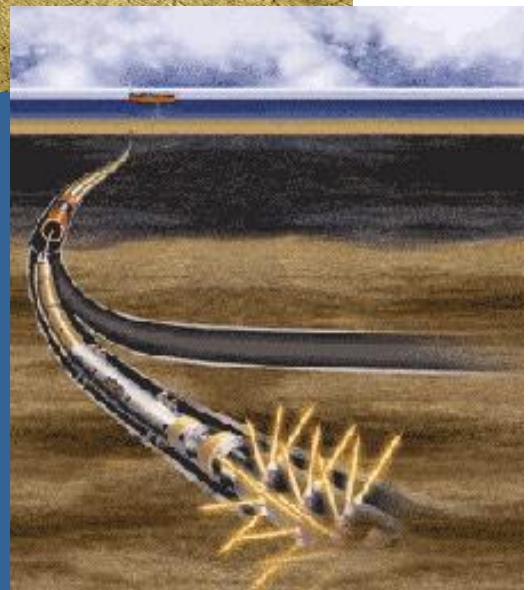
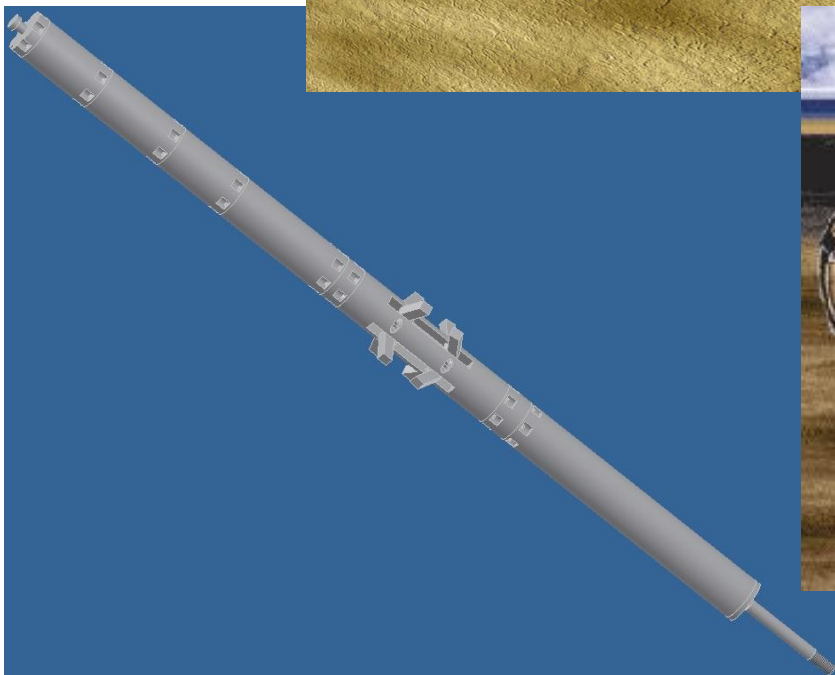




HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

Konstruksjon av verktøy for brønnoperasjoner



Hovedprosjekt utført ved
Høgskolen Stord/Haugesund – Avd. Haugesund – ingeniørfag

Studieretning: Maskin

Av: Sven Tore Jakobsen
Kjetil André Vikre

Kandidatnr. 52
Kandidatnr. 73

Forord

Studieretning for ingeniørfag ved Høgskolen Stord/Haugesund har obligatorisk bacheloroppgave i 6. semester. Her skal det med bakgrunn i tidligere tilegnet kunnskap løses en oppgave innenfor et spesifikt fagfelt.

Vår oppgave ble utformet i samarbeid mellom DeepWell AS og intern veileder Jens Christian Lindaas, Imenco/HSH.

Alle referanser og bildetekster i rapporten er hyperkoblinger. Disse kan brukes dersom rapporten leses digitalt ved hjelp av CD-platen bakerst. Samtidig legges det også ved en animasjonsfilm på CD-platen.

Det er vektlagt at leseren uten noe videre kunnskap om wireline operasjoner og brønnintervensjonsutstyr skal kunne forstå oppgaven og de aktuelle problemstillingene. Derimot forutsettes det at leseren forstår grunnleggende begreper og ord innenfor brønntechnik. Det forutsettes videre at leseren kan forstå enkle ingeniørmessige problemstillinger og utregninger.

Vi vil gjerne rette en spesiell takk til:

- Jens Christian Lindaas, Imenco/HSH; For god veiledning og mange fine innspill.
- Karl Berner Garvik, DeepWell; For utdypning om konstruksjonsoppgaven.
- Martha Kold Bakkevig, DeepWell; For god oppfølging.
- Jacob Lie Simonsen, Imenco; For informasjon om signaloverføring
- Oddvar Østebøe, DeepWell; For nyttig informasjon ang. konstruksjonsoppgaven.
- Sigve Kjelstrup, Schlumberger Norge; For kurs i brønnintervensjon.

Haugesund 7. mai 2010

Sven Tore Jakobsen

Kjetil André Vikre

Innholdsfortegnelse

Forord	2
Innholdsfortegnelse	3
Sammendrag	6
Kap 1: Innledning	7
1.1 Bakgrunn	7
1.3 Litt om DeepWell	7
1.4 Målsetning	7
1.5 Hjelpemidler og dataverktøy	7
1.6 Avgrensninger og forenklinger	8
1.7 Oppbygning og gjennomføring	8
Kap 2: Verktøy og operasjoner	9
2.1 Måter å føre verktøy/utstyr ned i brønnen	9
2.1.1 Wireline	9
2.1.2 "Slickline"	10
2.1.3 Kveilerør (coiled tubing)	10
2.1.4 "Snubbing"	12
2.1.5 Brønntraktor	12
2.2 Arbeidsoperasjoner og utstyr	13
2.2.1 Loggeoperasjoner og utstyr	13
2.2.2 Mekaniske operasjoner og utstyr	35
2.3 Welltec utstyr	54
2.3.1 "Wireline Well Tractor"	54
2.3.2 "Coiled Tubing Well Tractor"	55
2.3.3 Welltec mekaniske nedihulls verktøy	57
2.4 Schlumberger utstyr	63
2.4.1 "TuffTRAC"	63
2.4.2 "MaxTrac"	66
2.5 Aker Well Service utstyr	69
2.5.1 "PowerTrac Advance" brønntraktor	69
2.5.2 Aker Well Service mekaniske verktøy	69
2.6 Sondex utstyr	81
2.6.1 "Modular Downhole Tractor" (MDT)	81
2.7 Analyse og sammenligning av traktorene	82
Kap 3: Interface mellom brønntraktor og verktøy/loggeutstyr	85
3.1 Mono kabel og Hepta kabel	85
3.2 Traktorenes interface	86

3.2.1 Sondex	86
3.2.2 Aker Well Service	86
3.2.3 Welltec	86
3.2.4 Schlumberger	86
3.3 Verktøyenes Interface.....	88
Kap 4: Regelverk og standarder for konstruksjon og operasjon	91
4.1 Oversikt over kartlagte standarder og regelverk.	91
4.2 Oversikt over relevante avsnitt og kapitler i de forskjellige standardene	91
4.2.1 Norsok Standard D-002: "System Requirements Well Intervention Equipment" .	91
4.2.2 Norsok Standard D-SR-007: "Well Testing Systems"	93
4.2.3 Norsok Standard M-001: "Materials Selection"	94
4.2.4 Norsok Standard U-001: "Subsea Production Systems"	95
4.2.5 Norsok Standard Z- 015N: "Temporary equipment"	95
4.2.6 Norsok Standard D-010: "Well integrity in drilling and well operations"	96
4.2.7 Norsok M-122: "Cast Structural Steel"	96
4.2.8 Norsok M-120: "Material data sheets for structural steel"	98
4.2.9 ATEX 95, "Directive 94/9/CE"	98
4.2.10 FOR 1999-06-09 nr 721: Forskrift om Trykkpåkjennt utstyr	99
4.2.11 Iso Standarder	100
Kap 5: Konstruksjon av PowerTool Stroker	103
5.1 Innledning.....	103
5.1.1 Bakgrunn	103
5.1.2 Spesifikasjoner	104
5.2 Grov konstruksjon.....	105
5.3 Detalj konstruksjon	108
5.3.1 Hydraulikk system.....	108
5.3.2 Hydraulikk Pumpe.....	111
5.3.3 Motor.....	113
5.3.4 Materialvalg	113
5.3.5 Beregning av godstykkelse i hovedsyylinder.....	115
5.3.6 Strømningsanalyse av borer i kropp.....	119
5.3.7 Knekking av stempelstang i hovedsyylinder.....	121
5.3.8 Gripemekanisme.....	124
5.3.9 Dimensjonering av trykkompensator	134
5.3.10 Tetninger	135
5.3.11 Posisjonsmåling av stempelstang	137
5.3.12 Beregning av datamengde	137

Kap 6: Oppsummering og diskusjon	140
Kap 7: Referanser	142
Vedlegg A: Tegninger	
Vedlegg B: Hydraulikkssystem	
Vedlegg C: Definisjoner	
Vedlegg D: Moody-diagram	

Sammendrag

Bacheloroppgaven gir i første del en oversikt over tilgjengelig brønnintervensjonsutstyr som finnes på markedet i dag. Denne oversikten er delt inn i 2 deler. I Kap 2 som handler om å hente informasjon om tilgjengelig utstyr, kan informasjonen stort sett hentes direkte fra brosjyrer. I Kap 3 derimot som omhandler detaljer om interface opp mot brønntraktor/wireline ligger det mye arbeid bak hver opplysning, dette på grunn av at opplysninger som dette er svært vanskelig å få tak i, og i mange tilfeller hemmelighetsstemplet.

Videre blir det belyst hvilke standarder og regler som gjelder for konstruksjon og operasjon av brønnintervensjonsutstyr. Hver enkelt standard har blitt satt opp med relevante avsnitt, hvor de mest sentrale er hentet ut fra standarden i sin helhet.

I siste del av bacheloroppgaven ”Kap 5: Konstruksjon av stroker” presenteres prosessen med å konstruere et skyveverktøy (”Stroker”), dette er en iterativ prosess hvor grovkonstruksjonen stadig blir oppdatert. Beregningene på verktøyet er inkludert i rapporten i lag med tegninger for illustrasjon. Detaljtegninger av hver enkelt komponent er av hensiktsmessige årsaker lagt som Vedlegg A.

Kap 1: Innledning

1.1 Bakgrunn

Bacheloroppgaven tar utgangspunkt i at DeepWell AS ønsker å utvide sitt tjenestespekter. I dag tilbyr DeepWell AS konvensjonelle ”wireline” tjenester som kan brukes i brønner med svak utleggsvinkel. I horisontale brønner kan ikke DeepWell AS operere pr. dags dato. De ønsker av den grunn en oversikt over tilgjengelig utstyr for brønnintervensjon. I tillegg ønsker de selv å utvikle utstyr som kan operere i horisontale brønner.

1.3 Litt om DeepWell

DeepWell AS er et brønnintervensjonsfirma med besøksadresse; Husøyveien 171, 4262 Avaldsnes. Firmaet ble opprettet i 2004 av en gruppe personer med erfaring fra andre brønnintervensjonselskaper, og har i dag 80 ansatte. Siste inleverte regnskapsår er 2008 og viser en omsetning på 30 547 000 kr.

Den viktigste kontrakten DeepWell har er med Statoil hvor firmaet har fått i oppgave å være leverandør av mekaniske wireline tjenester på Statfjord A, B og C, Snorre A og B og Sleipner A og B. Kontrakten løper fra 2009 og har en varighet på 3 år og 2 måneder, med 2 ganger 2 års mulighet for utvidelse.

1.4 Målsetning

Målsetningen med oppgaven er som følger:

- Få innsikt i og lære om eksisterende brønnintervensjonsutstyr.
- Lære om interface mellom intervensjonsverktøy og brønntraktor/wireline.
- Få innsikt i gjeldende regelverk og standarder for konstruksjon og operasjon av utstyr.
- Klare å komme opp med smarte og nytenkende prinsipper for konstruksjon av et skyveverktøy.

1.5 Hjelpemidler og dataverktøy

Hjelpemidler og dataverktøy som er brukt til å løse oppgaven er:

- Internett
- Jørgensen, Erland og Einar Framnes (2001): Boreteknologi , Moderne boretekniske prinsipper. 2. opplag. Vett og Viten AS
- Brautaset Knut (2008): Innføring i oljehydraulikk. 7. opplag. Gyldendal Norsk Forlag AS
- Finnemore, E.John og Joseph B. Franzini (2001): Fluid mechanics, with Engineering Applications. McGraw-Hill Science/Engineering/Math.
- Dahlvig, Gunnar og Gunnar Strømsnes (2000): Konstruksjonselementer, 4. opplag. Gyldendal Norsk Forlag
- Irgens, Fridtjov (2005): Statikk. 1. opplag. Tapir Akademisk Forlag.
- Irgens, Fridtjov (2006): Fasthetslære. 1. opplag. Tapir Akademisk Forlag
- Autodesk Inventor Professional 2009
- Microsoft Paint
- Microsoft Word
- Microsoft Project

1.6 Avgrensninger og forenklinger

De områdene i rapporten det er gjort avgrensningene på er som følger:

- Informasjon: Et sterkt konkurransepreget marked fører til at det er veldig vanskelig å få konkret informasjon fra firmaer om deres produkter.
- Tid: Litteraturstudiumsdelene av oppgaven ble veldig omfattende som igjen førte til at den siste delen av oppgaven ble begrenset.
- Utstyr: Det er svært mye utstyr på markedet, dette gjorde at det var nødvendig med begrensninger, spesielt på loggeutstyr. Det er prøvd å ta med minst et verktøy for hver loggeoperasjon. I tillegg belyses stort sett verktøy som blir driftet med elektrisk wireline. Noen alternativer ("slickline", "coiled tubing" og "snubbing") er tatt med for å skape kontraster og dermed bedre forståelse av oppgaven.
- Beregninger: Det er blitt gjort visse forenklinger i utregningene, men disse er kommentert underveis.
- Tegninger: Tegningene av det ferdige verktøyet er i hovedsak prinsipptegninger som viser funksjonene.

1.7 Oppbygning og gjennomføring

Gjennomføringen av oppgaven følger kronologisk oppgaveteksten. Dette er nødvendig for å klare å tilegne oss nok kunnskap om brønnintervensjon til å klare å gjennomføre "Kap 5: Konstruksjon av Stroker" (Oppgave 4). Det er som følge av dette naturlig for oss å bygge opp rapporten kronologisk på samme måte som gjennomføringen, slik at også leseren skal få samme innsikt før han/henne leser "Kap 5: Konstruksjon av Stroker".

Kap 2: Verktøy og operasjoner

På bakgrunn av litteraturstudium, undersøkelser på internett etc, gi en oversikt over forskjellige verktøy og arbeidsoperasjoner nede i brønner for olje-/gassproduksjon. Dette gjelder både mekaniske verktøy/operasjoner og loggeoperasjoner.

2.1 Måter å føre verktøy/utstyr ned i brønnen

Det er i hovedsak to måter å komme ned i en brønn på:

- Gjennom "flowline"
- Gjennom SWAB-valve.

2.1.1 Wireline [1]

Konvensjonell wireline

Konvensjonell wireline er en stålwire som per definisjon er flere mindre stål kabler spunnet sammen til en wire. Metoden fungerer slik at et "verktøy" henger i enden av en stålwire som blir senket ned i brønnen. Ståltauet har ingen hydraulisk eller elektrisk kraftoverføring, slik at arbeidsoperasjonene som blir utført med denne typen kabel stort sett er mekaniske operasjoner. Metoden er avhengig av tyngdekraften og er derfor lite aktuell ved horisontale brønner.

"Braided line"

Braided line metoden er en videreføring av den konvensjonelle wireline metoden. I stedet for en vanlig wire så har denne en kjerne som inneholder 1 eller 7 isolerte kabler (Figur 1). Slik kan det ledes elektrisk kraft og signaler ned til eventuelle verktøy eller sensorer. Ved loggeoperasjoner vil verktøyene kunne overføre informasjonen til overflaten ved hjelp av de elektriske kablene.



Figur 1: "Braided line" & "Slickline" kabler

2.1.2 "Slickline" [2]

Denne metoden har i motsetning til wireline en massiv stålkabel som rulles inn på kabeltromler (Figur 2: Slickline trommel). Typisk diameter på kabelen er 2.33-3.2mm. Begrensningene på diameteren kommer av at en tykkere kabel har større egenvekt og er mindre fleksibel. Derfor brukes det slickline i denne størrelsesordenen for å redusere diameteren og egenvekten av trommelen.



Figur 2: Slickline trommel [3]

2.1.3 Kveilerør (coiled tubing) [4]

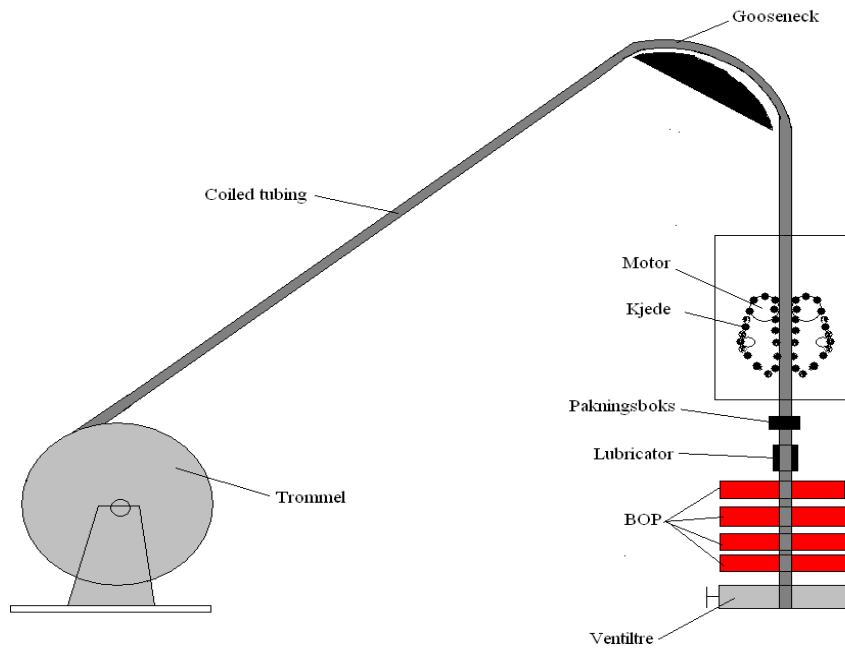
Kveilerør-metoden er mye lik Slickline-metoden. Fordelene med kveilerør er at dette som navnet tilsier er et hult rør. I røret kan det da pumpes hydraulikkveske for å få en hydraulisk kraftoverføring, en kan føre en elektrisk leder gjennom røret for å få elektrisk kraftoverføring eller en kan føre kjemikalier ned i brønnen. Røret har en stivhet som gjør at en kan påføre trykkraft og et torsjonsmoment. Og ettersom røret kan være mye tykkere enn kabelen i slickline metoden, har det fordelen av at metoden kan brukes i avviksbrønner. Typisk diameter på røret er 1" - 3,25" (2,54 cm – 8,255 cm). En ulempe med denne metoden, er at den krever mer dekkplass enn wirelining, fordi selve trommelen og oppriggingen må være større. (Figur 4: Coiled tubing) Metoden kan brukes sammen med en mengde verktøy. Disse kan variere fra en enkel dyse for injeksjon av kjemikalier til en serie av avansert loggeutstyr.

Arbeidsoppgaver kan med kveilerør være:

- Sirkulasjon i brønnen eller "deliquification", Deliquification står for fjerning av oppsamlede vannmengder og kondensater i produserende gassbrønner. Når gassen har en viss hastighet vil den føre med seg disse væskene finfordelt i gassen. Mens når hastigheten blir for lav vil ikke væskene følge med opp til overflaten lenger. Da kan det etableres f. eks et kveilerør og fjerne væskemengden ved hjelp av hydrauliske eller elektriske pumper nede ved ansamlingen. Nitrogen kan også sendes ned med høyt trykk for å sirkulere ut uønskede væskemengder. Prinsippet kan også brukes i slutten på produksjonsfasen ved oljebrønner da trykket ikke er tilstrekkelig til å frakte oljen opp til overflaten lenger.
- Operasjoner som sementering og kjemisk vasking kan utføres gjennom dette røret for å sikre at ikke annet utstyr enn det som er ønskelig blir eksponert, istedenfor å pumpe alt ned fra overflaten kan det føres i rør forbi f. eks DHSV for å unngå skade på denne.
- Et forholdsvis nytt bruksområde er å bruke kveilerør istedenfor den konvensjonelle borestrengen. Fordelene er at kveilerøret ikke må skrus sammen og demonteres for hver gang det skal føres opp og ned, men bare rulles inn eller ut på trommelen.

Istedenfor at borekronen roteres fra overflaten blir det plassert motorer nede på selve røret som bruker borevæsken til å drive denne.

- Ved operasjoner som logging og perforering er det kun i enkelte tilfeller at kveilerør blir brukt. Det kan være at kveilerøret er påkrevd i forbindelse med en annen operasjon, eller spesielle omstendigheter rundt brønntilstanden som gjør at andre "enklere" metoder ikke kan tas i bruk.



Figur 3: Prinsippskisse av "Coiled tubing"



Figur 4: Coiled tubing [5]

2.1.4 "Snubbing" [6]

Snubbing er en hydraulisk intervensjonsmetode som ofte gjøres mens brønnen er trykksatt. Røret som brukes er stivere enn røret som brukes i kveilerør metoden.. Røret har mye til felles med borestrengen og består av rørlengder på typisk 10 m som skjøtes sammen til et langt rør. I skjøtene mellom rørene vil det være en større diameter som kompliserer metoden på grunn av trykkontrollen som må opprettholdes. Når røret beveges ned og opp "sluses" koblingene inn gjennom to sett med "Stripping Rams". Snubbing brukes helst når det settes så høye krav til styrke og holdbarhet at de andre nevnte metodene ikke kan brukes, både på grunn av den store konstruksjonen som kreves og den komplekse metoden for trykkontroll.

2.1.5 Brønntraktor [7]

Brønntraktor er designet for å begrense ulempen til wireline operasjoner da de er avhengig av tyngdekraften. Ved avviksbrønner og horisontale brønner benyttes brønntraktoren til å dra med seg linen der den ellers ikke kunne ha blitt brukt. Elektrisk kraft kan føres gjennom en braided line og traktoren bruker hjul for å dra seg gjennom. Teknologien har vært tilgjengelig lenge og er svært kostnadseffektivt i forhold til å mobilisere kveilerør eller andre teknikker. Altså kan det benyttes wireline selv i brønner med horisontale strekk.

2.2 Arbeidsoperasjoner og utstyr

2.2.1 Loggeoperasjoner og utstyr

Det er veldig viktig å ”forstå” et reservoar, jo mer en vet om et reservoar jo bedre kan en forutsi levetid, produksjonsrate og produksjonstrykk, så vel som fremtidig produksjonsrate og produksjonstrykk. Viktigheten i logging ligger i at dersom en tidlig i produksjonsfasen kan sette opp en plan for hva som skal skje i fremtiden, vil en ha de økonomiske planene klare før en foretar seg noe, dette gjør at det er mindre sannsynlighet for ”overraskelser”. En kan f. eks finne ut om en i fremtiden trenger å injisere vann for å opprettholde trykket i brønnen.

Det er også viktig å undersøke og analysere gamle brønner for å finne ut om det er uoppdagede reserver som kan gjøre det økonomisk lønnsomt å produsere fra brønnen. For å finne informasjon om trykk, strømningsrate, bergart og fluid i brønner brukes en rekke ”loggeutstyr”. Under kommer en oversikt over en del av utstyret som er på markedet i dag.

De fleste av dagens loggeverktøy kan med små modifikasjoner kobles til og føres ned i brønnen på flere måter, f.eks med borestrengen, med kveilerør og med wireline-traktorer.

Aktuelle loggeoperasjoner:

- Trykk
- Temperatur
- Strømningsrate
- Inspeksjon og analyse av ”casing”-tilstand
- Analyser av sement bak ”casing”
- Analyse av borehull
- Geologi og formasjonsanalyser
- Porøsitetsanalyse
- Hydrokarbonleting
- Fluidanalyser
- Analyse av ”Flowline”
- Lokalisering av fastkjørt eller mistet utstyr
- Logge sandproduksjon
- Lekkasje undersøkelser

Under kommer en liste med eksempler på verktøy som kan brukes til de forskjellige operasjonene.

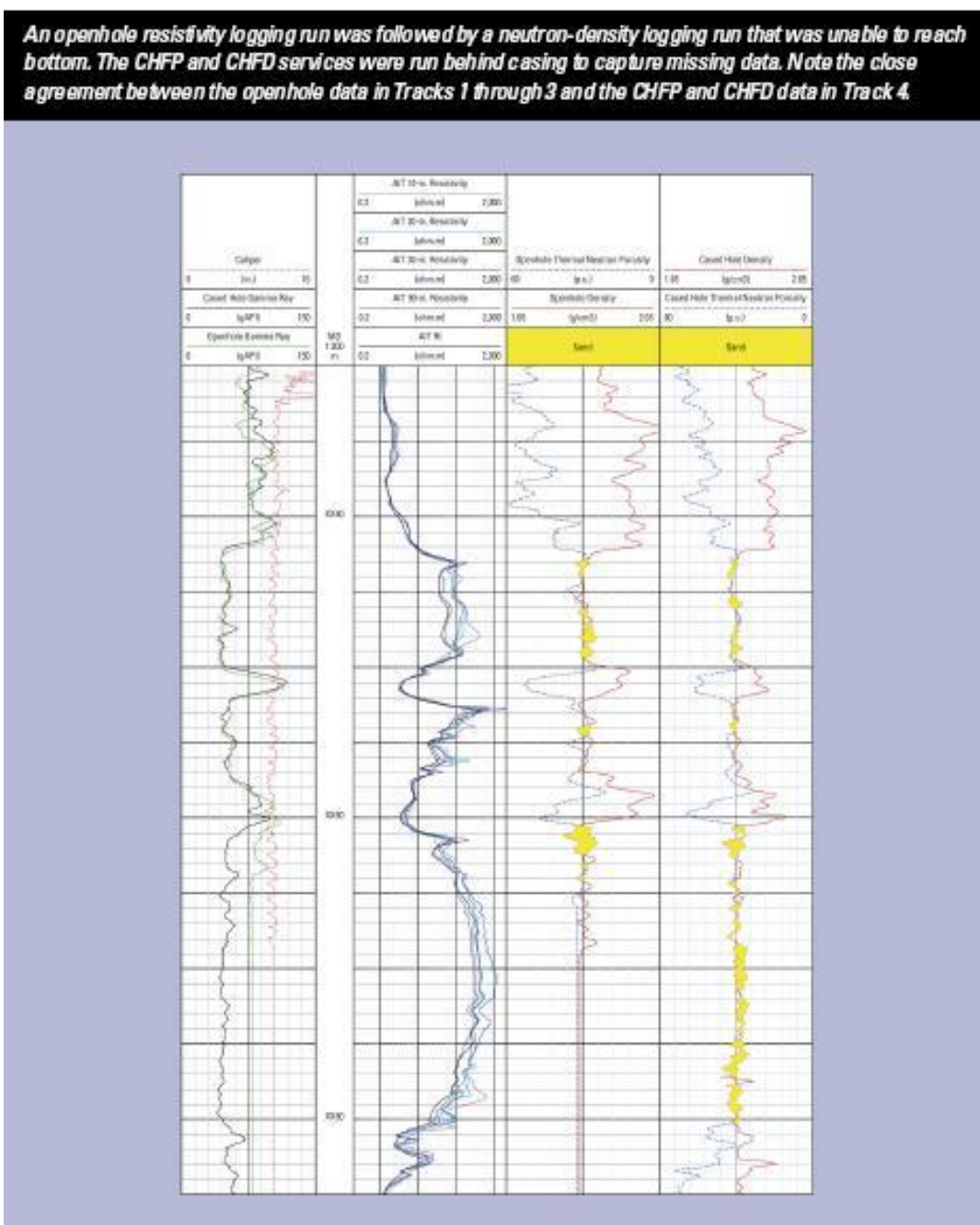
”Analysis Behind Casing”(ABC) [8]

Produksjonslogging, sement og korrosjonsanalyser, og atommålinger utført etter at casing er satt øker stadig for å identifisere problemer og overvåke brønnprestasjonen. ABC-analyser lar deg ”logge” brønnen selv om casingen er satt. En annen fordel med denne metoden er at en da kan logge gamle brønner. ABC-analyser er ikke en operasjon men en samling av operasjoner.

“Cased Hole Formation Porosity” (CHFP) [9]

Metoden brukes for å finne porøsiteten i reservoaret når casing er satt. Metoden er basert på en elektrisk nøytron kilde som bombarderer formasjonen med raske nøytroner. Nøytronene blir bremsed ned i ulik grad av ulike medier, hovedsaklig hydrogen atomer. Nøytronene som kommer tilbake til verktøyet på grunn av refleksjoner blir registrert, og den kinetiske energien kan måles. Ut av dette kan en finne ut hvilke medier nøytronene har beveget seg i og blitt bremsed av. (Figur 5: Resultater fra CHFD)

Fordelene med en slik logging kan være å opprette informasjon om porøsiteten i gamle brønner som en ikke har slik informasjon fra og finne gass bak casing. Videre kan en utføre metoden fra en båt og utstyret som brukes tar ikke mye deksareal som gjør at den er forholdsvis billig.

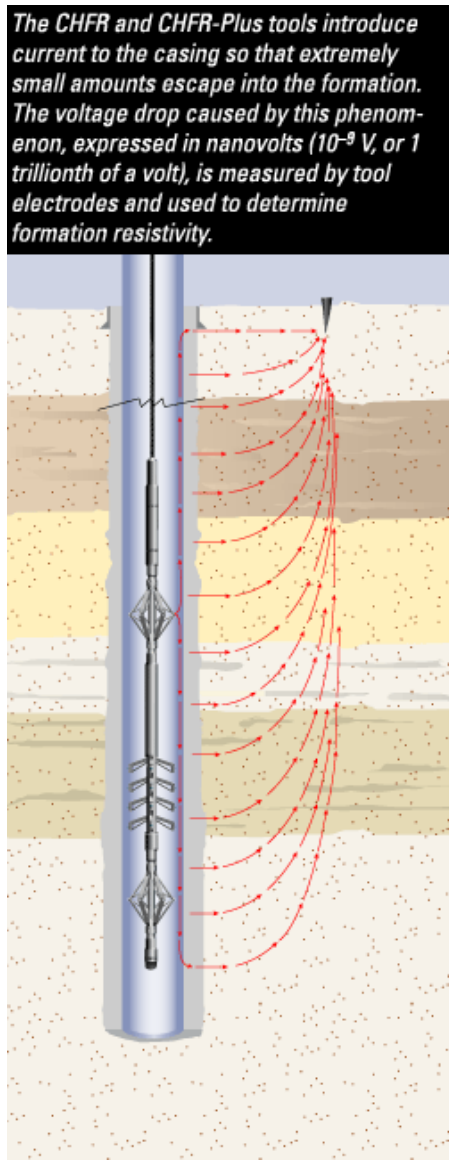


Figur 5: Resultater fra CHFD [9]

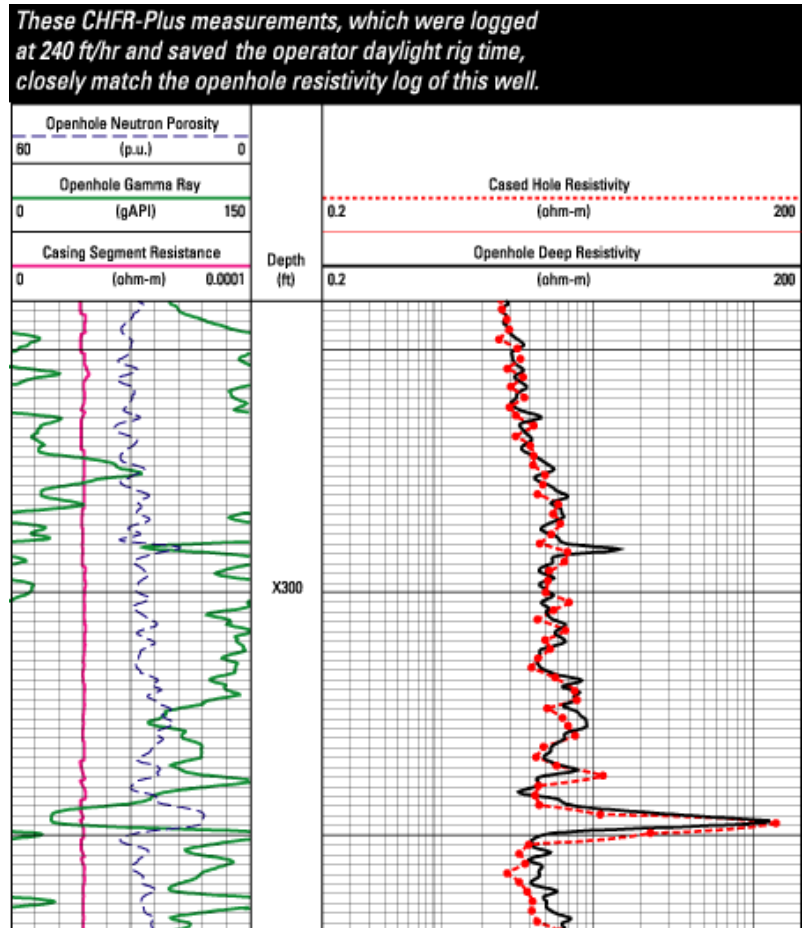
“Cased Hole Formation Resistivity” (CHFR) [10]

Dette er en metode som brukes for å finne uopptagede hydrokarboner i reservoaret. Metoden fungerer slik at det blir satt en spenning på ”casingen”. Det som skjer da er at det unnslipper små mengder elektroner hvor det er fjell utenfor ”casingen”, mens har du hydrokarboner som er strømlerende, forsvinner store deler av elektronene i strømmen ut i reservoaret, (Figur 6) dette kan da måles og registreres. (Figur 7)

Fordelene med å gjøre dette er å få økt produksjonsrate og levetid som igjen fører til god økonomi.



