



Høgskulen på Vestlandet

Bacheloroppgave Maskin

ING3039

Predefinert informasjon

Startdato:	30-04-2018 20:20	Termin:	2018 VÅR
Sluttdato:	09-05-2018 12:00	Vurderingsform:	Norsk 6-trinns skala (A-F)
Eksamensform:	Bacheloroppgave med muntlig presentasjon/eksaminasjon		
SIS-kode:	203 ING3039 1 PRO-1 2018 VÅR		
Intern sensor:	(Anonymisert)		

Deltaker

Navn:	Aslak Hjelle
Kandidatnr.:	25
HVL-id:	239324@hvl.no

Informasjon fra deltaker

Tittel *:	Ny kompressor for gass fra Eldfisk		
Tro- og loverklæring *:	Ja	Inneholder besvarelsen konfidensiell materiale?:	Nei
Jeg bekrefter at jeg har registrert oppgavetittelen på norsk og engelsk i StudentWeb og vet at denne vil stå på vitnemålet mitt *:	Ja		

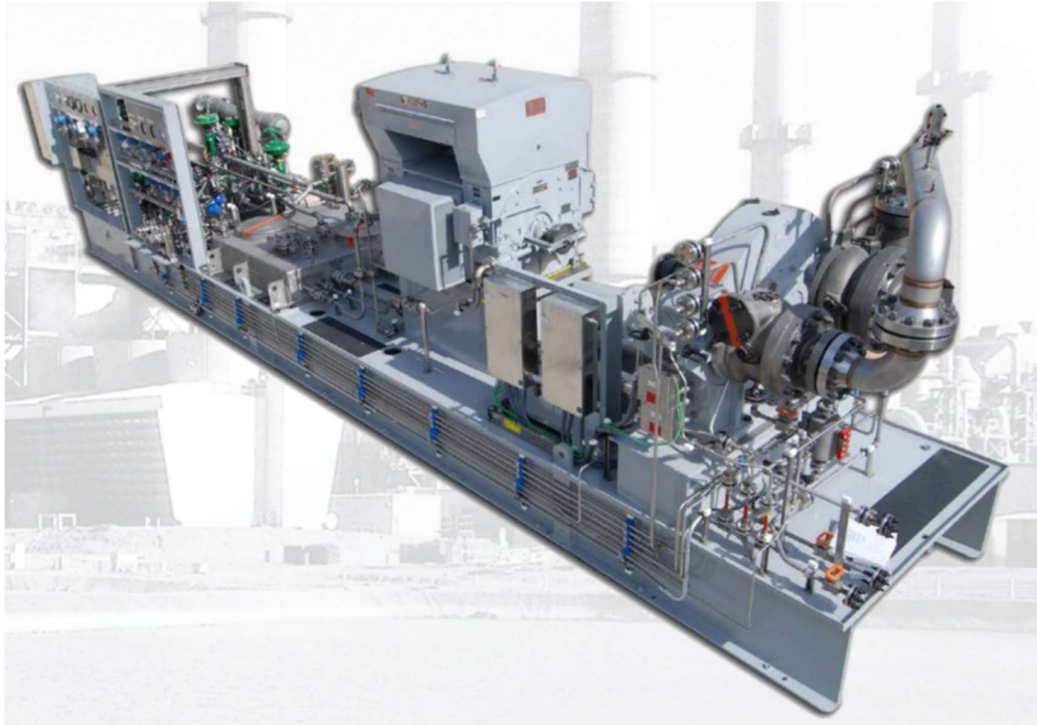
Gruppe

Gruppenavn:	Gruppe M01
Gruppenummer:	1
Andre medlemmer i gruppen:	Karl Johan Håkonsen, Vegard Vaaga

Jeg godkjenner avtalen om publisering av bacheloroppgaven min *

Ja

Ny kompressor for gass fra Eldfisk



Bachelorprosjekt utført ved
Høgskulen på Vestlandet – Studie for ingeniørfag
Maskin Proses- og energiteknikk

Utført av

Vegard Vaaga

Kandidatnummer 26

Aslak Hjelle

Kandidatnummer 25

Karl Johan Håkonsen

Kandidatnummer 12

BACHELORPROSJEKT

Studenten(e)s navn:
Vegard Vaaga
Aslak Hjelle
Karl Johan Håkonsen

Linje & studieretning Bachelor i ingeniørfag
Maskin Prosess- og energiteknikk

Oppgavens tittel: *Ny kompressor for gass fra Eldfisk*

Oppgavetekst:

På grunn av økt behov for gassløft i fremtiden, må dagens ejektorer på Ekofisk J som tar gass fra Eldfisk fra 10 til 20 bar stenges. Ejektorene har i utgangspunktet dårlig virkningsgrad og ConocoPhillips ser på alternative muligheter til å erstatte dagens ejektorer.

Oppgaven går ut på å analysere dagens løsning med ejektorer og komme med en anbefaling rundt en kompressor med væskeutskiller som skal erstatte dagens ejektorer.

Rapporten skal inneholde en vurdering rundt muligheter og utfordringer med en ny kompressor. Det skal ses på det tekniske rundt en ny kompressor når det kommer til type, plassering, energiforbruk og sikkerhet. I rapporten skal det også være økonomiske betraktninger både for installasjon og eventuell gevinst av bedre kapasitet.

Endelig oppgave gitt: Tirsdag 27. februar 2018

Innleveringsfrist: Onsdag 9.mai 2018 kl. 12.00

Intern veileder: Jorunn Stueland Nysted

Ekstern veileder: Clive Wilson
Adresse ekstern veileder: Conocophillips Norge
Ekofiskvegen 35, 4056 Tananger

Godkjent av
studieansvarlig:
Dato:

Clive Wilson
18/4 - 18

Forord

Denne rapporten er en del av faget "ING3039 Bacheloroppgave Maskin" som foruten denne rapporten består av et produkt, en plakat og en muntlig presentasjon. Faget er avslutningsprosjekt for treårig ingeniørutdanning innen maskin med fordypning i prosess og energiteknikk ved Høgskulen på Vestlandet.

Skolen oppfordrer studenter til å kontakte eksterne bedrifter for å få tildelt en oppgave som har bakgrunn i en problemstilling som bedriften vil se nærmere på. Oppgaven skal ha en tilknytning til ett eller flere fagfelt som studentene har fått undervisning i. Den aktuelle problemstillingen i denne rapporten baseres hovedsakelig på kunnskaper fra fagene "Varme- og strømningslære", "Prosessteknikk I", "Prosessteknikk II" og "Petroleumsproduksjon".

Gruppen har fått tildelt en oppgave fra ConocoPhillips ved Clive Wilson. ConocoPhillips jobber med mulighetene for å gjøre endringer på dagens gassbehandlingsanlegg ved Ekofisk 2/4-J. I den forbindelse jobber de med å se på muligheten for å erstatte dagens ejektorer, som tar gass fra Eldfisk opp fra 10 til 20 bar, med en elektrisk kompressor. Bakgrunnen for dette er et forventet økt forbruk av gassløft i fremtiden som gjør at en trenger større kapasitet i gassbehandlingsanlegget.

Oppgaven til gruppen har vært å gjennomføre en studie for å se på muligheten for å installere en slik kompressor, der en har tatt for seg både de tekniske og økonomiske aspektene ved en slik modifikasjon.

Referanser og kilder refereres til på formen (Forfatter, år), disse finnes igjen i referanselisten på slutten av rapporten. Vedlegg henvises til på formen [Vedlegg: Bokstav], der bokstaven henviser til bokstaven til vedlegget.

Gruppen vil rette stor takk til intern veileder Jorunn Stueland Nysted ved HVL og eksterne veileder Clive Wilson fra ConocoPhillips for hjelp underveis. Vi vil også takke Kjetil Vatne fra Flow Solutions, Marius Stene og Atle Andreassen fra ConocoPhillips og Mauritz Talseth fra Schlumberger.

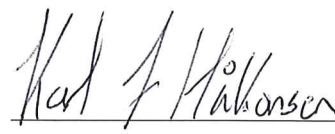
Haugesund, 9. Mai 2018



Aslak Hjelle



Vegard Vaaga



Karl Johan Håkonsen

Sammendrag

På Ekofisk 2/4-J er det i dag et LP-system som komprimerer gassen opp fra 10 til 20 barg, og et HP-system som komprimerer gassen opp fra 20 til 50 barg. Gassen fra Eldfisk kommer med et trykk som gjør at den i utgangspunktet må inn på LP-systemet, men på grunn av dårlig kapasitet på LP-systemet benyttes det ejektorer som suger gassen opp til 20 barg, dette gjøres ved hjelp av drivgass fra HP-kompressorene.

ConocoPhillips holder på med å gjennomføre et prosjekt for å identifisere, og fjerne flaskehalsen i prosessen ved Ekofisk 2/4-J, og prognoser viser at det i fremtiden vil være økt behov for løftegass. Dette vil gå utover kapasiteten på HP-systemet, og gjør at det ikke lenger vil være mulig å bruke drivgass fra HP-kompressorene til å drive ejektorene. Oppdragsgiver ønsker å få gjennomført en studie som ser på muligheten for å erstatte ejektorene med en kompressor.

I denne rapporten gjøres vurderinger rundt installasjon av en ny kompressor, med hvilke muligheter og utfordringer det byr på. Det gjøres også vurderinger av hvilken kompressortype som er best egnet, nødvendige tiltak for teknisk sikkerhet, samt kompressorens plassering og energiforbruk. Rapporten inneholder økonomiske betraktninger av kostnader for installasjon og eventuell fremtidig gevinst som følge av bedre kapasitet.

Gruppen foreslår en løsning der væsken skilles ut av gassen ved hjelp av en vertikal tofase separator fra Schlumberger. Denne er 4 meter høy og har en diameter på 1 meter. Innløpsarrangementet til væskeutskilleren er en ledeplate av typen ConSepT IVD, dråpeutskilleren er en aksialstrømsyklon av typen ConSepT DC80, og det anbefales å benytte *mesh pad* som koaliseringsenhet.

Anbefalt kompressor er en Pinnacle LF-2190 fra Sundyne. Dette er en ett-trins sentrifugalkompressor som, komplett med hjelpesystemer, vil måle 9 meter i lengde, 3 meter i bredde og 3,3 meter i høyde. Gruppen har gjennomført en *trade-off* analyse og anbefaler å plassere kompressoren på plattformdekk C-13 hvor mottakersluse for Tor står idag.

Antisurgesystemet som anbefales er "Series 3 Plus EAS" fra leverandøren CCC med seteventil fra Arca Valves med modellnummer 8C1-L1.

Det er tilstrekkelig kapasitet i det eksisterende strømnettet på Ekofisk og Eldfisk til å dekke energiforbruket til kompressoren på 1789,9 kWh, men det vil føre til 12273,6 Sm³/d i høyere brenngassforbruk.

Gruppen har beregnet at innkjøp og installasjon av kompressor og væskeutskiller vil ha en totalpris på 240 mill. NOK. Når det kommer til økte inntekter har gruppen sett på økt kapasitet på LP-systemet og økt behov for løftegass. Det er usikkert om det er mulig å øke kapasiteten på LP-systemet, derfor er denne inntekten neglisjert i totalen. Ved å få 20 % høyere løftegassmengde i årene fra 2020 til 2050 beregnes det at en vil kunne tjene rundt 38 mrd. NOK.

Summary

At Ekofisk 2/4-J there is a LP-system compressing the gas from 10 to 20 barg, and a HP-system compressing the gas from 20 to 50 barg. The gas arriving from Eldfisk is at such a low pressure, which means that it ought to be imported to the LP-system. However, due to low capacity at the LP-system, that's not possible. The solution to this is to use two ejectors to bring the pressure of the Eldfisk-gas up to 20 barg, so that it can enter the HP-system. This is made possible using gas from the HP Compressors as motive gas.

ConocoPhillips are working on a project identifying and removing bottlenecks in the process at Ekofisk 2/4-J. Forecasts show that the need for gas lift will increase in the future. This will affect the capacity at the HP-system and make it so that there no longer will be gas available to be used as motive gas for the ejectors. Because of this, ConocoPhillips wants to perform a study to assess the possibility of replacing the ejectors with a compressor.

This report considers the prospect of installing a new compressor, including the possibilities and challenges. The considered aspects are compressor type, placement and energy needs, as well as the required actions needed to ensure technical safety in the process. The report also looks at the financial aspects of the modification, considering the cost of purchasing and installing the new equipment, and the possible financial upside this modification can lead to because of the increased capacity.

The group suggests a solution where the liquids are separated from the gas using a vertical two-phase separator supplied by Schlumberger. The separator is 4 metres tall with diameter of 1 meter. The separator uses a ConSepT IVD inlet vane, a ConSepT DC demister which is an axial flow cyclone, and a mesh pad mist extractor.

The recommended compressor is a LF-2190 supplied by Sundyne. This is a single-step centrifugal compressor. The compressor is 9 metres long, 3 metres wide and 3,3 metres tall. With the help of a *trade-off* analysis the group recommends that the compressor should be placed in area C-13.

The recommended antisurge system is the "Series 3 Plus EAS" from CCC with a model 8C1-L1 seat valve from Acra Valves.

There is sufficient power in the existing power grid at Ekofisk and Eldfisk to handle the compressors energy consumption of 1789,9 kWh. However, this will lead to an increase in fuel gas consumption by 12273,6 Sm³/d.

The estimated cost of investment and installation for the compressor and separator is approximately 240 mill. NOK. Regarding the potential future income, the group has considered the increased capacity in the LP-system, and the increased demand for gas lift. It's not certain if it's possible to increase the capacity in the LP-system. Because of this uncertainty, the group has chosen to exclude this from the estimates. With a 20 % increase in gas lift from the years 2020 through 2050, the profit is estimated to be around 38 billion NOK.

Innholdsfortegnelse

Forord	i
Sammendrag	ii
Summary	iv
Figurliste	viii
Tabelliste.....	ix
1 Innledning	1
1.1 Bakgrunn for oppgaven	1
1.2 ConocoPhillips.....	1
1.3 Problemstilling.....	2
1.4 Målsetting	2
1.5 Oppbygning av oppgaven.....	3
1.6 Metode	4
1.7 Avgrensninger og antagelser	5
1.8 Ordliste og forkortelser.....	6
1.9 Ekofisk.....	7
1.10 Eldfisk	8
2 Ekofisk J.....	9
2.1 Oljebehandling.....	10
2.2 Vannbehandling	12
2.3 Gassbehandling.....	13
3 Utfordringer og muligheter	17
3.1 Flexibilitet	17
3.2 Løftegass.....	18
3.3 Ta inn nye felt	21
4 Separasjon av væske og gass.....	22
4.1 Separasjonsteori	23
4.2 Generell oppbygging av en tofase separator.....	27
5 Gasskompresjon	30
5.1 Kompresjonsteori.....	30
5.2 Kompressorer.....	31
5.3 Sentrifugalkompressor.....	34
5.4 Ejektor	37

6	Dagens metode for import av Eldfisk gass til Ekofisk	39
6.1	HP Flash Gas kompressor Ejektorer	42
6.2	Normal drift	43
6.3	Driftsforstyrrelser	43
7	Forslag til modifisert metode for import av Eldfisk gass til Ekofisk	45
7.1	Systembeskrivelse	45
7.2	Operasjon ved normal drift	51
7.3	Operasjon ved driftsforstyrrelser	52
7.4	Teknisk sikkerhet	53
7.5	Rørkonstruksjon og dimensjonering	54
8	Potensiell løsning	55
8.1	Væskeutskiller	55
8.2	Kompressor	57
8.3	Antisurgesystem	60
8.4	Plassering av kompressor	61
8.5	Energiforbruk	66
8.6	Installasjon	67
8.7	Økonomi	67
9	Diskusjon og forslag til videre arbeid	70
9.1	Diskusjon	70
9.2	Forslag til videre arbeid	71
10	Konklusjon	72
11	Referanser	73
12	Vedlegg	76

Figurliste

Forsidebildet er hentet fra www.sundyne.com

Figur 1 - Faktisk og prognosert salg av petroleum 1971-2021 (Oljedirektoratet, 2018)	1
Figur 2 - Oversiktsbilde over Ekofisk Kompleks (Foto: ConocoPhillips)	7
Figur 3 - Oversiktsbilde over Eldfisk (Foto: ConocoPhillips).....	8
Figur 4 - Ekofisk J (Foto: ConocoPhillips).....	9
Figur 5 - Separatorer og trykkøkningspumper (ConocoPhillips, 2018).....	11
Figur 6 - CTour vannbehandlingsanlegg (ConocoPhillips, 2018)	12
Figur 7 - Gasstørking med glykolkontaktor (ConocoPhillips, 2018).....	14
Figur 8 - Prinsipp for resirkulering av løftegass og HP gass (Laget av gruppen).....	19
Figur 9 - Anslag for gassløftmengde på Ekofisk (ConocoPhillips, 2018).....	20
Figur 10 – Krefter som virker på en dråpe. (Laget av gruppen)	24
Figur 11 – Separasjonskonstant ved forskjellige trykk. (Campbell J. M., 2015).....	25
Figur 12 - Flytskjema av væskeutskilling i en tofase separator. (Laget av gruppen)	27
Figur 13 – Ledepate (Koch-Glitsch, 2018).....	28
Figur 14 - Kompresorkurver med markerte linjer for surge og stonewall. (Nedregaard, 2003)	33
Figur 15 – Tverrsnitt av en femtrinns radial sentrifugalkompressor (Nedregaard, 2003).....	34
Figur 16 – Forskjellige typer impellere (Sorokes, 2013).....	35
Figur 17 - Labyrinttetning på roterende aksling (Wikimedia Commons, 2018)	36
Figur 18 - Horisontalt delt og vertikalt delt kompressorhus (Hitachi, 2018)	36
Figur 19 - Prinsippskisse for ejektor (ConocoPhillips, 2018).....	37
Figur 20 - Kart over Ekofisk-området med rørledninger (ConocoPhillips, 2018).....	39
Figur 21 - Utsnitt av Eldfisk B gasseksport (ConocoPhillips, 2018).....	40
Figur 22 - Utsnitt av Eldfisk S gasseksport (ConocoPhillips, 2018)	40
Figur 23 - Dagens løsning for import av Eldfisk gass (Laget av gruppen)	41
Figur 24 - Forslag til ny løsning for import av Eldfisk gass (Laget av gruppen)	47
Figur 25 - Signaler til antisurgeventil (Laget av gruppen)	51
Figur 26 - Flytskjema over tiltenkt gjennomføring av pigging (Laget av gruppen)	52
Figur 27 - ConSept IVD innløpsarrangement (Schlumberger).....	56
Figur 28 - ConSept DC80 sykklon dråpeutskiller (Schlumberger).....	56
Figur 29 - Performance envelope for Sundynes kompressorer (Sundyne, 2017)	57
Figur 30 - Kompressor med motor og hjelpesystemer (Sundyne, 2017)	58
Figur 31 - Kompresorkurver for LF-2190 (Kilde: Rapport fra Flow Solutions, Vedlegg E) .	59

Figur 32 Antisurgesystem (Compressor Controls Corporation, 2010)	60
Figur 33 - Forslag 1 til plassering av kompressor (ConocoPhillips, 2018).....	61
Figur 34 - Forslag 2 til plassering av kompressor (ConocoPhillips, 2018).....	62
Figur 35 - Forslag 3 til plassering av kompressor (ConocoPhillips, 2018).....	63
Figur 36 Mottakersluse for Tor på C-13 (Foto tatt av gruppen med tillatelse fra ConocoPhillips).....	65
Figur 37 - Produksjonsgraf med og uten ekstra løftegass	69

Tabelliste

Tabell 1 - Egenskaper ved forskjellige innløpsarrangementer (Kilde: NORSOK).....	27
Tabell 2 – Gassens sammensetning (Kilde: ConocoPhillips).....	45
Tabell 3 - Trade-off analyse for plassering av kompressor	64
Tabell 4 - Innkjøpspris.....	67
Tabell 5 Produksjonsoverslag	69

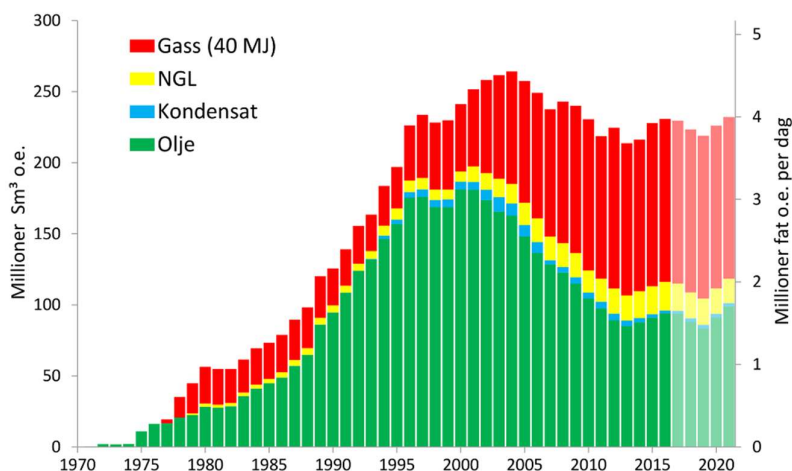
1 Innledning

1.1 Bakgrunn for oppgaven

Norge startet med oljeproduksjon i 1971. Siden den gang har Norge blitt en relativt stor oljeprodusent som har gitt landet betydelige inntekter. Dette har blant annet ført til at oljefondet har vokst til 8 200 mrd. norske kroner. Olje- og gassindustrien står for ca. halvparten av innskuddene de siste 20 årene (Oljefondet, 2018) (Oljedirektoratet, 2017).

I senere år har en opplevd nedgangstider i olje- og gassindustrien. Dette skyldes hovedsakelig nedgang i oljeprisen som følge av redusert etterspørsel og flere leverandører på markedet.

Ekspertene tror dette vil stabilisere seg igjen, slik at det fortsatt vil være gunstig med norsk olje- og gassproduksjon i mange år fremover. Bare i 2016 ble det solgt 116,8 mrd. Sm³ gass og 94,1 mill. Sm³ olje (Oljedirektoratet, 2017).



Figur 1 - Faktisk og prognosert salg av petroleum 1971-2021 (Oljedirektoratet, 2018)

Figur 1 er hentet fra

oljedirektoratet, og viser

en prognose for de neste års olje- og gassproduksjon fra Norge (Oljedirektoratet, 2017).

1.2 ConocoPhillips

ConocoPhillips er i dag verdens største uavhengige lete- og produksjonsselskap. Dette er regnet ut ifra tilgjengelige ressurser og daglig produksjon av olje og gass. Selskapet er en sammenslåing av de tre selskapene Conoco, Phillips Petroleum Company og Burlington Resources (ConocoPhillips, 2018).

Historien til ConocoPhillips i Norge startet ved at Phillips Petroleum i 1962 søkte om lisens for å lete etter olje og gass på det som skulle bli den norske kontinentalsokkelen.

Det første funnet var Cod-feltet i 1968. På den tiden var ikke Cod drivverdig alene så det ble lagt til side.

Året etter fant Phillips Petroleum Ekofisk. Det ble tidlig klarlagt at funnet var veldig stort selv i internasjonal målestokk og planer ble lagt for å starte utvinning og produksjon.

Den første oljen ble produsert midlertidig fra den flyttbare riggen Gulftide i 1971 og det markerte starten på Norges rolle som en oljeproduserende nasjon. Etter hvert ble produksjonen overtatt av de faste innretningene på feltet.

Gjennom årene har feltet blitt utvidet flere ganger. Det andre store feltet i området, Eldfisk, startet å produsere i 1979. I dag produseres det olje fra feltene Ekofisk, Eldfisk og Embla. Hovedkontoret til ConocoPhillips Norge ligger på Tananger utenfor Stavanger (ConocoPhillips, 2018).

1.3 Problemstilling

ConocoPhillips gjennomfører for tiden et prosjekt for å se på forskjellige endringer i prosessen ved Ekofisk 2/4-J. De ønsker å fjerne flaskehalsen og gjøre plattformen bedre rustet for produksjonen i fremtiden.

Et av prosjektene de ser på er dagens løsning med ejektorer til å suge gass som kommer inn til Ekofisk fra Eldfisk fra 10 til 20 barg. I dag brukes ejektorene for å flytte gass over fra LP-systemet til HP-systemet uten bruk av kompressor. Dette kan gjøres fordi HP-systemet har bedre kapasitet enn LP-systemet og fordi en har tilgjengelig drivgass til å drive ejektorene. I fremtidige prognoser for feltet er det større behov for løftegass. Det økte behovet for løftegass gjør at en ikke lenger har samme kapasitet på HP-system og en har dermed ikke mulighet til å bruke gass fra HP-kompressorene som drivgass til ejektorene. Bedriften ser dermed på å erstatte dagens ejektorer med en elektrisk drevet kompressor.

1.4 Målsetting

Målsettingen til gruppen er å analysere dagens løsning med ejektorer og presentere en studie av en mulig ny kompressor som skal erstatte dagens ejektorer på Ekofisk 2/4-J. Studien skal se på tekniske og økonomiske aspekter rundt kompressor og væskeutskiller. Gruppen skal vurdere plassering, prosess-tekniske hensyn, sikkerhet og type kompressor og væskeutskiller.

1.5 Oppbygning av oppgaven

Det første kapittelet er et innledende kapittel. Her presenteres bakgrunnsinformasjon, problemstilling og målsetting, som sammen danner grunnlaget for oppgaven. Kapittel 2 og 3 beskriver hvordan prosessen på Ekofisk J fungerer i dag, samt utfordringer og muligheter en modifikasjon kan føre til.

Kapittel 4 og 5 er teoretiske kapitler som gir en grundig forklaring av de viktigste aspektene ved væskeutskilling og gasskompresjon, samt beskrivelser av utstyret som benyttes til disse formålene.

I kapittel 6 beskrives dagens metode for import av gass fra Eldfisk i detalj, og i kapittel 7 kommer gruppens forslag til modifisering av denne metoden. Kapittel 7 er grunnlaget gruppen bruker i kontakt med leverandører for å komme frem til en potensiell løsning, som presenteres i kapittel 8. Den potensielle løsningen inneholder også økonomiske vurderinger, der det blir gjort et overslag over innkjøps- og installasjonskostnadene. Det presenteres også en vurdering av fremtidige inntekter etter modifisering, sammenlignet med fremtidige inntekter uten modifisering.

Diskusjon og forslag til videre arbeid i kommer i kapittel 9, og gruppens konklusjon følger i kapittel 10. Referanseliste og vedlegg kommer til slutt.

1.6 Metode

I dette forstudiet har gruppen valgt å bruke kvalitativ metode til innhenting av informasjon. Ved å benytte denne metoden, bruker en tidligere forskning og studier som grunnlag for å løse problemstillingen.

Gruppen har tatt utgangspunkt i tekniske rapporter, vitenskapelige artikler, møter med intern og ekstern veileder og visuell inspeksjon av Ekofisk J. Ved hjelp av kunnskaper fra emnene "Varme- og strømningslære", "Prosessteknikk I", "Prosessteknikk II" og "Petroleumsproduksjon" og NORSOK standard P-002 har studien evaluert nåværende og eventuelt nytt utstyr tilhørende en kompressorinstallasjon.

Simuleringsverktøyet HYSYS har blitt benyttet til å simulere modifiseringen av dagens situasjon. Resultatet av denne simuleringen har gruppen brukt som grunnlag for forespørslene gruppen har gjort til leverandører.

Basert på kommunikasjon med leverandørene Flow Solutions og Schlumberger har gruppen kommet frem til en potensiell løsning som inkluderer forslag til ny kompressor og væskeutskiller med nødvendige hjelpesystemer.

1.7 Avgrensninger og antagelser

1.7.1 Avgrensninger

- Rapporten er avgrenset til å omhandle kompresjon av gassen fra Eldfisk. Det er ikke sett på om komponenter nedstrøms kompressoren må modifiseres.
- Vedrørende plassering har gruppen avgrenset seg til å se kun på plassering av kompressor.
- Gruppen har avgrenset seg til å se på innkjøps- og installasjonskostnader knyttet til kompressor, væskeutskiller og antisurgesystem. Rør og ventiler som skal være med i systemet er ikke tatt med i økonomikapittelet.

1.7.2 Antagelser

- Økonomiberegningene som er gjort i kapittel 8.7.2 når det kommer til produksjon i fremtiden er kun antagelser basert på dagens produksjon og må ikke forveksles med ConocoPhillips og de andre lisenseierne sine offisielle tall og prognoser.
- Gruppen antar at litteratur og andre kilder som gruppen benytter seg av er pålitelige.
- Simuleringer som er gjennomført er teoretiske og kan avvike fra faktiske forhold

1.8 Ordliste og forkortelser

Ord	Forklaring
Flash/Flash Gas	Gass som er frigitt ved ekspansjon
Surge	Kompressor: Rask reversering av volumstrøm Separator: Endring i væskevolum
Antisurge	System som skal beskytte kompressoren mot surge
Scrubber	Vertikal separator til tofase separasjon av gass og kondensat
LP-system	Refererer til gassdelen av LP Separatorene og frem til LP Flash Gas kompressor
HP-system	Refererer til gassdelen av HP Separatorene på EKOM og EKOJ og frem til HP Flash Gas kompressor
Slug	Spontane bulker av væske
Koaliseringsenhet	Fjerner dråper og partikler fra gasstrømning
Diffusor	Kanal utformet for å redusere hastigheten og øke trykket i en væske- eller gass-strømning
Impeller	Løpehjul med skovler som tilfører kinetisk energi til gass
MACH1	Lydens hastighet i gass
Stonewall	Punktet når gasshastigheten i en kompressor når MACH1
Backflow	Reversering av gasstrømmen
FAR-verdi	FAR-verdi (Fatal Accident Rate) er individuell risiko uttrykt ved statistisk forventet antall personer drept i ulykker i løpet av 10^8 eksponerte timer.
Skid	Ramme for samling av utstyr som gjør det enklere å transportere utstyret
Vannkutt	Andel av vann i en brønnstrøm
Emulsjon	Blanding av to væsker som ikke er fullstendig løselig med hverandre

Forkortelse	Betydning
Sm³	Standardkubikkmeter
HP	"High Pressure" - om lag 20 barg
LP	"Low Pressure" - om lag 10 barg
CTour	"Coalescing Tour"
NGL	"Natural Gas Liquids"
M³/d	Millioner Standardkubikkmeter per døgn
O.e.	Oljeekvivalenter

1.9 Ekofisk

Ekofisk er et stort felt i den sørlige delen av Nordsjøen, beliggende omtrent 300 kilometer sør-vest for Stavanger. Området som feltet ligger i heter "Greater Ekofisk Area" og består av totalt 8 felt. Av disse er det i dag Ekofisk, Eldfisk og Embla som fremdeles produserer (ConocoPhillips, 2018).

Olje og gass har blitt produsert fra Ekofisk i over 40 år og feltet har vært et av Norges viktigste olje- og gassfelter siden Norge ble en oljeprodusent på 1970-tallet.

Reservoaret ligger 2900-3250 meter under havbunnen og er et krittreservoar med en oljekolonne som er 300 meter høy. Det har en utstrekning på 10x5 kilometer (Oljedirektoratet, 2018).



Figur 2 - Oversiktsbilde over Ekofisk Kompleks (Foto: ConocoPhillips)

Fem selskaper deler lisensen for Ekofisk. Disse er Total med eierandel på 39,9 %, ConocoPhillips med 35,1 %, Eni med 12,4 %, Statoil med 7,6 % og Petoro med 5 %.

ConocoPhillips er i dag operatør på vegne av lisenseierne.

Feltet har siden oppstarten blitt utbygd og fornyet flere ganger. Ekofisk Kompleks vises i Figur 2 og består i dag av produksjonsplattformene Ekofisk 2/4-M, -C, -X og -Z, prosessplattformen Ekofisk 2/4-J samt boligplattformen Ekofisk 2/4-L. Noen kilometer fra komplekset ligger plattformene Ekofisk Kilo og Bravo som er henholdsvis vanninjeksjon og produksjonsplattform.

1.10 Eldfisk

Eldfisk er et olje- og gassfelt som ligger cirka 16 kilometer sør for Ekofisk. Det er det nest største feltet i området "Greater Ekofisk Area". Feltet ble funnet i 1970 og startet produksjon i 1979. Feltet produserer fra et reservoar bestående av krittbergarter på 2700 til 2900 meter dybde. (ConocoPhillips, 2018).

Feltet ble opprinnelig bygget ut med tre plattformer. Disse var Eldfisk 2/7-A, Eldfisk 2/7-B og Eldfisk 2/7-FTP. Eldfisk 2/7-A og 2/7-B er produksjons- og prosessplattformer, mens Eldfisk 2/7-FTP er en prosessplattform.

I dag består Eldfisk av plattformene Eldfisk 2/7-S, heretter kalt Eldfisk S, Eldfisk 2/7-B, heretter kalt Eldfisk B, Eldfisk 2/7-E og Eldfisk 2/7 FTP.

Eldfisk B står alene, mens de andre er koblet sammen med bruer, som Figur 3 viser.



Figur 3 - Oversiktsbilde over Eldfisk (Foto: ConocoPhillips)

2 Ekofisk J

Ekofisk J, vist i Figur 4, er en prosessplattform med prosess-, transport- og hjelpesystemer. Den ble satt i drift i 1998 (ConocoPhillips, 2018). Plattformen behandler brønnstrøm fra Ekofisk, samt gassen fra Eldfisk og Embla.

