



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

Høytrykkpumper og rør til boreslamsystemet på Aker H6e



BachelorOppgave utført ved
Høgskolen Stord/Haugesund – Studie for ingeniørfag

Maskin, Energi- og Prosessteknikk

Av: Bernt Ståle Hollund
Asle Visnes

Kand. nr. 38
Kand. nr. 3



Forord

Aker Kværner (Aker Solutions) er en hjørnesteins bedrift på Stord, og siden midten av 1980-tallet har bedriften levert olje, gass og bore- plattformer til norsk sokkel. Aker Drilling ga i 2005 Aker Kværner byggeoppdraget for to like borerigger (Aker Spitsbergen og Aker Barents), og de skal være klare for oppdrag siste halvdel av 2008.

Aker Kværner Stord har gitt gruppen i oppdrag å se på deler av boreslamsystemet, og laget en oppgave ut fra dette. (11 systemet)

Gruppen vil også rette en ekstra spesiell takk til følgende personer for god hjelp og veiledning med oppgaven:

- | | |
|----------------------|---------------------------------|
| ❖ Jorunn Nysted | HSH - Intern veileder |
| ❖ Arne Henrik Hovden | Aker Kværner - Ekstern veileder |
| ❖ Torleiv Ese | HSH – Lærer |
| ❖ Bjørn Tømmervik | Aker Kværner/HSH - Lærer |
| ❖ Geir Govertsen | Aker Kværner |
| ❖ Knud Frigstad | Aker Kværner |
| ❖ Torbjørn Arnesen | Aker Drilling |

Asle Visnes

Bernt Ståle Hollund

Sammendrag

Denne rapporten omhandler høytrykk boreslamsystemet på Aker H6e. Den gir en innføring i boreslamsystemet og dets hensikt, samt valgt designløsning av høytrykkpumper og rør med påfølgende alternative løsninger. Til slutt er det lagt ved førstegang oppstartsbeskrivelse av en høytrykkspumpe.

Boreslam er en oljebasert eller vannbasert væske som blir brukt i forbindelse med boring etter olje og gass. De viktigste oppgavene til boreslamsystemet er å frakte borkaks opp til dekk, kjøle og rense borekrona, og holde formasjonen stabil. For å få til dette må en ha et system som holder boreslammet i sirkulasjon, blander ønsket boreslam samt tar seg av borkakset som blir fraktet opp på dekk. Høytrykk boreslampumpene inngår som en viktig del i systemet og bidrar til å pumpe boreslam ned i brønnen, men kan og kobles til flere undersystem. Det er montert fire Triplex høytrykk stempelpumper om bord i H6e riggen. Rapporten legger frem en alternativ løsning i form av tre Hex stempelpumper som et billigere, lettere og mer plassparende alternativ. Men pga. at det er en relativt ny design og lite utbredd på norsk sokkel finnes det lite driftserfaringer, noe som kan føre til uforutsette driftsutgifter. Fleksibiliteten blir også noe redusert ved å benytte tre pumper istedenfor fire. Ut fra høytrykk pumpene er det montert AISI 4130 rør. Rapporten legger frem Super Duplex rør som en billigere løsning totalt sett, men et dyrere material i innkjøp.



Innholdsfortegnelse

1. INNLEDNING.....	1
1.1 AKER H6E HALVT NEDSENKBAR BORERIGG	1
1.2 MENINGEN MED BORESLAMSYSTEMET	2
2. STEPELPUMPER	4
3. SYSTEMBESKRIVELSE AV BORESLAMSYSTEMET	6
3.1 INNSUG SIDEN	6
3.2 HØYTRYKK BORESLAMPUMPER.....	8
3.2.1 Pumpe enden	9
3.2.2 Motorsiden.....	11
3.3 SAMLESTOKK PÅ HØYTRYKKSIDA	12
3.4 BORESLAMPØVER.....	14
3.5 FUNKSJONSBEKRIVELSE	15
3.5.1 Normal operasjon.....	15
3.5.2 Spesial operasjoner	16
3.6 SEMENTSYSTEMET	17
4. EKSISTERENDE RØRLØSNING PÅ HØYTRYKKSIDEN	18
4.1 AISI 4130 QT-STÅL.....	18
4.2 AKER KVÆRNER METODEN	19
5. ALTERNATIVE LØSNINGER	20
5.1 ALTERNATIV PUMPELØSNING (NOV) NATIONAL OILWELL VARCO HEX 240	20
5.1.1 Generelt.....	20
5.1.2 Motorsiden.....	21
5.1.3 Pumpe enden	21
5.2 ALTERNATIVT MATERIAL FOR HØYTRYKK RØRSIDE (SUPER DUPLEX)	21
5.2.1 Standarder.....	22
5.2.2 UNS S 32550 (Super Duplex).....	23
6. ALTERNATIV VS EKSISTERENDE PUMPELØSNING.....	24
6.1 HEX 240 OG WIRTH 2200 OPP MOT NORSOK II STANDARDEN.....	24
6.2 ØKONOMISKE BEREGNINGER.....	26
6.3 SAMMENLIGNING AV VEKT OG GULVAREAL	27
7. VEGGTYKKELSE FOR RØRSYSTEMET	28
7.1 BEREGNINGSFORMLER	28
7.2 SPENNINGSBEREGNING FOR AISI 4130	29
7.3 MINIMUM VEGGTYKKELSE	34
7.4 ØKONOMISKE BETRAKTNINGER (ANSI B31,3 MOT MISES).....	36
7.5 PRISSAMMENLIGNING AV AISI 4130 OG SUPER DUPLEX:	36
8. FØRSTEGANG OPPSTARTSBESKRIVELSE AV HP PUMPE A	37
9. DISKUSJON.....	44
10. KONKLUSJON.....	47
11. REFERANSER.....	48
12. VEDLEGG.....	49

1. Innledning

1.1 Aker H6e halvt nedsenkbar borerigg

Aker Kværner bygger to av verdens største og mest avanserte halvt nedsenkbare borerigger, Aker Spitsbergen og Aker Barents. Aker Spitsbergen skal leveres i august 2008 og Aker Barents som er identisk skal leveres i desember 2008. Designen er basert på Aker H3 riggen og er en videreutvikling av Aker H4.2 boreriggen. Aker H6e riggen er konstruert for å kunne operere under ekstreme værforhold i arktiske strøk.

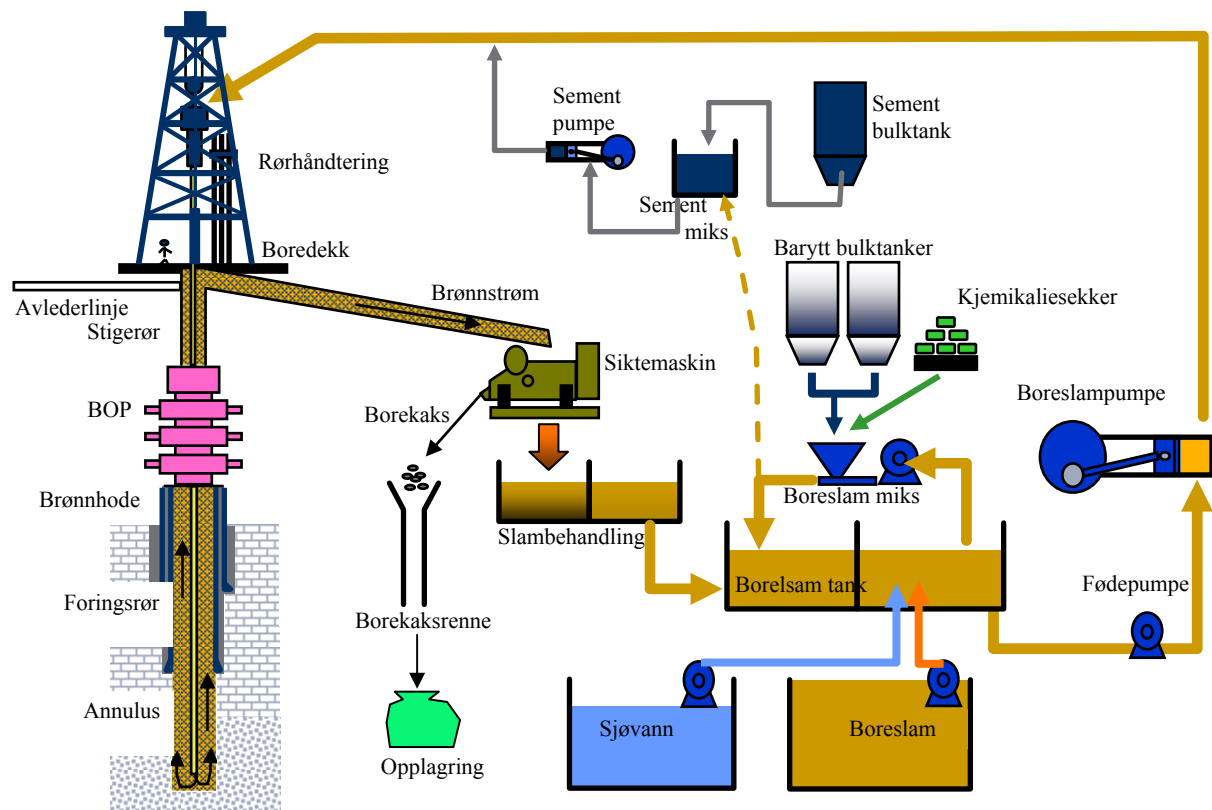
Hva som er spesielt med Aker H6e:

- Kan bore og komplettere brønner på vanddyb fra 70 til 3000 m
- Maks boredybde: 10 000 m
- Konfigurert for dynamisk posisjonering ned til 3000 m og ankerkjettinger ned til 500 m vanddyb
- Dobbel RamRig (to boretårn)
- Ingen skadelige utslipp til sjø
- Skjermet arbeids og lagringsområde

Hensikten med oppgaven er å fremlegge alternative løsninger for høytrykk boreslampumper samt rør på høytrykksiden. Målsetningen med oppgaven er å fremskaffe en oversikt over høytrykk pumper beregnet for boreslamsystemet til borerigger. Videre vil det bli innhentet og systematisert erfaringer med ulike boreslampumper beregnet for borerigger på norsk sokkel. Vil også studerer valgt designløsning på høytrykksiden for H6e boreslamsystemet som er et av de viktigste systemene i boreprosessen på riggen. Her skal det vurderes alternative løsninger med hensyn på pumper og materialvalg for rørsystemet på høytrykksida. Til slutt lages det en førstegang oppstartsbeskrivelse av en høytrykks boreslampumpe.

Rapporten begynner med en inngående beskrivelse av systemet med enkle figurer. Den går også nærmere inn på hvilket pumpealternativ som er aktuelt, samt materialvalg av rør.

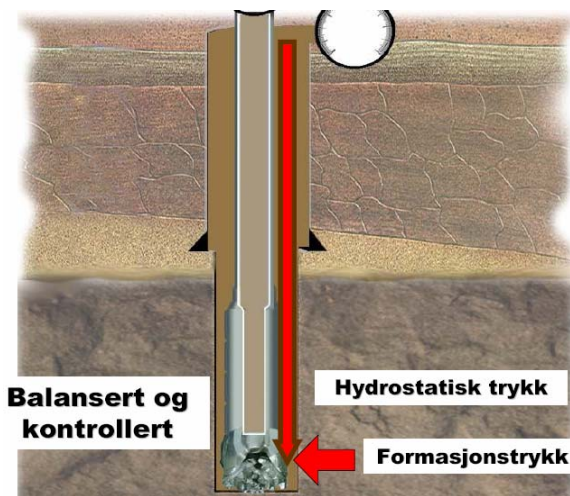
1.2 Meningen med boreslamssystemet



Figur 1: Boreprosessen [1]

På en borerigg blir boreslam som enten er en oljebasert eller vannbasert væske, pumpet fra boreslamtankene og gjennom borestrengen hvor den blir sprøytet ut gjennom dyser på borekrona. Boreslammet bidrar til å kjøle og rense borekrona under boreprosessen og frakter borekaks opp gjennom annulus, som er mellomrommet mellom borestrengen og sidene i hullet som blir boret, videre gjennom forankringsrøret og opp på boredekket. Så blir kaksen filtrert ut i siktemaskiner og boreslammet returnerer til tankene. Boreslammet blir så pumpet ned igjen av høytrykk boreslampumpene og blir kontinuerlig resirkulert. Se figur 1.

Dersom formasjonstrykket øker, må også tettheten til boreslammet øke. For å få til dette tilsetter en barytt som er et mineral som veier dobbelt så mye som 'alminnelig stein', eller andre tunge materialer for å balansere trykket og holde borehullet stabilt.



Ubalansert formasjonstrykk vil forårsake en utblåsning fra formasjonsvæske under trykk. Det hydrostatiske trykket avhenger av vekten til boreslammet og sann vertikal dybde. Se figur 2.

Figur 2: Formasjonskontroll [2]

Dersom det hydrostatiske trykket er større enn eller likt som formasjonstrykket, vil ikke formasjonsvæske strømme inn i borehullet. Men boreslam vekten må heller ikke blir for stor for da kan en risikere at formasjonen sprekker og en kan få tap av boreslam inn i formasjonen eller deler av formasjonsvæske inn i boreslammet i brønnen.

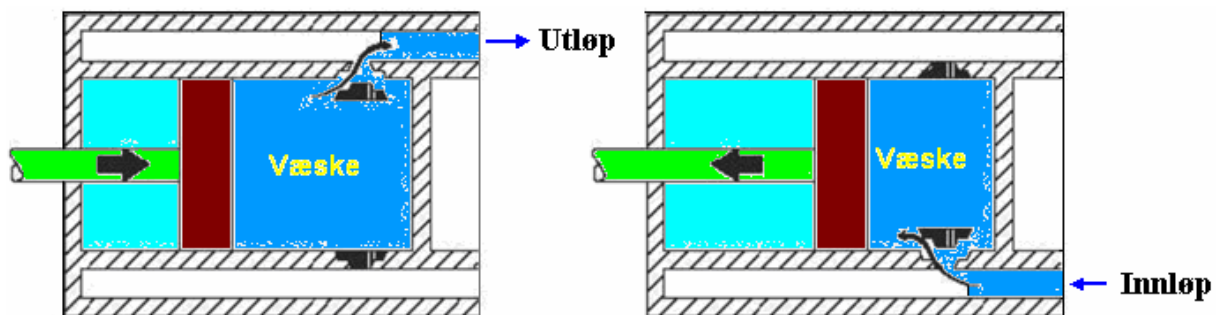
Høytrykk boreslamsystemet er en integrert del av det totale boreslamsystemet hvor boreslam blir mikset, lagret og behandlet som pålagt av planlagt boreprogram og brønnloggingsinformasjon. Overtrykket skapt av høytrykk boreslampumpene blir brukt til å overvinne trykktap i boreslamkretser slik som "topside" rør, bore rør, bore bit/turbin og annulus. En viktig oppgave til boreslam sirkulasjonen i hovedriggen er å transportere løs borkaks fra bunnen av hullet opp på dekk. Dette krever en minimum strømningsmengde, avhengig av boreslam egenskapene og størrelsen på borkaksen. I enkelte tilfeller hvor høy boreslamhastighet i stigerøret er nødvendig, vil trykkforsterker linjen "booster line" være tilkoblet direkte mellom høytrykk boreslam samlestokken og i bunnen av stigerøret.

2. Stempelpumper

Stempelpumper blir benyttet på høytrykk boreslamsystemet på borerigger. Dette fordi de har stor pumpekapasitet og kan pumpe væsker med høyt trykk.

Stempelpumper hører inn under fortrenningspumper og skaper trykk i væsken som følger av volumendring når stempelet beveger seg i sylinderen. En kraft skyver stempelet inn, og stempelet tilfører da energi til væsken og skaper sirkulasjon. Blir stempelet trukket tilbake, oppstår det undertrykk, eller sug, og væsken trekkes tilbake.

Pumpene kan være enkeltvirkende eller dobbeltvirkende. De dobbeltvirkende (duplex) har to stempler, mens de enkeltvirkende har tre eller seks stempler. Den enkeltvirkende pumpen suger boreslammet inn under første stempelslag og trykker slammet ut under andre stempelslag. Den dobbeltvirkende pumpen suger slammet inn på den ene siden av stempelet samtidig som væsken trykkes ut på den andre siden av stempelet.



Figur 3: Virkningsmåte for enkeltvirkende stempelpumpe

Vi har tre typer stempelpumper som er aktuelle for boreslamsystemet til borerigger:

1. Triplex stempelpumper (3 stempel)

Mest utbredd, gammel teknologi som har vært i bruk siden utbyggingen av norsk sokkel startet. Kan opereres ved høyt trykk og har stor pumpekapasitet.