Figur 6: CHFR nede i en brønn [10]

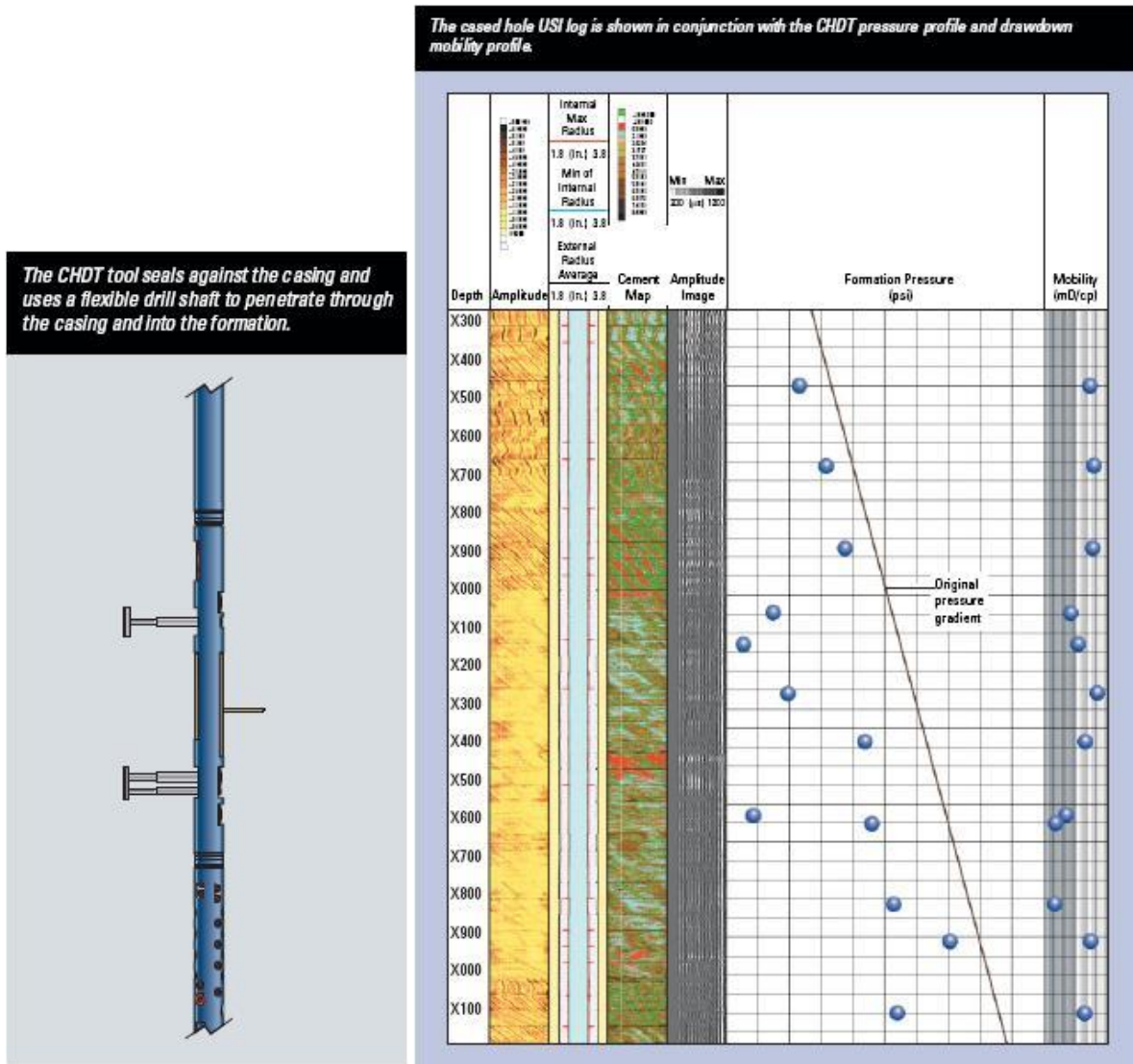


Figur 7: Resultater fra CHFR [10]

“Cased Hole Dynamics Tester” (CHDT) [11]

CHDT er et verktøy (Figur 8) som borer hull i casingen, måler trykket i punktet, tar en fluidprøve og tetter hullet igjen. Dette gjør en flere steder nedover i brønnen for å måle trykket i ulike soner og for å finne nye forekomster av hydrokarboner.

Fordeler med metoden er at en får sikrere tilgang til H₂S områder med høyt trykk, unngår vanskelige åpne hull forhold, unngår mange perforeringer og får tettet casingen igjen.



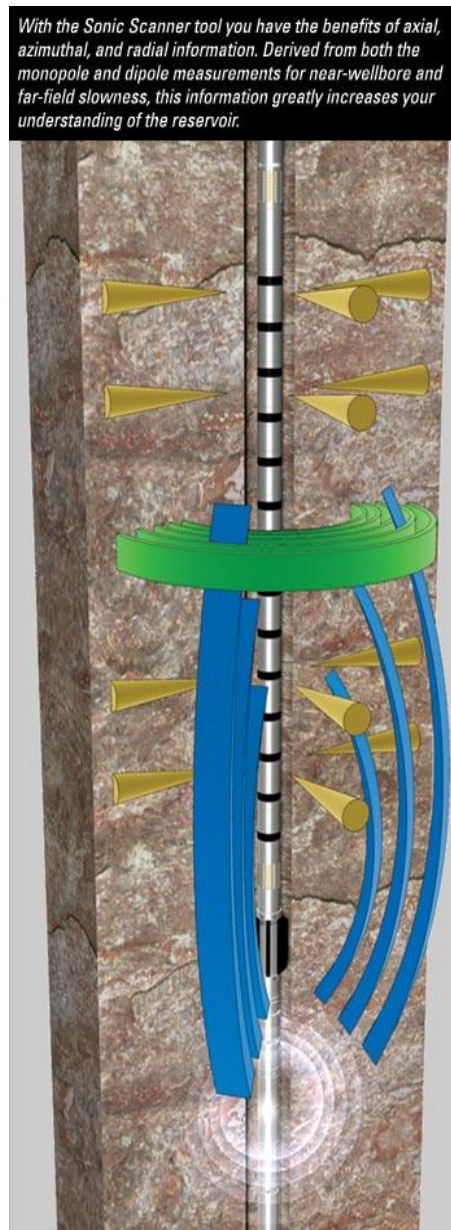
Figur 8: Her vises de ulike trykkmålingene gjort av CHDT nedover i brønnen [11]

"Sonic Scanner"(SS) [12]

SS (Figur 9) er et verktøy som bruker akustikken til forskjellige medium i berggrunnen for å avgjøre hvor en har hydrokarboner, vann og ulike bergarter. Ulike medium har ulike egenfrekvens, noe som gjør at en ved hjelp av dette verktøyet kan sende en akustisk puls med frekvenser i lyd-området ut i berggrunnen, og deretter registrere ekkot av frekvensen fra de ulike mediene.

Verktøyet består av 4 seksjoner:

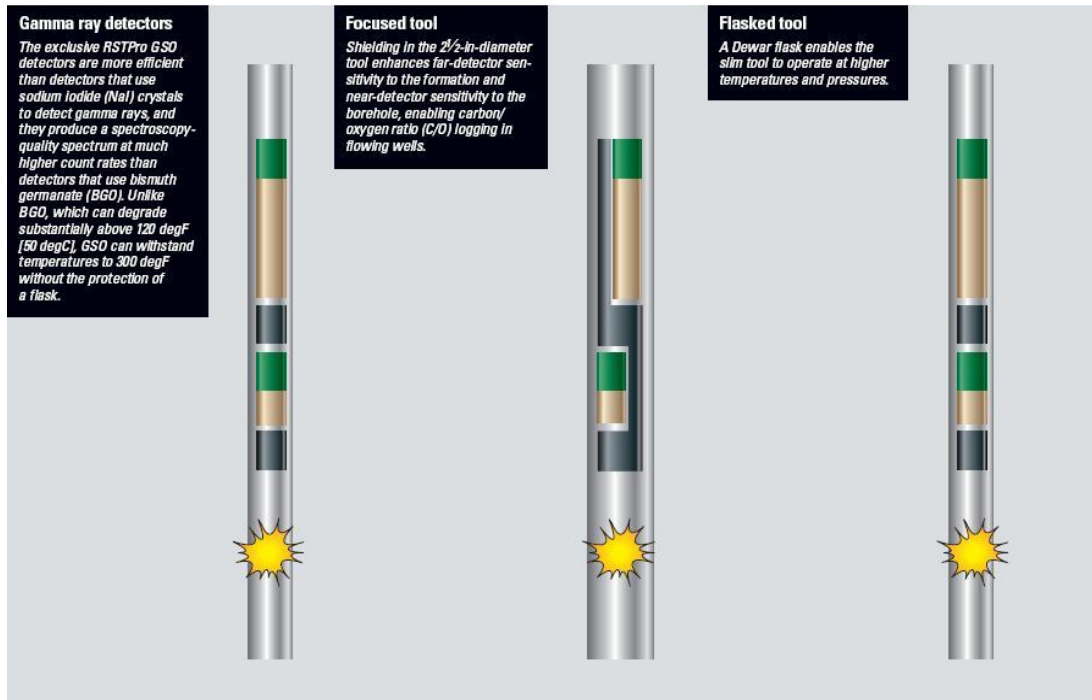
- Akustikkdel, hvor den akustiske impulsen blir laget
- Mottakerdel, hvor ekkot blir registrert
- Transmitterdel, som sender den akustiske impulsen ut i berggrunnen
- Isolasjonsdel, som er plassert mellom transmitter og mottaker for å unngå "støy" gjennom selve verktøyet



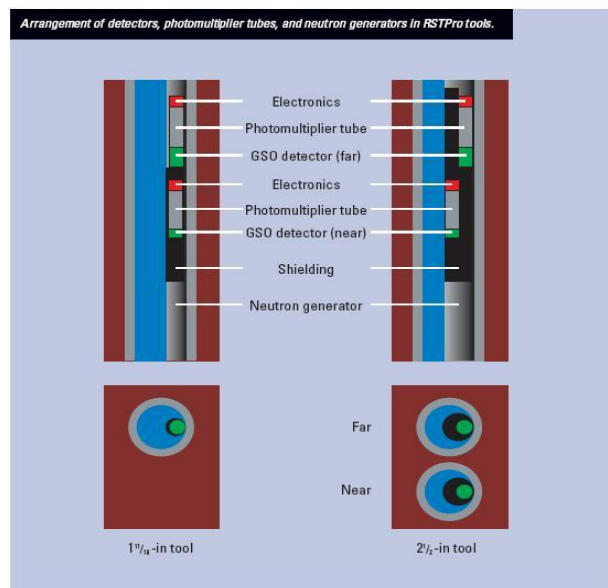
Figur 9: "Sonic scanner" samler informasjon fra flere akser for bedre forståelse av reservoaret [12]

”Reservoir Saturation Tool”(RST) [13]

RSTPro verktøyet (Figur 11) bruker pulserende nøytron teknikker (Figur 10) til å bestemme reservoar gjennomstrømning, berggrunnsspesifikasjoner, porøsitet og væskeprøver fra reservoaret. Fordeler med dette verktøyet er at det kan brukes uten å dra tubing og uten å drepe brønnen. Det medfører at en kan logge fra produserende brønner i tillegg til å få full formasjons evaluering etter komplettering av brønnen.



Figur 10: Ulike konfigurasjoner av verktøyet benyttes for ulike brønntilstander og for måling av forskjellige parametre [13]



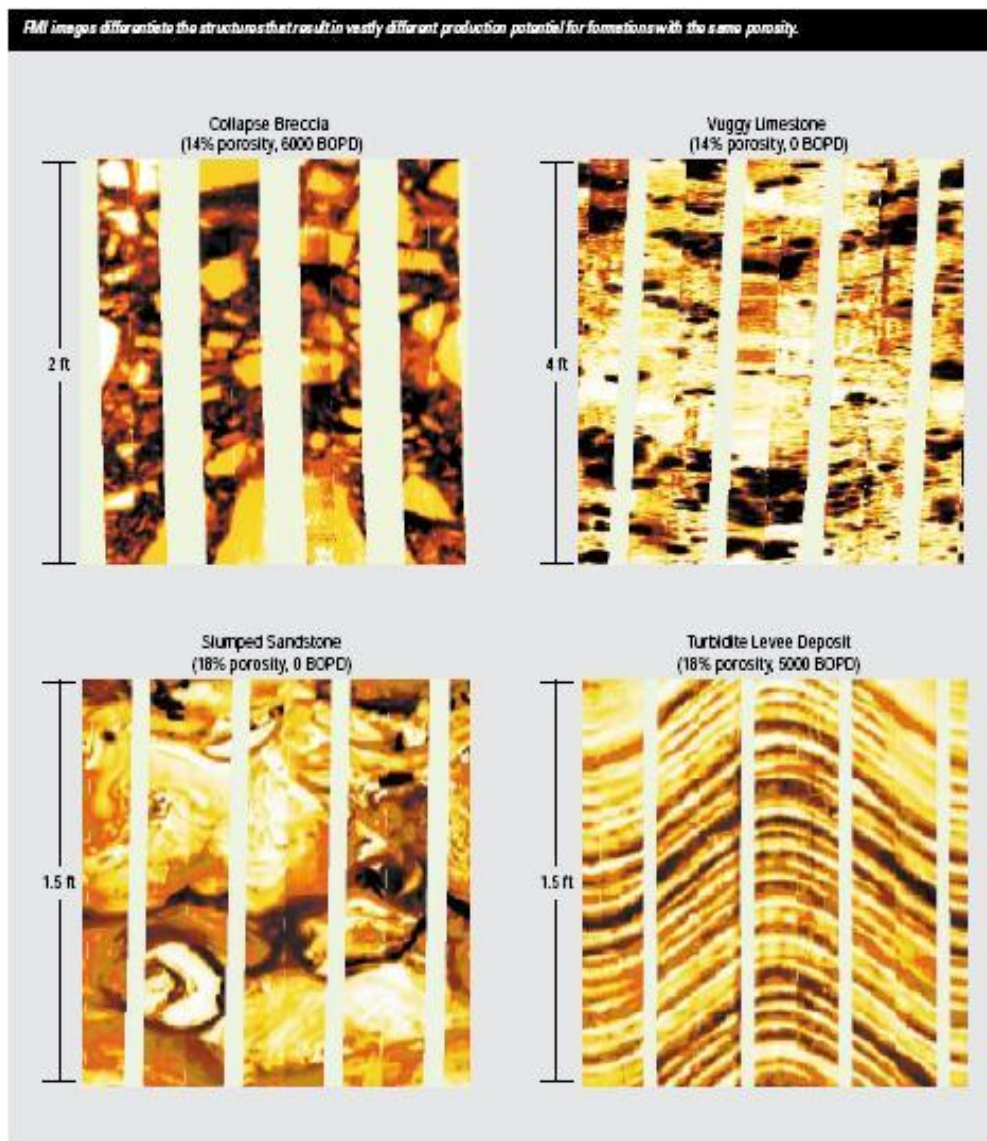
Figur 11: Oppbygningen til verktøyet [13]

Geologi [14]

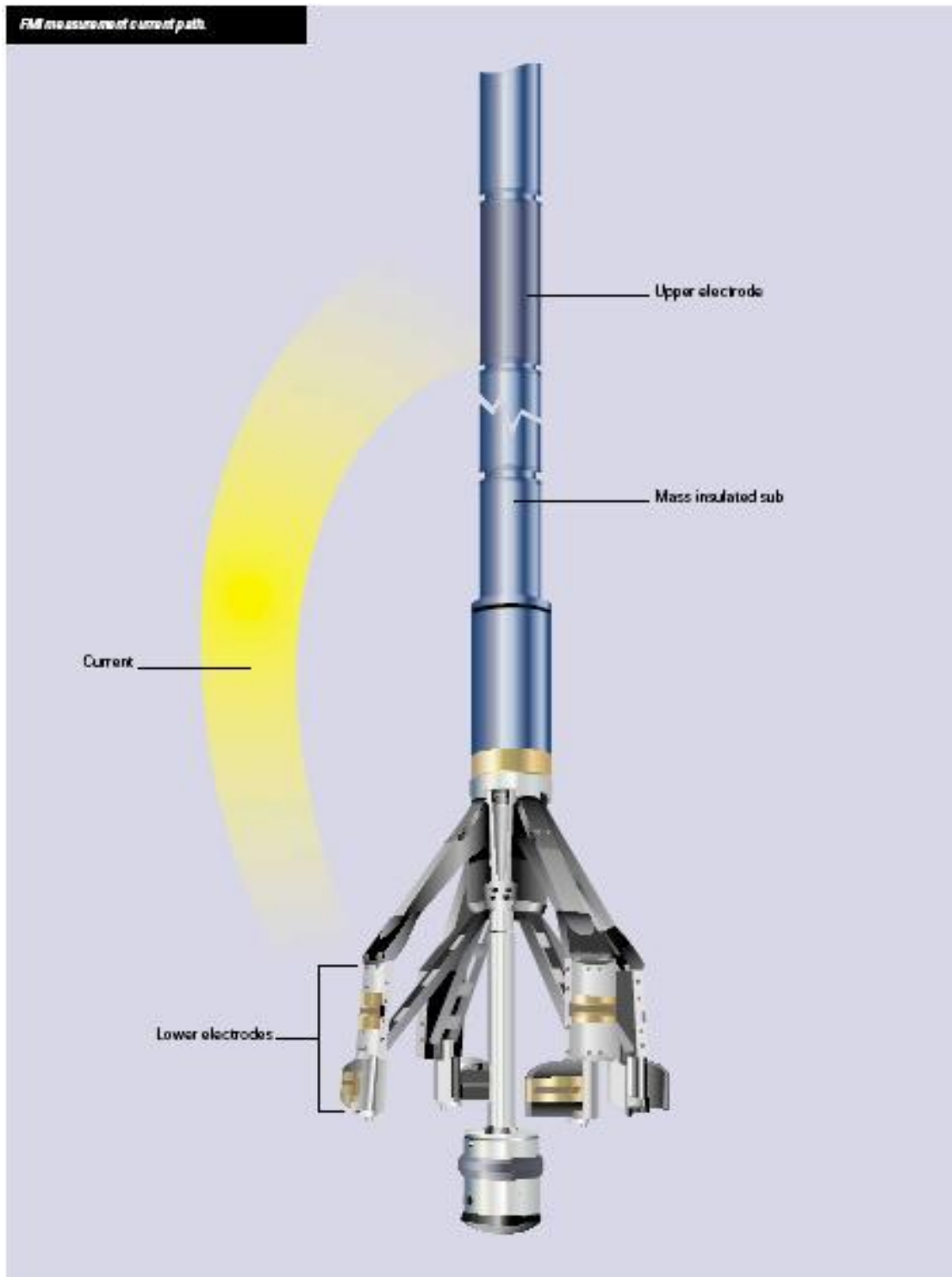
Borehull bilder er en foretrukket metode for å avgjøre nettoinntekt fra reservoaret. En oversikt over sedimentære funksjoner i reservoaret gir muligheten for å definere hvordan reservoaret ser ut og fungerer. Ved å tolke bilder av borehullet kan informasjonen om de sedimentære strukturene som er tilstede hentes ut.

"Fullbore Formation MicroImager"(FMI) [15]

Dette verktøyet (Figur 13) genererer et elektrisk bilde (Figur 12) av borehullet fra 192 micromotstands-målinger. Spesielle frekvenser sikrer at målestrømmene blir tvunget inn i formasjonen. Dybden til målingene er om lag 30 tommer. Geologisk informasjon fra Fullbore Formation MicroImager(FMI) blir brukt til å lage stokastiske modeller (modeller som tar hensyn til tilfeldigheter) av sand-skifer oppbygningen.



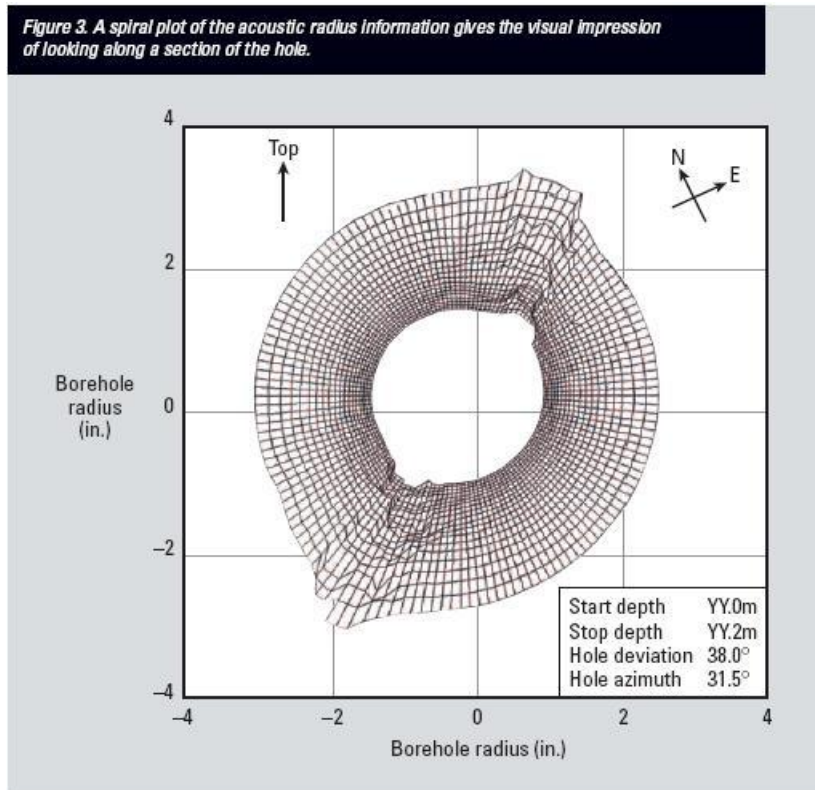
Figur 12: FMI avbilder strukturen og kan gi viktig informasjon om produksjonsmulighetene til ulike formasjoner med samme porøsitet [15]



Figur 13: Her vises de ulike komponentene i FMI verktøyet og strømretning [15]

”Ultrasonic Borehole Imager”(UBI) [16]

Metoden er basert på ultralyd. UBI (Figur 15) gjør analyser av oppsprekninger, spenninger og stabiliteten i borehull, og gir strukturelle tolkninger (Figur 14) som er upåvirket av typen mud.



Figur 14: Her vises informasjonen som UBI verktøyet samler inn på en oversiktlig måte, der en kan se på en seksjon av røret [16]

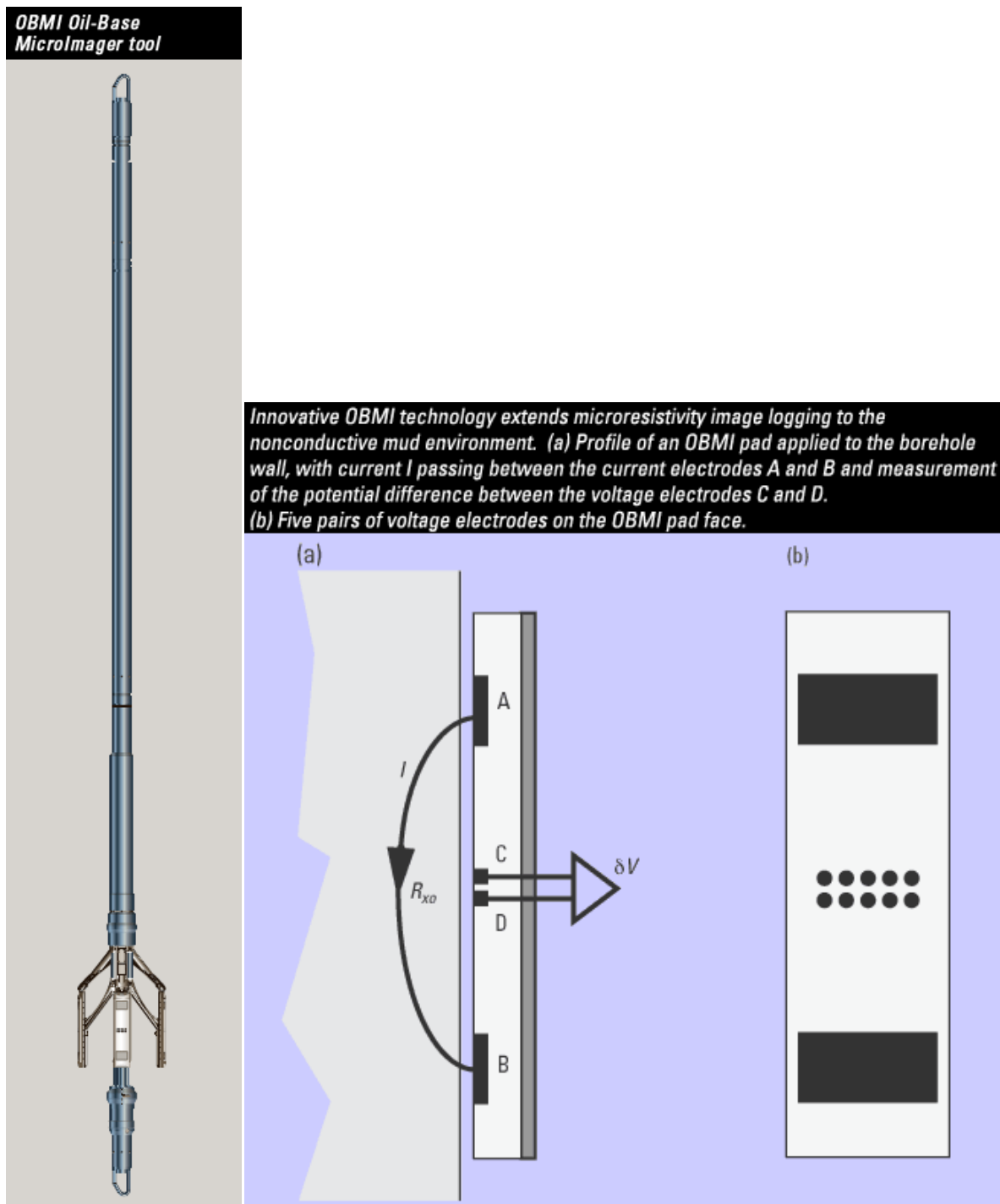


Figur 15: Verktøyet er tilgjengelig i flere størrelser for å sikre best mulig funksjonalitet [16]

”Oil-Base MicroImager”(OBMI) [17]

Den utbredte bruken av olje- og syntetisk basert mud fører til mange utfordringer innenfor ”Imaging”. En tynn film av ikke-konduktiv gjørme vil forhindre konvensjonelle ”Imaging” metoder fra å måle formasjonen.

Løsningen på problemet er å injiserer en vekselstrøm inn i formasjonen fra en elektrode i hver ende av loggeputen som står mot borehullsveggen. Elektronikken inni OBMI-verktøyet (Figur 16) måler ved hjelp av 5 par elektroder midt på loggeputen, potensialforskjellen i strømmen som er injisert inn i formasjonen.



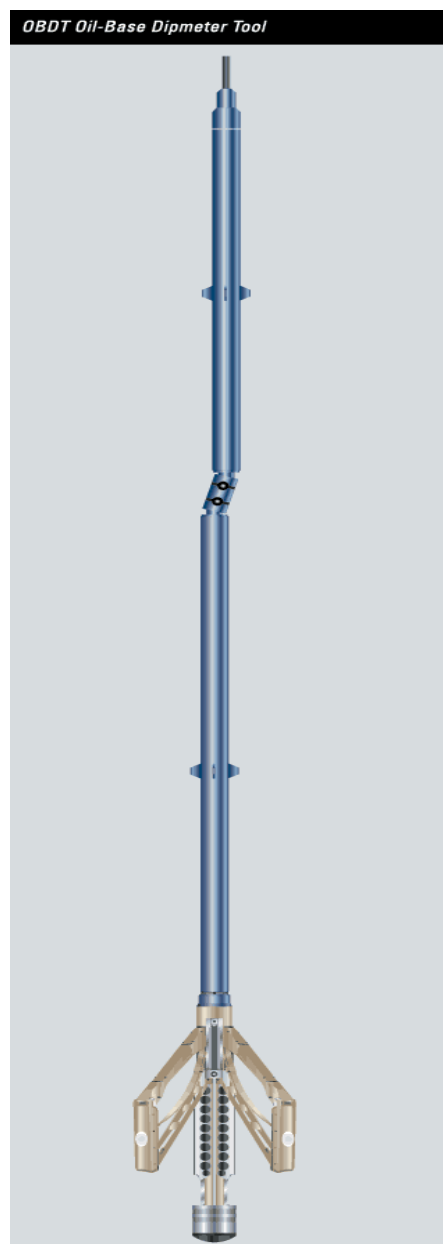
Figur 16: Her ser vi hvordan strømmen går fra elektrodene A til B, mens C og D beregner potensialdifferansen [17]

“Oil-Base Dipmeter Tool”(OBDT) [18]

Metoden brukes for å finne uopdagede hydrokarboner i reservoaret. Den fungerer slik at en setter en spenning på casingen. Det som skjer da er at små mengder av strømmen unnslipper hvor det bare er fjell utenfor casingen, mens har du hydrokarboner utenfor casingen forsvinner store deler av strømmen ut i reservoaret, dette kan da måles og registreres. En ser at denne metoden er helt lik Cased Hole Formation Resistivity (CHFR)- metoden bortsett fra at denne metoden kan brukes i olje- og syntetisk basert mud som ikke er konduktiv.

OBDT (Figur 17) bruker samme teknologi som på Oil-Base MicroImager(OBMI) for å måle variasjon av formasjonens ledningsevne.

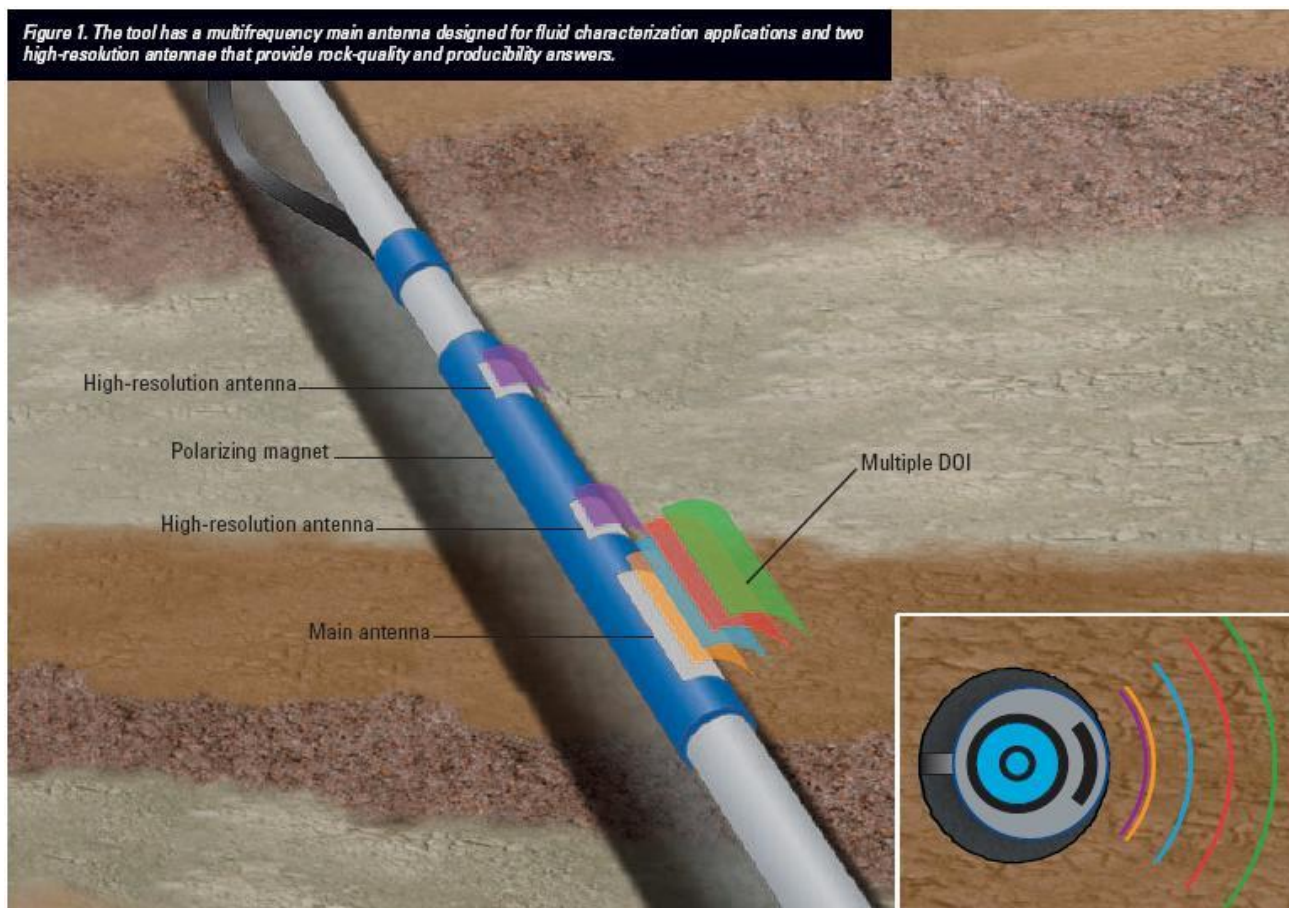
Fordelene med å gjøre dette er å få økt produksjonsrate og levetid som igjen fører til god økonomi.