Plattformen har foruten systemer for behandling og prosessering av brønnstrøm, alle hjelpesystemer som er nødvendige for drift av Ekofisk Kompleks. Dette innbefatter blant annet strømproduksjon, sjøvann, trykkluft, kjemikalieinjeksjon og dreneringssystemer.

Olje fra Eldfisk, Embla, Valhall, Ula og Gyda blir også transportert videre via Ekofisk J, men blir ikke prosessert der.

Oljen pumpes videre fra Ekofisk J til Teesside i England gjennom en 354 kilometer lang rørledning. Gassen komprimeres og går inn på den 440 kilometer lange rørledningen til Emden som er en del av transportnettets til Gassled for gassleveranse til Europa (ConocoPhillips, 2018).



Figur 4 - Ekofisk J (Foto: ConocoPhillips)

Anlegget om bord på plattformen er designet til å behandle 350 000 fat olje per døgn, 21,2 mill. kubikkmeter gass og 150 000 fat produsert vann (ConocoPhillips, 2018).

2.1 Oljebehandling

Brønnstrømmen blir behandlet i to hovedseparatorer, HP Separator og LP Separator. Høytrykksbrønner går til HP Separator, mens lavtrykksbrønner går til LP Separator. Separatorene er trefase horisontale separatorer prinsipielt bygget opp på samme måte, der formålet er å skille gass, vann og olje fra hverandre (ConocoPhillips, 2018).

Trykket på HP Separator ligger rundt 20 barg. Her kommer brønnstrømmen fra høytrykksbrønner på Ekofisk X og Ekofisk C inn og blir separert. Gassen går opp i toppen av separatoren og ledes videre til kompresjon i HP Flash Gas kompressorer. Vannet ledes videre til vannbehandlingsanlegget som omtales videre i kapittel 2.2.

Oljen fra HP Separator går videre til LP Flash Separator. LP Flash Separator er en tofase separator hvor en har en ytterligere separasjon av gass fra oljen ved et lavere trykk. Her kommer også olje fra HP Separator på Ekofisk M inn.

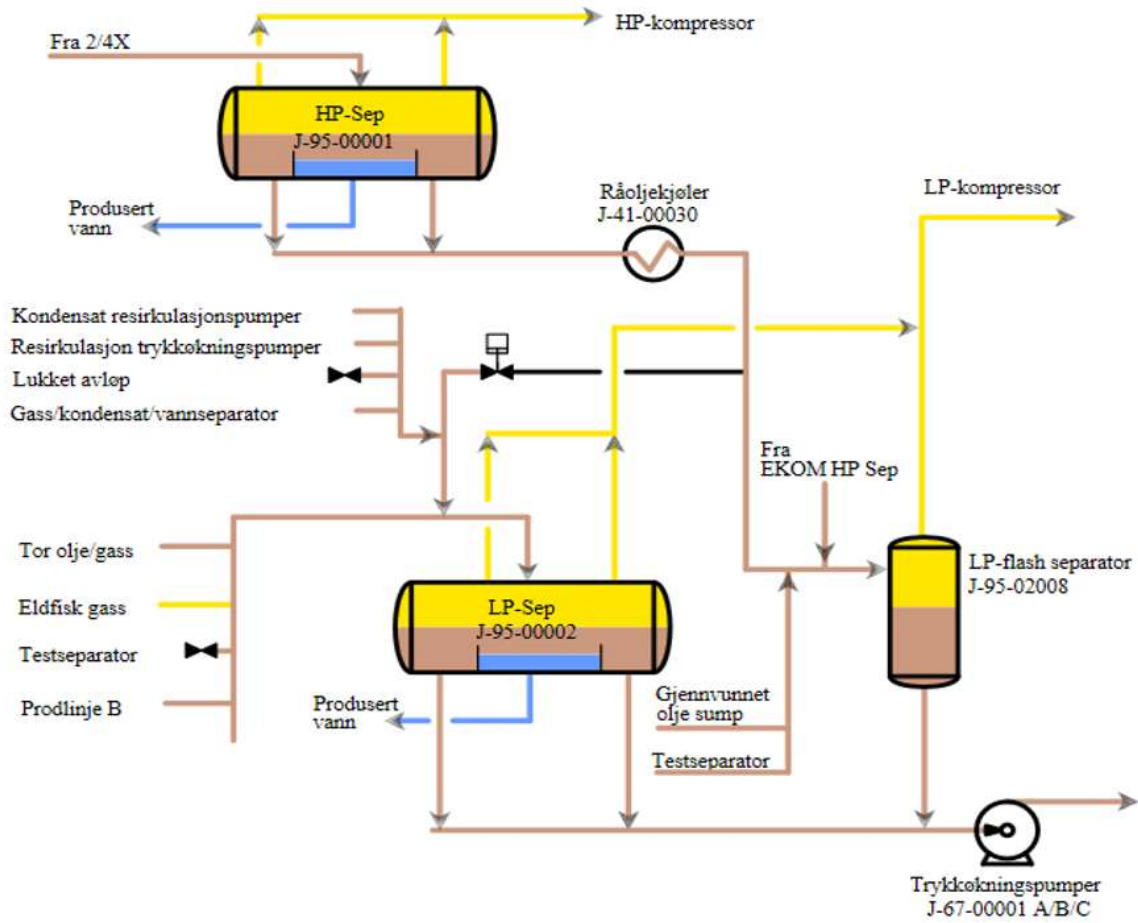
Oljen fra LP Flash Separator går videre til trykkøkningpumper for olje (ConocoPhillips, 2018).

Brønnstrømmene fra lavtrykksbrønner på Ekofisk X og Ekofisk M blir ledet til LP Separator. Trykket her er 10 barg. Gassen går opp i toppen og ledes videre til kompresjon i LP Flash Gas kompressorer. Vannet ledes videre til vannbehandlingsanlegget som omtales videre i kapittel 2.2.

Oljen fra LP Separator ledes sammen med oljen fra LP Flash Separator til trykkøkningpumper for olje. I Figur 5 vises en oversikt over separatorene og trykkøkningpumpene i oljebehandlingsanlegget.

Trykket i LP Separator og LP Flash Separator styres av pådraget til LP Flash Gas kompressorer. I HP Separator styres trykket av pådraget til HP Flash Gas kompressorer.

Etter trykkøkningpumpene går oljen videre til fiskal målestasjon for olje. Ut ifra fiskal målestasjon går oljen til eksportpumper for olje. Her kommer også olje fra feltene Eldfisk, Valhall, Ula og Gyda inn. Eksportpumpene består av tre pumper som er koblet i parallell der det normalt er to pumper som går.

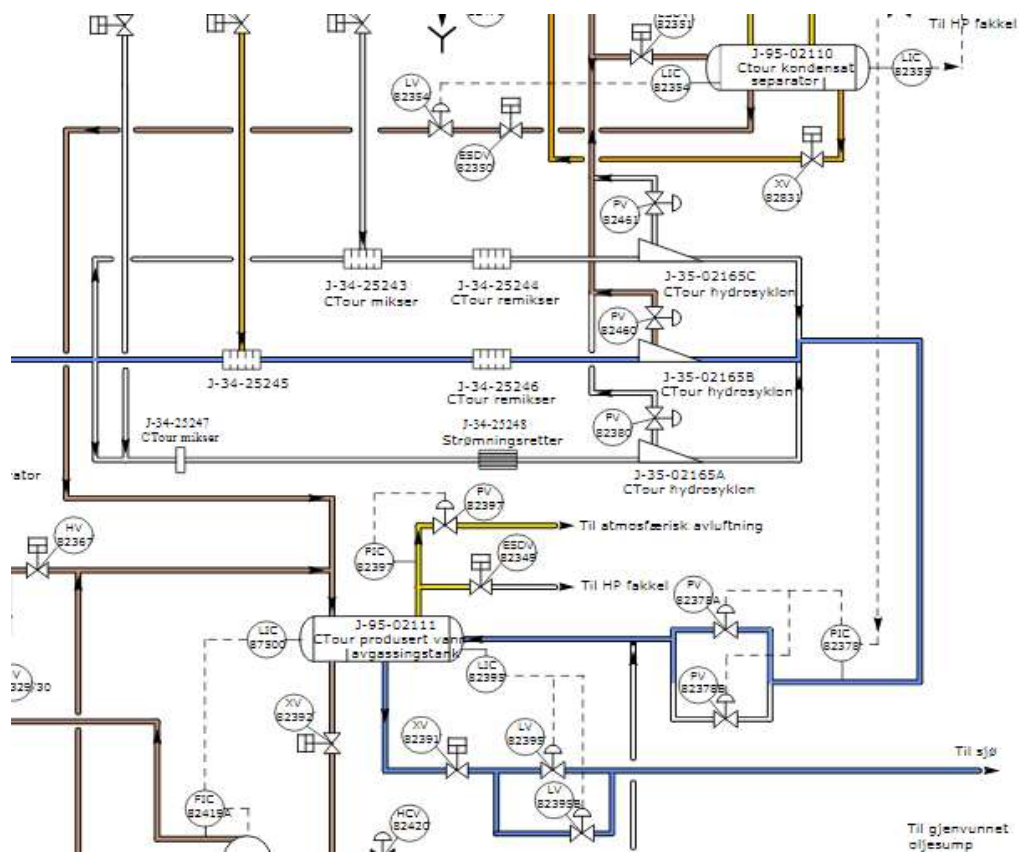


Figur 5 - Separatorene og trykkøkningpumper (ConocoPhillips, 2018)

2.2 Vannbehandling

En stor utfordring med produksjon av olje og gass fra Ekofisk er å behandle det produserte vannet som kommer opp sammen med oljen og gassen. Etter hvert som reservoaret har blitt eldre, har også mengden av produsert vann økt. I 2018 renses det omtrent 1100 m³/h produsert vann ved Ekofisk J (ConocoPhillips, 2018). I tillegg kommer vannbehandlingsanlegget ved Ekofisk M som behandler vann fra HP Separator på Ekofisk M.

Produsert vann blir rensed i vannbehandlingsanlegget CTour. Prinsippet for CTour er at NGL blandes inn i det produserte vannet. NGL hefter seg til oljedråpene i vannet og gjør dem større. De forstørrede oljedråpene blir så skilt ut i hydrosykloner. Det rensede vannet går til sjø, mens oljen og NGL ledes til oljeeksport. Figur 6 viser en oversikt av CTour vannbehandlingsanlegg. De hvite linjene viser oljeholdig vann som skal renses. Gule linjer er NGL som går inn til mikser. Blå linjer viser rensed vann som går ut av hydrosykloner og via avgassingstank og til sjø.



Figur 6 - CTour vannbehandlingsanlegg (ConocoPhillips, 2018)

2.3 Gassbehandling

2.3.1 Gasskompresjon

Gass fra LP Separator og LP Flash Separator ledes til to lavtrykkskompressorer, LP Flash Gas kompressor A og B. Dette er to 8-stegs sentrifugalkompressorer drevet av hver sin LM2500 DLE gassturbin (ConocoPhillips, 2018).

Før gassen kommer inn til kompressorene blir den kjølt ned i en mantel- og rørkjøler der sjøvann brukes som kjølemiddel. Fra kjøleren går den våte nedkjølte gassen inn til en væskeutskiller, LP Flash Gas Scrubber. Her skilles væske ut av gassen. Dette gjøres for at væsken ikke skal skade kompressoren.

I lavtrykkskompressorene blir trykket på gassen økt til 20 barg og gassen går videre til høytrykkskompressorene.

Gass fra HP Separator går inn til høytrykkskompressorene, HP Flash Gas kompressor A og B. Disse er montert på samme aksling som LP Flash kompressorene. Her kommer også gass fra LP Flash Gas kompressorer og gass fra HP Separator på Ekofisk M inn.

Høy- og lavtrykkskompressorene, LP/HP Flash Gas kompressor A og B er to deler av samme kompressorenhet. Kompressorenheten er av type 2BCL 608, levert av Nuovo Pignone (ConocoPhillips, 2018).

En viktig del av systemet for gasskompresjon, er ejektorene. Disse blir nærmere omtalt i kapittel 6.

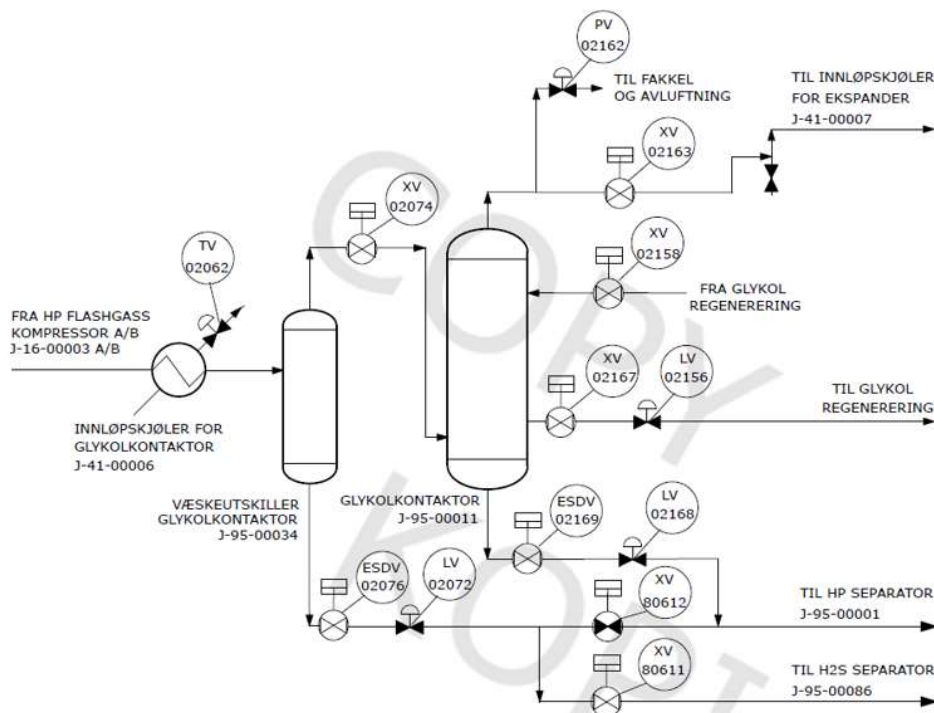
2.3.2 Gasstørking

Gassen som kommer fra høytrykkskompressorene inneholder en del vann. Dette vannet må fjernes for å unngå problemer med hydrater i anlegget og for å møte spesifikasjonene til gassmottakeren. Gasstørkingen gjøres ved bruk av en glykolkontaktor (ConocoPhillips, 2018).

Glykolkontaktoren er et høyt absorberingstårn hvor gassen strømmer motstrøms med glykol. Glykol tilføres kontinuerlig på toppen av kontaktoren, og fordeler seg nedover gjennom en seksjon med strukturert pakking som sørger for høy kontaktflate. Glykolen som har tatt opp vann føres til et regenereringsanlegg der vann og kondensat fjernes fra glykolen slik at den kan brukes om igjen (ConocoPhillips, 2018).

Tørket gass forlater kontaktoren i toppen og strømmer videre mot duggpunktbehandling.

Figur 7 viser en oversikt over anlegg for gasstørking.



Figur 7 - Gasstørking med glykolkontaktor (ConocoPhillips, 2018)

2.3.3 Duggpunktbehandling

Duggpunktbehandling gjøres for skille ut tyngre komponenter i gassen for å møte spesifikasjonene for hydrokarbonduggpunkt i gassrørledningen. De tyngre komponentene, for det meste propan, butan og noe etan, går med oljen til Teesside, mens gassen går videre og eksporteres til Emden (ConocoPhillips, 2018).

Gassen som kommer fra glykolkontaktoren går først gjennom en kjøler, Turboekspander innløpskjøler. Her kjøles gassen ned av gass og kondensat med lavere temperatur fra NGL Stabilisator og Turboekspander væskeutskiller, før gassen går inn til væskeutskiller for turboekspander. Her skilles tyngre komponenter ut av gassen for å sikre at det ikke kommer væske inn til impellerne for turboekspanderne. De tyngre komponentene går videre til NGL Stabilisator (ConocoPhillips, 2018).

Gassen går så til to turboekspandere som opererer i parallell. Turboekspanderne har to oppgaver. De kjøler ned gassen slik at den går over i væskefase, samtidig som de overfører energi til rekompessorene som sitter på samme aksling. Gassen ekspanderer i en tilnærmet isentropisk prosess der energien tas ut av gassen og overføres til mekanisk energi som driver rekompessorene (Simms, 2009). Temperaturen nedstrøms turboekspanderne ligger på -20°C .

Gass/væske-blandingen går videre til toppseksjonen av NGL Stabilisator. Her går gass opp i toppen, mens væsken renner ned i en pakket seksjon for destillasjon. I den pakkede seksjonen kommer også væske fra væskeutskilleren for turboekspander inn. Gassen beveger seg her oppover, mens kondensatet renner ned mot NGL-kokeren. I NGL-kokeren kokes gassen av kondensatet og beveger seg oppover stabilisatoren igjen. Den nå rene NGL-en går ned i bunnen av stabilisatoren og blir eksportert sammen med oljen.

Gassen som går ut i toppen av NGL Stabilisator blir ledet til rekompessorene. Der går energien som tas ut i turboekspanderne med til å øke trykket på gassen med omtrent 5 barg, før den går videre til eksportkompressorene, Pipeline kompressor A og B (ConocoPhillips, 2018).

2.3.4 Kompresjon for eksport og løftegass

Gass med trykk rundt 40 barg kommer fra rekompresordelen av turboekspanderne og går inn til eksportkompressorene. Typisk leveringstrykk ut av kompressorene er rundt 115 barg.

Etter eksportkompressorene deler gassen seg i tre linjer. Rundt 4 MSm³/d blir eksportert ut til Norpipe Gas, mens rundt 0,7 MSm³/d brukes som brenngass til turbinene og andre forbrukere. Mesteparten av gassen, rundt 8 MSm³/d, går til løftegass (ConocoPhillips, 2018).

Løftegasssystemet består av to kompressorer, Gas Lift kompressor A og B. Opprinnelig var det kun en kompressor, men i 2016 ble det installert en ekstra kompressor for å øke kapasiteten på systemet. Hensikten til systemet er å levere gass til brønnene for å øke produksjonen.

Løftegasskompressor A er en 4-steps sentrifugalkompressor av type BCL 304/A levert av Nuovo Pignone. Den er drevet av en turtallsregulert elektromotor som kan yte opp mot 4,8 MW og kan levere opp mot 8 MSm³/d (ConocoPhillips, 2018).

Løftegasskompressor B er en 4-steps sentrifugalkompressor av type BCL 245/A levert av Nuovo Pignone. Den drives av en elektromotor med fast turtall og kan levere opp mot 3 MSm³/d. Totalt kan løftegasskompressorene levere opp mot 11 MSm³/d gass (ConocoPhillips, 2018).

3 utfordringer og muligheter

I scenarioet gruppen har sett nærmere på, hvor man får mer gass tilgjengelig til løftegass, samtidig som at man får en kompressor til å komprimere gassen fra Eldfisk, er det flere muligheter og utfordringer. LP-systemet på Ekofisk J er per dags dato overbelastet og det er også grunnen til at noe av gassen fra Eldfisk i dag flyttes direkte opp til HP-system ved hjelp av ejektorene. Ved å kunne bruke mer gass som løftegass, samtidig som en får bedre kapasitet på LP, åpner det seg flere muligheter.

3.1 fleksibilitet

Brønner på Ekofisk går enten mot HP Separator (20 barg) eller LP Separator (10 barg). Hvilke brønner som går til hver av systemene bestemmes generelt sett ut ifra brønntrykket i den aktuelle brønnen. Brønner med lavt brønntrykk produserer som oftest bedre mot LP Separator enn mot HP Separator. Brønner med høyere brønntrykk kan klare seg bra mot HP Separator. Fordelen med å produsere brønner direkte mot HP Separator er at en slipper å måtte komprimere gassen fra 10 til 20 barg, da de produserer direkte fra brønn til 20 barg.

For brønnene og produksjonen sin del hadde det mest optimale vært å kunne flytte brønner fritt mellom HP- og LP Separator. I praksis lar ikke dette seg gjøre på grunn av flere faktorer:

- På LP-trinnet på Ekofisk J er det begrenset med kapasitet på kompressorene, LP Flash Gas kompressorer. Disse kjører i dag stort sett på maks av det de klarer å levere.
- Ved for høy strømming inn til en separator vil en kunne få problemer med å separere brønnstrømmen. Horisontale separatorene kan også få problemer med å dra væske med seg i gassfasen ved for høy belastning (ABB, 2004).
- Brønnene har stor forskjell i vannmengde. Det er mest gunstig at vannmengden er mest mulig likt fordelt mellom LP- og HP Separator.

Ved å ha en egen LP kompressor kun dedikert til gass fra Eldfisk vil en kunne frigjøre opp imot 500 000 Sm³/d på LP-systemet. Dette er beregnet ut ifra at man i dag tar imot omtrent 1,5 MSm³/d gass fra Eldfisk. Omtrent 1 MSm³/d gass blir tatt opp til HP-systemet ved bruk av ejektorene. Resten av gassen, 500 000 Sm³/d, går til LP-systemet og opptar dermed kapasitet der.

I følge Production Delivery Center (PDC) i ConocoPhillips vil en ved å få bedre kapasitet på LP-systemet kunne tjene omtrent $67 \text{ m}^3/\text{d}$ olje per $1 \text{ MSm}^3/\text{d}$ med gass. Det vil i dette scenarioet utgjøre omtrent $33 \text{ Sm}^3/\text{d}$ olje ved å flytte $0,5 \text{ MSm}^3/\text{d}$ gass over fra LP-system til HP-system. Dette tallet vil ifølge PDC falle etter hvert som man får et høyere vannkutt på brønnene, men etterhvert som brønner som i dag er nye blir eldre, vil tallet igjen stige da det er flere brønner som får behov for å bli flyttet fra HP-system til LP-system.

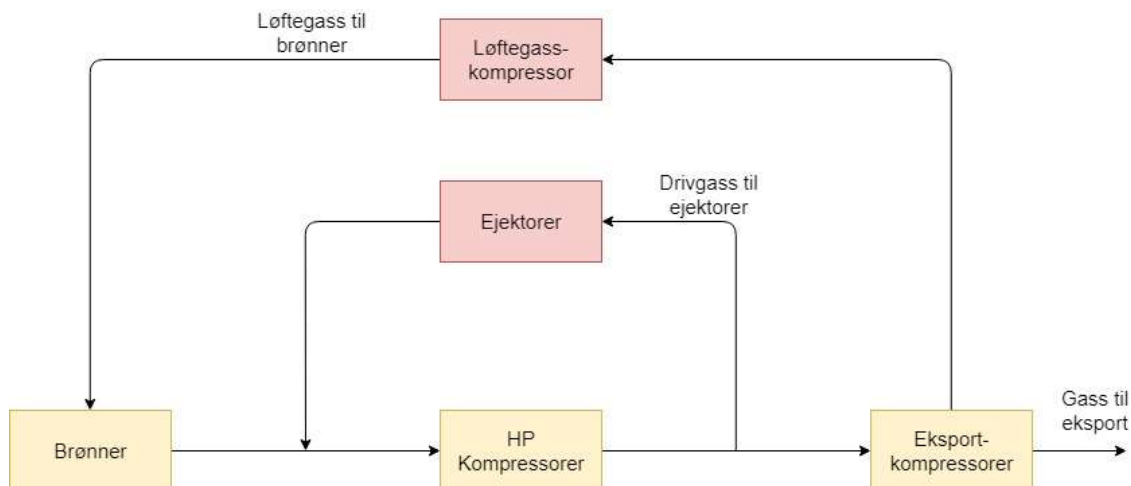
3.2 Løftegass

I dag går det omtrent $8 \text{ MSm}^3/\text{d}$ gassløft til brønner på Ekofisk M, X, C, Z og B (ConocoPhillips, 2018). Denne gassen blir, som beskrevet i kapittel 2.3.4, tatt ut nedstrøms eksportkompressorene, trykket opp til 150 barg og sendt til de forskjellige brønnene. Gassløftinjeksjonen på Ekofisk er et såkalt "Rotational Gaslift"-system. Det vil si at gassen som produseres blir resirkulert og går tilbake til brønnene som i et lukket system (Hyne, 2014). Noe av gassen blir eksportert, men over to tredjedeler av gassen inngår i denne resirkuleringen.

En slik kontinuerlig resirkulering av gassen krever at det er nok kapasitet i gassbehandlingssystemet til å håndtere denne gassen. I dag blir en stor del av kapasiteten på HP kompressorene bundet opp av å resirkulere gass som går som drivgass til ejektorene. Her får man en lik resirkulering av gassen som med gassløft som binder opp en del kapasitet.

Hvis man fjerner denne kontinuerlige resirkuleringen av gass på HP-trinnet vil man frigjøre omtrent $3 \text{ MSm}^3/\text{d}$. Dette tallet er tatt ut fra at man i dag bruker tre ganger så mye gass til drivgass på ejektoren i forhold til det man løfter opp av gass fra Eldfisk.

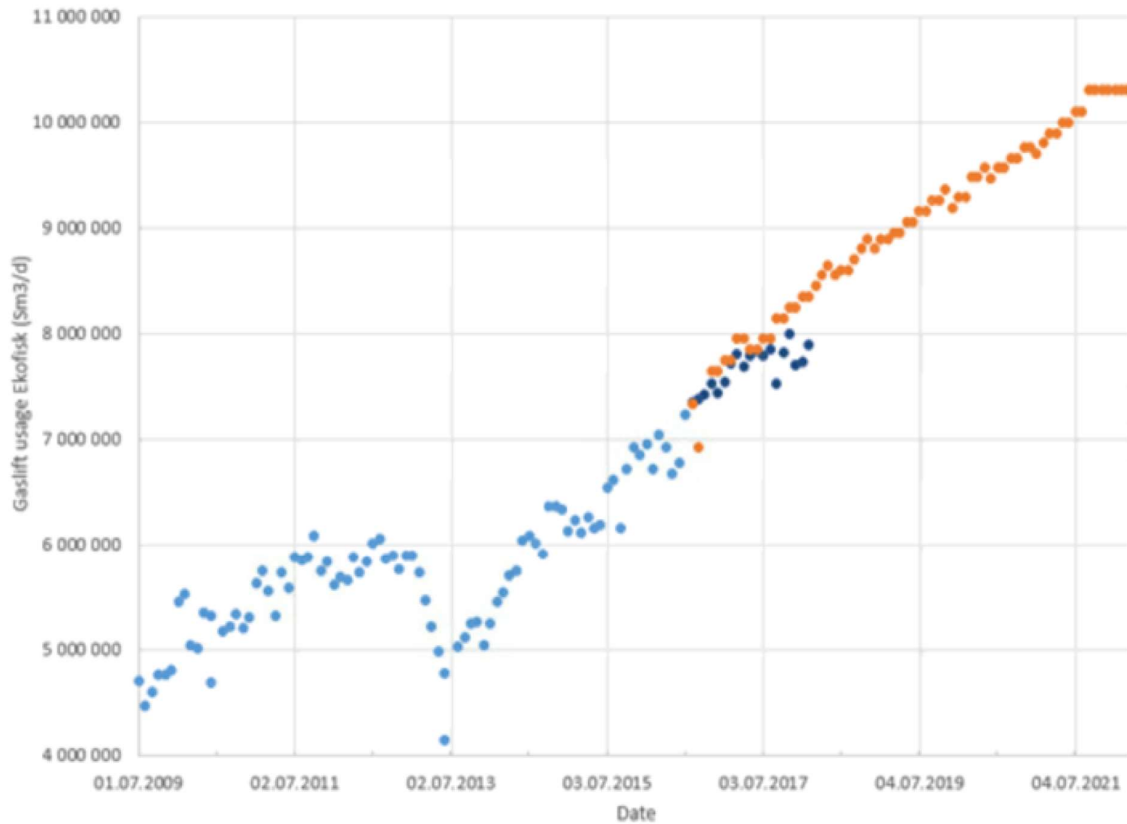
Figur 8 viser hvordan en har en dobbel resirkulering av gass med dagens ejektorløsning. I følge PDC vil behovet for gassløft stige i fremtiden. Dette kommer primært som følge av at brønner blir eldre og at vannkuttet øker.



Figur 8 - Prinsipp for resirkulering av løftegass og HP gass (Laget av gruppen)

Flere av de nyeste brønnene på Ekofisk Z går i dag ikke på gassløft, men vil ha behov for det i fremtiden. Samtidig er det et prosjekt på gang for å øke gassløftmengden til Ekofisk B. Ekofisk B produserer i dag en trefasestrømning inn til HP Separator på Ekofisk M. Det er problemer med slugging i denne linjen. Dette prosjektet går på å se om økt gassløft til brønnene på Ekofisk B kan motvirke sluggingen i linjen inn mot Ekofisk M.

Figur 9 viser et anslag på gassløftmengden de neste årene på Ekofisk. Den viser at gassløftmengden skal opp til over 10 MSm³/d i de nærmeste årene, noen som tilsvarer rundt 20% økning i forhold til dagens tall. For at dette skal nås, er det behov for mer kapasitet i gassbehandlingen.



- GL-rate Historic
- GL-rate actual since projection date (August 2016)
- GL-rate projection (from August 2016) incl. EkoX redrill

Figur 9 - Anslag for gassløftmengde på Ekofisk (ConocoPhillips, 2018)

3.3 Ta inn nye felt

Ved å fjerne potensielle flaskehalsar i gasstoget vil en samtidig legge til rette for å ta inn nye felt i fremtiden. ConocoPhillips ser blant annet på mulighetene for å utvikle Tor-feltet i prosjektet Tor II (Petro.no, 2017). Den gamle Tor-plattformen ble stengt ned i 2016 og har ikke vært i produksjon siden.

Med Tor II ser en for seg enten en ubemannet brønnhodeplattform eller et undervannssystem med brønner. Uavhengig av hvilken løsning de går for, må produksjonen kobles opp mot Ekofisk 2/4-J på en eller annen måte. Ved å ha en kompressor til Eldfisk-gassen som frigjør kapasitet på HP-trinnet, vil det være naturlig å ta Tor II inn på HP-trinnet.

Et annet felt som ligger i området er kondensat- og gassfeltet Tommeliten Alpha. Dette feltet har vært vurdert utbygd flere ganger, og med høy og stabil oljepris kan det igjen bli aktuelt å bygge ut dette feltet (Byberg, 2017). Dette er et felt med 150 mill. fat oljeekvivalenter hvorav det meste er gass.

4 Separasjon av væske og gass

Ved produksjon av olje og gass er det flere forskjellige behov for separatorene. Brønnstrøm som består av olje, gass og vann samt uønskede elementer som salt, sand og sedimenter må separeres før de ulike bestanddelene kan behandles videre. Det er også behov for separatorene for å skille ut væske før kompressorer og annet utstyr for å beskytte utstyret.

Separatorene kan deles inn i disse grunnleggende typene: vertikale-, horisontale- og sfæriske separatorene (Kumar, 1987).

Horisontale separatorene blir anvendt der det er relativt store gasshastigheter og væske/gassforholdet er høyt. Ulempen med horisontale separatorene er at væsknivået ikke kan ha stor variasjon, og at surgeområdet er begrenset (Kumar, 1987). Ved Ekofisk J er dette løst med å øke dimensjonen til separatorene. Når dimensjonen økes vil dette gjøre separatorene mer kompatibel til håndtering av slug.¹

Sfæriske separatorene blir brukt når det er lavt til middels gass/væske-forhold. Problemet med sfæriske separatorene er at de er dårlige til å håndtere trefase separasjon. Sfæriske separatorene har også det samme problemet som horisontale separatorene med at væsknivået må være relativt begrenset, og de har et veldig avgrenset surgeområde (Kumar, 1987).

Bruksområdet til vertikale separatorene er der gass/væske-forholdet er høyt. Fordelen med vertikale separatorene er at de kan håndtere stor væske-slug uten at væske går ut i gassuttaket. Dette gir da bedre surgekontroll (Kumar, 1987).

Ved Ekofisk J brukes kun vertikale separatorene til tofase separasjon av gass og kondensat. Av den grunn går det nærmere inn på denne typen i påfølgende avsnitt.

Bruksområdet for en tofase separator kan være i en strømning der (Austrheim, 2006):

- Mekanisk utstyr som kompressor kan bli skadet, ødelagt eller miste effekt som følge av væske som flyter fritt
- Kondens kan oppstå som følge av kjølere

¹ Informasjon fra Clive Wilson i ConocoPhillips 16.04.18.