2. Hex stempelpumper (6 stempel)

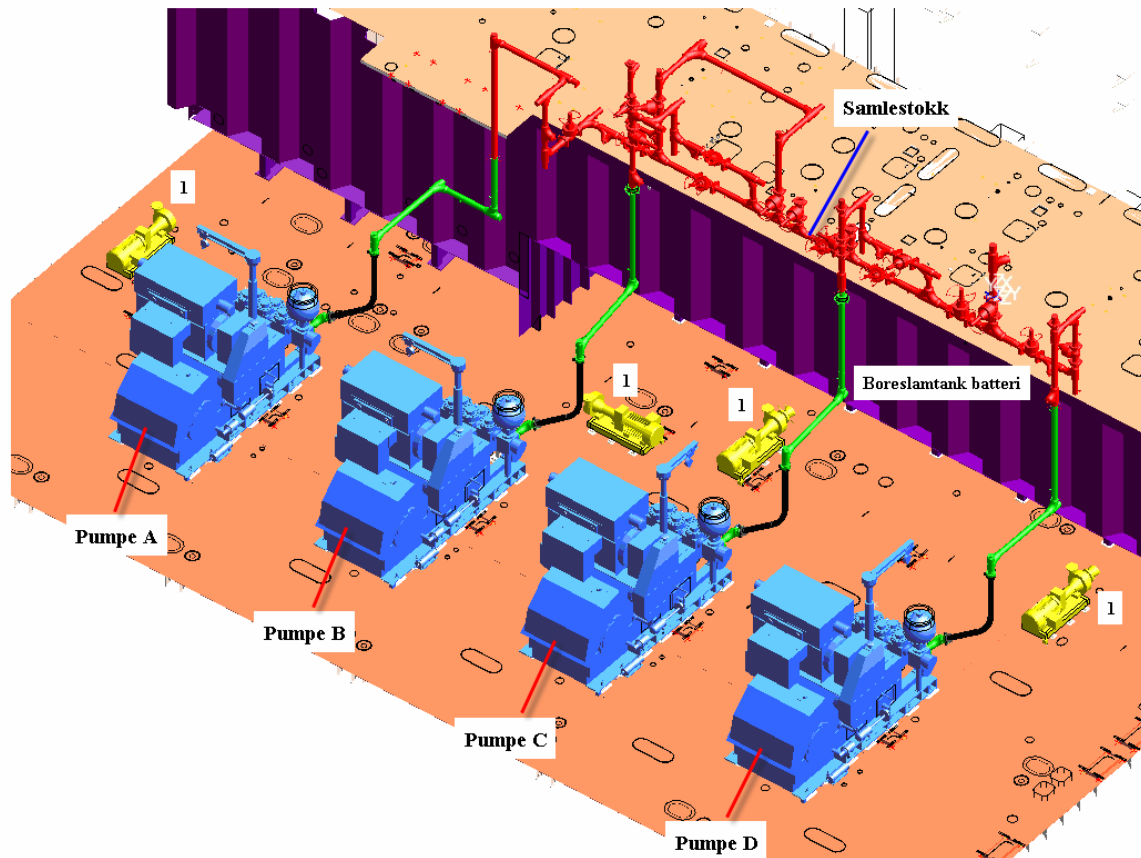
Lite utbredd, ny teknologi som skiller seg ut fra triplex pumpen. Kan opereres ved høyt trykk, har stor pumpekapasitet og tar minst plass.

3. Duplex stempelpumper (2 stempel)

Lite utbredd. Dobbeltvirkende og dermed store og tunge i forhold til enkeltvirkende pumper som også kan opereres ved større trykk og gir jevnere volumstrøm.

I følge forskjellige leverandører og oljeselskap, er det Triplex stempelpumper som i de aller fleste tilfeller benyttes til høytrykk boreslamsystemet ombord i borerigger på norsk sokkel. Et unntak er Oseberg Øst som har installert Hex stempelpumper.

3. Systembeskrivelse av boreslamsystemet



Figur 4: Oversikt over høytrykk boreslamsystemet

3.1 Innsug siden

Boreslamtankene som er plassert over høytrykkpumpene har tre 10" sugerør som går horisontalt fra babord til styrbord under boreslamtank batteriet. Fire lavtrykk fødepumper (1) er koblet til alle tre hovedspringa. Røra på sugesida er plassert med isolasjonsventiler som gjør systemet veldig fleksibelt. Det er mulig å bruke alle fire fødepumpene samtidig i tillegg til miksing eller overførings operasjoner med miksepumpene. Slamtankene er utstyrt med røreverk slik at slammet hele tiden er i bevegelse nede i tanken, det er for å unngå at faste partikler skal synke nedover og legge seg i bunnen av tanken.

Hver fødepumpe kan kobles opp til hvilken som helst tank, men det er i hovedsak fire aktive tanker som blir benyttet. Se figur 5. En 10" utligningsventil er installert mellom hver tank.

R1	R2	R3	A1	A2	A3	A4	S
				M1	M2		P

Figur 5: Oversikt over boreslamtanker [3]

Hvor følgende bokstaver står for:

R – “Reserve pit” Reserve tank

A – “Active pit” Aktiv tank

M – “Mixing pit” Mikse tank

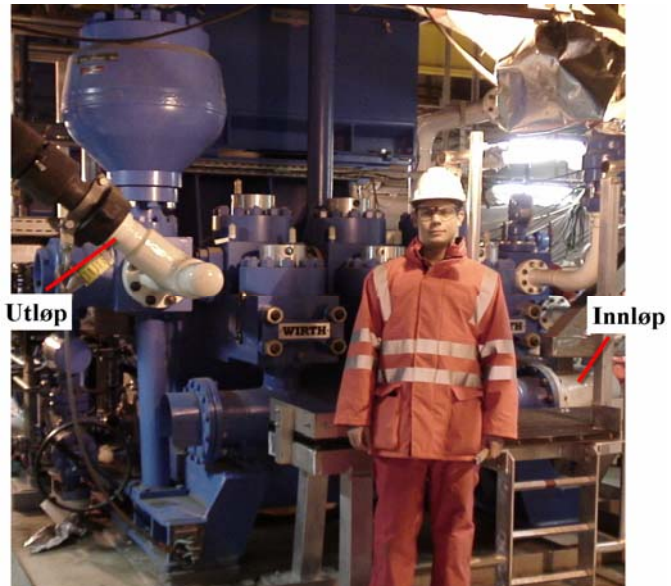
S – “Slug pit” Tank med tung boreslam. Kan f.eks. tilsettes for å skape trykktett forbindelse ved bytte av borestreng.

P – ”Pill pit” Tank med spesial væske til f.eks. vasking av borestreng

3.2 Høytrykk boreslappumper



Figur 6: Wirth TPK 2200 motorside



Figur 7: Wirth TPK 2200 pumpe side

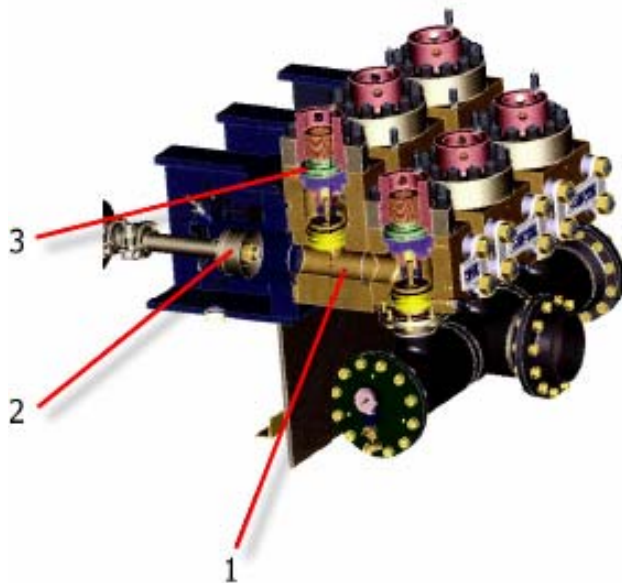
Fire Wirth Triplex stempelpumper av typen TPK 2200 er installert ombord i Aker H6e riggen. Hver pumpe er kraftforsynt med en elektrisk motor på 1655 kW som er plassert på oppsiden av pumpen, den overfører drivkraft via en girkasse til drivakslingen på pumpen. Pumpehastigheten kan variere mellom 0 og 110 slag i minuttet og maksimalt arbeidstrykk er 517 bar. Pumpene er utstyrt med en sugedemper på lavtrykksida og en utløpsdemper på høytrykksida. Sugedemperen jevner ut trykksvinginger fra fødepumpa som mater pumpe.



Figur 8: Utløpsdemper

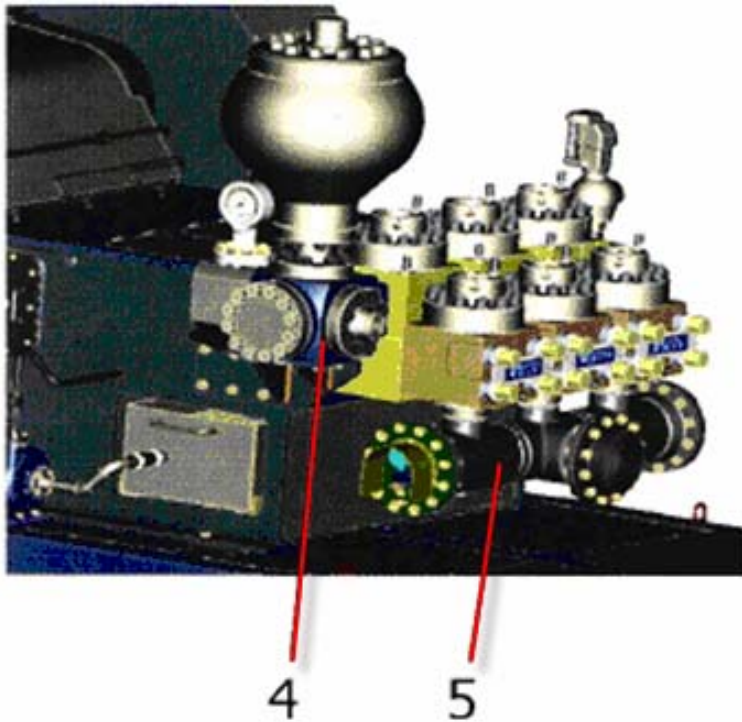
Utløpsdemperen som er en trykkbeholder forladd med nitrogen og fungerer som en støtdemper som absorberer og utligner trykktopper, slik at stempelpulsasjonene fra pumpe blir utjevnet og et minimum av vibrasjoner blir overført til høytrykk utløpsrøra. Se figur 8.

3.2.1 Pumpe enden



Figur 9: Pumpe enden [5]

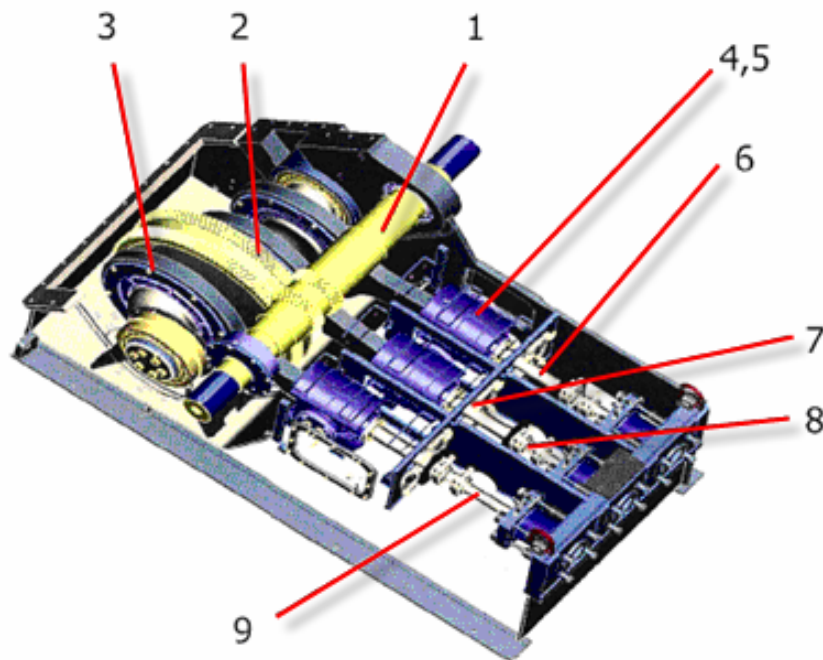
Hver pumpe har tre identiske pumpe ender (1). Hver ende blir matet med væske fra hver sitt stempel (2). Pumpen er enkeltvirkende, væske blir sugd inn i sylindreforingen ved innsugingslaget og støter væska ut ved komprimeringslaget. Fjærbelasta ventiler (3) bestemmer automastisk den nødvendige strømningskanalen. Se Figur 9.



Figur 10: Samlestokk på sugesiden [5]

Pumpene er levert med en samlestokk på sugesiden (5). Hvert ventilhus på sugesiden er koblet til samlestokken som har en innløpskobling i hver ende, i tillegg til en sentral innløpskobling. Dette sørger for fleksibilitet i rørsystemet på sugesiden. Samlestokken på sugesiden er utstyrt med en lavtrykksdemper. Ene enden av manifolden er tilkoblet en spesial flens som innbefatter en brennstoffventil og en trykkindikator. Lavtrykksdemperen er forladet, med nitrogen til 1,5 bar. Se figur 10.

3.2.2 Motorsiden

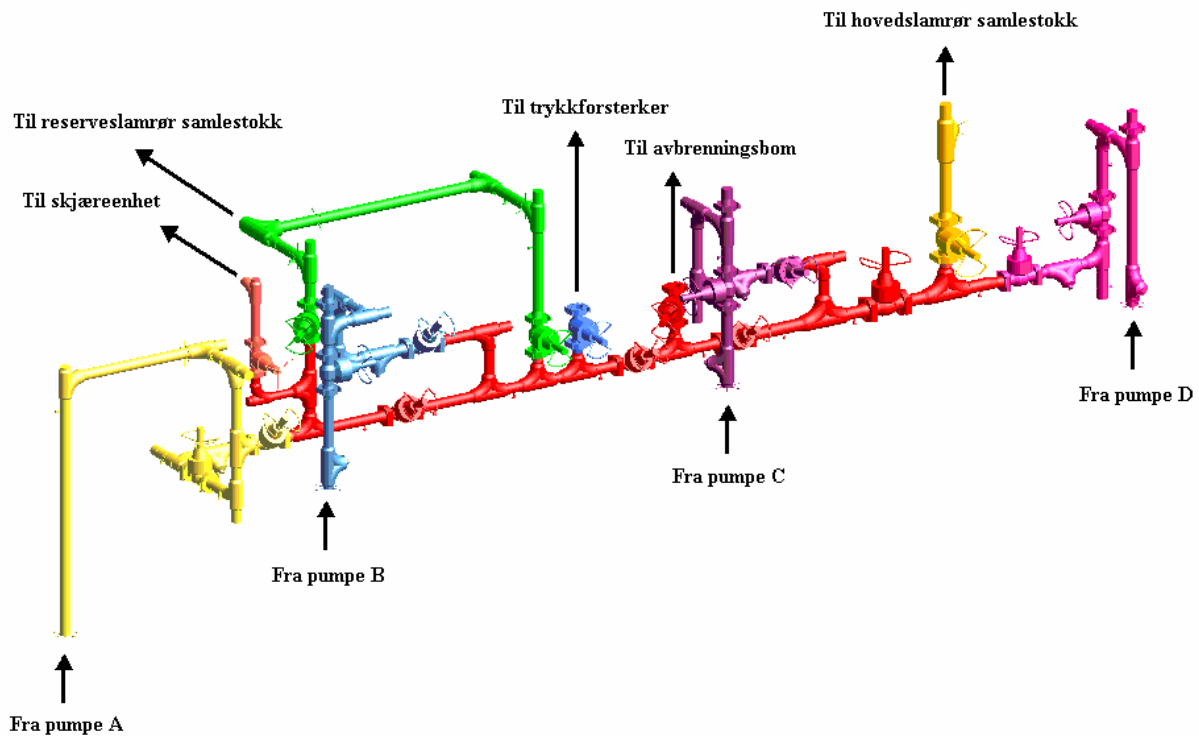


Figur 11: Motorsiden [5]

Hvert pumpesystem, komplett med drivmotor og alt hjelpeutstyret er montert på en kraftig ramme. Hver pumpe er drevet av en elektrisk motor med variabel hastighet. Motoren overfører krafta via en kjede til drivakselen (1) som er koblet direkte til veivakselen (2). Begge er støttet opp i hver ende med rullelager. Hver stempelstang (3) er drevet av veivakselen. Andre enden av stempelstanga driv krysshodet (4) gjennom et parallelt rullelager. Krysshodestanga (6) er boltet til krysshodet og beveger seg frem og tilbake med det. Krysshodestanga har to primærfunksjoner. Den driver stempelstanga (9), og danner en væskeforsegling i samsvar med pakkboksen til girkassen (7). Krysshodestanga er koblet til stempelstanga med en skålkobling (8). Se figur 11.

3.3 Samlestokk på høytrykksida

Alle fire høytrykkpumpene er koblet til en felles samlestokk med isoleringsventiler mellom hver pumpe for å forsikre fleksibilitet. [3]



Figur 12 Samlestokk for høytrykk boreslampumpene

Fra denne samlestokken er høytrykk boreslamssystemet koblet opp mot flere undersystem:

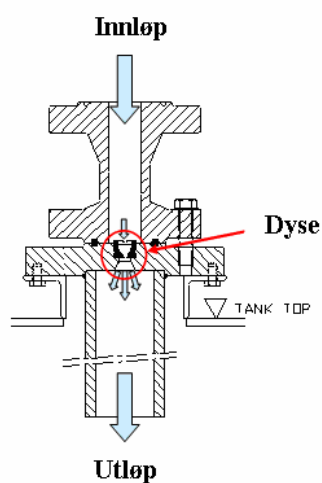
- Hovedslamrør samlestokk (Main Standpipe Manifold)
- Reserveslamrør samlestokk (Aux. Standpipe Manifold)
- HP “High Pressure” Skjæreenhet (HP Shear-Unit)
- Trykkforsterker linje (Booster Line)
- Avbrenningsbom (Burner Boom)
- Drepe og strupe samlestokk (K&C samlestokk)

Hoved og reserveslamrør samlestokk (Main and Aux. Standpipe Manifold)

To 6” rørlinjer går fra høytrykk samlestokken og under boredekket mellom boretårna til hver sin samlestokk, hvor begge linjene er delt for å kunne benytte både hovedtårn og hjelperårn.

Reservesamlestokken er rammemontert på boredekket og lokalt operert med en trykk indikator. En avtappingslinje er koblet direkte til drenering i gulvet.

