

NTNU Trondheim

FAGLIG RAPPORT

BRUK AV TRAKTOR PÅ GULLFAKS

EKSPERTER I TEAM

TPG4851 EIT-GULLFAKSLANDSBYEN VÅR 2009

Halvor Eia BRINGEDAL
Geofysikk
4. klasse

Beate GILL
Petroleumsgeologi
4. klasse

Ola HOVEN
Fysikk og matematikk
4. klasse

Jon Erik LOBERG
Teknisk kybernetikk
4. klasse

Hanne Vatnem OLSEN
RAMS
4. klasse

7. mai 2009

1 Sammen drag

Oppgaven vår består av en innledning der vi forteller om bakgrunnen for traktor og utbredelsen av traktor i dag. Traktorleverandører er det noen av og vi har brukt noe tid på å sammenligne disse opp mot hverandre. Resultatene er forskjellige og generelt har hver traktor sine gode og dårlige sider. Gulltopp er et satellittfelt til Gullfaks og har en lang horisontal brønnbane på nesten 10km. Welltec har utarbeidet en simulering for oss som vi har tolket. Denne går ut på om det er mulig med forskjellige kabeltyper å kjøre traktor ut til Gulltopp. Traktorene vi så på i sammenligningen har som sagt forskjellige gode og dårlige egenskaper, vi har sett på hvordan forbedre generelt bruken av traktor. Reversfunksjon, bedre hjul og kuleledd er noen av ideene vi drøfter som aktuelle forbedringer. Siste del av oppgaven er viet til applikasjoner og hvordan vi ønsker å erstatte dyre intervensjonsmetoder med billigere traktorintervensjoner for gitte applikasjoner. Stimulering og kunstig trykk løft er blant de aktuelle applikasjonene vi forsøker å gjøre på en billigere måte. Vi har på bakgrunn av kostnadsestimer fra StatoilHydro gjort noen økonomiske beregninger på fordelene ved bruk av traktor framfor coiled tubing.

2 Forord

Prosjektet er en del av faget Eksperter i Team ved NTNU våren 2009. Oppgaven er gitt i samarbeid med StatoilHydro. Vi har ulike bakgrunner og ingen har sitt felt inne bore- og brønntechnologi. Men vi har gått på med godt mot og brukte mye av den første tiden på å lære oss grunnprinsippene. Dette ble tidskrevende og vi har siden gjort både store og små steg i riktige og gale retninger. Det er en del personer som har vært til stor hjelp for oss og som vi vil takke. Sigbjørn Sangesland, NTNU, for måten du har svart på både smarte og, tidlig i oppgaven, dumme spørsmål og for dine tips og anbefalinger for videre fokus. Knut Müller for dine svar på alt vi har lurt på og den hyggelige stemningen du satte i gruppa allerede i Bergen i januar. Johan Eck-Olsen for et vendepunktsmøte når gruppa hadde satt seg fast. Se prosessrapport.

Innhold

1	Sammendrag	i
2	Forord	ii
3	Innledning	1
3.1	Problemstilling	1
4	Traktorens historikk	2
5	Sammenligning av traktorer	3
6	Analyse av simuleringer	4
6.1	Hva viser grafene?	4
6.2	Hva er dette weakpointet?	4
6.3	0,22"-kabelen	4
6.4	0,32"-kabelen	4
6.5	0,42"-kabelen	5
7	Generelle forbedringer - traktorkjøring	6
7.1	Komposittkabel	6
7.2	Oppdriftstanker	6
7.3	Bruk av hjul og kuleledd på lange toolstringer	6
7.4	Oppdeling av tungt utstyr	6
7.5	Kjøre traktor i revers	6
7.6	Logging under kjøring	7
7.7	Slangerobot	7
7.8	Hjul og hjulbruk	8
7.8.1	Hva brukes i dag?	8
7.8.2	Hvilke problemer er det med dagens hjul og hjuloppsett?	8
7.8.3	Mulige løsninger	9
7.8.4	Andre tanker	10
8	Applikasjoner	11
8.1	Generelt om Applikasjoner	11
8.1.1	Traktor versus Coiled Tubing (CT)	11
8.1.2	Wireline operasjoner har sine begrensninger	12
8.2	Hvilke applikasjoner som har blitt vurdert og hvorfor	13
8.3	Artificial lift pump	14
8.4	Syrestimulering av brønner	15
8.4.1	Flussyre	15
8.4.2	Generell syrestimulering av reservoar	15
8.4.3	Hvordan få syre ned i brønnen ved bruk av traktor?	16
8.4.4	Tid for gjennomføring av syrebehandling med traktor	16
8.5	Sandvasking	17
8.5.1	Hvor mye sand kan hentes opp om gangen?	17
8.6	Kjerneprøvetaking	18
9	Økonomiske beregninger	19
10	Traktor - høytflygende ideer	20
11	Konklusjon	21
	Referanser	22
	Appendiks	23
A	Beregninger	23
A.1	Lengdebegrensning i forhold til svinger	23
A.2	Beholdere	23

B	Økonomiske beregninger	25
C	0,22"-kabelen	26
C.1	0,22"-kabelen forsetter	27
C.2	0,22"-kabelen forsetter	28
C.3	0,22"-kabelen forsetter	29
D	0,32"-kabelen	30
D.1	0,32"-kabelen forsetter	31
D.2	0,32"-kabelen forsetter	32
D.3	0,32"-kabelen forsetter	33
E	0,42"-kabelen	34
E.1	0,42"-kabelen forsetter	35
E.2	0,42"-kabelen forsetter	36
E.3	0,42"-kabelen forsetter	37
F	Brønndesign Gulltopp	38
F.1	Brønndesign Gulltopp forsetter	39

3 Innledning

Oppgaven i prosjektet har bestått i utvikling av traktor-teknologi. Gullfaks er et stort felt med mange satellitter og ut til disse er det horisontale brønner som har bruk for traktor. Det eksisterer mange forskjellige typer traktorer fra mange forskjellige leverandører. Vi har brukt Welltecs traktor på hjul som en slags standard og mange av våre forbedringer har tatt utgangspunkt i denne. Forbedringene er gjort på delvis fantasifulle og delvis faglig grunnlag. Forbedringene har gått ut på kjøreegenskaper, dra-/skyv-kraft, reversfunksjon og flere.

Kjøring av traktor til Gulltopp er evaluert på bakgrunn av simuleringer gjort av Welltec for oss og StatoilHydro. Kabelstyrke og overskudd av trekkraft er det sentrale punktene vi ser på under vurdering av om en kjøring vil være mulig og ikke minst nyttig.

Applikasjonsdelen er utført med en blanding av faglig kompetanse, oppfinnsomhet og ekstern hjelp. Vi har i hovedsak sett på hvordan erstatte dyre intervensjonsmetoder med billigere alternativ som wireline med traktor. Applikasjoner som er vurdert er syrestimulering, sandfjerning og artificial lift.

3.1 Problemstilling

Traktorforbedringer:

- Hvordan forbedre traktor?
- Hvilke forbedringer trenges?
- Hvilke begrensninger har vi?

Kjøring av traktor til Gulltopp:

- Hvilke kabeldimensjoner trenges?
- Hvor mye kan traktoren dra med seg?
- Er kjøring til Gulltopp i hele tatt mulig?

Applikasjoner:

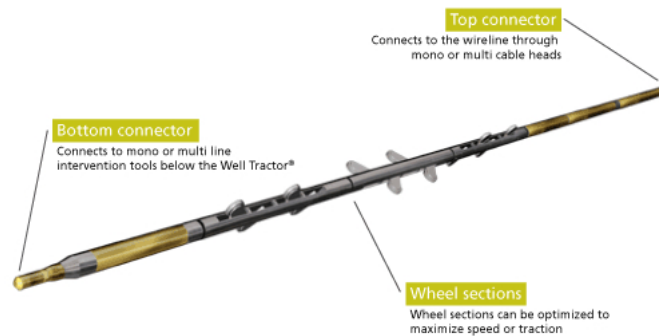
- Hvorfor vil vi bruke traktor?
- Hvilke begrensninger har vi?
- Ideer om nye måter å bruke traktor på?

4 Traktorens historikk

En traktor er et transportmiddel som brukes til å frakte instrumenter som utfører brønnoperasjoner i brønnbanen. I 1996 ble traktor for første gang testet av Statoil, og de utførte dette året totalt sju operasjoner med traktor. [1]

Traktoren kobles på en elektrisk wireline og senkes ned i brønnbanen. Den synker fritt ned i borrehullet, som følge av gravitasjon, inntil friksjonen blir så stor, på grunn av brønnvinkel, at utstyret forhindres i å nå lenger. For å få utstyret lenger ned i brønnen, må traktoren da aktiveres. Hjulene settes ut og begynner å rotere, og traktorene sentraliserer seg selv. Når traktoren har nådd ønsket dybde, skrues strømmen av, hjulene går inn, traktoren synker til bunns i røret og wire-utstyret kan dras ut. Alle operasjoner og målinger foretas på vei ut av brønnen. [2]

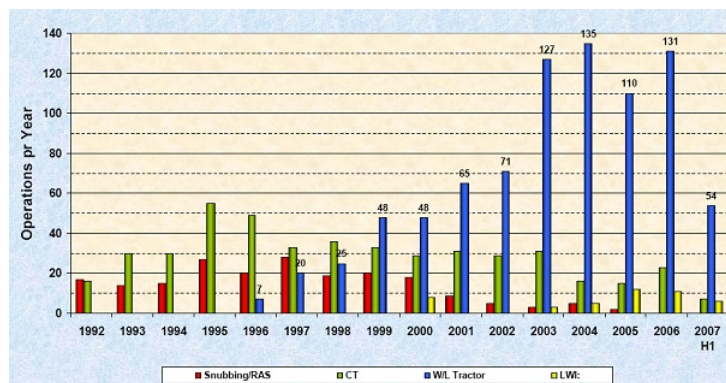
Figur 1 viser hvordan en traktor kan se ut. Bak er traktoren festet til en wireline som leverer strøm. Hjulseksjonen består av sett med hjul som står seksjonsvis 90° på hverandre. Foran på traktoren festes ulike typer utstyr som brukes i brønnen. Brønnoperasjoner hvor traktor brukes i



Figur 1: Welltec brønntraktor [2]

dag, er blant annet produksjonslogging, perforering, well diagnostic, caliper run, fishing, finne isolasjonsplugger, sette mekaniske plugger, tubing punching. [5], og spesielt på Gullfaks også milling av scale, honing av sikkerhetsventiler, børsting og sandfjerning [6]

De viktigste leverandørene av traktorer er per i dag Welltec, Aker Solutions og Schlumberger. Traktorene som leveres av Welltec og delvis statseide Aker Solutions kjøres ved hjelp av hjul, mens traktorene som levers av Schlumberger kjøres ved hjelp av ben som tar tak i brønnveggen og drar traktoren fremover.[2] [3] [4] Av figur 2 ser man at bruk av traktor har, siden den ble



Figur 2: Brønnoperasjoner på StatoilHydro drevne felt. [7]

tatt i bruk i 1996, økt kraftig, samtidig som bruk av andre typer brønnoperasjoner har gått ned. Man ser også at mengden av brønnoperasjoner per år har økt etter at traktorer ble tatt i bruk ved brønnoperasjoner. Noe av grunnen til at bruken av traktorer mer eller mindre har tatt over som utstyr for å utføre brønnoperasjoner, er at det viser til gode resultater innen helse-, miljø- og sikkerhet på grunn av lettere og enklere utstyr og at bemanningen kan reduseres. Det øker også feltets utvinningsfaktor [1], og reduserer operasjons-kostnadene og -tiden. [7]

5 Sammenligning av traktorer

Welltec 318 XR			Schlumberger MaxTRAC			AkerSolutions PowerTrac		
Drakraft i forhold til hastighet								
Standard: 635 kg 732 m/h Optimal kraft: 1089 kg 366 m/h Optimal hastighet: 363 kg 1524 m/h			Standard: 227 kg 671 m/h Optimal hastighet 136 kg 762 m/h			Standard: N/A Optimal kraft 907 kg Optimal hastighet 1080 m/h		
Vekt på traktor i luft								
Standard innstilling: 186 kg			Standard innstilling: 131 kg			Standard innstilling: 140 kg		
Lengde på traktor								
Med to drivseksjoner: 5.8 m			Med to drivseksjoner: 9.8 m			Med to drivseksjoner: 5.33 m		
Trykk								
Maks trykk: 25 kpsi			Maks trykk: 15 kpsi			Maks trykk: N/A		
Temperatur								
Maks temperatur: 150 °C			Maks temperatur: 204 °C			Maks temperatur: 177 °C		
Krumning								
Maks sving: 32°/30m i 4" casing			Maks sving: 30°/30m i 4.5" casing			Maks sving: N/A		

Figur 3: Sammenligning av traktorene Welltec - 318 XR, Schlumberger - MaxTRAC og Aker Solutions - PowerTrac

På dagens marked finnes det forskjellige traktormodeller, hos forskjellige leverandører. Vi har valgt å sammenligne de tre leverandørene som er mest relevante for StatoilHydro sitt Gullfaks-felt. Tallverdiene oppgitt i figur 3 vil kunne avvike noe avhengig hvilke verktøy og innstillinger traktorene har. Informasjonen er hentet fra leverandørenes hjemmesider [2] [3] [4]. Den store sammenligningen her er mellom Welltec sin 318 XR traktor og Schlumberger sin MaxTRAC traktor siden disse to traktorene har ulike virkemåte. Vi har også tatt med Aker Solutions sin PowerTrac traktor fordi den er en god erstatter for Welltec traktoren som blir brukt mest på Gullfaks. De overfladiske virkemåten til Welltec 318 XR og Aker Solutions PowerTrac er like fordi begge bruker fleksible hjul for å komme seg fremover i brønnbanen. Schlumberger sin MaxTRAC har ikke hjul for å komme seg fremover i brønnbanen, men i stedet kjører den fremover ved hjelp av ben og en sylinder som har en skyve og trekke seg sammen funksjon.

Ut fra figur 3 ser man at det er stor forskjell på drakraften og hastigheten mellom de hjulbaserte traktoren og Schlumbergers MaxTRAC. Liten drakraft vil være ulempe, siden man ikke får med like mye utstyr ned som de traktorene med høyere drakraft.

Alle traktorene kan stort sett gjøre samme brønnoperasjoner, som for eksempel å kjøre i åpne hull. Dette fordi beina og hjulene på traktoren er fleksible og kan skyves ut til de møter brønnveggen uavhengig av glattheten og diameteren på hullet, så sant diameteren ikke overstiger rekkevidden på beina eller hjulene. Den største forskjellen i applikasjoner til traktorene er at Schlumbergers MaxTRAC kan logge under kjøring, noe som er en stor fordel i forhold til de hjulbaserte traktorene som ikke har denne egenskapen. Senere i rapporten blir det forklart hvordan vi ville endret dagens hjulbaserte traktor for å få til logging samtidig med kjøring av traktor.

Den traktoren som blir mest brukt på Gullfaks i dag er Welltec 318 XR, noe som ikke er vanskelig å forstå når man ser på spesifikasjonene til de tre traktorene.