- Vannfjerningsutstyr kan miste effekt, bli skadet eller ødelagt av væske med hydrokarboner
- Gassen går ut i en fakkell

4.1 Separasjonsteori

For å få en forståelse av hvordan en tofase separator er bygd opp, må en først se på hvordan en gasstrømning med væskedråper i oppfører seg. Her anvendes formler hentet fra "Petroleumproduksjon og prosessering på plattformen" (Asheim, 1985). Hensikten er at gassen skal stige opp, og væskedråpene synke ned i separatoren. De to viktigste parameterne her er synkehastigheten til væskedråpene og stigehastigheten til gassen. Reelt sett er ikke store dråper kuleformet, men siden dråpene i en gasstrømning er vesentlig små, går en ut fra at dråpene er kuleformet og at de oppfører seg som faste partikler. Det antas også at synkehastigheten er konstant på grunn av liten endring i hastigheten. I Figur 10 ser en hvordan de forskjellige kreftene påvirker en dråpe. Formlene for hver kraft er:

Friksjonskraften på dråpen:

$$F_f = \frac{1}{2} * f_D * A_D * \rho_G * v_D^2 \quad (4.1)$$

Oppdriftskraft:

$$F_v = V_D * \rho_G * g \quad (4.2)$$

Gravitasjonskraft:

$$F_g = V_D * \rho_L * g \quad (4.3)$$

f_D	=	Dråpefriksjonsfaktor
A_D	=	Arealet til dråpen [m ²]
ρ_G	=	Tetthet til gassen [kg/m ³]
ρ_L	=	Tetthet til væsken [kg/m ³]
v_D	=	Dråpehastigheten [m/s]
g	=	Tyngdeakselerasjon [m/s ²]

V_D = Volumet til dråpen [m³]

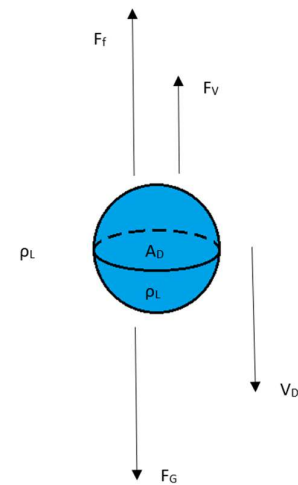
D_D = Dråpens diameter [m]

Siden det antas å være konstant synkehastighet kan en sette opp kraftbalansen og kan ut i fra dette finne synkehastigheten til dråpen:

$$F_f = F_g - F_v \quad (4.4)$$

$$\frac{1}{2} * f_D * \frac{\pi}{4} * D_d^2 * \rho_g * v_d^2 = \frac{\pi}{6} * D_d^3 * (\rho_L - \rho_g) * g \quad (4.5)$$

$$v_D = \left(\frac{4}{3} * \frac{g * D_d}{f_D} \right)^{0,5} * \left(\frac{\rho_L - \rho_G}{\rho_G} \right)^{0,5} \quad (4.6)$$



Figur 10 – Krefter som virker på en dråpe. (Laget av gruppen)

Ved ideelle forhold kan en nytte formel for separasjonskonstanten, k_s :

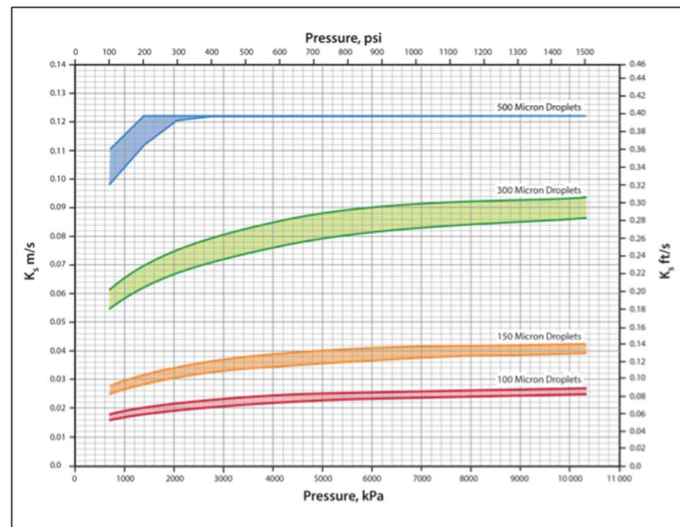
$$k_s = \left(\frac{4}{3} * \frac{g * D_d}{f_d} \right)^{0,5} \quad (4.7)$$

Kombinerer man ligningene 4.6 og 4.7 blir det nye uttrykket for synkehastigheten, v_D :

$$v_D = k_s * \left(\frac{\rho_L - \rho_G}{\rho_G} \right)^{0,5} \quad (4.8)$$

Figur 11 viser forholdet mellom separasjonskonstanten, k_s , for forskjellige dråpestørrelser, og operasjonstrykket i separatoren.

For å finne separasjonskonstanten må en kjenne til trykket i separatoren og største tillatte dråpediameter, og deretter lese av verdien på den vertikale akse. I vanlige vertikale separatorer med tofase gass/væske utskilling ønskes det at diameteren på dråpestørrelsen ikke overstiger 500 mikron (Manning & Thompson, 1991).



Figur 11 – Separasjonskonstant ved forskjellige trykk. (Campbell J. M., 2015)

I ligning (4.6) er det vist at jo mindre diameter det er på dråpen som synker, jo lavere hastighet synker den med. Den minste dråpen som kan skilles ut i en vertikal separator har lik hastighet som gassen stiger med. Gasshastigheten er uttrykt ved:

$$v_G = \frac{\dot{m}_G}{A_G} * \frac{1}{\rho_G} = \frac{Q_G^{stc}}{A_G} * \left(\frac{P^{stc}}{P}\right) * \left(\frac{T}{T^{stc}}\right) * Z \quad (4.9)$$

- \dot{m}_G = massestrømmen til gassen [kg/s]
- A_G = Separatorens gassfylte tverrsnittsareal [m²]
- Q^{sc} = Separatorens gasskapasitet uttrykt ved standard betingelser [m³/s]
- P = Trykket på gassen i separator [Pa]
- P^{sc} = Trykk ved standard betingelser [Pa]
- T = Temperaturen på gassen i separator [K]
- T^{sc} = Temperatur ved standard betingelser [K]
- Z = Kompressibilitetsfaktor

Når en skal dimensjonere en vertikal separator kan en ta utgangspunkt i uttrykket for en dråpes synkehastighet. Den maksimale synkehastigheten som dråpene oppnår må være like stor som den maksimale hastigheten gassen stiger opp med i separatoren. v_G vil da være like stor som v_D . Da kan en kombinere ligning (4.5) og (4.6) for å finne gasskapasiteten til separatoren:

$$v_G = v_D \quad (4.10)$$

$$\frac{Q_G^{stc}}{A_G} * \left(\frac{P^{stc}}{P}\right) * \left(\frac{T}{T^{stc}}\right) * Z = k_S * \left(\frac{\rho_L - \rho_G}{\rho_G}\right)^{0,5} \quad (4.11)$$

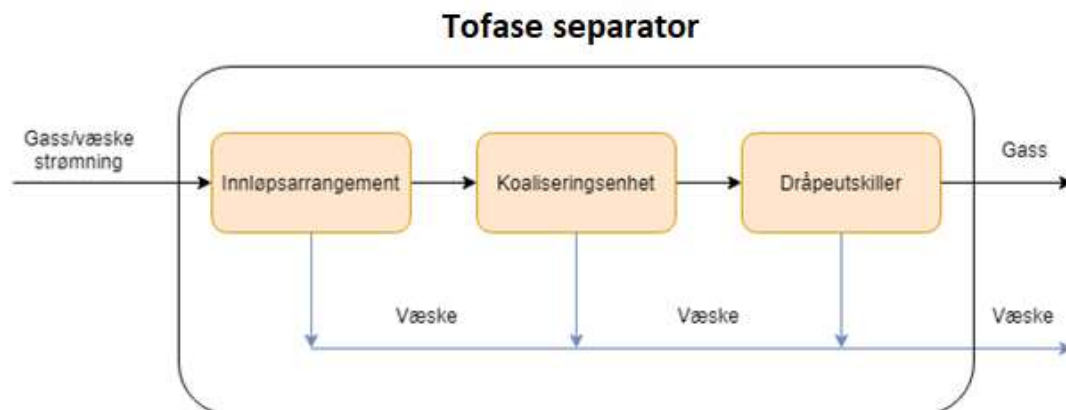
$$Q_G^{stc} = k_S * A_G * \left(\frac{P}{P^{stc}}\right) * \left(\frac{T^{stc}}{T}\right) * \frac{1}{Z} * \left(\frac{\rho_L - \rho_G}{\rho_G}\right)^{0,5} \quad (4.12)$$

Ved hjelp av dette uttrykket kan en finne tverrsnittsarealet til separatoren, og deretter dimensjonere minimum diameter for separatoren:

$$D = \sqrt{\left(\frac{4 * Q_G^{stc} * P^{stc} * T * Z}{\pi * k_S * \left(\frac{\rho_L - \rho_G}{\rho_G}\right)^{0,5} * P * T^{stc}}\right)} \quad (4.13)$$

4.2 Generell oppbygging av en tofase separator

I dette kapitlet vil en gå inn i virkemåten til hovedkomponentene i en tofase separator. Figur 12 viser et flytskjema over hvordan væske blir skilt fra gassen i de forskjellige komponentene.



Figur 12 - Flytskjema av væskeutskilling i en tofase separator. (Laget av gruppen)

4.2.1 Innløpsarrangement

Hovedfunksjonen til innløpsarrangementet er å øke ytelsen til separatoren. Når strømmingen går inn i en separator må en begrense det dynamiske trykket. Dette gjør at strømmingen ikke kommer inn i separatoren med en for høy skjærkraft. Dersom strømmingen har for høy skjærkraft kan det føre til at dråpene vil dele seg, noe som er ugunstig ettersom mindre dråper er vanskeligere å skille ut. I Tabell 1 hentet fra NORSOK P-002 ser en egenskapene til de forskjellige innløpsarrangementene.

Tabell 1 - Egenskaper ved forskjellige innløpsarrangementer (Kilde: NORSOK)

Typical inlet device performance:

Ability to	TYPE OF INLET DEVICE				
	None	Inlet Vane	Cyclone	Half pipe	Baffle
Momentum reduction	Poor	Good	Good	Good	Good
Bulk separation	Good	Good	Good	Average	Poor
Prevent re-entrainment	Good	Good	Average	Average	Average
Prevent liquid shatter	Good	Good	Good	Average	Poor
Low differential pressure	Good	Good	Average	Good	Good
Not create foam	Poor	Average	Good	Poor	Poor
Ensure good gas distribution	Poor	Good	Average /poor	Poor	Poor

Det er to hovedtyper innløpsarrangement som benyttes på en vertikal separator:

4.2.1.1 Sentrifugal avlederstuss

Sentrifugal avlederstuss bruker sentrifugale krefter til å skille gass og væske. Dette fører til at strømmingen som kommer inn i separatoren vil strømme rundt. Da vil dråpene som kommer med inn i strømmingen holdes sammen og en unngår at dråpene deler seg opp i mindre dråper. Ulempen med dette innløpsarrangementet er at det er veldig avhengig av høy og stabil strømningsrate (Stewart & Arnold, 2008).

4.2.1.2 Ledepate

Med ledeplater, også kalt *Inlet Vane*, går strømmingen inn i separatoren gjennom skovleformede fordelingslameller som blir kalt ledeplater. Disse ledeplatene skal redusere hastigheten på strømmingen, skille ut de største væskedråpene og fordele strømmingen ut over hele separatorens tverrsnittareal (Stewart & Arnold, 2008). Figur 13 viser en type ledeplate som brukes i en separator.



Figur 13 – Ledepate (Koch-Glitsch, 2018)

4.2.2 Koaliseringsenhet

Etter innløpet er det vanlig at separatoren er utstyrt med en koaliseringsenhet. Den er designet for å fjerne væskedråper og partikler fra gasstrømmingen. Alle typer koaliseringsenheter er basert på prinsippet om å finne balansen mellom gravitasjonskrefter og dragkrefter. Dette oppnås ved å overkomme dragkreftene ved hjelp av å redusere gasshastigheten, tilføre ytterligere krefter og øke gravitasjonskreftene på væskedråpene ved å øke diameteren til dråpene. Viktige faktorer for valg av koaliseringsenhet er følgende:

- Størrelsen på dråpene som skal skilles ut
- Toleranse for største trykkfall som kan forekomme
- Væskehåndteringsevnen til separatoren
- Om koaliseringsenheten skal installeres på innsiden eller utsiden av eksisterende utstyr
- Om materialet som blir brukt til koalisering kan brukes med det eksisterende materialet som er montert

På en gass-/væskestrømning vil det være normalt å benytte en *wire mesh pad* som koaliseringseenhet. Dette kan begrunnes med at den er effektiv mot små dråper og skaper lite trykkfall. Denne enheten består av flere lag med flettede tråder. Når gasstrømningen går gjennom de forskjellige lagene med tråder vil væskedråpene blande seg med andre væskedråper slik at diameteren på dråpene vil øke. Til slutt vil væskedråpene ha så stor gravitasjonskraft at den overgår både oppdriftskraften og friksjonskraften som virker i motsatt retning. Dette fører til at dråpene vil synke i separatoren, mens gassen fortsetter å stige. Dersom en har god fartsregulering i separatoren kan en skille ut væskedråper fra gassen helt ned i 3-5 mikrometer med en virkningsgrad opp til 97 % (Stewart & Arnold, 2008).

4.2.3 Dråpeutskiller

Dråpeutskilleren er normalt plassert i toppen av separatoren. Den er vanligvis utstyrt med en rekke sykkloner. Hver enkelt syklon er utstyrt med et rør med skovler i. Når den fuktige gassen treffer skovlene, skapes det en rotasjon som gir høye g-krefter slik at det effektivt fjerner små dråper fra gassen. De sentrifugale kreftene som oppstår kaster væsken mot rørveggen og ned mot dreneringssamlerøret. Dreneringen fra hver enkelt boks er koblet til et rør som samler opp væske og sender væsken til bunnen av separatoren. Avhengig av gassmengde, gassens fuktighet og diameteren til separatoren vil antall sykkloner, samlerør og nedløpsrør variere (Stewart & Arnold, 2008).

5 Gasskompresjon

Kompressorer for gass er en viktig del av et prosessanlegg, også i olje- og gassindustrien. Kompressorer brukes for å øke trykket på gassen av forskjellige årsaker. Som oftest blir trykket økt for at gassen skal transporteres videre i et prosessanlegg eller inn på en rørledning. En annen grunn til å øke trykket på gassen kan være for å injisere gassen tilbake til reservoaret. Noen prosesser krever også et høyere trykk for å fungere optimalt.

Trykkøkningen oppnås vanligvis ved hjelp av en kompressor. I en kompressor føres gassen inn ved et innløpsstrykk, der tilføres det energi ved hjelp av en motor eller en turbin. Energien brukes til å komprimere gassen til et høyere trykk før den strømmer ut av kompressoren.

5.1 Kompresjonsteori

Gassens fysiske tilstand blir beskrevet med parameter m som representerer gassens masse, i tillegg til de tre foranderlige tilstandsstørrelsene: volum V , trykk p og temperatur T .

Disse tre størrelsene er avhengige av hverandre. Endres en av størrelsene, forandrer også de andre seg. Om man øker trykket (komprimerer), vil volumet minke og temperaturen stige. Økningen i temperatur kommer som følge av at deler av energien som tilføres kompressoren går over til varmeenergi. Denne sammenhengen er beskrevet med *tilstandsligningen for gasser*:

$$p * V = \frac{m}{M} * R * T \quad (5.1)$$

Her er M molmassen, R er den molare gasskonstanten og T er temperaturen i kelvin.

Ligningen er gjeldende for en- og toatomige gasser, og beskriver tilstander ganske nøyaktig ved trykk opp til om lag 20 barg. Disse gassene omtales som *ideelle gasser*.

Fleratomige gasser, samt en- og toatomige gasser med trykk over 20 barg avviker fra denne ligningen. Avviket tas hensyn til ved at det innføres en kompressibilitetsfaktor z i ligningen:

$$p * V = z * \frac{m}{M} * R * T \quad (5.2)$$

Ved disse forholdene omtales gassene som *reelle gasser*.

5.2 Kompressorer

Det finnes forskjellige typer kompressorer, og de vanligste kompressortypene deles inn i to hovedgrupper: *fortrengningskompressorer* og *dynamiske kompressorer*.

5.2.1 Fortrengningskompressorer

I denne typen kompressorer økes trykket direkte ved at gassen stenges inne og volumet blir redusert. Eksempler på denne typen er stempel-, skrue-, rotasjons- eller scroll-kompressorer. Av disse er stempelkompressoren den vanligste.

5.2.2 Dynamiske kompressorer

I denne typen kompressorer blir gassen tilført kinetisk energi som omdannes til trykk ved oppbremsing i en spredkanal (diffusor). Eksempler er turbo- og sentrifugalkompressor.

5.2.3 Styrker og svakheter med kompressortypene

Kompressortypene har forskjellige styrker og svakheter. Valg av kompressortype avhenger blant annet av flere variabler som kostnader, driftssikkerhet og volummengde.

Sentrifugalkompressoren kan håndtere volumstrømmer opp til 170 000 m³/h, mens en fortrengningskompressor har en øvre begrensning rundt 50 000 m³/h (Kumar, 1987).

Ved lave kompresjonsforhold er sentrifugalkompressoren best egnet, den fungerer best med et kompresjonsforhold mellom 1,5-4. Ved høyere kompresjonsforhold er det bedre å benytte en fortrengningskompressor (ME Mechanical Team, 2016). I gassbehandling er kompresjonsforholdene normalt relativt lave, dermed er sentrifugalkompressoren mye brukt.

En fortrengningskompressor skaper mye vibrasjoner, og påfører dermed underlaget store belastninger. Dette gjør at den må installeres med støtteanordninger for å ta opp disse kreftene. Samlet sett fører dette til at en fortrengningskompressor er tyngre, og mindre gunstig på en plattform der gulvareal og -last kan være en utfordring.

I offshore gassbehandling behandles store gassvolum kontinuerlig, noe som betyr at det er store verdier som omsettes til enhver tid. Behovet for pålitelig og forutsigbar drift er stort, da en uforutsett nedstengning fort medfører store økonomiske tap. Sentrifugalkompressor er best

egnet for disse forholdene, og er vanligvis det foretrukne valget for gassbehandlingssystemer. Derfor er det denne type kompressor det fokuseres på videre i oppgaven.

5.2.4 Drivenhet

Drivenheten for en kompressor er vanligvis en elektrisk motor eller en gassturbin. Elektriske motorer kan enten være med variabel eller fast hastighet.

5.2.4.1 Variabel hastighet

I dette systemet kan frekvensen og spenningen til motoren reguleres. Dette gjør at motorens hastighet til enhver tid kan justeres i forhold til mengden som strømmer gjennom, slik at effektiviteten holdes oppe. Ved lavere strømning vil det være mindre behov for motorkraft, og energiforbruket går ned. Økonomisk sett krever dette en vesentlig større investeringskostnad, da systemet er mer avansert enn med fast hastighet (Fluid-Aire Dynamics, 2016).

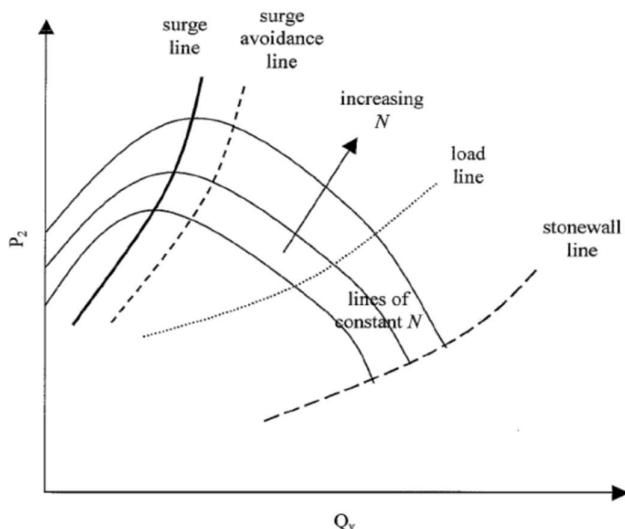
5.2.4.2 Fast hastighet

Uavhengig av hvordan strømningen gjennom kompressoren varierer, leveres det like mye spenning til motoren. Dersom strømningen reduseres, vil det fortsatt benyttes like mye energi og effektiviteten reduseres. En stor fordel med dette systemet er et mindre behov for vedlikehold og reparasjoner, på grunn av at komponentene blir utsatt for mindre slitasje ved konstant hastighet enn de blir ved svingninger i hastigheten. Investeringskostnadene er også vesentlig lavere for denne typen (Fluid-Aire Dynamics, 2016).

5.2.5 Stall og surge

En dynamisk kompressors hensikt er å tilføre gassen kinetisk energi i impelleren, som deretter konverteres til trykkenergi i diffuseren, der hastigheten senkes. Så lenge forholdene holder seg innenfor designkapasiteten til kompressoren, fungerer dette som det skal. Men dersom det oppstår endringer i strømningsraten oppstrøms kompressoren, eller i trykkmotstanden nedstrøms kompressoren, kan det oppstå problemer. Dersom strømningsraten avtar og løftehøyden øker, oppstår et fenomen kalt *stall*. Dette medfører en rask reversering av volumstrømmen, også kalt *surge*. *Surge* fører blant annet til temperaturøkning i fluidet og kraftige vibrasjoner i kompressorhuset, som i verste fall kan ødelegge kompressoren. Figur 14 gir en grafisk fremstilling av en kompressors driftsområde. Den viser også at minimum strømningsrate som kreves for å unngå *surge* øker i tråd med økt omdreiningstall. *Load line* i

Figur 14 illustrerer hvordan utløpstrykk og strømningsrate endrer seg ved økt turtall (N) i kompressoren.



Figur 14 - Kompressorkurver med markerte linjer for surge og stonewall. (Nedregaard, 2003)

Måten å unngå dette problemet på er ved å benytte et antisurgesystem. Dette kan sees på som et trykkavlastningsrør med en ventil som går fra nedstrøms til oppstrøms kompressoren. Dersom strømningsraten avtar og løftehøyden øker, kan ventilen åpnes slik at fluidet kan strømme tilbake til oppstrøms kompressoren, og supplere den reduserte strømningsraten. Ved å gjøre dette avlastes trykket slik at løftehøyden blir mindre, og kompressoren igjen kan fungere innenfor det tiltenkte driftsområdet. Styringssystemet til kompressoren overstyrer ventilåpningen slik at antisurge-ventilen beskytter kompressoren om den skulle havne i en *surge*-situasjon.

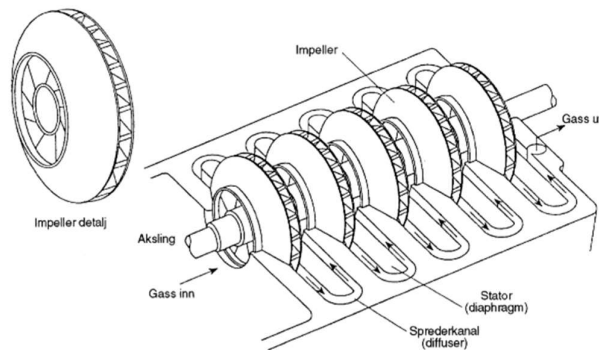
5.2.6 Stonewall og choke

Til høyre i Figur 14 er stonewall-linjen, også kalt choke-linjen. Dette er området hvor kompressoren opererer ved lav løftehøyde og svært høy strømningshastighet. Dersom motstandstrykket ved utløpet minker, vil også utløpstrykket i kompressoren minke, og dermed øker strømningshastigheten. Denne økningen kan fortsette frem til hastigheten nærmer seg gassens soniske hastighet, det vil si lydens hastighet i gassen, også omtalt som MACH1. Dersom gassen når MACH1 i hvilken som helst del av kompressoren, kommer den til det som omtales som choke-punkt eller *stonewall*. Gassens hastighet og strømningsrate kan ikke øke ytterligere når dette punktet er nådd.

Kompressorens effektivitet avtar desto nærmere denne linjen det opereres. Figur 14 viser at for et gitt omdreiningstall avtar potensiell løftehøyde når strømningsraten øker. *Stonewall* linjen til høyre i Figur 14 markerer området hvor strømningsraten blir for høy for kompressorens kapasitet ved det gitte omdreiningstallet. Her klarer ikke kompressoren å tilføre fluidet energi, noe som fører til at utløpstrykket avtar, det samme gjør trykkforholdet over kompressoren.

5.3 Sentrifugalkompressor

I en sentrifugalkompressor føres gassen inn aksialt på en impeller. Impelleren sitter på en roterende aksling og er utformet som et hjul med skovler som tilfører kinetisk energi til gassen. Ut fra impelleren ledes gassen videre gjennom diffuserens kanaler som guider gassen i radiell retning. Utover i diffuserens kanaler minker gasstrømningens hastighet på grunn av en gradvis økning i kanalenes radius. Den kinetiske energien i gassen omdannes til trykkenergi, gassen komprimeres og trykket økes. En sentrifugalkompressor kan ha ett eller flere kompresjonstrinn, avhengig av behov.



Figur 15 – Tverrsnitt av en femtrinns radial sentrifugalkompressor (Nedregaard, 2003)

Figur 15 viser en femtrinns radial sentrifugalkompressor. Her er det fem impellere med påfølgende spredkanaler som er koblet i serie på samme aksling. For hvert trinn akselereres først gassen i impelleren før den bremses ned i spredkanalen. Trykket økes dermed for hvert trinn i kompressoren.

5.3.1 Komponenter i en sentrifugalkompressor

5.3.1.1 Impeller

Kompressorens effektivitet er i stor grad avhengig av velfungerende impellere. Den leverer 100 % av den kinetiske energien som tilføres gassen, og kan være ansvarlig for opptil 70 % av den statiske trykkøkningen i et kompresjonstrinn (Sorokes, 2013). Trykkforhold, hastighet og virkningsgrad er noen av variablene som må tas i betraktning ved valg av impellertype.

Impellere til sentrifugalkompressorer kan kategoriseres som åpne eller lukkede, og bladenes utforming kan være både to- og tredimensjonale. Til venstre i Figur 16 sees en lukket impeller over en åpen, og til høyre en todimensjonal over en tredimensjonal.



Figur 16 – Forskjellige typer impellere (Sorokes, 2013)

5.3.1.2 Diffuser

Ut fra impelleren ledes gassen inn i diffuseren. Dette er en stasjonær komponent med kanaler som er formet med hensikt å lede gasstrømmingen ut i en radiell bevegelsesretning. Kanalene i diffuseren er formet med en gradvis økning i tverrsnittet slik at arealet gasstrømmingen strømmer gjennom øker. Denne økningen av tverrsnittsarealet gjør at strømningshastigheten avtar, og deler av den kinetiske energien omdannes til statisk trykkenergi. I en enkeltstegs kompressor vil gassen strømme videre til en oppsamler der den samles og guides ut gjennom kompressorens utløp. I en flerstegs kompressor strømmer gassen fra diffuseren til returkanaler som er designet for å endre strømningsretningen fra radielt utover til radielt innover. Dette tar bort det som er igjen av tangentiell strømning, og forbereder strømmen på neste kompressorsteg.

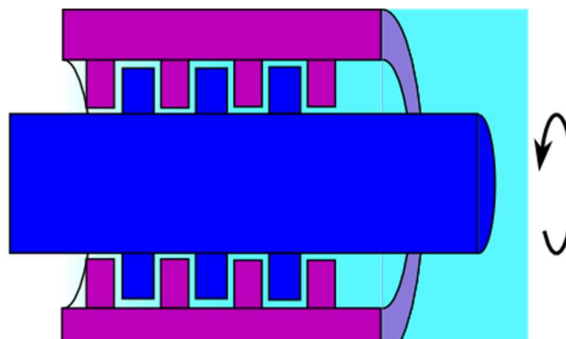
5.3.1.3 Tetningssystem

Lekkasjer bidrar til lavere effektivitet i kompressoren. Det forekommer lekkasjer både mellom høytrykks- og lavtrykksdelene av kompressoren, og mellom kompressoren og atmosfæren rundt.

For å minimere muligheten for gasslekkasje mellom kompressortrinn, og før forseglinger mellom kompressorens indre deler og lagre, brukes labyrinttetning. Et eksempel på dette vises i Figur 17.

En labyrinttetning er en form for mekanisk tetning som er designet for å skape en lang og kronglete vei for

fluidet som prøver å lekkje ut. Dersom labyrinttetning benyttes på en roterende del, er det nødvendig med en liten avstand mellom tetningen og den roterende overflaten.



Figur 17 - Labyrinttetning på roterende aksling (Wikimedia Commons, 2018)

For å forhindre lekkasje fra kompressoren til omgivelsene er det nødvendig med tetning rundt den roterende akslingen der den går inn og ut av kompressorhuset. Innenfor labyrinttetningen brukes tørrgassetting. Denne typen tetning består av en skive som er fastmontert på akslingen, og en roterende skive. De to skivene presses sammen av fjærer, og ligger inntil hverandre når kompressoren ikke er i gang. Under bruk dannes det krefter som skiller skivene fra hverandre med en veldig liten avstand, og det føres inn tetningsgass i mellomrommet som oppstår.

5.3.1.4 Kompressorhus

Kompressorhusets oppbygning deles i to hovedkategorier: Horisontalt delt eller vertikalt delt, som vist i Figur 18. Gassens sammensetning og trykk er avgjørende for valg av kompressorhusets konstruksjon, fabrikkasjonsmetode (sveising, støpning, smiing) og valg av materiale. Materialvalg varierer fra støpejern til mer høyverdig stål med varierende innhold av legeringer.

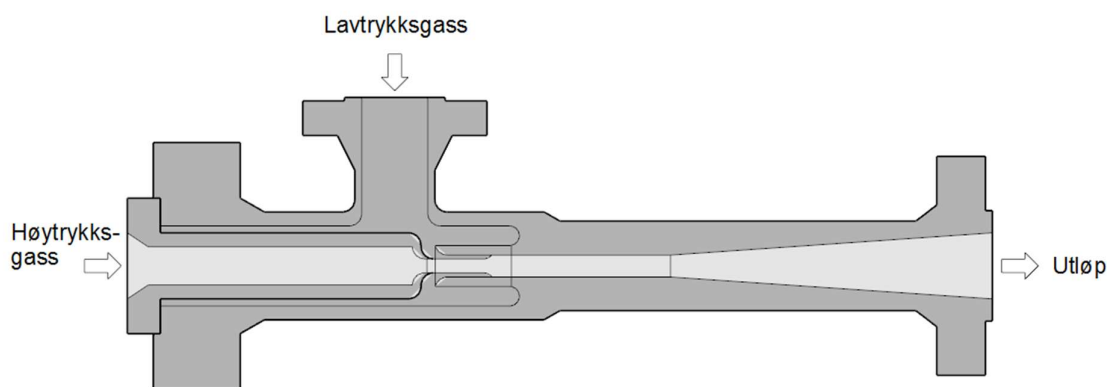


Figur 18 - Horisontalt delt og vertikalt delt kompressorhus (Hitachi, 2018)

Horisontalt delt kompressorhus kan benyttes for lave til middels store trykk. Denne grensen blir lavere ettersom strømningsraten inn i kompressoren blir større. Desto større strømningsrate, desto større må huset være. Dette fører til større areal som må tettes med pakninger, og gjør det vanskeligere å holde kompressorhuset tett. Fordelen med horisontalt delt kompressorhus er at det er lett å komme til innmaten ved behov for vedlikehold.

Vertikalt delt kompressorhus brukes ved høyere trykk enn hva horisontalt delte hus tåler. Denne type konstruksjon er utformet som en sylindrisk beholder der endene er enten boltet fast eller sikret med en pakningsring. Fluidets inn- og utløp sitter på den sylindriske delen av kompressorhuset, noe som gjør at komponenter kan tas ut aksialt for vedlikehold uten at disse blir berørt.

5.4 Ejektor



Figur 19 - Prinsippskisse for ejektor (ConocoPhillips, 2018)

Figur 19 viser en prinsippskisse av en ejektor. Høytrykks-gass, også kalt drivgass, strømmer inn til venstre. Lavtrykks-gassens innløp er på oppsiden av ejektoren i Figur 19. Dette er gass som i utgangspunktet har for lavt trykk til at den kan gå videre til behandling uten kompresjon. Når drivgassen mates inn, oppstår det et vakuum inne i ejektoren, dette skaper en sugeeffekt som drar lavtrykks-gassen inn.

Trykket i en gasstrøm kan forenklet beskrives i to deler, statisk- og dynamisk trykk. Det statiske trykket er det absolutte trykket som måles dersom gassen står stille i røret. Det dynamiske trykket, også kalt hastighetstrykket, er trykket som kommer som følge av gassens bevegelse.

Prinsippet baserer seg på Bernoullis prinsipp som beskriver sammenhengen mellom trykk og hastighet i strømmingen. I Figur 19 strupes drivgassen i en dyse, slik at det trykket minker og det oppstår en hastighetsøkning. Denne hastighetsøkningen skaper et vakuum på utløpssiden av dysen, som fører til at lavtrykksgassen suges inn i ejektoren. Ut av dysen skaper drivgassen et område av strømmer med lavt trykk og høy hastighet som blander seg med, og drar med seg lavtrykksgassen. I blandeprosessen reduseres hastigheten i drivgassen samtidig som lavtrykksgassen akselereres. Blandingen strømmer videre gjennom diffusoren, der den ekspanderes. Der reduseres hastigheten og det meste av hastighetstrykket omdannes til trykkenergi, og gassen forlater ejektoren ved ønsket trykk.