Hovedsamlestokken er også rammemontert på boredekket og lokalt operert med en trykk indikator. En avtappingslinje er koblet til boreslam returlinja og kan bli brukt til spylesystem men den skal helst ikke brukes ved trykk over 50 bar. Samlestokken for hovedslamrør er koblet til "K&C" samlestokken for bruk av høytrykkpumpene til å drepe brønnen med.



Høytrykk skjæreenhet (HP Shear Unit)

Høytrykk skjæreenhetene er installert i aktiv tank 1 og reserve tank 2 og kan brukes når en ønsker å redusere gel effekten til boreslammet i tanken. Skjæreenhetene som kan kobles til en høytrykkpumpe muliggjør store skjærkrefter i væsken som blir sirkulert ved høyt trykk gjennom dysen i skjæreenheten.

Se figur 13.

Figur 13: Høytrykk skjæreenhet (HP-Shear Unit) [3]

Trykkforsterker linja (Booster Line)

En pumpe kan kobles til trykkforsterker linja, som kobles til stigerøret rett over BOP (Blow Out Preventer) for å hjelpe borkaks opp på dekk. Dette blir oftest benyttet på store havdyp. Ut fra Figur 11 kan en se at pumpe B er mest anvendelig å bruke til dette formålet siden den lett kan isoleres fra de andre pumpene i samlestokken.

Avbrenningsbom (Burner Boom)

En kan også koble en pumpe til avbrenningsbom linjen. Hensikten med det er å kjøle avbrenningsbomen med sjøvann da denne kan nå svært høg temperatur. Ser av figur 11 at pumpe C er mest anvendelig til dette formålet.

Drepe & Strupe linjer/samlestokk (Kill and Choke lines)

Hver av drepe og strupe linjene er designet for både drepe og strupe oppgaver. Både sementpumpen og boreslampumpene kan brukes til å pumpe væske ned i drepelinjen.

Strupeventilene er normalt operert fra kontrollkabinen med å sette opp de manuelle ventilene i henhold til anbefalt ruting, men kan også opereres direkte på samlestokken.

Trykkfølere er plassert på hver side av K&C samlestokken, i hver av de to støtdempende kamrene og i boreslam/gass separatoren.

3.4 Boreslamprøver

Der er mulig å ta prøver av boreslammet fra prøvestasjonen som er plassert på toppen av tank 4. For å få til dette må det bli etablert sirkulasjon på sirkulasjons prøve linjen. Denne linjen er koblet på sugesiden på høytrykk boreslampumpe B, C og D og avløpet er dirigert til enten aktiv tank 1 eller 4. [3]

I tillegg er hver tank utstyrt med en prøveluke for å kunne ta en prøve direkte fra tanken.

3.5 Funksjonsbeskrivelse

3.5.1 Normal operasjon

Normal tilpasning av høytrykk boreslamsystemet er å kople HP pumpe C og/eller D til hovedslamrøret, sammen med fødepumpe C og/eller D. HP pumpe A og B kan også bli koplet til hovedslamrør, men vanligvis vil det vil det være nødvendig å bruke A og B til skjæring og eller kraftforsterkning.

Når reserve hovedslam rør skal benyttes, vil det vanlige oppsettet være HP pumpe A og/eller B sammen med fødepumpe A og/eller B. Ved benyttelse av tverrforbindelse mellom hoved og reserve slamrør samlestockene, kan alle boreslampumpene kobles til begge slamrøra. [3]

Det er operatøren som avgjør hvordan systemet kjøres.

Eksempler:

1. Når en for eksempel borer med stor borekrone (17 ½”) og må frakte store mengder borkaks opp til dekk så kan en bruke pumpe B, C og D på hovedslamrør samlestock og A til reserve. Alternativt pumpe B kan bli brukt til trykkforsterkning og A på HP skjæreenheter.
2. Når en borer ”tophole” kan typisk pumpe A bli kjørt både på reserve og hovedslamrør samlestock. Vannbasert boreslam med høy viskositet kan enkelt bli mikset i reserve tank 1 og 2 parallelt som miksing av oljebasert boreslam foregår i aktive tanker klare til å bore i dypere seksjoner.

Rengjøring og drenering

Når systemet er ute av drift er det viktig med skikkelig rengjøring for å unngå at boreslammet koagulerer og blokkerer utstyr og rør. I kalde perioder må prosjekt og borekontraktørens filosofi bli fulgt. Fra avtappingsventilene på utløpslinjene fra boreslampumpene er det klargjort for drenering tilbake til enten aktiv tank 4 eller til dreneringssystemet.

Vedlikehold

For å forsikre sikker vedlikeholdsarbeid er det installert en dobbel ”block and bleed” ventil etter hver høytrykkpumpe. Disse ventilene muliggjør også drenering av boreslam tilbake fra slamrørmanifolden enten til aktiv tank 4 eller til dreneringssystemet. Systemet skal bli vedlikeholdt i samsvar med borekontraktørens filosofi og prosedyrer.

3.5.2 Spesial operasjoner

”Backup” og overgang/crossover

Alle fødepumpene har overganger på avlastningssiden og kan bli benyttet som ”backup” for de andre. I tillegg er alle tre miks/overføring pumpene koblet til fødepumpe overgangene som muliggjør at miks/overføring pumpene kan bli benyttet som ”backup” for fødepumpene.

Støy og vibrasjoner

Rør supporterne på høytrykk boreslamssystemet er designet for å unngå støy og vibrasjons utsendelse i strukturen. Det er installert ”kicker hose” etter hver høytrykkpumpe for å redusere vibrasjon. [3]

3.6 Sementsystemet Ref. figur 1.

Hovedoppgaven til sementsystemet er å lage sementslam med korrekt vekt og kjemiske egenskaper for så å pumpe det ned i brønnen, hvor den viktigste funksjonen er i det vi kaller primærsementering. Den består i å sementere foringsrøret fast til formasjonsveggen, slik at det oppstår en trykktett forbindelse mellom foringsrøret og formasjonen. Sementen vil da hindre strømming av væske/gass mellom formasjonen og overflaten, forankre og støtte foringsrørstrengen og beskytte foringsrørene mot rustangrep. [6]

Men sementsystemet kan også brukes til følgende operasjoner:

- Nød sirkulasjon av boreslam når høytrykk boreslampumpene er utilgjengelige.
- Trykktesting av utstyr, rør og formasjoner.

4. Eksisterende rørløsning på høytrykksiden

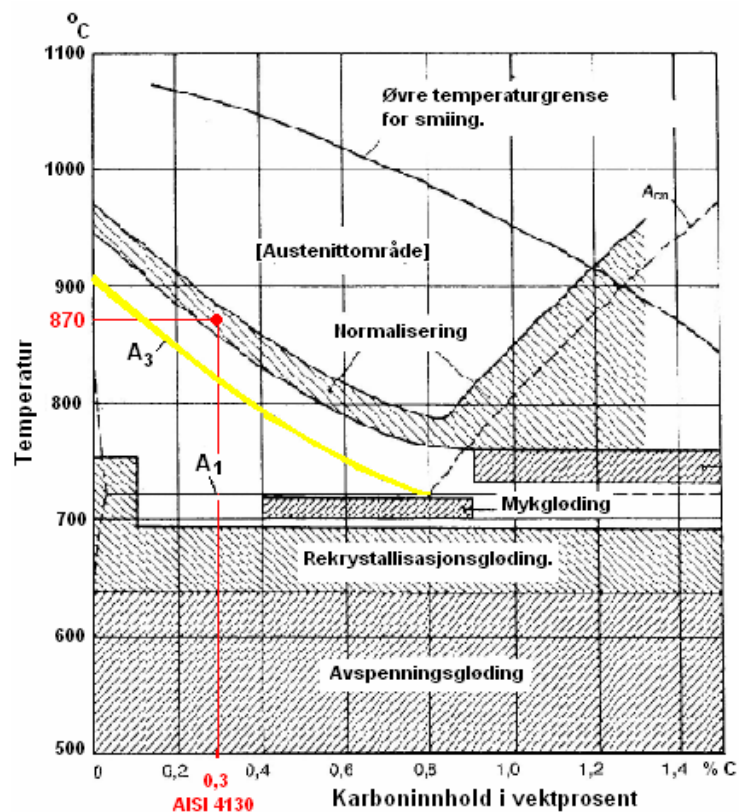
4.1 AISI 4130 QT-Stål (rask nedkjøling)

For at et materiale skal bli godkjent som rør alternative på høytrykksiden av slampumpene, må egenskapene overstige kravene fra NORSOK sin material standard M-630 (vedlegg B5). Dagens materialvalg på H6e riggene, tilfredsstillende alle disse kravene (vedlegg B8).

AISI 4130 er et lavlegert stål som inneholder molybden og krom for å øke styrken til stålet. For å oppnå den høye flyt og bruddgrensen, er det bearbeidet etter følgende metode:

Fremstillingsmetoden for å lage et sømløst rør som skal tåle det høye operasjonstrykket er todelt.

Først grovarbeides arbeidsemnet ved om lag 1200 °C, for så å finarbeide emnet til ferdig rør. Når finbearbeidingen er ferdig, vil stålet ha en temperatur på om lag 1050°C.



Figur 14 Diagram for gløding og normalisering [7]

Deretter bråkjøles stålet ved hjelp av vann eller olje, for så å bli varmet opp til temperaturen ligger like over A₃ linjen for stålet. Se figur 14. (stålet normaliseres) Denne prosessen fører til at kornene blir mindre (finkornet blanding av feritt og perlitt), og stålet får økt styrke.

4.2 Aker Kværner metoden

Når Aker Kværner beregnet veggtykkelsen til høytrykksiden av boreslampumpene, tok de utgangspunkt i NORSOK standard M-630. Den forteller at flytegrensen og bruddgrensen skal minimum være på henholdsvis 415 og 620 MPa. Flytegrensen er senere hevet fra 415 til 517 MPa. Deretter beregnet de veggtykkelsen etter ASME B31.3 for sømløse rør.

Følgende definisjoner brukes til beregningen:

p – Design trykket.	54,3 MPa	
C - Korrosjonstillegg.	3 mm	(figur 26)
E - Sveisefaktor.	1	(figur 26)
D – Ytre rørdiameter (5”).	141,3 mm	
Y – Koeffisient etter tabell.	0,4	(vedlegg B3)
P_s - Tykkelse toleranse	10 % (1,11)	(vedlegg B2)
S – Tillatt spenning. (S skal være 1/3 av Rm eller 2/3 av Re, den minste skal velges)		
• Rm – min 620 MPa. $1/3 \times 620 \text{ MPa} = \underline{207 \text{ MPa}}$		(velges)
• Re – min 517 MPa. $2/3 \times 517 \text{ MPa} = 345 \text{ MPa}$		

Bruddgrensen ”Rm” er hentet fra NORSOK standard M-630 (vedlegg B5)

Formelen for rette sømløse rør er:

$$t = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (S \cdot E + p \cdot Y)}$$

Når minimum veggtykkelse er beregnet, vil korrosjonstillegget bli lagt til, deretter multipliseres dette med tykkelse toleransen.

$$t_{Min} = (t + C) \cdot P_s$$

Setter inn tall:

$$t = \frac{54,3 \text{ MPa} \cdot 141,3 \text{ mm}}{2 \cdot ((207 \text{ MPa} \cdot 1) + (54,3 \text{ MPa} \cdot 0,4))} = \underline{16,77 \text{ mm}}$$

Legger til 3mm korrosjonstillegg og tykkelse toleranse på 1,11:

$$t_{Min} = (16,77 \text{ mm} + 3 \text{ mm}) \cdot 1,11 = 21,94 \text{ mm} \approx \underline{22 \text{ mm}}$$

Her stemmer beregningene med veggtykkelsen som er på rørklasse KX75.

5. Alternative løsninger

5.1 Alternativ pumpeløsning (NOV) National Oilwell Varco HEX 240



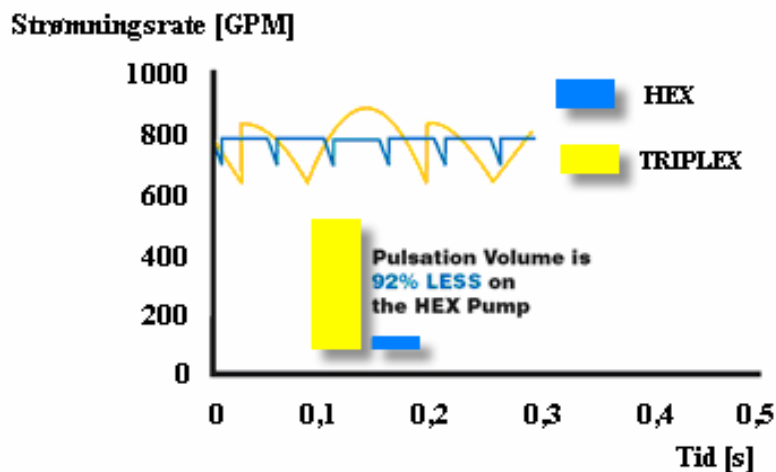
Figur 15: HEX 240 [8]

Systemoversikt

Hex pumper er en relativt ny pumpe design som til nå kun er installert i Oseberg Øst på norsk sokkel. Hex pumper blir bare levert av NOV som på verdensbasis har levert rundt hundre boreslampumper.

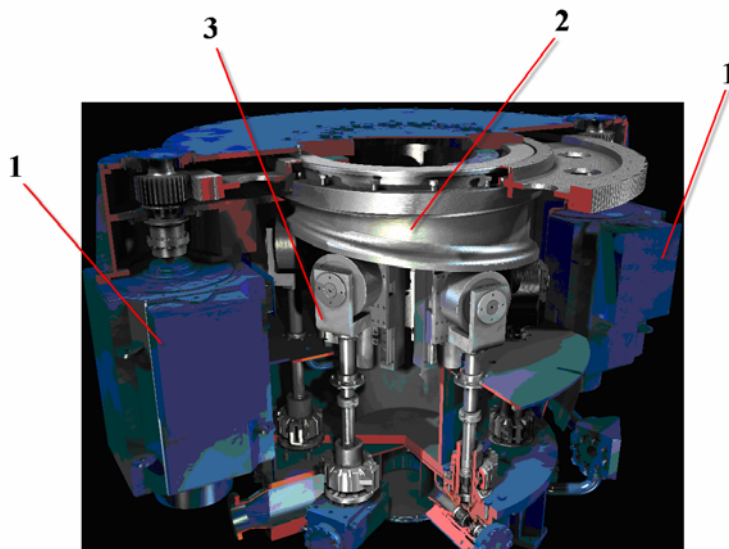
5.1.1 Generelt

HEX 240 er en stempelpumpe med seks vertikale stempler, som blir drevet av to elektriske motorer via en girkasse og kamaksel. Det benyttes mindre sylindreforinger (4,5" eller 5,5") i motsetning til Triplex pumper som bruker mellom 5" og 7,5" sylindreforinger. Det vil si at det er mindre væske i bevegelse under hvert slag og en får dermed en jevnere strømning som resulterer i mindre pulsslå. Fordelene med det er at en får bedre signal på MWD (Measurement While Drilling) og mindre rørvibrasjoner. Se figur 16.



Figur 16: Sammenligning av pulsslå med hex og triplexpumper [8]

5.1.2 Motorsiden



Figur 17: HEX 240 innvendig [12]

Motorsiden på Hex pumpen befinner seg på oppsiden og består i hovedsak av motorer (1), girhjul, lager, asymmetrisk kamaksel (2) og sylindere (3). Pumpen er drevet av to elektriske motorer som er festet på hver sin side, disse gjør at en kan kontrollere strømning og trykk bare med å justere hastigheten på pumpen, altså ikke nødvendig å skifte sylindreforinger.

Se figur 17.

5.1.3 Pumpe enden

Pumpe enden består i hovedsak av seks ventil- og stempel enheter og er lokalisert på nedsiden av pumpen. Samlestokken på sugesiden er plassert nede i midten av pumpen og samlestokken på utløpssiden er plassert nede på utsiden av pumpen. [12]

5.2 Alternativt material for høytrykk rørside (Super Duplex)

Når det skal bestemmes hvilke rør som skal installeres på høytrykksiden ut fra en boreslampumpe, må en ta hensyn til flere standarder. For å komme frem til et alternativt material, må dette materialet tilfredsstillere kravene i standardene.

5.2.1 Standarder

NORSOK Standarden

I starten når Nordsjøen ble bygget ut på 1970-tallet, var det mye prøving og feiling med hensyn på valg av rør, og rør kvaliteter. Men etter hvert ble disse løsningene standardisert slik at oljeselskapene kunne følge standardene når vanskelige rør valg skulle bestemmes. Det var stort sett de amerikanske standardene som ble brukt den første tiden, og noen av de som går på rør valg er listet opp her:

- ASME - The American Society of Mechanical Engineers
- ASTM - The American Society for Testing and Materials
- ANSI - The American National Standards Institute
- API - The American Petroleum Institute

Noen Europeiske standarder som også brukes er:

- BS - British Standards Institution
- DIN - Deutsche Industrie Normen
- TBK 5/6 - Den Norske Trykkbeholderkomite
- DNV - Det Norske Veritas

NORSOK standarden har som hovedoppgave å redusere kostnadene til den Norske offshore industrien. Før NORSOK standarden var på plass (1995), måtte olje selskapene gjennom en dyr og omfattende material dokumentasjon for hvert prosjekt. Dette er nå standardisert i NORSOK standarden, og kostnadene er redusert betydelig. Ved dimensjonering av rør er ANSI B 31.3 (ASME B 31.3) mest benyttet i Nordsjøen, men på land er det flere alternativ som benyttes. ANSI B 31.3 er en amerikansk designkode for beregning av trykksatte rør og ble egentlig laget for kjemi og petroleumsindustrien.