6 Analyse av simuleringer

Welltec har utført simuleringer på bruk av traktor for produksjonslogging (PLT) i Gulltopp. I simuleringene er Well Tractor 318XR og tre ulike kabler benyttet. Se simuleringer i appendiks C, D og E. Disse kablene har ulik dimensjon (0,22", 0,32" og 0,42") og bruddstyrke. Her følger et lite sammendrag av hva disse simuleringene viser, og en liten vurdering av hver av de tre simuleringene. Alle de tre simuleringene starter med en liste av tekniske data og anbefalt weakpoint, og deretter følger fem grafer. Kommer tilbake til hva dette weakpointet er etter en forklaring av grafene.

6.1 Hva viser grafene?

Den første grafen viser en 3-dimensjonal figur av selve brønnbanen, den blå linjen, og i tillegg brønnbanen i forhold til nord/sør-aksen og øst/vest-aksen, de to røde linjene. Etter dette følger en graf som viser litt resultater av hvor mye kraft som trengs for å kjøre ned og hente opp traktor og kabel. Den nederste rosa linjen viser hvor mye traktoren må dra for å få med seg kabelen innover i brønnen. Den turkise linjen viser hvor mye man må dra på plattformen for å få ut utstyret, og den grønne linjen viser hvor mye utstyret og kabel drar nedover med når man stopper vinsjen ved oppdragnings. Dette gjøres for å se om traktoren beveger seg, for da vil kabelen strammes. Det kan også brukes til å bestemme posisjonen til traktoren, for man vet hele tiden hvor mye kabel som er dratt ut. De røde prikkene viser en grense på øvre tillatte sikkerhetsgrense for hvor mye vinsjen kan trekke. I tillegg er helningen av brønnen tegnet inn som den grå linjen, og denne kommer også i neste graf. Deretter følger en graf av hvor mye brønnen svinger.

Til slutt er det en graf som viser hvor mye vinsjen må trekke for å kunne dra kabelen av traktoren hvis traktoren har satt seg fast. Det er viktig at denne kraften er lavere enn kraften for å ryke kabelen, det såkalte weakpointet. Hvis dette skjer må man ned å fiske opp både masse kabel og traktoren, og dette er vanskeligere enn å bare fiske traktor. Det kan også oppstå farlige situasjoner oppe på plattformen, hvis kabelen ryker oppe på dekk.

6.2 Hva er dette weakpointet?

"Weakpointet" er koblingen mellom kabelen og traktoren. Det er viktig at dette er sterkt nok til at kabelen ikke løsner på vei ned i brønnen, men enda viktigere er det at det er så svakt at man med sikkerhet kan rive kabelen av traktoren i tilfelle denne har satt seg fast. Man kan til en viss grad selv bestemme hvor sterk denne koblingen skal være, og i disse simuleringene har Welltec brukt sine anbefalte verdier.

6.3 0,22"-kabelen

Som vi ser av vedlagt simulering har 0,22"-kabelen en bruddstyrke på 5600 pund, og det anbefalte weakpointet er 941 pund. Vi ser av den andre grafen at Max Safe Pull(MSP) er på ca. 2700 pund. Fra den samme grafen ser vi at traktoren må dra med en kraft på 245 pund for å komme inn, som er langt lavere enn maksgrensen på om lag 2400 pund. Ser videre at både den kraften vinsjen må dra traktoren opp med, og kraften når vinsjen stopper er lavere enn MSP. Fra grafen som angir hvor mye brønnen svinger, ser vi at den største krumninga er på 5.16 grader per 30 meter, som ikke skal skape noe problem for traktoren. Dette fordi den minste casingen i gulltopp er 7", og traktoren uten utstyr klarer 32 grader i 4"-casing. Den siste grafen viser at den kraften du trenger på vinsjen for å bryte weakpointet er 3774 pund(Her er det lagt til 15 % som en ekstra sikkerhet). Dette tallet utgjør 67 % av hva kabelen tåler, slik at faren for at kabelen ryker på plattformen virker liten.

Med bakgrunn i denne simuleringen fra Welltec virker det som at det er mulig å kjøre traktor med 0,22"-kabel ned i enden av Gulltopp.

6.4 0,32"-kabelen

For den mellomtykke kabelen er bruddstyrken 11750 pund og anbefalt weakpoint satt til 1768 pund. Som for den tynne kabelen er kraften som trengs for å kjøre inn, her 452 pund, mye lavere enn tilgjengelig kraft i traktoren. Ser videre at kreftene på vinsjen er mye lavere enn MSP, som her er ca 5700 pund. Fra den siste grafen kan man se at det trengs en kraft på 7355 pund for å ryke weakpointet, som utgjør 64 % av kabelens bruddstyrke.

Vi kan også her konkludere med at det er sannsynlig at man kan kjøre traktor ned i gulltopp med en kabel av tykkelse 0,32".

6.5 0,42"-kabelen

For den tykkeste kabelen er bruddstyrken 19500 pund, anbefalt weakpoint 3056 pund, og MSP på vinsjen er satt til ca 9500 pund. Fra graf 2 ser en at traktoren må ha en drakraft på 746 pund for å komme inn, som igjen er lavere enn kraften tilgjengelig i en traktor. Videre er også her kreftene på vinsjen lavere enn MSP. Fra den siste grafen kan man se at man nå behøver en kraft på 12575 pund for å bryte weakpointet, som utgjør 64 % av kabelens bruddstyrke.

Konklusjonen er også er den samme også for denne kabelen, at det er sannsynlig at det går bra å kjøre traktor ned i gulltopp.

7 Generelle forbedringer - traktorkjøring

7.1 Komposittkabel

I dag brukes ofte en enlederkabel omgitt av en stålkappe. Hvis man bytter ut denne med komposittkabel, kan man øke kapasiteten på hvor stor masse man kan dra opp av brønnen. En slik komposittkabel har omtrent tre ganger bruddstyrken til en kabel av dagens type av samme dimensjon, og veier i tillegg kun 136 g/m [8]. I tillegg kan den overføre hele 20 kW med kraft. De tre kablene brukt til simuleringene veier 144 , 295 og 497 g/m , [9] så den er lettere enn den letteste av disse, men tåler mye mer strekk enn denne. Hvis vi ser på den maksimale spenningen de tåler ser en enda en fordel med denne kabelen. Den tåler 3 kV mens de andre tåler henholdsvis 1200 kV , 1500 kV og 1500 kV .

7.2 Oppdriftstanker

Når man opererer i brønnen med tungt utstyr, vil det være tungt å vinsje utstyret opp av brønnen. For å lette dette har vi tenkt å feste på noen oppdriftstanker. Med dette mener vi noen tanker fylt med en lett gass, som har mye lettere egenvekt enn væska i brønnen, og disse vil da få en oppdriftskraft opp mot overflata. Denne krafta vil redusere kraftbehovet fra vinsjen, og vil tillate tyngre utstyr, f. eks flere tanker eller muligheten til å gjøre flere operasjoner samtidig.

7.3 Bruk av hjul og kuleledd på lange toolstringer

For å redusere friksjonen når utstyr skal dras med inn i brønnen, har vi tenkt at alle lengre deler kan utstyres med hjul slik at toolstringen blir et langt tog med traktorer i front. Har fra formel i vedlagte beregninger og data beskrevet under hjul og hjulbruk-delen, at stivt utstyr ikke kan overskride $12,8$ meter i lengde for å klare svinger i brønnen, så hvis man, for å være på den sikre siden, legger på kuleledd for hver 8 . meter, vil det gå bra å klare svingene i brønnen. Se figur 10 under syrestimulering.

7.4 Oppdeling av tungt utstyr

Dersom man skal frakte ned utstyr i brønnen som er så tungt at traktoren ikke har nok kraft til å dra det inn, og at man ikke har kapasitet til å kjøre tandem med flere traktorer, kan man i stedet prøve å forandre utstyret slik at det kan deles opp i mindre deler som så kan settes enkelt sammen nede i brønnen. Da kan traktoren kjøre ned del for del, og sette det sammen som et puslespill nede i brønnen. Dette er ikke lønnsomt dersom traktoren må kjøre opp og ned veldig mange ganger, men det kan være et alternativ ved oppdeling i noen deler. Når man ser de økonomiske beregningene i appendiks B ser man at det går noen turer på hver coiled tubing intervensjon.

7.5 Kjøre traktor i revers

En utfordring med dagens traktorer er når traktoren er ferdig med brønnoperasjonen og skal ut av brønnen. Slik det gjøres i dag er at når traktoren skal opp igjen trekker hjulene seg inn i traktoren slik at hjulene ikke henger seg fast på veien tilbake. Traktoren trekkes opp igjen ved hjelp av kabelen. Noen av komplikasjonene som oppstår her er at det er vanskelig å få traktoren ut fordi den setter seg fast i brønnbanen, og det er mye kabel som skal trekkes ut. En løsning på problemet, med å trekke ut traktoren, er å kunne kjøre traktoren i revers. Dette gjøres ikke i dag. For å kunne kjøre traktoren i revers må man modifisere traktoren slik at dette i første omgang er mulig. Dagens traktorer har en liten elektrisk motor som skaper et trykk i hydraulikkoljen som deretter kjøres inn i en hydraulisk motor som driver hjulene på traktoren. Retningen på hvordan hjulene roteres bestemmes av hvilken vei hydraulikkoljen flyter gjennom motoren. En mulig løsning på å kunne få traktoren til å kjøre i begge retninger, er å innføre en ventil som bestemmer hvilken retning hydraulikkoljen skal gå gjennom den hydrauliske motoren slik at den skifter retning. Tilstanden til denne ventilen kan styres elektrisk fra brukerpanelet oppe på overflaten. Dermed vil traktoren kunne kjøre i revers. Å kjøre en brønntraktor i revers er ikke så intuitiv siden man har fjæring i kabelen og traktoren vil da kunne kjøre over sin egen kabel og lage flere problemer for seg selv.

Siden man vinsjer opp kabelen samtidig som traktoren rygger tilbake er det en usikkerhet om hvor traktoren befinner seg i forhold til hvor mye kabel som ligger igjen i brønnen. For å unngå problemet med at traktoren kjører over sin egen kabel, er en løsning på problemet å ikke kjøre traktoren i revers hele veien opp men bruke reversen som en hjelpefunksjon når man merker at

traktoren begynner å gå tungt. Dette er som følgende: når traktoren skal ut igjen begynner man å vinsje opp kabelen på overflaten slik at man oppnår en viss strekk i kabelen. Når man har en “stram” kabel vil man starte å kjøre traktoren i revers. Under ryggingen må man hele tiden være oppmerksom på å ha nok strekk i kabelen for å unngå at traktoren kjører med større hastighet enn man vinsjer. Når strekket på kabelen minsker tyder dette på at traktoren kjører for fort. Man kan da skru av reversen på traktoren mens man fortsetter med oppvinsjing av kabelen på denne måten får man opprettholdt strekket i kabelen.

7.6 Logging under kjøring

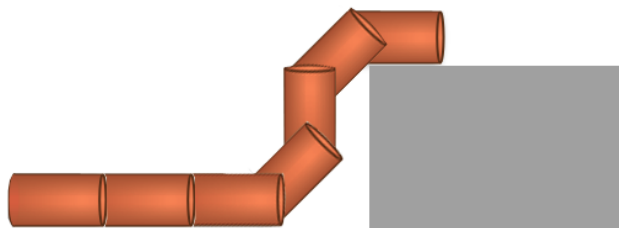
En ulempe med Welltec og Aker Solutions sine traktorer er at de ikke kan logge samtidig som traktoren kjører nedover i brønnen. En slik loggeegenskap er tilgjengelig i Schlumberger sin Max-TRAC og er også ønskelig i andre traktorer. Hovedgrunnen til den manglende loggeegenskapen er kabeltypen som blir brukt i dag. Den kabeltypen som brukes i er en en-leder med stålwirekappe rundt, noe som gjør det vanskelig å kunne overføre både kraft og signaler samtidig. Løsningen til dette problemet vil kunne være å bytte ut kabelen med en flerlederkabel slik at man kan ha to ledninger for signaloverføring og dagens leder for kraftoverføring. Med denne løsningen vil man kunne kjøre loggeutstyr samtidig som man kjører traktoren nedover i brønnen.

En annen løsning vil som i det første eksempel også medføre å modifisere dagens kabel, men i dette tilfelle legger vi inn en optisk ledning i stedet for kopperledninger. Alt vil virke på samme måte som i dag, men i stedet for å stoppe krafttilførselen til traktoren når man skal overføre signaler kan vi benytte den optiske lederen til å overføre signaler til og fra traktoren.

Hvis det ikke er av interesse å bytte ut kabelen kan en løsning være å mellomlagre loggedata lokalt i loggeenheten mens man kjører nedover i brønnen. Når man deretter vil ha ut loggeinformasjonen stopper man traktoren for deretter å overføre data. Man kan også vente til man har dratt opp traktoren før man henter ut loggeinformasjonen, men dette vil ikke gi så mye forbedring i forhold til dagens metode siden man er avhengige av å få traktoren ut av brønnen. Hvis man skulle sette traktoren fast på veien ut av brønnen, er ikke alt håp ute. Man kan da overføre loggedataene til overflaten før man drar av kabelen. Med denne metoden vil man få logget hele brønnbanen som traktoren har operert i.

7.7 Slangerobot

Dagens traktorer har problemer med å komme forbi ujevnheter i brønnbanen som følge av forhøyninger i åpne hull og innsnevring i casingen. En mulig løsning på dette kan være å gå bort fra dagens traktorløsning og innføre en variant av slangeroboter med bevegelige ledd som kan smyge seg over kanter i brønnbanen. Slangeroboten beveger seg fremover ved hjelp av to hjulsett på hvert ledd som står vinkelrett på hverandre slik at det ikke har noe å si om “slangen” ruller rundt. Hvert enkelt ledd på roboten beveger seg i forhold til hverandre på samme måte som en industrirobot slik at den kommer seg enkelt over brønnbanens ujevnheter, se figur 4.



Figur 4: Skisse av slangeroboten

7.8 Hjul og hjulbruk

Vi har sett på hvordan hjulene på traktorene er, og hvilke problemer man har med disse. Vi har også sett på hvordan disse problemene kan løses, og dette spesielt rettet opp mot Gulltopp-brønnen, slik at all data om brønner her er hentet fra vedlagt oversikt av Gulltopp i appendiks F.

7.8.1 Hva brukes i dag?

Når det benyttes traktor med hjul, bruker man i dag som oftest hjul laget av stål. Man er sikret at disse tåler trykket nede i brønnen, og at de ikke blir ødelagte av eventuelle slag mot veggene. Fra tabell 1 ser en at friksjonstallet mellom smurte stålflater, antar at brønnslammet er som et lag smøring, ikke er veldig stort. Det er mulig det finnes andre materialer som gir bedre grep, men det er vanskelig siden de må tåle forholdene i brønnen.

Både traktorene med hjul og den med "bein" klarer å kjøre inne i produksjonsrør, i casing og i åpne hull.