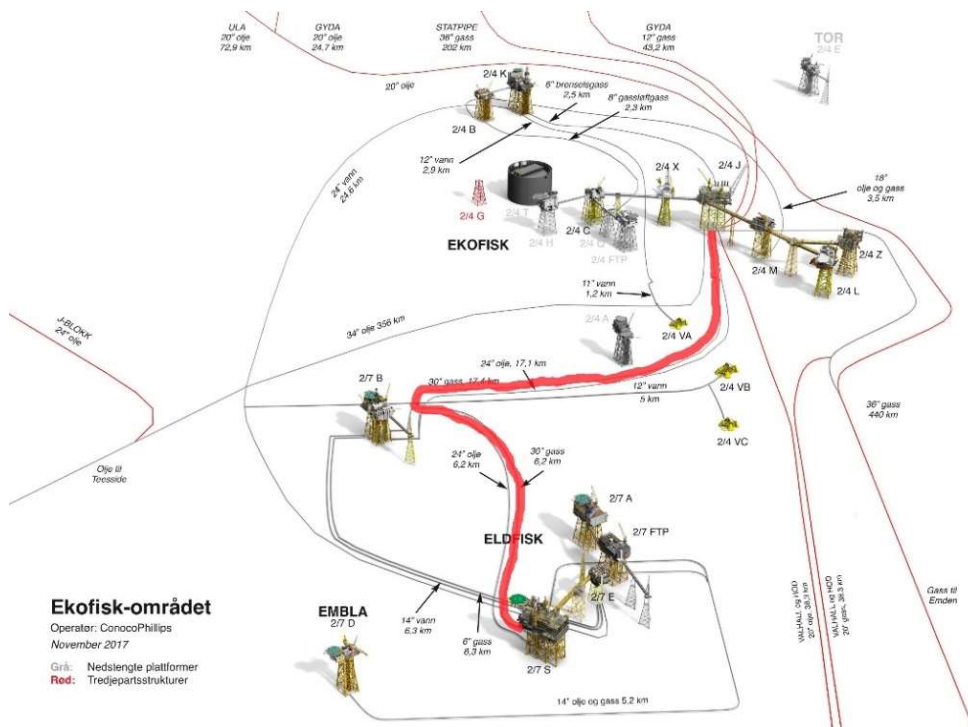
Et eksempel på bruk av ejektor er brannslukking ved bruk av skum. Vann under høyt trykk strømmer inn og skaper vakuum som suger med seg skummet. Ejektor kan også brukes på subsea-installasjoner til å øke utvinning av reservoarer som alene har for lavt trykk til å kunne produsere.

Fordelene ved bruk av ejektor er mange. Komponenten sees på som en relativt enkel konstruksjon. Den har ingen bevegelige deler, noe som medfører lite behov for vedlikehold. Den har heller ikke behov for elektrisk kraft. Samlet gjør dette at ejektoren har veldig lave driftskostnader.

Det er også elementer som kan sees på som ulemper ved bruk av ejektor. Virkningsgraden til drivgassen er relativt lav. Store deler av energien i drivgassen går tapt, og det er ikke uvanlig at kun 20-30 % av energien overføres til lavtrykksgassen (Liu, 2014).

6 Dagens metode for import av Eldfisk gass til Ekofisk

I dag blir det importert omtrent 1,5 MSm³/d gass fra Eldfisk til Ekofisk (ConocoPhillips, 2018). Denne gassen kommer fra plattformene Eldfisk S og Eldfisk B. Rørledningen starter på Eldfisk S og går 6,2 kilometer før den kommer til et y-stykke. Her kommer gassen fra Eldfisk B inn. Røret går så 17,1 kilometer før det kommer inn til Ekofisk J. Figur 20 viser et kart over de forskjellige rørledningene, hvor den nevnte linjen er markert rød.



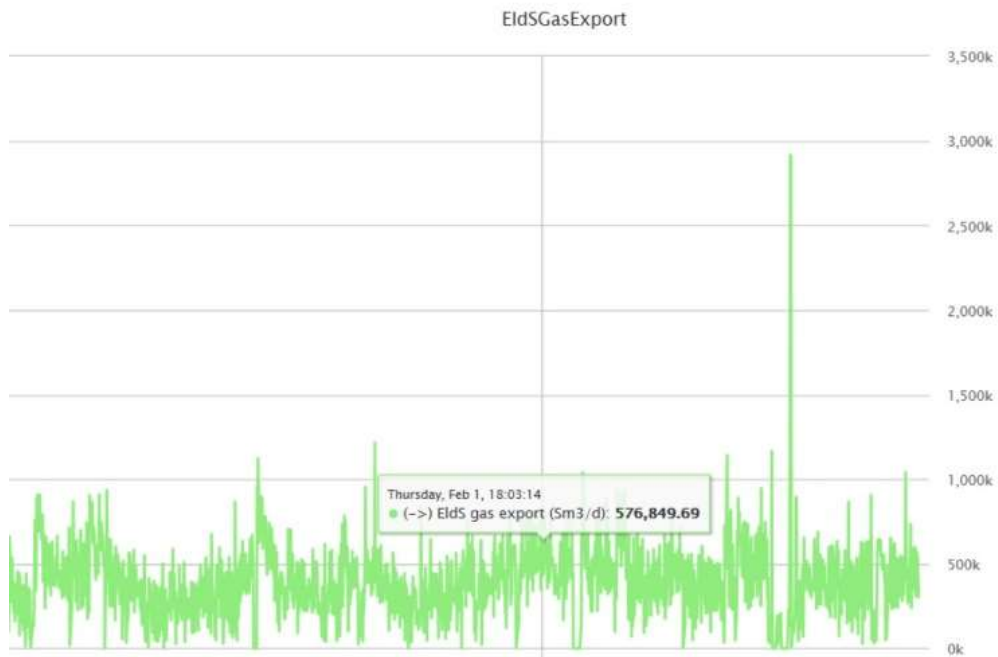
Figur 20 - Kart over Ekofisk-området med rørledninger (ConocoPhillips, 2018)

Grafene i Figur 21 og Figur 22 på neste side viser gass fra henholdsvis Eldfisk S og Eldfisk B de siste tre månedene. Av grafene kan man se at gasseksport fra Eldfisk B ligger rundt 1,2 MSm³/d, mens Eldfisk S leverer rundt 0,5 MSm³/d. Grunnen til at Eldfisk B leverer mer gass er at de ikke produserer sin egen løftegass, men får den fra Eldfisk E og dermed eksporterer videre all gass de produserer. Fremtiden for Eldfisk B er ikke endelig bestemt, men ut ifra de tallene gruppen har fått, vil gasseksporten til Ekofisk omtrent være den samme.²

1. ² Gruppen fikk beskjed fra veileder Clive Wilson 15. februar om å gå ut fra tallet på 1,7 MSm³/d selv om det er mulig at dette tallet endrer seg med framtidig feltutvikling.

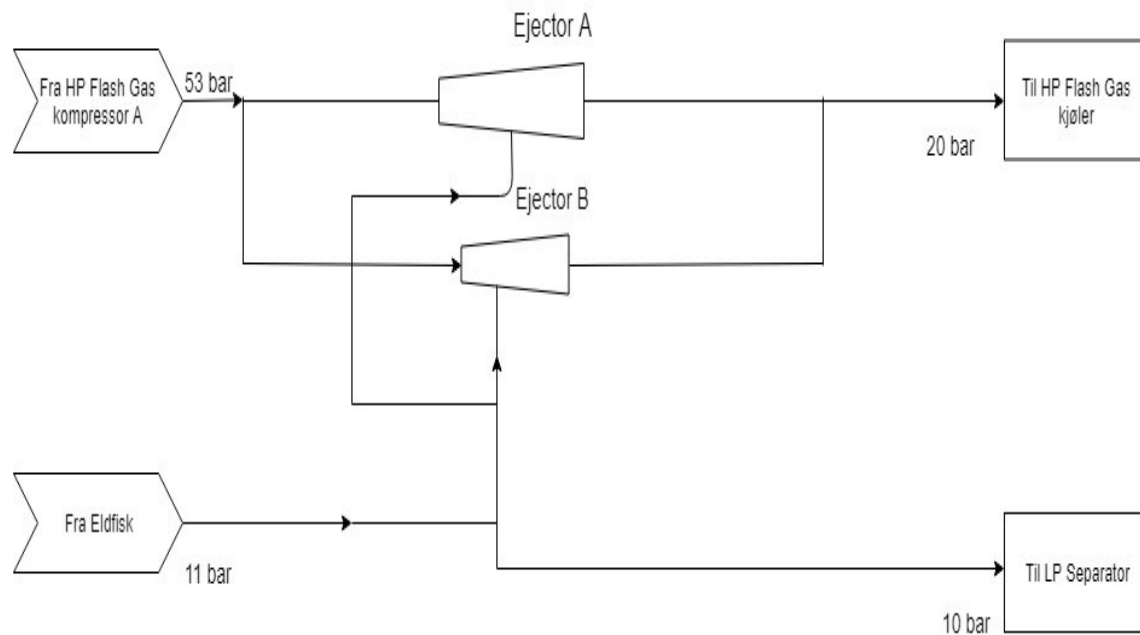


Figur 21 - Utsnitt av Eldfisk B gassseksport (ConocoPhillips, 2018)



Figur 22 - Utsnitt av Eldfisk S gassseksport (ConocoPhillips, 2018)

Når gassen kommer til Ekofisk kan den deles i to strømmer. En linje går direkte til LP Separator via en trykkreguleringsventil, PV-00126 og blir der komprimert opp til 20 barg via LP Flash Gas kompressorer. Den andre linjen går opp mot HP Flash Gas ejektorer og tas der til 20 barg trykk og videre inn på HP-trinnet. Hvordan gassen fordeles mellom de to linjene avhenger av hvor mye gass som blir importert og ut ifra driftssituasjonen. Figur 23 viser en forenklet skisse laget av gruppen for hvordan gassen fra Eldfisk tas inn til Ekofisk J i dag. Dette er systemgrensene gruppen har satt for gassimport fra Eldfisk. De samme systemgrensene vil gjelde for en eventuell ny kompressor.



Figur 23 - Dagens løsning for import av Eldfisk gass (Laget av gruppen)

6.1 HP Flash Gas kompressor Ejektorer

HP Flash gas kompressor ejektorene, heretter kalt ejektorene, består av to ejektorer koblet i parallell, Ejektor A og Ejektor B som vist i Figur 23.

Drivgass til ejektorene blir tatt fra utløpet fra HP Flash Gas kompressor A. Drivgassen blir ledet inn mot de to ejektorene gjennom en 12" linje med automatisk avstengingsventil. Etter avstengingsventil kan drivgassen gå enten mot Ejector A eller Ejector B. Hver ejektor har en trykkontrollventil som styrer pådraget til ejektoren. Trykkontrollventilen tar trykket på gassen ned fra 52 barg til omtrent 40-45 barg som blir driftstrykket på drivgassen. Ventilåpningen på trykkontrollventilen, og dermed trykket nedstrøms trykkontrollventilen, styrer hvor mye gass ejektoren skal suge opp fra lavtrykkssystemet, gass fra Eldfisk. Ejektorene har forskjellig kapasitet. Ejektor A kan håndtere 1,09 MSm³/d gass fra Eldfisk, mens Ejektor B kan håndtere 0,55 MSm³/d (ABB, 2004).

Gass fra Eldfisk og opp til ejektorene går gjennom en 14" linje med avstengingsventil. Nedstrøms avstengingsventilen deler linjen seg i ei 10" linje til Ejektor A og ei 8" linje til Ejektor B. Maks operasjonsgrense for gassen fra Eldfisk er 19 barg.

Virkemåten til en ejektor er beskrevet nærmere i kapittel 5.4. Nyttene den gjør i dette tilfellet er at den fungerer som en kompressor som tar gassen fra Eldfisk fra 11 barg til omtrent 20 barg. [Vedlegg A] viser P&ID for ejektorene.

Ut av Ejektor A går den samlede gasstrømmen i et 16" rør, mens Ejektor B har et 12" rør. Disse rørene går så sammen og over til et 20" rør og videre inn på HP-systemet til HP Flash Gas kjøler. En avstengingsventil isolerer ejektoren fra HP-systemet. På HP-systemet går gassen sammen med resten av gassen som går inn til HP Flash Gas kompressorer og blir komprimert opp til 52 barg hvor drivgass tas ut og brukes i ejektoren.

Ved å bruke begge ejektorene samtidig på maksimal ytelse tar en i teorien 1,64 MSm³/d gass opp fra 10 til 20 barg og bruker 5,37 MSm³/d drivgass. Den teoretiske virkningsgraden som leverandøren angir er da 25 %. Disse tallene er fra designrapporten til ejektorene og er ikke reelle i forhold til dagens situasjon.

I dag brukes kun en av ejektorene om gangen, for det meste den største ejektoren, ejektor A. Da går det omtrent 1 MSm³/d gass opp fra Eldfisk og en har omtrent 3 MSm³/d gass som drivgass. Ved disse betingelsene har ejektoren en isentropisk effektivitet rundt 16 %.³

6.2 Normal drift

Ved normal driftstilstand ved Eldfisk og ved Ekofisk, går det som beskrevet i begynnelsen av kapittel 6 omtrent 1,5 MSm³/d gass inn til Ekofisk fra Eldfisk. Omtrent 1 MSm³/d av denne gassen blir tatt inn gjennom ejektorene. Den resterende gassen tas inn til LP separator via reguleringsventil PV-00126 og blir komprimert i LP Flash Gas kompressorer. I [vedlegg A] vises P&ID-tegning over mottakersluse og reguleringsventil.

Grunnen til at en ikke tar all gass inn via ejektorene er fordi det er vanskelig å regulere trykket på Eldfisk rørledningen ved bruk av ejektorene samtidig som at trykket på LP Separator stabiliseres av gassen fra Eldfisk. Ved å la en strøm kontinuerlig gå til LP Flash gas kompressorer vil trykket på rørledningen bli regulert av trykket på LP Separator. En problemstilling ved denne driftsmetoden er to tilbakeslagsventiler som er plassert på linjen fra Eldfisk mottakslinje og opp til LP Separator. Ved for lav gasstrømning gjennom disse, og oppsamling av væske i røret, har disse en tendens til å lukke seg. Det som da skjer er at trykket på Eldfisk rørledningen bygger seg opp, før tilbakeslagsventilene igjen åpner seg. Da kommer en *slug* av gass og væske inn til LP Separator som midlertidig øker trykket på LP Separator. Det er et prosjekt på gang for å endre geometrien på denne linjen slik at en slipper dette problemet.⁴

6.3 Driftsforstyrrelser

Det er flere forskjellige forhold som gjør at en avviker fra den normale operasjonen av importen av gass fra Eldfisk.

6.3.1 Mottak av gasspig

Jevnlig blir det sendt en rensespigg i rørledningen fra Eldfisk S til Ekofisk J. Denne skal rense rørledningen for voks, kondensat og andre forurensinger som legger seg i røret. Når piggen

³ Opplysning gitt til gruppen av veileder Clive Wilson 11.1.18

⁴ Opplysning fått av prosessavdeling i ConocoPhillips

nærmer seg Ekofisk J og skal til å starte "klatringen" opp gjennom stigerøret til plattformen, reduseres gasseksporten i røret. Ejektorene blir da stengt inn slik at all gjenværende gass som kommer inn til Ekofisk J går gjennom trykkreguleringsventil PV-00126 og opp til LP Separator. På grunn av massen av kondensatet som piggen drar med seg og at stigerøret fra bunnen og opp til plattformen er bratt, vil piggen nesten stoppe helt opp. Trykket bak piggen bygger seg så opp og skyver piggen og kondensatet gradvis opp til plattformen.

Når piggen har kommet opp til plattformen og inn i mottakerslusen, starter en å ta ned trykket på rørledningen. Typisk trykk på rørledningen etter en piggeoperasjon er 26-30 barg. Når trykket har kommet under 19 barg, kan en av ejektorene settes i drift for å hjelpe til med å dra ned linjetrykket. Etter at trykket er nede på normalt driftstrykk, gjenopptas gasseksport fra Eldfisk og systemet er tilbake til normalen.

6.3.2 Nedstenging av Flash Gas kompressor A

Drivgassen til ejektorene kan bare tas ut nedstrøms HP Flash Gas kompressor A. Dette gjør at ved en nedstenging av denne kompressoren, kan en ikke bruke ejektorene. I et slikt tilfelle blir gasseksporten fra Eldfisk redusert samtidig som brønner på Ekofisk stenges inn slik at en klarer å holde normalt driftstrykk på LP- og HP systemene.

6.3.3 Hel eller delvis nedstenging av Eldfisk

Ved hel nedstenging av Eldfisk blir ejektorene stengt helt inn for at en ikke skal suge ned trykket på rørledningen. Ved bare delvis nedstenging kan også ejektorene bli stengt for at en skal kunne ha nok gass til LP-system og ikke havne i en situasjon med stenging av tilbakeslagsventiler som beskrevet i kapittel 6.2.

6.3.4 Planlagt vedlikeholdstans av Flash Gas kompressorer

Fra tid til annen blir en av Flash Gas kompressorene stengt inn for vedlikehold. Dette kan være ved vannvask, turbinbytte, kompressorbytte eller annet arbeid. I den forbindelse blir ofte gasseksporten fra Eldfisk redusert helt eller delvis. Gassen fra Eldfisk går da i såkalt *backflow* og blir injisert i en brønn på Eldfisk S frem til en igjen kan ta imot gassen på Ekofisk. I slike tilfeller stenges ejektoren inn.

7 Forslag til modifisert metode for import av Eldfisk gass til Ekofisk

Det skal foretas en vurdering av muligheten for en ny kompressor til import av Eldfisk gass. For å løse problemet har gruppen brukt de verdiene som er oppgitt av veileder, og innhentet annen relevant informasjon fra leverandører. Dette er blitt brukt til å lage en modell av en mulig løsning i simuleringstøytet HYSYS. Kopi av simuleringsrapport ligger i [Vedlegg B].

Hovedformålet med et nytt system er å komprimere 1,7 MSm³/d gass, som kommer fra Eldfisk, fra 11 til 22 barg. Komponent-sammensetningen til gassen fra Eldfisk, og simulering i HYSYS, viser at gassen er forholdsvis våt, noe som gjør at det er behov for en væskeutskiller. Tabell 2 viser komponentsammensetningen til gassen, som gruppen har fått av Atle Andreassen i ConocoPhillips.

For å kunne gjøre beregninger på gasstrømmingen må kompressibilitetsfaktoren bestemmes. Dette gjøres ved å først beregne pseudoreduert trykk og -temperatur, og deretter benytte verdiene til å lese av kompressibilitetsfaktoren i et Standing-Katz kompressibilitetsdiagram. Beregning av kompressibilitetsfaktor finnes i [Vedlegg D]. Gruppens beregning kom frem til en kompressibilitetsfaktor $Z \approx 0,96$. Dette verifiseres ved å sammenligne med rapportene fra HYSYS [Vedlegg B], og fra leverandøren [Vedlegg E].

7.1 Systembeskrivelse

Gassen kommer inn til Ekofisk J og deler seg i tre rør. Det ene leder til LP Separator som i dag, det andre til en ny omløpslinje og det tredje til ny kompressor.

Gassen til kompressoren går først inn til en væskeutskiller for å skille ut de tyngre komponentene og vannet i gassen, dette må gjøres for å beskytte impellerne på kompressoren. Gassen forlater væskeutskilleren i toppen og går videre til kompressoren. Væsken som skilles ut tas ut i bunnen av væskeutskilleren og går videre til innløpsiden av LP Flash Separator.

Tabell 2 – Gassens sammensetning
(Kilde: ConocoPhillips)

Komponent	Mol %
Metan	75,43
Etan	10,90
Propan	5,83
i-Butan	0,56
n-Butan	2,1
i-Pentan	0,48
n-Pentan	0,7
n-Hexan	0,36
H ₂ O	0,92
CO ₂	2,01
Nitrogen	0,35
Heptan	0,23
Oktan	0,09
Nonan	0,03
C10-13	0,01

For å få væsken inn på LP Flash Separator må det installeres en enkel sentrifugalpumpe.

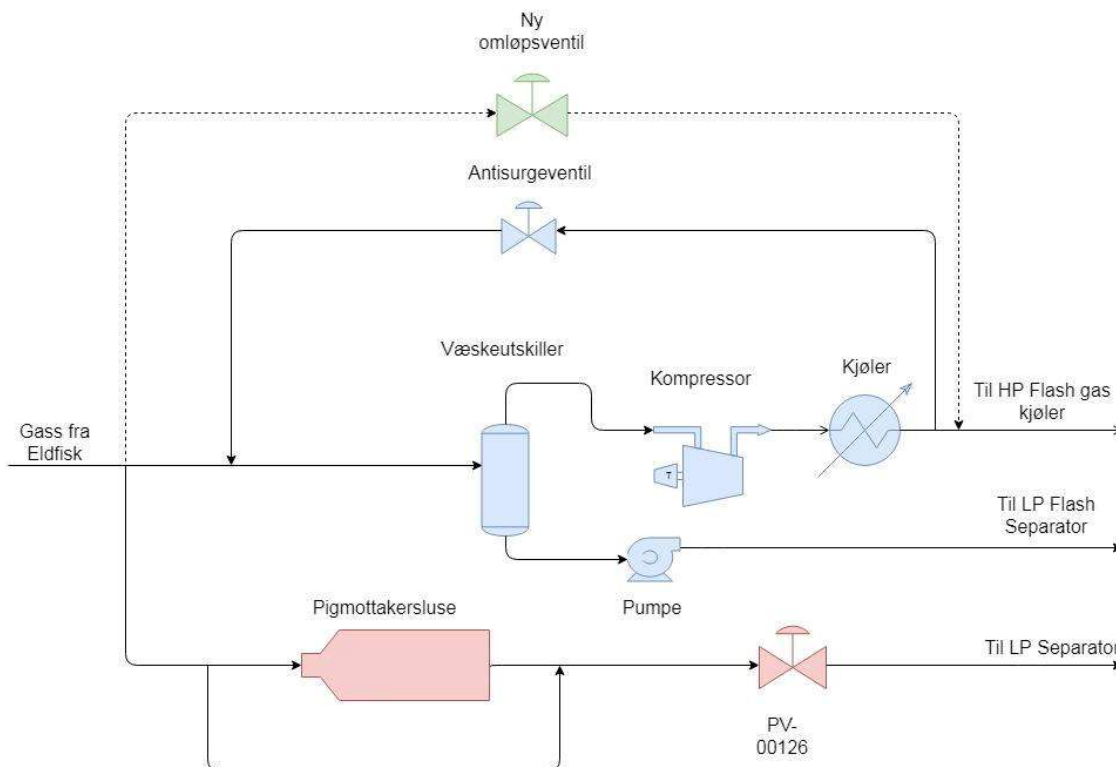
Forslag til spesifikk væskeutskiller er videre beskrevet i 7.1.1.

Etter væskeutskilleren går gassen inn til en kompressor som er drevet av en elektromotor.

Kompressoren tar trykket opp fra 11 til 22 barg. Forslag til spesifikk kompressor følger i kapittel 7.1.1.

Simulering i HYSYS viser at temperaturen ut av kompressoren blir 65°C med en innløpstemperatur på 12°C. Dette er ikke noe problem hvis kompressoren sender all gass videre i systemet til HP Flash Gas kjøler. Har kompressoren derimot behov for å kunne resirkulere en del av gassen tilbake til innløpet, vil det være behov for kjøling av gassen før resirkulering. Gruppen foreslår at det nedstrøms kompressoren installeres en kjøler av typen rør-varmeveksler, som benytter sjøvann som kjølemedium. Dette vil også ha en positiv innvirkning på kjølebehovet nedstrøms i prosessen. En annen mulighet er å sende all gassen videre til HP Flash Gas kjøler og så ha en resirkuleringsløyfe der ifra og tilbake til oppstrøms Eldfisk kompressor. Dette vil mest sannsynlig være en rimeligere løsning, men mindre fleksibel ved vedlikehold og lignende.

For å regulere strømmingen gjennom kompressoren, og for å sikre kompressorbeskyttelse i form av antisurgekontroll, er det behov for å installere et antisurgesystem. Dette systemet bør bestå av en omløpslinje fra nedstrøms kompressor til oppstrøms med en egnet reguleringsventil.



Figur 24 - Forslag til ny løsning for import av Eldfisk gass (Laget av gruppen)

I Figur 24 er de nye komponentene markert med blått, mens eksisterende komponenter vises med rødt. Gruppen ser ingen grunn til å skifte ut eksisterende trykkreguleringsventil, PV-00126 som regulerer gass inn til LP Separator.

I tillegg til kompressor foreslår gruppen å se på mulighetene for å installere en ny omløpslinje med reguleringsventil rundt kompressoren og til HP Flash Gas kjøler. Denne ventilen vil kunne brukes når trykket på rørdelingen fra Eldfisk er så høyt at en ikke kan bruke kompressoren. Dette gjelder spesielt etter piggeoperasjoner. Gruppen foreslår at en bør vurdere en slik løsning hvis en skal installere ny kompressor, men har ikke gjort tekniske eller økonomiske beregninger på denne linjen.

Gruppen har laget en forenklet P&ID-tegning av et mulig system, men har ikke tatt med eventuell ny omløpsventil her. Tegningen ligger i [Vedlegg C].

7.1.1 Kompressor

Gassmengden fra Eldfisk som skal komprimeres estimeres til å være på 1,7 MSm³/d, molarmassen er 21,78 kg/kmol, trykket er 11 barg og temperaturen er 12°C.

Strømningsraten er gitt i MSm^3/d som er antall mill. standardkubikkmeter i døgnet. Dette er strømningsraten gassen ville hatt ved standardbetingelsene atmosfærisk trykk og temperatur på 15°C .

For å finne den reelle strømningsraten som skal gjennom væskeutskiller og kompressor, må dette omregnes til gjeldende forhold. Denne omregningen gjøres ved å benytte tilstandsligningen for standardbetingelser (sc) og de reelle betingelsene:

$$p^{sc} \cdot \dot{V}_g^{sc} = \dot{n} \cdot R \cdot T^{sc} \quad (7.1)$$

$$p \cdot \dot{V}_g = z \cdot \dot{n} \cdot R \cdot T \quad (7.2)$$

Strømningsraten ved de reelle forholdene blir beregnet ved å kombinere ligning 7.1 og 7.2:

$$\dot{V}_g = \dot{V}_g^{sc} \cdot \frac{p^{sc}}{p} \cdot \frac{T}{T^{sc}} \cdot z$$

$$\dot{V}_g = 1\,700\,000 \text{ m}^3/\text{d} \cdot \frac{1,01325 \cdot 10^5 \text{ Pa}}{11 \cdot 10^5 \text{ Pa}} \cdot \frac{285,15 \text{ K}}{288,15 \text{ K}} \cdot 0,96$$

$$\dot{V}_g = \underline{148\,764 \text{ m}^3/\text{d}} = \underline{6198 \text{ m}^3/\text{h}}$$

Dette er ved ideelle forhold, hvor strømningsraten inn i systemet er konstant. I virkeligheten vil strømningsraten variere i større og mindre grad, noe som ikke er gunstig for kompressoren. Ved for stor reduksjon er det fare for å havne i en *stall/surge*-situasjon. For å ha en mest mulig stabil strømning gjennom kompressoren er det derfor nødvendig at den sikres med et antisurgesystem. Systemet sørger for at deler av strømmen ut av kompressoren resirkuleres tilbake til kompressorens sugeside, og supplerer den innkommende strømmen, slik at strømningsraten gjennom kompressoren holdes mest mulig stabil.

Som beskrevet i kapittel 5, er sentrifugalkompressor den typen kompressor som er best egnet til dette formålet. Ved å regulere strømmingen med en reguleringsventil tilbake til innløpet kan strømmingen anses som relativt konstant. En kan da benytte seg av fast hastighet på motor til kompressor, noe som vil redusere utgiftene til drivenhet.

Ettersom gassen skal komprimeres fra 10 til 20 barg, det vil si et trykkforhold på 1:2, kan en enkeltstegs kompressor benyttes.

Fysisk plass kan være en utfordring ved installering av ny kompressor på et eksisterende anlegg. Gruppen anbefaler derfor å se på muligheten for å bruke en kompressor med vertikalt oppheng, da det vil ta opp mindre gulvareal enn en horisontal kompressor.

7.1.2 Væskeutskiller

Gassen som skal inn i kompressoren inneholder væskedråper og uønskede partikler. Det vil derfor være nødvendig å installere en separator som skiller ut disse. Gruppen mener en bør gå for en enkel tofase separator. Dette er begrunnet tidligere i kapittel 4. Minstekravet er at separatorene skiller ut væskedråper med diameter på 500 mikron eller større (Manning & Thompson, 1991).

Innløpet til separatorene bør ha en ledeplate som innløpsarrangement på grunn av dens egenskap til å håndtere store gassmengder. Ut ifra Tabell 1 i 4.2.1, hentet fra NORSOK P-002, ser en at den er god til å forhindre at væskedråpene deler seg, redusere det dynamiske trykket som oppstår av strømmingen, og er ellers generelt bra på de fleste områder.

Koaliseringseenheten anbefales å være av type *wire mesh pad*. Dette er begrunnet i kapittel 4.2.2. Gruppen foreslår også at væskeutskilleren utstyres med en dråpeutskiller. Det som er mest gunstig er å benytte et gitt antall sykloner, avhengig av gassmengde, gassens fuktighet og dråpeutskillerens diameter. Dette er beskrevet nærmere i kapittel 4.2.3.

7.1.2.1 Beregninger for vertikal separator

Når en skal dimensjonere er det nødvendig å vite massetettheten til gassen og til væsken som blir skilt ut fra gassen. Verdiene for massetetthetene er estimert i HYSYS og finnes i [Vedlegg B]. En må også finne strømningsraten av useparert gass per sekund.

$$Q_G^{stc} = 1,7 * 10^6 \frac{Sm^3}{dag} * \frac{1}{24 * 60 * 60} \frac{s}{dag} = \frac{2125 Sm^3}{108 s}$$

I 7.1.1 er kompressibilitetsfaktor estimert til $z \approx 0,96$. Trykket er oppgitt til å være 12 barg. Av Figur 11 finner en at separasjonskonstanten vil ha en verdi på om lag 0.108m/s ved dråpestørrelse på 500 mikron. Tettheter for væske og gass er hentet fra HYSYS beregninger som finnes i [Vedlegg B]. Benytter formel (13) til å beregne minste nødvendige diameter:

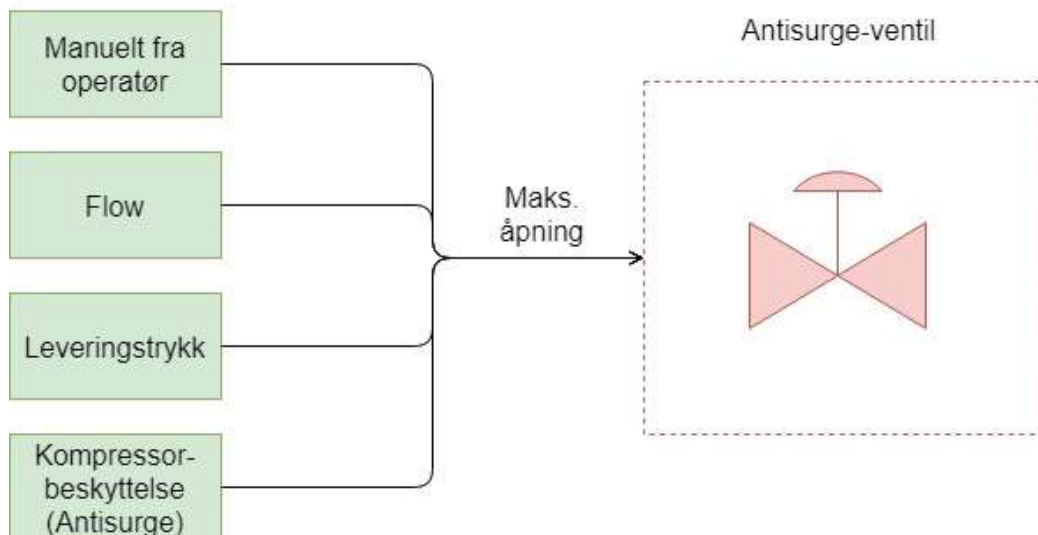
$$D = \sqrt{\left(\frac{4 * Q_G^{stc} * P^{stc} * T * z}{\pi * k_s * \left(\frac{\rho_L - \rho_G}{\rho_G} \right)^{0,5} * P * T^{stc}} \right)}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * \frac{2125 \text{ Sm}^3}{108 \text{ s}} * 1,01325 * 10^5 \text{ Pa} * 285,15\text{K} * 0,96}{\pi * 0,108 \frac{\text{m}}{\text{s}} * \left(\frac{718,7 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} - 11,53 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{11,53 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} \right)^{0,5} * 12 * 10^5 \text{ Pa} * 273,15\text{K}}} \approx 1,6\text{m}$$

Ut ifra disse beregningene ser en at minste innvendige diameter separatoren må ha er 1,6meter.