Aker standarden

Som utgangspunkt er det NORSOK standard L-001, rørklasse KX70, med tilhørende NORSOK materialstandard M-630 som Aker standarden er bygget på. Men den er modifisert med tanke på at trykket er redusert fra 10 000 psi til 7500 psi, og det er lagt til et

korrosjonstillegg på 3 mm i henhold til Det Norske Veritas (DNV) offshore standard E-101 fra 2006 (vedlegg B4). M-630 standarden forteller at for materialet AISI 4130 skal det være en flytegrense på minst 415 MPa, denne er hevet til 517 MPa [9] av Aker Kværner.

Den nye rørklassen for høytrykk siden på H6e riggene heter etter disse forandringene KX75.

Aker sin standard sier at materialet som boreslamvæsken skal strømme igjennom, må ha en flytegrense på minimum 517 Mpa. For at dette kravet skal være innfridd er det bare ett material som tilfredsstiller dette, og det er UNS S 32550 (vedlegg B6).

5.2.2 UNS S 32550 (Super Duplex)

Dette materialet er et ferritt/austenitt stål som inneholder over 25 % krom og 16 % nikkel. Derfor er dette stålet meget sterkt, og det er også meget korrosjonsbestandig overfor det korrosive miljøet på en boreplattform. På grunn av legeringene krom og nikkel, er dette materialet også mye dyrere enn AISI 4130.

Priser pr. 01.04.2008 [9]

AISI 4130	pr. kg	57 NOK	(gjennomsnitt på rørdelene)
UNS S 32550 (Super Duplex)	pr. kg	205 NOK	(gjennomsnitt på rørdelene)

Tettheten er noenlunde den samme for materialene, og derfor vil også vekten bli nesten den samme. (finder veggtykkelsen fra tabell som vist i vedlegg B2)

- $m_{19,05mm} = \underline{57,4 kg / m}$ (AISI 4130) (Vedlegg B1)
- $m_{12,70mm} = \underline{40,3 kg / m}$ (UNS S 32550) (Vedlegg B2)

Den nærmeste standard tykkelse over 12,54 mm, er (ut fra tabell B1) 12,7 mm og har en vekt på 40,3 kg/m (reduksjon på 17 kg/m rør).

6. Alternativ VS eksisterende pumpeløsning

6.1 HEX 240 og Wirth 2200 opp mot NORSOK II standarden

På Aker H6e riggen blir det benyttet fire Triplex pumper, som er nødvendig for å oppfylle designkravet til NORSOK Drilling facilities standarden.

Standard krav:

1. Minimum antall HP pumper: 2
2. Strømningsrate ved 345 bar skal være minst $420 \text{ m}^3/\text{h}$. (Continuous output at 85% of max. capacity)
3. Maks. operasjonstrykk: 517 bar
4. Nødvendig strømningsrate ved maks. operasjonstrykk (Continuous output): $300 \text{ m}^3/\text{h}$
Continuous output vil her si 85% av 110 SPM

Tabell 6.1 Pumpekapasitet til Wirth 2200 ved maks turtall (110 SPM) [3]

Sylinderføring [Tommer]	Maksimalt trykk [Barg]	Maksimal strømningsrate [m^3/h]	Slagvolum [litr]
7 ½	265	200	30,44
7	304	175	26,52
6½	352	150	22,86
6	413	128	19,48
5 ½	492	108	16,37
5	517	89	13,53

Wirth 2200:

Continuous output: $110 \cdot 0,85 = \underline{94SPM}$

Ser av tabell 6.1 at strømningsmengden med 6½" sylinder ved 352 bar er $150 \text{ m}^3/\text{h}$, med hensyn på Continuous output blir det $150 \cdot 0,85 = \underline{128 \text{ m}^3 / \text{h}}$ for hver pumpe. Totalt for alle fire pumpene blir det $128 \cdot 4 = \underline{512 \text{ m}^3 / \text{h}}$ som tilfredstiller krav nr. 2.

Ser av tabell 6.1 at pumpen leverer $89 \text{ m}^3/\text{h}$ ved 517 bar med 5" sylindere.

Det vil si at pumpen leverer $89/110 = 0,81 \text{ m}^3/\text{h}$ per omdreining, så ved 94 SPM leverer hver pumpe $94 \cdot 0,81 = 76 \text{ m}^3/\text{h}$ og totalt leverer alle fire pumpene $76 \cdot 4 = 304 \text{ m}^3/\text{h}$ som tilfredsstiller krav nr. 4.

Ser av dette at Wirth 2200 tilfredsstiller NORSOK II kravet når det benyttes fire boreslampumper.

HEX 240:

Continuous output: $212 \cdot 0,85 = 180 \text{ SPM}$

$$1 \text{ GPM} = 6,30902 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} \Rightarrow 1 \text{ GPM} = (6,30902 \cdot 10^{-5}) \text{ m}^3/\text{s} \cdot 3600 \text{ s} = 0,227 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$14,5038 \text{ psi} = 1 \text{ bar} \Rightarrow 7500 \text{ psi} = \left(\frac{7500}{14,5} \right) \text{ bar} = 517 \text{ bar}$$

$$\Rightarrow 345 \text{ bar} = (345 \cdot 14,5) \text{ psi} \approx 5000 \text{ psi}$$

Ser av figur 18 at strømningsraten til HEX 240 med 4,5" sylindreforing ved 5000 psi er ca. $810 \text{ GPM} = (810 \cdot 0,227) \text{ m}^3/\text{h} = 184 \text{ m}^3/\text{h}$, med hensyn på continuous output blir det $184 \cdot 0,85 = 156 \text{ m}^3/\text{h}$ for hver pumpe. Antall pumper som er nødvendig for å tilfredsstille

$$\text{krav nr. 2 blir da: } \left(\frac{420}{156} \right) \text{ m}^3/\text{h} = 2,7 \approx 3$$

Ser av figur 18 at maksimal strømningsrate til HEX 240 med 4,5" sylindreforing ved 517 bar er ca. $580 \text{ GPM} = (580 \cdot 0,227) \text{ m}^3/\text{h} = 132 \text{ m}^3/\text{h}$

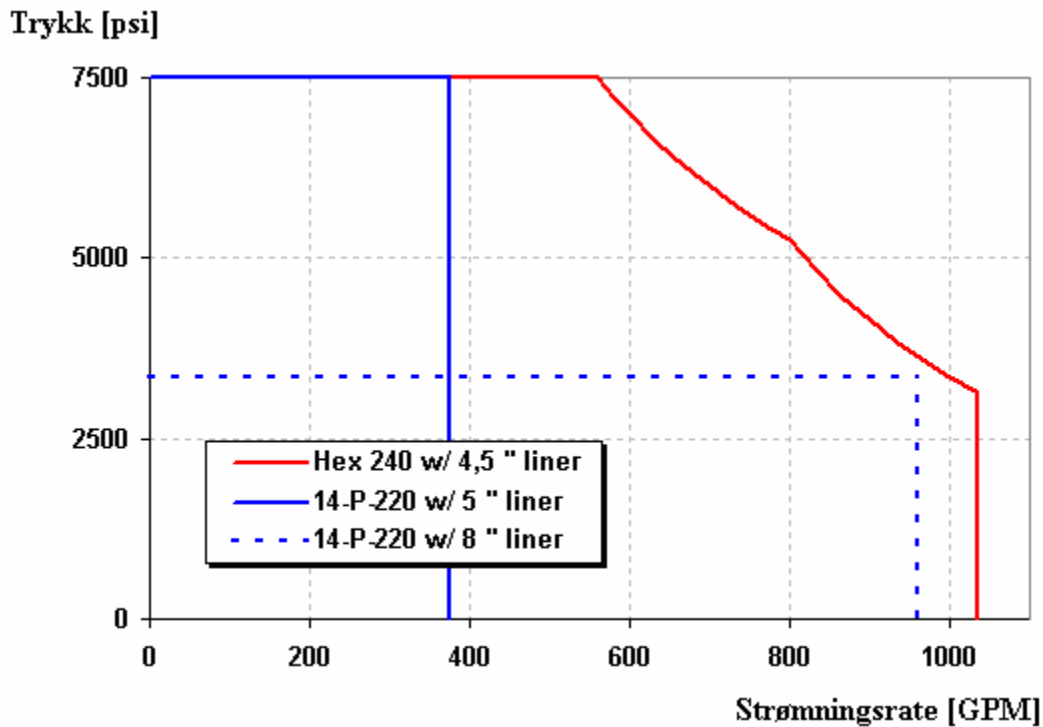
Pumpen leverer $132 \text{ m}^3/\text{h} / 212 \text{ SPM} = 0,62 \text{ m}^3/\text{h}$ per omdreining.

Regner så ut hvor mye hver pumpe leverer ved maks. operasjonstrykk (Continuous output):

$(180 \cdot 0,62) \text{ m}^3/\text{h} = 112 \text{ m}^3/\text{h}$ Antall pumper som er nødvendig for å tilfredsstille krav nr. 4 blir

$$\text{da: } \left(\frac{300}{112} \right) \text{ m}^3/\text{h} = 2,7 \approx 3$$

Ser av dette at det er nok med tre HEX 240 boreslampumper for å tilfredsstille NORSOK II kravet.



Figur 18: Trykk og strømningsrate diagram for HEX 240 [12]

6.2 Økonomiske beregninger

Wirth 2200:

En Wirth 2200 pumpe inkludert motor koster ca. 1,3 mil. EUR.[11] Total kostnad for fire pumper blir $(1,3 \cdot 4) = \underline{5,2 \text{ mil. EUR}}$ 1 EUR er tilnærmet 8,0 NOK omregnet til norske kroner blir det: $(5,2 \cdot 8) = \underline{41,6 \text{ mil. NOK}}$

HEX 240:

En HEX 240 pumpe inkludert motor koster ca. 2,5 mil. USD [12] Total kostnad for tre pumper blir $(2,5 \cdot 3) = \underline{7,5 \text{ mil. USD}}$ 1 USD er tilnærmet 5,0 NOK omregnet til norske kroner blir det: $(7,5 \cdot 5) = \underline{37,5 \text{ mil. NOK}}$

6.3 Sammenligning av vekt og gulvareal

Ut fra vedlegg A2 veier HEX 240 pumpen 36 tonn, Wirth 2200 veier i følge dokument H600-ED463-R-MG-001 Lifting & Installation Instructions ca. 49 tonn.

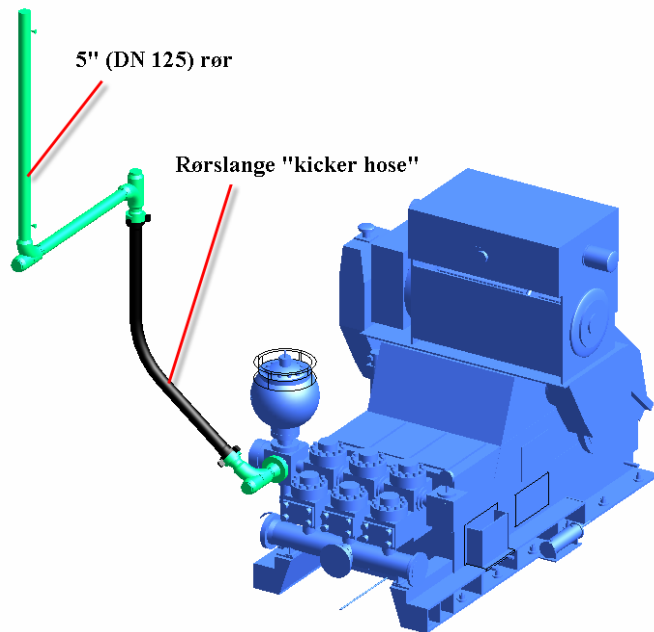
Total vekt av HEX 240 pumper blir: $36 \cdot 3 = \underline{108 \text{ tonn}}$.

Total vekt av Wirth 2200 pumper blir: $49 \cdot 4 \approx \underline{196 \text{ tonn}}$.

Ut fra vedlegg A2 opptar Hex pumpen 8 m^2 gulvareal og i følge Lifting & Installation Instructions opptar Triplex pumpen ca. 17 m^2 med gulvareal.

Totalt gulvareal for HEX 240 alternativet blir: $8 \cdot 3 = \underline{24 \text{ m}^2}$ og totalt gulvareal for Wirth 2200 pumpene blir: $17 \cdot 4 = \underline{68 \text{ m}^2}$

7. Veggtykkelse for rørsystemet



Figur 19: Viser eksisterende rørdesign på høytrykksiden

Kapittel seks tar for seg beregning av veggtykkelse for et 5" rør på høytrykksida ut fra boreslampumpen. Dagens løsning på høytrykksiden veier om lag 40 tonn [9], og det er den vekten som ligger til grunn for de økonomiske beregningene.

7.1 Beregningsformler

Når det beregnes veggtykkelse videre brukes Mises formlene fra Fasthetslære boken til F.Irgens [15], og Aker metoden er basert på den Amerikanske dimensjonerings formelen (ANSI B31.3) for beregning av veggtykkelse på en rørvegg.

- Mises (Tynnvegget beholder) $\sigma_J = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y}$
- Mises (Tykkvegget beholder) $\sigma_J = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2]}$
- ANSI B31.3 $t = \frac{p \cdot D}{2 \cdot (S \cdot E + p \cdot Y)}$

DNV E-101 viser at hvis Richard Von Mises beregningsformel skal benyttes i beregningene, må standardens flytegrense ikke belastes med mer en 60 % av maksimal styrke (vedlegg B7). Dette fører til at de videre beregninger må ta hensyn til dette.

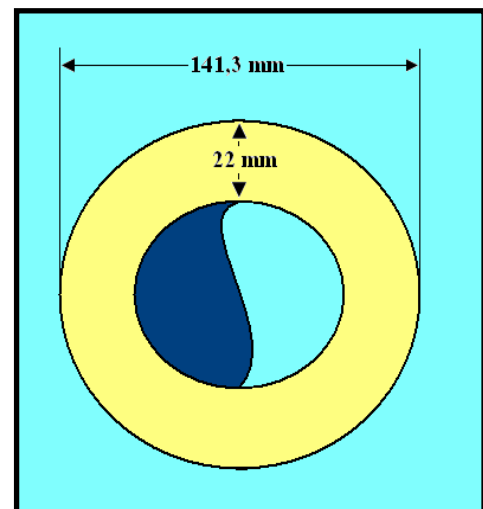
517 MPa x 0,6 = 310,2 MPa (grensen som videre beregninger må tilfredsstille).

7.2 Spenningsberegning for AISI 4130

Designtrykket brukes som grunnlag for samtlige beregninger, og designtrykket for rørklasse KX75 er på 543 bar. Videre gjelder beregningene for 5" (DN 125) rør som har en ytre diameter på 141,3 mm, og en veggtykkelse på 22 mm. AISI 4130 røret som er levert H6e prosjektet har en flytegrense på over 600 MPa (vedlegg B8). Aker Kværner har satt sin egen standard der grensen mot flyt skal være mer en 517 MPa, men som nevnt før er det 310,2 MPa som brukes til beregningsgrunnlag.

Rør fakta

Ytre diameter:	141,3 mm
Indre diameter:	97,3 mm
Veggtykkelse:	22,0 mm
Midlere radius r:	
$((141,3+97,3)/2)/2 =$	59,65 mm
Beregnings trykk:	543 bar
1 bar = $10^5 Pa$	543 bar = <u>54,3 MPa</u>



Figur 20: Rørsnitt DN125

Følgende krefter virker på et trykksatt rør:

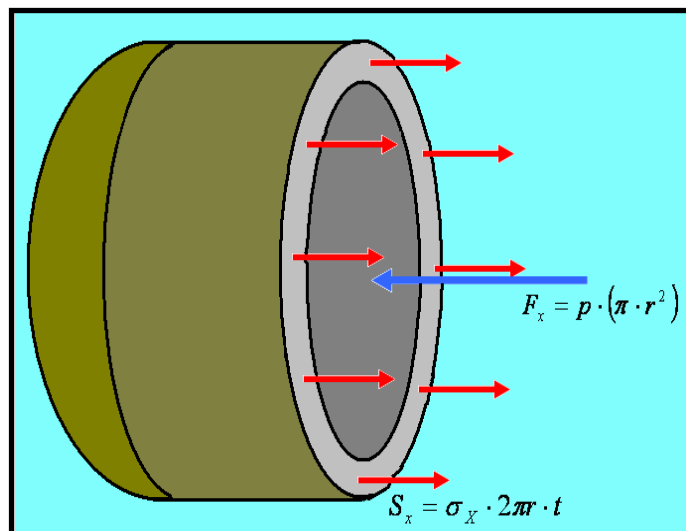
Strekkspenning aksialt: σ_x

Trykkreftene settes opp mot kreftene som skal holde tilbake. ($S_x = F_x$)

Trykk x Areal = Spenning x Areal

$$p \cdot (\pi \cdot r^2) = \sigma_x \cdot (2 \cdot \pi \cdot r \cdot t)$$

$$\sigma_x = \frac{r}{2t} p \quad (r = \text{midlere radius})$$



Figur 21: Aksialt snitt

Dette er kraften som vil prøve å dra røret fra hverandre på tvers.