Figur 17: Her vises OBDT verktøyet [18]

"MR Scanner" [19]

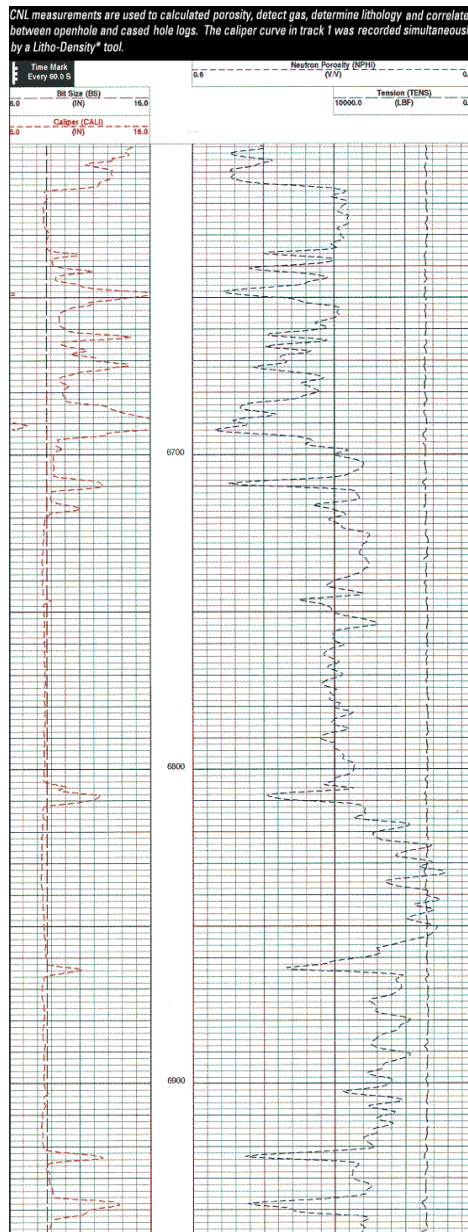
MR skanneren (Figur 18) bruker magnetisk resonans for å avgjøre hvilke væsker som befinner seg i de ulike sjiktene i brønnen. I denne metoden benyttes de ulike væskenes egenfrekvens, for å gjøre dette kan en ha en stor elektrisk magnet med varierende frekvens nede i brønnen, som en da øker frekvensen på fra 0 og oppover. Antennene på MR Scanneren registrerer da store utslag når den økende frekvensen fra magneten passerer resonansområdet til væsken i det gitte området.



Figur 18: MR Scanner har flere antenner for å samle inn informasjon om flere parametre. Som hvilke fluider som befinner seg i reservoaret, kvaliteten til bergarten og produksjonsmuligheter. [19]

"Compensated Neutron Log"(CNL) [20]

CNL verktøyet inneholder en radioaktiv kilde som bombarderer formasjonen med raske nøytroner. Nøytronene blir bremsed ned i ulik grad av ulike medier, hovedsakelig hydrogen atomer. Nøytronene som da kommer tilbake til verktøyet på grunn av refleksjoner kan en da registrere og måle den kinetiske energien på (Figur 19), og finne ut hvilke medier nøytronene har beveget seg i og blitt bremsed av.



Figur 19: Her ser vi målingene som brukes til å beregne flere reservoaregenskaper [20]

"Litho Density Tool"(LDT) [21]

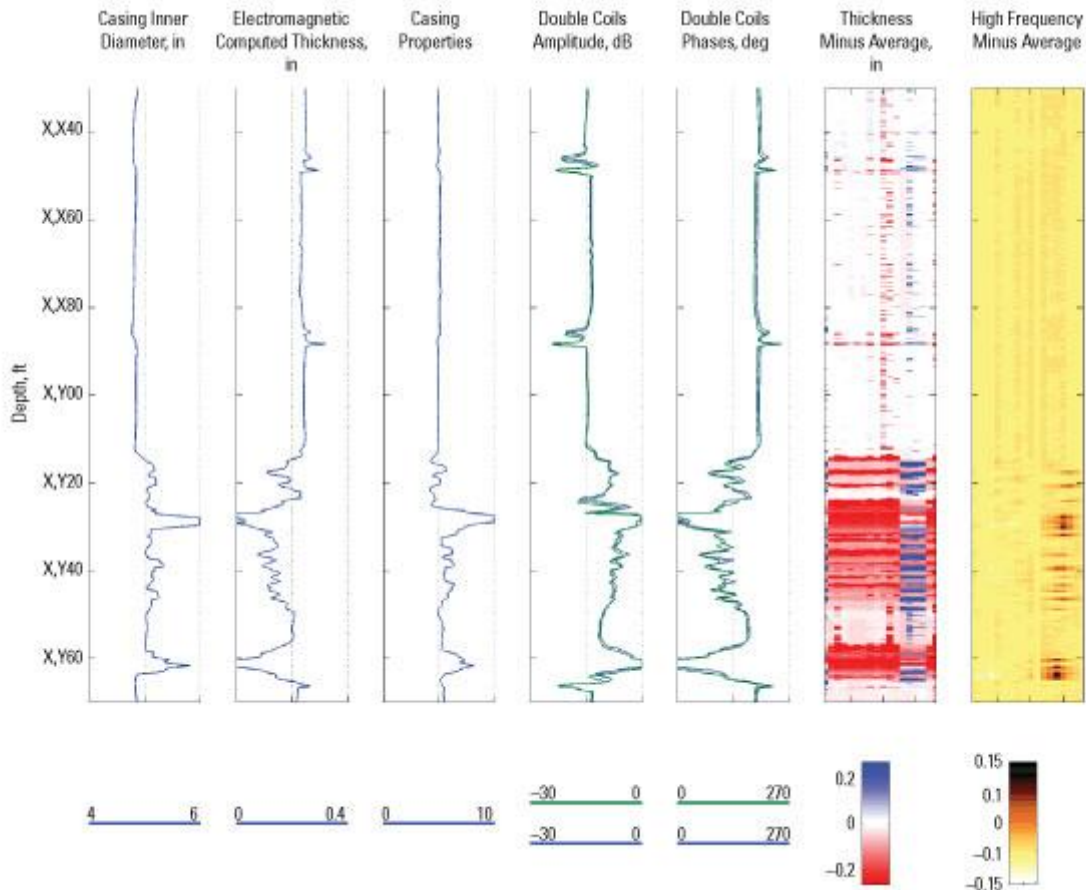
LDT verktøyet (Figur 20) inneholder en Cesium (Cs^{137}) gammastråle kilde og to scintillasjons detektorer. Scintillasjon er en egenskap som gjør at enkelte stoffer lyser opp når de blir truffet av radioaktiv stråling. De reflekterte gammastrålenes energi kan måles ved hjelp av å måle mengden lys fra scintillasjons detektorene. Metoden kan brukes til å identifisere et fluid eller til formasjonsanalyser.



Figur 20: Her vises lengden og de ulike komponentene i verktøyet [21]

”EM Pipe Scanner” [22]

Elektromagnetisk casing inspeksjonsverktøy som brukes til skanning av den indre overflaten og tykkelsen på casingen. Verktøyet gjør det mulig å måle korrosjon og identifisere skader (Figur 21) uten å trekke tubing, dette sparer betydelig tid og kostnader.

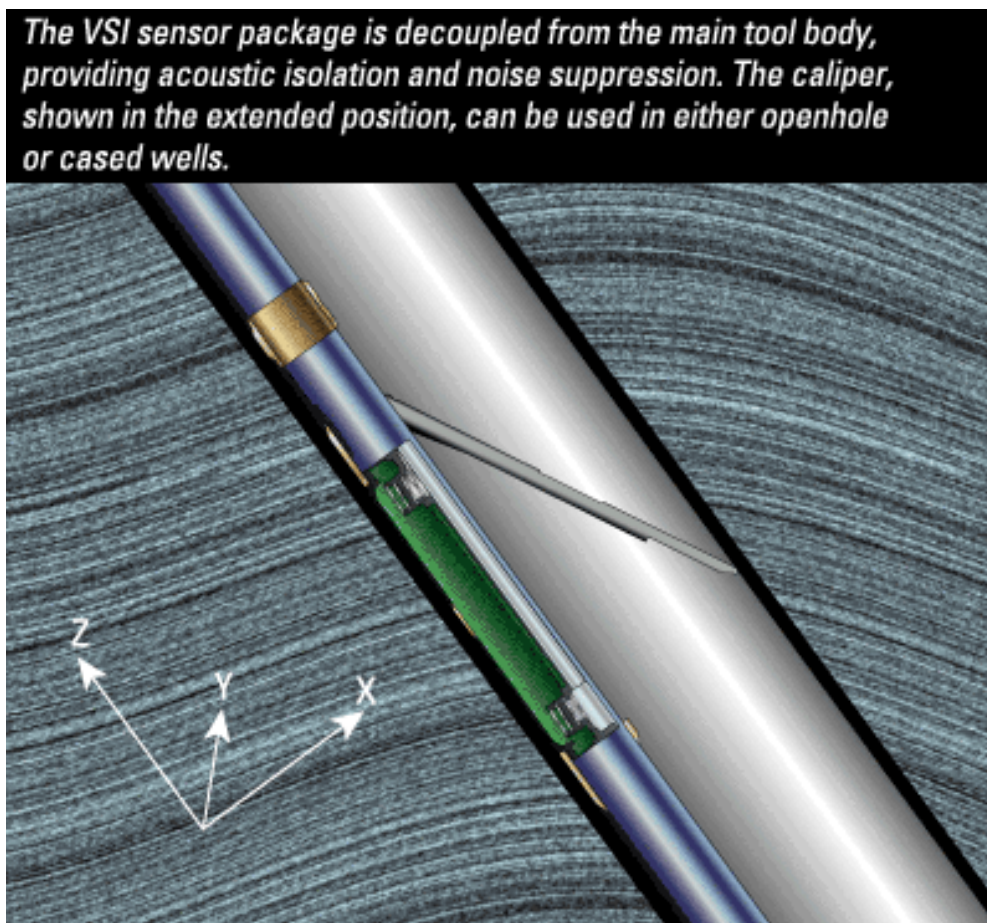


Figur 21: Verktøyet viser tydelig skade på casing fra dybden X,Y16 til omtrent X,Y63. Her ser vi også hvor perforeringene går ut i reservoaret [22]

"Versatile Seismic Imager" (VSI) [23]

Metoden går ut på at man sender en trykkbølge (fra en luftkanon, dynamitt eller en stor vibrator) ut i reservoaret fra brønnen, deler av denne trykkbølgen blir etter kort tid reflektert når den kommer til en geologisk grense. Hvor lang tid signalet bruker ut og tilbake sier noe om hvor langt ut/ned i reservoaret den geologiske grensen er. Med moderne teknologi kan man lage enorme tredimensjonale kart over undergrunnen.

VSI (Figur 22) kan bli brukt i en rekke kombinasjoner med andre verktøy for å tilpasse verktøyet eller forbedre egenskapene. Blant annet kan VSI bli brukt i en kombinasjon med et gammastrålings verktøy for korrekte posisjonsmålinger.



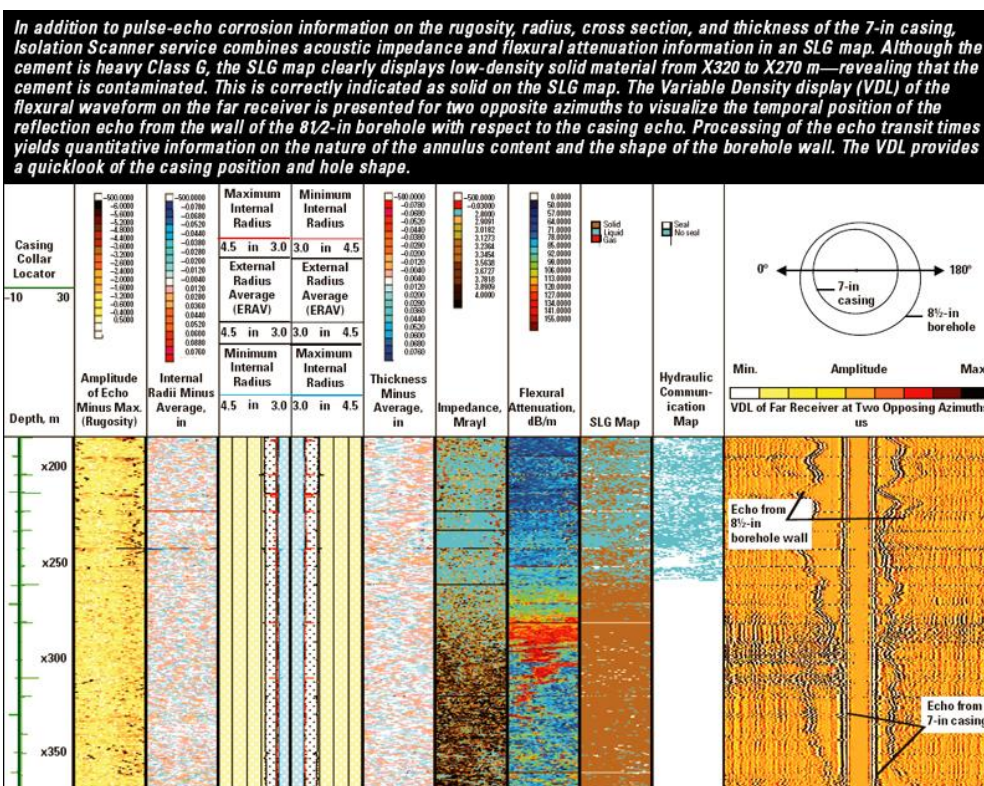
Figur 22: Her ser vi hvordan sensoren kobles ifra selve kroppen for å gi bedre isolering fra trykkbølgene [23]

”Isolation Scanner” [24]

Denne metoden brukes til sement evaluering og er en kombinasjon av klassisk puls-ekko teknologi som beskrevet under VSI med en ny ultralyd teknikk (flexural bølge avbildning). Metoden kan avbilde alle typer sement, fra tradisjonell slam og tung sement til den nyeste lette skumbaserte sementen. Isolation Scanner (Figur 23) identifiserer også korrosjon eller bore-indusert slitasje gjennom måling av innvendig diameter og tykkelse (Figur 24) av foringsrøret.



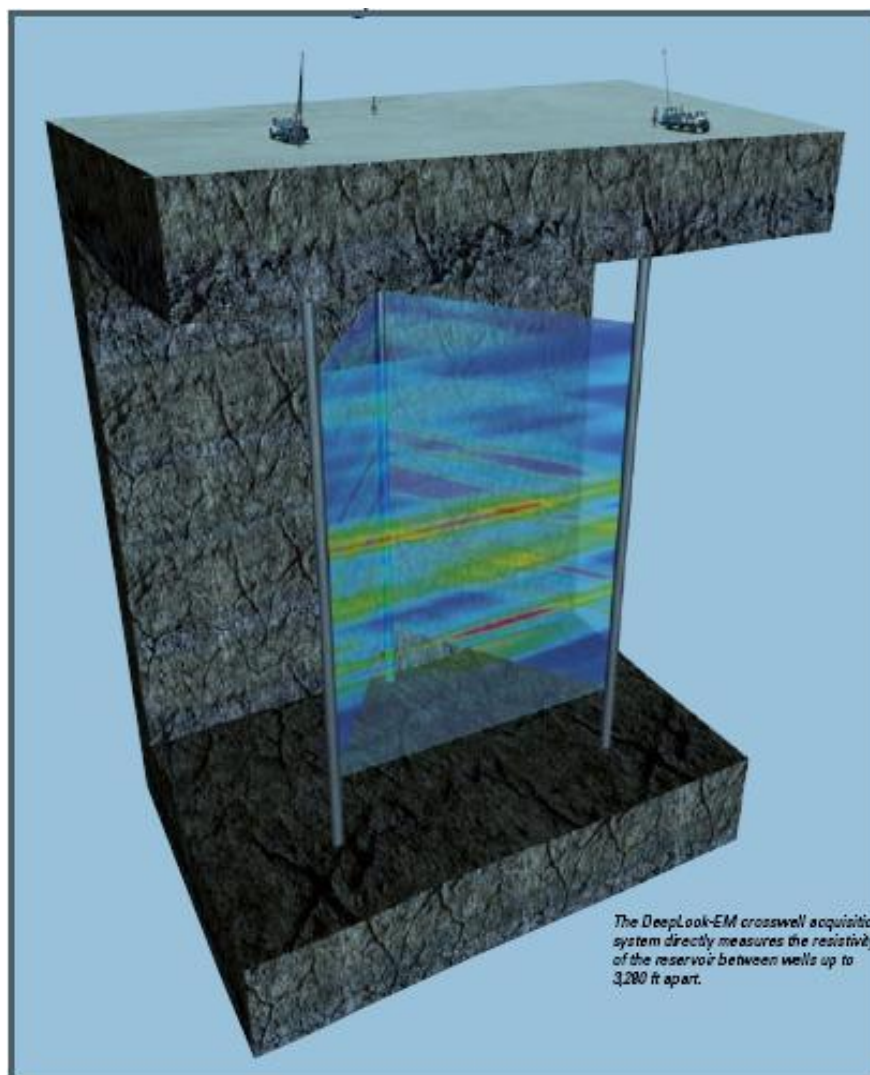
Figur 23: ”Isolation Scanner” verktøystreng [24]



Figur 24: Her vises informasjonen hentet ut fra ”Isolation Scanner” [24]

”Deep Look EM” [25]

Dette er en videreføring av en metode hvor en inducerer et magnetfelt nede i brønnen og måler resistansen magnetfeltet møter i bergartene. De ulike resistansene angir da hvilke ulike medium magnetfeltet beveger seg gjennom, og gir et bilde av hvor en har porøse bergarter som inneholder olje/gass, og hvor en har mer massive bergarter. Tidligere har en hatt transmitter og receiver nede i samme brønn, noe som gjør at undersøkelsesområdet blir begrenset. Prinsippet bak Schlumbergers ”Deep Look EM” går ut på å plassere transmitter og receiver i forskjellige brønner, som igjen fører til at en kan indukere magnetfeltet mellom brønner med en avstand på opptil 1000 m. Dette utvider undersøkelsesområdet (Figur 25) betraktelig. Denne operasjonen må gjennomføres før casing blir satt.



Figur 25: Her vises størrelsesordenen på området ved ”Deep Look EM” [25]

”Well Sand Detector (WSD)” [26]

WSD er et loggeverktøy som er utformet for å finne inngangspunktet for sandproduksjon i brønner med flere produksjonsintervaller (Perforeringer flere steder i brønnen). WSD kan kjøres i alle typer kompletteringer. Verktøyet kan også identifisere sand som blir produsert gjennom ”Sliding sleeves” (For definisjoner se Vedlegg C). Verktøyet fungerer slik at det måler energien generert av et sandkorn når det kolliderer med verktøyets receiver. WSD kan

brukes som en frittstående tjeneste, men verktøyet kan også brukes i kombinasjon med andre loggeverktøy. Det er viktig at brønnen produserer mens loggeoperasjonen blir gjennomført.

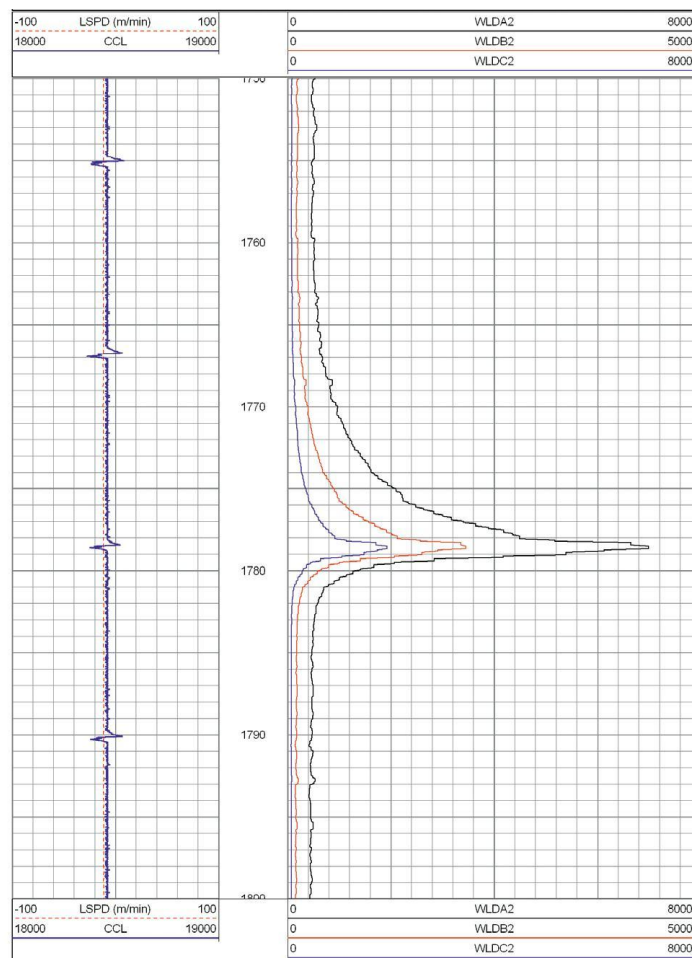
”The Well Leak Detector” (WLD) [27]

Dette er et loggeverktøy som oppdager og lokaliserer lekkasjer i en brønnbane med en dybde nøyaktighet på noen få tommer. Lekkasjer (Figur 26: Viser funn av en lekkasje) så små som 0,02 liter/min kan oppdages for olje, gass, vann eller flerfase. Verktøyet kan også oppdage flere lekkasjer i samme brønnbane.

WLD er i stand til å oppdage eventuelle lekkasjer i:

- Production packer
- Expansion joint, eller andre sammenkoblinger
- Tubingen
- Downhole Safety Valve – DHSV
- Kontrollinjen til DHSV
- Casingen
- Brønnehodet

WLD fungerer slik at den setter opp to barrierer inne i røret og isolerer en del av røret som er under trykk, deretter måles trykkdifferansen inne i den isolerte biten over en tid for å se om trykket synker. Dersom det synker har vi en lekkasje.



Figur 26: Viser funn av en lekkasje [27]

"Platinum Resistance termometer" (PRT) [28]

Dette er et verktøy som måler borehullets fluid temperatur. Det er gunstig å måle temperaturen til fluidet for å finne gasslekkasjer og injeksjons soner. Det er også viktig å vite denne for å finne ut om utstyret som skal ned i brønnen tåler den aktuelle temperaturen. Termometeret (Figur 27) er lite og kompakt og fungerer slik at når en platina tråd blir utsatt for en økende temperatur vil motstanden i tråden også øke. Denne motstanden kan måles og gjøres om til et standardsignal (eks. 4-20 mA).

Platinum Resistance Thermometer Fast Response



Figur 27: "Platinum Resistance Thermometer" [28]

"Quartz Pressure Single Sensor" (QPS) [29]

QPS (Figur 28) brukes til å gi en kontinuerlig trykklogg for borehullet. Quarts krystallens resonansfrekvens er avhengig av trykk. Slik kan en registrere frekvensen til krystallen og dermed måle trykket.

Quartz Pressure Single Sensor



Figur 28: "Quartz Pressure Single Sensor" [29]

"Production Dual Caliper" [30]

Dette er et verktøy som måler den indre diameteren i produksjonsløpet. Verktøyet har armer som sitter 90 ° på hverandre for å måle diameteren i X og Y aksene. Armene er fjærbelastet og følger rørets indre diameter mens det kjøres. Diameteren blir registrert ved at utlegget til armene måles.

"Caged Fullbore Flowmeter" (CFBM) [31]

CFBM (Figur 29) har seks armer som er fjærbelastet. Disse danner et bur som sentrerer en stor impeller som dekker et stort tverrsnitt av røret. Impelleren spinner som følge av fluidstrømmen og en kan registrere turtallet til impelleren og dermed strømningsraten.

Caged Fullbore Flowmeter (6 arm CFBM)



Figur 29: "Caged Fullbore Flowmeter" med 6 armer [31]

" Fluid Density Differential Pressure" (FDD) [32]

Verktøyet (Figur 30) bruker et differensialtrykk som svinger til å utlede den hydrostatiske trykkgradienten som igjen kan måles og fluidet kan identifiseres.

Fluid Density Differential Pressure (FDD)



Figur 30: "Fluid Density Differential Pressure" [32]

"Enhanced Capacitance Water Hold-up Tool" [33]

CWH (Figur 31) måler dielektrisk konstant i fluidet i Borehullet. Ulike fluider har ulike dielektriske konstanter, som medfører at en kan identifisere et fluid ved å måle denne.

Enhanced Capacitance Water Hold-up Tool (CWH)



Figur 31: "Enhanced Capacitance Water Hold-up Tool" [33]

Utrekning av Strekk ^[34]

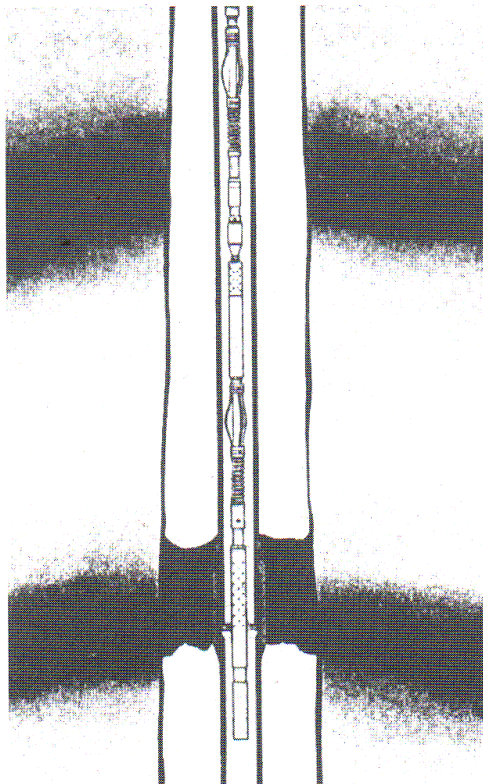
Dette er den eldste og enkleste metoden for å avgjøre hvor en borestreng har kjørt seg fast. Metoden går ut på å måle strekket i strengen over punktet hvor den sitter fast. Utførelsen gjøres på følgende måte;

- Strengen blir løftet med en kraft som tilsvarer vekten av den opprinnelige strengen, når dette er gjort settes et merke i nivå med rotasjonsbordet.
- Deretter løfter en f.eks med 98,1 kN over strengvekta og setter et nytt merke på strengen.
- Til slutt måles distansen mellom merkene. Denne lengden kan da sammen med strekkfastheten til borestrengen, strekk lengden og strekkraften brukes til å regne ut lengden på strengen som er over punktet hvor den sitter fast.

Fripunktsindikatoren

Fripunktsindikatoren (Figur 32) blir kjørt på en loggekabel innvendig i borestrengen. Denne loggeren registrerer molekylære endringer i stålstrukturen til borestrengen. Utførelsen av metoden foregår på følgende måte;

- Loggeren blir kjørt ned og stoppet flere ganger for å måle i fri borestreng.
- Deretter blir strengen strukket og påført et torsjonsmoment før nye målinger blir gjort.
- Resultatet av dette er strukturelle forskjeller som blir registrert.
- Men når loggeren kommer under det punktet hvor strengen sitter fast registreres ikke strukturelle forskjeller på grunn av torsjonsmoment og strekkraft. Denne metoden blir gjerne brukt sammen med annet utstyr, f.eks loggeutstyr som kan registrere formasjonen bak borestrengen og dermed mulig finne årsaken til fastkjøringen.



Figur 7.1 Fripunktsindikator

Figur 32: ^[34]

2.2.2 Mekaniske operasjoner og utstyr

2.2.2.1 Fiskeoperasjoner [35]

Fiskeoperasjoner omfatter alle operasjoner som går ut på å få ut utstyr vi har mistet ned i hullet, eller utstyr som sitter fast nede i hullet. Utstyret som er mistet eller sitter fast nede i hullet kalles gjerne en ”fisk”.

Evalueringsproblemet

Alle fiskejobber er spesielle, og det må tas hensyn til i arbeidet med slike operasjoner. Et godt resultat av en fiskejobb er avhengig av samarbeid og kommunikasjon. Hovedoperasjonene i arbeidet kan settes opp slik:

- Evaluering; Hva sitter fast, og hvordan er brønnforholdene?
- Planlegging av videre handlinger; Her er det viktig å utnytte kunnskapene til det personell som er tilgjengelig.
- Sette opp en liste over flere mulige fremgangsmåter slik at alternativer er mulige dersom en av metodene er mislykket.
- Prioriter utprøvde metoder.

Prosedyrer for å skru seg løs fra en fisk

Når borestrengen setter seg fast er det ønskelig å få opp så mye som mulig av strengen over fastkjøringspunktet for å ta bort belastningene og for å få tilgang med eventuelt fiskeverktøy.

Fisking i åpent hull og i foringsrør

Når vi fisker er det veldig viktig å registrere all relevant informasjon om brønnen og fisken. Informasjonen kan deles inn i:

Brønnndata

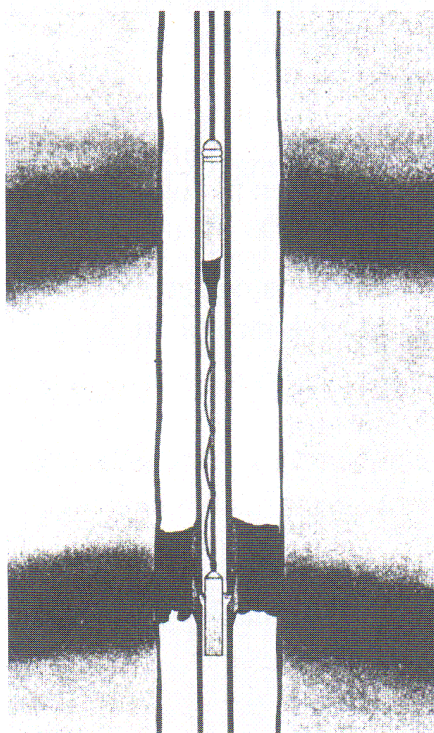
- Foringsrør; ytre diameter, indre diameter, vekt, materialkvalitet, dybder og koblingstype
- Hulldata; diameter, dybde, retning og eventuell informasjon om tapt sirkulasjon, underdimensjonert hull osv.
- Borevæske; vekt, viskositet, filtertap osv.
- Geologi; formasjonstopper, porøse soner, eventuelle forkastelser osv.

Borestrengdata/wiredata

- Borerør/wire; ytre og indre diameter, vekt, materialkvalitet, styrke mhp. strekk, gjengekoblinger og tiltrekkingsmoment.
- Vektrør; ytre og indre diameter, gjengekoblinger, og om det er spiral eller glatt overflate.
- Stabilisatorer; størrelse, type og gjengekoblinger.
- Slagrør; størrelse, type og operasjonsprosedyre.
- Gjengeoverganger; størrelse og gjengekoblinger.
- Borekrone; størrelse og type.
- Komposisjon av borestreng/wire

Strengskudd

Strengskuddet (Figur 33) blir kjørt ned i brønnen med en loggekabel og avfyrt med elektrisk signal fra overflaten. Metoden blir utført ved at strengskuddet blir plassert i den rørskjøten det er ønskelig å skru seg løs fra. Det blir satt på en torsjonskraft mot venstre på strengen og skuddet blir avfyrt. Sjøkket fra skuddet er som regel nok til å løse gjengekoblingen i punktet.



Figur 7.2 Strengskot

Figur 33: [35]

Kontrollert fraskruing

Også i denne metoden brukes strengskudd. Forskjellen fra ”Strengskudd” – metoden er at med denne metoden løfter en i strengen med en kraft tilsvarende vekten av strengen over fastkjøringspunktet. Dette medfører at det lages et nøytralpunkt dvs. ingen strekkraft eller trykkraft. Deretter settes en torsjonskraft på strengen mot venstre og skuddet blir avfyrt. Sjøkket fra eksplosjonen og nøytraliteten i punktet er som regel nok til å løsne gjengekoblingen.