Tabell 1: Friksjonskoeffisienter for forskjellige overflater [10] [11]

Materiale 1	Materiale 2	Friksjonstall(glidefriksjon)
Stål	Stål	0,6 (tørre flater)
Stål	Stål	0,01-0,1 (smurte flater)
Gummi	Fast dekke	0,4-1 (tørre forhold)
Gummi	Fast dekke	0,05-0,9 (våte forhold)
Stål	Teflon	0,04
Stål	Aluminium	0,5

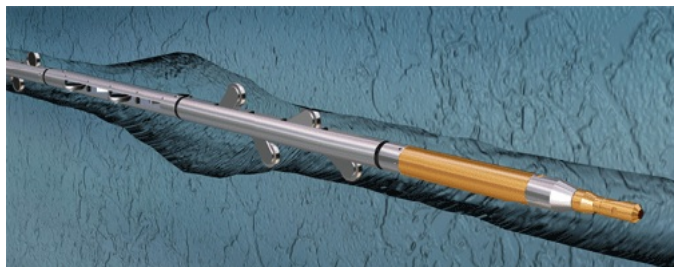
7.8.2 Hvilke problemer er det med dagens hjul og hjuloppsett?

Et av de største problemene med dagens hjul og hjuloppsett, er å komme over kanter i brønnen. Da må i dag hjulene enten ha større radius enn kanten for å kunne kjøre inn, eller man kan kjøre to traktorer i tandem. Den bakerste traktoren dytter den fremste over hindringen, for så å bruke den fremste til å dra den bakerste inn. Dette skaper imidlertid et nytt problem ved at strengen av traktorer og utstyr blir så lang, slik at man trenger stor riggehøyde for å få det til. Dette har man ofte ikke på plattformene. Vi skal se litt på hvor store disse kantene kan være ved å hente tall fra Gulltoppbrønnen, og bruke dette til å se hvor store hjul man eventuelt vil trenge for å kjøre traktor ned i en brønn som Gulltopp. Hvis det ikke lar seg gjøre med hjul, trenger man en slags tandemløsning.

Et problem som kun skyldes stålhjul, er ødeleggelse av brønnbelegg ved traktorbruk i såkalte duoline-brønner. Dette er produksjonsrør med et lag glassfiber i seg. Laget hindrer brønnvesken å komme i kontakt med stålrøret, og hindrer korrodering. Glassfiberlaget kan skrapes opp og skades ved kjøring med stålhjul, og dette bør helst unngås. Ved kjøring i åpne hull kan man få problemer med å passere såkalte washouts, se figur 5. Hvis disse er store må man kjøre to traktorer i tandem. Da får man igjen problemer med en for lang toolstring som krever større riggehøyde enn man har på plattformen.

7.8.3 Mulige løsninger

Når det gjelder problemet med å komme over kanter, er det en begrensning på hvor store hjul traktoren kan ha siden disse skal ha plass inne i brønnen. Vi har fra oversikten over Gulltopp at den nederste delen av casingen har en ytre diameter på 7", så traktor med hjul må være noe mindre enn dette for å komme inn. Dette avhenger av om det er produksjonsrør der eller ikke. Vi har videre at den helt nederste delen av brønnen ikke har casing, og at her er diameteren ca. 4", 3,8" på det smaleste ved produksjon, så hvis man skal inn her må traktor med hjul være mindre enn dette. Som en kan se av figur 5 er hjulene på motsatt side ikke plassert helt samme plass. Dette



Figur 5: Welltec-traktor med hjul. [2]

tillater hjulene å være større enn de kunne hvert. Man ser også at det ikke er noe problem om hjulene stikker litt ut av traktoren når de ikke brukes, selv om den kanskje da setter seg lettere fast på vei oppover. Vi mener imidlertid at dette ikke er noe stort problem dersom hjulene settes i fri, og tillates å rotere selv når de ikke brukes til kjøring. Dette vil likevel redusere traktorens evne til å svinge noe. Fra brønnoversikten, og simuleringene, kan man se at den største krumningen i Gulltopp er på $5,16^\circ/30$ meter. Dette skjer 8785 meter ned i brønnen, hvor diameteren er 7", så dette skjer i den minste casingen. Dette gir at utstyrets totale lengde ikke kan overstige 14 meter, (Beregninger og antagelser er vedlagt). Når traktoren i seg selv er 19 fot (underkant av 6 meter), må utstyret som tas med ned ha en lengde på under 8 meter (kan ha lengre ved bruk av kuleledd). Hvis man ikke har hjul på endene av toolstringen vil dette redusere svingmulighetene minimalt, så lenge utstyret ikke har større diameter enn traktoren. Fra oversikten av Gulltopp kan vi se at den største kanten i casingen er hvor diameteren forandrer seg fra 20" til 13,375". Dette betyr en endring av radius på 3,3125". På Gulltopp går casingen med diameter $10\frac{3}{4}$ " helt opp til overflaten. Hvis man har en brønn som er akkurat som Gulltopp, bare at kun det ytterste casinglaget går helt opp og de andre rørene starter nede i brønnen, må hjulene ha en radius større enn den største endringen av radius i røret. Dette for å kunne kjøre over alle kantene i casingen ved kjøring uten produksjonsrør, som betyr en diameter på over 6,625". Som nevnt tidligere har den nederste delen av Gulltopps casing en ytre diameter på 7", så det er klart at dette ikke vil gå. Hvis en tenker seg at den største kanten hadde vært noe mindre, la oss si 5,5", og innsiden av det nederste casinglaget har en diameter på 6,1" kan en traktor med diameter 3,125" ha hjul som ikke stikker ut mer enn 1,48" på hver side. En mulig løsning kan da være å la hjulene kunne stikke ut av traktoren på begge sider. Man kan da kjøre med hjul som er så store at de nesten tar i veggen på begge sider i den trangeste delen av brønnen. Man må her passe på at de ikke tar i veggen på begge sider for da setter traktoren seg lett fast. Som nevnt over vil så store hjul gi dårligere svingegenskaper. Vi vet at krumningen nedenfor det nederste casingrøret ikke overstiger $4^\circ/30$ meter, så med antagelser om at hjulene ikke stikker ut, og at diameter her er 5" kan traktor med utstyr ha en total lengde på 12,8 meter (så utstyret som skal være med ned kan ikke være lengre enn 6 meter uten å ha noen ledd). Hvis hjulene ikke plasseres helt på enden, vil de ikke påvirke svingningen så mye så lenge hjulene kan stikke ut på begge sidene. Dette fordi da vil hjulene på den midterste delen av traktoren som er borti veggen kunne stikke ut på motsatt side.

En annen tanke når det gjelder brønner med store kanter er å lage ramper mellom de forskjellige nivåene for å fjerne disse kantene. Dette gjør at hjulene ikke trenger å være spesielt store, og at traktoren kan komme seg lett innover i brønnen. En annen måte å løse problemet med å kjøre over kanter, er hvis man kjører "tandem" kun med en traktor. Det vil si at når traktoren kommer til en kant, trekkes de fremste hjulene inn, og hjul lengre tilbake dytter fronten inn. Deretter trekkes det bakre hjulsettet inn, og de første hjulene drar den bakre delen av traktoren inn over sperringen. Dette krever at man må kunne styre hvilke hjul som skal brukes til enhver tid fra plattformen. Når man kjører i produksjonsrør vet man hvor diameteren forandrer seg. Hvis man vet hvor traktoren er kan man i det den ikke lengre trekker ut kabel, det vil si den har møtt en sperring, sende ned

signaler om hvilke hjulseksjonene som skal brukes. Dette krever da mest sannsynlig at traktoren kan kjøre, sende loggesignaler og motta signaler samtidig. Se avsnitt om logging for gjennomføring av dette.

Ved kjøring i duoline-brønner er problemet kun at stålhjulene kan ødelegge belegget, så dersom man her skal bruke hjul må man ha andre hjul. Man kan for eksempel bruke de vanlige stålhjulene med et lite belegg med gummi som dekk, som vil beskytte glassfiberen fra direkte kontakt med stål. Vi kan også bytte ut hjulene med hjul av hardplast eller andre mykere materialer som er mer skånsomme mot glassfiberen, så lenge dette materialet tåler trykket i brønnen. Ved kjøring i slike glassfiberbrønner kan det være greit å ha hjulene ute og i fri når traktoren trekkes opp, slik at traktoren ikke skrapet opp belegget på vei opp. Man kan også benytte traktor med bein i stedet for hjul, fordi disse ikke utsetter belegget for like mye belastning.

Når det gjelder problemet med å passere washouts i åpne hull må traktoren ha en hjulseksjon utenfor washouten til en hver tid. Dersom denne er stor nok har man ikke noe annet alternativ enn å kjøre to traktorer i tandem. En mulighet for å redusere riggehøyde kan være å ha et bøyeleg ledd mellom de to traktorene, slik at kun en rigges i høyden, og den andre horisontalt. Dette kan føre kanskje til at den første traktoren da vil “dette ned” i washouten og sette seg fast. For å unngå dette kan man ha hjulene ute slik at den styrer seg inn etter washouten.

En annen mulighet for å ha lengre toolstring, som kan tillate kjøring av tandem, er hvis man bruker sikkerhetsventilen i brønnen som barriere for å holde brønnen lukket. Dette gjør at man får mye lengre avstand mellom de to punktene som brukes til å hele tiden holde brønnen lukket, og dette tillater en veldig lang toolstring. På Gulltopp er denne sikkerhetsventilen plassert 250 meter ned i brønnen. Man har da mer enn nok plass til å kjøre tandem.

7.8.4 Andre tanker

For å øke friksjonen til hjulene, kan man bruke hjul med pigger, eller eventuelt noe mønster, som gir bedre grep mot underlaget. Ved kjøring av traktor i brønner der omgivelsen forandrer seg, for eksempel delvis åpen og lukket brønn slik som Gulltopp som har 300 meter uten casing, kan det være ønskelig å kjøre en traktor med forskjellige typer hjul, eventuelt både hjul og bein, som kunne satt sammen en traktor med de ønskede egenskapene. Skal man for eksempel over en stor kant, kan det hende det er nok med noen få store nok hjul, men noen mindre hjul både foran og bak, så når man møter kanten trekkes de fremste hjulene inn mens de store klarer kanten. Deretter trekkes de fremste ut, og de bakre inn, og man drar inn den bakre delen, for deretter å kjøre normalt. Dersom man kjører i en brønn der det er ønskelig med både hjul og bein, kan man ha to sett av hver type, og bytte på hva som benyttes ut ifra hvor man er i brønnen.

8 Applikasjoner

8.1 Generelt om Applikasjoner

8.1.1 Traktor versus Coiled Tubing (CT)

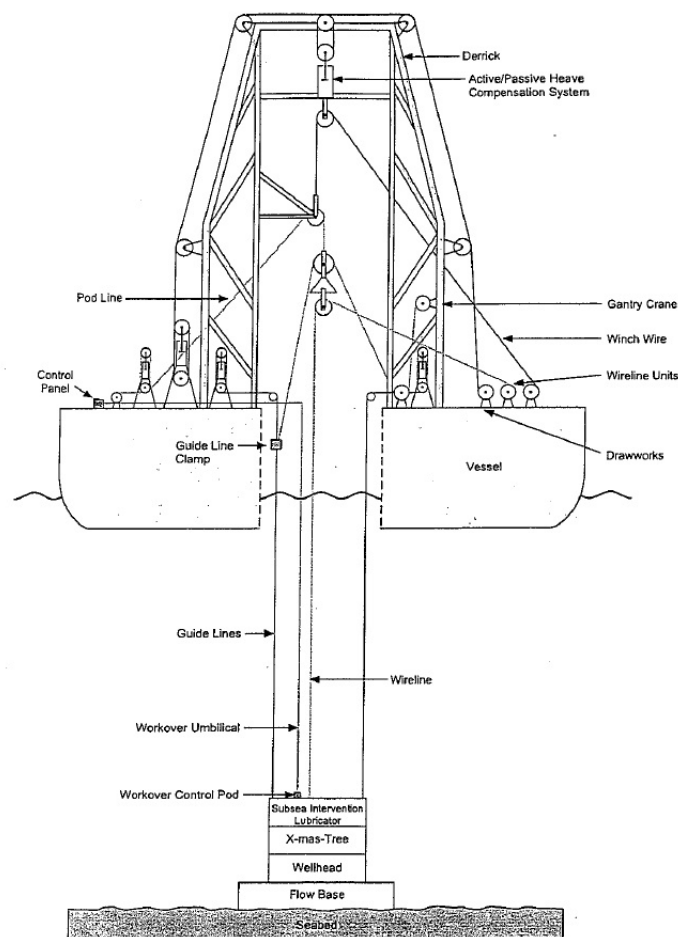
Vi har som mål med oppgaven å se på hvordan man kan erstatte dagens CT operasjoner i horisontale brønner med wireline og traktor.

CT er et langt, tynt sammenhengende rør som er kveilet rundt en trommel. Størrelsen varierer mellom 1" til 4,5" ytre diameter og lengden varierer mellom 300m til 900m [5]. Fordelene med CT er nettopp at det er et langt rør og ved store avstander blir det få skjøter og sårbare punkter. Injeksjonshastigheten er ganske høy med opptil 1 m/sek. Den store skyvekraften er også en viktig fordel. Problemene med CT er knyttet til ressurser. CT trenger et stort riggetårn som er høyt og svært værutsatt i Nordsjøen. Riggetiden på dette er relativt lang (over 3 ganger så lang) i forhold til wireline rigging. Buckling er også et problem for CT. CT blir skjøvet fra overflaten og ved horisontale brønner vil friksjonen bli så stor at CT vil krummes (buckles) i brønnbanen. CT er rullet opp på store tromler som er store og tunge (se figure 6). Disse må fraktes med båt ut til riggene og kan kun lastes over ved relativt rolig sjø. Rolig sjø er ikke hverdagskost i Nordsjøen og dermed er værforhold for lossing av CT over til rigg svært sjeldent. En wirelineoperasjon er rett og



Figur 6: Coil-tubing trommel

slett bare en wire med det ønskede applikasjonsapparatet i enden. Ved bruk av traktor brukes en elektrisk wireline, men prinsippet er det samme. Det er bare størrelsen på wirelinen som er større grunnet en elektrisk leder i tillegg til wireline [7]. Dette senkes ned i brønnen til det stedet hvor man ønsker å utføre en operasjon. Ved vertikale og avviksborede brønner, avviksvinkel opp mot 65-75 grader, vil kun wireline være greit. Man tilfører også noe glidemiddel slik at tyngdekraften kan dra med seg apparatet nedover. Problemer kan oppstå ved for høy brønnvinkel og ikke minst i horisontale brønner. Her har CT vært fortrukket fordi den har evnen til å skyve apparater innover. En traktor som trekker applikasjonsapparatet innover i den horisontale brønnen vil på mange måter utkonkurrere CT. Allikevel har wireline med traktor fortsatt visse begrensninger. Wireline har en begrenset kapasitet i forhold til CT. Drakraften til traktoren er mindre enn CTs skyvekraft. Og nokså viktig er også muligheten for sirkulasjon som ikke er tilstede ved bruk av wireline.