Strekkspenning radielt: σ_y

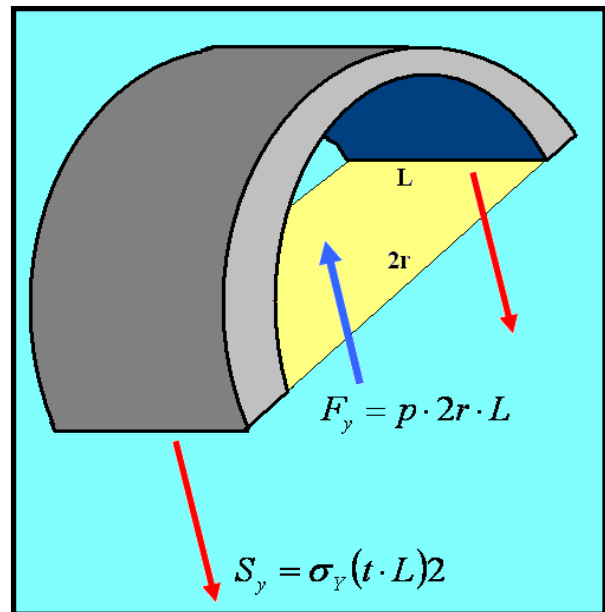
Trykkreftene settes opp mot kreftene som skal holde røret sammen. ($S_y = F_y$)

Trykk x Areal = Spenning x (Areal x 2)

$$p \cdot (2 \cdot r \cdot L) = \sigma_y \cdot ((t \cdot L) \cdot 2)$$

Løser ut σ_y fra ligningen:

$$\sigma_y = \frac{r}{t} p \quad (r = \text{midlere radius.})$$



Figur 22: Radielt snitt

Dette er da kraften som vil prøve å rive røret fra hverandre på langs. Den radielle kraften er dobbel så stor som den aksielle, noe som vil føre til at røret alltid vil revne langs akselen og ikke på tvers av den.

For å kunne sammenligne radielle krefter med aksial krefter, brukes Mises-kriteriet mot flytning. Også kalt jevnføringspenning. (sammenlignings spenning)

For plan spenningstilstand, hvor det sees bort fra trykkdifferansen innvendig/utvendig er formelen som vist under.

$$\sigma_J = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y}$$

Setter inn tallene for å finne aksial og radielle spenning:

$$\sigma_x = \frac{r}{2t} p \quad \sigma_x = \frac{59,65\text{mm}}{2 \cdot 22\text{mm}} \cdot 54,3\text{MPa} = \underline{73,61\text{MPa}}$$

$$\sigma_y = \frac{r}{t} p \quad \sigma_y = \frac{59,65\text{mm}}{22\text{mm}} \cdot 54,3\text{MPa} = \underline{147,23\text{MPa}}$$

Setter deretter spenningene inn i Mises sammenlignings formel:

$$\sigma_J = \sqrt{73,61^2 + 147,23^2} - 73,61 \cdot 147,23 = \underline{127,5 \text{ MPa}} \ll 310,2 \text{ MPa}$$

Aker Kværner sin interne standard på 310 MPa er mye større enn jevnføringsspenningen som ble beregnet over.

For å kunne bruke beregningene, er det to kriterier som må være innfridd: [15]

- Formelen ” $\sigma_x = \frac{r}{2t} p$ ” gir for høye verdier, men feilen er mindre en 11 % hvis:
 $t/r < 1/10$. $22 \text{ mm}/60 \text{ mm} < 1/10 \longrightarrow 0,37 < 0,1$
 Dette er ikke tilfelle her, derfor vil feilprosenten være over 11 % for σ_x .
- $\sigma_y = \frac{r}{t} p$ vil gi mindre en 1 % lavere verdier en den eksakte formelen for σ_y hvis:
 $t/r < 1/5$ $22 \text{ mm}/60 \text{ mm} < 1/5 \longrightarrow 0,37 < 0,2$
 Her er tilfellet også motsatt, noe som fører til at feilprosenten blir større en 1 % for σ_y .

Dette betyr at det må tas hensyn til trykkspenningen (σ_z), og da må formelen for tykkvegget beholder brukes.

Spenningsberegning for tykkvegget beholder

I dette tilfellet blir det en tre akset spenningstilstand, bruker da teorien for tykkvegget beholder med indre overtrykk p og indre radius a og til slutt en ytre radius b .

Fakta:

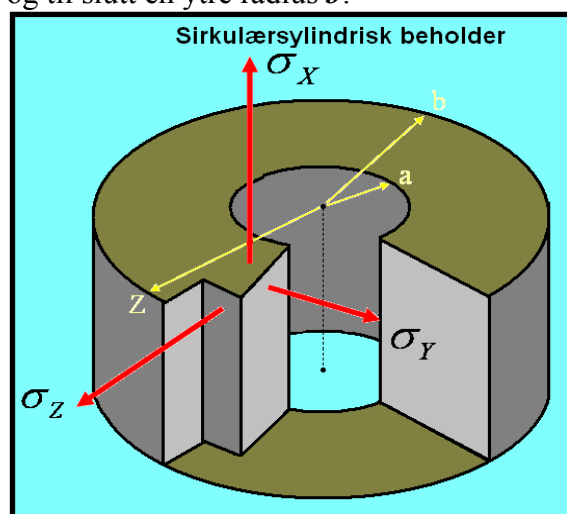
Indre radius $a = 48,65 \text{ mm}$.

Ytre radius $b = 70,65 \text{ mm}$.

Trykket $p = 54,3 \text{ MPa}$.

Radien z kan variere mellom a og b , men her er den definert som a . $z = a$

Grunnen er at normalkraften som trykket utgjør, er størst når z er lik a .



Figur 23: Treakset spenningstilstand

Følgende formler for σ_x , σ_y , og normalspenningen σ_z er definert som:

$$\sigma_x = \frac{\left(\frac{a}{b}\right)^2}{1 - \left(\frac{a}{b}\right)^2} \cdot p \qquad \sigma_y = \frac{\left(\frac{a}{b}\right)^2 + \left(\frac{a}{z}\right)^2}{1 - \left(\frac{a}{b}\right)^2} \cdot p \qquad \sigma_z = \frac{\left(\frac{a}{b}\right)^2 - \left(\frac{a}{z}\right)^2}{1 - \left(\frac{a}{b}\right)^2} \cdot p$$

Setter inn verdiene, og husker på at z er størst på innsiden av røret. ($z = a$)

$$\sigma_x = \frac{\left(\frac{48,65\text{mm}}{70,65\text{mm}}\right)^2}{1 - \left(\frac{48,65\text{mm}}{70,65\text{mm}}\right)^2} \cdot 54,3\text{MPa} = \underline{48,97\text{MPa}}$$

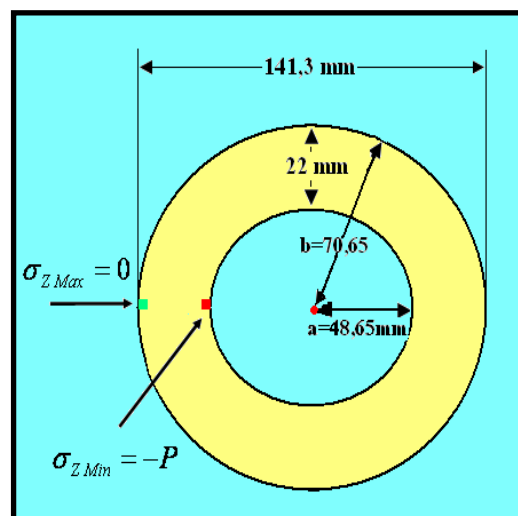
$$\sigma_{y\text{ Max}} = \frac{\left(\frac{48,65\text{mm}}{70,65\text{mm}}\right)^2 + 1}{1 - \left(\frac{48,65\text{mm}}{70,65\text{mm}}\right)^2} \cdot 54,3\text{MPa} = \underline{152,23\text{MPa}} \quad (z = a)$$

$$\sigma_{z\text{ Min}} = \frac{\left(\frac{48,65\text{mm}}{70,65\text{mm}}\right)^2 - 1}{1 - \left(\frac{48,65\text{mm}}{70,65\text{mm}}\right)^2} \cdot 54,3\text{MPa} = \underline{-54,3\text{MPa}} \quad (z = a)$$

σ_z spenningen er negativ, og er størst på innsiden av røret. Det er denne spenningen som setter σ_x , og σ_y i sving.

Når de tre spenningene er beregnet, brukes den generelle jevnføringspenningen for en treakset spenningstilstand til å finne σ_j .

Eventuelle vridningskrefter er ikke tatt med i videre beregninger.



Figur 24: Rørsnitt DN125

Mises

Jevnføringspenningen for en treakset spenningstilstand:

$$\sigma_J = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2]}$$

Setter så inn verdiene som er beregnet, og får ut jevnføringspenningen til rør materialet ved 54,3 MPa. (543 bar)

$$\sigma_J = \sqrt{\frac{1}{2}[(48,97 - 152,23)^2 + (152,23 - (-54,3))^2 + ((-54,3) - 48,97)^2]} = \underline{178,86 \text{ MPa}}$$

Feilprosent

Når alle de tre spenningene er med, får vi en jevnføringspenning på om lag 180 MPa.

Men når det bare var den radielle og aksielle spenningen som var med, ble svaret 130 MPa.

Differansen mellom 180 MPa og 130 MPa er på 50 MPa, dette utgjør en feilprosent på om lag 28 %.

$$\frac{50 \text{ MPa}}{180 \text{ MPa}} \cdot 100\% = \underline{27,8\%}$$

Den reelle jevnføringspenningen vil ligge noe over 180 MPa, dette er på grunn av at eventuelle vri kreftene ikke er tatt med i beregningene her.

Testmarginen

Og hvis testtrykket (81,5 MPa) brukes i formelen over, blir jevnføringspenningen 270 MPa:

$$n = \frac{f_y}{\sigma_j} = \frac{310 \text{ MPa}}{270 \text{ MPa}} = 1,14$$

Testtrykket skal ligge helt oppunder flytegrensen til materialet som testes og i dette tilfellet stemmer det.

7.3 Minimum veggtykkelse

Ved å legge Mises formelen inn i et Excel ark, kan det regnes ut når minimum veggtykkelse er lik Aker standarden på 310,2 MPa.

Indre radius (a) vil i dette regnearket variere med 1 millimeters intervall fra 48,65mm til 69,65 mm.

Her vil en veggtykkelse på 11,8 mm være den lavest tillatte veggtykkelsen.

Hvis det skulle velges en veggtykkelse på mindre en 11,8 mm, vil jevnførings-spenningen overstige 310 MPa.

σ_j	σ_x	σ_y	σ_z	vegg tykkelse.	Ytre rad. b	Indre rad. a	Trykket p
[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[mm]	[mm]	[mm]	[MPa]
178,9	49	152	-54	22	70,65	48,65	54,3
185,8	53	160	-54	21	70,65	49,65	54,3
193,5	57	169	-54	20	70,65	50,65	54,3
202,0	62	179	-54	19	70,65	51,65	54,3
211,5	68	190	-54	18	70,65	52,65	54,3
222,2	74	202	-54	17	70,65	53,65	54,3
234,2	81	216	-54	16	70,65	54,65	54,3
247,8	89	232	-54	15	70,65	55,65	54,3
263,4	98	250	-54	14	70,65	56,65	54,3
281,5	108	271	-54	13	70,65	57,65	54,3
302,6	120	295	-54	12	70,65	58,65	54,3
307,2	123	300	-54	11,8	70,65	58,85	54,3
312,0	126	306	-54	11,6	70,65	59,05	54,3
317,0	129	312	-54	11,4	70,65	59,25	54,3
322,2	132	318	-54	11,2	70,65	59,45	54,3
327,5	135	324	-54	11	70,65	59,65	54,3
357,5	152	359	-54	10	70,65	60,65	54,3
394,3	173	401	-54	9	70,65	61,65	54,3
440,2	200	454	-54	8	70,65	62,65	54,3
499,4	234	522	-54	7	70,65	63,65	54,3
578,3	280	613	-54	6	70,65	64,65	54,3
688,8	343	741	-54	5	70,65	65,65	54,3
854,8	439	933	-54	4	70,65	66,65	54,3

Figur 25: Utdrag fra Excel ark

Minimum veggtykkelse som inkluderer tilleggene

Spesifikasjonsdelen av databladet til rør klasse KX75

Max Design Pressure at Temperature				RATING		API 7500	
Degr. C	-20,0	38,0	90,0	Corr. Allow	3,00 mm		
BAR	543,0	543,0	543,0	Code	ASME B31.3		
WELD FACTOR:				1,00			
WALL THICKNESS TOLERANCE:				10 %			
SERVICES:							
DN	50	80	100	125	150		
OD	60,3	88,9	114,3	141,3	168,3	mm	
THK.	12,0	15,2	19,0	22,0	26,0	mm	
SCH.		xxs					

Figur 26: Tilleggsfaktorene for rørklasse KX75 [14]

Tilleggene

C - Korrosjonstillegg. 3 mm

E - Sveisefaktor. 1

P_s - Tykkelse toleranse 10 % (1,11) (Dette er en koeffisient som tar hensyn til minustoleranser og veggtykkelser. (vedlegg B5)

t = Minimum veggtykkelse t_{Min} = Minimum veggtykkelse med tillegg

Da blir formelen for minste tillatte veggtykkelse med alle tillegg slik:

$$t_{Min} = (T + (C \cdot E)) \cdot P_s$$

Setter inn tall:

$$t_{Min} = (11,8 \text{ mm} + (3 \text{ mm} \cdot 1)) \cdot 1,11 = \underline{16,43 \text{ mm}}$$

Et utdrag fra ASME B36.10-B36.19 som er vist under, forteller at den minste standard veggtykkelsen som kan brukes er 19,05 mm. Grunnen er at $15,88 < 16,43$, derfor må den neste veggtykkelsen velges.

Norwegian Piping AS Jonstadveien 6 5146 Fyllingsdalen Norway			PIPE SCHEDULE & WEIGHTS ASME B36.10 - B36.19														Norwegian Piping		
			SCHEDULE & WEIGHTS																
NPS (Inch)	DN (mm)	OD (mm)	5S (mm)	5 (mm)	10S (mm)	10 (mm)	20 (mm)	30 (mm)	STD/ 40S (mm)	40 (mm)	60 (mm)	XS/ 80S (mm)	80 (mm)	100 (mm)	120 (mm)	140 (mm)	160 (mm)	XXS (mm)	
5	125	141,3	2,77 9,5	3,40 11,6					6,55 21,8			9,53 31,0			12,70 40,3		15,88 49,1	19,05 57,4	

Figur 27: Standard veggtykkelser for DN 125 [13]

Forskjellen mellom 16,43 mm og 19,05 (2,62 mm) vil bli en ekstra sikkerhetsmargin, og den kommer i tillegg til at flytegrensen ikke skal belastes med mer en 60 % av maksimal styrke.

7.4 Økonomiske betraktninger (ANSI B31,3 mot Mises)

Nå er høytrykksrøret beregnet etter to forskjellige beregningsmetoder, av den grunn vil en nå vise den økonomiske forskjellen mellom de to. Høytrykksiden for boreslampumpene består av om lag 40 tonn stål, hvis det regnes om til rørlengde blir det 620 meter. (vedlegg B1)

Videre beregninger tar bare for seg de materielle kostnadene som er knyttet opp mot røret. (eks. rør, rørflenser, og rørbend.)

Økonomiske beregninger:

Formel	Tykkelse [mm]	Vekt [kg/m]	Pris/kg [NOK]		Lengde [m]	
B 31.3	22,00	64,72	x	57	x	620 = 2 287 205 (ANSI 4130)
Mises	19,05	57,40	x	57	x	620 = 2 028 516 (ANSI 4130)
	Pris differanse					<u>258 689 NOK</u>

Om lag 250 000 kroner billigere med Mises i steden for ANSI B31,3.

7.5 Prissammenligning av AISI 4130 og Super Duplex:

Vekten og veggtykkelsen på Super Duplex er beregnet i vedlegg B2:

Formel	Tykkelse [mm]	Vekt [kg/m]	Pris/kg [NOK]		Lengde [m]	
B 31.3	22,00	64,72	x	57	x	620 = 2 287 205 (ANSI 4130)
Mises	12,70	40,3	x	205	x	620 = 5 122 130 (Super Duplex)
	Sum merutgifter					<u>- 2 834 925 NOK</u>

Det under 3 millioner kroner som skiller AISI 4130 fra å bli erstattet med Super Duplex med hensyn på materialkostnader.