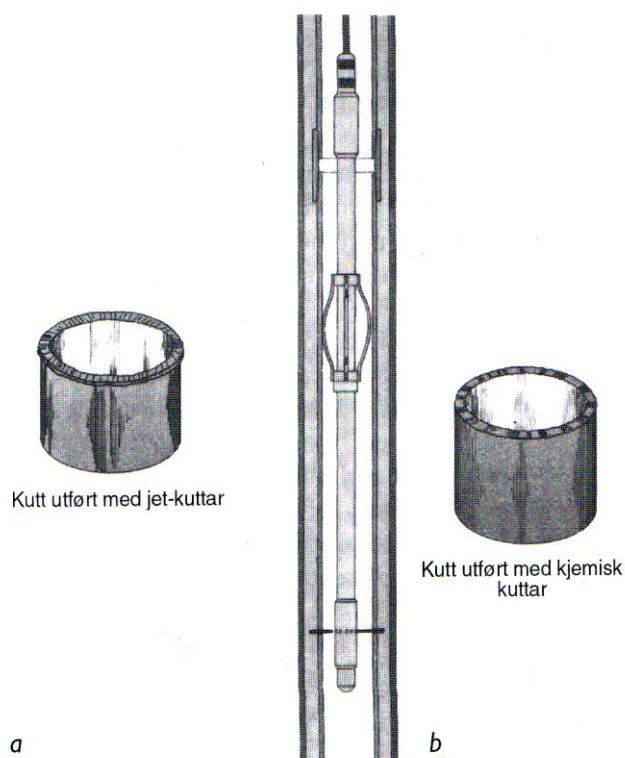
Blind fraskruing (Blind Back-off)

Denne metoden ligner på ”Kontrollert fraskruing” – metoden, forskjellen er at i denne metoden blir ikke strengskudd brukt. Metoden er basert på at alle koblinger er skrudd til med samme moment, og krever dermed samme moment for å løses. Den koblingen som da er nærmest nøytralpunktet dvs. ingen strekkraft eller trykkraft løsner da først når et torsjonsmoment blir satt på strengen.

Kutting

Kutting (Figur 34) er aktuelt når det ikke er mulig å skru seg løs fra en ”fisk” på den dybden som er ønskelig, når et foringsrør er skadet og deler av det må byttes ut eller når en må kutte en fastkjørt kabel. Det fins i prinsippet tre typer kuttere:

- Jetkutter; som kutter med en høyhastighets fluidstråle.
- Kjemisk kutter; som kutter med en sterk syre.
- Maskinell kutter; som bruker kniver/skjær av ulike slag.



Figur 7.3 Jetkuttar (a) og kjemisk kuttar (b)

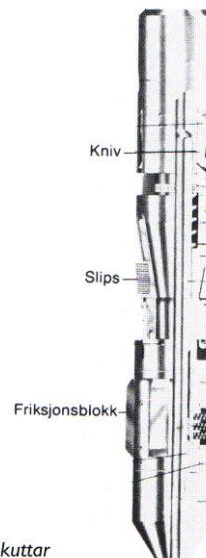
Figur 34: [35]

Hydraulisk innvendig foringsrørkutter

Ved presisjonskutting av foringsrør er en "Hydraulisk foringsrørkutter" å foretrekke. Kutteren blir skrudd på kjørestrengen og kjørt ned til den aktuelle dybden. Der nede blir kutteren forankret til foringsrørveggen ved at en roterer verktøyet samtidig som sirkulasjonen av hydraulisk væske blir startet, det hydrauliske trykket vil da presse ut en kilebelteseksjon som forankrer kutteren. Deretter økes sirkulasjonen av hydraulisk væske videre til en har 10-15 bar trykktap gjennom kutteren. Dette trykket presser knivene ut, og rotasjonen fortsetter med konstant sirkulasjonsrate til forandring i trykket forteller at foringsrøret er kuttet av.

Mekanisk innvendig kutter

Den mekaniske innvendige kutteren (Figur 35) blir brukt til samme operasjoner som den "Hydrauliske foringsrørkutteren". Kutteren blir skrudd på kjørestrengen og kjørt ned til den aktuelle dybden. Der nede blir kutteren forankret til foringsrørveggen ved at en roterer strengen mot høyre for å skru løs en friksjonsdel fra stammen av verktøyet, deretter presser en verktøyet forsiktig ned for at en konformet del skal tvinge kilebeltet ut slik at kutteren blir forankret. Etter dette blir det igjen satt en vekt på strengen som presser knivene ut. Strengen blir så rotert for å kutte røret og forandring i dreiemomentet forteller når røret er kuttet av.

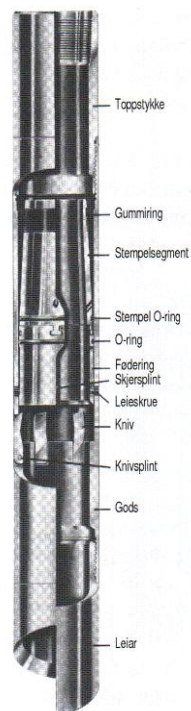


Figur 7.10 Mekanisk innvendig kuttar

Figur 35: [35]

Utvendig kutter

Det er også mange utvendige kuttere på markedet, Figur 36 viser en type utvendig kutter. Før vi kan gå ned med en slik type kutter er det nødvendig å vaske over fisken for å komme til med kutteren. Den utvendige kutteren fungerer på samme måte som de to andre nevnte kutterne, bortsett fra at denne tres utenpå fisken. Ulempen med denne metoden er at det ikke kan kuttes av et lengre stykke rør enn lengden på hulrommet inne i verktøyet. Metoden blir brukt når det ikke er mulig å komme inn i røret.



Figur 7.11 Utvendig kuttar

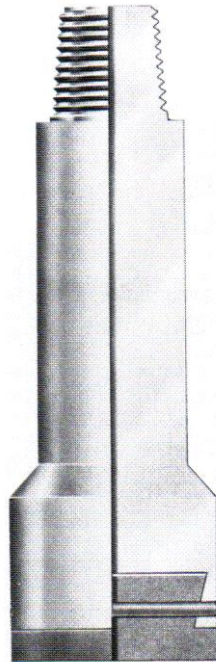
Figur 36: [35]

Toppfiskdata

Når fiskemetode og utstyr skal velges, må en ha best mulig kjennskap til hvordan fisken ser ut. En avtrykksblokk (Figur 37) kan bli brukt for å få et bilde av toppen på fisken.

Avtrykksblokken blir skrudd på borestrengen og senket ned til ca. 2m over fisken. Deretter starter en pumpe som spylers toppen av fisken ren. Når dette er gjort slippes avtrykksblokken raskt ned og lander på fisken med ca. 6,33 Pa. Dette skaper et avtrykk av toppen på fisken som kan analyseres oppe på riggen.

Ofte må toppen av fisken poleres før eventuelt fiskeutstyr kan gjøre jobben.



Figur 7.12 Avtrykksblokk

Figur 37: [35]

Fisking av kabel

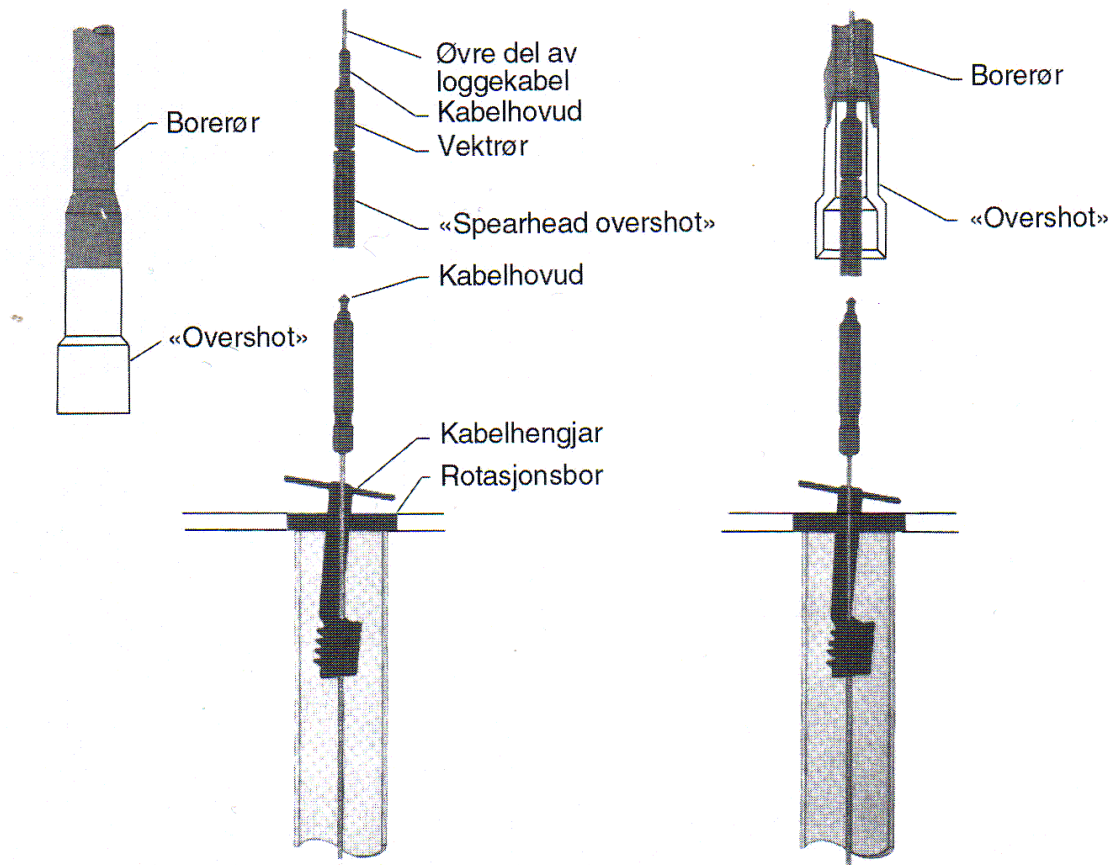
Å fiske kabel/wire er en av de mest kompliserte fiskeoperasjonene i et åpent hull. Det er i prinsippet to typer utstyr som kan brukes;

- Grabb
- Spyd

Begge metodene er utstyrt med mothaker, slik at kabelen hekter seg til fiskeverktøyet når det dras ut. ”Grabben” er mest effektiv når det fiskes etter en tynn kabel.

Fisking av fastkjørt kabel

Hvis loggeutstyr eller annet utstyr som blir kjørt med kabel (wireline) er blitt kjørt fast i et åpent hull og kablen er intakt, kan "kutt og tre"- metoden brukes for å fiske ut utstyret (Figur 38)



Figur 7.4 Fisking av fastkøyrd kabel

Figur 38: [35]

Prosedyren for metoden ser slik ut:

- Strekk kablen forsiktig
- Fest kabelhengeren til kablen rett over rotasjonsbordet og slakk kablen, slik at hengeren hviler på rotasjonsbordet.
- Kutt kablen ca. 1,5m over rotasjonsbordet.
- Fest kabelholderen og hurtigkoblingen ("spear head") til begge kablene.
- Strekk opp kablen for å løfte kabelhengeren fra rotasjonsbordet og plasser en avhengingsplate (C-plate) under hurtigkoblingen
- Fjern kabelhengeren og heng av kablen på C-platen
- Åpne hurtigkoblingen og send den øverste delen opp til tårnmannen på fingerbordet. Sikre kablen.
- Skru på eventuelt fiskeutstyr på borestrengen eller bruk åpne rør ("open ended pipe")
- Senk kablen med den øverste delen av hurtigkoblingen ned igjennom standen (del av borerør) som nå er løftet ut over rotasjonsbordet.
- Koble sammen kablen ved hjelp av hurtigkoblingen og fjern C-platen etter at kablen er strukket opp

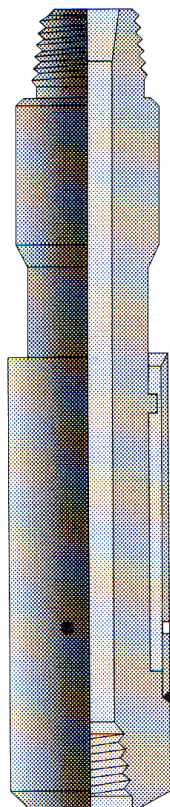
- Kjør første stand borerør ned i hullet og heng av i kilebeltet.
- Installer C-platen på toppen av standet og heng av kabelen i platen.
- Løs ut hurtigkoblingen og send kabelen opp til tårnmannen, som trer kabelen ned gjennom et nytt stand.
- Koble kabelen sammen ved hjelp av hurtigkoblingen, strekk den opp og fjern C-platen.
- Skru standet til strengen og kjør den ned.
- Gjenta prosessen til fisken er fri.

2.2.2.2 Fiskeutstyr

Det finnes utrolig mye utstyr på markedet. I tillegg blir utstyr modifisert og nytt utstyr blir laget for spesielle fiskeoperasjoner. Det er kun det mest vanlige fiskeutstyret som blir nevnt i dette dokumentet.

Skrotkurv (Boot Basket)

Dette utstyret er svært enkelt og blir brukt til å fange opp skrot som er for tungt til å bli transportert ut av hullet med borevæskestrømmen. Kurven (Figur 39) kan f.eks bli brukt når vi borer ut fortrenningsplugger, pakninger og lignende. Skrotkurven skal plasseres så nær over borekronen som det er mulig. Dersom sirkulasjonen er kraftig nok til å løfte skrotet fra bunnen, faller en del ned i kurven når vi stopper sirkulasjonen.

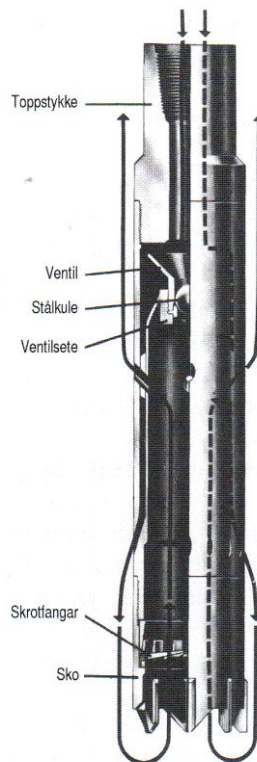


Figur 7.5 Skrotkorg

Figur 39: [35]

Jetkurv (Jet Basket)

Jetkurven (Figur 40) blir brukt for å hente opp mindre gjenstander, f.eks. håndverktøy og deler av borekronen. Gjenstanden blir tvunget inn i kurven av en væskestrøm med høyt trykk på utsiden av kurven. Jetkurven blir vanligvis skrudd fast nederst på fiskestrengen, i motsetning til skrotkurven, som står over borekronen og som kan kjøres mens en borer. Strengen blir kjørt ned til 1-2 meter over bunnen av hullet.



Figur 7.6 Jetkorg

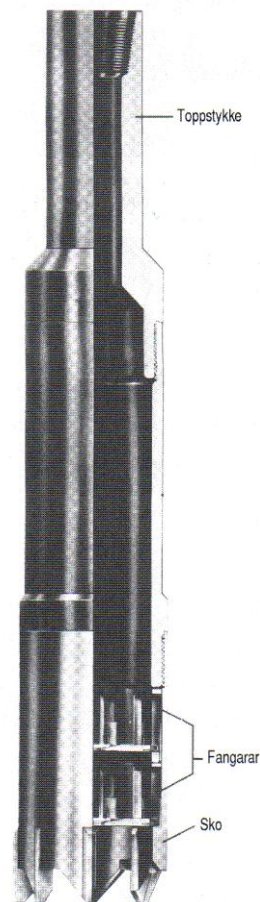
Figur 40: [35]

Utførelsen foregår som følgende:

- Start sirkulasjonen og roter strengen sakte
- Registrer sirkulasjonsraten og trykket
- Stopp pumpene og vent til brønnen er stabil (statisk)
- Start pumpene igjen med samme rate som tidligere. Lavere sirkulasjonstrykk indikerer sirkulasjon gjennom dysene.
- Når det er etablert sirkulasjon gjennom dysene, økes sirkulasjonsraten til maksimalt tillatt verdi.

Junk basket

”Junk basket” (Figur 41) blir brukt for å fiske opp mindre gjenstander. Kurven blir skrudd fast nederst på fiskestrengen.



Figur 7.7 «Junk basket»

Figur 41: [35]

Utførelsen av operasjonen skjer slik:

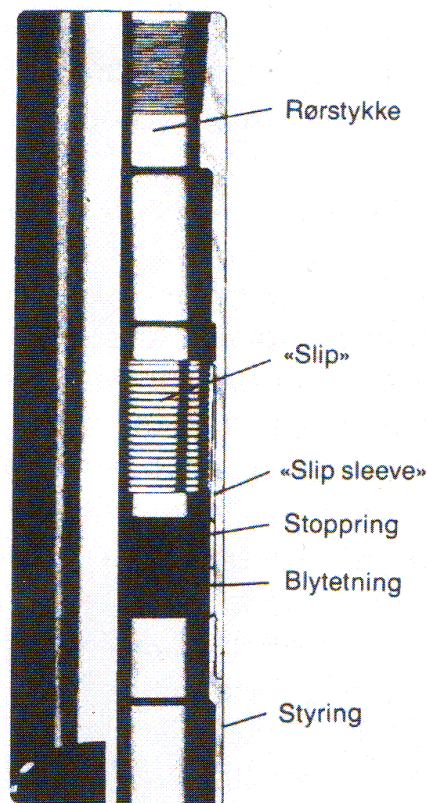
- Fiskestrengen kjøres ned til 1-2 m over bunnen av hullet.
- Pumpene startes og det sirkuleres med lav rate.
- Strengen senkes videre ned til bunnen av hullet og roteres sakte.
- En liten kjerne i bunnen blir skåret ut.
- Sirkulasjonen og rotasjonen stoppes.
- Strengen trekkes opp slik at kjernen brytes løs.
- Strengen sammen med kjernen trekkes ut av hullet. Eventuelt skrot ligger nå på toppen av kjernen.

Foringsrørslapp med blytetning (Casing Patch)

En foringsrørslapp med blytetning (Figur 42) er en rask og økonomisk måte å reparere mindre skader på foringsrøret, uten at den indre diameteren på foringsrøret blir redusert.

Foringsrørslappen blir installert når foringsrøret er fjernet ned til et punkt under skadestedet. Toppen av foringsrøret som står igjen nede i hullet, må bearbeides med en fres, og foringsrørslappen må kjøres ned over toppen, langt nok til at kilebeltseksjonen er rundt foringsrøret.

Foringsrørslappen må kjøres på en foringsrørsstreng. Når tetningen er kjørt ned over toppen på røret, løftes det opp igjen slik at kilebeltseksjonen griper om toppen av foringsrøret og komprimerer blytetningen. Når blytetningen er komprimert fullt ut, henges foringsrøret av i brønnhodet som normalt.



Figur 7.8 Foringsrørslapp med blytetning

Figur 42: [35]

Støtstang (Jar)

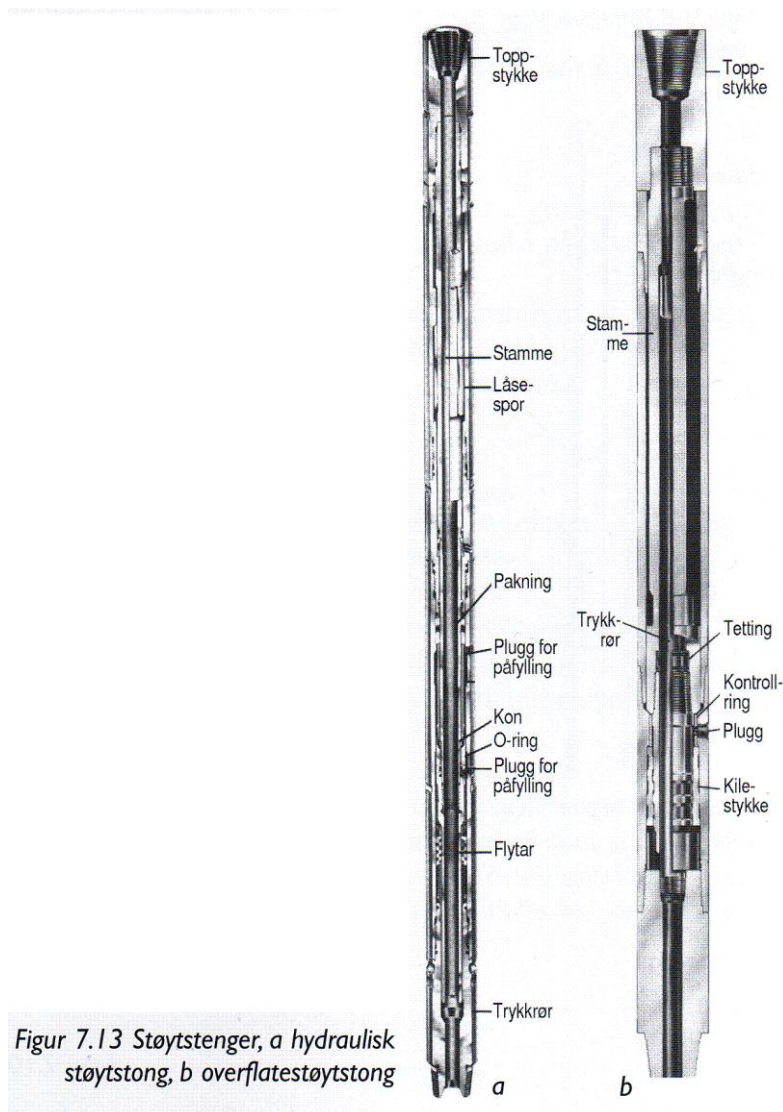
Dette verktøyet (Figur 43) blir montert i strengen for å kunne få til kraftige slag opp eller ned når strengen under støtstangen sitter fast. Det finnes i prinsippet to typer støtstenger:

- Hydrauliske
- Mekaniske

I strenger som blir brukt til å bore med, blir støtstangen montert i den øverste delen av vektrør-seksjonen for at støtstangen ikke skal sitte fast men også for å få mest slagkraft nedover. Slagkraften er proporsjonal med vekten av strengen.

I en fiskestreng derimot blir støtstangen plassert under vekttrørene for å gi størst mulig slagkraft oppover. Kraften i hvert slag er avhengig av hvor mye strekk det er i strengen.

For å slå løs utstyr som sitter fast nær overflaten, brukes en overflatestøtstang. Denne typen støtstang monteres i fiskestrengen rett over boredekknivået.



Figur 7.13 Støtstenger, a hydraulisk støtstong, b overflatestøtstong

Figur 43: [35]

Støtstangforsterker (Jar Intensifier)

Støtstangforsterkeren produserer selv ikke slag, men er et lodd som forsterker slaget fra en støtstang. I en fiskestreng er forsterkeren plassert i den øverste delen av vekttrørseksjonen, for å gi størst mulig påvirkning.

Nøkkelhullkost (Keyseat Wiper)

Nøkkelhullkosten (For definisjoner se Vedlegg C) (Figur 44) er et freseverktøy som blir brukt til å frese bort skarpe kanter i brønnen for å hindre at borestrengen setter seg fast eller blir utslitt. De skarpe kantene ("key seat") kan oppstå på mange måter, en grunn er avviksboring, verktøyet er derfor vanlig å bruke i sammenheng med retningsboring. Verktøyet plasseres rett over vekttrørseksjonen.

Figur 7.14
Nøkkelholkost



Figur 44: [35]

Fiskemagnet

Fiskemagneter (Figur 45) blir brukt for å fiske etter mindre løse gjenstander som er magnetiske. Fiskemagnetene kan kjøres på rørstreng eller kabel, og finnes i flere utforminger og størrelser.



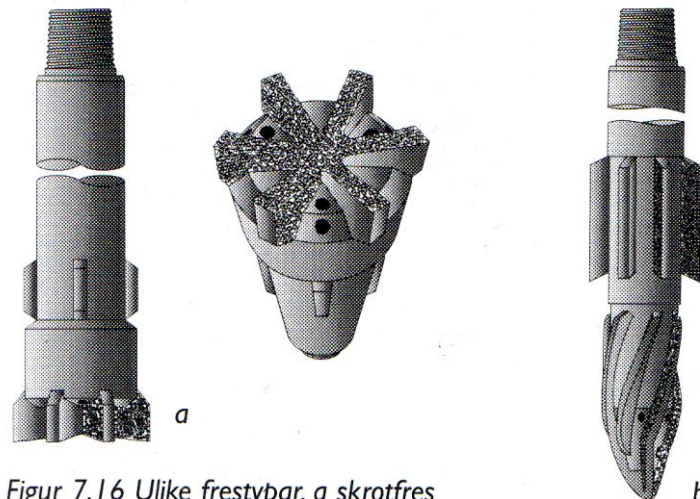
Figur 7.15 Fiskemagnet

Figur 45: [35]

Freser (Mills)

Freser (Figur 46) blir brukt til å knuse eller male opp skrot som setter seg fast eller som faller ned på bunnen av hullet. Dette er den eneste måten for å fjerne rør som er sementerte både på utsiden og innsiden. Løst materiale kan knuses til småbiter som kan sirkuleres ut. Det finnes i prinsippet to typer freser:

- Freser for åpne hull; Disse brukes for å frese borerør, vektrør og lignende og kalles pilotfres. Den er utformet slik at den alltid styrer seg selv dersom den freser på et sylindereformet objekt.
- Freser for foringsrør; Fresene har stabilisatorblad og glatt utside, den nederste delen av fresen kan være flat eller konkav.



Figur 7.16 Ulike frestypar, a skrotfres og b pilotfres

Figur 46: [35]

Overshot

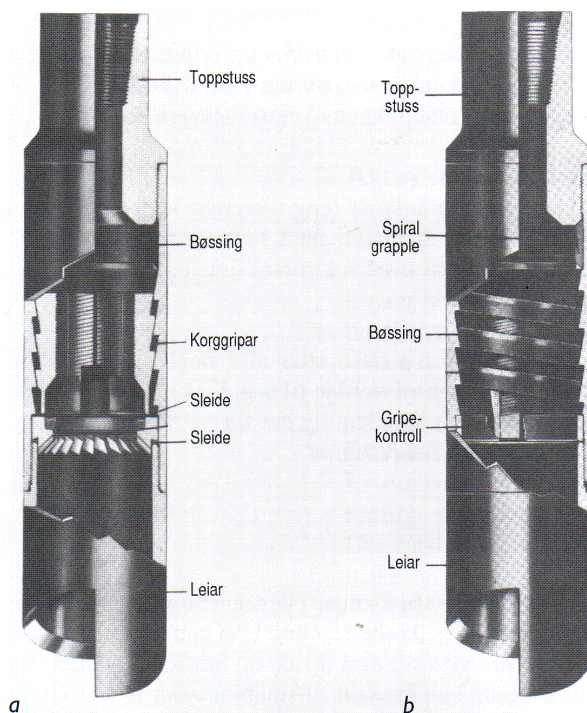
Overshot er det vanligste fiskeredskapet som blir brukt i boreoperasjoner. Det finnes en mengde forskjellige typer, men vi tar for oss de som er mest brukt. Hver enkelt overshot er laget for en bestemt rørstørrelse. Delene som inngår i en overshot er:

- Toppstuss
- Bøssing/foring
- Griper/Grapple
- Kontroll
- Styling/Leder

Toppstussen er festet til strengen som fører verktøyet ned i brønnen. Det som skjer når verktøyet når frem til fisken er at det blir tredd over fisken og griperne tar tak i fisken, enten ved fjærbelastede mothaker eller ved "kileprinsippet".

De fleste Overshots kan utstyres med to typer griper/grapple (Figur 47):

- Spiral grapple som blir brukt når fisken har en ytre diameter tett opp til maksimal diameter for "overshot"
- Bushed grapple som blir brukt når fisken har en god del mindre diameter enn "overshot"

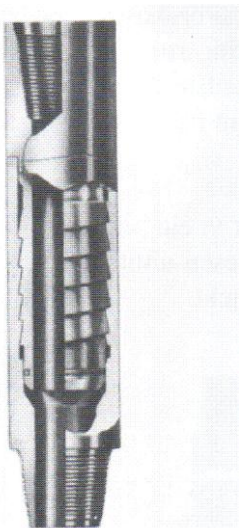


Figur 7.17 a) «Overshot». b) «Overshot» med «spiralgrapple»

Figur 47: [35]

Sikringsledd (Safety Joint)

Et sikringsledd (Figur 48) blir primært brukt i teststrenger og i fiskestrenger. Hensikten med sikringsleddet er at dersom en setter seg fast med verktøyet eller ønsker å dra ut strengen og la verktøyet stå igjen nede i brønnen har en ved hjelp av sikringsleddet muligheten til å koble av og på, på en enkel måte. Sikringsleddet blir plassert så langt ned på strengen som det er mulig, gjerne direkte over fiskeredskapet. Av og på koblingen skjer ved rotasjon.

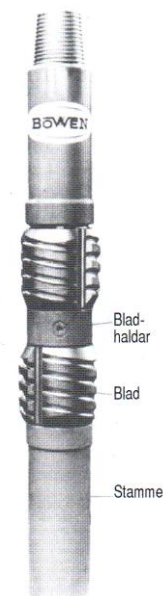


Figur 7.18 Sikringsledd

Figur 48: [35]

Foringsrørskrape

Dette verktøyet (Figur 49) blir brukt for å fjerne belegg fra borevæske og sement på innsiden av foringsrøret. Det er aktuelt før vi installerer pakninger og forlengingsrør der det er lite klaring mellom utstyret og foringsrøret.

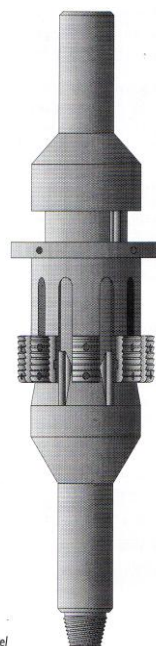


Figur 7.19 Føringrørskrape

Figur 49: [35]

Marin svivel og foringsrørspyd

Når foringsrøret skal kuttes fra flyteriggen, brukes en marin svivel (Figur 50) i kuttestrengen. Svivelen settes i brønnhodet, slik at kutteren holdes i ro mens operasjonen blir utført. Når foringsrøret er blitt kuttet, hentes den løse delen opp med et spyd.

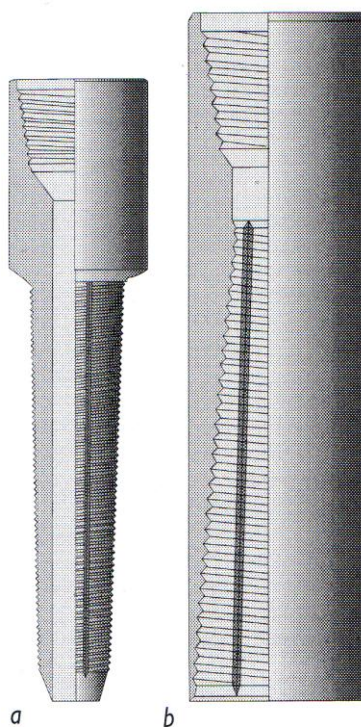


Figur 7.20 Marin svivel

Figur 50: [35]

”Taper Tap” og ”Die Collar”

”Taper Tap” (Figur 51) blir brukt for å skru seg inn i f.eks et vektrør, mens en ”Die Collar” blir brukt for å skru seg inn på utsiden av en fisk. Begge disse bør bare brukes sammen med sikringsledd.



Figur 7.21 «Taper tap» og «die collar»

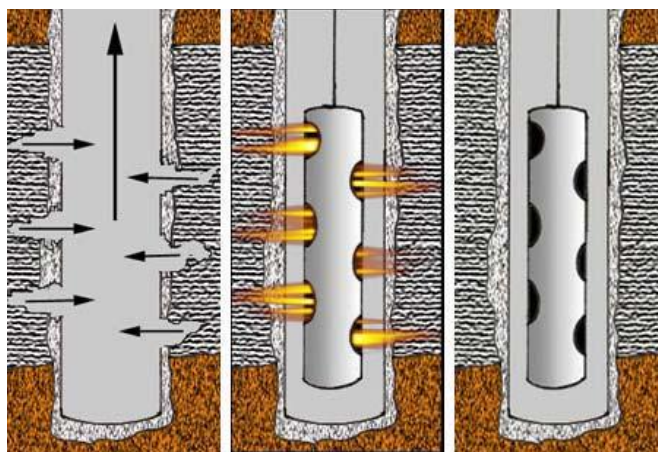
Figur 51: [35]

2.2.2.3 Perforering og Stimulering ^[36]^[37]

Perforering er en operasjon som gjøres når brønnen er ferdig komplettert og skal gjøres klar for produksjon. Metoden går ut på å slå hull i casingen eller foringsrøret som igjen lar oljen eller gassen strøkke inn i produksjonsrøret og opp til overflaten (Figur 52). Verktøyet består av flere ladninger som er rettet ut mot casingen.

Dersom operasjonen skal gjøres fra ”slickline” blir det montert sensorer som registrerer trykk og temperatur og en mekanisme som vil detonere ladningene når visse grenseverdier er tilfredsstillt. Det er imidlertid mest vanlig å gjøre operasjonen ved hjelp av elektrisk wire på grunn av sikkerheten som gis ved at operatøren selv har kontroll på når ladningene skal avfyres.