Figur 7: Wire-line oppsett

8.1.2 Wireline operasjoner har sine begrensninger

Kostnader og tid er de sentrale hovedårsakene til hvorfor vi ønsker å erstatte CT-operasjoner med elektrisk wireline og traktor. Det er noen CT-operasjoner som ikke kan erstattes av elektrisk wireline [5]. Disse operasjonene inneholder elementer som bare delvis eller utelukkende ikke kan erstattes av elektrisk wireline. Tabell 2 og 3 viser fordelene og ulempene ved av brukt henholdsvis CT og wire-line

Vekt - Apparater som i seg selv er tunge nok til at en wireline ikke vil kunne klare vekten, kan bruke forsterket wireline. Ved lange horisontale brønner vil derimot trekkraften til traktoren ikke kunne bli stor nok for å dra apparatet langt nok. Skjermer i åpne hull mot sand er en type operasjoner som kan være vanskelige uten CT. Vekten av disse vil utgjøre et stort problem og for traktoren vil selve trekkraften bli avgjørende for om dette kan ordnes. Alternativt kunne man tenkt seg at man kjører disse ned i mindre biter. Se kapittel generelle forbedringer.

Mengde - Volum er et sårt tema i en brønnbane med diameter kun opptil 9,2". Stimulering i form av fraksjonering med keramikkuler vil teste dette problemet. I dag pumpes alle disse kulene fra overflaten og mengden som da trengs er unødvendig høy. Hvis man klarer å begrense seg til akkurat så mange man trenger vil antallet være mindre men fortsatt relativt høyt. Å få disse fraktet ned til det aktuelle penetreringsstedet vil kreve en eller flere beholder med stor lagringskapasitet. Problemet vil være at beholderen, pga den smale brønnen, vil måtte være veldig lang noe som vil utgjøre et vektproblem og også et manøvreringsproblem. Løsning kan være flere beholdere etter hverandre men dette vil påvirke vekten. Se kapittel generelle forbedringer.

Tabell 2: Fordeler og ulemper med Coil-tubing

Fordeler	Ulemper
Sammenhengende rør	Tidskrevende i forhold til wire line
Høy injeksjonshastighet	Buckling
Stor skyvkraft	Væravhengig (både lasting og rigging)
Sirkulasjon	Dyr
	Stort og tungt utstyr utgjør også en sikkerhetsrisiko

Tabell 3: Fordeler og ulemper med Wire-line med traktor

Fordeler	Ulemper
Rask riggetid	Noe høy injeksjonstid ved kjøring av traktor
Billig	Ingen sirkulasjon
Væruavhengig	Begrenset drakraft
Lett utstyr er HMS-vennlig	Kan ofte sette seg fast

Sirkulasjon - Noen operasjoner krever at vi har en sirkulasjon i brønnen. Det kan være for å fjerne elementer fra brønnen eller for å bringe elementer ned til brønnbanen. Sirkulasjon er det eneste som er helt utelukket ved å erstatte CT med wireline. Stimuleringer er operasjoner utført for å opprettholde eller forbedre produksjonen. Det kan gjøres med blant annet keramikkuler (fracturing) eller syre. Her er mengde problemet fordi man må stimulere et stort område. I dag pumpes syre fra installasjon men vi ønsker å gjøre det mer lokalt. Mengde syre utgjør da et problem. Hvor mye trenger vi og hvor stor må tanken eller tankene vi må ha med ned være? Vekt og størrelse blir igjen problemet. Dette har vi forsøkt å finne en løsning på. Se kapittel om syrestimulering.

8.2 Hvilke applikasjoner som har blitt vurdert og hvorfor

Vi satte oss først inn i hva slags applikasjoner vi har og hvorfor og hvordan disse utføres. Deretter brukte vi en liste som viste oss hvilke applikasjoner som gjøres med hva slags intervensjonsverktøy se figur 8 [5]. Vi begynte å konsentrere oss om de som kun ble gjort med Coiled Tubing og ikke wireline. Dermed startet prosessen med å erstatte CT-operasjoner med wireline-operasjoner. Vi fant opptil ti forskjellige applikasjoner som vi satte oss mer inn i. På bakgrunn av hvilke begrensninger wireline har i forhold til CT, fikk vi redusert antall applikasjoner. Samtidig brukte vi aktivt Professor Sangesland ved IPT, NTNU, som rådgiver. Etter hvert hadde vi begrenset oss til 3-4 forskjellige applikasjoner med 2-3 i reserve. Siden dette er en svært dynamisk bransje ble vi etter hvert oppmerksomme på hvor mye endringer som har skjedd de siste årene. Etter korrespondanse med vår kontaktperson Knut Müller i StatoilHydro fant vi ut at vi hadde sett på en del applikasjoner som i dag faktisk gjøres. Vi har likevel bestemt at vi vil bruke litt tid til å se på hvilke forbedringer vi vil gjøre med eksisterende applikasjoner. Kjerneprøvetaking gjøres i dag på wireline men er tatt som et eksempel på en svært ressursparende metode. Her erstatter vi boretid med wirelinetid noe som gir oss en stor fortjeneste.

LEGEND: Yes = ● No = ✗ Not Economical = ■	Electric Line	Slickline	Coiled Tubing	Hydraulic Workover
CASED HOLE PRODUCTION LOGGING & PERFORATING				
Production Logging (surface readouts)	●	✗	● Note 1.1	✗
Running Memory Gauges (incl. bottom hole pressure & temp. & flows)	✗	●	■	✗
Well Diagnostics: Caliper Run	●	●	●	■
Perforating Casing	●	✗ Note 1.8	●	■
WELL CLEANING				
Sand Clean out or sand washing	■	● Note 1.2	●	●
Paraffin & Asphaltene Removal	■	●	●	●
Scale Removal	✗	✗	●	●
Underreaming & Drilling	✗	✗	●	●
CASED HOLE FISHING				
Tool Recovery	●	●	●	●
Tubing Cutting - Chemical	●	●	●	■
Tubing Cutting - Mechanical	✗	✗	●	●
Milling	✗	✗	●	●
FLUID DISPLACEMENT SERVICES				
Nitrogen Jetting/ Lifting	✗	✗	●	●
Liquid Displacement	✗	✗	●	●
THRU-TUBING SAND CONTROL SERVICES				
Sand placement as filter media	✗	✗	●	●
Running Screens	✗	●	●	●
Inject Resin Materials	✗	✗	●	●
REMEDIAL CEMENTING/CONFORMANCE				
Cement/ chemical shut-off & profile control	✗	✗	●	●
Spotting Isolation Plugs	● Note 1.3	● Note 1.3	●	●
Setting mechanical plugs	●	●	●	■
Sleeve Shifting	✗	●	■	■
Repairing Casing and Tubing Leaks	✗	✗	●	●
Tubing punching	●	●	■	■
STIMULATION				
Remedial Stimulation by pumping fluids (acids, solvents, surfactants)	✗	✗	●	■
Fracturing (using proppants)	✗	✗	●	●
THRU-TUBING COMPLETIONS				
Velocity or Siphon & Injection Strings	✗	✗	●	●
Production String	✗	✗	●	●
ARTIFICIAL LIFT SERVICES				
Gas Lift valve Installation/pulling/retrieving	■	●	■	■
Servicing an Artificial lift Pump Inplace	✗	●	■	■
Setting/Retrieval of Artificial lift pumps	✗	●	●	●
RE-ENTRY DRILLING				
Side Tracking	✗	✗	●	●
Deepening	✗	✗	●	●
OTHER SERVICES				
SCSSV Repair (inplace lockout & WRSV installation)	■	●	■	■
QUALIFICATIONS				
Highly deviated wells	● Notes 1.4, 1.5	● Note 1.5	●	●
Work in Horizontal Wells	● Note 1.7	✗	● Note 1.3	■ Note 1.3
High Pressure workovers	✗	✗	● Note 1.6	●
Tubing Change Out (Note 1.7)	✗	✗	✗	●

NOTES	
Note 1.1:	Combination of e-line in CT can be used in highly deviated or horizontal wells.
Note 1.2:	For low differential pressure (100 psi), using a baller.
Note 1.3:	For short intervals.
Note 1.4:	Can be accomplished for highly deviated or horizontal wells with use of a well tractor.
Note 1.5:	Difficult and costly for deviation angle greater than 50 degrees.
Note 1.6:	High Pressure CT is may be used as it provides time savings compared to HWO.
Note 1.7:	Tubing change out is a major workover where HWO competes with conventional rigs.
Note 1.8:	Possible with new technology tools, such as E-Fire.

Figur 8: Tabell over applikasjoner

8.3 Artificial lift pump

Artificial lift pumps (se figur 9) er brukt mye rundt om i verden i dag, blant annet i USA og England, og på oljerigger på land.

Et hvert reservoar vil ha et reservoartrykk, som i tillegg til at hydrokarboner har lavere tetthet enn vann/borehullsvæske vil kunne bidra til at væske strømmer ut av brønnen, og produseres naturlig. Med tiden vil strømningsraten til alle brønner avta. For å starte produksjonen igjen, eller opprettholde produksjonsprofilen vil det da bli behov for Artificial lift (kunstig løft) [12].

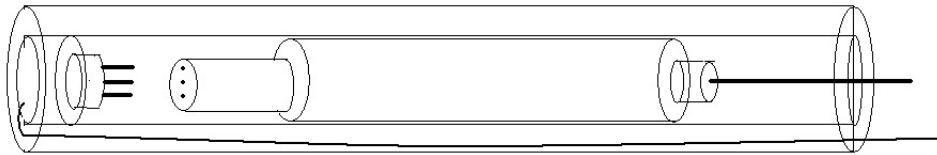
Til dette kan en electric submersible pump (ESP) brukes [13]. Pumpen plasseres langt nede i brønnen, nær selve reservoaret. Da vil mindre gass være gått ut av løsning, og dette er gunstig for å få best mulig effekt av pumpen.

Tidligere satt pumpen fast nederst på produksjonsrøret, og for å få skiftet eller reparere pumpen, måtte man dra ut hele produksjonsrøret. Denne utskiftningen er en omfattende operasjon som tar 12-14 dager. Ved å lage en pumpe som er så smal at den kan fraktes i produksjonsrøret med en traktor, vil man kunne dra bare pumpen opp og ned, uten å måtte ta med hele produksjonsrøret. En pumpe vil ved vektproblemer kunne fraktes ned i flere deler.

Traktoren vil frakte pumpen ned foran seg. Pumpen vil få strøm fra en hanndel av en stikkontakt nederst i produksjonsrøret. Denne stikkontakten får strøm fra en stikkontakt festet nede i casingen

der pumpen skal stå. Denne stikkontakten får strøm fra en kabel trukket i annulus, rommet mellom casing og produksjonsrør. Selve pumpen har en forlengelse ned til en hunndel av en stikkontakt, og dette heises ned til hanndelen nederst i produksjonsrøret, og pumpen får strøm.

Pumpen har en levetid på ca. 10-12 måneder og må skiftes. Om man har klar en ny pumpe på land, vil skiftingen nå bare ta tiden det tar å kjøre pumpen opp med traktor, skifte pumpe på wireline, og kjøre ned pumpen igjen. Dette vil man spare mye tid på i forhold til å måtte dra opp hele produksjonsrøret, som nevnt over vil ta 12-14 dager. Med vårt system vil utskiftningen, avhengig av brønnlengde ta 1-5 døgn.



Figur 9: Artificalliftpump

8.4 Syrestimulering av brønner

Når det gjelder bruk av syre i brønnen er det sett på to forskjellige syrebehandlinger. Disse er bruk av flussyre og generell syrestimulering av reservoarberget. Dette gjøres i dag ikke med traktor på electrical wireline, siden man bruker for store mengder syre. Slike store mengder syre krever i dag Coiled Tubing, enten med eller uten traktor. Videre vurderes det om det er mulig å gjøre dette med mindre mengder syre, slik at det kan gjøres med electrical line og traktor.

8.4.1 Flussyre

Flussyre, kjemisk formel HF, er ei svak syre som er meget etsende [14]. Den kan brukes både til å rense eller etse metall, eller etse glass. Siden flussyre er veldig korrosivt og etsende kan det brukes til å etse hull i casing og produksjonsrør selv ved små mengder. Dersom så hvis dette skal gjøres i et lite avgrenset område er det muligheter for bruk av traktor. Dette kan også brukes til å rense små områder om dette er ønskelig.

8.4.2 Generell syrestimulering av reservoar

Det benyttes ulike typer syre, men den mest vanlige er hydrogenklorid HCl [15]. Dette er en sterk og etsende syre. Bruk av syre i reservoaret kan deles inn i to hoveddeler; bruk av syre sammen med høyt trykk, og bruk ved lavt trykk. Med stort trykk menes her trykk som er så stort at det får fjellet i reservoaret til å sprekke opp. Bruk av flussyre som er nevnt over er et eksempel der man ikke trenger høyt trykk.

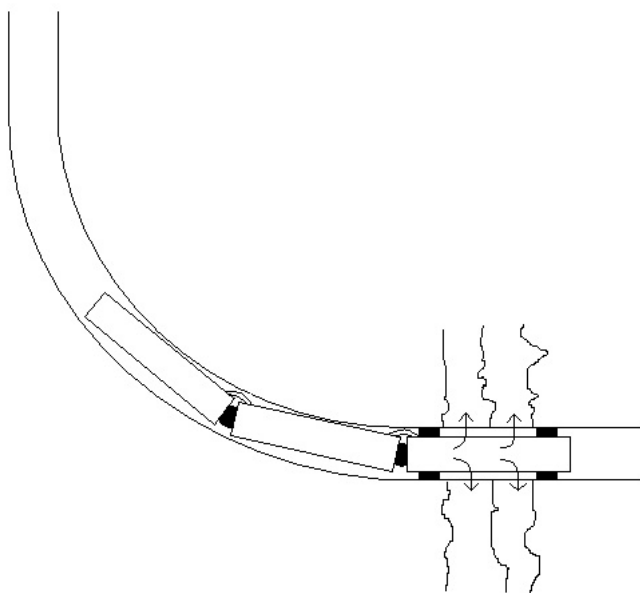
Ved bruk av syre uten høyt trykk, presses ikke syra utover i formasjonen, så den kan kun rense brønnen, og de nærmeste områdene. Som nevnt over får høyt trykk reservoarberget til å sprekke opp, men disse vil lukkes etter trykket er borte om man ikke gjør noe mer. Derfor kan man i tillegg til trykk, pumpe ut syre. Denne vil etse sprekkene i fjellet ujevne, slik at sprekkene ikke lukkes helt etter trykket er borte. En annen mulighet enn bruk av syre er å tilsette små keramikkuler til væsken som skaper trykk. Disse kulene vil også hindre at sprekkene lukkes helt. Kan også benytte syre og keramikkuler samtidig. Det å holde disse sprekkene åpne sikrer permeabilitet, en god flyt i formasjonen rundt brønnen, og derfor økt produksjon i brønnen.

Det er ønskelig at disse kulene som skal holde sprekkene oppe har samme egenvekt som væska for at den lettere blir med ut i formasjonen. De keramikkulene som brukes i dag er noe tyngre enn væska, så mulig det går an å bruke keramikkuler som har en lettere kjerne, eller andre stoffer som er lettere. Slik stimulering av reservoaret krever store mengder syre eller annen væske, vesentlig mer enn etsning av hull med flussyre. Nedenfor følger en mulig løsning på å få til dette med traktor og electrical line.