8. Førstegang oppstartsbeskrivelse av HP pumpe A

Noen punkter refererer til tegning H600-ED463-R-XD-0003-01 (vedlegg A3) [17]

Nr.	Beskrivelse	Utstysnummer	Godkjent	Ikke godkjent	Bemerkninger
1	Visuell kontroll. Se til at pumpen ikke er skadet.	11-PB001A			
2	Se om beskyttelsesskjermer er montert over stempelstengene.				
3	Kontroller at rørsystemet til smøre- og kjølesystemet er uskadet.				
4	Kontroller at det elektriske systemet er uskadet og at kraftforsyning er tilkopleet.				
5	Kontroller at alle 14 festeskruene som holder pumpen på plass er tiltrukket med 1100Nm.				
6	Kontroller flens koplingen til lavtrykk fødepumpen. (N1)				



7	Kontroller koplingen til høytrykk boreslamutløpet. (N2)				
8	Kontroller kopling til sikkerhetsventiler på innløp og utløp. (N3)				
9	Kontroller kopling til kjølemedium retur/forsyning til vannkaret for kjølevæsken til sylindrerne, som befinner seg under sylindrerne. (N4 - N5)				
10	Kontroller nivået i vannkaret til kjølevæsken for sylindrerne og se til at kuleventilene er stengt slik at kjølevæsken ikke renner ut. (N6 - N7)				
11	Kontroller kopling til kjølemedium retur/forsyning til oljekjølingen på girkassen. (N8 - N9)				
12	Kontroller koplingen til giroljen og oljedreneringen til girkassen. (N10)				
13	Kontroller kopling til kjølemedium retur/forsyning til girolje kjøleren. (N11 - N12)				
14	Kontroller at dreneringen til borevæsken er stengt. (N13)				



15	Kontroller kopling til kjølemedium retur/forsyning på hovedmotoren og se til at sjøvannskjølingen er åpen. (N15 - N16)				
16	Kontroller koplingen til høytrykk sikkerhetsventil. (N19)				
17	Kontroller oljenivå i girkassen ved å sjekke måleglass på siden av/under veivlager.				
18	Kontroller vannivået til kjølesystemet for sylindene. Visuell sjekk at karet under sylindene er fullt.				
19	Kontroller at girolje temperaturen er +15°C. (Oljetemperaturen må være minst 15°C for å kunne starte pumpen)				
20	Kontroller at temperaturen på kjølevannet er minimum +1°C.				
21	Kontroller at luftinntaket på viftemotor A og B er fri for hinder	11KE001A-M01 11KE002A-M01			
22	Kontroller strømtilkoplingen til viftemotor A og B	11KE001A-M01 11KE002A-M01			



23	Kontroller rotasjonsretning til viftemotor A og B	11KE001A-M01 11KE002A-M01			
24	Kontroller at luftinntaket til pumpemotorene for smørolje til gir og girkassen er fri for hinder. (smøroljesystemet)	11PA002A-M01 11PA003A-M01			
25	Kontroller strømtilkoplingen til pumpemotorene for smøroljesystemet	11PA002A-M01 11PA003A-M01			
26	Kontroller rotasjonsretning til pumpemotorene for smøroljesystemet	11PA002A-M01 11PA003A-M01			
27	Kontroller at luftinntaket til pumpemotoren for kjølesystemet er fri for hinder	11PA001A-M01			
28	Kontroller strømtilkoplingen til pumpemotoren for kjølesystemet	11PA001A-M01			
29	Kontroller rotasjonsretning til pumpemotoren for kjølesystemet	11PA001A-M01			
30	Kontroller at forladningstrykket til sugedemperen er 1,5 bar				



31	Utfør sløyfetest av hver sensor/instrument (smørolje og kjølevæske)				
32	Åpne inspeksjonslokk i bakkant av pumpen og kontroller at det er tilstrekkelig smørolje i oljekaret rundt veivlageret.				
33	Start smøroljepumpen til giret og la den gå i 15 minutt	11PA002A-M01			
34	Start smøroljepumpen til girkassen og la den gå i 15 minutt	11PA003A-M01			
35	Kontroller at smøroljesystemet er tett. (Ingen lekkasjer)				
36	Kontroller at smøroljenivået på hvert punkt er tilstrekkelig ved å sjekke indikatorglass på siden av pumpen.				
37	Start hjelpesystemene (gir oljepumpen og oljepumpen til girkassen)				



38	La boreslampumpen gå i sakte fart og se til at krysshodene og glideløpene fungerer som de skal.				
39	Slå av boreslampumpen.				
40	Installer sylindere og stempler i henhold til dokument H600-ED463-R-MG-003 Maintenance Instructions HP Mud Pumps				
41	Start kjølepumpen til sylindrerne og la den gå.	11PA001A-M01			
42	Kontroller at kjølesystemet til sylindrerne er tett og at hver sylinder får kjølevann, dvs. at en ser retur av vann.				
43	Slå på fødepumpen.				
44	Kontroller at rør på sugesiden holder tett. (Ingen lekkasjer)				
45	Kontroller at trykket på innløpet er minst 3 bar. Må minimum ha 3 bars trykk på trykktransmitter på sugesiden for at pumpen kan starte.				



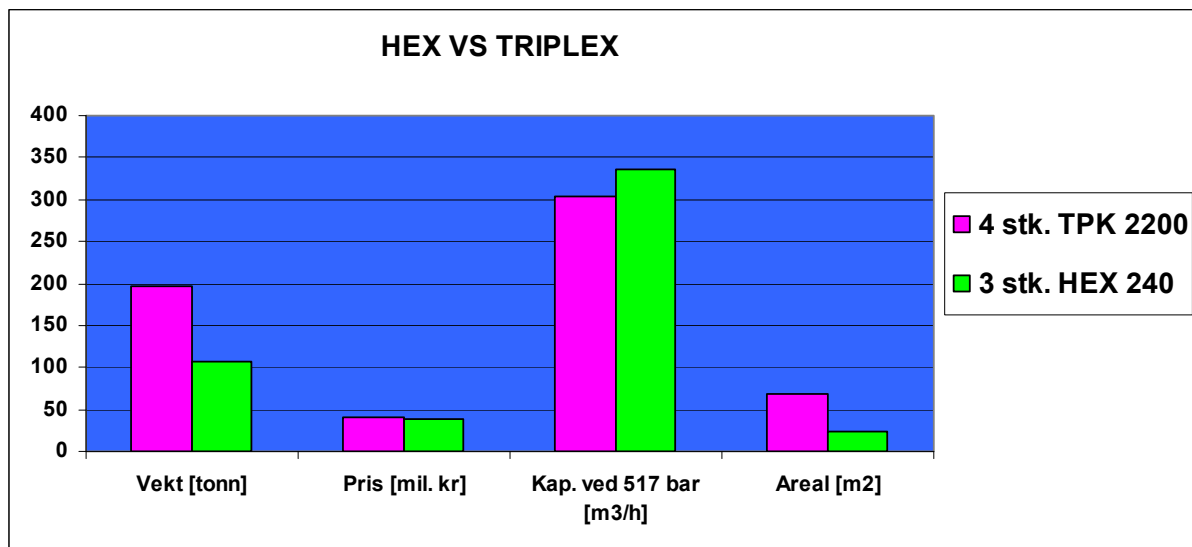
46	Start pumpemotoren med lav hastighet og kontroller krysshodene og glideløpene				
47	Kontroller at det er ingen lekkasjer				
48	Kjør opp hastigheten gradvis i 60 sekund for så å redusere hastigheten gradvis igjen i 60 sekund. Viktig å ta det gradvis slik at en kan verifisere at fødepumpen leverer nok.				

9. Diskusjon

Pumpevalg:

Fordeler med å velge NOV HEX 240

- Vekt, sparer ca. 88 tonn
- Pumpekapasitet, 3 HEX 240 pumper tilsvare mer enn 4 Wirth TPK 2200
- Økonomi, sparer ca. 4,1 millioner kr
- Trenger ikke bytte sylindreforinger, konstant 4,5” eller 5,5”
- Mindre gulvareal, sparer ca. 44 m²
- Bedre signal på MWD pga. stabil strømningsrate som følger av mindre pulseringer
- Mindre rørsystem siden det benyttes en pumpe mindre enn ved triplex alternativet



Figur 28: Fire Wirth 2200 pumper sammenlignet med tre HEX 240 pumper

Ulemper med å velge NOV HEX 240:

- Lite erfaringer. Hex pumpene er ikke er særlig utprøvd enda, og det er vanskelig å få tak i informasjon om hvor ofte en må bytte ut slidedeler som: Sylindreforinger, stempel, ventiler, ventilseter, ventildfjærer og styringer. Dette kan føre til økonomiske heftelser ved uforutsett stans i boringen og dyre vedlikeholdsbudsjett. I motsetning til Triplex pumpene som vi vet mer nøyaktig når en bør bytte ut deler før de skjærer seg. Det kan tenkes at Hex pumpene krever hyppigere service intervaller siden det er flere slidedeler som kan feile (pga seks stempler) enn i en Triplex pumpe.

- Fleksibilitet. Hvis en velger tre Hex pumper så vil en ikke kunne koble opp like mange undersystem som ved å benytte fire Triplex pumper. Stans av en Hex pumpe vil få større konsekvenser enn ved stans av en av de fire Triplex pumpene.

Rørvalg

Ved å sammenligne den amerikanske (B31,3) beregningsmetoden for tykkelse på sømløse rør, opp mot Mises sin jevnføringspenning. Kan det bevises at AISI B31,3 er en mye mer konservativ beregningsmetode en Mises. Det som hindrer Aker Kværner fra å bruke jevnføring formelen i stede for B31,3 er erfaringen, offshore industrien bruker stort sett bare B31,3 når tykkelsen på rør skal beregnes.

Det er også erfaringen som avgjør hvilket materialvalg, som skal velges til rørene på høytrykk siden av pumpene. Dette betyr at det er de forskjellige standardene som bestemmer hvilke valg som skal velges. Nye alternative deler eller materialer har en lang og vanskelig vei å gå, for å bli akseptert innen offshore industrien. Ved å velge Mises fremfor B31,3 som beregnings måte, kan materialkostnadene reduseres uten at sikkerheten senkes farefullt mye. Grunnen er at begge metodene bruker en høy sikkerhets margin, men Mises har en mer moderat margin en B31,3.

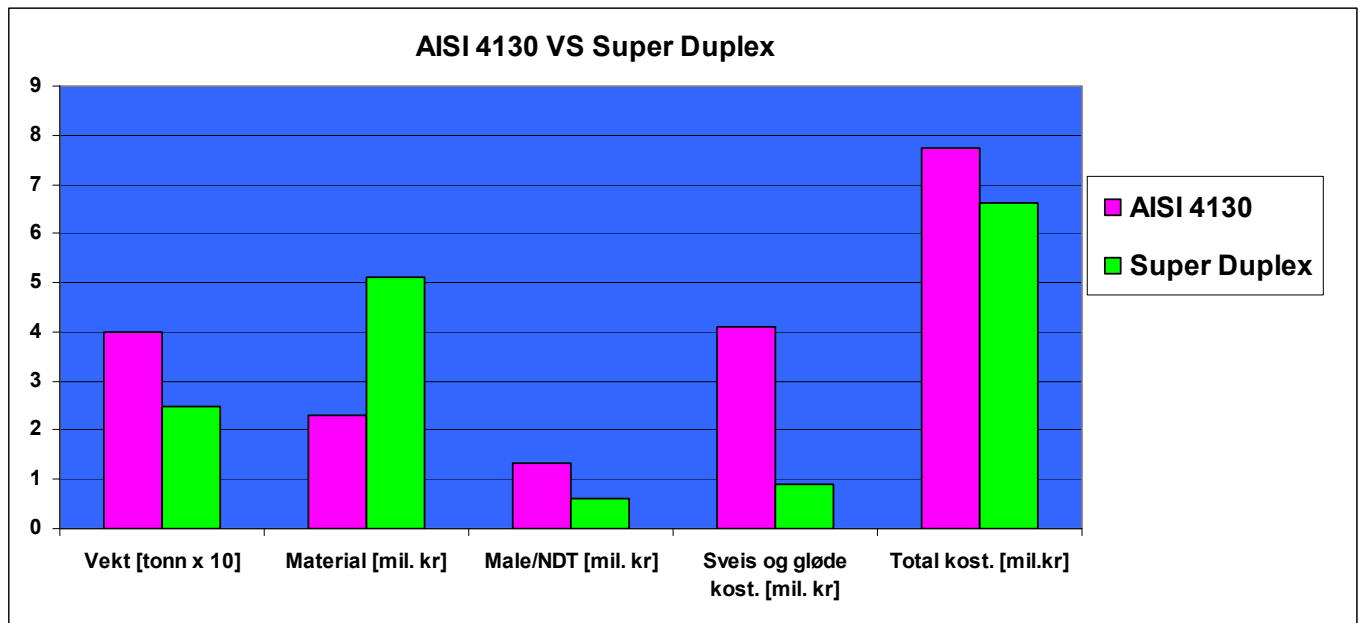
- Mises: $100\% - 60\% = 40\%$ Sikkerhetsmargin.(belastes maks. 60 % av 517 MPa)
- B31,3: $100\% - 40\% = 60\%$ Sikkerhetsmargin.(207 MPa er 40 % av 517 MPa)

Hvis sikkerhetsmarginene ble fjernet ville begge beregningsmetodene kommet frem til om lag den samme rør tykkelsen.

Fordeler med å velge Super Duplex:

- Produksjons, og installasjons kostnader
Tykkelsen på røret reduseres og dermed går vekten ned. dette fører med seg reduserte produksjons, installasjons, rør støtte og sveise kostnader.
- Sveise kostnader. Rørtykkelsen reduseres, og dette fører med seg at sveiseren slipper å sveise overskudds materiale.
- Varmebehandling av sveis. Denne kostnaden faller bort, når veggtykkelsen er under 19 mm.

- Ikke destruktive tester (NDT). Det blir bare foretatt en (ikke to som med varmebehandling) test hvis det ikke er varmebehandling på sveisen.
- Overflatebehandling. Ved å velge Duplex som rørmaterial slipper en å male røret før det blir installert.



Figur 29: Vekt og prisforskjell mellom rørmaterialene (vedlegg B9)

Ut fra beregningene av kostnadene i vedlegg B9, ser en at besparelsene er på om lag en millioner kroner med å velge Super Duplex (12,7 mm) fremfor AISI 4130 (22 mm). Da er det sett bort fra installasjons og produksjons kostnader.

Ulemper med å velge Super Duplex:

- Erfaring. Det finnes ingen erfaring ved bruk av Super Dupleks som rørvalg på høytrykksiden av boreslampumpene i dag.
- Material kostnader. Det blir noe dyrere i innkjøp.
- Komponenter. Det er enkelte komponenter til høytrykksiden av et slamsystem som ikke eksisterer i Super Duplex, men det bør være en fremtidig utfordring til utstysleverandørene.

10. Konklusjon

I H6e riggen er det installert fire tradisjonelle Triplex pumper, rapporten legger frem tre Hex stempelpumper som et reelt alternativ. Dette alternativet vil være plassparende, lettere og billigere i innkjøp. Men pga. det er en relativt ny design og lite utbredd på norsk sokkel finnes det lite driftserfaringer, noe som kan føre til uforutsette driftsutgifter. Flexibiliteten blir også noe redusert ved å benytte tre pumper istedenfor fire. Ut fra høytrykk boreslampumpene er det benyttet AISI 4130 rør. De totale besparelsene kan være større enn utgiftene med å velge Super Duplex. Aker Kværner har valgt rør materiale etter gjeldende standarder, og resultatet er som i alle andre høgtrykk boreslam system at AISI 4130 velges. Rapporten viser at Super Duplex er et mulig alternativ på valg av rør material. Rapporten viser også at veggtykkelsen kan reduseres, men da vil det gå på bekostning av sikkerhetsmarginen.

11. Referanser

1. Edward Mørk. Drilling Basics (Aker Kværner PP-presentasjon)
2. www.kcadeutag.com
3. System Description, System 11 – HP Mud system (Dokument: H600-MH-P-RA-1103)
4. www.wirth-europe.com
5. Wirth Service and Maintenance Booklet
6. System Description, System 11 – Cement system (Dokument: H600-MH-P-RA-1105)
7. B.Arne Gufstasson. Lærebok i Materialteknikk 1. utgave (1987)
8. www.nov.com
9. Geir Govertsen. Aker Kværner - Technical Advisors Kristiansand.
geir.govertsen@akersolutions.com
10. Bjørn Tømmervik. Aker Kvaerner/HSH Stord. bjorn.tommervik@akersolutions.com
11. Bjørn Hagen. JL Offshore. Operations Manager. bjorn@jloffshore.com
12. Mikal Thormodsén. National Oilwell Varco. Salgsingeniør.
mikal.thormodsén@nov.com
13. www.norwegianpiping.com “Piping schedule sheet”
14. Piping and Valve Specification (Dokument)
15. Fridtjov Irgens. Lærebok i Fasthetslære 7. utgave (2006)
16. Birger Sørenes. Sveiseingeniør Aker Kværner/HSH Stord
birger.sorenes@akersolutions.com
17. Main HP Mud Pumps Commissioning Procedure.
(Dokument: H600-ED463-R-MB-0001)

12. Vedlegg

Vedlegg A1

Tabell 1. Boreslam fødepumpe 11PA0010A/B/C/D [3]

Egenskaper	Design/Operasjonsverdier	Bemerkninger
Tetthet [kg/m ³]	2200	
Strømningsmengde [m ³ /h]	220	
Temperatur [°C]	5, 50	
Utløpstrykk [barg]	3,7	Basert på tanknivå
Trykkintervall [bar]	3,7	
Akseleffekt [kW]	56	
Pumpe dimensjon/type	8*6*14	Mud Hog 2.5, sentrifugalpumpe
Leverandør	STEP Offshore	Baker SPD

Tabell 2. HP Trykkforsterker. 11BS013

Egenskaper	Design/Operasjonsverdier	Bemerkninger
Designtrykk [barg]	345	Beskyttet av PSV
Strømningsmengde [m ³ /h]	150	Avhenger av sylinderdimensjon
Design/Oper. Temperatur [°C]	5 - 50	
Leverandør		TechDrill

Tabell 3. HP skjæreenhet. 11BY004/005

Egenskaper	Design/Operasjonsverdier	Bemerkninger
Design/Operasjonstrykk [barg]	517/100-150	Beskyttet av PSV (Instillingstrykk 345 bar)
Strømningsmengde [m ³ /h]	100	Avhenger av sylinderdimensjon
Design/Oper. Temperatur [°C]	5 - 50	
Leverandør		STEP Offshore

Vedlegg A2

Datablad for HEX 240

Tabell 4. Design data HEX 240 [12]

Hex 240	Metric
Total weight	36 [Tons metric]
Total "footprint"	~ 8 [m ²]
Height pump (excl. foundation)	2846 [mm]
Total height with crane (excl. foundation)	3946 [mm]
Estimated height foundation	130 [mm]
Length	5884 [mm]
Diameter	2960 [mm]

Tabell 5. Kapasiteter HEX 240

Hex 240	Metric	Imperial
Max. SPM	212 [SPM]	212 [SPM]
Max. volume flow	3915 [l/min]	1034 [GPM]
Max. pressure	517 [bar]	7500 [psi]
Hydraulic Power	1750 [kW]	2345 [HP]