Dersom det skal perforeres i horisontale brønner eller avviksbrønner brukes ofte perforeringsverktøy i sammenheng med en brønntaktor for elektrisk wireline eller ”coiled tubing”. Ved å tette igjen bunnen av brønnen kan det gjøres analyser og perforere der som reservoaret vil fungere best mulig.



Figur 52: Prinsippskisse av Perforering ^[38]

En viktig parameter å overvåke er ”skin damage”. ”Skin damage” (For definisjoner se Vedlegg C) er skade på reservoaret og dermed selve produksjonsmulighetene til brønnen som følge av eksplosjonen som er avfyrt nede i brønnen. Det som skjer er at partikler og rester av casingen skytes inn i selve formasjonen, disse kan tette igjen porene og hindre hydrokarboner å strøkke. For å minimalisere denne uønskede effekten gjøres perforering vanligvis med undertrykk i brønnen i forhold til reservoaret. Altså når ladningene avfyres og perforerer vil det strøkke fra formasjonen og ut i brønnen.

Forhåpentligvis vil dette føre med seg partiklene ut igjen til brønnen. Dersom dette ikke skulle være tilstrekkelig må brønnen stimuleres enten kjemisk eller med injeksjon av væsker med høyt trykk.

Skade på brønnen kan oppstå på flere måter. Det kan ha kommet kjemikalier inn i formasjonen enten ved boringen av selve brønnen, eller ved komplettering og perforering. Dette gjør at kanalene som før ledet ut mot produksjonsrøret kan ha blitt tettet igjen noe som gir mye lavere permeabilitet, som igjen fører til lavere strømningsrate. Derfor må brønnen stimuleres for igjen å kunne oppnå den forventede produksjonsraten. Dette kan gjøres på flere måter:

- ”Acidizing” (For definisjoner se Vedlegg C)
- ”Fracturing” (For definisjoner se Vedlegg C)
- Nitrogen sirkulasjon

”Acidizing” [39]

Å pumpe kjemikalier ned i brønnen er den enkleste metoden for stimulering. Disse stoffene har kjemiske forbindelser som trenger inn i formasjonen og løser opp eventuelle uønskede kjemikalier som tetter igjen. Når de uønskede kjemikaliene er løst opp vil strømmen ut fra reservoaret ta med seg disse og restene av alle uønskede partikler opp til overflaten.

Dersom dette ikke skulle være tilstrekkelig kan det kjøres konsentrert syre ned i brønnen, syren renser opp alle rester av mud og fjerner eventuell formasjonsskade.

”Acidizing” har sine klare ulemper:

- En ulempe er at effekten av kjemikaliene blir redusert som følge av avstanden fra overflaten og ned til område hvor en ønsker stimulering
- En annen ulempe er at alle komponentene i kompletteringen utsettes for kjemikaliene. Det kan derfor i enkelte tilfeller være nødvendig å etablere kveilerør for å pumpe kjemikaliene ned til stimuleringsområdet. Dette er gunstig dersom du ikke vil utsette f. eks DHSV for kjemikaliene. Det er derimot kostbart å etablere kveilerør.

”Fracturing” [40]

Denne metoden går ut på å utvide de eksisterende perforeringskanalene. Når en utvider kanalene tvinger en kanalene til å gå dypere inn i formasjonen som igjen fører til et større overflateareal og økt strømningsrate. Metoden kan utføres på flere forskjellige måter:

- Hydraulisk frakturering, hvor det blir injisert ulike fluider ved høyt trykk. Fluidene kan også inneholde partikler av nøye utvalgt størrelse og form for å holde kanalene som dannes åpne etter operasjonen er ferdig.
- Operasjonen kan også utføres hjelp av eksplosiver, altså en gasstrøm ved høyt trykk og høy fart.
- Dersom det er nødvendig er det også mulig å kombinere operasjonen med acidizing.

Nitrogen sirkulasjon [41]

Med nitrogensirkulasjon kan en fjerne mud, løsmasser eller væskeansamlinger i brønnen som hindrer strømning fra reservoaret. Metoden fungerer slik at nitrogen blir pumpet ut i bunnen av brønnen ved hjelp av kveilerør. Det som skjer da er at små gassbobler blir blandet med væskesøylen i brønnen og gjør at massetettheten og dermed vekten av denne blir mindre, når vekten er lav nok vil trykket i brønnen klare å skyve væskesøylen ut.

2.2.2.4 "Workover" [42]

Hovedsakelig omfatter begrepet "workover" alle typer brønnintervensjon. Inkludert wireline, slickline, snubbing og kveilerør. Mer spesifikt innebærer det opphenting og utskifting av kompletteringen. Dette er en operasjon med høye kostnader som er den mest komplekse og vanskeligste typen brønnintervensjon.

En slik operasjon blir utført når komponentene er i dårlig stand, eller når forandringer i reservoaregenskaper har gjort at spesifikasjonene til komponentene ikke passer brønnen.

En annen grunn til å utføre en slik operasjon er dersom "casing" eller produksjonsrør er hardt angrepet av korrosjon som fører til at det av sikkerhetsmessige årsaker er gunstig å skifte det ut.

Slike operasjoner er som sagt omfattende og dyre og trenger i stort sett alle tilfeller en borerigg med alt tilhørende utstyr.

Å skifte produksjonsrøret blir gjort på følgende måte:

- Brønnen drepes
- Ventiltreet fjernes
- Tubing hangeren løftes bort fra brønnhodet
- En begynner å dra opp selve røret. På røret vil det alltid være minst en "production packer" som tetter mellom produksjonsrøret og "casingen". Dersom "packeren" er hentbar vil den løsne og komme opp med røret. Hvis ikke er det vanlig å kutte røret rett over "packeren" og dra den øvre seksjonen opp. Deretter kan "packeren" milles ut, eller så kan en ny "packer" monteres rett ovenfor den gamle og et nytt rør settes på plass.

Utskifting av casing er den dyreste og mest omfattende operasjonen som kan utføres nede i brønnen og det er kun i få tilfeller det er lønnsomt med utskifting av casing. I de fleste tilfeller er det billigere å bore på siden av den eksisterende brønnen og rekomplettere.

2.3 Welltec utstyr [43]

Welltec har to typer brønntraktor;

- En for bruk sammen med elektrisk wireline
- En for bruk sammen med kveilerør. Ved bruk av brønntraktor i kombinasjon med kveilerør kan det brukes kveilerør med mindre diameter på grunn av at en ikke trenger å skyve så mye på kveilerøret.

Forskjellen på de to traktorene er krafttilførselen. Elektrisk wireline traktoren bruker strøm som kommer fra overflaten gjennom en elektrisk kabel, mens kveilerør traktoren bruker en fluidstrøm som blir pumpet fra overflaten gjennom kveilerøret til å lage hydraulisk kraft.

2.3.1 "Wireline Well Tractor" [44]

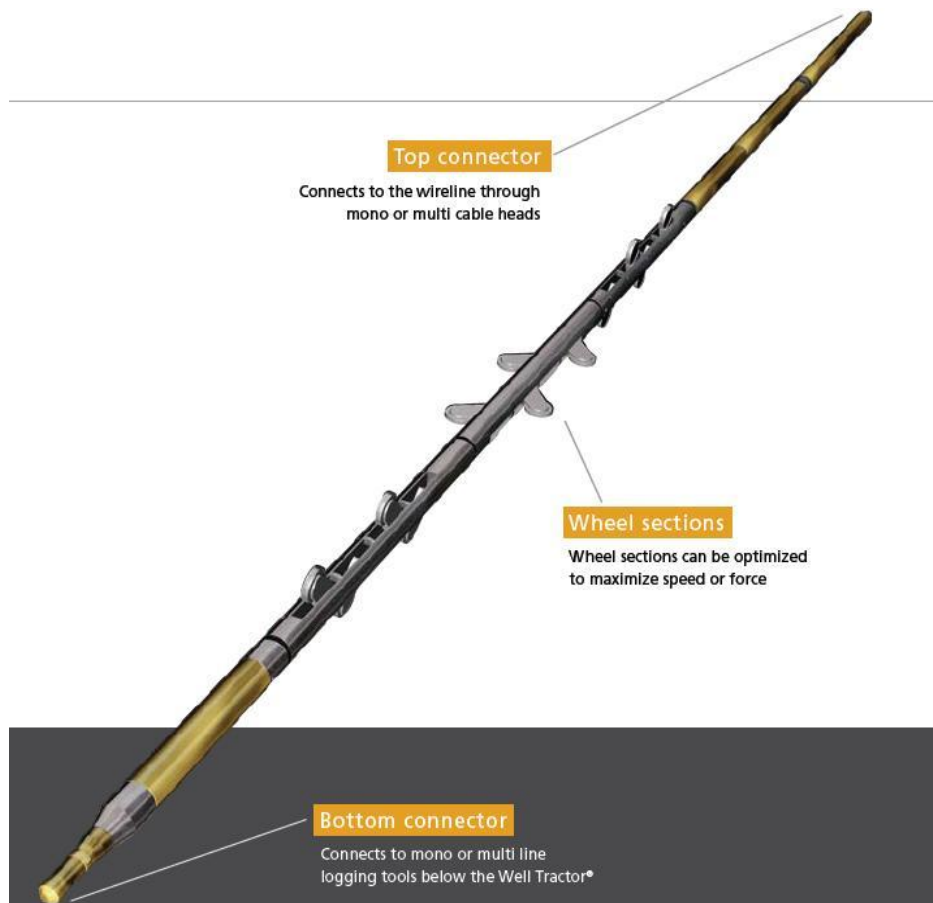
Dette er den elektriske traktoren til Welltec. Traktoren (Figur 53: "Wireline Well Tractor") får elektrisk kraft fra overflaten som omgjøres til hydraulisk energi i en elektrisk hydraulikkpumpe som igjen kan nyttegjøres ved at hvert hjul har en egen hydraulisk motor. Slik kan traktoren deles opp i et modulbasert system med flere drivseksjoner. Dette gjør at en kan tilpasse traktoren bedre til hver enkelt jobb uten å påvirke effektiviteten. For hver seksjon er det 4 hjul, to på hver side. For å sikre at brønntraktoren har kontakt rundt hele brønnen blir den neste seksjonen rotert 90 grader i forhold til den forrige. Traktoren er laget slik at når den startes opp vil hjulene ved hjelp av den hydrauliske energien bli ført ut fra kroppen med en arm, når hjulene treffer casingen får de mottrykk og hjulene begynner å rotere. For å sikre at brønntraktoren ikke kan sette seg fast eller bli stående med hjulene ute, vil armene automatisk trekke seg inn i skallet igjen dersom traktoren blir slått av eller blir frakoblet (Fail-safe-system).

Fordeler med traktoren:

- Kan hente nåtids loggedata mens brønntraktoren kjøres på vei ned
- Brønntraktoren kan kjøres bakover
- Mulighet til å kjøre brønntraktoren først og dra verktøyet etter

Mulige arbeidsoperasjoner:

- Logging i brønner både med og uten casing
- Perforering
- Sette og hente plugg
- Operere "Sliding sleeves"
- Åpning og lukking av isolasjons ventiler
- "Milling" av isolasjons ventiler
- Rengjøringsoperasjoner
- "Scale milling"
- Sand fjerning – "bailing"
- Inspeksjon av rør
- Seismiske undersøkelser
- Osv....



Figur 53: "Wireline Well Tractor" [44]

2.3.2 "Coiled Tubing Well Tractor" [45]

Welltec's kveilerørstraktor. I dype brønner eller brønner med lengre horisontale spenn vil et kveilerør få en utbøyning dersom trykkraften og friksjonskraften er for store i forhold til kveilerørets styrke mhp. utbøyning. Dette problemet løses med en brønntraktor (Figur 54: "Coiled Tubing Tractor"). Brønntraktoren trekker kveilerøret med seg ned i brønnen og en klarer dermed å nå lengre enn før.

Når en kjører med brønntraktor kan en i tillegg bruke kompositt Coiled tubing for å redusere vekten ytterligere. Dette medfører videre at løfteutstyr og annet utstyr som brukes for å mobilisere utstyret kan reduseres.

Ved bruk av brønntraktor trenger en ikke å stive av røret med "Pipe stiffeners". En direkte konsekvens av dette gjør at levetiden til røret vil øke, og at det trengs mindre kjemiske stoffer for å redusere friksjonen.

Det er også mulig å gi elektrisk kraft gjennom kveilerør ved at en pumper en elektrisk kabel gjennom røret og ned til traktoren. Slik kan det utføres oppgaver som;

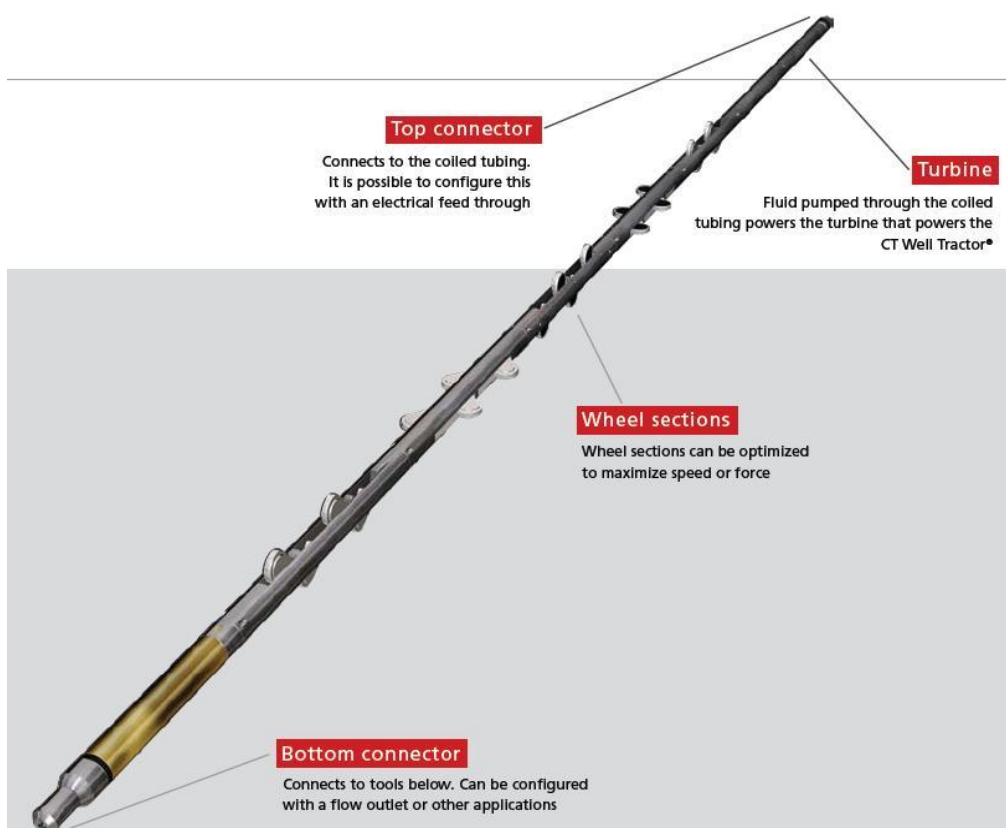
- Logging
- Elektrisk setting av plugg
- Elektrisk detonerte perforeringsverktøy

En ser her at det finnes flere økonomiske fordeler ved å bruke brønntraktor på Coiled tubing. Brønntraktoren som brukes til wireline har en elektrisk drevet hydraulikkpumpe for å skape kraft til å operere hjul og armer på drivseksjonene. Her derimot finner vi en turbin som

blir drevet av fluidet som blir pumpet ned gjennom røret. Turbin systemet er veldig tilpasningsdyktig og kan fungere med de fleste typer fluid, eksempler er;

- Boreslam
- Ferskvann
- Saltvann
- Syrer
- Nitrogen
- Nitrogen/vann blandinger

Kraften ut av turbinen nyttiggjøres av drivseksjonene på samme måte som ved wireline brønntraktoren. Ellers er brønntraktoren mye lik med mulighet for elektrisk kabel gjennom "Coiled tubing". Slik kan bunn tilkoblingen konfigureres med "flow outlet" eller andre applikasjoner.



Figur 54: "Coiled Tubing Tractor" [45]

Arbeidsoperasjoner som kan gjøres med kveilerør traktoren:

- Rengjøring
- "Acidizing"
- Perforering
- Sement logging
- Dra plugger
- Stimulering og "Fracturing" aktiviteter
- Skifte "Sliding sleeves"
- Milling operasjoner
- Fiskeoperasjoner og andre mekaniske nedihulls aktiviteter

- Ved boring med ”Coiled tubing” vil brønntraktoren fungere som konstant vekt på selve bittet
- Hydrat/parafin plugg fjerning

Trykkfallene over brønntraktoren er avhengige av konfigurasjonen. Forandringer i konfigurasjonen av hjulseksjoner og strømningsrater vil gi forandringer i trykkfall over brønntraktoren. Det har blitt påvist at kommunikasjon med verktøy nedenfor brønntraktoren ved hjelp av forskjellige trykk pulseringer er pålitelig. Dette til tross for trykkfallene over selve brønntraktoren. Dermed er brønntraktoren fullt ut kompatibel med loggeverktøy, orienterings verktøy og perforerings verktøy som blir initialisert med trykkfalls sekvenser.

2.3.3 Welltec mekaniske nedihulls verktøy [46]

Welltec´s mekaniske intervensjons verktøy gir operatøren muligheter for å utføre de følgende arbeidsoperasjoner på elektrisk wireline operasjoner i horisontale brønner:

- Skifte mekaniske ”Sleeves”
- Sette og hente plugger uten bruk av eksplosiver
- Åpning og lukking av kuleventiler
- Milling av ”Scale”
- Fjerning av sand
- Sette ”Isolation straddles”
- Fiske operasjoner
- ”Gas lift mandrel” utskiftning (For definisjoner se Vedlegg C)

Operasjonene blir utført ved hjelp av disse verktøyene:

- ”Well Stroker”
- ”Well Key”
- ”Well Cleaner”
- ”Well Miller”
- ”Welltec Release Device” (WRD)

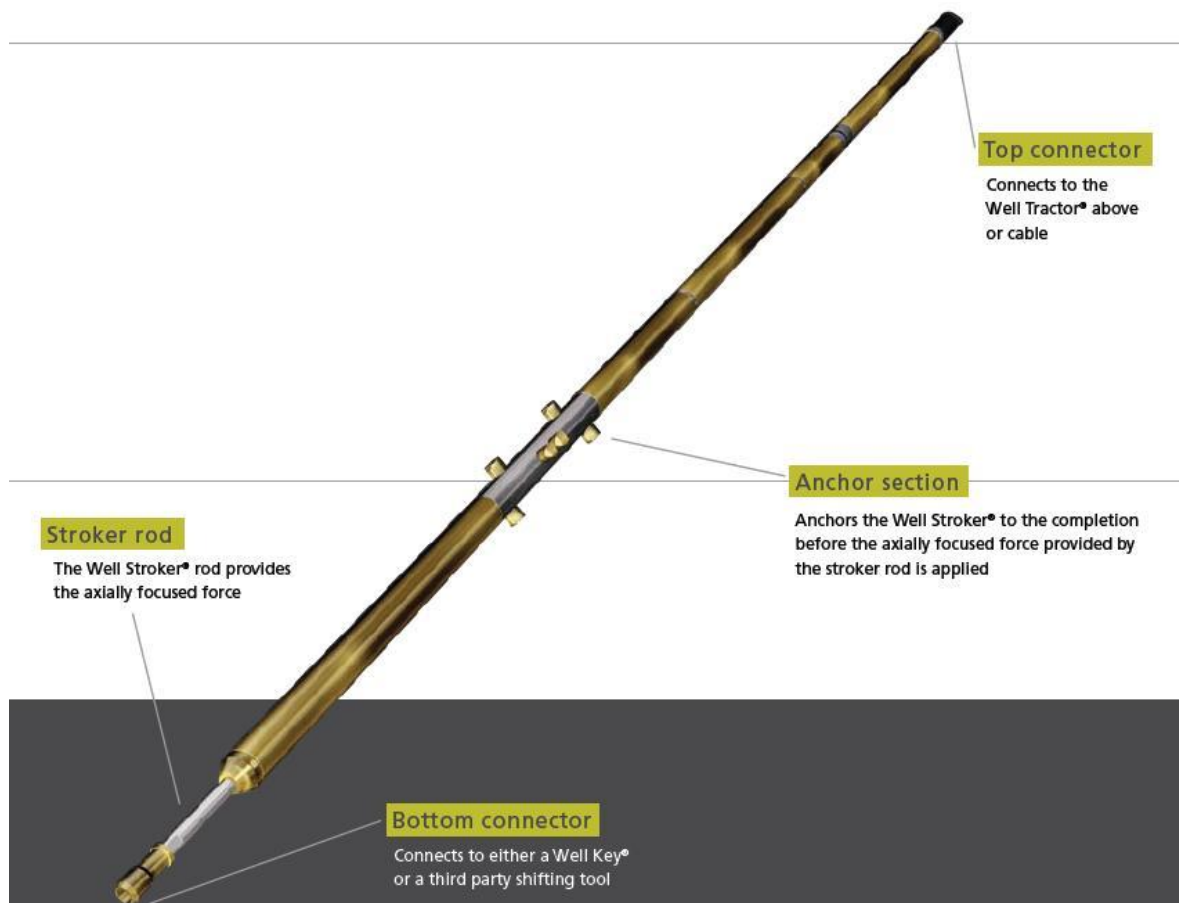
”Well Stroker” [47]

Tidligere har oppgaver forbundet med å hente og sette gass løft ventiler, mekaniske plugg og manipulere ”Sliding side door” vært i domenet til slickline i vertikale brønner og ”coiled tubing” i horisontale brønner. Ved hjelp av ny teknologi er det mulig å gjøre slike intervensjons operasjoner med elektrisk wireline traktor og Well Stroker (Figur 55)

Kraften fra Well Stroker kan også erstatte kraften fra eksplosiver som vanligvis brukes ved montering av ”Packerere”.

Når Well Stroker blir aktivert vil den forankre seg mot veggene i brønnen. Dette gir Well Stroker muligheten til å utføre en aksial kraft på opptil 147,1 kN. Bevegelsesretningen til verktøyet kan styres fra overflaten hver gang verktøyet startes opp, slik kan den brukes for å åpne eller lukke flere ”Sliding sleeves” på en tur ned i brønnen.

Designet av ”Well Stroker” er basert på prinsippet fra brønntraktoren, hvis noe uforutsett skulle skje vil forankringen kollapse og verktøyet slås av og forhindrer at verktøyet setter seg fast.



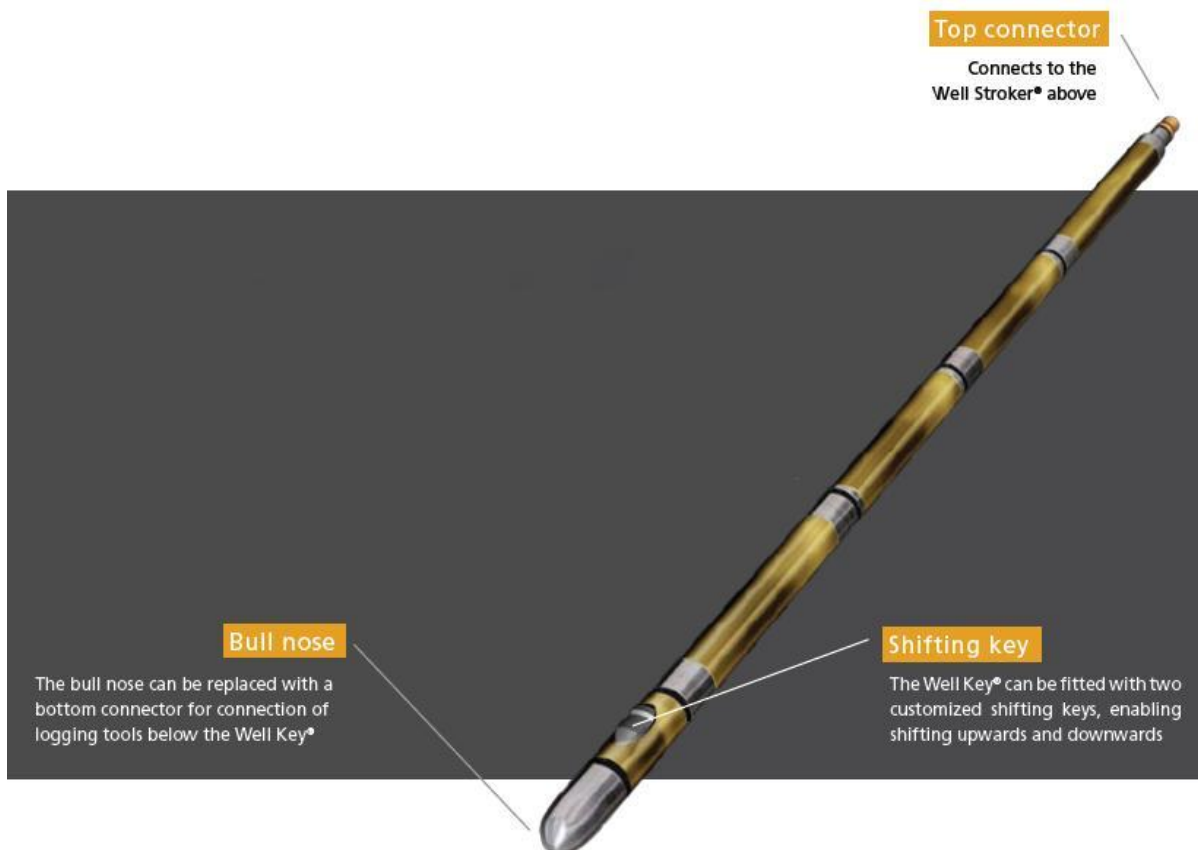
Figur 55: ”Well Stroker” [47]

”Well Key” [48]

Verktøyet (Figur 56: ”Well Key) har blitt utviklet for å komplementere ”Well Stroker” som et kontrollert verktøy for operasjon av ”Sliding sleeve” ventiler.

Utstyret blir senket ned i brønnen og når ønsket dybde er nådd blir verktøyet satt i søke modus. Avhengig av hvilken retning som hylsen skal opereres i kan ”Well Key” bli dratt nedover ved hjelp av brønntraktoren, eller trukket oppover med wireline strengen. Når verktøyet har funnet og grepet tak i profilen for å åpne eller lukke hylsen vil ”Well Stroker” bli startet opp for å tilføre den nødvendige kraften. Når operasjonen er gjort vil ”Well Key” igjen slippe profilen og fortsette i søke modus til alle hylsene har blitt åpnet/lukket. Når verktøyet blir slått av vil ”Shifting key” trekke seg inn i verktøyet igjen.

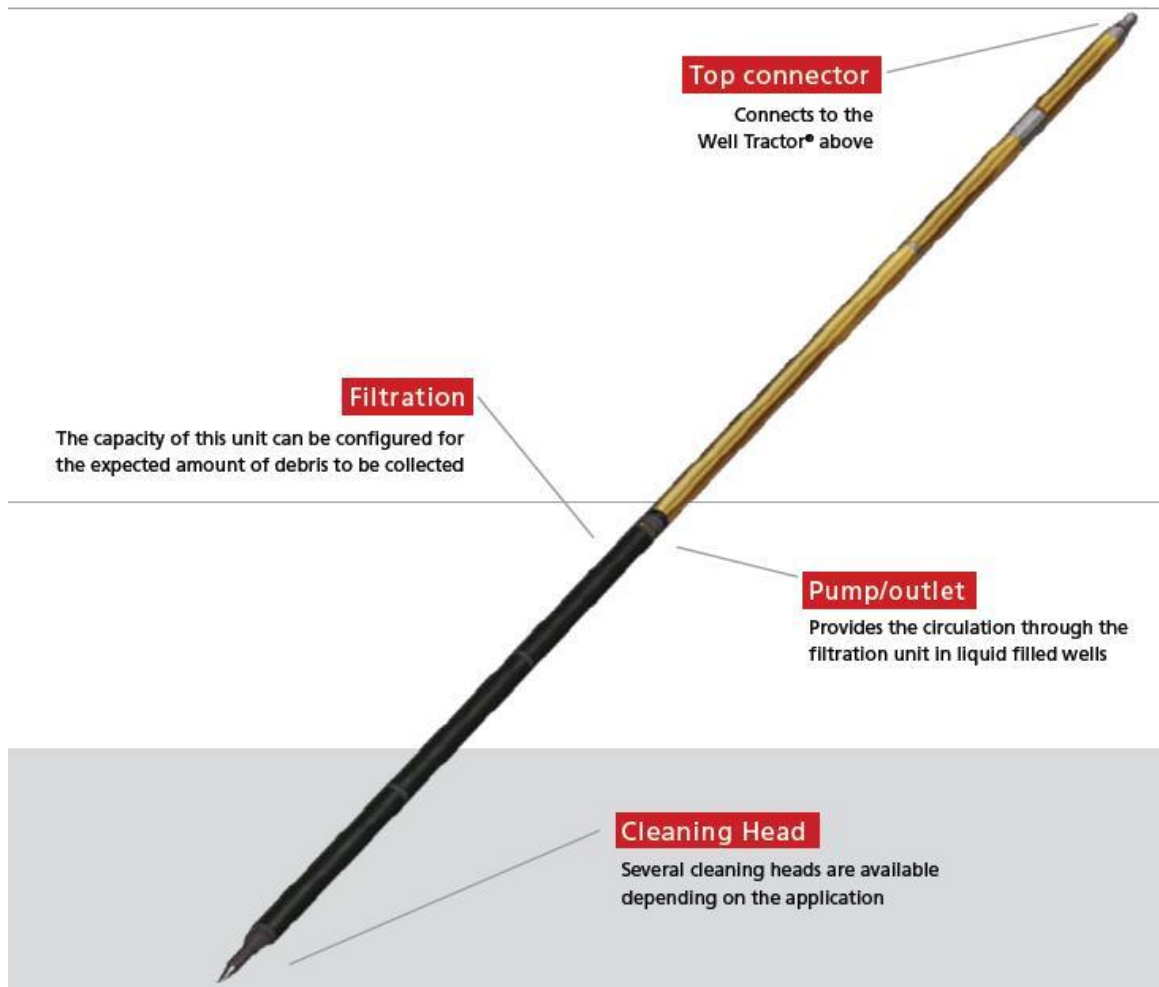
Verktøyet kan konfigureres for å passe til de spesifikke profilene for å forsikre kompatibilitet til en stor rekke ”Sleeve” profiler. Selve enden på verktøyet kan bli byttet ut med bunn tilkobling for å kunne føre loggeverktøy under ”Well Key”.



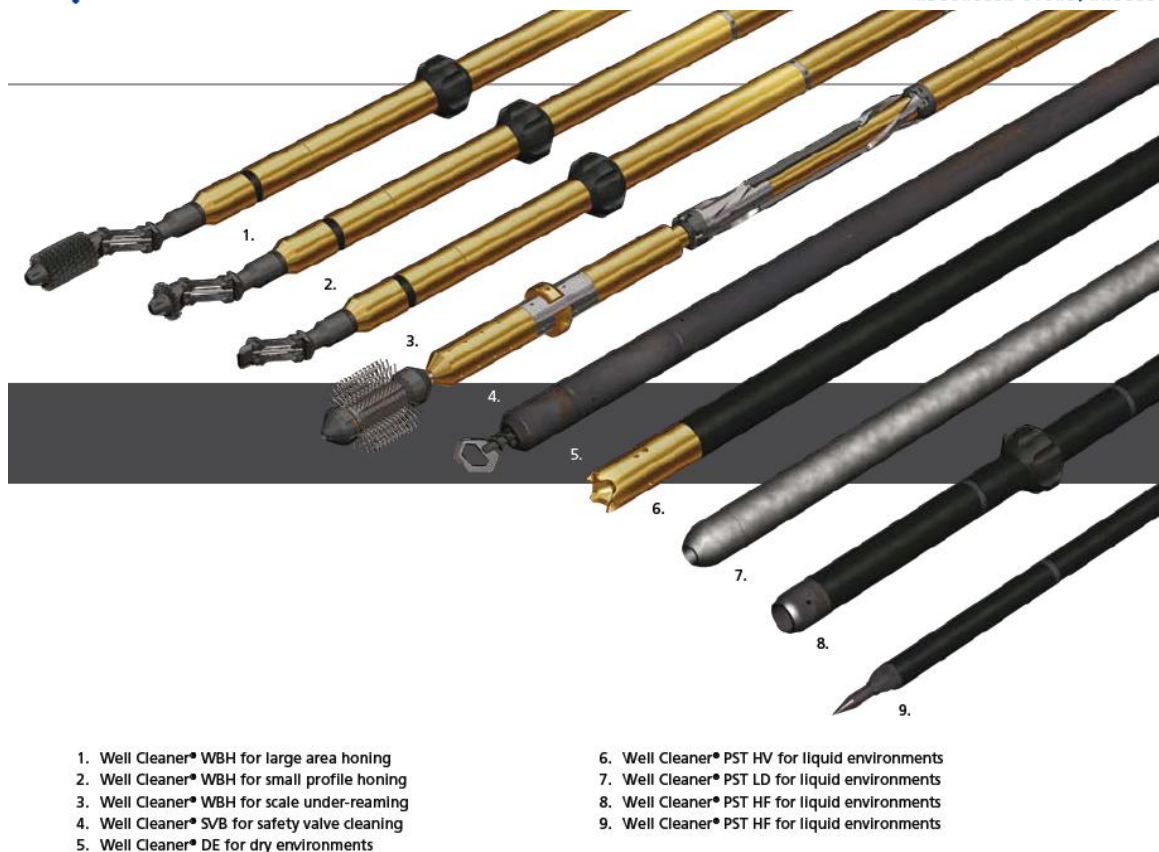
Figur 56: ”Well Key” [48]

”Well Cleaner” [49]

Dette verktøyet gir muligheten for å utføre rengjøringsoperasjoner, for eksempel fjerning av ”scale” og sand. Verktøyet (Figur 57) blir kjørt med elektrisk wireline traktor istedenfor coiled tubing som ble brukt før og kan konfigureres for å imøtekomme flere brønntilstander (Figur 58). Alle operasjonene med ”Well Cleaner” brukes i sammenheng med brønntraktoren som legger konstant vekt på verktøyet og holder momentet av rotasjonsbevegelsen borte fra wireline strengen. ”Well Cleaner” inneholder en filtreringsseksjon som kan filtrere sand, ”Scale” eller væsker i væskefylte brønner.



