, I: Kommunalteknikk, Utgave 2A/93

Figurene er inspirert av figurene i

Box, G.E.P., Hunter, J.S., Hunter, W.G., 2005, *Statistics for Experimenters*, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., Publication

Vedlegg 9

Beregning av viskositet ved uttak

Viskositet av MEG eller vann:

$$\ln(\eta_x) = A + \frac{B}{T} + C \ln(T) + DT^E, \quad (1)$$

hvor A, B, C, D og E er konstanter hentet fra tabell 1

Tabell 1: Konstanter til likning (1) for beregning av viskositet

	A	B	C	D	E	Min. temperatur	Maks. temperatur
MEG	-103,52	7563,00	13,009	-	-	261 K	450 K
Vann	-51,964	3670,60	5,7331	$5,349 \times 10^{-29}$	10	276,15 K	643,15 K

Viskositet av MEG + vann:

$$\ln(\eta_{MEG+H_2O}) = Wf_{H_2O} \times \ln(\eta_{H_2O}) + Wf_{MEG} \times \ln(\eta_{MEG}) + Wf_{H_2O} \times Wf_{MEG} \times (-1,14093 + 0,0062636 \times T_C) \quad (2)$$

Viskositet av MEG + vann + salt:

$$\ln(\eta_{MEG+H_2O+salt}) = \ln(\eta_{MEG+H_2O}) + Wf_{salt} \times \frac{1428,535}{177,1887 + T_C} \quad (3)$$

Nomenklatur:

Symbol	Beskrivelse	Enhet
ln	Naturlig logaritme (base e)	-
log	Logaritme (base 10)	-
MEG	Monoetylglykol	-
T	Temperatur	K
T _C	Temperatur	°C
Wf _x	Vektfraksjon (vektfraksjon av MEG og vann er på saltfri basis)	%
η _x	Viskositet	Pa · s

Referanse:

Seiersten, M., 2008, *Viscosity of Saline MEG*, rap. nr. IFE/KR/F-2008/077, KML Document No. 18, Institutt for energiteknikk

Vedlegg 10

Beregning av NPSHa

Formel fra Perry`s Chemical Engineers` Handbook, 8th Edition:

$$NPSHa = h_{ss} - h_{fs} - p_{vapour}$$

hvor

$$h_{ss} = H + p_{flashseparator} = \text{vannshøyde} + \text{trykk i separator}$$

$$h_{fs} = \text{beregnes ut ifra rørlengde, diameter og faktor fra tabell}$$

$$p_{vapour} = \text{damptrykk}$$

Da væsknivået og trykket i separatoren ble holdt konstant, var h_{ss} det samme under alle forsøk:

$$\begin{aligned} h_{ss} &= 0,9m + (0,15\text{bara} * 10,197 \frac{m}{\text{bara}}) \\ &= 2,43m \end{aligned}$$

Da væsknivået ble økt 5cm, gav dette en ny verdi for h_{ss} :

$$\begin{aligned} h_{ss} &= 0,95m + (0,15\text{bara} * 10,197 \frac{m}{\text{bara}}) \\ &= 2,48m \end{aligned}$$

Friksjonsfaktoren gir et uttrykk som er avhengig av strømmingen (flow). Det ble kun sett på friksjonsmotstand i røret fra bunnen av flash separatoren til pumpen. Formelen nfor beregning av friksjonsfaktoren og fm (Moody friksjonsfaktor) er hentet fra *Flow of Fluids* (Crane, 2006):

$$\begin{aligned} h_{fs} &= fm \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g} \\ &= fm \times \frac{L}{D} \times \frac{\left(\frac{Q}{A}\right)^2}{2g} \\ &= fm \times \frac{L}{D} \times \frac{Q^2}{2g \times \left(\pi \times \left(\frac{D}{2}\right)^2\right)^2} \\ &= fm \times \frac{L}{D^5} \times \frac{8Q^2}{g \times \pi^2} \\ &= 0,019 \times \frac{0,3m}{(0,05m)^5} \times \frac{2Q^2}{9,81 \frac{m}{s^2} \times \pi^2} \\ &= 376,78 \times Q^2 \end{aligned}$$

Damptrykkene i denne rapporten er hentet fra et intert excel-ark på IFE.

Nomenklatur:

Symbol	Beskrivelse	Enhet
NPSHa	Net Pressure Suction Head Available	m
h_{ss}	Static Suction Head	m
h_{fs}	Friksjonsfaktor (Suction Friction Head)	m
H	Væskesøyle, vertikal lengde fra væskeoverflaten til senter av pumpen	m
P_{vapour}	Væskens damptrykk ved aktuell temperatur	m
$P_{flashseparator}$	Trykk over væsken (i flashseparatoren)	m
fm	Moody friksjonsfaktor	-
L	Lengde på rør	m
D	Diameter på rør	m
v	Væskehastighet	$\frac{m}{s}$
Q	Volumstrøm (flow)	$\frac{m^3}{s}$
A	Tverrsnittsareal av røret som studeres	m^2
g	Gravitasjon	$9,81 \frac{m}{s^2}$

Referanser:

Perry, R. H. og D. W. Green, 2008, (1), *Perry`s Chemical Engineers` Handbook*, 8. utgave, McGraw-Hill Companies, USA, s. 10-28

Crane Valve Group (CVG), 2006, *Flow of Fluids, Through valves fittings and pipes*, Washington, USA.

Vedlegg 11

Qmax og NPSH ved økt væskenivå

Tabellen under viser endringene i Qmax ved økt væsknivå i flash separatoren. Nivået ble økt 5 cm og det ble utført tre forsøk, men resultatene viser ingen trend. Qmax økte i to av forsøkene og sank i ett.

NPSH ble også beregnet ved disse betingelsene og viser at differansen mellom tilgjengelig og nødvendig NPSH ligger i samme intervall som for prøvene ved normalt væske nivå.

Tabell 1: Qmax og NPSH ved økt væsknivå i flash separatoren

Prøve	MEG-kons. i føde	Temp. (°C)	Total Salt	Viskositet ved uttak (cP)	Qmax Normalt nivå (m ³ /h)	Qmax Høyner nivå (m ³ /h)	Qmax diff.	NPSHr (m)	NPSHa (m)	NPSH diff. (m)
FS 54	65,00 %	119,1	6 %	2,03	6,15	7,11	16 %	1,95	2,39	0,92
FS 62	80,00 %	120,1	10 %	2,26	6,15	6,56	7 %	1,95	2,40	0,87
FS 65	80,00 %	124,0	18 % (utfelling)	3,54	6,97	6,7	-4 %	2	2,39	1,01