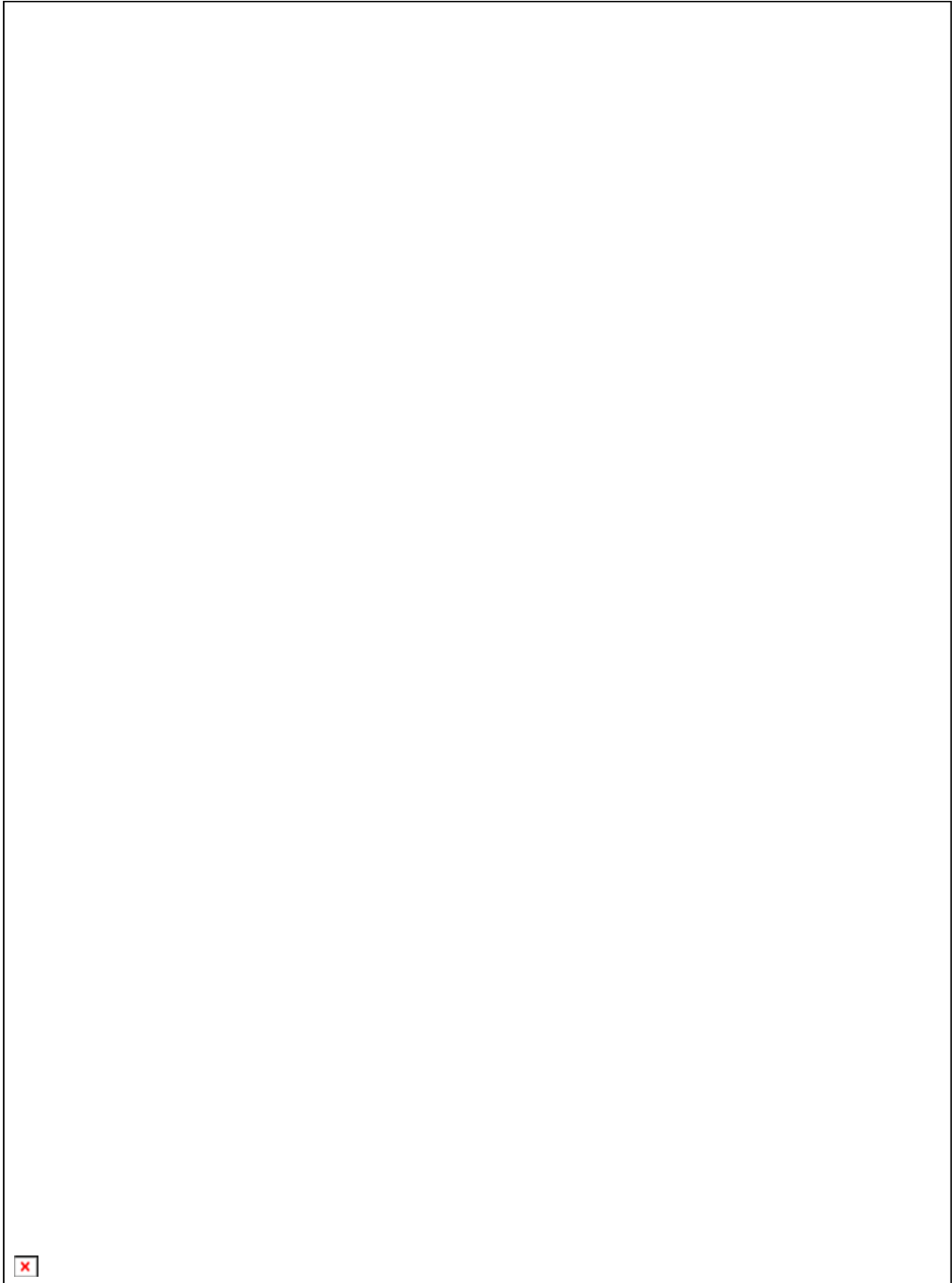
Tabell 6. Energibehov HEX 240

Hex 240	European	USA
Input Power	1900 [kW]	2540 [HP]
Motor Speed	1600 [RPM]	1600 [RPM]



Vedlegg A3

Tegning av Wirth TPK 2200 (H600-ED463-R-XD-0003-01)



Vedlegg B1

Vekt og økonomi beregninger

Vil her vise utregningene av vekt og økonomi:

- **Vekten av 1 meter rør med veggtykkelse 19,05 mm**

Henter vekten direkte fra tabellen under, og finner følgende: 57,4 Kg pr meter rør.

Norwegian Piping AS Jonstadveien 6 5146 Fyllingsdalen Norway			PIPE SCHEDULE & WEIGHTS ASME B36.10 - B36.19													Norwegian Piping ●●●●●●●●		
			SCHEDULE & WEIGHTS															
NPS	DN	OD	5S	5	10S	10	20	30	STD/ 40S	40	60	XS/ 80S	80	100	120	140	160	XXS
(Inch)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
			(kg/m)	(kg/m)	(kg/m)	(kg/m)	(kg/m)	(kg/m)	(kg/m)	(kg/m)	(kg/m)	(kg/m)	(kg/m)	(kg/m)	(kg/m)	(kg/m)	(kg/m)	(kg/m)
5	125	141,3	2,77	ica	3,40				6,55			9,53			12,70		15,88	19,05
			9,5		11,6				21,8			31,0			40,3		49,1	57,4

Tabell B1

- **Vekten av 1 meter med veggtykkelse 22 mm.**

Problemet her er at 22 mm ikke er en tykkelse som er oppført i noen kjente tabeller, derfor må den regnes ut.

Bruker formelen for massetetthet: $\rho = \frac{m}{V}$

Der: m = Masse [Kg]

V = Volum [m^3]

Veggtykkelsene i [m]:

ρ = Massetetthet [Kg/m^3]

19,05 mm = 0,01905 m.

22,00 mm = 0,02200 m.

Inner diameteren i meter [m].

5" rør har en konstant ytre diameter (OD) på 141,3 mm = 0,1413 m

For 19,05 mm. $ID_{19,05mm} = ((0,1413 \text{ m} - (2 \times 0,01905 \text{ m})) = 0,1032 \text{ m}.$

For 22,00 mm. $ID_{22,00\text{ mm}} = ((0,1413\text{ m} - (2 \times 0,02200\text{ m})) = \underline{0,0973\text{ m}}$.

Vedlegg B1

Nå må volumet for 1 m rør beregnes:

Formelen er: Volum = Areal x Lengde (der lengden er 1 meter.)

$$V_{\text{Rør pr meter}} = \left(\frac{\pi \cdot D_{OD}^2}{4} - \frac{\pi \cdot d_{ID}^2}{4} \right) \cdot 1\text{ m} = \frac{\pi \cdot (OD^2 - ID^2) \cdot 1\text{ m}}{4}$$

$$V_{19,05\text{ mm}} = \frac{\pi \cdot (OD^2 - ID^2) \cdot 1}{4} = \frac{\pi \cdot (0,1413^2\text{ m} - 0,1032^2\text{ m}) \cdot 1}{4} = \underline{0,00732\text{ m}^3}$$

Videre må volumet for veggtykkelse på 22 mm finnes:

$$V_{22\text{ mm}} = \frac{\pi \cdot (OD^2 - ID^2) \cdot 1}{4} = \frac{\pi \cdot (0,1413^2\text{ m} - 0,0973^2\text{ m}) \cdot 1}{4} = \underline{0,00825\text{ m}^3}$$

Dermed kan massetettheten til stålet finnes:

$$V_{19,05\text{ mm}} = \underline{0,00732\text{ m}^3} \quad \rho = \frac{m_{19,05\text{ mm}}}{V_{19,05\text{ mm}}} \quad \rho = \frac{57,4\text{ Kg} / \text{m}}{0,00732\text{ m}^3} = \underline{7845,45553\text{ Kg} / \text{m}^3}$$

$$V_{22\text{ mm}} = \underline{0,00825\text{ m}^3}$$

Massetettheten er konstant for materialet.

Nå kan vekten til 1 meter med AISI 4130 rør, og veggtykkelse på 22 mm finnes:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad m_{22\text{ mm}} = \rho \cdot V_{22\text{ mm}} \quad m_{22\text{ mm}} = 7845,46\text{ Kg} / \text{m}^3 \cdot 0,00825\text{ m}^3 = \underline{64,72\text{ Kg}}$$

Nå er vekten for begge tykkelsene ferdig beregnet.

$$m_{19,05\text{ mm}} = \underline{57,4\text{ Kg} / \text{m}} \text{ (AISI 4130)}$$

$$m_{22\text{ mm}} = \underline{64,72\text{ Kg} / \text{m}} \text{ (AISI 4130)}$$

Vedlegg B1

Økonomiske beregninger (AISI 4130) :

Kiloprisen til AISI 4130 er om lag 57 Kr, og høgtrykksiden til boreslampumpene består av rundt 40 Tonn med stål.

Det betyr følgende:

$$\text{Ant.meter rør på HP Siden.} = \frac{40\,000 \text{ Kg}}{64,72 \text{ Kg / m}} = \underline{618,04 \text{ m}} \approx 620 \text{ m}$$

Formel	Tykkelse	Vekt	Pris	Ant.meter	
B 31.3.	[22,00 mm]	(64,72 Kg/m x 57 Kr/kg)	x 620 m =	2 287 205 Kr.	(AISI 4130)
Mises.	[19,05 mm]	(57,40 Kg/m x 57 Kr/kg)	x 620 m =	2 028 516 Kr.	(AISI 4130)
	Sum å spare.			<u>258 689 Kr.</u>	

Det er det som kan spares ved å bruke Mises formellen i stede for B31,3. Det er bare kostnader som er knyttet opp mot innkjøp av rør og rørdeler som er med i beregningene.

»

Vedlegg B2

Vekten og veggtykkelsen på UNS S 32550 (Super Duplex)

Her brukes den samme Excel tabellen som ble brukt til utregning av ANSI 4130 materialets veggtykkelse.

Her brukes flytegrensen til dette materialet som er 550 MPa. Denne må multipliseres med 0,6 (60 %), for å tilfredsstille DNV standarden.

Utrekning:
(550 MPa x 0,6 = 330 MPa)

Her er det 11 mm som gir den jevnføringspenningen som er nærmest 330 MPa, derfor brukes denne som videre beregningsgrunnlag.

Når materialet er duplex, vil korrosjonstillegget ikke taes med. Dette er på grunn av at duplex er et korrosjonsbestandigt materiale.

Super Duplex

σ_j	σ_x	σ_y	σ_z	vegg tykkelse.	Ytre rad. b	Indre rad. a	Trykket p
[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[mm]	[mm]	[mm]	[MPa]
178,9	49	152	-54	22	70,65	48,65	54,3
185,8	53	160	-54	21	70,65	49,65	54,3
193,5	57	169	-54	20	70,65	50,65	54,3
202,0	62	179	-54	19	70,65	51,65	54,3
211,5	68	190	-54	18	70,65	52,65	54,3
222,2	74	202	-54	17	70,65	53,65	54,3
234,2	81	216	-54	16	70,65	54,65	54,3
247,8	89	232	-54	15	70,65	55,65	54,3
263,4	98	250	-54	14	70,65	56,65	54,3
281,5	108	271	-54	13	70,65	57,65	54,3
302,6	120	295	-54	12	70,65	58,65	54,3
307,2	123	300	-54	11,8	70,65	58,85	54,3
312,0	126	306	-54	11,6	70,65	59,05	54,3
317,0	129	312	-54	11,4	70,65	59,25	54,3
322,2	132	318	-54	11,2	70,65	59,45	54,3
327,5	135	324	-54	11	70,65	59,65	54,3
357,5	152	359	-54	10	70,65	60,65	54,3
394,3	173	401	-54	9	70,65	61,65	54,3
440,2	200	454	-54	8	70,65	62,65	54,3
499,4	234	522	-54	7	70,65	63,65	54,3
578,3	280	613	-54	6	70,65	64,65	54,3
688,8	343	741	-54	5	70,65	65,65	54,3
854,8	439	933	-54	4	70,65	66,65	54,3

Hvis sveisetillegget på 12,5% legges til, noe som betyr at det multipliseres med konstanten 1,14 er tykkelsen som vist under:

12,54 mm	Den nærmeste standard dimensjon er:	12,7 mm
----------	-------------------------------------	---------

Tabell B2 (Excel regne ark.)

For duplex er sveisetillegget på 12,5 %, noe som betyr at konstanten som skal multipliseres inn i sluttlikningen er 1,14. (hentet fra tabell B2.1)

Vedlegg B2

Tabellen som er vist her er hentet fra kompendiet til faget KON 001 – Produksjonsvennlige rørkonstruksjoner, regler og beregninger.

Den viser hvordan minustoleransen i prosent blir omgjort til en konstant.

p_s = koeffisient som tar hensyn til minustoleranse på veggtykkelse.
 b_e = største tillatte minustoleranse i % etter materialstandard

b_e , %	5	7,5	10	12,5	15	18	20
p_s	1,05	1,08	1,11	1,14	1,18	1,22	1,25

Tabell B2.1 (Tabell for minustoleranse.)

Legger til tykkelse toleranse på 12,5 % (1,14) for super duplex:

$$t_{Min} = 11\text{ mm} \cdot 1,14 = \underline{12,54\text{ mm}}$$

Den nærmeste standard tykkelse over 12,54 mm, er ut fra tabell B1 12,7 mm og en vekt på 40,3 Kg/m.

Økonomiske utregninger

Pris sammenligning av AISI 4130 og Super Duplex:

Formel Tykkelse Vekt Pris Ant.meter

B 31.3. [22,00 mm] (64,72 Kg/m x 57 Kr/kg) x 620 m = 2 287 205 Kr. (AISI 4130)

Mises. [12,70 mm] (40,3 Kg/m x 205 Kr/kg) x 620 m = 5 122 130 Kr. (Super Duplex)

Sum merutgifter.

- 2 834 925 Kr.

Vedlegg B3

Aker metoden

Hvis Aker metoden (ANSI B 31.3) skal brukes på begge utregningene får vi følgende differanse.

- R_m – min 800 MPa. $1/3 \times 800 \text{ MPa} = 267 \text{ MPa}$. (Velges.)
- R_e – min 550 MPa. $2/3 \times 550 \text{ MPa} = 367 \text{ MPa}$

Bruddgrensen ” R_m ” er hentet fra NORSOK standard M-630. (MDS D51)

For å bestemme korreksjonsfaktoren for aksialspenning brukes tabell hentet fra faget produksjonsvennlige rørkonstruksjoner, regler og beregninger.

Materiale	- 482°C	- 510°C	- 538°C	- 566°C
Ferrittisk stål	0,4	0,5	0,7	0,7
Austenittisk stål	0,4	0,4	0,4	0,4
Andre metaller	0,4	0,4	0,4	0,4

Tabell B3

Følgende definisjoner brukes til beregningen:

- p – Design trykket. 54,3 MPa.
 E - Sveisefaktor. 1
 D – Ytre rørdiameter. 141,3 mm.
 Y – Koeffisient etter tabell. 0,4
 P_s - Tykkelse toleranse 12,5 %. (1,14)

$$t = \frac{54,3 \text{ MPA} \cdot 141,3 \text{ mm}}{2 \cdot ((267 \text{ MPA} \cdot 1) + (54,3 \text{ MPA} \cdot 0,4))} = 13,28 \text{ mm}$$

$$t_{Min} = 13,28 \text{ mm} \cdot 1,14 = 15,14 \text{ mm}$$

Og den nærmeste standard rørtykkelse er 15,88 mm.

Vedlegg B3

Økonomiske utregninger for Aker metoden

Her sammenlignes rørene som er montert i dag, opp mot alternativ løsning (Super Duplex) med samme utreknings metode. (ANSI B31.3)

<u>Formel</u>	<u>Tykkelse</u>	<u>Vekt</u>	<u>Pris</u>	<u>Ant.meter</u>
B 31.3.	[22,00 mm]	$(64,72 \text{ Kg/m} \times 57 \text{ Kr/kg})$	$\times 620 \text{ m}$	$= 2\,287\,205 \text{ Kr.}$ (AISI 4130)
B 31.3.	[15,88 mm]	$(49,1 \text{ Kg/m} \times 205 \text{ Kr/kg})$	$\times 620 \text{ m}$	$= 6\,240\,610 \text{ Kr.}$ (Super Duplex)
	Sum merutgifter.			<u>$- 3\,953\,405 \text{ Kr.}$</u>

Her er differansen også på om lag 4 millioner.

Norsok Standard M-630

Datablad for UNS S 32550 (Super Duplex)

NORSOK Standard

MATERIAL DATA SHEET		MDS D51		Rev. 3
TYPE OF MATERIAL: Ferritic / Austenitic Stainless Steel, Type 25Cr duplex				Page 1 of 2
PRODUCT	STANDARD	GRADE	ACCEPT. CLASS	SUPL. REQ.
Seamless pipes	ASTM A 790	UNS S 32550 UNS S 32750 UNS S 32760	-	-
1. SCOPE	This MDS specifies the selected options in the referred standard and additional requirements which shall be added or supersede the corresponding requirements in the referred standard. This MDS is based on the mechanical properties of UNS S 32750.			
2. QUALIFICATION	Manufacturers of product to this MDS shall comply with the requirement of NORSOK Standard M-650.			
3. STEEL MAKING	The steel melt shall be refined with AOD or equivalent.			
4. HEAT TREATMENT	The pipes shall be solution annealed followed by water quenching.			
5. CHEMICAL COMPOSITION	PRE = % Cr + 3.3 % Mo + 16 % N \geq 40.0			
6. TENSILE TESTING	R _{p0.2} \geq 550 MPa; R _m \geq 800 MPa; A ₅ \geq 25%			
7. HARDNESS	The harness shall be max. 32 HRC (or alternatively 301 HB or 330 HV 10).			
8. IMPACT TESTING	Charpy V-notch testing according to ASTM A 370 at - 46 °C is required for thickness \geq 6 mm. The minimum absorbed energy shall be 45 J average / 35 J single. Reduction factors for sub-size specimens shall be: 7.5 mm - 5/6 and 5 mm - 2/3.			
9. CORROSION TEST	Corrosion test according to ASTM G 48 Method A is required. Test temperature shall be 50 °C and the exposure time 24 hours. The specimen shall have the internal and external surfaces in the as-delivered condition (including pickling). Cut edges shall be prepared according to ASTM G 48, and the whole specimen shall be pickled (20 % HNO ₃ + 5 % HF, 60 °C, 5 minute). The test shall expose the external and internal surfaces and a cross section surface in full wall thickness. The acceptance criteria are: - No pitting 20 X magnification. - The weight loss shall be less than 4.0 g/m ² .			
10. MICROGRAPHIC EXAMINATION	The micrographic examination shall cover the near surfaces and mid-thickness region of the pipe. The ferrite content shall be determined according to ASTM E 562 or equivalent and shall be within 35-55 %. The microstructure, as examined at 400 X magnification on a suitably etched specimen, shall be free from intermetallic phases and precipitates.			
11. EXTENT OF TESTING	Charpy V-notch impact, microstructure, hardness, corrosion and tensile testing shall be carried out for each lot as defined in the referred standard. For batch furnace charges the specified tests shall be carried out for each heat treatment charge.			
12. TEST SAMPLING	Samples for production testing shall realistically reflect the properties in the actual components.			
13. SURFACE FINISH	White pickled.			
14. REPAIR OF DEFECTS	Weld repair is not acceptable.			