7.1.3 Regulering og antisurgesystem

Kompressoren er tiltenkt å gå med fast hastighet. For å regulere kompressoren og samtidig ha beskyttelse mot *surge*, er det nødvendig med et system for antisurge. Regulering ved hjelp av antisurge-ventilen vil foregå ved at transmittere ved innløp og utløp til kompressoren måler trykk og strømming. Disse transmitterne vil så gi en åpningsverdi videre til antisurge-ventilen. En kan også manuelt velge å sette en åpningsverdi. Utenom dette må det også være et system for deteksjon av antisurge som også gir åpning til antisurge-ventil. Ventilen tar så den høyeste verdien den får tilsendt. Eksempelvis kan transmitter for sugetrykk gi signal om at ventil skal stå 10 % åpen. Samtidig gir operatør beskjed om at ventilen skal stå 20 % åpen. Da vil ventilen gå til 20 % helt til en av de andre parameterne bestemmer at ventilen skal åpnes mer, men den vil aldri gå under 20 % så lenge laveste grense er satt til 20 %. **Feil! Fant ikke referansekilden.** viser en oversikt over signalene som er tiltenkt å gå til antisurgeventil.



Figur 25 - Signaler til antisurgeventil (Laget av gruppen)

Antisurgesystemet skal detektere når kompressoren nærmer seg surge-kurven og så ta aksjon for å få kompressoren ut av *surge* (Ghanbariannaeni, 2012). Dette oppnås vanligvis med en kontrollventil i en resirkuleringslinje til innløpet av kompressoren, en antisurge-ventil. Den økende strømmingen inn til kompressoren flytter så operasjonspunktet til kompressoren bort fra surgekurven.

7.2 Operasjon ved normal drift

Når systemet er kommet i drift, er det tiltenkt at all gass fra Eldfisk, ca. 1,7 MSm³/d skal kunne tas inn gjennom den nye kompressoren. Regulering av strømming og trykk gjøres med en antisurge-ventil dersom kompressoren har fast turtall.

Det har tidligere vært testet ut å kjøre all gass gjennom ejektorer og ingen gass til LP Separator. Dette skapte problemer ved at trykket på LP Separator ble ustabil og igjen gjorde at lavtrykkskompressorene måtte endre turtall opp og ned for å holde trykket stabilt. Disse kompressorene er drevet av gassturbiner og har best av å gå mest mulig stabilt. Dette kan bli en problemstilling ved en ny kompressor også. Av den grunn er det mulig at det også med ny kompressor er behov for å sende noe av gassen til LP Separator som i dag. Dette er noe som må testes ut når ny kompressor kommer i drift og er vanskelig å simulere på en troverdig måte. I så fall betyr det at rundt 0,5 MSm³/d gass går til LP Separator, mens 1,2 MSm³/d går til den nye kompressoren. Ulempen med dette er at en da mister fordelene av å overføre gass

fra LP-system til HP-system som er beskrevet i 3.1. Uansett mener gruppen det må beregnes for at kompressoren skal kunne ta hele lasten, altså 1,7 MSm³/d.

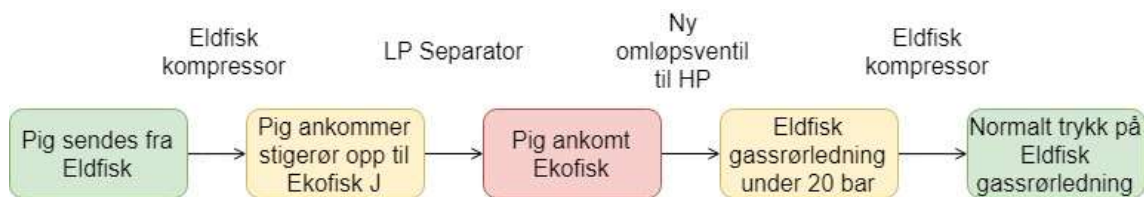
7.3 Operasjon ved driftsforstyrrelser

Som beskrevet i kapittel 6.3 er det flere forhold ved import av gass fra Eldfisk og ved prosessanlegget på Ekofisk J som gjør at en avviker fra normal drift. Dette gjelder blant annet reduksjon i produksjon fra Eldfisk, pigging av linjen og vedlikehold på høy/lavtrykkskompressorer ved Ekofisk J. Under kommer en kort beskrivelse av hvordan det er tenkt å bruke den nye kompressoren ved driftsforstyrrelser.

7.3.1 Pigging

For pigging vil situasjonen være omtrent lik som ved dagens bruk av ejektorer. Piggen sendes først fra Eldfisk. Når den nærmer seg Ekofisk J og stopper ved stigerøret opp til plattformen, vil gasstrømmen inn til kompressoren stoppe opp. Antisurge-ventilen vil da åpne fullt opp og resirkulere gassen. Kompressoren stoppes da på vanlig måte. Eventuelt kan en stoppe kompressoren noe før piggen kommer til stigerøret. Piggen vil så bli tatt imot på dagens metode med å kontrollere trykket og strømmingen med PV-00126 som går til LP Separator. Det er normalt mye væske som følger med og ligger foran piggen. Erfaringsmessig er det gunstig å ta denne væsken inn til LP Separator.

Når piggen er kommet inn er trykket på Eldfisk gassrørledning normalt mellom 25-30 barg. Dette er for høyt til at kompressoren kan brukes. Her foreslås det av gruppen at en bruker ny trykkreguleringsventil i omløpslinje rundt kompressoren, og videre til HP Flash Gas kjøler frem til trykket er nede på 20 barg. Etter dette tas trykket ytterligere ned ved hjelp av ny kompressor. Figur 26 viser et flytskjema for hvordan pigging er tenkt gjennomført.



Figur 26 - Flytskjema over tiltenkt gjennomføring av pigging (Laget av gruppen)

7.3.2 Redusert produksjon fra Eldfisk

Ut ifra hvor mye av produksjonen fra Eldfisk som er redusert må en ta en vurdering på om kompressoren skal stoppes eller gå med redusert strømning. Kompressoren kan ta mye i resirkulasjon gjennom antisurge-ventil, men skulle produksjonen fra Eldfisk stoppe helt opp må kompressor stoppes på vanlig måte.

7.3.3 Redusert kompresjonskapasitet på Ekofisk J

Ved vedlikehold på en av LP/HP Flash kompressorene ved Ekofisk J, balanserer en normalt ut produksjonen slik at en får høyest mulig produksjon med bare en kompressor. Normalt sett har en da kapasitet på HP-trinnet av kompressorene. Det vil da ikke være noe problem å kjøre Eldfisk kompressor. Skulle det vise seg at kapasiteten på HP-trinnet er for liten, stoppes kompressoren og Eldfisk injiserer sin gass i en gassinjeksjonsbrønn istedenfor.

7.4 Teknisk sikkerhet

7.4.1 Sikkerhetsventiler

For å sikre systemet mot overtrykk må det installeres sikkerhetsventiler. *Pressure safety valve*, forenklet kalt PSV, er en helautomatisk ventil som åpnes når trykket på systemet overstiger det maksimalt tillatte trykket. Ventilen har ett inntak som kobles på strømningslinjen og uttak til fakkell. Ventilen er designet slik at når det er vanlig produksjonstrykk så vil strømmingen gå forbi PSV og ut i normal produksjon. Da vil ventilen være stengt ved hjelp av en pilotstyring eller ved hjelp av en fjærbelastning.

7.4.2 Utblåsningsventil

Det kan også være ønskelig å kunne redusere trykket manuelt fra kontrollrommet. En utblåsningsventil, også kalt BDV, er en type ventil som styres ved hjelp av et styresystem. En BDV har samme hensikt som en sikkerhetsventil, men forskjellen er at den er operatørstyrt eller får automatisk åpningssignal. En BDV kan ikke regulere strømninger, men er en åpne-lukke ventil. Denne åpnes dersom det er ønskelig å redusere trykket på linjen. Dersom ventilen åpnes vil gassen gå ut til fakkell.

7.5 Rørkonstruksjon og dimensjonering

Det er flere faktorer som spiller inn på hvilket materiale som er best egnet til å til å bruke i en gassproduksjon. Det er viktig at det har gode sveiseegenskaper for å unngå for mye bruk av flenser. Ifølge NORSOK M-001 skal en ta hensyn til disse 8 punktene (NORSOK, 2002):

- Korrosjonsbestandighet
- Levetid og system tilgjengelighet
- Sannsynlighet for svikt av rør og konsekvenser svikten har for menneskelig helse, miljøpåvirkning og sikkerhet.
- Motstandsdyktighet for brudd
- Inspeksjonsmuligheter for korrosjon
- Installasjons-, monterings- og vedlikeholdstilgjengelighet for personell
- Leverandørs mulighet for å fremskaffe materialet, dokumentert fabrikasjon og vedlikeholdsutførelser
- Antall forskjellige materialer som blir brukt bør være minst mulig på grunn av lagring, kostnader, utskiftninger og tilgjengelighet av reservedeler.

"Avvik fra materialvalg som er angitt i denne NORSOK-standarden, kan være implementert hvis en samlet pris-, sikkerhets- og pålitelighetsevaluering viser alternativet å være mer gunstig". (NORSOK, 2002)

Det er også vesentlig å vite noe om trykklassen til rørsystemet. Den spesifiseres normalt i prosesstegninger. Dersom det skal bestilles en ventil, en pumpe eller et filter, må en informere om hvilken trykklasser som skal benyttes. NORSOK har trykklasserinnndeling fra ANSI B 16.5. Trykket ut av kompressor skal være på cirka 22 barg. Ut i fra ANSI 16.5 vil det være gunstig å bruke klasse B (Pettersen, 2017).

De nye rørene som skal installeres må være av et kompatibelt materiale i forhold til de nåværende rørene. Det bør også tas en prøve av de nåværende rørene for å sjekke at kvaliteten på rørene fortsatt holder mål. Etter installering av de nye rørene må de trykktestes og sertifiseres.

8 Potensiell løsning

I dette kapitlet vil gruppen presentere forslag til komponenter som er funnet i samarbeid med leverandører. Det blir også gjort en vurdering rundt installasjon av kompressoren, dens plassering og energiforbruk.

Design og konstruksjon foregår i henhold til API-standarder (American Petroleum Institute). Standardene er gjeldende for hele verdens olje- og gassindustri, og API-klassifiseringen er laget for å sørge for sikkerhet og kvalitet i prosessindustrien.

8.1 Væskeutskiller

Gruppen har gjennom Clive Wilson vært i kontakt med Mauritz Talseth hos Schlumberger angående et forslag til en væskeutskiller. Schlumberger er en internasjonal leverandør av kompetanse og teknologiske løsninger innen utforskning og produksjon i oljebransjen. Det ble etterspurt en væskeutskiller som skulle dekke følgende krav:

- Skille ut væske fra en volumstrømning på $1,7 \text{ MSm}^3/\text{d}$
- Innløpstemperatur på $12 \text{ }^\circ\text{C}$
- Innløpstrykk på cirka 11 barg
- Dråpene som skal skilles ut i væskeutskilleren har minste diameter på 500 mikron.
- Gassammensetningen som er nevnt i Tabell 2.

Anbefalingen fra Schlumberger er å bruke en vertikal tofase separator til å skille ut væske fra gasstrømmen. Separatoren er dimensjonert med høyde på 4 meter, og diameter på 1 meter, se [Vedlegg H]. Beregninger gjort i kapittel 7.1.1 avviker 0,6 meter fra Schlumbergers forslag. Dette kan begrunnes med at gruppens beregninger er basert på antagelse om tillatt dråpestørrelse, som har en betydning for størrelsen til separasjonskonstanten som benyttes i beregningen.

Innløpsarrangementet er av typen ConSept IVD, som kan ses i Figur 27. Dette er en type ledeplate som er beskrevet i kapittel 4.2.1, og er av samme type som ble foreslått i kapittel 7.1.1. Innløpet er utstyrt med separate skovler som fjerner oppsamlinger av væske før

strømningen går inn i separatoren.

Skovlene er laget av to plater som gir ekstra mekanisk styrke i forhold til typiske ledeplater som er utstyrt med en plate.

Innløpet er også utstyrt med toppdrenering som skal hindre gjeninntakelse av oppsamlet væske inn til separatoren.



Figur 27 - ConSept IVD innløpsarrangement (Schlumberger)

Koaliseringseenheten er av typen *mesh pad*, med størrelse på 150 mm. Som følge av

innløpsarrangementet vil separasjonskonstanten ha lav verdi som sørger for at koaliseringseenheten oppnår god og effektiv separering av væske. Virkemåten er utdypet tidligere i kapittel 4.2.2. *Mesh paden* vil også hjelpe til med å holde gasshastigheten lav, og dermed forhindrer gjeninntakelse av væske. Med denne løsningen har det blitt gjort forsøk med en separasjonskonstant helt opp til 0.45 m/s, og fortsatt opprettholdt effektiv væskeutskilling. Løsningen som Schlumberger har anbefalt er det samme som gruppen har foreslått i kapittel 7.1.1.

Dråpeutskilleren er av typen ConSepT DC80, som er illustrert i Figur 28. Dette er en aksialstrømssyklon som har gode egenskaper til å håndtere gass med varierende væskeinnhold. Schlumberger anbefaler å bruke 37 av disse syklonene i separatoren for å sørge for god væskeutfelling fra gassen. I kapittel 4.2.3 er det beskrevet generelt hvordan en syklon vil skille ut væske fra gassen.



Figur 28 - ConSept DC80 syklon dråpeutskiller (Schlumberger)

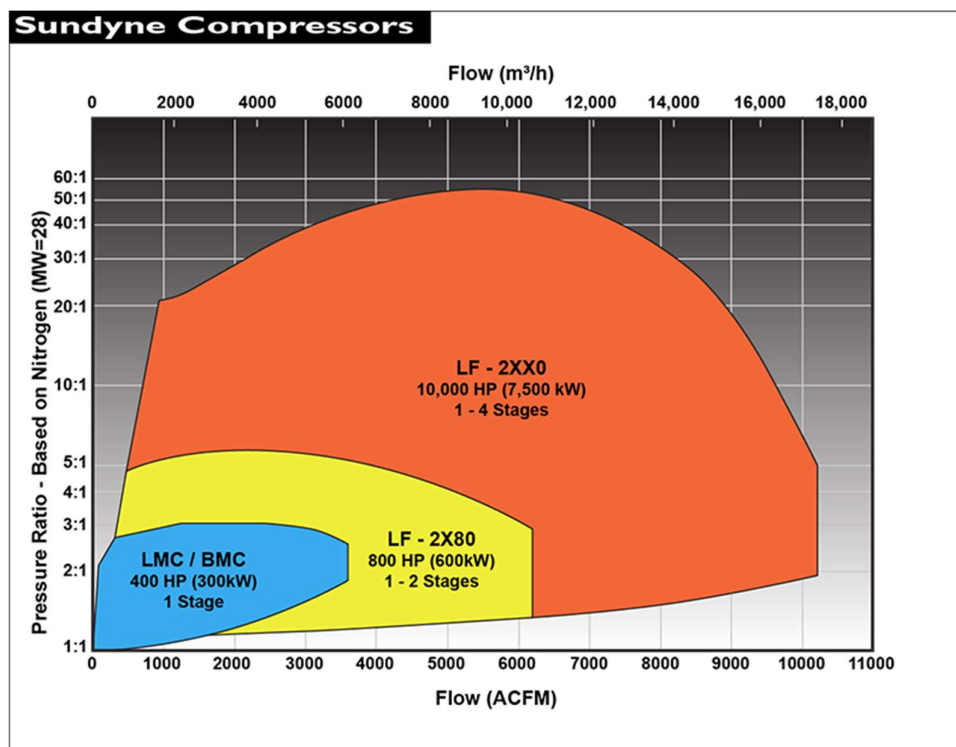
Statoil R&D har testet syklonene med kinetisk energi på cirka 150 Pa, med væskemengde fra 10 liter/time til 50 liter/time og operasjonstrykk fra 20 barg til 50 barg. Fra disse testene kommer det frem at selv om skulle oppstå variasjon i strømningen vil dette ikke ha noen innvirkning på syklonene.

8.2 Kompressor

Gruppen har vært i kontakt med Kjetil Vatne ved Flow Solutions som er en leverandør av systemer, løsninger og produkter til prosessindustrien. De fører blant annet kompressorer levert av amerikanske Sundyne. Henvendelsen inneholdt en forespørsel om en kompressor som møter følgende krav:

- Volumstrøm på 1,7 MSm³/d (omregnet til om lag 6200 m³/h)
- Gass med molar masse på 21,78 kg/kmol
- Innløpstemperatur på 12°C
- Innløpstrykk på om lag 11 barg
- Ønsket komprimering til 21-22 barg

Sundyne produserer flere typer sentrifugalkompressorer som varierer i blant annet kapasitet, fysisk størrelse og trykkforhold. Figur 29 viser en grafisk fremstilling av de forskjellige kompressortypenes driftsområder. Trykkforholdene er basert på Nitrogen som har en molar masse på 28 kg/kmol.

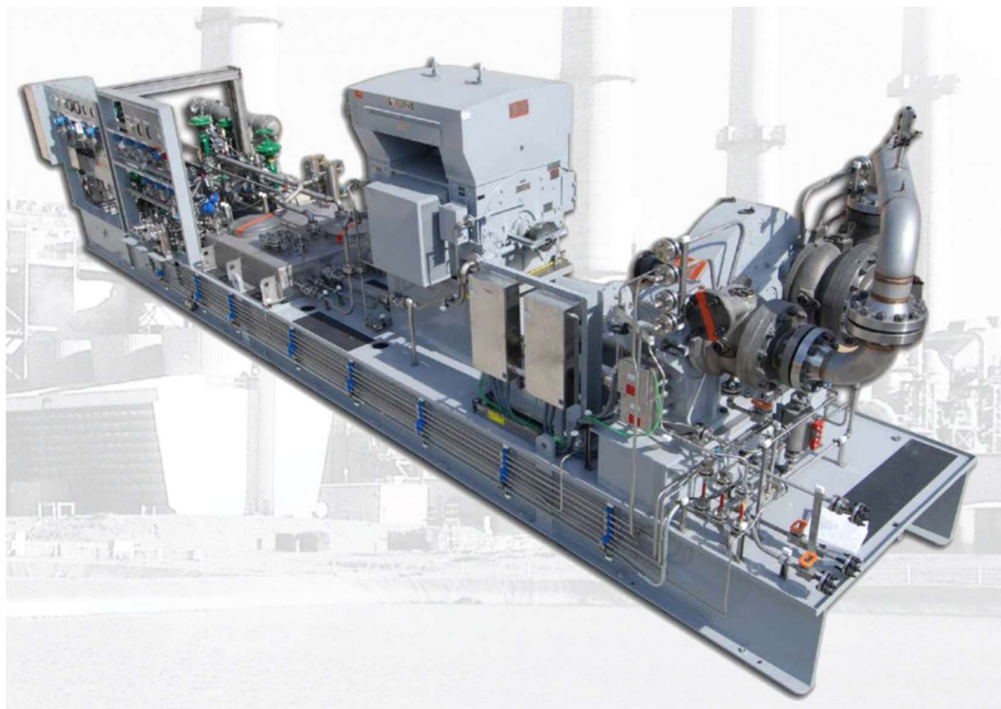


Figur 29 - Performance envelope for Sundynes kompressorer (Sundyne, 2017)

Ved høye trykkforhold og/eller volumstrømmer er Pinnacle LF-2XX0-serien godt egnet. Dette er en type sentrifugalkompressor som har giret internt i kompressorhuset. Som Figur 29 viser har denne serien muligheten til å fungere over et bredt utvalg av driftsforhold. Den kan tilpasses til å håndtere forhold som (Sundyne, 2017):

- Strømningsrater opp til 17 000 m³/h
- Kompresjonsforhold opp til 50:1
- Komprimering i 1-4 trinn
- Temperaturer fra -160°C til 260°C
- Motorstørrelse opp til 10 000 hp/7 500 kW
- Rotasjonshastighet opp til 42 000 rpm ved 60 hz

Anbefalingen gruppen fikk fra Kjetil Vatne er en kompressor av typen Pinnacle LF 2190. Dette er en sentrifugalkompressor som er en del av Sundynes LF 2XX0-serie. LF står for "Low Flow", 1-tallet forteller at dette er en ett-trinns kompressor, og de to siste tallene, 90, representerer girkassen.



Figur 30 - Kompressor med motor og hjelpesystemer (Sundyne, 2017)

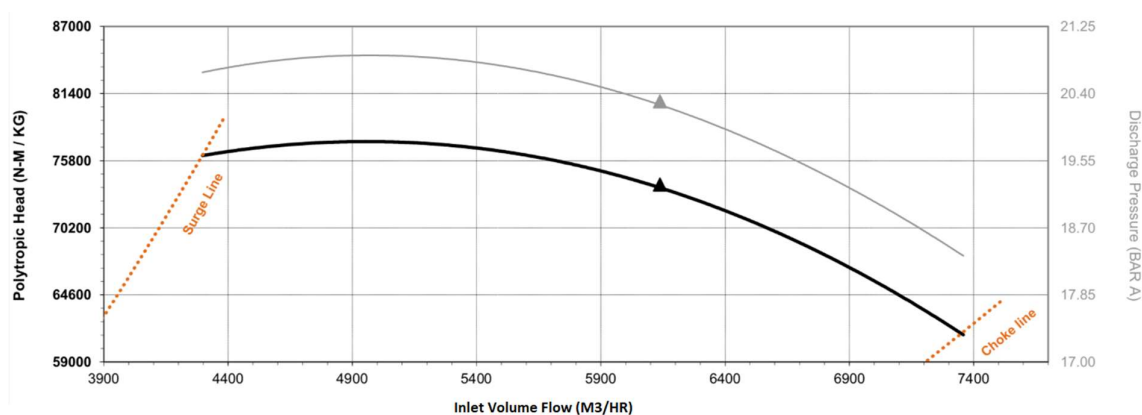
Kompressoren og hjelpesystemenes kompakte design gjør at den enkelt plasseres på en skid og kan installeres i prosessmiljøet den skal operere i. Et eksempel på dette kan ses i Figur 30. Komplette er hele enheten 9 meter lang, 3 meter bred og 3,3 meter høy, se [Vedlegg F].

Kompressoren, med hjelpesystemer, er utstyrt med vibrasjonsmålere og –overvåkningssystem i henhold til API-670. Interne tannhjul og gir er designet for å tåle vibrasjoner i henhold til API-617.

Standard smøreoljesystem følger API-614. Den roterende akslingen driver en smøreoljepumpe som sørger for tilførsel av smøreolje så lenge akslingen roterer. Smøreoljen hindres fra å lekke ut i systemet ved hjelp av både labyrinttetninger og mekanisk gasstetning med karbonringer. Systemet for mekanisk gasstetning holder API-614 standard.

Produsenten har gjennomført en simulering av kompressorens ytelse ved de aktuelle forholdene den er tiltenkt å operere i. Simuleringen gir en oversikt over blant annet forventet kraftbehov, polytropisk virkningsgrad, utløpstemperatur og –trykk, resultatene av simuleringen finnes i [Vedlegg E].

Kurvene i Figur 31 viser hvordan utløpstrykk (grå) og polytropisk løftehøyde (sort) varierer ved forskjellige strømningsrater (horisontal akse). Punktene på kurvene markerer kompressorens designpunkt, hvor den opererer komfortabelt innenfor *surge*- og *choke*linjene.



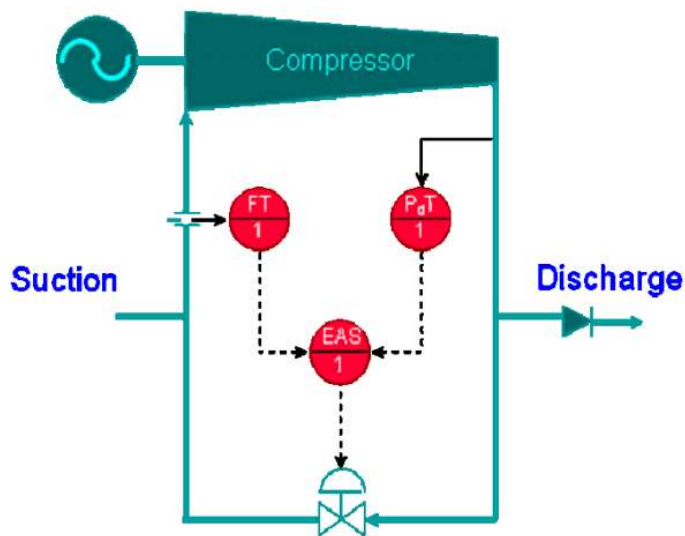
Figur 31 - Kompressorkurver for LF-2190 (Kilde: Rapport fra Flow Solutions, Vedlegg E)

8.3 Antisurgesystem

Flow Solutions ved Kjetil Vatne foreslår Antisurgesystem fra CCC (Compressor Controls Corporation).

Den spesifikke modellen de foreslår er CCC sitt "Series 3 Plus EAS" som vil beskytte kompressoren mot *surge*.

Systemet baserer seg på to analoge signaler fra kompressoren, strømning inn til kompressor og trykk ut av kompressor. Figur 32 viser en skisse over disse to signalene. Systemet vil detektere *surge* hvis en eller begge av de to parameterne går forbi en definert grense. Systemet vil så gi signal til antisurgeventilen om å åpne for å ta kompressoren ut av surgeområdet.



Figur 32 Antisurgesystem (Compressor Controls Corporation, 2010)

Når det kommer til selve ventilen foreslås det en seteventil av merket Arca Valves med modellnummer 8C1-L1. Ventilen har en indre diameter på 4 tommer og trykkklasse 300. Ventilen skal kunne åpne på 2 sekunder eller lavere og ha en Cv, altså strømningskoeffisient på 63.

Ventilkarakteristikken som anbefales er lineær. Dette er den mest brukte karakteristikken for kompressorer og gir tilfredsstillende ventilrespons i hele åpningsområdet for ventilen.

Det er anbefalt at ventilen plasseres så nærme utløpet av kompressoren som mulig for å minimere volumet mellom kompressor og ventil.

8.4 Plassering av kompressor

Plassering av væskeutskiller og kompressor kan by på en utfordring da Ekofisk J har begrenset med plass. Gruppen har vurdert tre forskjellige plasseringer på plattformen, men har avgrenset seg til å kun omtale plassering av selve kompressoren. Rør-ruting må ses nærmere på hvis en velger å gå videre med dette prosjektet. De tre alternativene presenteres her før det gjennomføres en *trade-off* analyse for å finne beste plassering.

Byggemålene for kompressor-skid til LF2190 som Flow Solutions har anbefalt, er 9 m lang, 3m bred og 3,3 m høy.

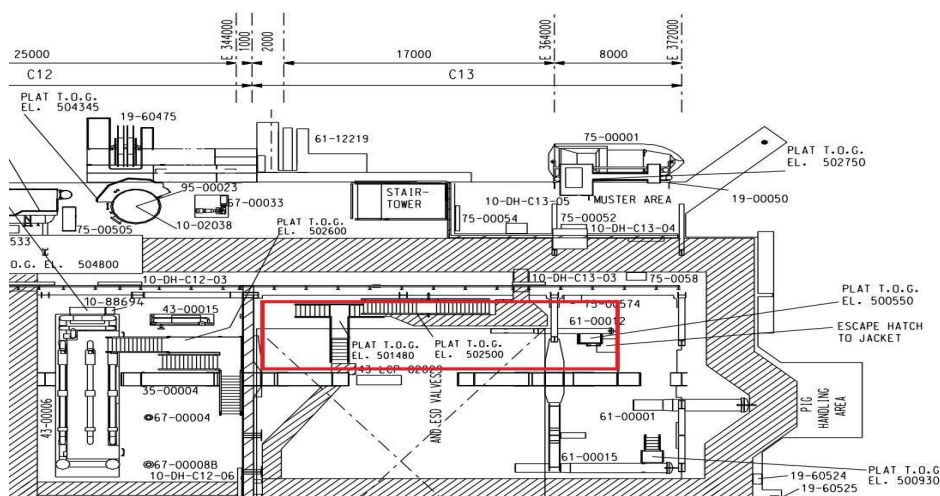
8.4.1 Plattformdekk C-13

Plattformdekk C-13 er en del av det nederste dekket av plattformen, og er dekket hvor stigerør fra Eldfisk gass i dag kommer opp sammen med stigerør fra andre plattformer.

Dekket har ikke plass til mer utstyr per dags dato, men det er mulig hvis en fjerner utstyr som er tatt ut av drift.

Mottakersluse for Tor-plattformen har ikke vært brukt siden Tor ble steng ned i 2016. Det finnes planer for en ny produksjonsinnretning for Tor-feltet, men produksjonen her skal mest sannsynlig tas inn via Ekofisk M. Ved å fjerne mottakersluse og ventiler for rørledning fra Tor, vil en få et ledig areal nord på C-13. Figur 33 viser en tegning over hvor det er tenkt at plasseringen skal være.

Ulempen med å bruke dette arealet, er kostnadene for fjerning av utstyr som står der i dag.



Figur 33 - Forslag 1 til plassering av kompressor (ConocoPhillips, 2018)

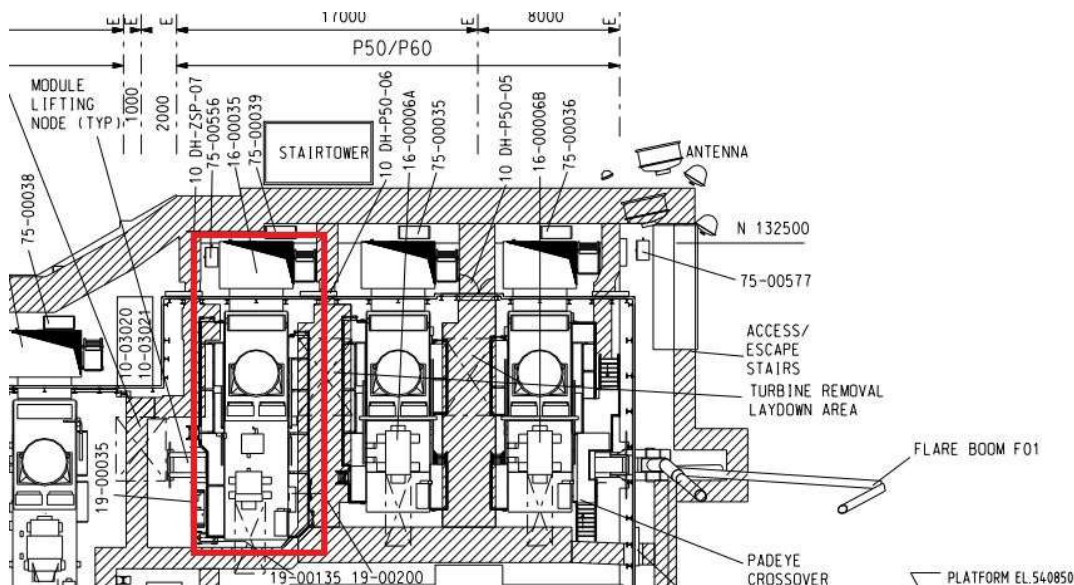
8.4.2 Plattformdekk P-50

På plattformdekk P-50 står det i dag en injeksjonskompressor. Denne brukes ikke, og det er ingen planer om å starte den igjen. Her er det plass til en ny kompressor og også mulighet for å plassere væskeutskiller. Denne tomten er en attraktiv tomt for også andre prosjekter og det må

Ulempene med dette området er blant annet kostnader for fjerning av injeksjonskompressoren, det er allerede relativt høyt risikonivå i området, og plasseringen er langt fra der røret fra Eldfisk kommer inn. Dagens injeksjonskompressor må fjernes slik at det er plass til ny kompressor. FAR-verdien i området er 8,6 hvor prosessulykker bidrar med 6,9 (ConocoPhillips, 2012).

Det må ved denne plasseringen regnes med betydelig høyere utgifter til rør fram til kompressoren.

En fordel med å plassere kompressor og væskeutskiller i dette området er områdeklassifiseringen. Området her er klassifisert som sone 2, det vil si et område det er tillatt med hydrokarboner. Figur 34 viser utsnitt av plantegning for dekk P-50 hvor ny kompressor er markert med rødt.



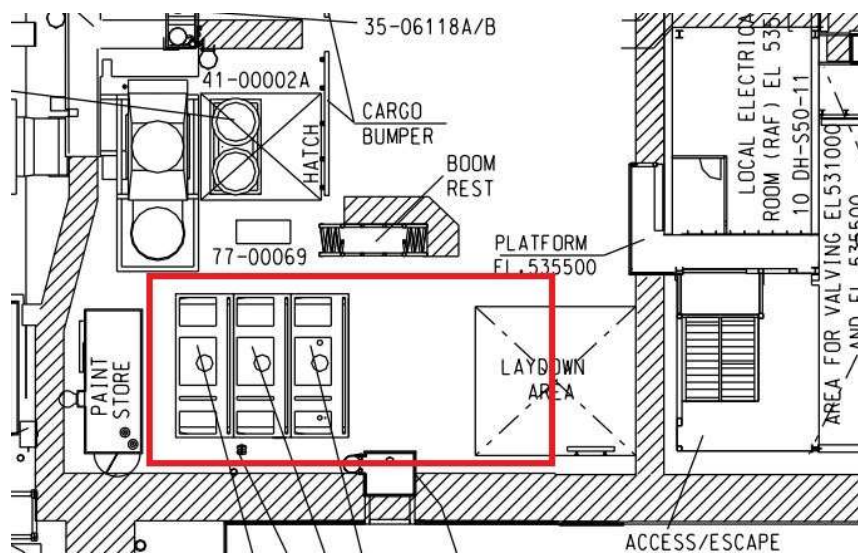
Figur 34 - Forslag 2 til plassering av kompressor (ConocoPhillips, 2018)

8.4.3 Plattformdekk U-50

Plattformdekket U-50 er et uklassifisert område på topp av plattformen. Det står i dag kjemikalietanker for friksjonsreducerende kjemikalier der. Disse er ikke lenger i bruk og kan fjernes.