Figur 57: ”Well Cleaner” [49]



1. Well Cleaner® WBH for large area honing
2. Well Cleaner® WBH for small profile honing
3. Well Cleaner® WBH for scale under-reaming
4. Well Cleaner® SVB for safety valve cleaning
5. Well Cleaner® DE for dry environments

6. Well Cleaner® PST HV for liquid environments
7. Well Cleaner® PST LD for liquid environments
8. Well Cleaner® PST HF for liquid environments
9. Well Cleaner® PST HF for liquid environments

Figur 58: "Well Cleaner" tilgjengelige applikasjoner [49]

"Well Miller" [50]

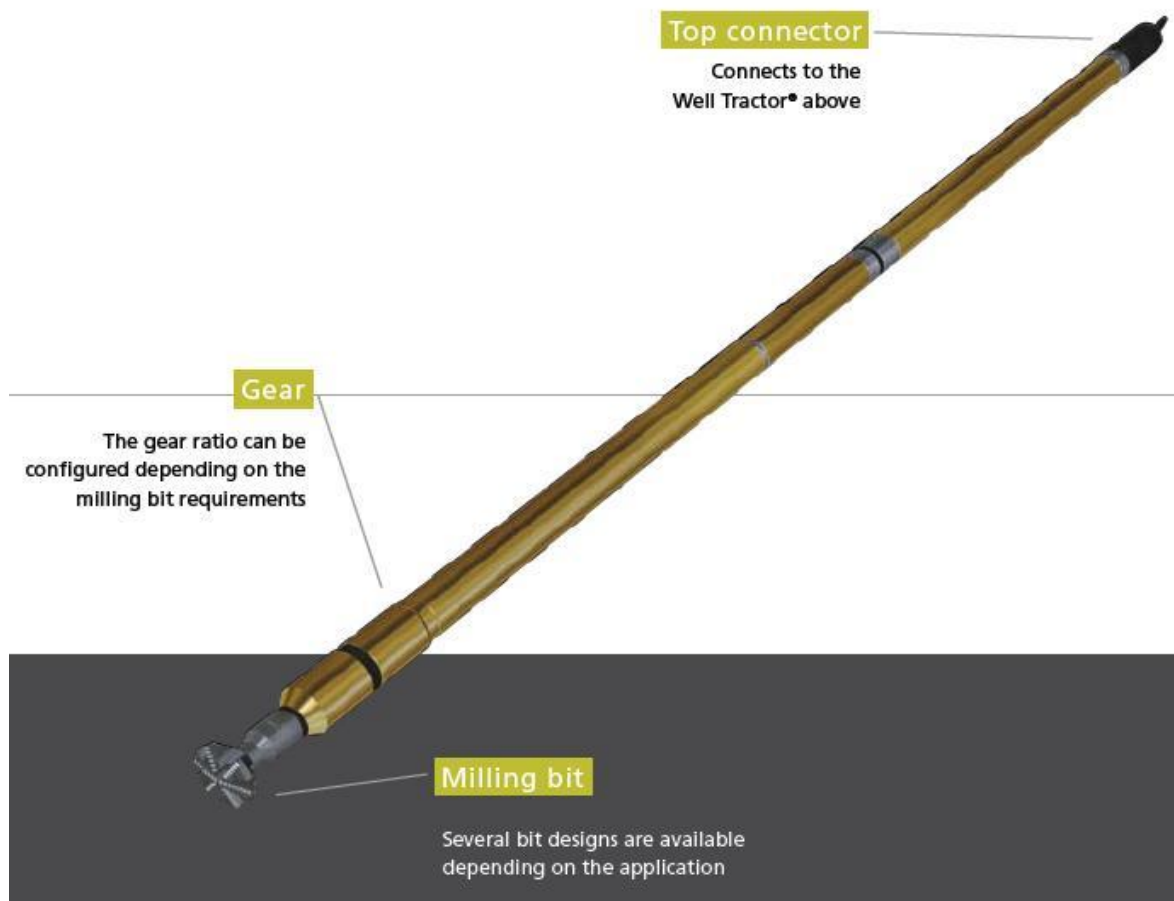
Verktøyet (Figur 59) er utviklet for å kunne utføre presisjons bore og milling operasjoner. "Well Miller" kjøres med elektrisk wireline traktor som holder konstant vekt på bittet, og holder momentet fra den roterende bevegelsen borte fra wireline strengen. Well Miller er designet for å kunne fjerne mange forskjellige hindringer nede i brønnen. Bittet er utskiftbart og velges mhp. hvilken jobb som skal gjøres. Verktøyet har blitt brukt til å;

- Fjerne isolasjons ventiler av legeringer som f. eks Inconel,
- Fjerne barium sulfat "Scale" i tørre gassbrønner (for definisjoner se Vedlegg C)
- Fjerne kuleventiler.

Siden bore-bittet er utskiftbart er også "Well Miller" utstyrt med et gir som kan bli konfigurert for å regulere turtallet etter hvilket bitt som skal brukes.

Det nyeste bittet til verktøyet er den såkalte NPR ("Nipple Profile Removal"), som er et verktøy som utvider diameteren og fjerner innvendige "Nipple" profiler.

Well Miller serien er effektiv med hensyn på mobilisering, mengden personell og demobiliseringskostnader i forhold til å gjøre arbeidsoppgavene med Coiled tubing.



Figur 59: “Well Miller” [50]

“Welltec Release Device” (WRD) [51]

Denne enheten kan plasseres hvor som helst på selve verktøy strengen, f.eks nedenfor brønntraktoren eller rett etter wireline tilkoblingen og er en enhet som gir muligheten til å koble av når det er ønskelig (f.eks dersom en kjører seg fast).

WRD er laget for å kunne utløses på to forskjellige måter, ved signal fra overflaten eller etter en forhåndsprogrammert inaktiv tidsperiode. Når denne har løst ut gir den en toppfisk-profil som gjør det enkelt å kunne utføre konvensjonelle fiskeoperasjoner. Det kan også monteres flere WRD på en verktøystreng som kan programmeres til å løse ut på forskjellig tid.

2.4 Schlumberger utstyr [52]

2.4.1 "TuffTRAC" [53]

"Cased Hole Services Tractor" (XTRA-A)

Schlumbergers brønntraktor har også et modulbasert system for drivseksjonene (Figur 60). Totalt kan TuffTrac ha 8 drivseksjoner, hvor hver seksjon har 2 hjul som står rett ovenfor hverandre og gir 180° kontakt med brønnen (Figur 61). For å sikre at traktoren er sentrert i brønnen og har 360° kontakt blir det neste hjulparet rotert 90° i forhold til det forrige. TuffTrac utstyrt med 2 drivseksjoner vil kun være 4,43 m lang. Traktoren er designet for å kunne bevege seg i brønner med indre diameter fra 3,4-10,6" (8,6-26,7cm). På denne måten kan TuffTrac systemet unngå å måtte kjøre flere turer siden den klarer omfattende variasjoner i brønndiameter. I tillegg til dette har TuffTrac et system som skal gi den bedre kontroll over trekraften, systemet fungerer slik at hjulene blir presset hardere mot innsiden av brønnen dess mer belastning traktoren får. Dette reduserer sjansen for hjulene skal miste grepet og vil dermed øke fremkommeligheten. Kraften på hjulene er også regulerbar fra overflaten for å redusere slitasjen på utstyret der ekstra trekraft ikke er nødvendig.

Traktoren skal påstått kreve mindre krafttilførsel enn andre konvensjonelle systemer og oppnå høyere enn 45 % virkningsgrad som igjen ikke belaster hjelpesystemene ytterligere. Grunnen til den høye virkningsgraden er at i motsetning til andre traktorer bruker TuffTrac et hydraulisk system som sikrer trykk mot innsiden av brønnen, og elektriske motorer for å drive hjulene. Det hydrauliske systemet vil ikke kreve ytterligere energitilførsel når det først har fått kontakt med casingveggen. Derfor vil traktoren kunne operere uten nedkjølingsfaser selv i tørre gassbrønner.

Til tross for liten lengde inneholder alle konfigurasjoner av brønntraktoren flere integrerte systemer som bidrar til å bedre sikkerheten og påliteligheten. I det øvre hodet av traktoren finner vi en celle som registrerer ulike krefter. Slik kan bevegelse, hjulenes feste og eventuell ekstra vekt som blir lagt på verktøyet fra vinsjen beregnes. Et programmerbart "Cable release" apparat utelukker ufrivillig frakobling ved for eksempel perforeringsoppgaver som kan føre til at verktøystrengen "hopper" litt. "Cable release" systemet vil også gi muligheten for å koble fra verktøystrengen dersom noe uforutsett skulle skje. Toppen på avkoblingspunktet gir en profil som er mulig å hente ved fiskeoperasjoner. Traktoren har også sikkerhetskomponenter som hindrer at den elektriske kraften som hjulene bruker kan utløse perforeringsverktøyet uønsket.

Andre innebygde systemer er; bruk av flere støtdempere og en aktiv modus når verktøyet startes opp slik at dersom krafttilførselen mistes vil armene automatisk trekkes inn i kroppen. Dette i tillegg til muligheten for å sette traktoren i revers vil minske risikoen for å sette seg fast.






Etter at vi ble invitert på kurs hos Schlumberger lærte vi at de har muligheten for å konfigurere traktorene mens de er nede i brønnen. Dette betyr at traktoren ikke trenger å hentes helt opp til overflaten for å gjøre en ny konfigurasjon. I tillegg til dette har traktorene 3 forskjellige modus;

- Bypass
- Tractoring
- Release

Bypass gjør at det kan sendes elektrisitet forbi traktoren og ned til eventuelt verktøy. Tractoring betyr kjøring av traktoren. Release er frakobling av enkelte deler eller hele verktøystrengen. Traktoren kjøres på 3-fase AC dvs. at den kun kan kjøres på hepta kabel (7 leder kabel). TuffTrac er primært laget for perforeringsoppgaver men Schlumberger regner med at den blir brukt til mye annet i fremtiden.

En ny utgave av TuffTrac, XTRA-B er under utvikling og er designet for mono kabel (1 leder kabel). XTRA-B har også muligheten for å utføre loggeoperasjoner mens den kjøres.

Ingen av TuffTrac traktorene kan gi ut hydraulisk kraft, så istedenfor har Schlumberger designet en hydraulisk kraftenhet som kan plasseres nedenfor traktorene og forsyne mekaniske verktøy med hydraulisk energi. Enheten heter Mirage og har kun denne ene funksjonen som kraftenhet. Schlumberger holder også på å utvikle egne mekaniske verktøy.

TuffTRAC Configurations		
		Two drive sections
Length: 14.53 ft [4.43 m]	Weight: 240 lbm [109 kg]	Typical application: light loads, easy completions, 600-lbf [2,670-N] push
		Three drive sections
Length: 17.42 ft [5.31 m]	Weight: 295 lbm [134 kg]	Typical application: medium loads, easy completions, 900-lbf [4,000-N] push
		Four drive sections
Length: 20.30 ft [6.19 m]	Weight: 348 lbm [158 kg]	Typical application: medium to heavy loads, easy completions, 1,200-lbf [5,340-N] push
		Four drive sections with tandem sub
Length: 25.20 ft [7.68 m]	Weight: 390 lbm [177 kg]	Typical application: medium to heavy loads, difficult completions, 1,200-lbf [5,340-N] push
		Six drive sections with tandem sub
Length: 33.00 ft [10.06 m]	Weight: 500 lbm [227 kg]	Typical application: heavy loads, difficult completions, 1,800-lbf [8,000-N] push

Figur 60: TuffTRAC konfigurasjoner [53]

Alle konfigurasjoner av TuffTrac kan nå toppfarten på 3200 ft/h (975 m/h), men her ligger det begrensinger på hvor mye kabelen tåler. Traktoren tåler en maks temperatur i brønnen på 347 °F eller 175 °C. Maks trykk i brønnen er 20 000 Psi eller 138 MPa.



Figur 61: TuffTRAC [53]

Schlumbergers brønntraktor har følgende fordeler:

- Korteste traktoren tilgjengelig

- Modulbasert
- Lite følsom for vanskelige brønn tilstander, robust
- Drivseksjoner kan legges til ved behov
- Fail-safe system som automatisk vil lukke armene dersom traktoren mister kraften
- ”Traction control” system
- Kan kjøres i revers
- ”One tool” design gjør at traktoren kan kjøres i mange forskjellige brønner med ulike indre diametre og brønntilstander
- Integrerte sikkerhetssystemer

Arbeidsoperasjoner

- Perforering
- Setting av plugger
- Produksjons logging
- ABC* tjenester (”Analysis Behind Casing”)
- Sement og korrosjons evalueringer
- Mekanisk intervensjon

2.4.2 "MaxTrac" [54]

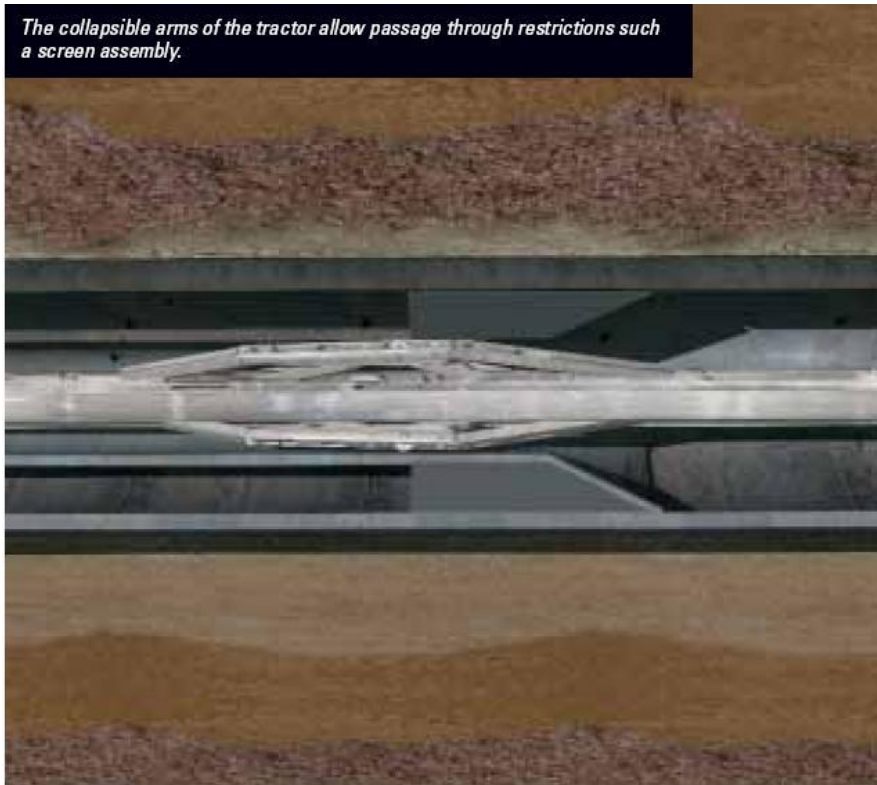
"Production Services Tractor System"

"MaxTrac" brønntraktør er et verktøy for transportering av utstyr i horisontale brønner. Den har muligheten til å operere i brønner med eller uten casing. Risikoen for å kunne sette seg fast med denne traktoren minsker kraftig ved hjelp av evnen til å utføre logging på vei ned i brønnen mens traktoren kjøres. Slik kan eventuelle farer oppdages før traktoren kjører seg fast.



Figur 62: "MaxTrac" [54]

Hovedfordelen med "MaxTrac" er selve fremdriftsmåten. I forhold til konvensjonelle brønntraktører som går på hjul er "MaxTrac" utstyrt med PSTT ("Production Services Tractor Tool") sonder (Figur 62). Minimum to stk av disse må kjøres, men i vanskelige brønner kan opptil 4 stk monteres for ekstra trekraft. Hver PSTT har 3 armer som sikrer 360o kontakt med brønnen. Hver enkelt arm har en fjærbelastet kam som vil gripe mot brønnen. Når traktoren beveger seg bruker den sonden til å låse seg fast og prøver å bevege denne bakover. Siden denne står fast resulterer det i at verktøystrengen beveger seg fremover. Denne operasjonen er synkronisert med de andre sondene. Altså når en sonde står fast og sørger for framdriften vil den neste slippe taket og la seg bli ført fremover på verktøystrengen. Deretter blir operasjonen gjentatt, bare at nå slipper den andre sonden mens den som nettopp har beveget seg griper tak. Slik fungerer fremdriftsmåten på traktoren og vil gi en konstant bevegelse fremover i brønnen. Siden traktoren ikke går på hjul vil den være mye mindre påvirket av "side pockets" og andre endringer i brønnens indre diameter. Armene er kollapsbare slik at dersom det kommer en innsnevring i brønnen vil armene på en sonde folde seg sammen, og gi muligheten for at verktøystrengen fortsatt har fremdrift gjennom hindringen (Figur 63). Slik blir verktøyet mindre følsomt for "scale" og løsmasser nede i brønnen enn andre konvensjonelle systemer. I tillegg kan "MaxTrac" bevege seg i brønner med indre diameter fra 2,4"- 9,625" (6,096 cm – 24,45 cm).



Figur 63: "MaxTRAC" kollapsbare armer [54]

Hindringer ned til 2,21" (5,613 cm) kan passeres uten å skifte ut komponenter og gripesystemet er utviklet for å minimalisere skader på brønnen, spesielt ved åpne hull (Figur 64). I likhet med "TuffTrac" reduseres belastningen på hjelpesystemer som følge av høye virkningsgrader og traktoren kan opereres uten nødvendige nedkjølingsstopp. "MaxTrac" inneholder de samme integrerte sikkerhetsfunksjonene som TuffTrac, men trenger ingen spesialisert wireline kabel ettersom den kjøres på DC monokabel, dette forenkler opprigging.



Figur 64: "MaxTRAC" gripesystem [54]

"MaxTRAC" har en virkningsgrad på 45%. Den begrensende faktoren på effekten til traktoren er kabelen. Traktoren kjøres på maks 800-900 V DC med strøm på < 1A. I likhet med TuffTRAC har den ingen mulighet for å forsyne andre mekaniske verktøy med hydraulisk kraft så denne er også avhengig av Mirage når eventuelle mekaniske verktøy skal brukes.

Fordeler med MaxTrac:

- Innhenter mer nøyaktige data ved logging også på vei ned i brønnen
- Reduserer risikoprofilen for operasjoner ved muligheten til å se foran seg
- "One tool" design, kan tilpasses en rekke brønner uten utskifting av komponenter
- Innovativt fremdriftssystem, minimaliserer kontakt med brønnen
- Robust, lite følsomt for tilstander nede i brønnen

Ulemper med MaxTrac

- Systemet med PSTT sonder har en maks hastighet på 152 m/h ved den høyeste belastningen.

Arbeidsoperasjoner:

- Perforering
- Setting av plugger
- Produksjons logging
- ABC* tjenester ("Analysis Behind Casing")
- Sement og korrosjons evalueringer
- Logging i "åpne" kompletteringer
- Rør gjenfinning

2.5 Aker Well Service utstyr [55]

2.5.1 "PowerTrac Advance" brønntraktor [56]

Aker Well Service har flere forskjellige brønntraktorer som er tilpasset spesifikke brønntilstander. Følgende brønntraktorer er nevnt.

- PowerTrac Advance 218
- PowerTrac Advance 318
- PowerTrac Advance 318 XR



Figur 65: "PowerTrac Advance" 218 [56]



Figur 66: "PowerTrac Advance" 318 [56]

Alle traktorene kjøres på elektrisk wireline og er bygget for å dra verktøy gjennom brønner. Designet er utviklet for å gi kompatibilitet med de fleste leverandører av elektriske wireline kabler, slik at ingen spesiell kabel trengs.

En DC drevet hydraulikkpumpe omformer den elektriske energien til hydraulisk energi som kan utnyttes av hydrauliske motorer og sylindere i drivmekanismen. De kan kobles i tandem for å øke trekraften og armene er regulerbare for å gi traktoren mulighet til å operere i brønner med varierende indre diameter, traktoren kan utføre perforeringsoppgaver og er bygget for å tåle støt. Hovedforskjellen mellom traktorene er diameteren og lengden. Alle kan monteres med utstyr som gjør det mulig å utføre logging av trykk og temperatur mens traktoren kjøres.

Traktoren er kompatibel med tredjeparters verktøy. I tillegg kan alle versjonene fraktes med helikopter for rask mobilisering.

2.5.2 Aker Well Service mekaniske verktøy

- "PowerTrac Stroker"
- "PowerTrac Anchoring Tool"
- "Modified Kick Over Tool"
- "Hydraulic Shifting Tool"

- ”PowerTrac Jar”
- ”PowerTrac Cone Crusher”
- ”PowerTrac HoleOpener”
- ”PowerTrac DebrisCollector”
- ”PowerTrac Brush”
- ”Downhole Electric Cutting Tool” – DECT
- ”PowerTrac Axial Hone”
- ”PowerTrac Axial TwinHone”
- ”PowerTrac Driller 318”
- ”PowerTrac SandCatcher”
- ”PowerTrac Orientation Sub”
- ”PowerTrac String Shot Sub”
- ”PowerTrac Dynamics Controller”
- ”Addressable Release Tool”
- ”Multi-conductor Release Tool”
- ”PowerTrac Release Sub System”
- ”Tension and Compression Monitor”

”PowerTrac Stroker” [57]

Dette er et ”stroker” verktøy som forankrer seg innvendig i brønnen og som gjør det mulig å påføre krefter for å utføre forskjellige mekaniske arbeidsoperasjoner. Forankringen vil automatisk slippe dersom verktøyet skulle miste krafttilførselen, slik at verktøyet ikke uønsket kan sette seg fast i brønnen. ”PowerTrac Stroker” kan beveges gjentatte ganger i begge retninger noe som gir muligheten til å både åpne og lukke flere ”Sliding sleeves” på samme tur. Apparatet som utfører åpning/lukking av ”Sliding sleeves” er tilpasset alle kjente ”Sliding sleeve” profiler. Ved å sette på større gripeplater på forankringsmekanismen kan verktøyet operere i brønner med større indre diameter uten at verktøystørrelsen øker.



Figur 67: ”PowerTrac Stroker” [57]

Arbeidsoperasjoner som kan utføres med ”PowerTrac Stroker”:

- Åpning og lukking av ”Sliding sleeves”
- Setting og henting av gass løft ventiler
- Setting og henting av plugg

”PowerTrac Anchoring Tool” [58]

Dette er et forankringsverktøy som brukes for å sette oppblåsbare ”packere” eller andre applikasjoner. Oppankringskraften er proporsjonal med belastningen på verktøyet.



Figur 68: ”PowerTrac Anchoring Tool” [58]

”Modified Kick Over Tool” [59]

”Modified Kick Over Tool” er et verktøy som kan brukes i kombinasjon ”med PowerTrac Stroker” for å sette/hente f. eks gass løft ventiler.



Figur 69: ”Modified Kick Over Tool” [59]

”Hydraulic Shifting Tool” [60]

Dette er et hydraulisk operert åpne/lukke verktøy som brukes i kombinasjon med ”PowerTrac Stroker”. Dette er enheten som griper tak i profilen til ”Sliding sleeves” og foretar åpningen/lukkingen. Verktøyet er designet for å kunne operere i begge retninger og kan dermed åpne og lukke flere ”Sliding sleeves” på samme tur. Verktøyet er fail-safe.



Figur 70: ”Hydraulic Shifting Tool” [60]

”PowerTrac Jar” [61]

Verktøyet gir kontrollerbare og nøyaktige anslagskrefter i begge retninger. ”PowerTrac Jar” gir muligheten for å utføre flere forskjellige arbeidsoperasjoner, henting/setting av pluggar, åpning/lukking av sliding sleeves, fiskeoperasjoner og henting/setting av flow-control utstyr. Maksimum anslagskraft er 186,8 kN.



Figur 71: ”PowerTrac Jar” [61]

”PowerTrac Cone Crusher” [62]

Verktøyet er designet for å fjerne ”Scale” og har utskiftbare bitt hvor størrelse og utforming kan endres. ”PowerTrac Cone Crusher” opereres sammen med ”PowerTrac Advance”.

Turtallet på borekronen kan reguleres og overvåkes i nåtid for å optimalisere boringen.



Figur 72: ”PowerTrac Cone Crusher” [62]

”PowerTrac HoleOpener” [63]

Dette verktøyet brukes sammen med ”PowerTrac Cone Crusher”. ”PowerTrac Hole Opener” sentrerer milling utstyret og sørger for et rettere og mer uniformt hull. Denne har også utskiftbare bitt hvor størrelse og utforming kan endres.



Figur 73: ”PowerTrac HoleOpener” [63]

”PowerTrac DebrisCollector” [64]

Verktøyet er utviklet for å fjerne uønskede partikler fra brønnen. ”PowerTrac DebrisCollector” brukes i sammenheng med ”Cone Crusher”. ”DebrisCollector” plasseres rett bak ”Cone Crusher” og skaper en sugeeffekt ved hjelp av skruen som roterer. Dette muliggjør milling uten noe form for injeksjon eller ”Flow”. Massen blir lagret i oppsamlingsrøret. Nåtids data om turtall gir mulighet for å optimalisere boringen og effektivt kontroll av prosessen.



Figur 74: ”PowerTrac DebrisCollector” [64]

”PowerTrac Brush” [65]

Dette verktøyet brukes i sammenheng med ”PowerTrac Advance”, og brukes for å fjerne ”Scale” og rengjøre tetninger og ”Nipple” profiler. Diameteren til verktøyet og lengden på børstene kan reguleres.



Figur 75: ”PowerTrac Brush” [65]

”Downhole Electric Cutting Tool” – DECT [66]

DECT er et elektrisk rør-kutteverktøy. Verktøyet krever ingen radiotaushet mens det opereres og kan fraktes med helikopter for rask utplassering. Kraft, kuttetøy og progresjon kan overvåkes fra overflaten. Kutteoperasjonen kan gjøres på én tur ned i brønnen og i tillegg kan det gjøres flere kutt per tur. Når operasjonen skal utføres anbefales 10 % eller nøytral trekraft på røret som skal kuttes.



Figur 76: ”Downhole Electric Cutting Tool” [66]

”PowerTrac Axial Hone” [67]

”Axial Hone” er et honeverktøy som brukes i sammenheng med ”PowerTrac Advance”. Verktøyet har flere bruksområder, f.eks; gjenopprette skadede DHSV-tetningsseter eller forberede et område for pluggsetting. Diameteren til verktøyet er avhengig av diameteren til området som skal hones. Verktøyet er utviklet for å ikke kunne kiles og sette seg fast nede i brønnen.



Figur 77: ”PowerTrac Axial Hone” [67]

”PowerTrac Axial TwinHone” [68]

Verktøyet har samme bruksområdet som Axial Hone. Forskjellen er at det er montert to ”honepartier”.



Figur 78: “PowerTrac Axial Twinhone” [68]

”PowerTrac Driller 318” [69]

Dette er et boreverktøy som er laget for å fjerne plugger, fjerne gass plugger, bore gjennom ventiler og maskinere tetningsseter. Verktøyet har utskiftbart bitt som kan tilpasses hver enkelt jobb. En hydraulisk enhet som kan skyves ut 200mm gir mulighet for justerbar kraft på bittet. I tillegg effektiviseres operasjonen med nåtids turtallsregistrering ved overflaten.



Figur 79: “PowerTrac Driller 318” [69]

”PowerTrac SandCatcher” [70]

Verktøyet samler opp sand i horisontale/avviks brønner. Verktøyet startes automatisk dersom det møter på en hindring og vil samle opp sand ved hjelp av en roterende skrue. Ny og forbedret design gjør at den kan samle opp mer sand pr. meter enn noe annet verktøy på markedet.



Figur 80: ”PowerTrac SandCatcher” [70]

”PowerTrac Orientation Sub” [71]

”Orientation Sub” eliminerer behovet for traktorer i tandem når ”Side pockets” skal passeres i brønnen. Verktøyet er ”fail safe” slik at det løser ut dersom det setter seg fast nede i brønnen. Fordeler ved bruk av dette verktøyet er at en sparer plass på verktøystrengen og at det hjelper til med orienteringen av traktoren. Dette trengs dersom en mister kontakten med ett eller flere av drivhjulene, slik at traktoren må roteres for å få kontakt igjen.



Figur 81: ”PowerTrac Orientation Sub” [71]

”PowerTrac String Shot Sub” [72]

”String Shot Sub” blir brukt til rengjøring av ”Scale” rundt ventiler som befinner seg i ”Side pocket mandrel”.



Figur 82: ”PowerTrac String Shot Sub” [72]

”Instruments Dynamics Controller” [73]

”Instruments Dynamics Controller” er et friksjonsverktøy designet for å låse fast verktøystrengen i en gitt posisjon ved hjelp av armer som spres ut. Dette muliggjør kjøring av brønntraktor i ”oppoverbakke, logging i brønner med høye strømningsrater, setting av pluggen i krysstrømmer og balansert perforering. Låsemekanismen er designet for å ”svikte” dersom problemer skulle oppstå, slik at verktøyet ikke skal kunne stå fast i brønnen.



Figur 83: ”Instruments Dynamics Controller” [73]

”Addressable Release Tool” [74]

Dette er et verktøy som gir mulighet for kontrollert å løse ut hele eller deler av verktøystrengen dersom den skulle sette seg fast. Dette betyr at svake punkt i verktøystrengen kan erstattes av utløsbare punkter for å øke den operasjonelle sikkerheten. Hvilket nivå verktøyet skal løses ut på kan kontrolleres fra overflaten og opptil 7 ”Release Tool” kan integreres i en verktøystreng. Når verktøyet har løst ut gir det en 1 3/16" profil som er kompatibel med fiskeoperasjoner.



Figur 84: ”Addressable Release Tool” [74]

”Multi-conductor Release Tool” [75]

Denne har samme bruksområdet som ”Addressable Release Tool”, men her finnes det flere elektriske ledere gjennom verktøyet som gir kompatibilitet med loggeverktøy, og mer kompliserte verktøystrenger. Verktøyet tåler perforeringsoppgaver og gir en 2 3/8" profil kompatibel med fiskeoperasjoner.



Figur 85: ”Multi-conductor Release Tool” [75]

”PowerTrac Release Sub System” [76]

Dette verktøyet brukes for å øke nyttelasten til wireline operasjoner. ”Release Sub System” erstatter det svake punktet ved kabelhodet og har muligheten for å løse ut og gi en 1 3/8" profil for fising. Utløsningsmekanismen trenger ikke signal fra overflaten men er programmerbar mhp. temperatur, trykk og/eller tid. Verktøyet har innebygget batteri som leverer energien som trengs for å løse ut. Flere ”Release Sub System” kan brukes på samme verktøystreng.



Figur 86: ”PowerTrac Release Sub System” [76]

”Tension and Compression Monitor” [77]

Dette er to uavhengige måleapparater som registrerer trykk og strekkrefter i verktøystrengen. Målingene kan leses av i nåtid på overflaten mens traktoren kjøres for å gi bedre forståelse av kreftene som virker både på kabelhodet og under traktoren.



Figur 87: ”Tension and Compression Monitor” [77]

2.6 Sondex utstyr [78]

2.6.1 "Modular Downhole Tractor" (MDT)

"Modular Downhole Tractor" (Figur 88) er en elektrisk traktor fra Sondex som blir brukt av flere firmaer. Traktoren er modulbasert og får kraften fra en DC motor med en påstått virkningsgrad på 97 %. Elektromotoren er koblet til drivhjulene via en sentrifugal clutch og traktoren har mulighet for å kjøre i begge retninger.

Med et modulbasert system kan det legges til drivseksjoner etter behov. Hver drivseksjon har 2 hjulsett som er rotert 90° i forhold til hverandre. Armene på traktoren justeres automatisk for å gi mest mulig kontakt med brønnveggen. Normalkraften (N) som armene presser med er proporsjonal med belastningen traktoren utsettes for, slik at friksjonskraften (F) i følge; $F = N \cdot \mu$ hvor μ er friksjonskoeffisienten, hele tiden er tilstrekkelig stor slik at hjulene ikke spinner. Funksjonen til den proporsjonale reguleringen av normalkraften er at traktoren til enhver tid skal ha best mulig feste uten å måtte utføre unødvendig arbeid. Men dersom det er ønskelig kan systemet med regulerbar kraft overstyres.