8.4.3 Hvordan få syre ned i brønnen ved bruk av traktor?

Tanken er å kunne dra tanker med syre og utstyr for å sette pakninger ned i brønnen. Disse pakningene settes så på begge sidene av det området som ønskes behandlet med syre slik at dette er fysisk avskilt fra resten av brønnen. Deretter tømmes tankene med syre mellom disse pakningene, se figur 10. For å få til dette må det være stort trykk inne i tankene, slik at det i tillegg til syre er luft eller annen gass som blir igjen i tankene slik at disse ikke fylles med det som er i brønnen. For å få med tanker ned tenkte vi at man kan ha tanker på ca 8-10 meter som er festet sammen med kuleledd, og er koblet sammen med slanger. Dette gjør at man klarer å svinge seg innover i brønnen som en slange. Hvis man da sier at disse tankene er sylinderformet med en indre diameter på 4,5", vil de romme 1,026 l syre per desimeter lengde, altså 10,26 l syre per meter. Rigg høyde på plattformen begrenser muligheten til å få med mange slike tanker, men som nevnt under hjuldelen, øker denne enormt om man kan bruke sikkerhetsventilen som barriere i brønnen. Da kan man få plass til veldig mange slike beholdere. Fra brønndesign Gulltopp har en at sikkerhetsventilen er 250 meter ned i brønnen. Noe annet som kan begrense mengden syre man kan ta med seg, er den økte vekten slik at det blir vanskeligere å komme ned og opp fra brønnen. Så lenge brønnen er vertikal er det greit å komme seg nedover, men hvis man skal inn i en horisontal brønn er det nødvendig at traktoren klarer å dra det med seg. Fra simuleringene av kjøring til Gulltopp har en at traktoren må dra med 202,5 kg (450 pund) for å få med seg en kabel med diameter på 0,32", og har fra spesifikasjonen på Welltec-traktoren at denne kan dra 1089 kg. Dette betyr at hvis man tenker seg at en tank på 80 l syre veier 100 kg, kan man ta med seg opptil 7 tanker, som er 560 liter, og hvis man kjører flere traktorer i tandem, enda mer. Videre har vi tenkt at disse tankene også kan ha hjul slik at de blir lettere å dra inn. Når man så skal opp veier tankene mindre siden de nå er tomme for syre, og hvis man mellom tankene kobler til noen oppdriftstanker fulle med luft kan disse gjøre jobben lettere for vinsjen.

Har fra brønndesign Gulltopp at den siste strekningen av brønnen har en indre diameter på 3,9", så beholderne beskrevet over vil være for store til å dras inn her. Hvis man i stedet har en tank med indre diameter på 3,5 ", vil denne ha en kapasitet på 6,2 liter per meter, og tanker på 8 meter vil romme 50 liter syre, og med beholder vil da vekten være omtrent 70 kg. Siden disse veier mindre enn tankene over, kan traktoren nå dra opptil 10 slike tanker, som gir 500 liter syre totalt.



Figur 10: Syresprut inn i formasjonssprekker

8.4.4 Tid for gjennomføring av syrebehandling med traktor

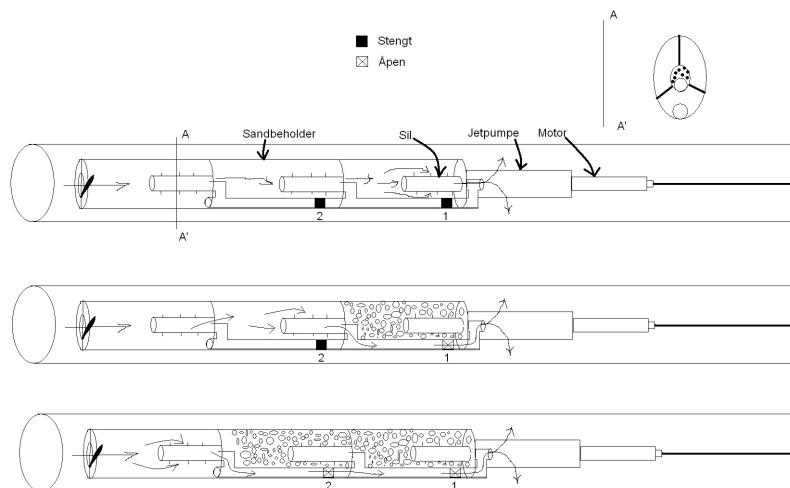
Syrebehandling krever en electrical wireline ferdig installert på plattform, og tilgang til en traktor. Deretter hvis man har syretanker klare til bruk, tar ikke denne prosessen mye lengre tid en kjøring nedover i brønnen, tømming av syre, og kjøring opp igjen. Dette krever da som sagt at man har

syretanker klare. Det er klart best om disse fylles opp på land, for så å fraktes klare til bruk ute på plattform. Dette hindrer ulykker ved fylling på plattform.

8.5 Sandvasking

Når man produserer olje og gass er det et kontinuerlig problem med at sand fra formasjonen rives løs og blir produsert sammen med oljen eller gassen. Dette gir stor skade på produksjonsutstyr. Etter en brønn har blitt produsert en stund vil brønnen fylles opp nederst med sand, og dette vil skape problemer med å holde oppe produksjonen. Samtidig vil det slite på utstyret. Man ønsker da å fjerne sanden.

Vi tenker vi har et apparat som består av en motor som genererer energi til en jetpumpe som igjen lager et undertrykk ved jetpumpen. [16] Dette fører til at væske (med sand) trekkes inn i en lang sandbeholder med siler, slik at sand blir samlet i beholderen og væsken renses for sand. Når en beholder fylles opp med sand, vil det være mulighet for å åpne ventiler for å styre væskestrømmen forbi de fylte beholderne, og igjennom neste sil, og inn i neste beholder, slik at denne kan fylles med sand. Når alle beholderne er fylt med sand, vil en tilbakeslagsventil stenges, og apparatet kan trekkes ut av brønnen. Det åpner for å variere antall beholdere, så lenge man får disse med seg ut av brønnen. I vårt eksempel bruker vi en pumpe med tre beholdere etter seg, se figur 11. Først vil



Figur 11: Sandfjerningspumpe med tre beholdere

blandingen av sand og væske gå igjennom alle tre delene av beholderen, og sanden vil begynne å fylle opp den første delen av beholderen, det vil si nærmest jetpumpen. Når den første beholderen er fylt helt opp med sand, åpnes ventil nr 1, slik at væsken nå vil passere forbi den fylte beholder 1, og beholder 2 vil kunne fylles med sand. Når beholderen i midten er fylt opp med sand, og det blir vanskelig for jetpumpen og pumpe væsken, vil ventil 2 også åpnes, i tillegg til ventil 1, og væske vil kunne passere de fylte beholderne, slik at beholder 3 til sist vil kunne fylles opp. Når hele det tilgjengelige volumet for sand er fylt opp, vil en tilbakeslagsventil i enden av apparatet lukkes, og man vil kunne kjøre ut apparatet.

8.5.1 Hvor mye sand kan hentes opp om gangen?

Med antagelser om at pumpa med motor veier 200 kg, at sanden som tas opp veier 2,185 kg per liter (se appendiks A), og at beholderne har en indre diameter på 3,5", vil innholdet i en meter med beholder veie 13,6 kg. Dvs at en 8 meter lang tank vil veie rundt 130 kg og inneholde 108 kg sand. Alt utstyr med 4 beholdere, 32 meter med 430 kg sand, vil veie 720 kg. Har fra simuleringene at med 0,32" kabel har vi i overkant av 850 kg å gå på (Se syredelen). Dette fører til at vi ved kjøring med en traktor kan vi ta opp 430 kg om gangen. Hvis man kan kjøre flere traktorer i tandem, kan dette økes noe, men det er en begrensning på pumpa. Denne må så forandres, eventuelt kan man ta med flere slike pumper ned. Hvis man i tillegg benytter en komposittkabel kan man ta med tre ganger så mye vekt opp fra brønnen enn med en vanlig elektrisk wire. Med dette apparatet vil man kunne få fjernet mer sand per run, og man vil da spare betydelig tid og penger på dette.

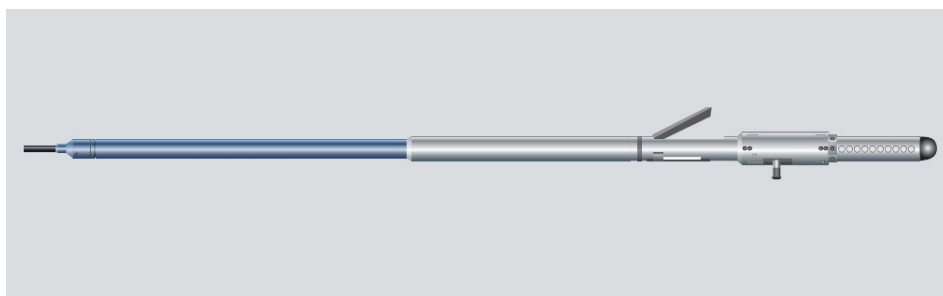
8.6 Kjerneprøvetaking

Vanligvis tas borekjerner ut under boring av brønn. Man tar opp borekronen ved starten av ønsket intervall og erstatter den med en spesiell borekrone som er hul i midten [15]. Deretter går man ned igjen og borer rundt selve kjernen nedover, kutter den ved roten og tar opp det intervallet man ønsker. Deretter, hvis man vil bore videre, må man feste den opprinnelige borekronen på igjen og bore videre. Et alternativ til dette er et kjerneprøvetakingsapparat. Tanken bak dette er



Figur 12: Borekrone med hull

at det veldig kostbart å bore en brønn, og det vil ta tid å trekke ut borekronen, ta kjerneprøve, og så fortsette opprinnelig boring. Fordelen ved denne type kjerneprøver er den vertikale lengden man oppnår. Denne kan være avgjørende i vertikalt svært anisotropt reservoar, men er mer nyttig forskning. Ved reservoaranalyse holder det ofte med mindre kjerneprøver. Med et kjerneprøvetakingsapparat vil man først bore brønnen ferdig før man går ned med apparatet og tar kjerneprøver av veggen i brønnbanen, se 13 [17]. Dette vil spare mye tid og ikke minst penger. Man får ned boretiden, som er svært ønskelig, og klarer effektivt ved hjelp av wireline, og eventuelt traktor i horisontale brønner, å ta ut kjerner. Kjernene analyseres og gir viktig informasjon om de petrofysiske egenskapene til reservoaret. Denne applikasjonen er ikke ny men vil i noen tilfeller være et kostnadseffektivt alternativ til tradisjonell kjernetaking. Kjerneprøver med wireline gjøres i dag på



Figur 13: Coresampler

forskjellige StatoilHydro-opererte felt. Grunnen til at vi tok det med er fordi det utgjør et viktig prinsipp i oppgaven vår. Hvordan erstatte en applikasjon med en billigere og tryggere. Vi har stort sett konsentrert oss om å erstatte coiled tubing operasjoner med wireline. Men i kjerneprøveeksempelet erstatter faktisk wireline en boreoperasjon. Boreoperasjon er generelt svært mye dyrere enn alle andre intervensjons metoder [7] og derfor er det svært ønskelig å redusere tidsbruken av det. Det er også knyttet mye tungt utstyr og mye personell til boreoperasjoner. Dette reduseres både ved coiled tubing og ikke minst ved wireline operasjoner.

9 Økonomiske beregninger

Vi har fått en del kostnadsestimat fra StaoilHydro. Av vår syrestimuleringsapplikasjon har vi gjort en økonomisk analyse for å se hvor mye vi vil spare. Stimuleringen er beregnet gjort på Gulltopp noe som i dag ikke er mulig. Vi har også sett på kjøring av pumpedel til Gulltopp. Se økonomiske beregninger i appendiks B.

Man kan lese av beregningene at selv den mest pessimistiske estimering av syrestimulering med traktor vil være mer lønnsom enn samme operasjon med CT. Når man i tillegg legger til HMS-perspektivet, med lettere utstyr og lavere bemanning ved wireline operasjoner, er der klart at dette er det foretrukne alternativet. I virkeligheten gjøres ikke wireline-operasjoner i så horisontalt lange brønner. Men ved å se på analysen vil man se at det er selve kjøretiden horisontalt til traktor som gjør den mindre overlegen. I kortere brønner vil denne tiden gå ned og forskjellene vil bli relativt større i både tid og kostnader.

For artifiical lift pump er ikke CT beregning tatt med siden dette gjøres med innsetting av produksjonsrør i dag. Noe som er enda dyrere og mer tidskrevende enn CT. Derfor har vi bare beregnet for hvor lang tid det vil ta å kjøre opp og ned med en pumpe. Dette for å verifisere det vi har omtalt i applikasjonsdelen om Artifiical lift pump.

10 Traktor - høytflygende ideer

Når vi kikket på traktorer og mulige forbedringer i forhold til kjøremåter under brainstorming, kom også mange høytflygende ideer på bordet. Blant annet at traktoren skulle kunne komme seg frem i brønnbanen som en beltevogn, en rakett, en ubåt, og på en taubane eller på skinner. Om en traktor skulle gått på skinner, vil den kunne fått strøm fra skinnene. En annen måte var å bore brønner ned og opp igjen til overflaten et annet sted for så å tre applikasjonene på en wire og kunne dra i den i begge ender. Dette prinsippet ble kalt tanntrådprinsippet. Også å ha en snuplass eller et oppholdsrom for traktor og utstyr nede i brønnen ble kastet ut som ideer.

Alle disse ideene er ganske ville, og kan trolig lett forkastes. Om noen av de er ønskelig å sette ut i livet, vil det kreves en hel del ny teknologi. Vi har valgt å jobbe mer ut ifra de kjøremåter og applikasjoner som finnes i dag, og prøvd å se på og forbedre disse. Dette fordi det finnes tilgjengelig litteratur på det, og det er kjøremåter og applikasjoner som det er bruk for i brønner i dag.

11 Konklusjon

Vi har sett på brønntraktor fra forskjellige vinkler. Hvordan forbedre? Må den kjøre på hjul? Hvorfor ikke mer drakraft i traktoren? Hva trengs i morgendagens oljeutvinning? Dette er alle spørsmål vi har stilt oss selv i løpet av dette prosjektet. Simuleringene, gjort for oss av Welltec, har vist oss at ikke bare har traktoren kraft nok til å kjøre helt til Gulltopp men vi har også kraft igjen slik at vi kan dra med oss utstyr, noe som er svært sentralt for oppgaven da vi antar ofte mye trekkraft på traktor. I hovedsak har vi sett på applikasjoner med coiled tubing opp i mot wireline med traktor. Dette fordi dette er den naturlige metoden å erstatte med traktor. Men vi har også nevnt erstatting av boretid (kjerneprøver) og erstatting av setting av produksjonsrør (artificial pump). De økonomiske beregningene bygger på kostnadsestimer fra StatoilHydro. Vi har sett på avvik og på tross av pessimistiske beregninger har vi sett hvor mye tid og penger som spares på å gjøre intervensjoner med traktor kontra coiled tubing eller andre intervensjonsmetoder.

Mulighetene for forbedring av traktor er absolutt til stede og vi har mange forslag til hvordan dette kan gjøres. Kjøring av traktor til Gulltopp ble verifisert med alle kabler og er dermed teoretisk mulig. En del applikasjoner med dyre intervensjonsmetoder kan erstattes av traktorteknologi med vel så godt resultat og ekstremt mye bedre økonomisk og tidsmessig resultat.