Ulempen med dette området er at området må klassifiseres om til å kunne ha hydrokarboner for at det skal kunne brukes. En annen ulempe er betydelig rørstrek fra C-13 til U-50.

Figur 35 viser et utsnitt av plantegning for U-50 med kompressor tegnet i rødt.



Figur 35 - Forslag 3 til plassering av kompressor (ConocoPhillips, 2018)

8.4.4 Trade-off analyse

Gruppen har foretatt en *trade-off* analyse for å vurdere de ulike plasseringene av kompressoren og væskeutskilleren på plattformen.

En *trade-off* analyse er en optimering av et problem gjennom en avveielse av problemets elementer. Den innebærer at en gir hver av kriteriene som ligger til grunn for en avgjørelse et vektall mellom 1 og 10. De forskjellige alternativene får så en karakter fra 1 til 10 for hvert av kriteriene. Til slutt regnes det ut en vektet karakter for de forskjellige alternativene. Høyeste verdi gir best karakter.

Følgende formel brukes for å beregne vektingen i trade-off analysen:

$$(R)_i = \frac{\sum_{j=1}^n v_j * k_{i,j}}{\sum_{j=1}^n v_j}$$

R=vektet karakter

j= kriterie

k= karakter

v= vektall

Vekttall og karakter blir angitt som et tall fra 1 til 10 der 10 er det høyeste.

Tabell 3 - Trade-off analyse for plassering av kompressor

Kriterie	Vekttall	C-13	P-50	U-50
Kostnad for rydding/fjerning av eksisterende utstyr	7	8	4	2
Tilgjengelig plass	8	7	8	8
FAR-verdi i dag (prosess)	8	6	3	8
Rørstrekk nødvendig	4	10	2	2
Områdeklassifisering	9	10	10	1
Sum	36	34	19	13
Snittkarakter		8,2	5,4	4,2
Vektet karakter		8,06	5,94	4,42

Ut ifra *trade-off* analysen ser man at av de alternativene gruppen foreslår, er det dekk C-13 ved dagens mottakersluse for Tor som får best uttelling. Gruppen anbefaler derfor å bruke området ved Tor mottakersluse. Bildet i Figur 36 på neste side viser området på C-13 som kompressor kan plasseres på.



Figur 36 Mottakersluse for Tor på C-13 (Foto tatt av gruppen med tillatelse fra ConocoPhillips)

8.5 Energiforbruk

Kompressorens energibehov er på 1789,9 kW, dette er inkludert mekaniske tap som forekommer i gir og overføringer. Denne verdien er hentet fra punkt 36 i Sundynes dokumentasjon på LF-2190, som finnes i [Vedlegg E].

Strømnettet på Ekofisk og Eldfisk er koblet sammen. Ved normale forhold går det to gassturbiner av typen LM2500 på Ekofisk, og en dampturbin på Eldfisk. Disse kan levere en samlet effekt på 54 MW. På grunn av at dampturbin på Eldfisk leverer maksimalt i dag, er det gassturbinene på Ekofisk J som må ta en eventuell økt last som følge av ny kompressor.

Informasjon hentet fra Norsk olje & gass forteller at 1000 Sm³ brenngass vil gi om lag 3500 kW elektrisitet for en time med en gassturbin (Norsk olje&gass, 2018). Denne informasjonen er brukt til å beregne hvor mye brenngass som må til per døgn for å drive kompressoren.

$$1000 \text{ Sm}^3 \approx 3500 \text{ kWh}$$

For å estimere hvor mye brenngass som trengs, divideres begge sider av ligningen med 3500 kWh, og deretter multipliseres dette med kompressorens energibehov:

$$\frac{1000 \text{ Sm}^3}{3500 \text{ kWh}} * 1789,9 \text{ kW} = 511,4 \text{ Sm}^3/\text{h}$$

Multipliserer dette med 24 for å finne nødvendig brenngassmengde for et døgn drift:

$$511,4 \text{ Sm}^3/\text{h} * 24 \text{ h}/\text{d} = \underline{\underline{12273,6 \text{ Sm}^3/\text{d}}}$$

8.6 Installasjon

Installasjon av kompressorsystemet bør gjøres i forkant av en revisjonstans. På den måten kan selve oppkoblingen mot eksisterende systemer gjøres når anlegget allikevel er nedstengt og avblødd.

8.7 Økonomi

8.7.1 Kostnader ved innkjøp og installasjon

Gruppen har fått oppgitt pris på deler av komponentene i et nytt system. Disse prisene er ikke endelige og kan avvike en del fra den endelige prisen. Når det kommer til total kostnader for å installere systemet og få det i drift er det vanskelig å estimere endelig pris. Gruppen har brukt en forenkling som sier at total kostnaden blir 10 ganger innkjøpskostnad⁵.

Kompressor LF2190 levert av Flow Solutions kommer med en minstepris på 10 mill. NOK. Elektrisk motor kommer på rundt 2,5 mill. NOK. Dette er uten eventuelt ekstrautstyr som er ønsket av kunden. Inkludert leveranse av antisurgesystem estimerer gruppen en pris på 22,5 mill. NOK for kompressor med motor og utstyr.

Væskeutskiller levert av Schlumberger inkludert innmat og utstyr er estimert til 1,824 mill. NOK.

Gruppen har gjort en avgrensing ved ikke å ta med kostnader for røropplegg, ventiler og annet som trengs i systemet. Det er heller ikke tatt med pris for kjøler i systemet.

I Tabell 4 vises en oversikt over innkjøpspris:

Tabell 4 - Innkjøpspris

Utgift	Pris [NOK]
Kompressor LF2190 inkludert antisurgesystem	20 000 000
El. Motor fra ABB	2 500 000
Væskeutskiller med innmat fra Schlumberger	1 824 000
Sum	24 324 000

⁵ Informasjon fra Clive Wilson

Ved å multiplisere innkjøpsprisen med 10, har gruppen estimert at totalkostnaden kommer på 243 240 000 NOK for installasjon av kompressor og væskeutskiller.

8.7.2 Økte inntekter

Det er flere faktorer som spiller inn med tanke på gevinst av å installere en kompressor for å erstatte dagens ejetorer. Gruppen har avgrenset til å se på den umiddelbare effekten av å kunne ha bedre kapasitet på LP-systemet og nedgang i produksjon som følge av at en ikke får høyere kapasitet til løftegass.

8.7.2.1 Mer kapasitet på LP-system

Den umiddelbare effekten av å kunne flytte brønner på Ekofisk fra HP-trykk til LP-trykk er som nevnt i kapittel 3.1, 33 Sm³/d høyere oljeproduksjon. Det vil med en oljepris på 70 dollar/fat utgjøre omtrent 115 000 NOK/døgn. Dette tallet er noe usikkert da det er mulig at en fremdeles er nødt til å kjøre noe gass til LP-system for å holde trykket på LP Separator stabilt. Av den grunn tas ikke dette tallet med i totalvurderingen av økte inntekter.

8.7.2.2 Mer behov for løftegass

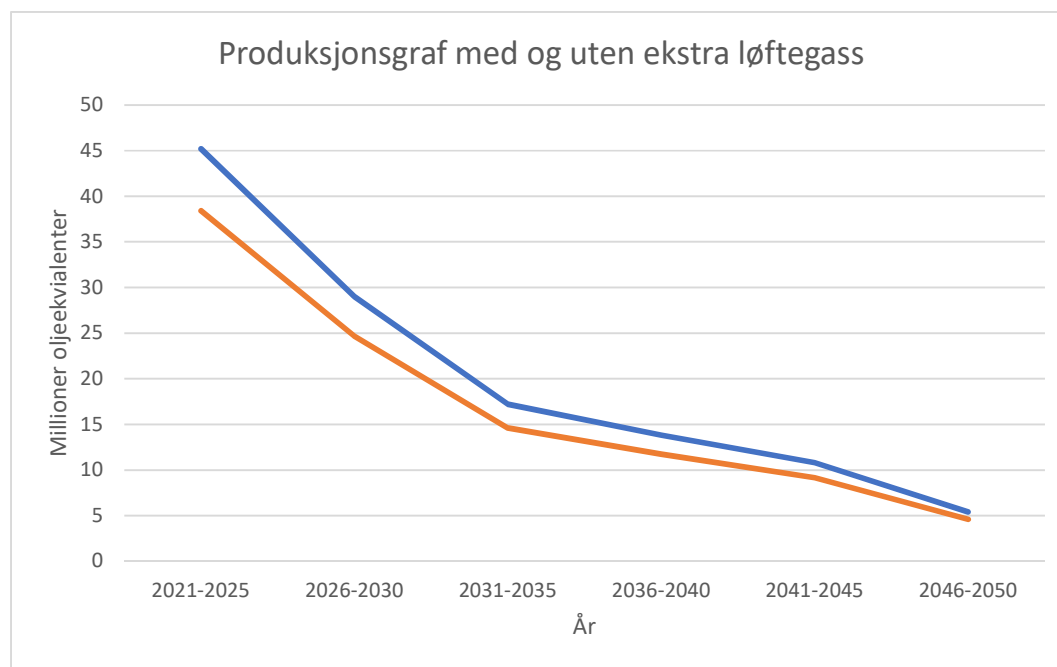
Med dagens produksjonsprosjekter for Ekofisk, er det beregnet å kunne produsere frem mot 2050, men produksjonen vil gradvis avta frem mot da. Gruppen har etter diskusjon med PDC utført en enkel estimering av produksjonen fra Ekofisk i årene fra 2021 til 2050. Disse tallene og estimatene er studentberegninger og antagelser, og må ikke forveksles med ConocoPhillips og de andre lisenseierne sine offisielle tall.

Brønner som produserer over tid har stort sett behov for løftegass. Brønnene blir tyngre med høyere vannkutt. Gruppen har gjort en forenkling og sier at hvis en ikke har kapasitet til å øke løftegassmengden til over 10 MSm³/d vil en i gjennomsnitt ha 20 % lavere gassløftkapasitet enn det en har behov for som beskrevet i kapittel 3.2. Videre sier vi at 15 % av brønnene som kunne produsert hvis de hadde hatt løftegass, ikke vil kunne produsere uten løftegass eller produserer mindre. Dette er et noe grovt overslag, da noen brønner klarer seg helt uten løftegass, men gruppen har ikke kunnskap og kapasitet til å gå gjennom alle brønner på Ekofisk. I Tabell 5 har gruppen estimert gjennomsnittlig produksjon med og uten ekstra løftegass i femårsperioder. Det vises også hvor mye differanse dette utgjør i kroner.

Tabell 5 Produksjonsoverslag

År	Gjennomsnittlig produksjon med ekstra løftegass [mill. fat]	Gjennomsnittlig produksjon uten ekstra løftegass [mill. fat]	Differanse [mill. fat]	Differanse [NOK]
2021-2025	45,2	38,42	6,78	14 238 000 000,00
2026-2030	29	24,65	4,35	9 135 000 000,00
2031-2035	17,2	14,62	2,58	5 418 000 000,00
2036-2040	13,8	11,73	2,07	4 347 000 000,00
2041-2045	10,8	9,18	1,62	3 402 000 000,00
2046-2050	5,4	4,59	0,81	1 701 000 000,00
Totalt				kr 38 241 000 000,00

I Figur 37 vises en grafisk fremstilling av hvordan produksjonen vil være med og uten ekstra løftegass. Som man ser av grafen er det betydelig forskjell med 20 % ekstra løftegass. Tabell 5 viser at den potensielle differansen gruppen har kommet frem til i inntekt fra 2021 til 2050 blir omtrent 38 mrd. NOK. Regnestykket er utført med å regne med en dollarvaluta på 6 NOK/USD og oljepris på 70 dollar/fat



Figur 37 - Produksjonsgraf med og uten ekstra løftegass

9 Diskusjon og forslag til videre arbeid

9.1 Diskusjon

Dagens løsning med ejektorer for å importere Eldfisk gass til Ekofisk fungerer bra per dags dato, men effektiviteten på ejektorene er kun på rundt 16 %, som er dårlig i forhold til en kompressor. Dette er ikke noe problem så lenge "drivstoffet" er gass som bare blir resirkulert i systemet. Når en i fremtiden er nødt til å kjøre mer gass videre i systemet til løftegass, er ejektorene en dårlig løsning som binder opp mye kapasitet. Det er også noen utfordringer med at det er vanskelig å regulere nøyaktig strømning med ejektorene.

Gruppen har foreslått en løsning for å installere en ny kompressor med væskeutskiller. I rapporten er det også et forslag om å installere en omløpsventil rundt kompressoren til HP-systemet, som kan brukes under pigging.

Flow Solutions har kommet med en anbefaling om å bruke Sundyne LF2190 som kompressor. Gruppen vurderer denne kompressoren til å kunne fungere bra for dette formålet ut fra forholdene som omtales i kapittel 7.1.1. En utfordring ved å bruke denne kompressoren er volumet den opptar. Slik gruppen ser det vil den beste plasseringen av kompressoren være på plattformdekk C-13 ved mottakslusen for Tor.

Når det kommer til væskeutskiller har gruppen fått et forslag fra Schlumberger for en vertikal tofase separator. Diameteren til denne separatoren avviker noe fra beregninger gruppen har gjort i kapittel 7.1.2.1, dette er på grunn av at beregningene gruppen har gjort baserer seg på en antatt største tillatte dråpestørrelse, som påvirker separasjonskonstanten i beregningen. Innløpsarrangement, koaliseringsenhet og dråpeutskiller er av samme type som gruppen har anbefalt i kapittel 7.1.2. Denne vil, slik gruppen ser det, fungere bra for formålet. Ulempen er, som for kompressor, å finne rett plassering på plattformen. Rapporten har ikke tatt for seg plassering av væskeutskiller.

En eventuell installasjon av kompressor og væskeutskiller er beregnet til å koste 240 mill. NOK. Dette er et veldig grovt overslag og det kan bli høyere enn dette. Gruppen har sett på økte inntekter som følge av installasjon av kompressor og kommet fram til at en vil kunne tjene 38 mrd. NOK mer i årene mellom 2021 og 2050. Da har en neglisjert bidraget fra økt

kapasitet på LP-system, da det er usikkert om det er teknisk mulig, og kun sett på fordelene med økt løftegass. Ut ifra dette anbefaler gruppen å gjennomføre modifikasjonen.

9.2 Forslag til videre arbeid

Denne rapporten har ikke tatt med alle aspekter ved vurderinger rundt et nytt system for import av Eldfisk gass. Det er flere områder en bør fokusere på for å grundigere komme med en anbefaling. Dette inkluderer blant annet:

- Hvis en velger å gå for Sundyne LF2190 er plass et problem. Det skal være mulig å plassere kompressor på C-13 ved Tor-sluse, men en bør også vurdere andre plasseringer.
- En bør vurdere å se på andre kompressorer som tar opp mindre plass. Sundyne leverer kompressorer av LMC-serien som er vertikalbygde. Disse er akkurat litt utenfor arbeidsområdet Eldfisk kompressor skal ha, som kan ses i Figur 29, men det bør undersøkes om andre leverandører kan levere dette.

Fremtiden for Eldfisk-feltet er ikke endelig bestemt og det er mulig at det kommer andre produksjonsinnretninger på feltet i fremtiden. Dette vil kunne påvirke valget av kompressor ut ifra volumstrøm og komposisjon på gassen.

Nye felter som Tor 2 og Tommeliten vil ha en innvirkning på gassprosessen ved Ekofisk J. Rapporten har nevnt at disse vil kunne komme inn i fremtiden, men det er ikke tatt høyde for det med tanke på kapasiteter i anlegget. Før en går for en ny kompressor bør en ta en totalvurdering for hvordan LP-trinn og HP-trinn ved Ekofisk J blir hvis disse feltene også kommer inn.

Rapporten har hatt fokus på at en får høyere kapasitet i gasstoget ved Ekofisk J ved å fjerne flaskehalsen i HP-systemet. En eventuell kapasitetsendring i HP-trinnet vil også ha innvirkning på resten av gasstoget. Det bør gjennomgås hvordan gasstørkingsanlegg og duggpunktanlegg må modifiseres for å kunne håndtere en høyere volumstrøm av gass.

Økonomiberegningen som er gjort er i en viss grad basert på antagelser, både når det kommer til utgifter og inntekter. Dette må ses grundigere på før en beslutning om ny kompressor skal tas.

10 Konklusjon

Målsettingen til gruppen har vært å analysere dagens løsning med ejektorer og presentere en studie av en mulig ny kompressor som skal erstatte dagens ejektorer på Ekofisk J. Studien skulle se på tekniske og økonomiske aspekter rundt en ny kompressor. Vedrørende de tekniske aspektene har gruppen vurdert plassering, prosess tekniske hensyn, sikkerhet og type kompressor.

Gruppen foreslår en løsning der væsken skilles ut av gassen ved hjelp av en vertikal tofase separator fra Schlumberger. Denne er 4 meter høy og har en diameter på 1 meter. Innløpsarrangementet til væskeutskilleren er en ledeplate av typen ConSepT IVD, dråpeutskilleren er en aksialstrømsyklon av typen ConSepT DC80, og det anbefales å benytte *mesh pad* som koaliseringsenhet.

Anbefalt kompressor er en Pinnacle LF-2190 fra Sundyne. Dette er en ett-trins sentrifugalkompressor som, komplett med hjelpesystemer, vil måle 9 meter i lengde, 3 meter i bredde og 3,3 meter i høyde. Gruppen har gjennomført en *trade-off* analyse og anbefaler å plassere kompressoren på plattformdekk C-13 hvor mottakersluse for Tor står idag.

Antisurgesystemet som anbefales er "Series 3 Plus EAS" fra leverandøren CCC med seteventil fra Arca Valves med modellnummer 8C1-L1.

Det er tilstrekkelig kapasitet i det eksisterende strømmettet på Ekofisk og Eldfisk til å dekke energiforbruket til kompressoren på 1789,9 kWh, men det vil føre til 12273,6 Sm³/d i høyere brenngassforbruk.

Gruppen har beregnet at innkjøp og installasjon av kompressor og væskeutskiller vil ha en totalpris på 240 mill. NOK. Når det kommer til økte inntekter har gruppen sett på økt kapasitet på LP-system og økt behov for løftegass. Det er usikkert om det er mulig å øke kapasiteten på LP-system, derfor er denne inntekten neglisjert i totalen. Ved å få 20 % høyere løftegassmengde i årene fra 2020 til 2050 beregnes det at en vil kunne tjene rundt 38 mrd. NOK.

11 Referanser

- ABB. (2004). *Process Calculations Report for the Ejector Systems on EKOJ*. Stavanger: ABB.
- Asheim, H. (1985). *Petroleumsproduksjon og prosessering på plattformen*. Trondheim.
- Austrheim, T. (2006). *Experimental Characterization of High-Pressure Natural Gas Scrubbers*. Bergen: Universitetet i Bergen.
- Byberg, Ø. (2017, 3 27). *Hegnar.no*. Hentet fra Hegnar:
<http://www.hegnar.no/Nyheter/Energi/2017/03/Vil-ha-fortgang-i-utbygging-av-felt>
- Campbell, J. (2014). *Gas Conditioning and Processing*. Norman: Campbell Petroleum Series.
- Campbell, J. M. (2015, 09 01). *Gas-Liquid Separators Sizing Parameter*. Hentet fra PetroSkills: <http://www.jmcampbell.com/tip-of-the-month/2015/09/gas-liquid-separators-sizing-parameter/>
- Compressor Controls Corporation. (2010). Compressor Antisurge Control System Description.
- ConocoPhillips. (2012). *QRA-Rapport*.
- ConocoPhillips. (2018, 3 5). *ConocoPhillips*. Hentet fra ConocoPhillips:
www.conocophillips.no
- ConocoPhillips. (2018, 1 12). *Controlling Documents & Training*. Tananger, Rogaland, Norge.
- ConocoPhillips. (2018, 3 15). *PiWeb*. Tananger, Rogaland, Norge.
- ConocoPhillips. (2018). *Produksjonsavdeling*. Tananger, Rogaland, Norge.
- Fluid-Aire Dynamics. (2016, 12 12). *Fluid Aire Dynamics*. Hentet fra
<http://www.fluidairedynamics.com/when-to-choose-variable-speed-drive-or-fixed-speed-air-compressors/>
- Ghanbariannaeni, A. &. (2012, 03 01). *Pipeline & Gas Journal*. Hentet fra
<https://pgjonline.com/magazine/2012/march-2012-vol-239-no-3/features/protecting-a-centrifugal-compressor-from-surge>
- Hitachi. (2018). *Centrifugal Compressors*. Hentet fra
http://www.hitachi.com/businesses/infrastructure/product_site/compressor/products/radial/index.html
- Hyne, N. (2014). *Dictionary of Petroleum Exploration, Drilling and Production*. Tulsa: PennWell Corp.

- Koch-Glitsch. (2018). *Koch-Glitsch*. Hentet fra YORK-EVENFLOW vane inlet device: <http://www.koch-glitsch.com/mistelimination/pages/YORK-EVENFLOW.aspx>
- Kumar, S. (1987). *Gas Production Engineering*. Houston: Gulf Publishing Company.
- Liu, F. (2014, 7 14). Review on Ejector Efficiencies in Various Ejector Systems. *International Refrigeration and Air Conditioning Conference*.
- Manning, F. S., & Thompson, R. E. (1991). *Oilfield Processing of Petroleum: Crude oil*. Tulsa, OK: PennWell Publishing Company.
- ME Mechanical Team. (2016, 04 27). *ME Mechanical*. Hentet fra <https://me-mechanicalengineering.com/comparison-between-reciprocating-and-centrifugal-compressors/>
- Nedregaard, T. (2003). *Produksjon av olje og gass*. Vett&Viten.
- Norsk olje&gass. (2018). *Energiledelse og energieffektivisering på Norsk sokkel*. Hentet fra Energi- og klimaregnskap: <https://energiledelse.norskoljeoggass.no/Energiledelse/Utf%C3%B8re/EnergyClimateAccount>
- NORSOK. (2002, 11 01). NORSOK Standard M-001.
- NORSOK. (2014, 8). *Process System Design. First Edition*. Norsok.
- Oljedirektoratet. (2017, 1 12). *Oljedirektoratet*. Hentet fra npd: <http://www.npd.no/no/Nyheter/Nyheter/2016/Sokkelaret-2016/2-Petroleumsproduksjon/>
- Oljedirektoratet. (2018, 2 10). *Norsk Petroleum*. Hentet fra Ekofisk: <https://www.norskpetroleum.no/fakta/felt/ekofisk/>
- Oljedirektoratet. (2018, 2 10). *Norsk Petroleum*. Hentet fra Eldfisk: <https://www.norskpetroleum.no/fakta/felt/eldfisk>
- Oljefondet. (2018, 3 10). *Oljefondet*. Hentet fra Oljefondet: www.nbim.no
- Oljemuseet. (2018, 2 5). *Kulturminne Ekofisk*. Hentet fra Eldfisk E: http://www.kulturminne-ekofisk.no/modules/module_123/templates/ekofisk_publisher_template_category_1.asp?strParams=7%233%23884%231737%23-1&iCategoryId=614&iInfoId=0&iContentMenuRootId=1008&strMenuRootName=Plattformer&iSelectedMenuItemId=1420&iMin=138&iMax
- Petro.no. (2017, 10 17). *Petro.no*. Hentet fra Petro: <https://petro.no/conocophillips-planlegger-reutvikling-tor-feltet/60261>
- Pettersen, S. B. (2017). *Prosjektering av prosessanlegg for olje og gass*. Haugesund: HVL.

- Simms, J. (2009). *Fundamentals of Turboexpanders "Basic Theory and design"*. Santa Maria, CA: Simms Machinery International.
- Snow-McGregor, K. (2014, 12 1). *Petroskills*. Hentet fra Petroskills:
<http://www.jmccampbell.com/tip-of-the-month/2014/12/troubleshooting-gas-liquid-separators-removal-of-liquids-from-the-gas/>
- Sorokes, J. M. (2013, 6). *The Global Home of Chemical Engineers*. Hentet fra Aiche:
<https://www.aiche.org/sites/default/files/cep/20130644.pdf>
- Stewart, M., & Arnold, K. (2008). *Gas-Liquid And Liquid-liquid Separators*. Houston: Gulf Publishing Company.
- Sundyne. (2017). *Sundyne*. Hentet fra Pinnacle LF-2000:
<http://www.sundyne.com/Products/Model-Locator/Pinnacle-LF-2000>
- Wikimedia Commons. (2018, 01 31). *Wikimedia Commons*. Hentet fra Labyrinth Seal:
https://en.wikipedia.org/wiki/Labyrinth_seal

12 Vedlegg

Vedlegg A: P&ID-tegninger for eksisterende anlegg ved Ekofisk J

Vedlegg B: HYSYS-rapporter

Vedlegg C: P&ID av nytt kompresjonsystem for Eldfisk. Laget av gruppen

Vedlegg D: Bestemmelse av kompressibilitetsfaktor

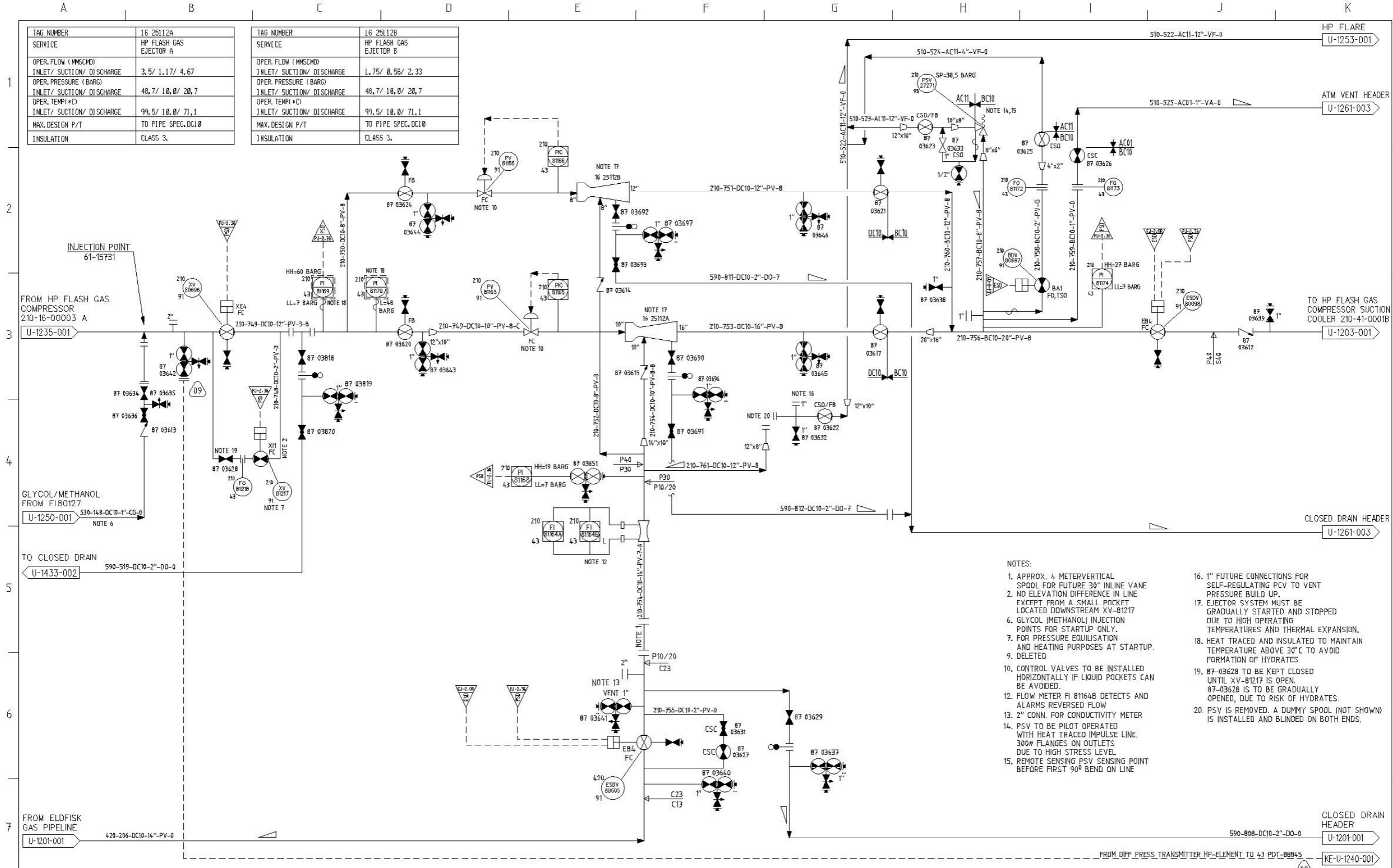
Vedlegg E: Dokumentasjon på Sundyne LF-2190 fra Flow Solutions

Vedlegg F: Teknisk tegning av Sundyne LF-2140 med fysiske mål

Vedlegg G: Standing-Katz kompressibilitetsdiagram

Vedlegg H: Teknisk tegning av væskeutskiller

**Vedlegg A: P&ID-tegninger
for eksisterende
anlegg ved Ekofisk J**



TAG NUMBER	SERVICE	TAG NUMBER	SERVICE
16 25112A	HP FLASH GAS EJECTOR A	16 25112B	HP FLASH GAS EJECTOR B
OPER. FLOW (MMSCMD)	3.5/ 1.17/ 4.67	OPER. FLOW (MMSCMD)	1.75/ 0.56/ 2.33
INLET/ SUCTION/ DISCHARGE		INLET/ SUCTION/ DISCHARGE	
OPER. PRESSURE (BAR)	48,7/ 18,0/ 20,7	OPER. PRESSURE (BAR)	48,7/ 18,0/ 20,7
INLET/ SUCTION/ DISCHARGE		INLET/ SUCTION/ DISCHARGE	
OPER. TEMP (°C)	99,5/ 18,0/ 71,1	OPER. TEMP (°C)	99,5/ 18,0/ 71,1
INLET/ SUCTION/ DISCHARGE		INLET/ SUCTION/ DISCHARGE	
MAX. DESIGN P/T	TO PIPE SPEC. DC10	MAX. DESIGN P/T	TO PIPE SPEC. DC10
INSULATION	CLASS 3.	INSULATION	CLASS 3.

- NOTES:
- APPROX. 4 METERVERTICAL SPOOL FOR FUTURE 30" INLINE VANE
 - NO ELEVATION DIFFERENCE IN LINE EXCEPT FROM A SMALL POCKET LOCATED DOWNSTREAM XV-81217
 - GLYCOL (METHANOL) INJECTION POINTS FOR STARTUP ONLY.
 - FOR PRESSURE EQUILISATION AND HEATING PURPOSES AT STARTUP.
 - DELETED
 - CONTROL VALVES TO BE INSTALLED HORIZONTALLY IF LIQUID POCKETS CAN BE AVOIDED.
 - FLOW METER FI 81164B DETECTS AND ALARMS REVERSED FLOW
 - 2" CONN. FOR CONDUCTIVITY METER
 - PSV TO BE PILOT OPERATED WITH HEAT TRACED IMPULSE LINE. 300# FLANGES ON OUTLETS DUE TO HIGH STRESS LEVEL
 - REMOTE SENSING PSV SENSING POINT BEFORE FIRST 90° BEND ON LINE
 - 1" FUTURE CONNECTIONS FOR SELF-REGULATING PCV TO VENT PRESSURE BUILD UP.
 - EJECTOR SYSTEM MUST BE GRADUALLY STARTED AND STOPPED DUE TO HIGH OPERATING TEMPERATURES AND THERMAL EXPANSION.
 - HEAT TRACED AND INSULATED TO MAINTAIN TEMPERATURE ABOVE 30°C TO AVOID FORMATION OF HYDRATES
 - 87-03628 TO BE KEPT CLOSED UNTIL XV-81217 IS OPEN. 87-03628 IS TO BE GRADUALLY OPENED, DUE TO RISK OF HYDRATES.
 - PSV IS REMOVED. A DUMMY SPOOL (NOT SHOWN) IS INSTALLED AND BLINDED ON BOTH ENDS.