Elektronikk seksjonen blir plassert i en beholder øverst og inneholder både krafttilførsel og telemetri kort. Alle signaler fra brønntraktoren eller eksterne sensorer blir komprimert i traktoren før de sendes til overflaten. Dette gir personellet mulighet for å overvåke flere parametre i nåtid. Integret i elektronikken er det en programmerbar funksjon som kan isolere traktoren fra verktøyet under loggeoperasjoner, funksjonen styres fra overflaten.

For å forhindre at brønntraktoren setter seg fast, åpner drivhjulsarmene kun når energi blir tilført fra elektromotoren, armene vil lukke seg dersom energien uteblir. Ved komplekse kompletteringer kan armene skiftes ut for å tilpasse traktoren.

MDT har 4 regulerbare sentraliseringsarmer med lav rullestand for å unngå unødvendig friksjon. CCL (For definisjoner se Vedlegg C) og spenningsregistrering gir nøyaktig informasjon om dybden i brønnen og eventuell ekstra vekt forårsaket av vinsjen.



Figur 88: Sondex – "Modular Downhole Tractor" [78]

"Modular Downhole Tractor" har følgende fordeler:

- Automatisk selvjusterende "traction control"
- Kan kjøres både opp og ned i brønnen
- DC krafttilførsel
- Nåtids logging av CCL, Head Tension, Belastning på traktoren, fart og posisjonen til armene
- Modulbaserte drivseksjoner
- Kan transporteres med helikopter

2.7 Analyse og sammenligning av traktorene

Welltec, Aker Well Service og Sondex har flere brønntraktorer som kan konfigureres til å passe spesifikke brønner, parametere som spiller inn på konfigurasjonene er;

- Brønnlengde
- Indre diameter
- Nødvendig trekkraft
- Åpen eller lukket komplettering

Schlumberger har to traktorer som dekker hele spekteret av bruksområder.

”TuffTrac” er designet for kompletteringer med casing og har stor fleksibilitet med hensyn på hvilke brønner den kan operere i. Dette kan være en fordel siden den samme traktoren kan brukes i alle brønner uten behov for utskifting av komponenter.

”MaxTrac” er laget for både lukkede og åpne kompletteringer og har en spesiell fremdriftsmåte. Dette kommer ikke frem i tabellen, men det fremkommer hvilke egenskaper den har i forhold til de andre ”konvensjonelle” brønntraktorene som går på hjul.

Welltec har to konfigurasjoner mhp. størrelse for hver enkelt traktor.

Konfigurasjonene er ”Restriksjoner” og ”Rekkevidde”. I ”Restriksjoner” vil traktoren konfigureres for å kjøre gjennom brønner som kan ha hindringer/innsnevring. I

”Rekkevidde” vil traktoren konfigureres for å kjøre i brønner med størst mulig indre diameter.

Welltec og Schlumberger oppgir to konfigurasjoner for fremdriften;

- Kraftkonfigurasjon, for å kunne dra med seg mest mulig last og gjøre tunge operasjoner. I denne konfigurasjonen vil traktoren ha lav hastighet
- Fartkonfigurasjon, for å få størst mulig fart. I denne konfigurasjonen vil traktoren ha lite kraft.

Aker Well Service og Sondex oppgir ingen informasjon om slike konfigurasjoner, men de har mest sannsynlig også mulighet for å gjøre det.

Alle traktorene har modulbaserte drivseksjoner. Dette betyr at faktorer som vekt og lengde er sterkt avhengige av konfigurasjonene. Dersom traktoren skal være kraftig nok til å gjøre tunge operasjoner må det legges til flere drivseksjoner. Dermed vil vekten og lengden øke fra den opprinnelige.

Informasjon om spenning og strøm som traktorene opererer ved er kun oppgitt av Sondex. Sondex oppgir disse tallene;

- 660VDC med 600mA gjennomsnittlig opereringsstrøm
- 660VDC med 2A maks

I tabellen på side 84 (se Tabell 1: Sammenligning av traktorer) er det en sammenligning av de ulike brønntraktorene, her er det lagt til en egen kolonne for effektforbruk, hvor det gis et bilde av effektforbruket for fremdrift av traktoren. Ser ut fra enhetsberegning at utgående mekanisk effekt er:

(1)

$$W = \frac{J}{s} = \frac{N \cdot m}{s} = \frac{kg \cdot m^2}{s^3} = kg \cdot \frac{m}{s} \cdot \frac{m}{s^2} \Rightarrow P = F \cdot v$$

Et eksempel på dette fra Sondex er:

(2)

$$P = 272 \text{ kg} \cdot \frac{549 \frac{\text{m}}{\text{h}}}{60 \cdot 60 \frac{\text{s}}{\text{h}}} \cdot \frac{9,81 \text{ m}}{\text{s}^2} = \underline{\underline{406,9 \text{ W}}}$$

Dette er et uttrykk for effektforbruket til brønntraktoren ved de representative belastningene. Det kan leses av i tabellen at det er der farten er høyest hvor også effektforbruket er høyest. Unntaket her er ved Schlumbergers ”TuffTrac” der det er påstått at alle konfigurasjoner av traktoren vil kunne nå toppfarten på 975 m/h. Kvalitetssikring av disse utregningene er vanskelig på grunn av manglende informasjon. Men opplysningene fra Sondex kan brukes til å sammenligne utregningene for å få en viss pekepinn på hvor god metoden er.

(3)

$$P = U \cdot I$$

(3) brukes til å regne ut inngående elektrisk effekt. Sondex traktoren får følgende verdi:

(4)

$$P = 660 \text{ V} \cdot 2 \text{ A} = \underline{\underline{1320 \text{ W}}}$$

Sammenlignes (4) med utgående mekanisk effekt resulterer dette i en virkningsgrad på:

(5)

$$\frac{1320 \text{ W}}{406,9 \text{ W}} = 0,3082 \Rightarrow \underline{\underline{30,8 \%}}$$

Virkningsgraden i (5) er den totale virkningsgraden for traktoren og kan ses på som en realistisk virkningsgrad, dette kan bety at metoden er brukbar for å sammenligne traktorene dersom det forutsettes at alle har samme virkningsgrad.

Det som hadde vært mest aktuelt ville vært en utregning for maksimalt effektforbruk, men siden opplysningen kun gis av Sondex blir dette vanskelig.

Welltec har også brønntraktorer for bruk sammen med kveilerør. Oppsettet i tabellen er helt likt som ved elektrisk wireline bare at det er lagt til to kolonner. Den ene er en strømningsmengde kolonne ved den aktuelle belastningen som er oppgitt, og en kolonne for maksimal strømningsmengde. Her er effektforbruket veldig høyt i forhold til de andre traktorene, men den tilgjengelige belastningen er også veldig høy selv ved høy fart, dermed vil effektforbruket også bli høyt.

Brenntraktorer: Elektrisk Wireline	Ytre diameter		Lengde		Vekt		Min. ID brenn - Max.ID brenn		Max. Trykk		Max. Temp.		Trekraft vs Fart		Effektforbruk				
	in	cm	ft	m	lbs	N	Restriksjoner konfig.	in	cm	psi	Bar	°F	°C	Max Kraft konfig.	Max. Fart konfig.	Max kraft konfig.	Max. Fart konfig.		
Welltec:																			
218 XR	2 1/8	5.40	17.5	5.334	175	778.55	2.19 - 8.4	5.56 - 21.34	2.8 - 9.2	7.11 - 23.37	20 000	1379	400	204.4	1000 lbs, 1200 ft/h	600 lbs, 4000 ft/h	2668 N, 1219 m/h	452.4	903.5
218 Basic	2 1/8	5.40	16.4	4.877	175	778.55	2.19 - 6.2	5.56 - 15.75	2.7 - 6.6	6.86 - 16.76	20 000	1379	400	204.4	800 lbs, 1200 ft/h	400 lbs, 3600 ft/h	1776 N, 1097 m/h	362	541.1
218 OH	2 1/8	5.40	17.5	5.334	175	778.55	2.19 - 8.4	5.56 - 21.34	2.8 - 9.2	7.11 - 23.37	20 000	1379	400	204.4	1000 lbs, 1200 ft/h	600 lbs, 4000 ft/h	2668 N, 1219 m/h	452.4	903.5
318 Basic	3 1/8	7.94	18	5.486	365	1623.8	3.4 - 7.4	8.64 - 18.80	5.2 - 8.8	13.20 - 22.35	25 000	1723.7	400	204.4	1800 lbs, 1200 ft/h	600 lbs, 3600 ft/h	2668 N, 1097 m/h	814.3	813.1
318 XR	3 1/8	7.94	19	5.791	409	1819.6	3.4 - 9.6	8.64 - 24.38	4.2 - 12.6	10.67 - 32.00	25 000	1723.7	400	204.4	2400 lbs, 1200 ft/h	800 lbs, 5000 ft/h	3561 N, 1524 m/h	1085.7	1507.5
318 OH	3 1/8	7.94	19	5.791	409	1819.6	3.4 - 9.6	8.64 - 24.38	4.2 - 12.6	10.67 - 32.00	25 000	1723.7	400	204.4	2400 lbs, 1200 ft/h	600 lbs, 5000 ft/h	2668 N, 1524 m/h	1085.7	1129.6
Schlumberger																			
TuffTRAC	3 1/8	7.94	14.53	4.429	295	1314.5	3.4 - 10.6		8.6 - 26.7		20 000	1379	347	175	1799 lbs, 3200 ft/h	597 lbs, 3200 ft/h	2659 N, 975 m/h	2168	720
MaxTRAC	2 1/8	5.40	32	9.754	290	1285.1	2.375 - 9.625	6.03 - 24.45		15 000	1034.2	302	150	1000 lbs, 500 ft/h	300 lbs, 2500 ft/h	1334 N, 762 m/h	187.6	282.4	
Aker Well Service																			
218	2 1/8	5.40	12.95	3.947	110	490.5	2.4 - 7.5		6.1 - 19.05		15 000	1034.2	350	177	525 lbs, 3900 ft/h	2335 N, 1200 m/h		778.3	
318	3 1/3	8.51	14.23	4.337	244	1088.9	3.4 - 10.2		9.64 - 25.9		15 000	1034.2	350	177	2000 lbs, 3900 ft/h	8829 N, 290 m/h		2943	
318 XR	2 1/8	5.40	17.48	5.328	306.8	1369.1	7.7 - 13.92		19.56 - 35.36		15 000	1034	350	177	2000 lbs, 3600 ft/h	8829 - 1080 m/h		2648.7	
Sondex																			
MDT001	2 1/8	5.40	24.5	7.468	190	845.28	4.5 - 9.625		11.43 - 24.5		15 000	1034.2	302	150	600 lbs, 1800 ft/h	2668 N, 549 m/h		406.9	
MDT002	2 1/2	6.35	25.6	8.108	209	932.47	4.5 - 13.375		11.43 - 34		15 000	1034.2	302	150	600 lbs, 1800 ft/h	2668 - 549 m/h		406.9	
Coiled Tubing																			
Welltec																			
218 TV	2 1/8	5.40	18	5.486	150	669.24	2.19 - 8.4	5.56 - 21.34	2.8 - 9.2	7.11 - 23.37	25 000	1723.7	400	204	1700 lbs, 2700 ft/h	7564 N, 823 m/h	0.8 bbl/min	1729.1	
318 TF	3 1/8	7.94	22.7	6.919	450	2007.7	3.4 - 7.4	8.64 - 18.8	5.2 - 8.8	13.2 - 22.35	25 000	1723.7	400	204	3500/7000 lbs, 3600 ft/h*	15578/31147 N, 1097 m/h*	3.0 bbl/min	4747/9491	
318 TV	3 1/8	7.94	22.7	6.919	450	2007.7	3.4 - 9.6	8.64 - 24.4	3.7 - 12.6	9.4 - 32	25 000	1723.7	400	204	3500 lbs, 3600 ft/h	15578 N, 1097 m/h	3.0 bbl/min	4747	
XR= Extended Reach																			
OH= Open Hole																			
TV= Top Ventiled																			
TF= Through Flow																			

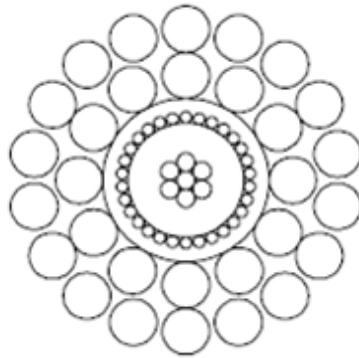
Tabell 1: Sammenligning av traktorer

Kap 3: Interface mellom brønntraktor og verktøy/loggeutstyr

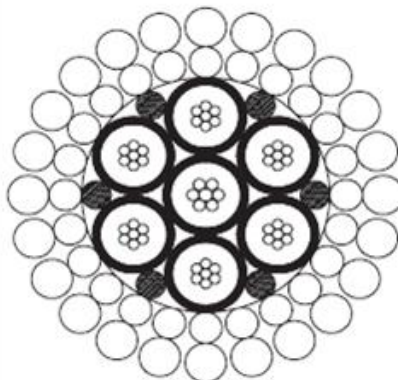
3.1 Mono kabel og Hepta kabel

Brønntraktorer blir oftest kjørt med elektrisk wireline. Det er i hovedsak 2 typer kabel;

- Mono kabel har 1 elektrisk leder og jording som går i stålvaieren (Figur 89: Monokabel)
- Hepta kabel har 7 elektriske ledere og mulighet for å lede strøm i stålvaieren (Figur 90: Hepta kabel)



Figur 89: Monokabel



Figur 90: Hepta kabel

De traktorene som er designet for mono kabel vil ha muligheten for å bli operert med begge typer kabel. Derimot vil traktorer designet for hepta kabel ikke kunne bli operert med mono kabel.

Enkelte verktøy kan være avhengig av hepta kabel for å kunne sende de forskjellige signalene. Det betyr at et verktøy som krever ”Logging while driving” og er avhengig av hepta kabel, kun kan kjøres i sammenheng med en mono kabel traktor. Grunnen til dette er at de elektriske lederne som et hepta kabel verktøy bruker er de samme som hepta kabel traktoren trenger for å kjøre.

3.2 Traktorenes interface

3.2.1 Sondex [79]

Sondex oppgir både hvilken strøm og hvilken spenning traktorene kjøres på, men de har utelatt å oppgi hvilken type kabel som kreves. Det som derimot står, er at topp og bunn tilkoblingen på traktoren henholdsvis er, GO type A – female og GO type A – male. Det opplyses også om at det finnes alternative tilkoblinger dersom det er ønskelig. Dette kan gi en pekepinn på at traktoren kan være kompatibel med tredjeparts verktøy i tillegg til operasjon med flere typer kabler.

3.2.2 Aker Well Service [80]

Aker Well Service har traktorer som kan kjøres på begge typer kabler. Traktorene er kompatibilitetstestet med mono og hepta kabler fra Aker Well Service, Baker Altas og Schlumberger. Traktorene er også kompatible med tredjeparts verktøy. Når det gjelder verktøy så blir det sendt signal ned til alle, men det er ikke alle verktøy som har behov for å sende signal opp igjen. Dessverre er all ytterligere informasjon om traktorer og verktøy konfidensiell. Det betyr at vi kun har informasjon fra brosjyrene tilgjengelig.

3.2.3 Welltec [81]

Welltec har også traktorer som kan kjøres på begge typer kabler. Også her er opplysninger om interface og detaljer konfidensiell. Derimot oppgir Welltec at alle de hydrauliske verktøyene har egen innebygget kraftenhet. Dette gir den fordelen at ikke alle trenger å kjøres i kombinasjon med brønntraktor. Men noen, f.eks Well Miller som er elektrisk drevet trenger brønntraktoren for å holde rotasjonsbevegelsen under kontroll, og hindre at den kan skade kableen.

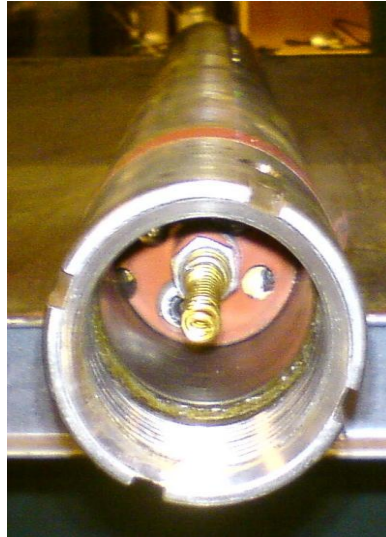
3.2.4 Schlumberger

Schlumberger har to traktorer pluss en som er under utvikling;

- MaxTrac som er designet for å gå på mono kabel, og dermed også hepta kabel.
- TuffTrac XTRA-A som er designet for å gå på hepta kabel.
- XTRA-B er under utvikling og er designet for å gå på mono kabel.



Figur 91: Monokabel connector (hun)



Figur 92: Monokabel connector (han)

Når det gjelder interface har Schlumberger muligheten for å levere alle mulige tilkoblinger for å gi best mulig fleksibilitet og brukervennlighet. Schlumberger oppgir at all telemetri i deres system er digitalt, men det finnes også enkelte funksjoner som er analoge. Et eksempel er signalet som CCL gir når den oppdager en "Casing collar".

Under kommer et bilde av 22pin connectoren (Figur 93) på toppen av "MaxTRAC" og en 31 pin connector (Figur 94) på et verktøy.



Figur 93: 22 pin connector



Figur 94: 31 pin connector

3.3 Verktøyenes Interface

Under kommer en tabell som viser interface mot verktøyene til de ulike leverandørene som er nevnt. Tabellen er delt i 3 deler fordelt på 3 sider. Bindestrek/minus betyr at informasjonen er hemmelighetsstemplett, mens OH betyr ”Open Hole”.

Welltec	Drift med monokabel traktor	Drift med Heptakabel Traktor	Drift med Wireline	Monokabel	Heptakabel
Well Stroker	Ja	Ja	Nei	Ja	Ja
Well Key	Ja	Ja	Nei	Ja	Ja
Well Cleaner	Ja	Ja	Nei	Ja	Ja
Well Miller	Ja	Ja	Nei	Ja	Ja
Welltec Release Device	Ja	Ja	Nei	Ja	Ja
Aker Well Service	Drift med monokabel traktor	Drift med Heptakabel Traktor	Drift med Wireline	Monokabel	Heptakabel
PowerTrac Stroker 212	Ja	Ja	Nei	Ja	Ja
PowerTrac Stroker 318	Ja	Ja	Nei	Ja	Ja
PowerTrac Anchoring Tool	Ja	Ja	Nei	Ja	Ja
Modified Kick Over Tool	Ja	Ja	Nei	Ja	Ja
Hydraulic Shifting Tool	Ja	Ja	Nei	Ja	Ja
PowerTrac Jar	Ja	Ja	Nei	Ja	Ja
PowerTrac Cone Crusher	Ja	Ja	Nei	Ja	Ja
PowerTrac Hole Opener	Ja	Ja	Nei	Ja	Ja
PowerTrac DebrisCollector	Ja	Ja	Nei	Ja	Ja
PowerTrac Brush	Ja	Ja	Nei	Ja	Ja
Downhole Electric Cutting Tool	Ja	Ja	Nei	Ja	Ja
PowerTrac Axial Hone	Ja	Ja	Nei	Ja	Ja
PowerTrac Axial TwinHone	Ja	Ja	Nei	Ja	Ja
PowerTrac Driller 318	Ja	Ja	Nei	Ja	Ja
PowerTrac SandCatcher	Ja	Ja	Nei	Ja	Ja
PowerTrac Orientation Sub	Ja	Ja	Nei	Ja	Ja
PowerTrac String Shot Sub	Ja	Ja	Nei	Ja	Ja
Instruments Dynamics Controller	Ja	Ja	Nei	Ja	Ja
Addresseable Release Tool	Ja	Ja	Nei	Ja	Ja
Multi-conductor Release Tool	Ja	Ja	Nei	Ja	Ja
PowerTrac Release Sub System	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Tension and Compression Monitor	Ja	Ja	Nei	Ja	Ja
Schlumberger	Drift med monokabel traktor	Drift med Heptakabel Traktor	Drift med Wireline	Monokabel	Heptakabel
Cased Hole Formation Porosity	Ja	Ja	Ja	-	-
Cased Hole Formation Resistivity	Ja	Ja	Ja	-	-
Cased Hole Dynamics Tester	Ja	Ja	Ja	-	-
Sonic Skanner	Ja	Ja	Ja	-	-
Reservoir Saturation Tool	Ja	Nei	Ja	-	-
Fullbore Formation Microlmager	Ja, men urealistisk i OH	Ja, men urealistisk i OH	Ja, men urealistisk i OH	-	-
Ultrasonic Borehole Imager	Ja, men urealistisk i OH	Ja, men urealistisk i OH	Ja, men urealistisk i OH	-	-
Oil-base Microlmager	Ja, men urealistisk i OH	Ja, men urealistisk i OH	Ja, men urealistisk i OH	-	-
Oil-base Dipmeter Tool	Ja, men urealistisk i OH	Ja, men urealistisk i OH	Ja, men urealistisk i OH	-	-
MR Skanner	Ja, men urealistisk i OH	Ja, men urealistisk i OH	Ja, men urealistisk i OH	-	-
Compensated Neutron Log	Ja, men urealistisk i OH	Ja, men urealistisk i OH	Ja, men urealistisk i OH	-	-
Litho Density Tool	Ja, men urealistisk i OH	Ja, men urealistisk i OH	Ja, men urealistisk i OH	-	-
EM Pipe Scanner	Ja	Nei	Ja	-	-
Isolation Scanner	Ja	Nei	Ja	-	-
Deep Look EM	Ja, men urealistisk i OH	Ja, men urealistisk i OH	Ja, men urealistisk i OH	-	-
Versatile Seismic Imager	Ja, men urealistisk i OH	Nei	Ja, men urealistisk i OH	-	-
Well Sand Detector	Ja	Nei	Ja	-	-
The Well Leak Detector	Ja	Nei	Ja	-	-
Sondex	Drift med monokabel traktor	Drift med Heptakabel Traktor	Drift med Wireline	Monokabel	Heptakabel
Platinum Resistance Termometer (PRT)	-	-	-	-	-
Quartz Pressure Single Sensor (QPS)	-	-	-	-	-
Produksjon Dual Caliper (PDC)	-	-	-	-	-
Cage Fullbore Flowmeter (CFBM)	-	-	-	-	-
Fluid Density Differential Pressure (FDD)	-	-	-	-	-
Enhanced Capacitance Water Hold-up Tool	-	-	-	-	-
Generelle Verktøyprinsipp	Drift med monokabel traktor	Drift med Heptakabel Traktor	Drift med Wireline	Monokabel	Heptakabel
Hydraulisk innvendig foringsrørkutter	Nei	Nei	Nei	Nei	Nei
Mekanisk innvendig kutter	Nei	Nei	Nei	Nei	Nei
Utvendig kutter	Nei	Nei	Nei	Nei	Nei
Skrotkurv (Boot basket)	Nei	Nei	Nei	Nei	Nei
Jetkurv (Jet basket)	Nei	Nei	Nei	Nei	Nei
Junk basket	Nei	Nei	Nei	Nei	Nei
Foringsrørslapp med blytetting (Casing Patch)	Nei	Nei	Nei	Nei	Nei
Støtstang (Jar) Hydraulisk	Nei	Nei	Nei	Nei	Nei
Støtstang (Jar) Mekanisk	Nei	Nei	Nei	Nei	Nei
Støtstangforsterker (Jar intensifier)	Nei	Nei	Nei	Nei	Nei
Nøkkelhullkost (Keyseat wiper)	Nei	Nei	Nei	Nei	Nei
Fiskemagnet	Nei	Nei	Ja	Ja hvis elektrisk magnet	Nei
Freser (Mills)	Nei	Nei	Nei	Nei	Nei
Overshot	Nei	Nei	Ja	Nei	Nei
Sikringsledd	Nei	Nei	Nei	Nei	Nei
Foringsrørskrape	Nei	Nei	Nei	Nei	Nei
Maring svivel og foringsrørspyd	Nei	Nei	Nei	Nei	Nei
Taper tap og Die collar	Nei	Nei	Nei	Nei	Nei

Tabell 2: Del 1, tabell for verktøyenes interface

Welltec	Drift med borestreng	Må få tilført hydraulisk kraft	Produserer hydraulisk kraft	Må få tilført elektrisk kraft
Well Stroker	Nei	Nei	Ja	Ja
Well Key	Nei	Nei	Ja	Ja
Well Cleaner	Nei	Nei	Nei	Ja
Well Miller	Nei	Nei	Nei	Ja
Welltec Release Device	Nei	-	-	-
Aker Well Service	Drift med borestreng	Må få tilført hydraulisk kraft	Produserer hydraulisk kraft	Må få tilført elektrisk kraft
PowerTrac Stroker 212	Nei	-	-	-
PowerTrac Stroker 318	Nei	-	-	-
PowerTrac Anchoring Tool	Nei	-	-	-
Modified Kick Over Tool	Nei	-	-	-
Hydraulic Shifting Tool	Nei	-	-	-
PowerTrac Jar	Nei	-	-	-
PowerTrac Cone Crusher	Nei	-	-	-
PowerTrac Hole Opener	Nei	-	-	-
PowerTrac DebrisCollector	Nei	-	-	-
PowerTrac Brush	Nei	-	-	-
Downhole Electric Cutting Tool	Nei	-	-	Ja
PowerTrac Axial Hone	Nei	-	-	-
PowerTrac Axial TwinHone	Nei	-	-	-
PowerTrac Driller 318	Nei	-	-	-
PowerTrac SandCatcher	Nei	-	-	-
PowerTrac Orientation Sub	Nei	-	-	-
PowerTrac String Shot Sub	Nei	-	-	-
Instruments Dynamics Controller	Nei	-	-	-
Addresseable Release Tool	Nei	-	-	-
Multi-conductor Release Tool	Nei	-	-	-
PowerTrac Release Sub System	Nei	-	-	Nei
Tension and Compression Monitor	Nei	-	-	-
Schlumberger	Drift med borestreng	Må få tilført hydraulisk kraft	Produserer hydraulisk kraft	Må få tilført elektrisk kraft
Cased Hole Formation Porosity	Ja, men ikke nødvendig	Nei	Nei	Ja
Cased Hole Formation Resistivity	Ja, men ikke nødvendig	-	Nei	-
Cased Hole Dynamics Tester	Ja, men ikke nødvendig	-	Nei	-
Sonic Skanner	Ja	-	Nei	-
Reservoir Saturation Tool	Ja, men ikke nødvendig	-	Nei	-
Fullbore Formation MicroImager	Ja	-	Nei	-
Ultrasonic Borehole Imager	Ja	-	Nei	-
Oil-base MicroImager	Ja	-	Nei	-
Oil-base Dipmeter Tool	Ja, men ikke nødvendig	-	Nei	-
MR Skanner	Ja	-	Nei	-
Compensated Neutron Log	Ja, men ikke nødvendig	-	Nei	-
Litho Density Tool	Ja, men ikke nødvendig	-	Nei	-
EM Pipe Scanner	Ja, men ikke nødvendig	-	Nei	-
Isolation Scanner	Ja, men ikke nødvendig	-	Nei	-
Deep Look EM	Ja	-	Nei	-
Versatile Seismic Imager	Ja	-	Nei	-
Well Sand Detector	Ja	-	Nei	-
The Well Leak Detector	Ja, men ikke nødvendig	-	Nei	-
Sondex	Drift med borestreng	Må få tilført hydraulisk kraft	Produserer hydraulisk kraft	Må få tilført elektrisk kraft
Platinum Resistance Termometer (PRT)	-	-	-	-
Quartz Pressure Single Sensor (QPS)	-	-	-	-
Produksjon Dual Caliper (PDC)	-	-	-	-
Cage Fullbore Flowmeter (CFBM)	-	-	-	-
Fluid Density Differential Pressure (FDD)	-	-	-	-
Enhanced Capacitance Water Hold-up Tool	-	-	-	-
Generelle Verktøyprinsipp	Drift med borestreng	Må få tilført hydraulisk kraft	Produserer hydraulisk kraft	Må få tilført elektrisk kraft
Hydraulisk innvendig foringsrørkutter	Ja	Ja	Nei	Nei
Mekanisk innvendig kutter	Ja	Nei	Nei	Nei
Utvendig kutter	Ja	Nei	Nei	Nei
Skrotkurv (Boot basket)	Ja	Ja	Nei	Nei
Jetkurv (Jet basket)	Ja	Ja	Nei	Nei
Junk basket	Ja	Ja	Nei	Nei
Foringsrørslapp med blytetning (Casing Patch)	Ja	Nei	Nei	Nei
Støtstang (Jar) Hydraulisk	Ja	Ja	Nei	Nei
Støtstang (Jar) Mekanisk	Ja	Nei	Nei	Nei
Støtstangforsterker (Jar intensifier)	Ja	Nei	Nei	Nei
Nøkkelhullkost (Keyseat wiper)	Ja	Nei	Nei	Nei
Fiskemagnet	Ja	Nei	Nei	Ja hvis elektrisk magnet
Freser (Mills)	Ja	Ja/Nei	Nei	Nei
Overshot	Ja	Nei	Nei	Nei
Sikringsledd	Ja	Nei	Nei	Nei
Foringsrørskrape	Ja	Nei	Nei	Nei
Maring svivel og foringsrørspyd	Ja	Nei	Nei	Nei
Tapet tap og Die collar	Ja	Nei	Nei	Nei

Tabell 3: Del 2, tabell for verktøyenes interface

Welltec	Må få tilført torsjonskraft	Må få tilført aksieffekt mekanisk kraft	Elektrisk feedthrough
Well Stroker	Nei	Nei	-
Well Key	Nei	Nei	-
Well Cleaner	Nei	Nei	-
Well Miller	Nei	Nei	-
Welltec Release Device	Nei	Nei	-
Aker Well Service	Må få tilført torsjonskraft	Må få tilført aksieffekt mekanisk kraft	Elektrisk feedthrough
PowerTrac Stroker 212	Nei	-	Nei
PowerTrac Stroker 318	Nei	-	Ja
PowerTrac Anchoring Tool	Nei	-	-
Modified Kick Over Tool	Nei	-	-
Hydraulic Shifting Tool	Nei	-	-
PowerTrac Jar	Nei	-	-
PowerTrac Cone Crusher	Nei	-	-
PowerTrac Hole Opener	Nei	-	-
PowerTrac DebrisCollector	Nei	-	-
PowerTrac Brush	Nei	-	-
Downhole Electric Cutting Tool	Nei	-	-
PowerTrac Axial Hone	Nei	-	-
PowerTrac Axial TwinHone	Nei	-	-
PowerTrac Driller 318	Nei	-	-
PowerTrac SandCatcher	Nei	-	-
PowerTrac Orientation Sub	Nei	-	-
PowerTrac String Shot Sub	Nei	-	-
Instruments Dynamics Controller	Nei	-	-
Addresseeable Release Tool	Nei	-	-
Multi-conductor Release Tool	Nei	-	-
PowerTrac Release Sub System	Nei	-	-
Tension and Compression Monitor	Nei	-	-
Schlumberger	Må få tilført torsjonskraft	Må få tilført aksieffekt mekanisk kraft	Elektrisk feedthrough
Cased Hole Formation Porosity	Nei	Nei	-
Cased Hole Formation Resistivity	Nei	Nei	-
Cased Hole Dynamics Tester	Nei	Nei	-
Sonic Skanner	Nei	Nei	-
Reservoir Saturation Tool	Nei	Nei	-
Fullbore Formation MicroImager	Nei	Nei	-
Ultrasonic Borehole Imager	Nei	Nei	-
Oil-base MicroImager	Nei	Nei	-
Oil-base Dipmeter Tool	Nei	Nei	-
MR Skanner	Nei	Nei	-
Compensated Neutron Log	Nei	Nei	-
Litho Density Tool	Nei	Nei	-
EM Pipe Scanner	Nei	Nei	-
Isolation Scanner	Nei	Nei	-
Deep Look EM	Nei	Nei	-
Versatile Seismic Imager	Nei	Nei	-
Well Sand Detector	Nei	Nei	-
The Well Leak Detector	Nei	Nei	-
Sondex	Må få tilført torsjonskraft	Må få tilført aksieffekt mekanisk kraft	Elektrisk feedthrough
Platinum Resistance Termometer (PRT)	-	-	-
Quartz Pressure Single Sensor (QPS)	-	-	-
Produksjon Dual Caliper (PDC)	-	-	-
Cage Fullbore Flowmeter (CFBM)	-	-	-
Fluid Density Differential Pressure (FDD)	-	-	-
Enhanced Capacitance Water Hold-up Tool	-	-	-
Generelle Verktøyprinsipp	Må få tilført torsjonskraft	Må få tilført aksieffekt mekanisk kraft	Elektrisk feedthrough
Hydraulisk innvendig foringsrørkutter	Nei	Nei	Nei
Mekanisk innvendig kutter	Ja	Ja	Nei
Utvendig kutter	Ja	Ja	Nei
Skrotkurv (Boot basket)	Nei	Nei	Nei
Jetkurv (Jet basket)	Nei	Nei	Nei
Junk basket	Ja	Nei	Nei
Foringsrørslapp med blytetning (Casing Patch)	Nei	Ja	Nei
Støtstang (Jar) Hydraulisk	Nei	Nei	Nei
Støtstang (Jar) Mekanisk	Nei	Ja	Nei
Støtstangforsterker (Jar intensifier)	Nei	Nei	Nei
Nøkkelhullkost (Keyseat wiper)	Ja	Nei	Nei
Fiskemagnet	Nei	Nei	Nei
Freser (Mills)	Ja/Nei	Nei	Nei
Overshot	Nei	Nei	Nei
Sikringsledd	Ja	Nei	Nei
Foringsrørskrape	Nei	Ja	Nei
Maring svivel og foringsrørspyd	Ja	Nei	Nei
Taper tap og Die collar	Ja	Nei	Nei

Tabell 4: Del 3, tabell for verktøyenes interface

Kap 4: Regelverk og standarder for konstruksjon og operasjon

4.1 Oversikt over kartlagte standarder og regelverk.

Standard tittel	Referanse nr.
Well Testing Equipment	Norsok: D-SR-007
System Requirements Well Intervention Equipment	Norsok: D-002
Materials Selection	Norsok: M-001
Temporary Equipment	Norsok: Z-015
Subsea Production Systems	Norsok: U-001
Material data sheets for structural steel	Norsok: M-120
Cast Structural Steel	Norsok: M-122
Well integrity in drilling and well operations	Norsok: D-010
Equipment/protective systems in potentially explosive atmospheres	ATEX 95, Directive 94/9/CE
Forskrift om trykkpåkjent utstyr	FOR 1999-06-09 nr 721
Iso standarder	Se Figur 95: Liste over ISO Standarder

Tabell 5: Oversiktstabell over kartlagte standarder og regelverk

4.2 Oversikt over relevante avsnitt og kapitler i de forskjellige standardene

4.2.1 Norsok Standard D-002: "System Requirements Well Intervention Equipment" [82]

Denne standarden skal medvirke til å optimalisere brønnintervensjonsfasiliteter og brønntjenester, med hensyn på operasjon, effektivitet, levetidskostnader og fastsette akseptable sikkerhetsnivåer. Av relevant informasjon for vår oppgave blir følgende avsnitt nevnt:

- 4 General requirements
 - 4.1 General

"The well intervention equipment shall be designed, built and equipped in compliance with applicable regulations and this NORSOK standard."