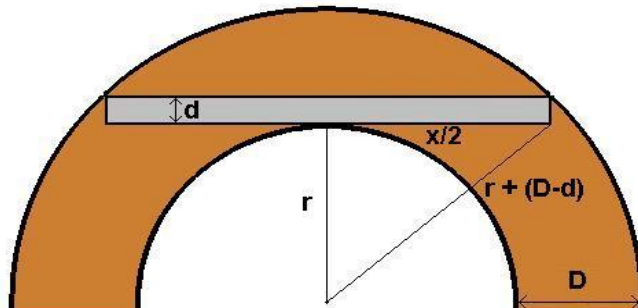
Referanser

- [1] StatoilHydro *sin hjemmeside*: <http://www.statoilhydro.com>
Link til hjemmesiden (sist besøkt 11.02.09)
- [2] Welltec *sin hjemmeside*: <http://www.welltec.com/>
Link til hjemmesiden (31.04.09)
- [3] Schlumberger *sin hjemmeside*: <http://www.slb.com/>
Link til hjemmesiden (31.04.09)
- [4] Aker Solutions *sin hjemmeside*: <http://www.akersolutions.com/>
Link til hjemmesiden (31.04.09)
- [5] Sigbjørn Sangesland *Subsea production systems part 2* 2007
Norwegian University of Science and Technology TPG4200
- [6] Oppgave 1 *Gullfakslandsby* 2009
NTNU
- [7] Clas-Erik Stomberg *Well Intervention in subsea wells* 23.09.07
NTNU presentation
- [8] Hans Jørgen Lindland, Olav Inderberg, Arnfinn Braut og Colin Headworth *New Well Intervention Technology That Will Enable Increase In Recovery Rate*
OTC 15182 2003
- [9] Camesa *sin hjemmeside*: <http://comesainc.com/>
Link til hjemmesiden (sist besøkt 22.04.09)
- [10] Per Jerstad, Bjørn Sletbak og Arne Auen Grimenes *Rom Stoff Tid* Fysikktabeller for fysikk 1 og fysikk 2
Cappelen Damm 2008
- [11] Wikipedia : <http://no.wikipedia.org/wiki/Friksjon>
Link til hjemmesiden (sist besøkt 15.04.09)
- [12] Wikipedia : http://en.wikipedia.org/wiki/Artificial_lift
Link til hjemmesiden (sist besøkt 15.04.09)
- [13] Sigbjørn Sangesland *Electric Submersible Pump for subsea completed well* 1991
Norwegian University of Science and Technology
- [14] HMS blad fra UiB : <http://www.uib.no/bht/infolab/Nr2.00.rtf>
Link til hjemmesiden (04.05.09)
- [15] The Oilfield Glossary : <http://glossary.oilfield.slb.com/>
Link til hjemmesiden (sist besøkt 15.04.09)
- [16] Unsgaard *A feed pump for a sand removal apparatus in an underground well* WO2005/033471
PCT
- [17] Mechanical Sidewall Coring Tool : <http://slb.com/content/services/evaluation/reservoir/msct.asp?>
Link til hjemmesiden (sist besøkt 15.04.09)

Appendiks

A Beregninger

A.1 Lengdebegrensning i forhold til svinger



Figur 14: Traktor(grå) i en sving

På figur 14 er en generell sving i brønnen illustrert, og det er tegnet inn noen hjelpelinjer for å beregne den maksimale lengden et stivt ledd kan ha og likevel klare svingen. På bildet er traktorens diameter tegnet inn, d , diameteren av brønnen, D , lengden på traktoren, x , og radius av svingen, r . Denne radiusen, r , er beregnet ut i fra krumningen i brønnen som ofte oppgis i radianer per 30 m. Fra formel om buelengde har vi, $r = \frac{b}{v}$, der b er buelengde, altså 30 m her, og der v er svingvinkelen i radianer. Har så estimert lengden fra sentrum av sirkelen og ut til enden av traktoren med $(r + D - d)$. Har da estimert at avstanden fra dette hjørnet og ut til brønnkanten er den samme som diameteren til traktoren. Denne vil så klart være noe mindre, men dette gjør at vår øvre begrensning, x , blir overestimert. Dette gir oss altså litt mer å gå på i virkeligheten enn det endelige svaret her.

Har også antatt at traktoren sett ovenfra er rektangulær, selv om den naturligvis er noe avrundet i endene, men dette gir også bare nok en overestimering.

Videre er det antatt at hjulene er trukket helt inn, eventuelt stikker ut på motsatt side av traktoren, der traktoren er i kontakt med veggen. På bildet betyr dette at hjulene på midten av traktoren stikker oppover på bildet.

En kan ved disse antagelsene bruke pytagoras på trekanten.

$$\begin{aligned}r^2 + \left(\frac{x}{2}\right)^2 &= (r + D - d)^2 \implies \\x^2 &= 4 \left[(r + D - d)^2 - r^2 \right] \implies \\x &= 2 \left[(r + D - d)^2 - r^2 \right]^{\frac{1}{2}}\end{aligned}$$

Denne formelen gjelder også for andre stive enheter og ikke bare for traktorer. Ser av formelen at denne øvre begrensningen, x avhenger av brønn diameteren, D , utstyrets diameter, d og radius i svingen, r .

A.2 Beholdere

Beholderene er estimert som perfekte sylindre, med en bestemt indre radius, d . Denne radiusen er oppgitt i tommer, så for å få antall liter, v (dm^3), blir dette regnet over til desimeter, $D = 0,254d$. Kan da beregne antall liter per desimeter tank ved

$$v = \pi \frac{D^2}{4} = 0,254^2 \pi \frac{d^2}{4}.$$

Normalt vil vi se på antall liter per meter tank, V , og denne gis da selvfølgelig av $V = 10v$.

Videre er det sett på vekten av disse beholderne. Antar at beholderne veier ca. 20 kg, og har hele veien rundet av til nærmeste hele 10 kg, for enklere regning. Dette er bare estimer uansett, slik at eksakte verdier er uinteressante. Dette er ment til å gi et lite innblikk i om det er mulig å få til med traktor.

Har regnet med at syra har samme vekt som vann, 1 kg/l. For sand har vi brukt at den sanda som samles opp inneholder en del væske (mud), slik at 30 Har at egenvekta til sanda er 2,650 kg/l og at væska veier 1,100 kg/l. Har da at denne blandingen veier

$$[\text{kg/l}] = (2,650 \cdot 0,7) + (1,100 \cdot 0,3) = 2,185 \text{ kg/l}.$$

B Økonomiske beregninger

Gulltopp intervensjoner

		CT	Wireline m/traktor
a	Spotting	36	6 timer
b	Rigge opp	36	10 timer
c	Bytte BHA	3	6 timer
d	Rigge ned	36	8 timer

CT hastighet	1 m/s		
Traktor hastighet	0,101666667 m/s	welltec 318XI	366 m/time
Vinsj hastighet	1 m/s		

Avvik	P10	Teknisk grense
	P50	Teknisk grense * 1,5 = Budsjettertid
	P90	Budsjettertid * 1,5

Her har vi 1740 på vinsj og 8160 med traktor

Kostnader rundt intervensjonsmetoder		
Traktor	550 000,00 NOK	pr. 24 timer
CT	800 000,00 NOK	pr. 24 timer
Pumping	1 200 000,00 NOK	pr. jobb

Syrestimulering		
	CT	Traktor
a+b+d	108	24 timer
Kjøretid ut	2,75	22,7784153 timer
Kjøretid tilbak	2,75	2,75 timer
operasjonstid	1	1 timer
tot tid	114,5	50,5284153 timer
totkostnad	3 816 666,67	1 157 942,85 NOK
Avvik	CT	Traktor
P10=	3 816 666,67	1 157 942,85 NOK
P50=	5 725 000,00	1 736 914,28 NOK
P90=	8 587 500,00	2 605 371,41 NOK

Avvik tid	CT	Traktor
P10	114,5	50,5284153
P50	171,75	75,79262295
P90	257,625	113,6889344

C 0,22"-kabelen

Welltec

Rig:

Well: A-32 CT6
Well Tractor® 318XR
with PLT

Cable is: Camesa 1K22PZ

Diameter: 0.22"

Breaking Strength: 5600lbs

Weight in air: 97lbs/kft

Max pull to break wp at 9900m, is 3770 lbs, or 67% of cable break strength.

Well head pressure is 100 bar.

Grease head friction corresponds to 50 lbs.

Coefficients of friction are 0.25 (cable) and 0.45 (tool)

Well fluid is Oil - density is 0.82 kg/l.

Recommended weakpoint is 540 lbs at depth 9900 mMD (Lowest mech wp is 941 lbs)

WP: 3o/3i -> 941 lbs. LWR is 800 lbs. MSP is 600 lbs. (need stronger wp due to toolweight)

Toolstring weight is 505 lbs in air. (PLT string: 120 lbs, 318 tractor: 385 lbs)

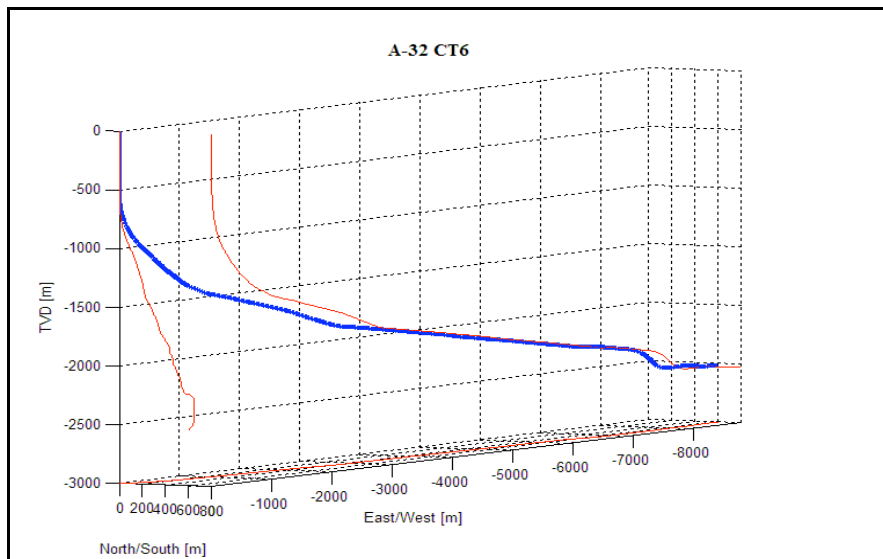


Figure of wellprofile:

C.1 0,22"-kabelen forsetter

Welltec

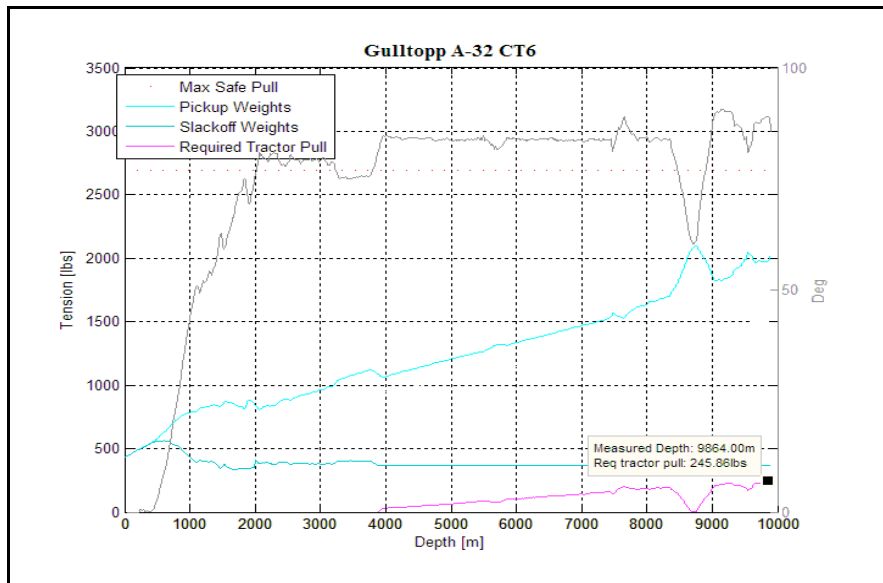


Figure of pick-up weight and weak point:

Conclusion: Feasible

Simulated tractor start depth @1700m Simulated required tractor force: 245 lbs
Suggest to use WRD as fixed weakpoint.

Disclaimer

This simulation is generated by WellSim™, - a proprietary software owned and developed by Welltec®.

Please note that any information derived from the WellSim™ simulation and any recommendations, either written or oral, in respect to performance or in prediction of results indicated by the WellSim™ simulations shall be received by the Client as opinions only and not as legally binding statements and no warranty or performance guarantee expressed or implied shall be inferred by the Client from such