REV. No.	DESCRIPTION OF REVISION	ISSUE DATE	MADE BY	CHK'D BY	DISC. APPR.	PROJ. APPR.	CLIENT APPR.	REV. No.	DESCRIPTION OF REVISION	ISSUE DATE	MADE BY	CHK'D BY	DISC. APPR.	PROJ. APPR.	CLIENT APPR.
01	AS BUILT CM-500000003025	03.04	BTS	MSR	GHa			06	AS BUILT CM-500000015058	01.15	LH	VT	POH		
02	AS BUILT CM-500000006300	11.2006	SWT	JS	KL	SAN		07	AS BUILT CM-500000015806	07.15	Sw	EM	ISm		Cw
03	AS BUILT CM-500000006739	07.2007	SW	JEA	BD	TB		08	AS BUILT CM-500000017571	06.17	AAA	PIR			PDH
04	AS BUILT CM-500000008887	07.11	RP	BH	BH			09	AS BUILT CM-500000017460	08.17	KG	JV			PDH
05	AS BUILT CM-500000010688	11.13	JM	KM	POH										

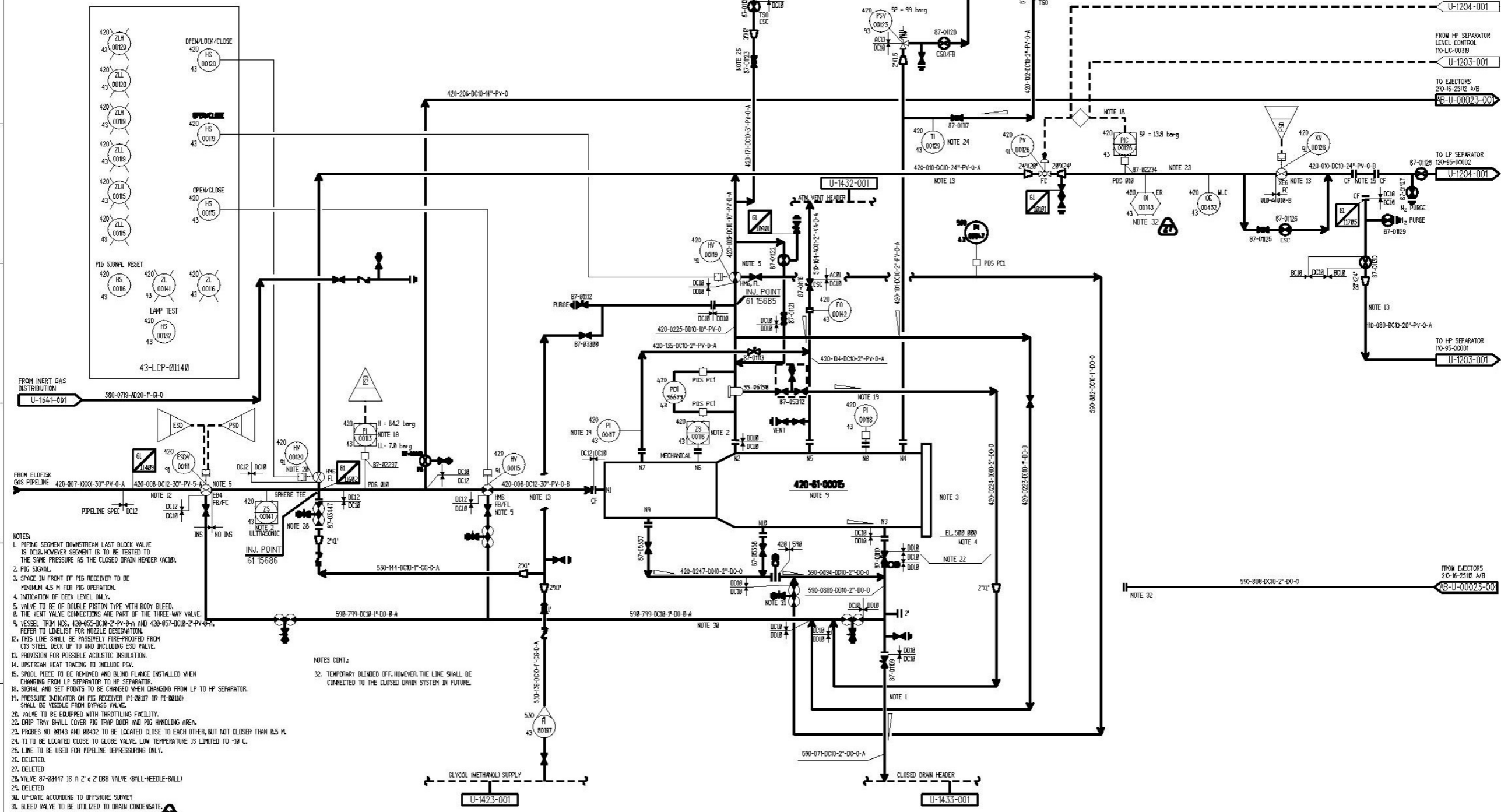


PROCESS P&ID
HP FLASH GAS EJECTOR SYSTEM

REGISTRATION CODES				DRAWING NO.			SIZE	SCALE	
PROJECT No.	AREA	SYSTEM	SUB TYPE	FACILITY	ORIG.	IDISP.	SEQ. No.	SHEET	REV.
EKOJ	S00	210	UE	EKOJ	AB	U	00023	001	09

LURAHYRVEIEN 65 PB. 1200 - 4391 SANDNES

TAG NUMBER	420-61-00015	TAG NUMBER	35-06159
SERVICE	ELDFISK GAS PIG RECEIVER	SERVICE	CRUDE OIL/PROCESS FLUID FILTER
ID X LENGTH	mm TBA	DIAMETER ID X TT	mm TBA
DESIGN P/T	bar/g°C	DESIGN FLOW Q P/T	m ³ /h 2574
NUMBER OF TRAYS	N/A	PARTICLE SIZE	cm 2
INSULATION	NONE	DES./OPER. P	bar/g 100.2 / 100
FIRE PROTECTION	NONE	DES./OPER. T	deg C 50 / 35
INTERNAL LINING	NONE	INS. CLASS/THICK.	mm NONE
		MATERIAL	22C-DUPLEX
		VENDOR	TBA
		PURCHASE NUMBER	TBA



- NOTES:
1. PIPING SEGMENT DOWNSTREAM LAST BLOCK VALVE IS DC12, HOWEVER SEGMENT IS TO BE TESTED TO THE SAME PRESSURE AS THE CLOSED DRAIN HEADER (AC18).
 2. PIG SIGNAL.
 3. SPACE IN FRONT OF PIG RECEIVER TO BE MINIMUM 4.5 M FOR PIG OPERATION.
 4. INDICATION OF DECK LEVEL ONLY.
 5. VALVE TO BE OF DOUBLE PISTON TYPE WITH BODY BLEED.
 6. THE NEW VALVE CONNECTIONS ARE PART OF THE THREE-WAY VALVE.
 7. VESSEL TRIM NOS. 420-055-DC10-2'-PV-0-A AND 420-057-DC10-2'-PV-0-A REFER TO LINES LIST FOR NOZZLE DESIGNATION.
 8. THIS LINE SHALL BE PASSIVELY FIRE-PROOFED FROM C13 STEEL DECK UP TO AND INCLUDING ESD VALVE.
 9. PROVISION FOR POSSIBLE ACOUSTIC INSULATION.
 10. UPSTREAM HEAT TRACING TO INCLUDE PSH.
 11. SPOOL PIECE TO BE REMOVED AND BLIND FLANGE INSTALLED WHEN CHANGING FROM LP SEPARATOR TO HP SEPARATOR.
 12. SIGNAL AND SET POINTS TO BE CHANGED WHEN CHANGING FROM LP TO HP SEPARATOR.
 13. PRESSURE INDICATOR ON PIG RECEIVER (PI-00017 OR PI-00018) SHALL BE VISIBLE FROM OFFSHORE SURVEY.
 14. VALVE TO BE EQUIPPED WITH THROTTLING FACILITY.
 15. DRIP TRAY SHALL COVER PIG TRAP DOOR AND PIG HANDLING AREA.
 16. PROBES NO 00043 AND 00042 TO BE LOCATED CLOSE TO EACH OTHER, BUT NOT CLOSER THAN 0.5 M.
 17. TI TO BE LOCATED CLOSE TO GLOBE VALVE. LOW TEMPERATURE IS LIMITED TO -10 C.
 18. LINE TO BE USED FOR PIPELINE DEPRESSURING ONLY.
 19. DELETED.
 20. DELETED.
 21. VALVE 87-03447 IS A 2" x 2" DDB VALVE (BALL-NEEDLE-BALL).
 22. DELETED.
 23. UP-DATE ACCORDING TO OFFSHORE SURVEY.
 24. BLEED VALVE TO BE UTILIZED TO DRAIN CONDENSATE.
 25. MICROCOR CORROSION MONITORING SYSTEM.
- NOTES CONT:
26. TEMPORARY BLINDED OFF, HOWEVER THE LINE SHALL BE CONNECTED TO THE CLOSED DRAIN SYSTEM IN FUTURE.

REV. NO.	DESCRIPTION OF REVISION	ISSUE DATE	MADE BY	CHKD BY	DISG. APPR.	PROJ. APPR.	CLIENT APPR.	REV. NO.	DESCRIPTION OF REVISION	ISSUE DATE	MADE BY	CHKD BY	DISG. APPR.	PROJ. APPR.	CLIENT APPR.
27	AS BUILT	09.16	SW	SIL	BARLOE	CW		21	AS BUILT	26.03.2008	PP	JF	TB		
19	AS BUILT	09.05	TGA	SB	JPN			24	AS BUILT	06.01.2005	LARUE	SL	INSHE	CW	
28	INJECTIONPOINTS ADDED	06.09	LS	TB	TR			26	AS BUILT	09.16	LARUE	RL	INS12	CW	

DRAWING TO BE 'AS-BUILT'

Kværner Engineering a.s
 Elfisk Development Project 2/AJ
 Joint Engineering Team
 Project No 309 Contract No 04-010-10F


DWG. No.	KE-U-201-001	REF. DRAWING TITLE	FOR BIDS
	SEC 010A GAS PIG RECEIVER		FOR CONST
DWG. No.		REF. DRAWING TITLE	
DATE	09/16/08	SCALE	


PROCESS PFD DIAGRAM
ELDFISK GAS PIG RECEIVER


PHILLIPS PETROLEUM COMPANY NORWAY


AFE/NO	EKOJ	REGISTRATION CODES	SYSTEM	UAE	DRAWING NO.	KE-U-201-001	SHEET	27

Vedlegg B: HYSYS-rapporter

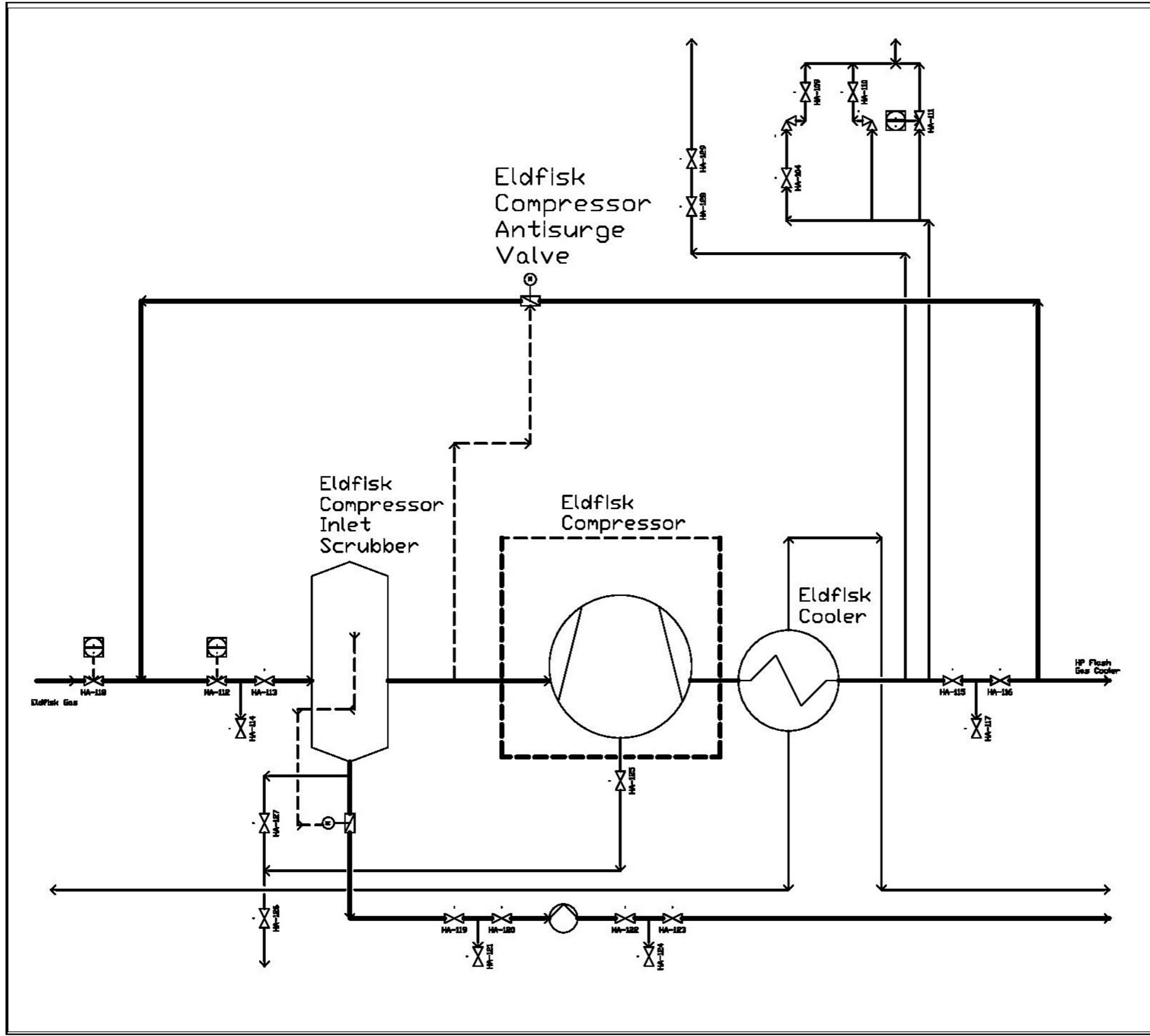
1	 HOGSKOLEN I BERGEN Bedford, MA USA		Case Name: eldfisk kompressor 20% med varmeveksler.hsc			
2			Unit Set: NewUser4i2			
3			Date/Time: Mon Apr 30 15:03:30 2018			
4						
5						
6	Workbook: Case (Main)					
7						
8						
9	Material Streams Fluid Pkg: All					
10						
11	Name	Inn til kompressor	Gass fra Eldfisk	Væske ut av scrubber	Til Hp Flash Gas Cool	Recycle inn til T-stykk
12	Vapour Fraction	1.0000	0.9851	0.0000	0.9929	0.9962
13	Temperature (C)	10.25	12.00 *	10.25	12.00	2.488 *
14	Pressure (bar)	11.00	11.00 *	11.00	22.00	11.00 *
15	Molar Flow (kgmole/h)	3827	3110 *	49.91	3062	767.4 *
16	Mass Flow (kg/h)	8.335e+004	6.896e+004	2323	6.668e+004	1.671e+004
17	Liquid Volume Flow (m3/h)	233.3	189.8	3.300	186.7	46.78
18	Heat Flow (kW)	-9.312e+004	-7.760e+004	-3249	-7.487e+004	-1.877e+004
19	Name	Recycle etter antisurg	Recycle før antisurgev	Ut av kompressor	Ut av kjøler	Inn til Scrubber
20	Vapour Fraction	0.9962	0.9929	1.0000	0.9929	0.9871
21	Temperature (C)	2.488	12.00	64.77	12.00 *	10.25
22	Pressure (bar)	11.00 *	22.00	22.00 *	22.00 *	11.00
23	Molar Flow (kgmole/h)	765.5	765.5	3827	3827	3877
24	Mass Flow (kg/h)	1.667e+004	1.667e+004	8.335e+004	8.335e+004	8.567e+004
25	Liquid Volume Flow (m3/h)	46.66	46.66	233.3	233.3	236.6
26	Heat Flow (kW)	-1.872e+004	-1.872e+004	-9.077e+004	-9.359e+004	-9.637e+004
27	Name	Sjøvann inn	Sjøvann ut			
28	Vapour Fraction	0.0000	0.0000			
29	Temperature (C)	6.000 *	50.00 *			
30	Pressure (bar)	10.00 *	6.000			
31	Molar Flow (kgmole/h)	2973	2973			
32	Mass Flow (kg/h)	5.356e+004	5.356e+004			
33	Liquid Volume Flow (m3/h)	53.67	53.67			
34	Heat Flow (kW)	-2.369e+005	-2.341e+005			
35	Compositions Fluid Pkg: All					
36						
37	Name	Inn til kompressor	Gass fra Eldfisk	Væske ut av scrubber	Til Hp Flash Gas Cool	Recycle inn til T-stykk
38	Comp Mole Frac (Methane)	0.7662	0.7543 *	0.0241	0.7662	0.7662 *
39	Comp Mole Frac (Ethane)	0.1104	0.1090 *	0.0218	0.1104	0.1104 *
40	Comp Mole Frac (Propane)	0.0585	0.0583 *	0.0448	0.0585	0.0585 *
41	Comp Mole Frac (i-Butane)	0.0055	0.0056 *	0.0111	0.0055	0.0055 *
42	Comp Mole Frac (n-Butane)	0.0204	0.0210 *	0.0598	0.0204	0.0204 *
43	Comp Mole Frac (i-Pentane)	0.0043	0.0048 *	0.0332	0.0043	0.0043 *
44	Comp Mole Frac (n-Pentane)	0.0061	0.0070 *	0.0640	0.0061	0.0061 *
45	Comp Mole Frac (n-Hexane)	0.0023	0.0036 *	0.0830	0.0023	0.0023 *
46	Comp Mole Frac (H2O)	0.0012	0.0092 *	0.5016	0.0012	0.0012 *
47	Comp Mole Frac (CO2)	0.0204	0.0201 *	0.0019	0.0204	0.0204 *
48	Comp Mole Frac (Nitrogen)	0.0036	0.0035 *	0.0000	0.0036	0.0036 *
49	Comp Mole Frac (TEGlycol)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0000 *
50	Comp Mole Frac (C7*)	0.0009	0.0023 *	0.0875	0.0009	0.0009 *
51	Comp Mole Frac (C8*)	0.0002	0.0009 *	0.0440	0.0002	0.0002 *
52	Comp Mole Frac (C9*)	0.0000	0.0003 *	0.0171	0.0000	0.0000 *
53	Comp Mole Frac (C10-C13*)	0.0000	0.0001 *	0.0062	0.0000	0.0000 *
54	Comp Mole Frac (C14-C17*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0000 *
55	Comp Mole Frac (C18-C21*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0000 *
56	Comp Mole Frac (C22-C26*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0000 *
57	Comp Mole Frac (C27-C32*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0000 *
58	Comp Mole Frac (C33-C42*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0000 *
59	Comp Mole Frac (C43-C80*)	0.0000	0.0000 *	0.0000	0.0000	0.0000 *
60						
61						
62						
63						
64						
65						
66						
67						
68						
69	Aspen Technology Inc.		Aspen HYSYS Version 9		Page 1 of 3	

1	 HOGSKOLEN I BERGEN Bedford, MA USA		Case Name: eldfisk kompressor 20% med varmeveksler.hsc			
2			Unit Set: NewUser412			
3			Date/Time: Mon Apr 30 15:03:30 2018			
4						
5						
6	Workbook: Case (Main) (continued)					
7						
8						
9	Compositions (continued)					
10					Fluid Pkg: All	
11	Name	Recycle etter antisurg	Recycle før antisurg	Ut av kompressor	Ut av kjøler	Inn til Scrubber
12	Comp Mole Frac (Methane)	0.7662	0.7662	0.7662	0.7662	0.7567
13	Comp Mole Frac (Ethane)	0.1104	0.1104	0.1104	0.1104	0.1093
14	Comp Mole Frac (Propane)	0.0585	0.0585	0.0585	0.0585	0.0583
15	Comp Mole Frac (i-Butane)	0.0055	0.0055	0.0055	0.0055	0.0056
16	Comp Mole Frac (n-Butane)	0.0204	0.0204	0.0204	0.0204	0.0209
17	Comp Mole Frac (i-Pentane)	0.0043	0.0043	0.0043	0.0043	0.0047
18	Comp Mole Frac (n-Pentane)	0.0061	0.0061	0.0061	0.0061	0.0068
19	Comp Mole Frac (n-Hexane)	0.0023	0.0023	0.0023	0.0023	0.0033
20	Comp Mole Frac (H2O)	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.0076
21	Comp Mole Frac (CO2)	0.0204	0.0204	0.0204	0.0204	0.0202
22	Comp Mole Frac (Nitrogen)	0.0036	0.0036	0.0036	0.0036	0.0035
23	Comp Mole Frac (TEGlycol)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
24	Comp Mole Frac (C7*)	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009	0.0020
25	Comp Mole Frac (C8*)	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0008
26	Comp Mole Frac (C9*)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002
27	Comp Mole Frac (C10-C13*)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001
28	Comp Mole Frac (C14-C17*)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
29	Comp Mole Frac (C18-C21*)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30	Comp Mole Frac (C22-C26*)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
31	Comp Mole Frac (C27-C32*)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
32	Comp Mole Frac (C33-C42*)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
33	Comp Mole Frac (C43-C80*)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
34	Name	Sjøvann inn	Sjøvann ut			
35	Comp Mole Frac (Methane)	0.0000 *	0.0000			
36	Comp Mole Frac (Ethane)	0.0000 *	0.0000			
37	Comp Mole Frac (Propane)	0.0000 *	0.0000			
38	Comp Mole Frac (i-Butane)	0.0000 *	0.0000			
39	Comp Mole Frac (n-Butane)	0.0000 *	0.0000			
40	Comp Mole Frac (i-Pentane)	0.0000 *	0.0000			
41	Comp Mole Frac (n-Pentane)	0.0000 *	0.0000			
42	Comp Mole Frac (n-Hexane)	0.0000 *	0.0000			
43	Comp Mole Frac (H2O)	1.0000 *	1.0000			
44	Comp Mole Frac (CO2)	0.0000 *	0.0000			
45	Comp Mole Frac (Nitrogen)	0.0000 *	0.0000			
46	Comp Mole Frac (TEGlycol)	0.0000 *	0.0000			
47	Comp Mole Frac (C7*)	0.0000 *	0.0000			
48	Comp Mole Frac (C8*)	0.0000 *	0.0000			
49	Comp Mole Frac (C9*)	0.0000 *	0.0000			
50	Comp Mole Frac (C10-C13*)	0.0000 *	0.0000			
51	Comp Mole Frac (C14-C17*)	0.0000 *	0.0000			
52	Comp Mole Frac (C18-C21*)	0.0000 *	0.0000			
53	Comp Mole Frac (C22-C26*)	0.0000 *	0.0000			
54	Comp Mole Frac (C27-C32*)	0.0000 *	0.0000			
55	Comp Mole Frac (C33-C42*)	0.0000 *	0.0000			
56	Comp Mole Frac (C43-C80*)	0.0000 *	0.0000			
57	Energy Streams					Fluid Pkg: All
58						
59	Name	El. motor				
60	Heat Flow (kW)	2347				
61	Unit Ops					
62						
63	Operation Name	Operation Type	Feeds	Products	Ignored	Calc Level
64	Eldfisk Gas Comp	Compressor	Inn til kompressor	Ut av kompressor	No	500.0 *
65			El. motor			
66	Antisurge Valve	Valve	Recycle før antisurgeventil	Recycle etter antisurgeventil	No	500.0 *
67	Eldfisk Gas Scrubber	Separator	Inn til Scrubber	Væske ut av scrubber	No	500.0 *
68				Inn til kompressor		
69	Aspen Technology Inc.		Aspen HYSYS Version 9		Page 2 of 3	

1	 HOGSKOLEN I BERGEN Bedford, MA USA		Case Name: eldfisk kompressor 20% med varmeveksler.hsc			
2			Unit Set: NewUser412			
3			Date/Time: Mon Apr 30 15:03:30 2018			
4						
5						
6	Workbook: Case (Main) (continued)					
7						
8						
9	Unit Ops (continued)					
10						
11	Operation Name	Operation Type	Feeds	Products	Ignored	Calc Level
12	LIC-100	PID Controller			No	500.0 *
13	TEE-100	Tee	Ut av kjøler	Til Hp Flash Gas Cooler	No	500.0 *
14				Recycle før antisurgeventil		
15	RCY-1	Recycle	Recycle etter antisurgeventil	Recycle inn til T-stykke	No	3500 *
16	T-stykke	Mixer	Recycle inn til T-stykke	Inn til Scrubber	No	500.0 *
17			Gass fra Eldfisk			
18	Varmeveksler	Heat Exchanger	Ut av kompressor	Ut av kjøler	No	500.0 *
19			Sjøvann inn	Sjøvann ut		
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30						
31						
32						
33						
34						
35						
36						
37						
38						
39						
40						
41						
42						
43						
44						
45						
46						
47						
48						
49						
50						
51						
52						
53						
54						
55						
56						
57						
58						
59						
60						
61						
62						
63						
64						
65						
66						
67						
68						
69	Aspen Technology Inc.		Aspen HYSYS Version 9		Page 3 of 3	

1	 HOGSKOLEN I BERGEN Bedford, MA USA		Case Name: eldfisk kompressor 20% med varmeveksler.hsc		
2			Unit Set: NewUser412		
3			Date/Time: Mon Apr 30 15:09:00 2018		
4					
5				Fluid Package: Basis-1	
6	Material Stream: Inn til kompressor			Property Package: Peng-Robinson	
7					
8	CONDITIONS				
9					
10		Overall	Vapour Phase	Liquid Phase	Aqueous Phase
11	Vapour / Phase Fraction	1.0000	1.0000	0.0000	0.0000
12	Temperature: (C)	10.25	10.25	10.25	10.25
13	Pressure: (bar)	11.00	11.00	11.00	11.00
14	Molar Flow (kgmole/h)	3827	3827	0.0000	0.0000
15	Mass Flow (kg/h)	8.335e+004	8.335e+004	0.0000	0.0000
16	Std Ideal Liq Vol Flow (m3/h)	233.3	233.3	0.0000	0.0000
17	Molar Enthalpy (kcal/kgmole)	-2.093e+004	-2.093e+004	-4.346e+004	-6.849e+004
18	Molar Entropy (kJ/kgmole-C)	166.2	166.2	86.68	49.77
19	Heat Flow (kW)	-9.312e+004	-9.312e+004	0.0000	0.0000
20	Liq Vol Flow @Std Cond (m3/h)	9.010e+004 *	9.010e+004	0.0000	0.0000
21	PROPERTIES				
22					
23		Overall	Vapour Phase	Liquid Phase	Aqueous Phase
24	Molecular Weight	21.78	21.78	75.25	18.02
25	Molar Density (kgmole/m3)	0.4915	0.4915	8.956	56.53
26	Mass Density (kg/m3)	10.70	10.70	673.9	1019
27	Act. Volume Flow (m3/h)	7788	7788	0.0000	0.0000
28	Mass Enthalpy (kcal/kg)	-961.3	-961.3	-577.6	-3801
29	Mass Entropy (kJ/kg-C)	7.630	7.630	1.152	2.762
30	Heat Capacity (kJ/kgmole-C)	44.08	44.08	154.8	77.77
31	Mass Heat Capacity (kJ/kg-C)	2.024	2.024	2.057	4.316
32	LHV Molar Basis (Std) (J/kgmole)	---	---	---	13.55
33	HHV Molar Basis (Std) (J/kgmole)	---	---	---	4.100e+007
34	HHV Mass Basis (Std) (J/kg)	---	---	---	2.276e+006
35	CO2 Loading	---	---	---	---
36	CO2 App ML Con (kgmole/m3)	---	---	---	---
37	CO2 App WT Con (kgmol/kg)	---	---	---	---
38	LHV Mass Basis (Std) (J/kg)	---	---	---	0.7521
39	Phase Fraction [Vol. Basis]	1.000	1.000	---	---
40	Phase Fraction [Mass Basis]	1.000	1.000	0.0000	0.0000
41	Phase Fraction [Act. Vol. Basis]	1.000	1.000	0.0000	0.0000
42	Mass Exergy (kcal/kg)	64.01	---	---	---
43	Partial Pressure of CO2 (bar)	0.2244	---	---	---
44	Cost Based on Flow (Cost/s)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
45	Act. Gas Flow (ACT_m3/h)	7788	7788	---	---
46	Avg. Liq. Density (kgmole/m3)	16.40	16.40	8.735	55.38
47	Specific Heat (kJ/kgmole-C)	44.08	44.08	154.8	77.77
48	Std. Gas Flow (STD_m3/h)	9.050e+004	9.050e+004	0.0000	0.0000
49	Std. Ideal Liq. Mass Density (kg/m3)	357.2	357.2	657.3	997.9
50	Act. Liq. Flow (m3/s)	0.0000	---	---	0.0000
51	Z Factor	---	0.9499	5.212e-002	8.258e-003
52	Watson K	17.57	17.57	12.55	8.518
53	User Property	---	---	---	---
54	Partial Pressure of H2S (bar)	0.0000	---	---	---
55	Cp/(Cp - R)	1.232	1.232	1.057	1.120
56	Cp/Cv	1.300	1.300	1.057	1.137
57	Heat of Vap. (kcal/kgmole)	3476	---	---	---
58	Kinematic Viscosity (cSt)	1.008	1.008	0.4606	1.267
59	Liq. Mass Density (Std. Cond) (kg/m3)	0.9251	0.9251	669.0	1015
60	Liq. Vol. Flow (Std. Cond) (m3/h)	9.010e+004	9.010e+004	0.0000	0.0000
61	Liquid Fraction	0.0000	0.0000	1.000	1.000
62	Molar Volume (m3/kgmole)	2.035	2.035	0.1117	1.769e-002
63	Mass Heat of Vap. (kcal/kg)	159.6	---	---	---
64	Phase Fraction [Molar Basis]	1.0000	1.0000	0.0000	0.0000
65	Surface Tension (dyne/cm)	---	---	16.44	74.63
66	Thermal Conductivity (W/m-K)	2.835e-002	2.835e-002	0.1054	0.5873
67	Viscosity (cP)	1.079e-002	1.079e-002	0.3104	1.290
68	Aspen Technology Inc. Aspen HYSYS Version 9 Page 1 of 5				
69	Licensed to: HOGSKOLEN I BERGEN			* Specified by user.	