Vedlegg B5

Norsok Standard M-630

Datablad for AISI 4130 (lavlegert karbonstål)

NORSOK Standard

MATERIAL DATA SHEET		MDS X01		Rev. 1
TYPE OF MATERIAL: Low Alloyed Steel Type AISI 4130				Page 1 of 1
PRODUCT	STANDARD	GRADE	ACCEPT. CLASS	SUPPL. REQ.
Seamless pipes	ASTM A 519	AISI 4130		
Wrought fittings (seamless)	ASTM A 234	AISI 4130		S2
1. SCOPE	This MDS specifies the selected options in the referred standard and additional requirements which shall be added or supersede the corresponding requirements in the referred standard.			
2. HEAT TREATMENT	Fittings and pipes shall be delivered in the liquid quenched and tempered condition. The tempering temperature shall be minimum 650 °C.			
3. MANUFACTURING PROCESS	Pipes shall be manufactured by means of the hot finished (HF) sizing method. Only seamless fittings are acceptable.			
4. CHEMICAL COMPOSITION	Max. sulphur content: S ≤ 0.025 % Max. phosphorous content: P ≤ 0.025 %			
5. TENSILE TESTING	Minimum yield strength: Reh ≥ 415 MPa Minimum tensile strength: Rm ≥ 620 MPa Minimum elongation: A5 ≥ 18 % Minimum red. of area: Z ≥ 35 %			
6. IMPACT TESTING	Charpy V-notch impact testing shall be carried out according to ASTM A 370 for thicknesses t ≥ 6 mm. Full sized Charpy V-notch specimens shall be used wherever possible. The notch shall be perpendicular to the surface. The test temperature shall be - 30 °C. The minimum absorbed energy for full size specimens shall be 42 J average and 30 J single. Reduction factors for subsize specimens shall be: 7.5 mm - 5/6 and 5 mm - 2/3.			
7. EXTENT OF TESTING	One set of tensile and impact test shall be carried out for each lot. A lot is defined as all products of the same type, nominal size and wall thickness, produced from the same heat and heat treatment load. For pipes heat treated in continous furnace the maximum lot size shall be 60 m.			
8. TEST SAMPLING	Samples for production testing shall realistically reflect the properties in the actual component. <i>Fittings:</i> According to supplementary requirement S2.			
9. NON DESTRUCTIVE TESTING	<i>Pipes:</i> All pipes shall be 100 % tested in accordance with API 5L supplementary requirement 4 (SR4). Alternatively, ultrasonic testing according to SEL 1915 may be carried out. <i>Fittings:</i> Fittings shall be 100 % magnetic particle tested in accordance with ASME VIII, div. 1, Appendix 6.			
10. REPAIR OF DEFECTS	Weld repair is not acceptable.			
11. MARKING	The component shall be marked to ensure full traceability to melt and heat treatment lot.			
12. CERTIFICATION	EN 10 204 Type 3.1B. Heat treatment temperature, soaking time and cooling medium should be stated in the certificate			



Vedlegg B6

DNV Offshore standard E101 (viser korrosjonstillegget)

Offshore Standard DNV-OS-E101, October 2006
Page 28 – Ch.2 Sec.3

207 Allowance for threads

The calculated minimum strength thickness of piping, which shall be threaded, shall be increased by an allowance equal to thread depth, dimension h of ANSI B2.1 or equivalent shall apply. For machined surfaces or grooves where the tolerance is not specified, the tolerance shall be 0.5 mm in addition to the specified depth of cut.

208 Corrosion allowance

The corrosion allowance, c, for steel pipes shall be as specified in Table B1, and subject to the following special requirements where applicable:

- For pipes of copper, brasses, copper-tin alloys and Cu-Ni alloys with Ni-content < 10%, the corrosion allowance shall be 0.8 mm.
- For pipes of Cu-Ni alloys with Ni-content ≥ 10%, the corrosion allowance shall be 0.5 mm.
- The corrosion allowance may be reduced down to zero where the medium has negligible corrosive effect on the material employed.
- A greater corrosion allowance should be considered for pipes where there is a risk of heavy corrosion and/or erosion.

Piping service	c (mm)
Compressed air	1
Hydraulic oil	0.3
Lubricating oil	0.3
Fuel oil	1
Cargo oil	2
LPG	0.3
Fresh water	0.8
Sea water in general	3
Well test or hydrocarbon service	2
Mud or cement including choke and kill lines	3

1) For pipes passing through tanks, an additional allowance for external corrosion shall be considered according to the figures given depending on the external medium.
2) For pipes efficiently protected against corrosion, the corrosion allowance may upon approval be reduced up to 50%.
3) For stainless steels the corrosion allowance may be omitted.
4) See 210 for mud or cement piping.

209 The value of t does not account for any negative manufacturing tolerance, therefore the nominal wall thickness t_1 shall not be less than:

$$t_1 = \frac{t}{1 - \frac{a}{100}}$$

a = percentage negative manufacturing tolerance.

210 Erosion allowance

Where piping is likely to be exposed to erosion, an erosion allowance shall be specified to take into account likely service conditions.

Guidance note:

Unless otherwise specified, the allowance of 3 mm above covers erosion also for mud or cement piping.

B 300 Flexible piping

301 The locations of flexible piping elements shall be clearly shown in the design documentation.

302 Flexible piping parts which are suitable for the intended use may be installed in locations where hard piping is unsuitable.

303 Flexible piping elements shall be installed as accessible for inspection.

304 Means of protection shall be provided for flexible piping used in systems where leakage of medium could result in a hazardous situation.

305 The design burst pressure for flexible hoses shall be according to applied code or standard, and as a minimum 2.5 times the maximum working pressure. The burst pressure shall be verified through prototype testing.

306 The design of flexible hoses critical to the operation of drilling activities shall be based on a relevant recognised code or standard listed in Ch.1 Sec.1 Table C1.

Guidance note:

API Spec. 16C should be applied for e.g. choke and kill hoses.

API RP 17B should be applied for e.g. cement hoses, mud rotary hose, mud booster hose.

Either of the 2 specifications given above should be applied for other critical hoses, as applicable.

---e-n-d---of---G-u-i-d-a-n-c-e---n-o-t-e---

307 Flexible hoses and non-metallic expansion joints for flammable fluids systems have to qualify a fire endurance test according to IMO Res. A.753(18) or equivalent.

The flexible hose has to maintain its integrity and functional properties for the same period as required for the total piping system and components. Ref. also DNV-OS-D101 Ch.2 Sec.2 B500.

B 400 Valves and other piping parts

401 Screwed-on valve bonnets shall not be used for valves with nominal diameter exceeding 50 mm.

402 Screwed-on valve bonnets shall be secured against loosening when the valve is operated.

403 Indicators shall be provided to show open and closed position of valves.

404 Closing time of valves shall be selected such that detrimental stresses due to hydraulic hammering do not occur in piping.

405 Piping parts not covered by recognised standards shall be demonstrated and documented as suitable for their intended use. Drawings shall be supported by stress calculations. Application, type of medium, design pressure, temperature range, materials, and other design parameters shall be indicated. If the piping parts have a complicated configuration that makes theoretical calculations unreliable, certified prototype proof test reports may be applied to demonstrate their suitability for the intended use.

B 500 Piping connections

501 The number of detachable pipe connections shall be limited to those, which are necessary for mounting and dismantling. The piping connections shall be in accordance with the applied code or standard, or shall be otherwise demonstrated as suitable for their intended use.

502 Joints of pipes with outer diameter of 51 mm and above shall normally be made by butt-welding, flanged, or screwed union where the threads are not part of the sealing. Joints for smaller sizes, and which are not intended for corrosive fluids, may be welded or screwed and seal welded. Tapered threads and double bite or compression joints shall be justified on a case by case basis.

503 If the piping system is rated at 207 bar (3000 psi) or above, ordinary threaded (i.e. NPT) connections shall not be used for mud system, choke and kill system, cement system or



Vedlegg B7

DNV Offshore standard E101 (viser Mises 60 % krav)

Offshore Standard DNV-OS-E101, October 2006
Ch.2 Sec.3 – Page 27SECTION 3
PIPING

A. General

A 100 Application

101 Piping includes:

- pipes
- flexible piping such as expansion elements and flexible hoses
- other parts such as valves and fittings
- piping connections such as welded connections, bolted flanges, clamps, couplings, gaskets etc.
- hangers and support brackets.

B. Piping Design

B 100 General

101 Piping systems used for safe operation of the unit shall normally be separate from piping systems used for drilling and well testing operations. If cross connections for drilling or well testing operations are necessary, non-return valves or other equivalent means for avoiding possible contamination of the safe system by the hazardous medium shall be fitted.

102 For piping not covered by the applied recognised codes or standards, a combined stress calculation as specified in 200 may be used.

103 Relevant factors and combinations of factors shall be taken into account for the design evaluation of possible failure modes such as, but not limited to:

- corrosion/erosion types
- vibration, hydraulic hammer
- pressure pulsations
- abnormal temperature extremes
- impact forces
- leakages.

Guidance note:

Further guidance for general piping design is available in ANSI/ASME B31.3.

104 Sizing of piping or tubing downstream of PSV's or other open ended piping system shall take into account expected pressure gradients during operation of the systems.

Guidance note:

One diameter nominal size larger for the downstream piping relative to the upstream piping is recommended.

B 200 Hard piping design

201 Piping calculations shall ensure that pipes have the necessary strength (i.e. strength thickness) throughout their operational life.

202 Where a combined stress calculation according to Von Mises' theory is applied, the equivalent combined stress at any point of the piping wall shall not exceed 60% of the minimum specified yield strength of the material.

The minimum yield strength (σ_y) of any material shall be taken as the lesser of:

- minimum upper yield strength
- yield strength at 0.2% offset

— $0.8 \times$ minimum tensile strength of the material (σ_b).

The equivalent combined stress as defined by Von Mises is:

$$\sigma_e = 0.707 \sqrt{(\sigma_\theta - \sigma_l)^2 + (\sigma_l - \sigma_r)^2 + (\sigma_r - \sigma_\theta)^2}$$

Where

- σ_e = equivalent (Von Mises) combined stress
- σ_θ = circumferential or hoop stress
- σ_l = longitudinal or axial stress
- σ_r = radial stress.

Guidance note:

The calculations σ_θ , σ_l and σ_r may be based on Lamé's equations for cylinders.

203 The minimum design wall thickness (t) of all piping shall include allowances for:

- bending, see 206
- threads, see 207
- corrosion, see 208
- erosion, see 210.

204 The minimum wall thickness of a straight or bent pipe shall not be less than:

$$t = t_0 + \text{allowances.}$$

205 If pipes are to be bent, the minimum wall thickness before bending shall not be less than:

$$t = t_0 + b$$

Where

- t_0 = strength thickness (as calculated from 202, or applied recognised standard)
- b = bending allowance.

206 Bending allowance

In cases where the allowance for bending, b , is not determined by a more accurate method, or where the bending procedure does not include control of the wall thickness, the allowance shall not be less than:

$$b = \frac{1}{2.5} \frac{D}{R} t_0$$

where

- R = means radius of the bend in mm
- $\frac{D}{R}$ = the bending ratio

Where the bending ratio is not available, this ratio will be taken equal to 1:3.



HÖGSKOLEN STORD/HAUGESUND

AKER KVÆRNER™

Vedlegg B8

Materialsertifikat for AISI 4130



Ordrenr:

PoNo: H601-BL741-1006
HeatNr: T4197A

Itemnr:

WORKS TEST CERTIFICATE

No of certs : 2
1 SET BEFORE DELIVERY (FAX) / 1 SETS

TECHDRILL LTD
UNIT 15 TELFORD COURT
LOANSDEAN
MORPETH
NORTHUMBERLAND NE61 2DB

75110 14
TIMKEN

WORLDWIDE LEADER IN BEARINGS AND STEEL

SEAMLESS TUBE NIPPLOSE ROHR TUBES SANS SOUDURE

Ref No: 365352
Customer Order: 7312-2756
Customer Part No.: 5.563"XWT22.00
Tube Size: 141.300 X 22.000

Certificate Type: EN 10204/3.1B
Stamp: D77Z

Works Order No.: 246497 / 1
Works Item No. A141X22D03

Delivery Condition: QUENCHED & TEMPERED

Specification: GRADE 4130 TO TDA519-4130 REVB/ASTM A519

Steel Manufacturer: CORUS ENGINEERING STEELS

Heat/Cast No.: T4197A RM Lot No.: 15/T4197AA

Type of Melting Process: EAF - LF - VD - CC 560x400

Number of Tubes: 6 Total Weight: 2.258 Tonnes Total Length: 35.51 Mts

Chemical Analysis: Chemische Zusammensetzung: Analyse chimique:									
C	SI	MN	P	S	CR	MO	NI	CU	SN
.3100	.2600	.5500	.0090	.0220	1.0200	.2400	.2500	.1900	.0100
AL									
.0220									

Tensile Testing : Longitudinal	
Gauge length type: 2"	
Rp0.2 :	601 N/MM SQ
Rm :	830 N/MM SQ
A % :	29.0 %
Z % :	65 %

Hardness Testing : Standard Hardness Test	
Rockwell C	22 HRC

Impact Testing : Longitudinal	
Tested to ASTM A370	
Test Piece Size: 10mm x 10mm	
Test Temperature : -50 Deg C	
Impact Testing :	117 114 115 J Ave : 115 J
Lateral expansion :	1.11 mm 1.29 mm 1.08 mm

Quench: WQ880 / T660-2 DEG C

Certified that the whole of the Supplies detailed herein have been inspected, tested and unless otherwise stated above, conform in all respects to the requirements of the contract or order. This certificate or report shall not be reproduced except in full, without the written approval of Timken Alloy Steel Europe Limited.

Date: 26/09/2006

Ex wie ik bevestig, dass der obenbeschriebene Lieferumfang kontrolliert und geprüft worden ist und dass denselbe falls nicht anders angegeben, den Forderungen des Vertrages oder der Bestellung in allen Einzelheiten entspricht. Das Prüfzeugnis bzw. der Prüfbericht darf nur vollständig und mit der schriftlichen Genehmigung von Timken Alloy Steel Europe Limited wiedergegeben werden.

Timken Alloy Steel Europe Limited
Signed: John Gray
Signature:

Metallurgical Manager

Nous certifier que tous les articles mentionnés ci-dessus ont été contrôlés et soumis aux essais et sauf mention contraire sont conformes sous tous les rapports aux conditions du contrat ou de la commande. Le certificat de test ou le rapport ne doit être reproduit que dans sa totalité, sauf avec l'accord écrit de Timken Alloy Steel Europe Limited.

For Technical Department
im Auftrag technische Stelle:
Pour Direction Technique

Kirby Muxloe
Leicester
LE9 2BJ
England

Telephone: +44 (0) 1455 826400
Facsimile: +44 (0) 1455 826404

Timken Alloy Steel Europe Limited
A Subsidiary of The Timken Company

Company Registered No. 3645027 VAT Registered No. GB 747 8780 73
Registered Office: Kirby Muxloe, Leicester, LE9 2BJ, England

Vedlegg B9

Økonomiske utregninger for Super Duplex vs AISI 4130

Hvis Super Duplex skulle velges er de økonomiske fordelene vist her.

Info fra Aker Kverner: [16]

• Rørlengde	620 m.
• Antall sveis	600 stk.
• Utvendig areal/m på et 5" rør	0,5 m ²
• Overflatebehandlings kostnader.	600 NOK/m
• NDT kost.pr sveis	1000 NOK
• Tid pr. sveis for sveiser AISI 4130 (22,0 mm)	7 timer
• Tid pr. sveis for sveiser Super Duplex (12,7 mm)	3 timer
• Varmebehandling: (70 % prefabrikasjon og 30 % installasjon.)	4000 timer
• Arb.kost/time	500 NOK

Overflatebehandlings kostnader.

AISI 4130	0,5 x 600 x 500	150 000 NOK
Super Duplex		0 NOK

NDT kostnader.

AISI 4130	2 x 600 x 1000	(før og etter gløding)	1 200 000 NOK
Super Duplex	600 x 1000	(etter ferdig sveis)	600 000 NOK

Sveise kostnader.

AISI 4130	7 x 600 x 500	2 100 000 NOK
Super Duplex	3 x 600 x 500	900 000 NOK

Varmebehandling (gløding).

AISI 4130 (22 mm)	4000 x 500	2 000 000 NOK
Super Duplex (12,7 mm)		0 NOK