Simulation run by: no058
Computer: W-08-07
Wellsim: 3.3

09.02.2009 11:38

C.2 0,22"-kabelen forsetter

Welltec

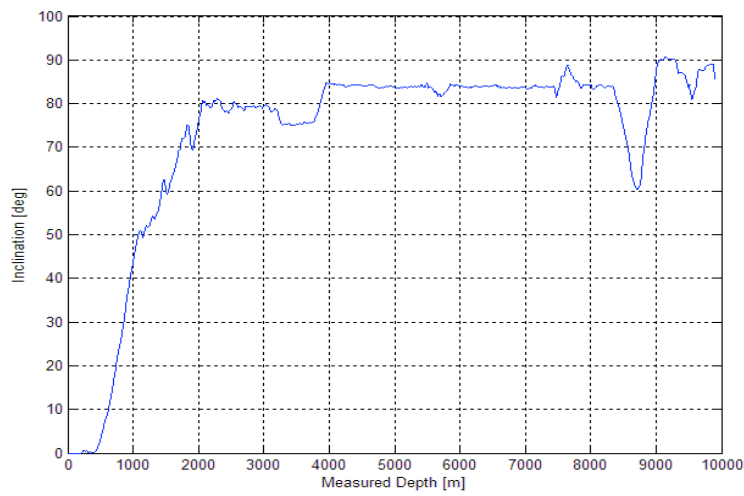


Figure of inclination

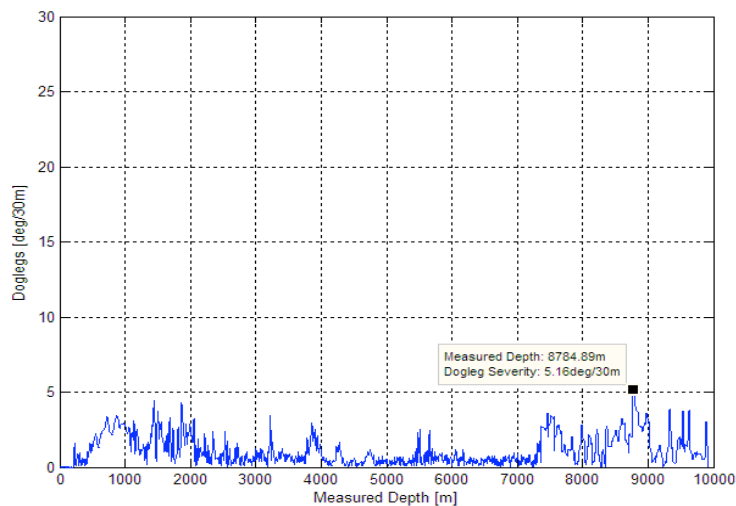
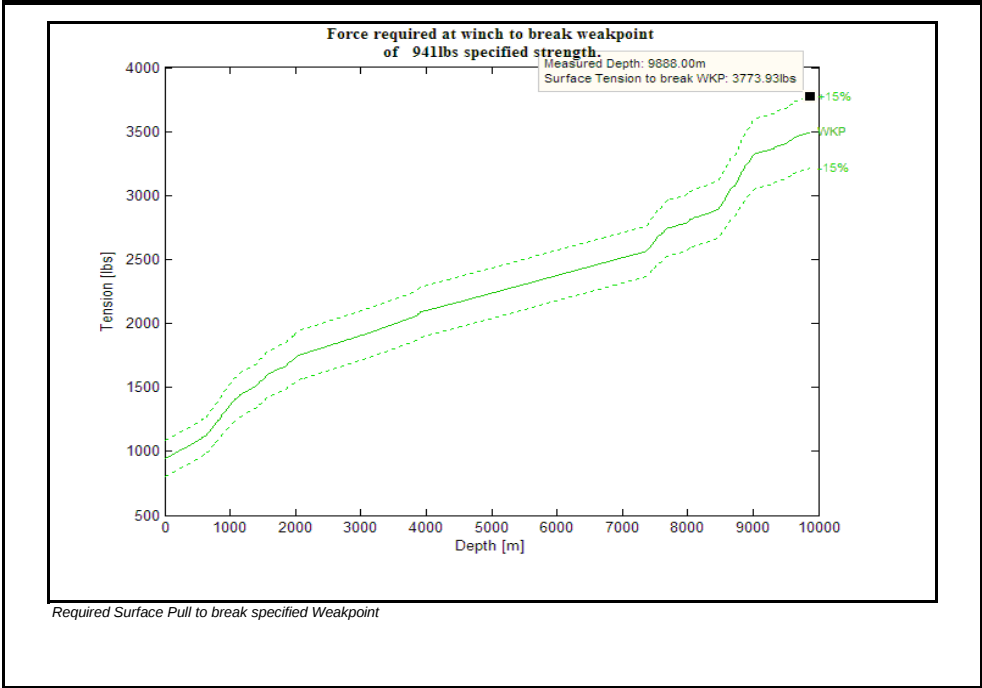


Figure of doglegs

C.3 0,22"-kabelen forsetter

Welltec



D 0,32"-kabelen

Welltec

Rig:

Well:A-32 CT6
Well Tractor® 318XR
with PLT

Cable is: Camesa 1N32PTZ-LR-HS

Diameter: 0.32"

Breaking Strength: 11750lbs

Weight in air: 198lbs/kft

Max pull at surface to break wp at 9900m, is 7355 lbs, or 64% of cable break strength

Well head pressure is 100 bar.

Grease head friction corresponds to 50 lbs.

Coefficients of friction are 0.25 (cable) and 0.45 (tool)

Well fluid is Oil - density is 0.82 kg/l.

Recommended weakpoint is 1200 lbs at depth 9900 mMD (Lowest mech wp is 1768 lbs)

WP: 3o/3i -> 1768lbs. LWR is 1502 lbs. MSP is 1130 lbs

Toolstring weight is 505 lbs in air. (PLT string: 120 lbs, 318 tractor:385 lbs)

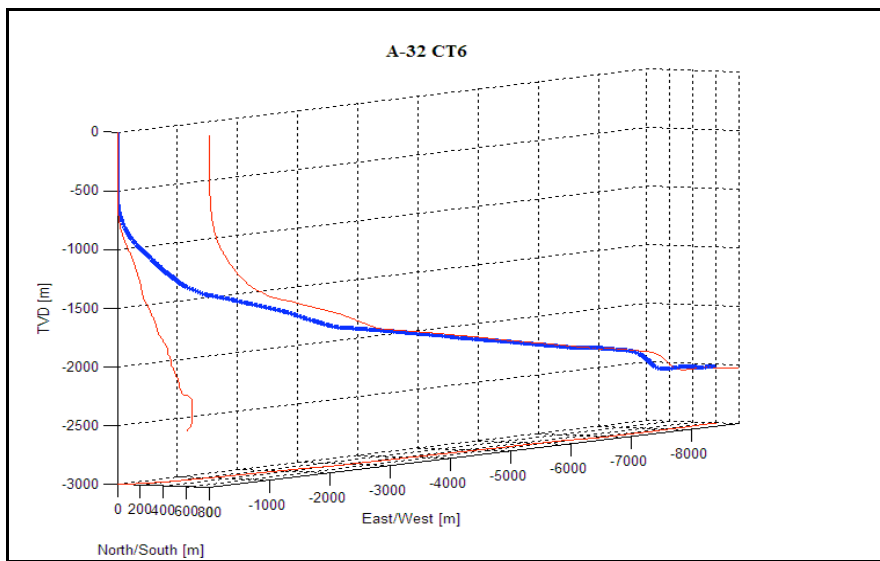


Figure of wellprofile:

D.1 0,32"-kabelen forsetter

Welltec

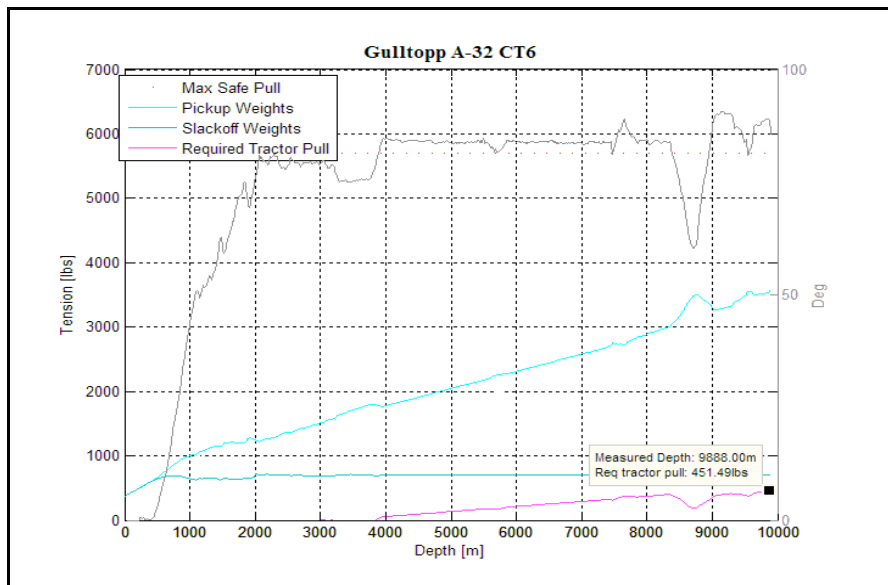


Figure of pick-up weight and weak point:

Conclusion: Feasible

Simulated tractor start depth: @1700m. Simulated required tractor force: 450 lbs.
Suggest to use WRD as fixed weakpoint

Disclaimer

This simulation is generated by WellSim™; - a proprietary software owned and developed by Welltec®.

Please note that any information derived from the WellSim™ simulation and any recommendations, either written or oral, in respect to performance or in prediction of results indicated by the WellSim™ simulations shall be received by the Client as opinions only and not as legally binding statements and no warranty or performance guarantee expressed or implied shall be inferred by the Client from such

Simulation run by: no058
Computer: W-08-07
WellSim: 3.3

09.02.2009 10:32

D.2 0,32"-kabelen forsetter

Welltec

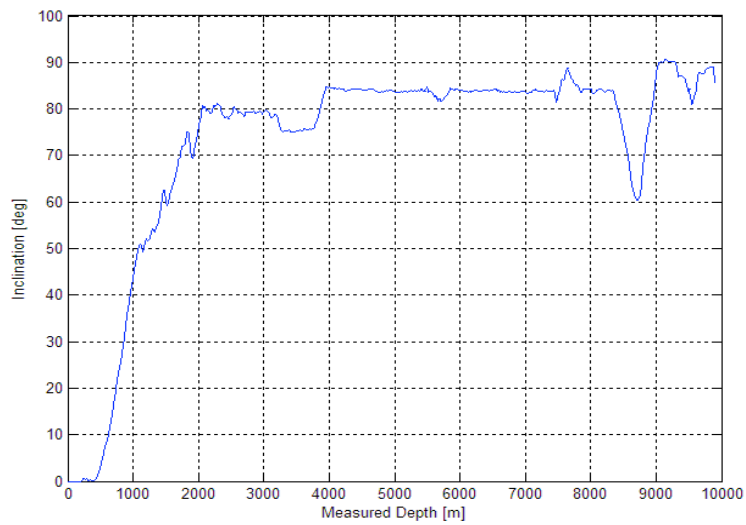


Figure of inclination

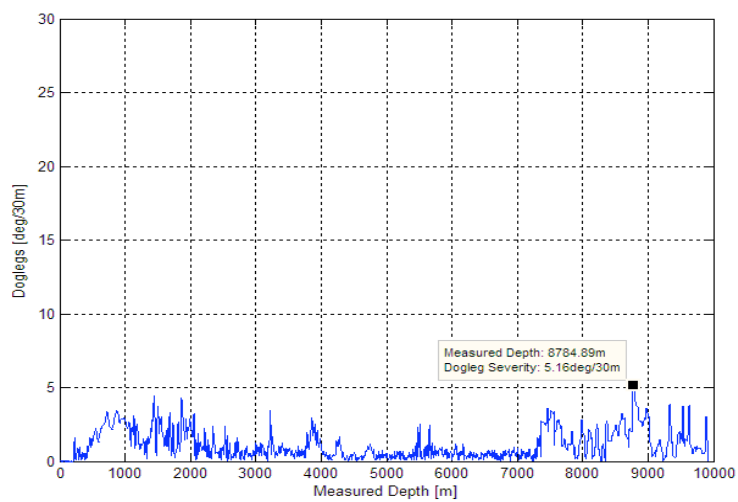
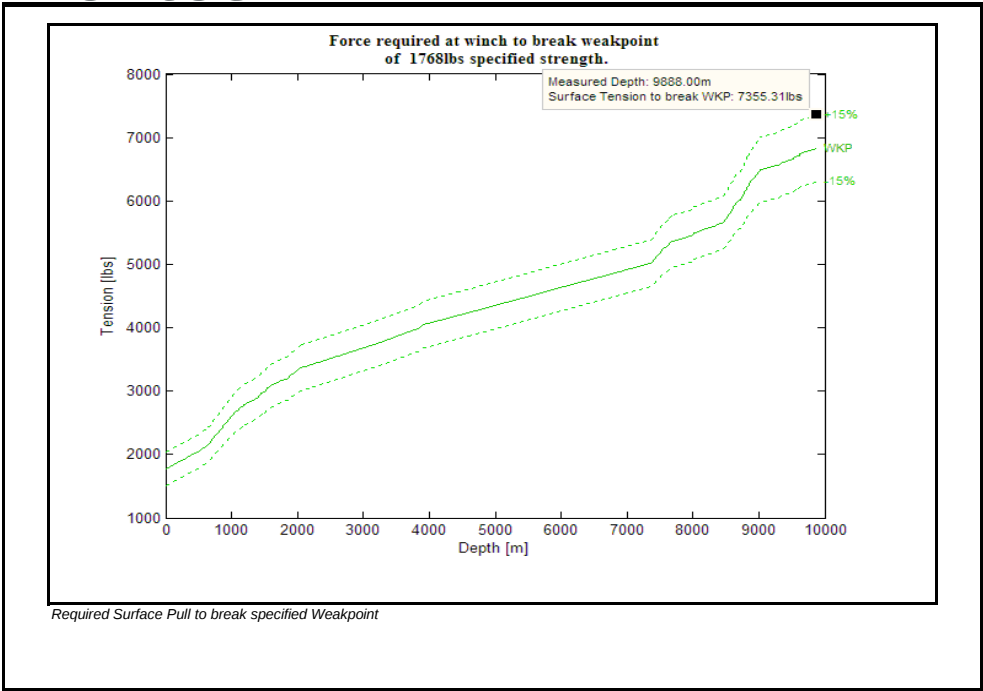


Figure of doglegs

D.3 0,32"-kabelen forsetter

Welltec



E 0,42"-kabelen

Welltec

Rig:

Well: A-32 CT6
Well Tractor® 318XR
with PLT

Cable is: Camesa 1N42PTZ-LR-HS

Diameter: 0.42"

Breaking Strength: 19500lbs

Weight in air: 334lbs/kft

Max pull at surface to break wp at 9900m, is 12575 lbs, or 64% of cable break strength

Well head pressure is 100 bar.

Grease head friction corresponds to 50 lbs.

Coefficients of friction are 0.25 (cable) and 0.45 (tool)

Well fluid is Oil - density is 0.82 kg/l.

Recommended weakpoint is 1960 lbs at depth 9900 mMD (Lowest mech wp is 3056 lbs)

WP: 3o/3i -> 3056lbs. LWR is 2597lbs. MSP is 1950 lbs.

Toolstring weight is 505 lbs. (PLT string: 120 lbs, 318 tractor: 385 lbs)

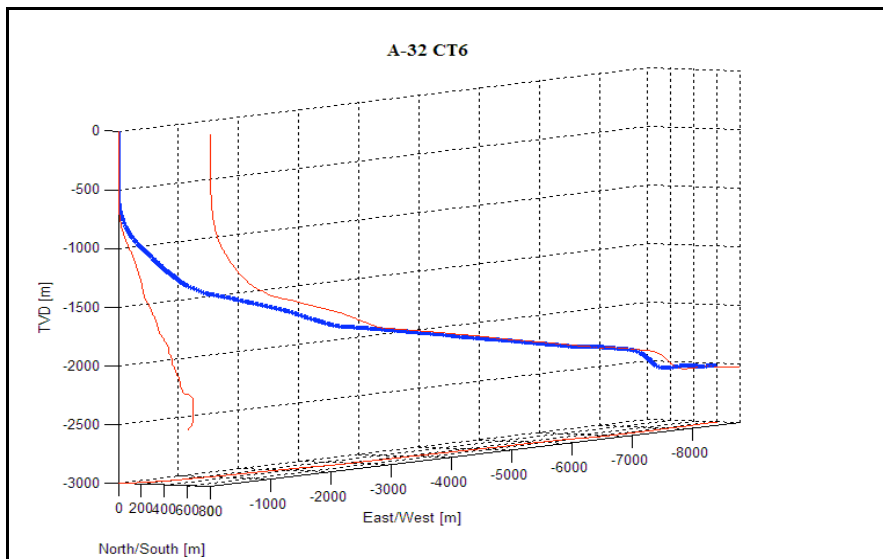


Figure of wellprofile:

E.1 0,42"-kabelen forsetter

Welltec

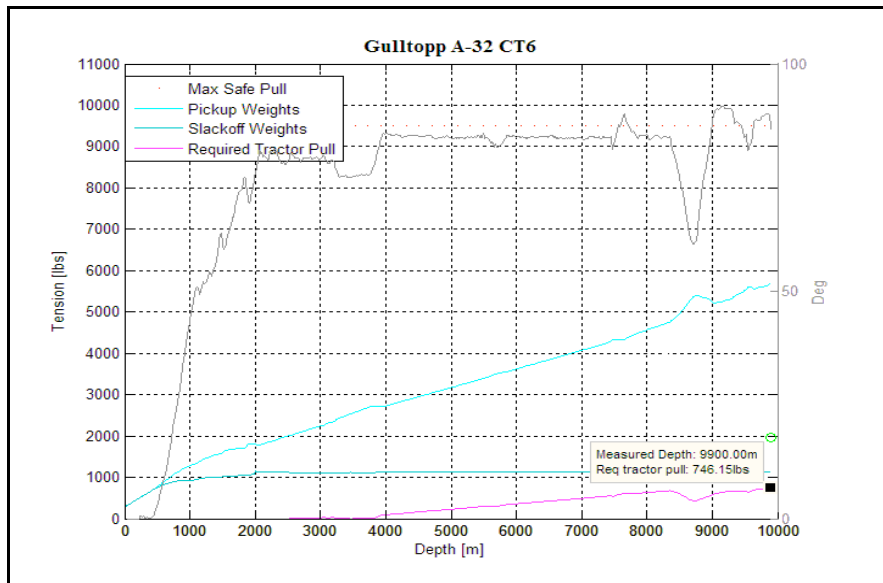


Figure of pick-up weight and weak point:

Conclusion: Feasible

Simulated tractor start depth: @1700m. Simulated required tractor force: 745 lbs.
Suggest to use WRD as fixed weakpoint.