Vedlegg C: P&ID av nytt kompresjonsystem for Eldfisk



General Notes

No.	Revision/Issue	Date

Drawing Name
 Eldfisk compressor
 #####

Project Name and Address
 eldfisk kompressor

 #####

Area #####	Stamp
Drawing Number #####	
Author Vegard	

C:\Users\138172\Downloads\Eldfisk compressor 01.dwg

Vedlegg D: Bestemmelse av kompressibilitetsfaktor

Komponent	Molfraksjon Y	Pseudokritisk trykk (bar)	Y*Pc (bar)	Pseudokritisk temperatur (K)	Y*Tc (K)
Metan	0,7543	45,99	34,690257	190,56	143,739408
Etan	0,1090	48,72	5,31048	305,32	33,27988
Propan	0,0583	42,48	2,476584	369,83	21,561089
i-Butan	0,0056	36,40	0,20384	407,85	2,28396
n-Butan	0,021	37,96	0,79716	425,12	8,92752
i-Pentan	0,0048	33,81	0,162288	460,00	2,208
n-Pentan	0,007	33,70	0,2359	469,70	3,2879
n-Hexan	0,0036	30,25	0,1089	507,60	1,82736
H2O	0,0092	220,64	2,029888	647,14	5,953688
CO2	0,0201	73,74	1,482174	304,14	6,113214
Nitrogen	0,0035	33,98	0,11893	126,20	0,4417
Heptan	0,0023	27,40	0,06302	540,20	1,24246
Oktan	0,0009	24,90	0,02241	568,70	0,51183
Nonan	0,0003	22,90	0,000687	594,60	0,17838
C10-C13	0,0001	18,975	0,018975	647,425	0,0647425
SUM:	1	P _c :	47,721493	T _c :	231,6211315
		P _r = P/P _c :	0,2305031043	T _r = T/T _c :	1,231105289

Fra Standing-Katz diagram: $Z \approx 0,96$

**Vedlegg E: Dokumentasjon på
Sundyne LF2190
fra Flow Solutions**



**INTEGRALLY GEARED COMPRESSOR
DATA SHEET (API 617 - 7 TH Chapter 3)
SI UNITS (BAR)**

JOB NO. _____ ITEM NO. 0
 PURCHASE ORDER NO. _____
 INQUIRY NO. _____
 REVISION NO. 0 DATE 6 novembre 2017
 PAGE 1 OF 8 BY DT

1 APPLICABLE TO: PROPOSAL PURCHASE AS-BUILT QUOTATION NO. C17215
 2 FOR AkerSolution UNIT _____
 3 SITE Ekofisk SERIAL NO. _____
 4 SERVICE 0 NO. REQUIRED 1
 5 MANUFACTURER Sundyne Compressors DRIVER TYPE (1-3.1.1) INDUCTION MOTOR
 6 MODEL LF2190 Single Stage DRIVER ITEM NO. _____
 7

8 INFORMATION TO BE COMPLETED: BY PURCHASER BY MANUFACTURER MUTUAL AGREEMENT (PRIOR TO PURCHASE)

9 OPERATING CONDITIONS

10 11 12	(ALL DATA ON PER UNIT BASIS)	OTHER CONDITIONS (1-2.1.1.1)				
		(1-2.1.1.2)	A	B	C	D
13	<input checked="" type="radio"/> GAS HANDLED (ALSO SEE PAGE 2)					
14	<input type="checkbox"/> GAS PROPERTIES (1-2.1.1.4)					
15	<input checked="" type="radio"/> NM3/HR (1.013 BAR abs., 0°C)	63 937.7				
16	<input checked="" type="radio"/> WEIGHT FLOW, DESIRED KG / HR	61 368				
17	<input checked="" type="radio"/> WEIGHT FLOW, REQUIRED KG / HR	61 368				
18	INLET CONDITIONS					
19	<input checked="" type="radio"/> PRESSURE BAR A	11.0				
20	<input checked="" type="radio"/> PRESSURE AFTER SUCTION THROTTLE VALVE (IF APPLICABLE)	11.0				
21	<input checked="" type="radio"/> TEMPERATURE ° C	25.0				
22	<input type="checkbox"/> RELATIVE HUMIDITY %					
23	<input checked="" type="radio"/> MOLECULAR WEIGHT	21.513				
24	<input checked="" type="checkbox"/> $C_p/C_v (K_1)$ OR (K_{AVG})	1.290				
25	<input checked="" type="checkbox"/> COMPRESSIBILITY (Z_1) OR (Z_{AVG})	0.955				
26	<input checked="" type="checkbox"/> INLET VOLUME, DESIRED M3 / HR	6138				
27	<input checked="" type="checkbox"/> INLET VOLUME, REQUIRED M3 / HR	6138				
28	<input checked="" type="checkbox"/> REQUIRED FLOW BYPASS	0.0%				
29	DISCHARGE CONDITIONS					
30	<input checked="" type="radio"/> PRESSURE (unthrottled) BAR A	20.3				
31	<input checked="" type="checkbox"/> TEMPERATURE ° C	76.5				
32	<input checked="" type="checkbox"/> $C_p/C_v (K_2)$ OR (K_{AVG}) (NOTE 1)	1.272				
33	<input checked="" type="checkbox"/> COMPRESSIBILITY (Z_2) OR (Z_{AVG}) (NOTE 1)	0.951				
34	<input checked="" type="checkbox"/> GAS REQUIRED kW	1 703.2				
35	<input checked="" type="checkbox"/> TRAIN REQUIRED kW	86.7				
36	<input checked="" type="checkbox"/> REQUIRED AT DRIVER INCL. EXT. LOSSES (GEAR, ETC.) kW	1 789.9				
37	<input checked="" type="checkbox"/> SPEED OF DRIVER (RPM)	2965				
38	<input checked="" type="checkbox"/> TURNDOWN (%)	30.0%				
39	<input checked="" type="checkbox"/> POLYTROPIC HEAD N-M / KG	73 795				
40	<input checked="" type="checkbox"/> POLYTROPIC EFFICIENCY (%)	73.86%				
41	<input checked="" type="radio"/> CERTIFIED POINT	X				
42	<input type="checkbox"/> PERFORMANCE CURVE NUMBER					

43 PROCESS CONTROL (1-3.4.2.1)

44 METHOD SUCTION THROTTLING VARIABLE INLET SPEED VARIATION DISCHARGE RECIRCULATION
 45 FROM _____ BARA TO _____ BARA (3-2.4) GUIDE VANES FROM _____ % TO _____ %
 46 TO _____ BARA (3-2.4) TO _____ %

47 SIGNAL SOURCE (1-3.4.2.1) _____
 48 TYPE ELECTRONIC PNEUMATIC OTHER _____
 49 RANGE _____ MA _____ BARG _____

50

51 ANTI-SURGE SYSTEM (1-3.4.2.2)

52 REMARKS: _____

53



INTEGRALLY GEARED COMPRESSOR
DATA SHEET (API 617 - 7 TH Chapter 3)
SI UNITS (BAR)

JOB NO. 0 ITEM NO. 0
REVISION NO. 0 DATE 6 novembre 2017
PAGE 2 OF 8 BY DT

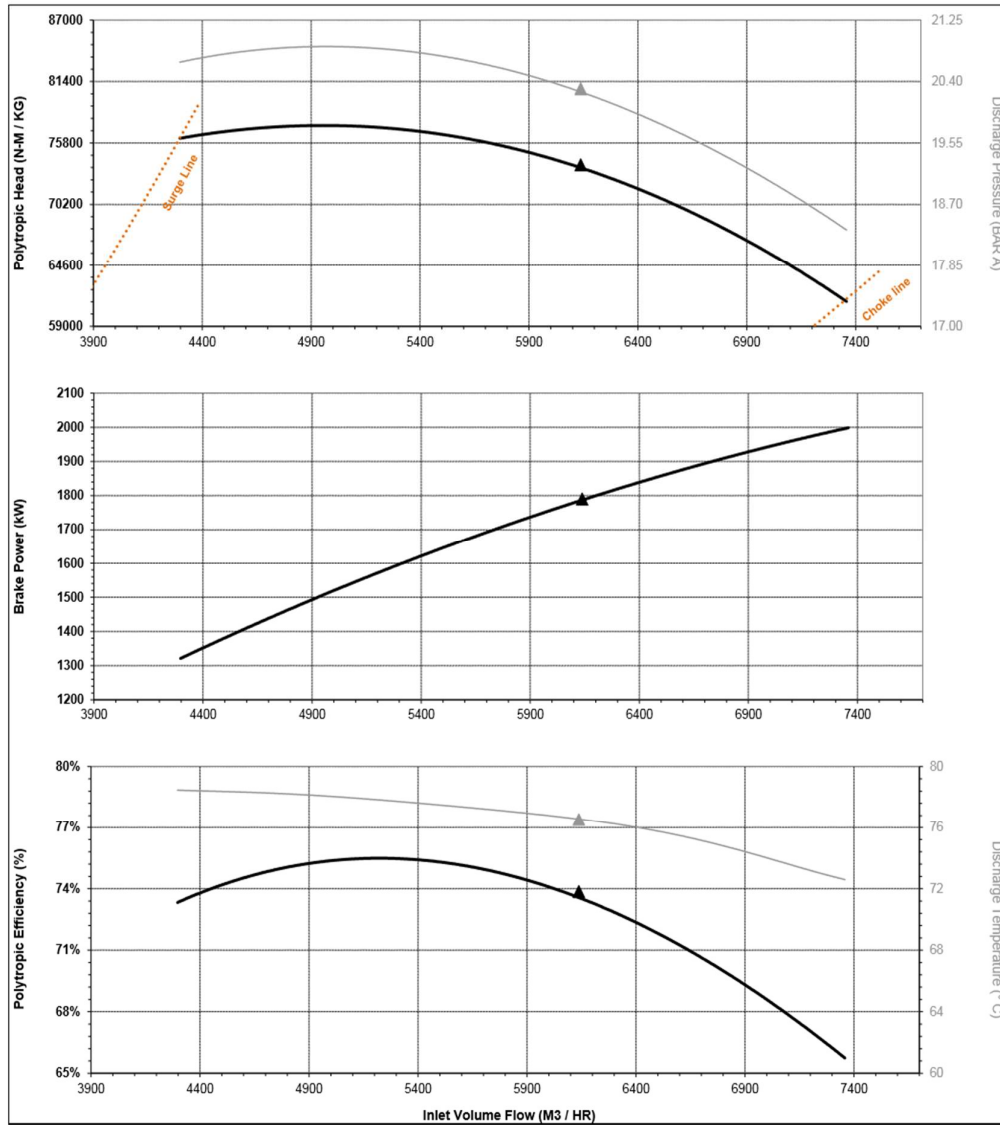
OPERATING CONDITIONS (Continued) (1-2.1.1.1) (1-3.1.2) (1-3.1.3)								
GAS ANALYSIS:			OTHER CONDITIONS					REMARKS:
<input checked="" type="radio"/> MOL %	MW	Rated						
4	AIR	28.96						
5	OXYGEN	32.00						
6	NITROGEN	28.01						
7	WATER	18.02						
8	CARBON MONOXIDE	28.01						
9	CARBON DIOXIDE	44.01						
10	HYDROGEN SULFIDE	34.08						(1-2.2.1.6)
11	HYDROGEN	2.02						(1-2.2.1.9)
12	METHANE	16.04	70.000					
13	ETHANE	30.07	21.000					
14	PROPANE	44.10	9.000					
15	ISOBUTANE	58.12						
16	n-BUTANE	58.12						
17	ISOPENTANE	72.15						
18	n-PENTANE	72.15						
19	n-HEXANE	86.18						
20	n-HEPTANE	100.20						
21	n-OCTANE	114.23						
22	n-NONANE	128.26						
23	n-DECANE	142.28						
24	ETHYLENE	28.05						
25	PROPYLENE	42.08						
26	1-BUTENE	56.11						
27	METHYL MERCAPTAN	48.11						
28	TOTAL		100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
29	AVG. MOL. WT.		21.513					
30 LOCATION: (1-2.1.8)				30 NOISE SPECIFICATIONS: (1-2.1.9)				
31	<input type="radio"/> INDOOR	<input type="radio"/> OUTDOOR	<input type="radio"/> GRADE	31	<input type="radio"/> APPLICABLE TO MACHINE:	SEE SPECIFICATION _____		
32	<input type="radio"/> HEATED	<input type="radio"/> UNDER ROOF	<input type="radio"/> MEZZANINE	32	<input type="radio"/> APPLICABLE TO NEIGHBORHOOD:	SEE SPECIFICATION _____		
33	<input type="radio"/> UNHEATED	<input type="radio"/> PARTIAL SIDES	<input type="radio"/> _____	33	ACOUSTIC HOUSING:	<input type="radio"/> YES	<input checked="" type="radio"/> NO	
34	<input checked="" type="radio"/> ELEC. AREA CLASSIFICATION (1-2.1.14)	_____		34	APPLICABLE SPECIFICATIONS:	API 617, 7TH CHAPTERS 1 & 3		
35	35 SITE DATA (1-2.1.8)			35	<input checked="" type="radio"/> VENDOR HAVING UNIT RESPONSIBILITY (1-1.5.53) (1-1.8) (1-2.1.3)	COMPRESSOR MANUFACTURER _____		
36	<input checked="" type="radio"/> ELEVATION _____ meters	BAROMETER _____ mmHg		36	<input type="radio"/> GOVERNING SPECIFICATION (IF DIFFERENT)	_____		
37	37 RANGE OF AMBIENT TEMPS:			37	PAINTING:			
38		DRY BULB	WET BULB	38	<input checked="" type="radio"/> MANUFACTURER'S STD.	EPOXY & POLYURETHANE		
39	NORMAL °C	_____	_____	39	<input type="radio"/> OTHER	_____		
40	MAXIMUM °C	_____	_____	40	NAMEPLATE (2-2.11.2) <input type="radio"/> US CUSTOMARY <input checked="" type="radio"/> METRIC			
41	MINIMUM °C	_____	_____	41	SHIPMENT: (4.4)			
42	_____ °C	_____	_____	42	<input type="radio"/> DOMESTIC	<input type="radio"/> EXPORT	<input type="radio"/> EXPORT BOXING REQ'D.	
43	UNUSUAL CONDITIONS:	<input type="radio"/> DUST	<input type="radio"/> FUMES	43	<input type="radio"/> OUTDOOR STORAGE MORE THAN 6 MONTHS (1-4.4.1)	_____ MO		
44	_____ °C	_____	_____	44	SPARE ROTOR ASSEMBLY PACKAGE (1-4.4.3.10)			
45	45 OTHER (1-2.1.8) _____			45	<input type="radio"/> HORIZONTAL STORAGE	<input type="radio"/> VERTICAL STORAGE		
46	46 _____			46				
47	47 <input type="radio"/> COPPER AND COPPER ALLOYS PROHIBITED (1-2.2.1.14)			47				
48	48 COATING: (1-2.2.1.16)			48				
49	49 <input type="radio"/> ROTATING COMPONENTS _____			49				
50	50 <input type="radio"/> STATIONARY COMPONENTS _____			50				
51	51 REMARKS: <u>The Peng-Robinson (PR)</u>			51				
52	52 <u>thermodynamic model is utilized for the equations of state.</u>			52				
53	53			53				



Rated

Predicted/Typical Performance Curve. The Curve is Drawn By
Computer and May Reflect Minor Curve Fitting Irregularities

Item No. 0



0 Compressor - Predicted Performance Curves							
Purchaser	AkerSolution	Quote No.	C17215	Rev	0	P1 (BAR A)	11.0
Owner/User	0	Date	6 novembre 2017	By	DT	T1 (° C)	25.0
Service	0	Item No.	0	Quantity	1	Model	LF2190
Location	Ekofisk	P.O. No.		RPM	26253	MW	21.5

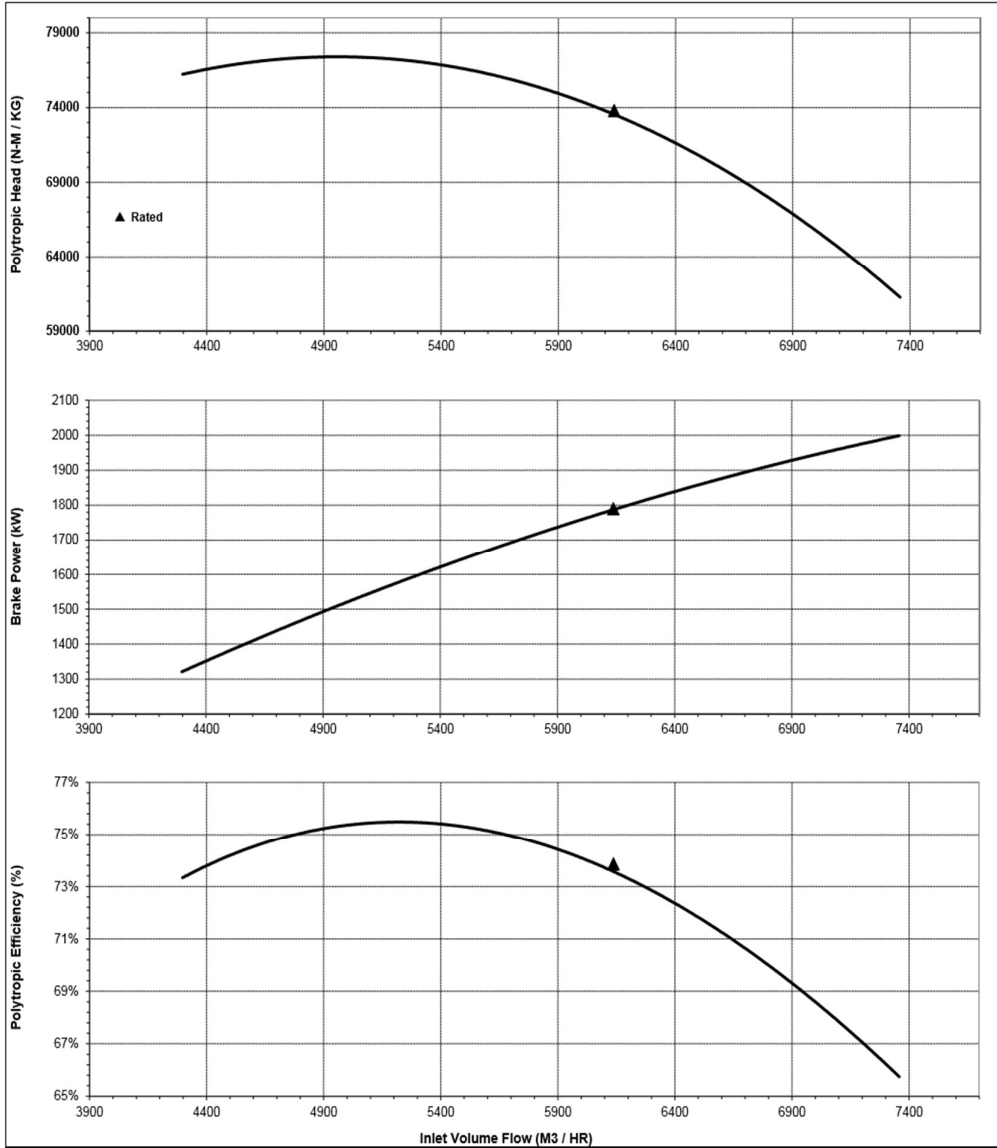
FO-ENG-APP-002-EN



All Cases

Predicted/Typical Performance Curve. The Curve is Drawn By
Computer and May Reflect Minor Curve Fitting Irregularities

Item No. 0



0 Compressor - Predicted Performance Curves							
Purchaser	AkerSolution	Quote No.	C17215	Rev	0	P1 (BAR A)	11 to 11
Owner/User	0	Date	6 novembre 2017	By	DT	T1 (° C)	25 to 25
Service	0	Item No.	0	Quantity	1	Model	LF2190
Location	Ekofisk	P.O. No.		RPM	26253 to 26253	MW	21.51 to 21.51

FO-ENG-APP-002-EN

Vedlegg F: Teknisk tegning av Sundyne LF-2140 med fysiske mål

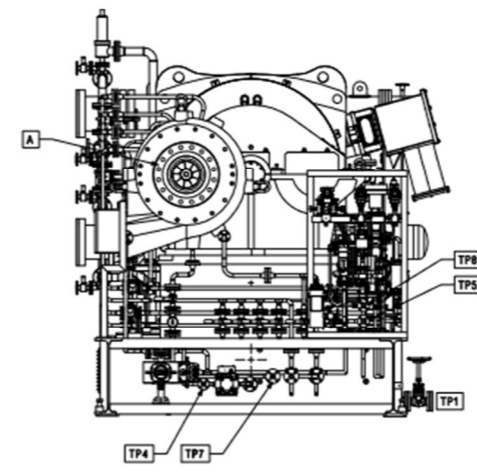
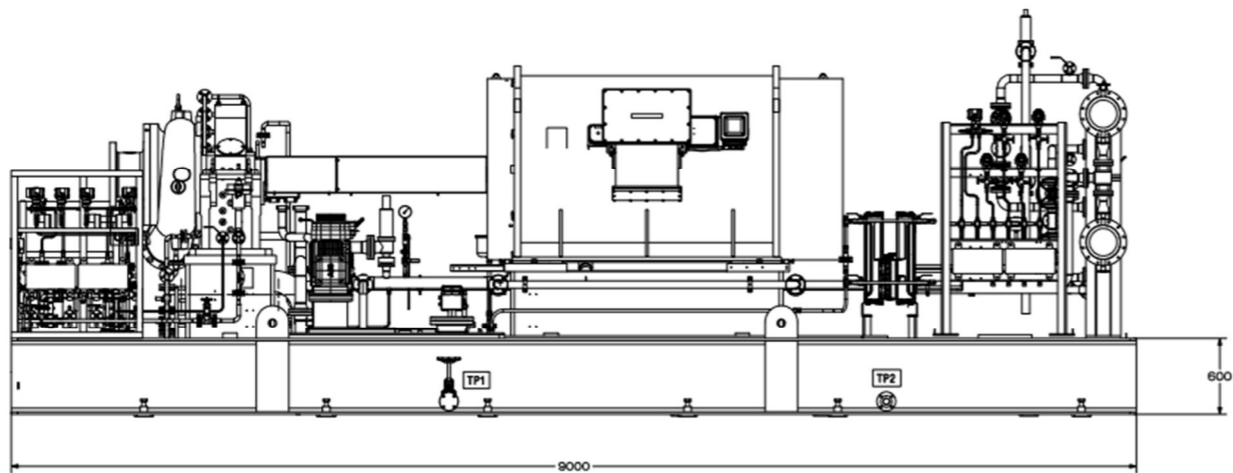
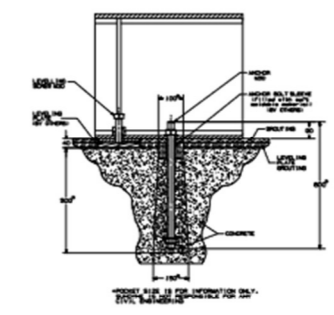


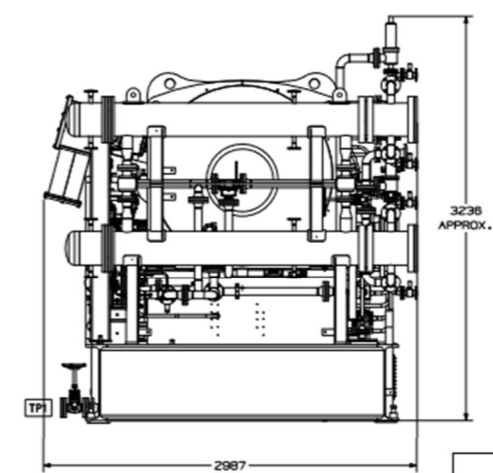
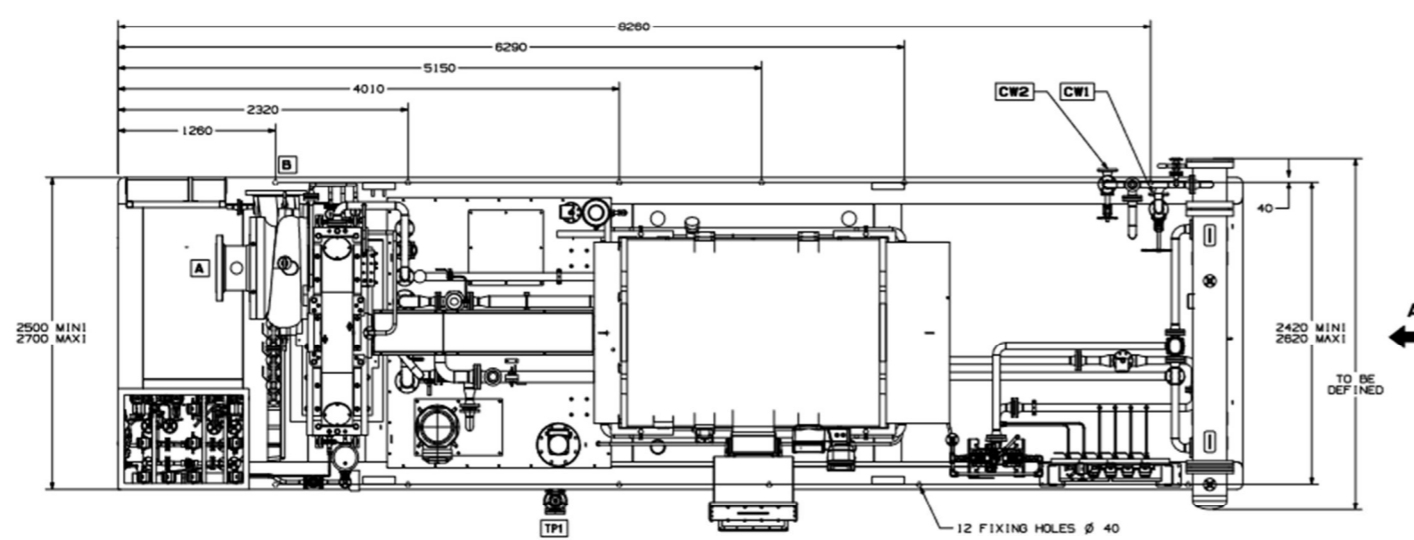
TABLE DE CONNEXIONS

LTR	DESCRIPTION	TYPE / TAILLE
A	COMPRESSOR SUCTION	FLANGE 12"-300#RF
B	COMPRESSOR DISCHARGE	FLANGE 10"-300#RF
TP1	OIL TANK DRAIN	FLANGE 2"-150#RF
TP2	BASEPLATE DRAIN	FLANGE 2"-150#RF
TP3	NITROGEN SUPPLY	FLANGE 3/4"-300#RF
TP4	BOOSTER INLET	FLANGE 1/2"-300#RF
TP5	SECONDARY LEAKAGE TO FLARE - STAGE A	FLANGE 3/4"-300#RF
TP7	CASE DRAIN	FLANGE 3/4"-300#RF
TP8	BOOSTER AIR SUPPLY	FLANGE 1/2"-150#RF
CW1	COOLING WATER INLET	FLANGE 2"-150#RF
CW2	COOLING WATER OUTLET	FLANGE 2"-150#RF



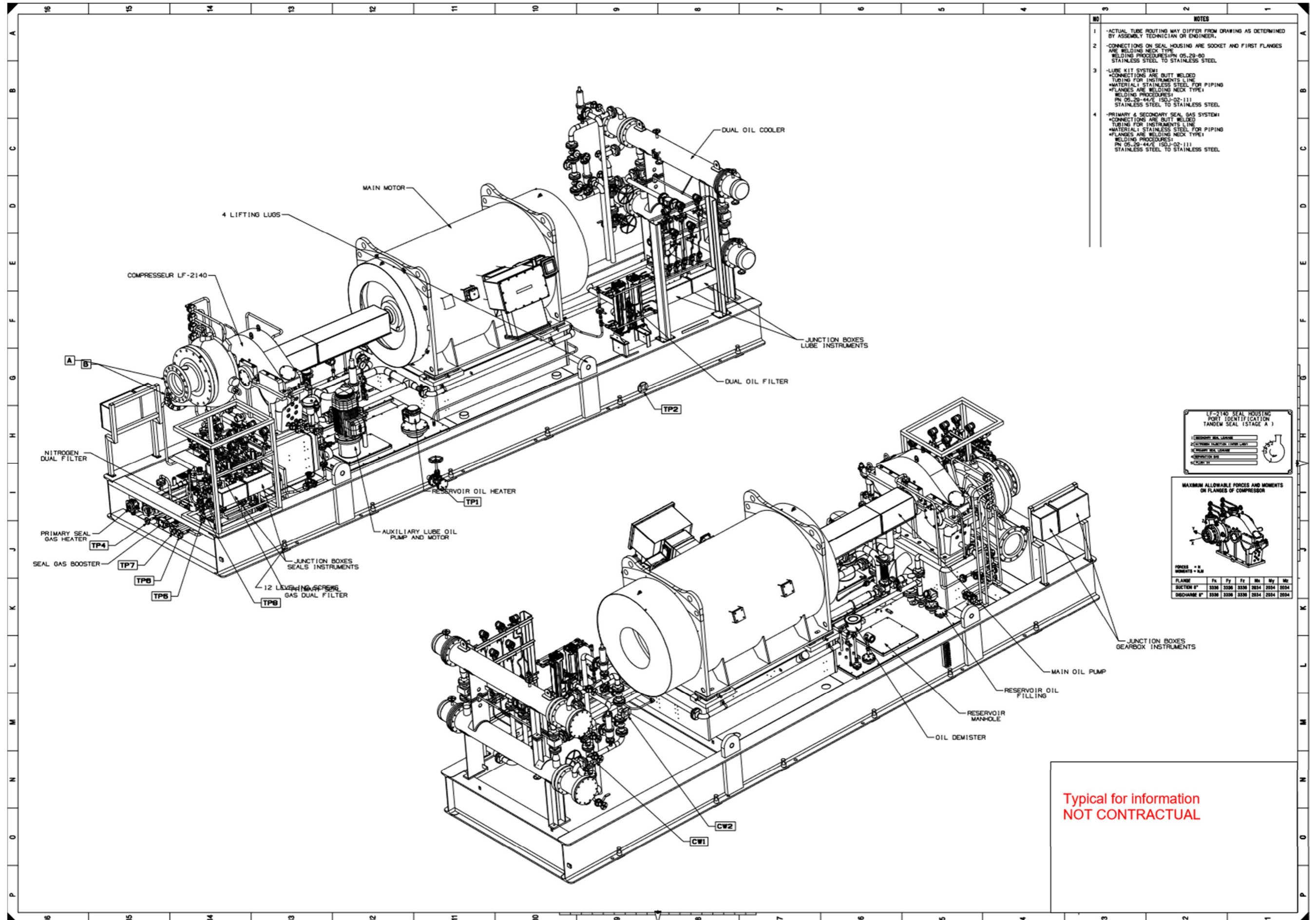
WEIGHT TABLE

COMPRESSOR	3500 KG
MAIN MOTOR	12000 KG
BASEPLATE	6500 KG
EQUIPMENT	4000 KG
TOTAL WEIGHT	26000 KG



VIEW FOLLOWING A

Typical for information
NOT CONTRACTUAL



- NOTES**
- 1 -ACTUAL TUBE ROUTING MAY DIFFER FROM DRAWING AS DETERMINED BY ASSEMBLY TECHNICIAN OR ENGINEER.
 - 2 -CONNECTIONS ON SEAL HOUSING ARE SOCKET AND FIRST FLANGES ARE WELDING NECK TYPE WELDING PROCEDURES: PN 05-29-00 STAINLESS STEEL TO STAINLESS STEEL.
 - 3 -LUBE KIT SYSTEM:
 - *CONNECTIONS ARE BUTT WELDED TUBING FOR INSTRUMENTS LINE
 - *MATERIAL: STAINLESS STEEL FOR PIPING
 - *FLANGES ARE WELDING NECK TYPE
 - *WELDING PROCEDURES: PN 05-29-44/E (50J-02-11) STAINLESS STEEL TO STAINLESS STEEL.
 - 4 -PRIMARY & SECONDARY SEAL GAS SYSTEM:
 - *CONNECTIONS ARE BUTT WELDED TUBING FOR INSTRUMENTS LINE
 - *MATERIAL: STAINLESS STEEL FOR PIPING
 - *FLANGES ARE WELDING NECK TYPE
 - *WELDING PROCEDURES: PN 05-29-44/E (50J-02-11) STAINLESS STEEL TO STAINLESS STEEL.

LF-2140 SEAL HOUSING
PORT IDENTIFICATION
TANDEM SEAL (STAGE A 1)

IDENTIFY NO. LAMP
 IDENTIFY TUBING TYPING LAMP
 IDENTIFY NO. LAMP
 IDENTIFY NO. LAMP
 IDENTIFY NO. LAMP

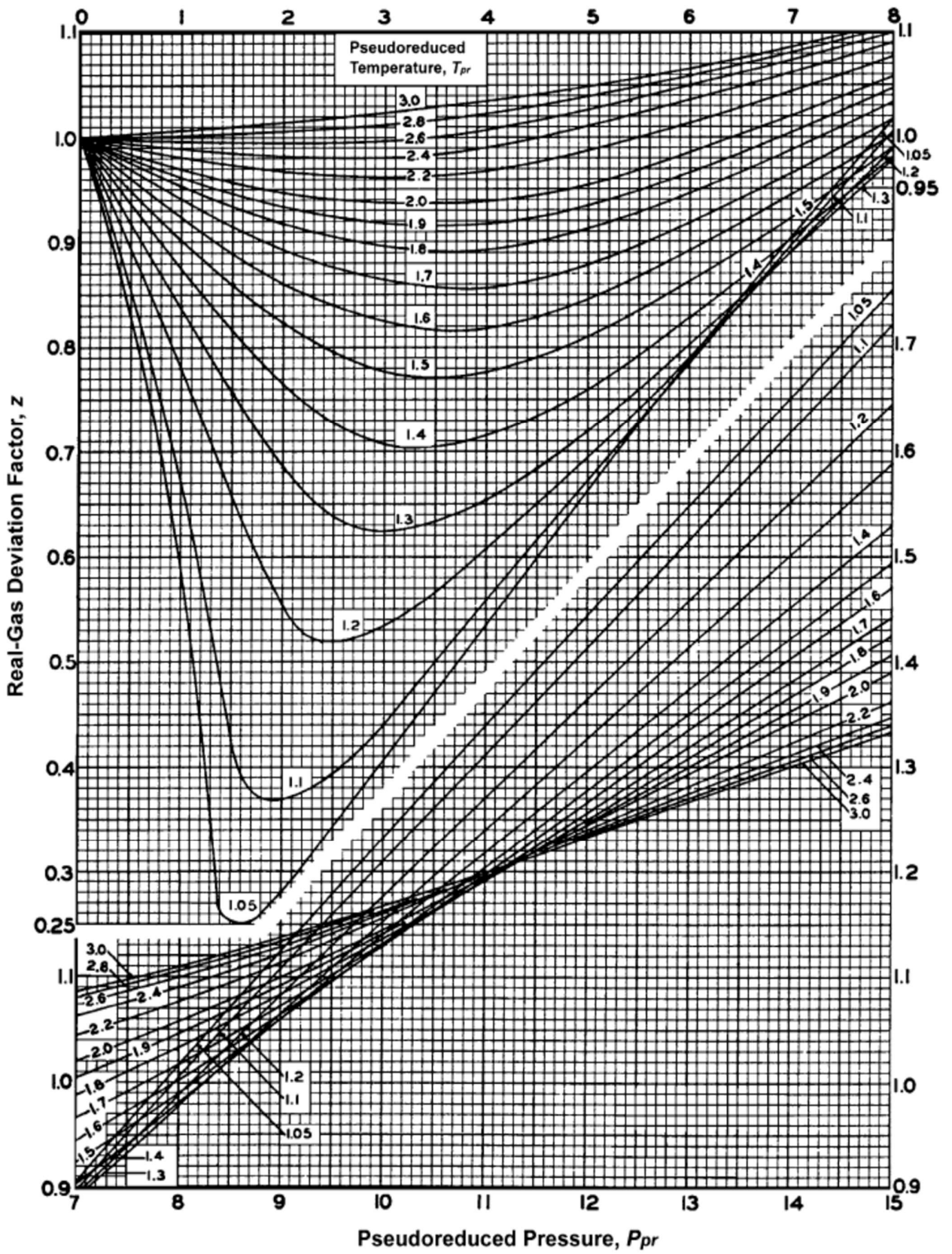
MAXIMUM ALLOWABLE FORCES AND MOMENTS ON FLANGES OF COMPRESSOR

FLANGE	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
SUCTION 8"	3336	3336	3336	2034	2034	2034
DISCHARGE 8"	3336	3336	3336	2034	2034	2034

FORCES - X
MOMENTS - X, Y, Z

Typical for information
NOT CONTRACTUAL

Vedlegg G: Standing-Katz kompressibilitetsdiagram



Vedlegg H: Teknisk tegning av væskeutskiller

ELDGASCP INLET SCRUBBER