Disclaimer

This simulation is generated by WellSim™, - a proprietary software owned and developed by Welltec®.

Please note that any information derived from the WellSim™ simulation and any recommendations, either written or oral, in respect to performance or in prediction of results indicated by the WellSim™ simulations shall be received by the Client as opinions only and not as legally binding statements and no warranty or performance guarantee expressed or implied shall be inferred by the Client from such

Simulation run by: no058
Computer: W-08-07
Wellsim: 3.3

09.02.2009 11:11

E.2 0,42"-kabelen forsetter

Welltec

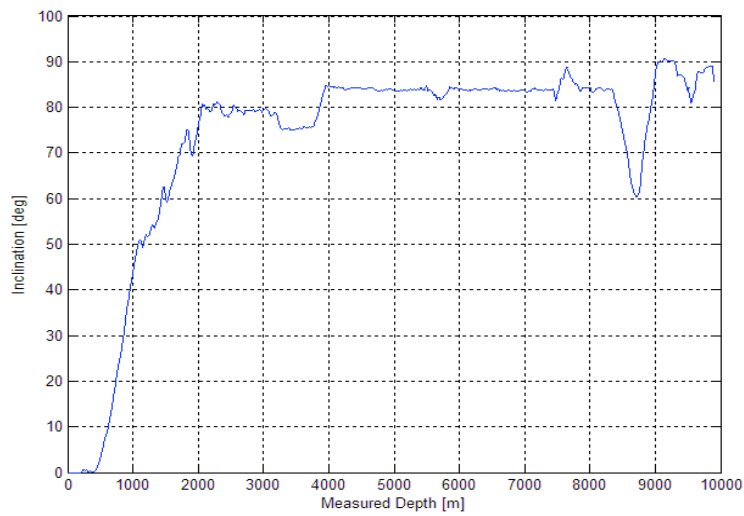


Figure of inclination

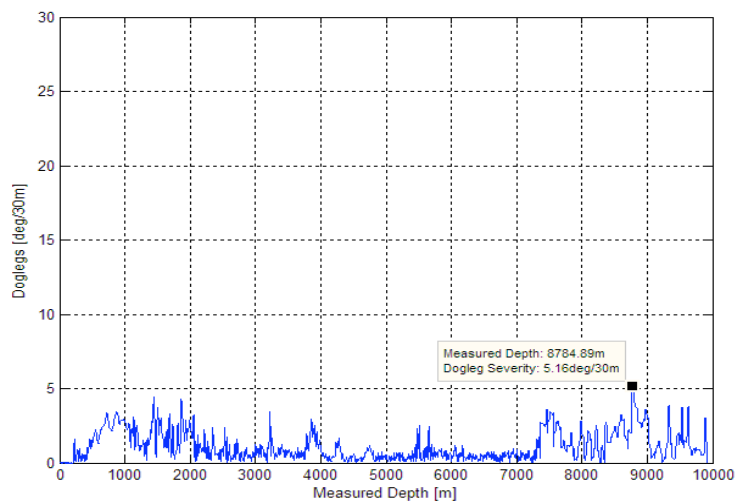
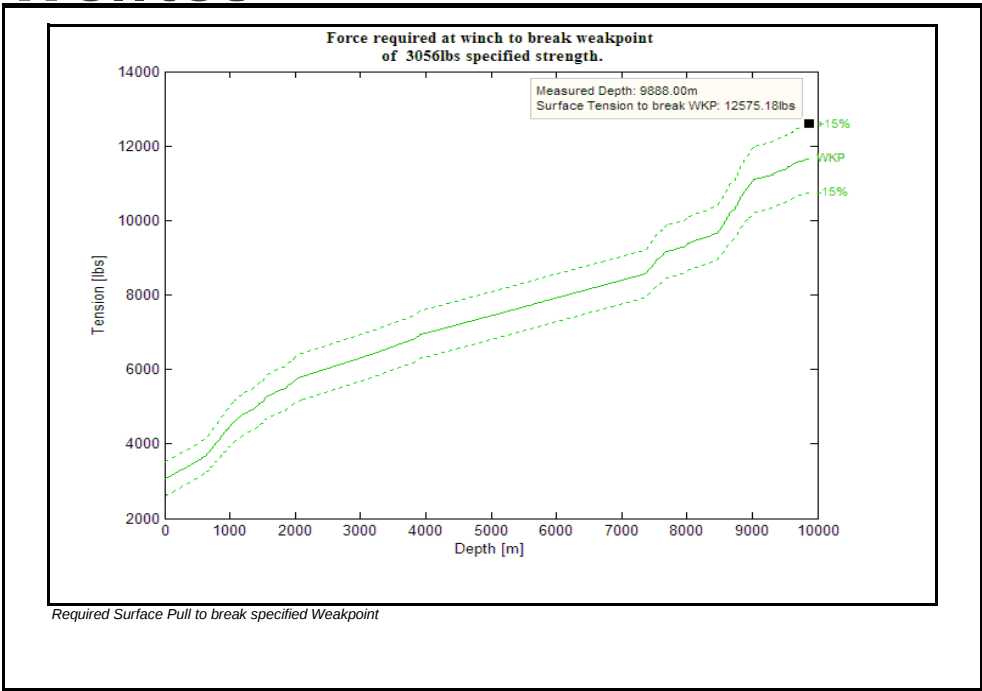


Figure of doglegs

E.3 0,42"-kabelen forsetter

Welltec



F Brønnndesign Gulltopp

Gullfaks										Page 1 of 2		StatoilHydro			
Well: NO 34/10-A-32 CT6										Prep. by: JEMA		Date: 30.03.2008			
Compl.: 1.00 Tub.Inst.Date: 30.03.2008										Rev.: 1.01		Opr.Fin.Date: 02.04.2008			
Rig: Gullfaks A Status: Oil Producer															
Remark: Fiber optic line (dual DHPG) and electrical line (DHPG) spliced above upper hanger. Distance between lower/upper hanger 60 cm shorter than Gullfaks standard.															
Ass	Symbol	Symbol Extra Info	Mid Zo	MD [RKB] Top [m]	MD [RKB] Bottom [m]	Length [m]	Max OD [inch]	ID [inch]	Drift ID [inch]	Description	Comment				
Ass 12 13.39				34.22	34.96	0.74	12.75	6.26		7" Upper Hanger					
				34.96	36.96	2.00	7.79	6.09	6.01	7" 32# Vam Top Pup Joint					
				36.96	37.38	0.42	9.76	6.18		7" Lower Hanger					
				37.38	39.58	2.20	7.79	6.09	6.01	7" 32# Vam Top Pup Joint					
				39.58	41.59	2.01	7.79	6.09	6.01	7" 32# Vam Top Pup Joint					
				41.59	47.61	6.02	7.79	6.09	6.01	7" 32# Vam Top Pup Joint					
				47.61	253.84	206.23	7.77	6.09	6.01	7" 32# Vam Top Tubing					
				55.00	56.81	1.81	5.72	2.06	2.06	7" 29/32# TR1 packer Retrievable					
				56.81	57.32	0.51	3.88			4 5/8" OD HW equalising sub	HW valve is open. MFA = 6,14 in2				
				253.84	256.21	2.37	7.64	6.18	6.10	7" 29# Vam Top Pup Joint (B x P)					
Ass 11 13.30								256.21	257.36	1.15	9.25	6.28	6.06	7" SPLICE SUB	
								257.36	262.67	5.31	9.40	5.96	5.96	7" AV6 Annular Safety valve	
								262.67	264.49	1.82	7.64	6.18	6.10	7" 29# Vam Top Pup Joint (B x P)	
								264.49	265.64	1.15	9.25	6.28	6.06	7" SPLICE SUB	
								265.64	267.14	1.50	7.64	6.18	6.10	7" 29# Vam Top Pup Joint (B x P)	
								267.14	270.23	3.09	7.79	6.09	6.01	7" 32# Vam Top Pup Joint	
Ass 10 9.77								270.23	276.31	6.08	7.79	6.09	6.01	7" 32# Vam Top Pup Joint	
								276.31	542.72	266.41	7.77	6.09	6.01	7" 32# Vam Top Tubing	
								542.72	545.77	3.05	7.64	6.18	6.10	7" 29# Vam Top Pup Joint (B x P)	
								545.77	546.56	0.79	9.54	6.18	6.06	7" de-centraliser	Bumper Sub
								546.56	549.72	3.16	9.25	5.96	5.93	7" TRSV, SP	
								549.72	550.52	0.80	9.54	6.18	6.06	7" de-centraliser	Bumper Sub
Ass 9 10.85								550.52	553.57	3.05	7.64	6.18	6.10	7" 29# Vam Top Pup Joint (B x P)	
								553.57	1037.19	483.62	7.77	6.09	6.01	7" 32# Vam Top Tubing	
								1037.19	1048.63	11.44	7.64	6.18	6.10	7" 29# Vam Top Tubing	To avoid sharp edge
								1048.63	1196.37	147.74	7.66	6.28	6.15	7" 26# Vam Top Tubing	
								1196.37	1199.43	3.06	7.64	6.18	6.10	7" 29# Vam Top Pup Joint (B x P)	
								1199.43	1202.61	3.18	9.41	5.89	5.81	7" MMRG-4-5 SIDE POCKET MANDREL	S/N: BUM 370
Ass 8 8.33								1202.61	1204.68	2.07	7.64	6.18	6.10	7" 29# Vam Top Pup Joint (B x P)	
								1204.68	3331.10	2126.42	7.66	6.28	6.15	7" 26# Vam Top Tubing	
								3331.10	3334.14	3.04	7.64	6.18	6.15	7" 29# Vam Top Pup Joint (B x P)	
								3334.14	3337.32	3.18	9.41	5.89	5.81	7" MMRG-4-5 SIDE POCKET MANDREL	S/N: BUM 369
								3337.32	3339.35	2.03	7.64	6.18	6.15	7" 29# Vam Top Pup Joint (B x P)	
								3339.35	6945.67	3606.32	7.66	6.28	6.15	7" 26# Vam Top Tubing	
Ass 7 8.25								6945.67	6948.73	3.06	7.64	6.18	6.15	7" 29# Vam Top Pup Joint (B x P)	
								6948.73	6951.91	3.18	9.41	5.89	5.81	7" MMRG-4-5 SIDE POCKET MANDREL	S/N: BUM 368
								6951.91	6953.86	1.95	7.64	6.18	6.15	7" 29# Vam Top Pup Joint (B x P)	
								6953.86	6999.64	45.78	7.66	6.28	6.15	7" 26# Vam Top Tubing	
								6999.64	7068.70	69.06	7.64	6.18	6.10	7" 29# Vam Top Tubing	
								7068.70	7072.02	3.32	7.64	6.18	6.10	7" 29# Vam Top Pup Joint (B x P)	
Ass 6 8.19								7072.02	7073.20	1.18	8.42	6.03	6.06	7" 29# Gauge Carrier	
								7073.20	7076.25	3.05	7.64	6.18	6.10	7" 29# Vam Top Pup Joint (B x P)	
								7076.25	7189.52	113.27	7.64	6.18	6.10	7" 29# Vam Top Tubing	
								7189.52	7192.03	2.51	7.64	6.18	6.10	7" 29# Vam Top Pup Joint (B x P)	
								7192.03	7193.91	1.88	8.16	6.18	6.06	7" 29# Dual Gauge Carrier Mandrel	
								7193.91	7195.90	1.99	7.64	6.18	6.10	7" 29# Vam Top Pup Joint (B x P)	
Ass 5 7.55								7195.90	7218.64	22.74	7.64	6.18	6.10	7" 29# Vam Top Tubing	
								7218.64	7221.69	3.05	7.64	6.18	6.10	7" 29# Vam Top Pup Joint (B x P)	
								7221.69	7231.23	9.54	8.25	6.03	6.00	7" PBR 29# w/30ft stroke	Pinned to 182400 lbs
								7231.23	7232.50	1.27	7.64	6.18	6.10	7" 29# Vam Top Pup Joint (B x P)	
								7232.50	7254.90	22.40	7.64	6.18	6.10	7" 29# Vam Top Tubing	
								7254.90	7257.95	3.05	7.66	6.18	6.06	7" 29# Vam Top B x 7" 29# New Vam P, XO	
Ass 4 6.38								7257.95	7260.98	3.03	9.27	6.02	6.00	7 X 10 3/4 65.7# 7F THB Packer	
								7260.98	7263.75	2.77	7.68	6.18	6.06	7" 29# New Vam P x 7" 29# Vam Top P, XO	
								7263.75	7275.19	11.44	7.64	6.18	6.10	7" 29# Vam Top Tubing	
								7275.19	7278.55	3.36	7.64	6.18	6.10	7" 29# Vam Top Pup Joint (B x P)	
								7278.55	7284.86	6.31	7.46	6.02	6.00	7.5" Seal stem w. 3/4 muleshoe	
								7284.86	7290.50	5.64	7.64	6.18	6.10	10 3/4" X 7" TSP with 7.5" ID PBR	
Ass 3 6.38								7290.50	7292.07	1.57	9.37	6.08		Liner Hanger 7" x 10 3/4"	
								7292.07	7294.15	2.08	7.64	6.18	6.10	7" 29# Vam Top HT pup joint	
								7294.15	7295.40	1.25	9.37	6.08		SHR Holddown sub 7" x 10 3/4"	
								7295.40	7297.46	2.06	7.64	6.18	6.10	7" 29# Vam Top HT pup joint	
					7297.46	7300.00	2.54	7.64	6.18	6.10	7" 29# Vam Top HT pup joint				
					7300.00	7302.00	2.00	7.64	6.18	6.10	7" 29# Vam Top HT pup joint				

39