- 4.2 Design principles

"An overall objective for well activities shall be the requirement that no single failure shall entail a life-threatening situation for the involved personnel, or significant damage to material and the environment. This applies both to operational errors and to failure in connection with equipment used directly in operations, as well as equipment with auxiliary functions."

- 4.3 Design principles references and standards
 - Table 3 – Wireline
 - Table 4 – Snubbing Coiled Tubing and Wireline – General
 - Table 5 – Well Control Equipment
- 4.4.1 Verification
- 4.4.2 Testing requirements for new equipment
- 4.5 LCC and regularity
- 4.6 Process and ambient condition

"The well intervention equipment shall be selected and designed to operate under ambient conditions prevalent in the intended area of operation, and shall be resistant to well intervention and formation fluids."

- 4.7.2 Noise protection equipment
- 4.7.3 Material handling
- 4.9 Utility interfaces
- 4.10.1 Maintenance requirement

"Function testing of all components including all accessory equipment shall be performed prior to each job."

- 4.10.2 Testing requirements
- 5 Well intervention well control system
 - 5.1 Equipment configuration
 - 5.2 Equipment requirements
 - 5.2.1 General
 - 5.2.4 Stuffing box, grease injection head, hydraulic line wiper and
 - 5.2.5 Pipe stripper, slip, tubing, wireline shear blind, shear/seal, safety head rams and annular preventer requirements
 - 5.2.6 Riser, lubricator, tool catcher and chemical injection sub
 - 5.2.7 Piping and hook-up valves to well control system
 - 5.3 Control system
 - 5.3.1 General
 - 5.3.2 Function requirements for accumulator unit panels for primary and secondary well control functions
 - 5.3.3 Grease injection skid/hydraulic control skid for wireline
 - 5.3.4 Tertiary BOP control system (for safety head) for snubbing, coiled tubing and wireline
 - 5.3.5 Choke control system for snubbing, coiled tubing and wireline
- 8 Wireline equipment
 - 8.2.1 Wireline winch unit requirements

"The wireline winch unit shall have a minimum recommended drum capacity of 1,5 times expected operational depth or minimum 5 000 m (16 400 ft) and a minimum pulling capacity at top of drum flange as follows:

<i>Slickline:</i>	<i>2,7 mm (0,108 in); 3,2 mm (0,125 in) 80 % of breaking strength</i>
<i>Braided/electric cable:</i>	<i>4,8 mm (0,188 in); 5,6 mm (0,219 in) 80 % of breaking strength</i>
<i>Braided/electric cable:</i>	<i>7,9 mm (0,313 in); 11,9 mm (0,469 in); 12,7 mm (0,500 in) 47,1 kN (10 580 lbf)"</i>

- 8.13 Slick, braided and electrical line requirements

"The slick line, braided line and electric line shall have a periodic wire inspection, preventive maintenance program and be well conditions compatible.

Wire loaded to yield strength shall be replaced immediately.

Wire log with relevant data shall be kept."

- 8.14 Down hole tools requirements

"The following requirements apply:

- a) wireline tool string components;
 - fishing neck on all components;
 - well condition compatible;
 - there shall be fishing tools available on the location;
 - Rockwell HRC 30-36 on low alloyed steel.
- b) running and pulling tool components;
 - fishing neck on all components;

- well condition compatible;
 - Rockwell HRC 30-36 on low alloyed steel.
 - c) fishing tool components;
 - fishing neck on all components;
 - well condition compatible;
 - rated for the exposed loads;
 - Rockwell HRC 30-36 on low alloyed steel.
 - d) explosive tool components;
 - well condition compatible;
 - fishing tools shall be available on location;
 - pressure relief port for bleeding off trapped pressure;
 - firing system independent of radio silence.
 - e) logging tools components.
 - well conditions compatible;
 - fishing tools shall be available on location.”
- 9 Documentation
 - Annex D – Wireline Well Control System Rig Up (informative)

4.2.2 Norsok Standard D-SR-007: "Well Testing Systems" [83]

Denne standarden skal beskrive funksjonelle, ytelses og operasjonelle krav for brønntestingsutstyr og systemer. Innholdet som omhandler vår del av oppgaven er som følgende:

- 5 Functional requirements
 - 5.6 Process/ambient conditions

	<i>Standard eqt.</i>	<i>HPHT eqt.</i>
<i>Maximum reservoir pressure</i>	690 Bar	1035 Bar
<i>Maximum annulus downhole pressure</i>	1035 Bar	1379 Bar
<i>Maximum downhole temperature</i>	150°C	210°C
<i>Maximum wellhead temperature</i>	100°C	130°C (175°C for jack-up`s)
<i>Maximum operating temperature</i>	-20°C	-20°C
<i>H₂S Service</i>	Yes	Yes
<i>CO₂ Service</i>	Yes	Yes

All equipment shall be designed for offshore environment with corrosive salt containing atmosphere. 100 % relative humidity and surface temperature of -20 to 30°C.

- 5.7.2 Downhole test tools

"The equipment shall be designed to withstand loads and pressure downhole, including maximum applied annulus pressure in addition to the specified maximum working pressure for the tool. Contractor shall make sure that design load limits of the equipment are known to the operator and not exceeded during operation. Safety factors for tools employed shall be documented and made available upon request.

A bleed off function shall be provided wherever pressure may be trapped."

- 5.8 Maintenance requirements
 - Annex A – Service Data Sheets
 - Annex 1 – Drill Stem Test Tools System Requirement
 - Annex 2 – Landing String Equipment System Requirements
 - Annex 4 – Reservoir Information Data System Requirements

4.2.3 Norsok Standard M-001: "Materials Selection" [84]

Denne standarden tar for seg generelle prinsipper og gir en rettleiding til de ulike kravene for materialvalg og korrosjonsbeskyttelse. Innholdet som er relevant for vår oppgave er følgende avsnitt:

- 4.1 Philosophy

"The materials selection shall reflect the overall philosophy regarding design life time, cost profile (CAPEX/OPEX), inspection and maintenance philosophy, safety and environmental profile, failure risk evaluations and other specific project requirements."

- 4.3.2 Corrosivity evaluations in hydrocarbon systems

"Evaluation of corrosivity shall as minimum include

- *CO₂-content*
- *H₂S-content*
- *oxygen content and content of other oxidising agents*
- *operating temperature and pressure*
- *organic acids, pH,*
- *halide, metal ion and metal concentration,*
- *velocity, flow regime and sand production,*
- *biological activity,*
- *condensing conditions."*

- 4.3.3 External corrosion protection

- 5.2 Drilling equipment

- 5.3 Well completion

- 5.4 Structural materials

- 5.4.1 Steel

"Materials selection shall be in accordance with Norsok N-004. For Norwegian onshore use NS 3472 applies. Requirements to applicable steel grades are defined in Norsok material data sheets, Norsok M-120 and Norsok M-101. Cast and forged structural steel shall be as specified in Norsok M-122 and Norsok M-123, respectively"

- 5.6 Bolting materials for pressure equipment and structural use

- 5.6.1 General

- 5.6.2 Bolting materials for pressure equipment

- 6 Design limitations for candidate materials

- 6.1 General

- 6.2 Materials for structural purposes

- 6.3 Materials for pressure retaining purposes

- Table 6 – Metallic materials for pressure retaining purposes

- Table 7 – Guidelines for H₂S limits for generic CRA classes

- 6.3.4 Chloride induced stress corrosion cracking (CSCC)

- 7 Qualification of materials and manufacturers

"The selection of material for applications which may affect the operational safety and reliability level shall be made among the listed qualified materials."

Qualified materials shall fulfil the following requirements:

- the material is listed by the relevant design code for use within the stated design requirements;

- the material is standardised by recognised national and international standardisation bodies;

- the material is readily available in the market and stocked by relevant dealers;

- the material is readily weldable, if welding is relevant, and known by potential fabricators;
- the material has a past experience record for the applicable use, e.g. same type of component and dimensional range.”

4.2.4 Norsok Standard U-001: "Subsea Production Systems" [85]

Denne NORSOK standarden er basert på ISO 13628, "Petroleum and natural gas industries – Design and operation of subsea production systems". Og tar for seg generelt design av undersjøiske produksjonssystemer. Relevant for denne oppgaven er:

- **Kap 5.17 "Well intervention"**
 - **"5.17.1.2 Well completion/testing/killing/intervention/workover"**
 - *Equipment operational limitations during installation and retrieval shall be defined. Safety with respect to running offset from well location shall be assessed"*
 - **"5.17.2 Barriers"**
 - *During production activities at least two independent and tested barriers shall be available between reservoir and environment in order to prevent an unintentional flow from the well. The barriers shall be designed for re-establishment of a lost barrier. The position status of the barriers shall be known at all times. During normal production the X-mas tree, as a complete unit, is defined as one of the two barriers. The other barrier is normally the downhole safety valve"*

4.2.5 Norsok Standard Z- 015N: "Temporary equipment" [86]

Denne NORSOK-standard definerer de tekniske og sikkerhetsrelaterte minstekravene til midlertidig utstyr som brukes på innretninger på norsk kontinentalsokkel. Innhold i standarden som særskilt er relevant for denne oppgaven er:

- *Kap 4.3.7 Type U07: Brønnserviceutstyr*
- *Vedlegg F Monokabel*
 - *F2: Strøm- og spenningsbegrensninger*
 - ◆ *Vekselstrøm (AC) = 1000 V og 10 A*
 - ◆ *Likestrøm (DC) = 1500 V og 25 A*
 - *F4: Avvik fra forskrifter eller standarder og kompenserende tiltak*
 - ◆ *"Kabler skal utenpå felleskappen vanligvis ha beskyttelseskappe av ikke-metallisk materiale"*
 - ◆ *"Alle kabler i eksplosjonsfarlig område skal skjermes på minst én av følgende måter: a) en ikke-metallisk ugjennomtrengelig kappe i kombinasjon med metallomfletting eller annen metallkappe for detektering av jordfeil og som mekanisk beskyttelse"*
 - ◆ *"Tilbakeleder via stålstruktur eller skrog er ikke tillatt" Dersom et effektsystem med jordet nøytralt punkt brukes, skal det brukes et TN-S-system med adskilt nøytralleder (N) og beskyttelsesleder (PE) gjennom hele systemet. I et eksplosjonsfarlig område skal nøytralleder og beskyttelsesledere ikke koples sammen eller kombineres i en enkelt leder"*
 - ◆ *"Kabler og ledninger skal være av fabrikk og typer som er godkjent for bruk i skip og maritime innretninger" Kabler og ledninger skal være av fabrikk og typer som er godkjent for bruk i flyttbare og stasjonære innretninger til sjøs"*

- ◆ ”Kabler for fast forlegning og én-leder ledninger skal vanligvis være utført i samsvar med de til enhver tid gjeldende IEC-publikasjoner for skipskabler”
- ◆ ”Ledere skal bestå av ulegert eller metallisert glødet kobber”
- ◆ ”Minste tillatte ledertverrsnitt er 1,5 mm²”
- ◆ ”På kablers beskyttelseskappe skal det være merking som angir fabrikat, typebetegnelse, dimensjon og merkespenning”
- F5: Tiltak på installasjonsstedet (innretningen)
 - ◆ ”Kontroller at jording av systemet er utført på følgende måte: a) 70 mm² jordingskabel fra jordingsskinne på ”winch” og til dekk eller struktur. Det skal benyttes kabelskoforbindelse til jordingsskinne på ”winch” og til struktur. Det må søkes å benytte eksisterende tilkoplingsmuligheter til struktur eller eventuelt bores et passende boltehull i ”support” eller lignende, der dette kan tillates. b) 16 mm² jordingskabel mellom jordingsterminal på ”winch” og sleperingsenhet (kabelskoforbindelse). c) 70 mm² jordingsforbindelse mellom krafttilførselens jordingsskinne og ”grease”-hode/”flow tube”. Ved avstander over 50 m skal tverrsnittet økes. To 70 mm² kabler kan eksempelvis legges parallelt. Krafttilførselens jordingsskinne kan enten være i eller på kontrollcontaineren eller på ”winch”, avhengig av systemets oppbygging (se figur F.1 og figur F.2). For ”coil tubing” anses jording ivaretatt ved at slepering og ”winch”-fundament er forbundet til hovedjordskinnen og plattform struktur. Det er ikke behov for jordingskabel frem til det punktet der ”tube” entrer brønnen”
- Vedlegg I Vedlikehold
 - ”Midlertidig utstyr (containere og annet utstyr) skal ha et vedlikeholdsprogram. Alt utstyr som trenger funksjons- og tilstandskontroll skal beskrives særskilt i vedlikeholdsprogrammet”

4.2.6 Norsok Standard D-010: ”Well integrity in drilling and well operations” [87]

Denne standarden tar for seg krav til barrierer ved brønnoperasjoner. Standarden inneholder en rekke krav til barrierer ved forskjellige arbeidsoperasjoner nede i brønn samt krav til barrierer ved kombinasjon av ulike typer operasjoner.

4.2.7 Norsok M-122: ”Cast Structural Steel” [88]

Denne standarden definerer kravene for å kvalifisere støpt struktur stål for bruk på strukturer som står ”offshore” hvor stål kvalitets nivå 1 eller 2 er påkrevd.

- ”4.1.3 Manufacturing
 - *The scope of the manufacturing summary shall be clearly defined:*
 - *Name and address of manufacturer.*
 - *Grade of material with reference to standard.*
 - *Type and size range of products for which the manufacturing summary applies.*
 - *Identification of the manufacturing process.*
 - *The manufacturing summary shall include procedures for:*
 - *Moulding method, type of sand, binding agent and method of casting.*
 - *Melting and refining processes.*
 - *Heat treatment, including:*
 - ◆ *Loading temperature, heating rate, holding temperature (range) and time.*

- ◆ *Loading of components in furnace.*
- ◆ *Type of furnace(s).*
- ◆ *Max. operating temperature for furnace(s).*
- ◆ *Temperature control and calibration of furnace(s).*
- ◆ *Cooling facilities and max. time from furnace to quenching bath (if relevant).*
- ◆ *Sketch of heat treatment facilities/furnace which also shall show location of pyrometers and/or thermocouples in the furnace.*
- *Blasting/cleaning equipment, incl. type of grit.*
- *Repair welding.*
- *PWHT (if applicable).*
- *NDT and inspection.*
- *Material testing. Type of tests and time of test sampling.*
- *Design and position of test coupons.”*
- *”4.2.2.1 Thickness limitations*
 - *The maximum thickness qualified is the thickness of the tested product or test block plus 25 %.”*
- *”4.2.5.3 Micrographic examinations*
 - *The base material microstructure shall be documented by micrographs at magnification 500 X from subsurface, 1/4 thickness and 1/2 thickness position. The type of structure, grain size and inclusion level shall be reported. Testing to be carried out according to ASTM E 112.”*
- *”4.2.6 Weldability*
 - *Weldability data are required for castings with a weld bevel thickness above 25 mm. The thickness to be used for the weldability test shall be agreed, but is not to be more than 10% below the weld bevel thickness to be delivered. The documentation of the weldability shall be in accordance with EN 10225 (Aug 2001), Annex E. The heat input shall be 3.5 +/- 0.2 kJ/mm (EN 10225, Table E.3). For weld bevel thicknesses above 50 mm the testing shall be carried out both in the as welded and PWHT condition. CTOD testing is required for weld bevel thickness above 50 mm and shall meet a requirement of minimum 0.25 mm (as-welded) and 0.20 mm (PWHT), at – 10°C unless a lower value has been accepted by the purchaser. CTOD testing is limited to only grain-coarsened HAZ”*

4.2.8 Norsok M-120: "Material data sheets for structural steel" [89]

Denne standarden inneholder en samling av datablader for utvalgte stål kvaliteter som blir brukt i stålstrukturer. For god oversikt se tabell side 5 Norsok-M120.

4.2.9 ATEX 95, "Directive 94/9/CE" [90]

Denne forskriften omhandler utstyr og beskyttende systemer for bruk i potensielt eksplosive omgivelser. De eksplosive omgivelsene blir delt inn i soner ved hjelp av å kartlegge hvor lenge den eksplosive atmosfæren er tilstede og hvor hyppig den inntreffer. I tillegg til å vurdere potensielt eksplosive konsentrasjoner av gasser, damper eller tåke i luften, vil ATEX direktivet også inkludere potensielt eksplosive konsentrasjoner av støv. Mekaniske og elektriske former for antennelse er også beregnet. Alt utstyr som blir brukt til å kontrollere sikker operasjon i risikofylte områder vil bli underlagt dette direktivet. Krav til verifisering, kvalitetskontroll, godkjenning og merking er også utredet. Informasjon som er spesielt relevant for vår oppgave er følgende avsnitt:

- Article 1
 - 1.

"This Directive applies to equipment and protective systems intended for use in potentially explosive atmospheres."

- Annex I Criteria Determining the classification of equipment-groups into categories
 - 2. Equipment-group II

"Equipment in this category is intended for use in areas in which explosive atmospheres caused by mixtures of air and gases, vapours or mists or by air/dust mixtures are present continuously, for long periods or frequently."

Equipment in this category must ensure the requisite level of protection, even in the event of rare incidents relating to equipment, and is characterized by means of protection such that:

- *either, in the event of failure of one means of protection, at least an independent second means provides the requisite level of protection,*
- *or the requisite level of protection is assured in the event of two faults occurring independently of each other."*

- Annex II
 - 1. Common requirements for for equipment and protective systems
 - 1.1 Selection of materials
 - 1.1.1.

"The materials used for the construction of equipment and protective systems must not trigger off an explosion, taking into account foreseeable operational stresses."

- 1.2 Design and construction
 - 1.2.1.

"Equipment and protective systems must be designed and constructed with due regard to technological knowledge of explosion protection so that they can be safely operated throughout their foreseeable lifetime."

- 1.2.7. Protection against other hazards
- 1.2.8. Overloading of equipment
- 2.1 Requirements applicable to equipment in category 1 of equipment-group II

- 3. Supplementary requirements in respect of protective systems
 - 3.0. General requirements

4.2.10 FOR 1999-06-09 nr 721: Forskrift om Trykkpåkjennt utstyr [91]

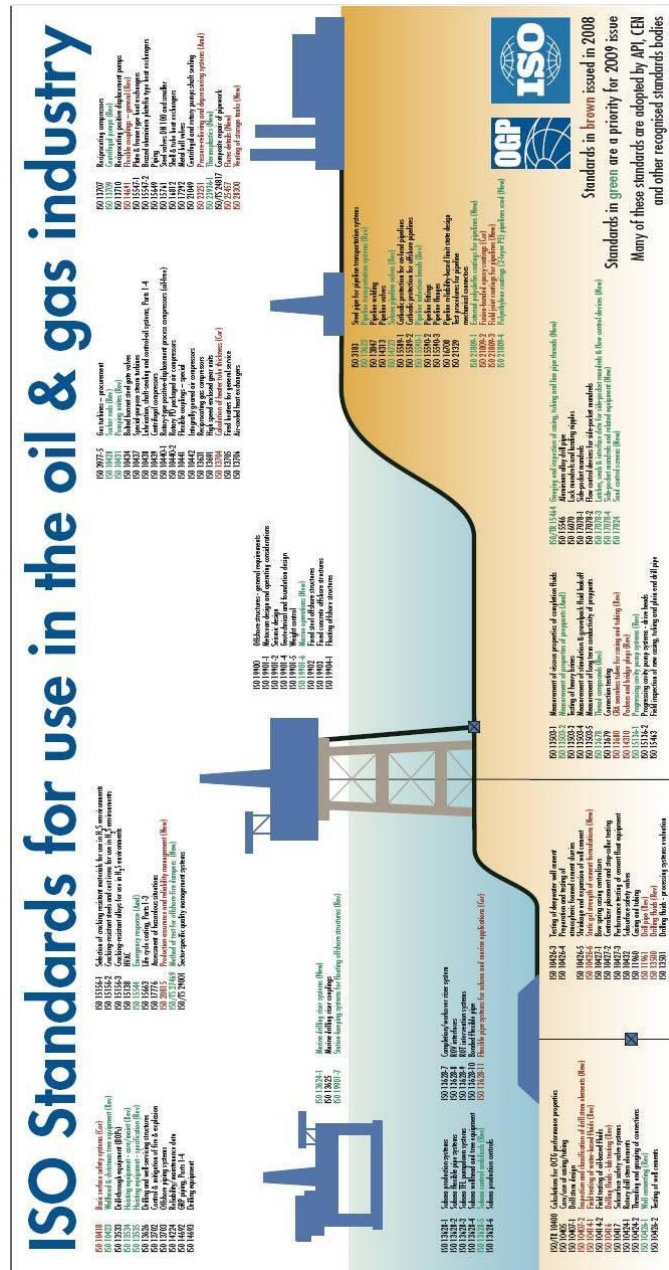
- ”§ 1. Formål
Forskriften skal sikre at trykkpåkjent utstyr og enheter ved første gangs idriftsettelse er i forsvarlig stand for derved å forebygge skade på liv, helse og materielle verdier. ”
- ”§ 2. Virkeområde
Forskriften gjelder for trykkpåkjent utstyr og enheter (jf. definisjoner i § 3) for et tillatt maksimaltrykk ps på over 0,5 bar, og som konstrueres, produseres, markedsføres og settes i drift første gang.
Forskriften gjelder også i petroleumsvirksomheten til havs på områder som nevnt i forskrift 27. juni 1997 nr. 649 om sikkerhet i petroleumsvirksomheten § 2, med de unntak som følger av denne paragrafen, fjerde ledd, jf. vedlegg 8.
Samtlige vedlegg 1 - 8 er deler av forskriften. ”
”Trykkpåkjent utstyr og enheter som er unntatt fra forskriftens bestemmelser fremgår av vedlegg 8.
Forskriften gjelder ikke på Svalbard. ”
- ”Vedlegg 8. Trykkpåkjent utstyr unntatt fra forskriftens bestemmelser.
Utstyr for kontroll av brønner ved grunnundersøkelser og utvinning av olje, gass eller jordvarme, og ved underjordisk lagring, og som skal brukes til å opprettholde og/eller kontrollere trykket i brønnen. Dette omfatter ventilarrangementet på brønnehodet (Christmas tree), boresikringsventiler (BOP), rørmanifold og alt tilhørende oppstrømsutstyr ”

Vedlegg 8 kan tolkes som at denne forskriften ikke er gjeldene for brønnintervensjonsutstyr. Men i følge Norsok D-002 må alt utstyr som skal ned i brønnen funksjonstestes før hver enkelt jobb, gjerne oppe på plattform eller på land. Dette medfører da at utstyret ikke befinner seg nede i brønnen, men i omgivelser med mennesker tilstede, som igjen gjør at denne forskriften gjelder for slikt utstyr.

4.2.11 Iso Standarder [92]

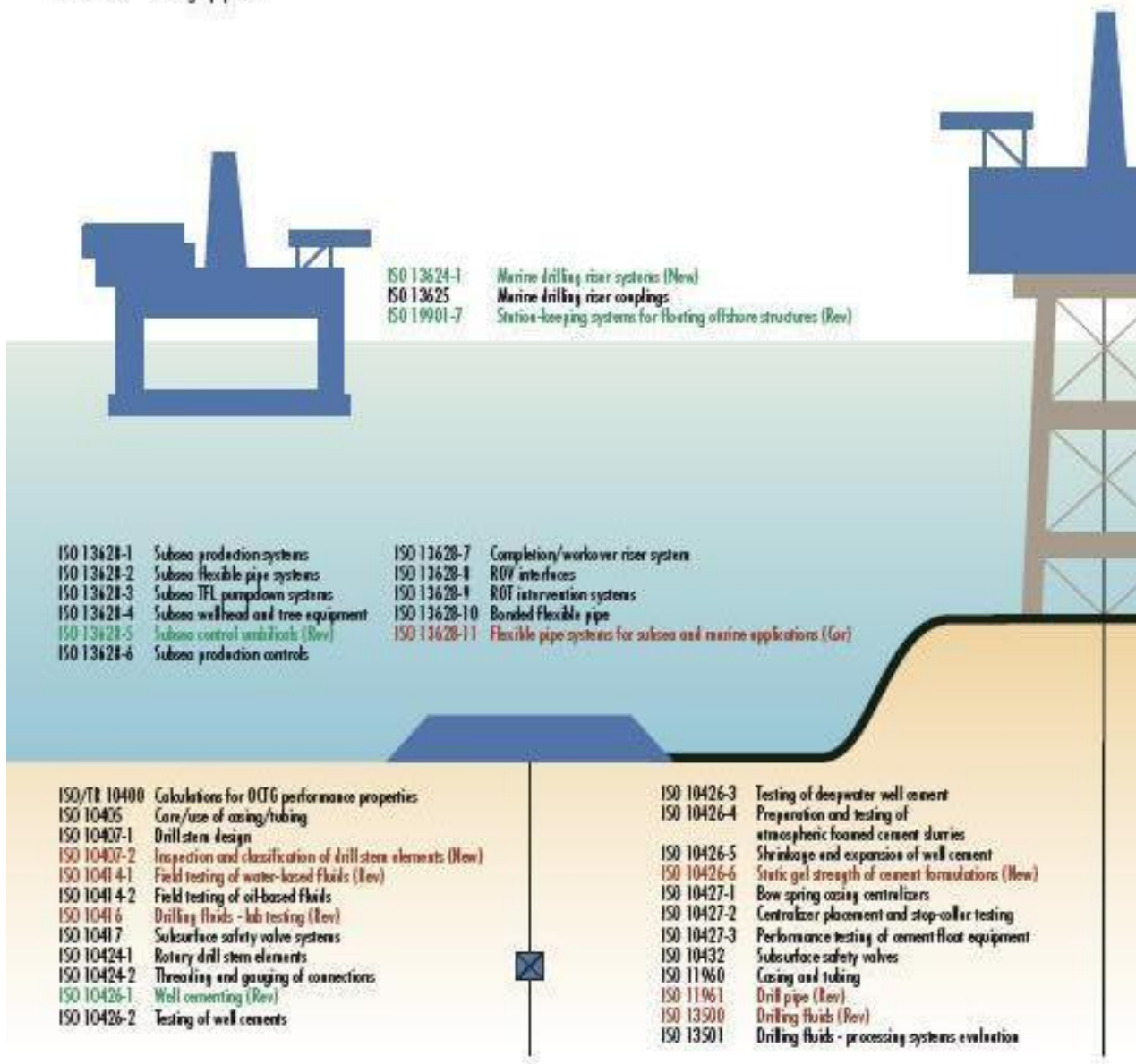
Under følger en oversikt over Iso standarder som blir brukt i olje og gass industrien (Figur 95, Figur 96, Figur 97). På bildet er standardene plassert i det området de gjelder slik at det er lettere å finne fram. Kapittel 4 (Oppgave 3) i vår rapport omhandler aktuelle standarder for konstruksjon og operasjon av brønnverktøy. Vi har ikke lagt stor vekt på Iso-standardene i denne vurderingen av to grunner:

- **Begrensede tidsrammer;** Vi ville i stedet for å bruke mye tid på å vurdere Iso-standardene, bruke mer tid på å utføre oppgave 4. Denne oppgaven er mer relatert det praktiske i våre studier og vi føler at det er viktigere å få til en god besvarelse på dette området.
- **Økonomi;** Alle Iso standarder koster mellom 1000-2000kr.

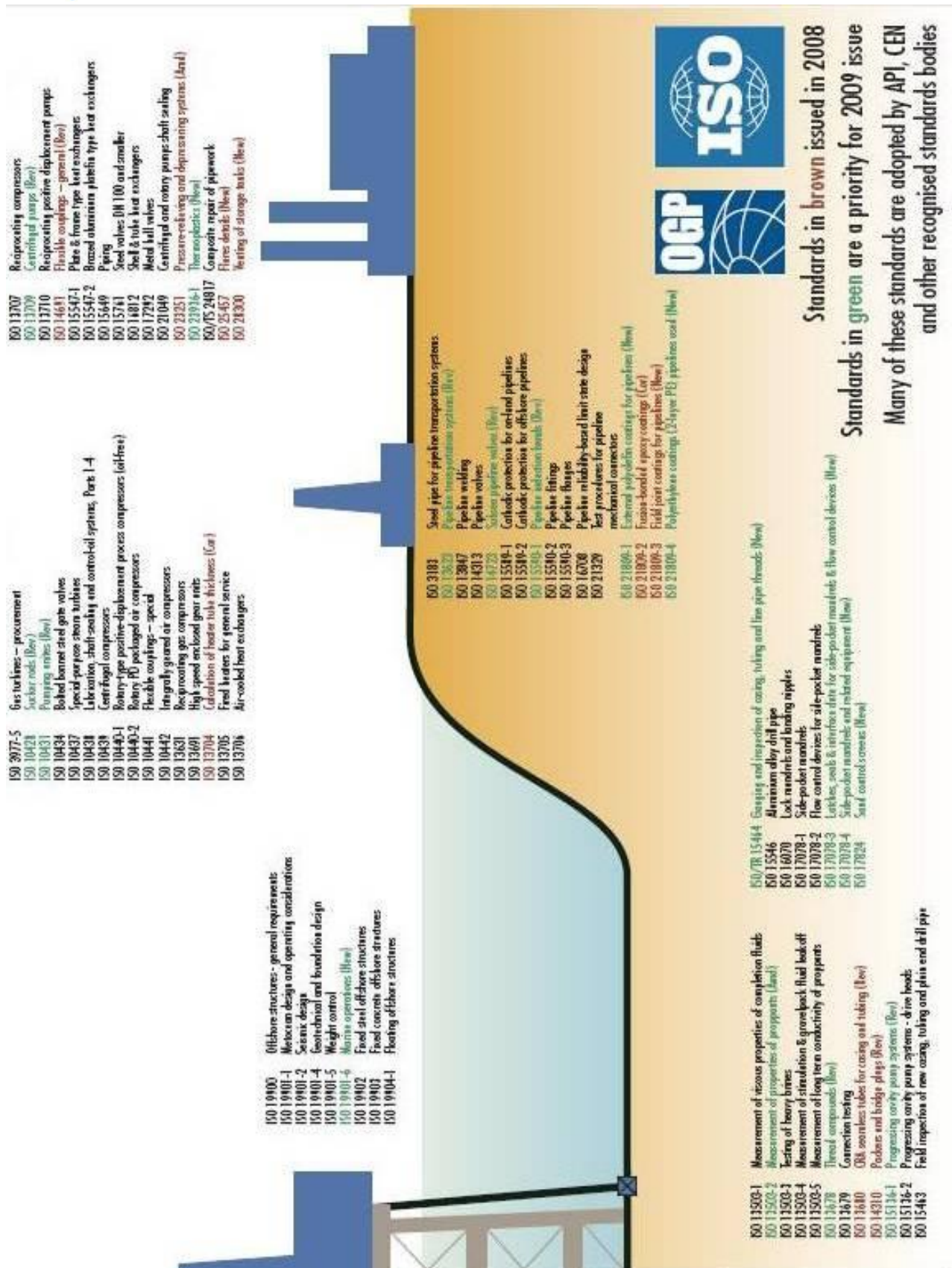


Figur 95: Liste over ISO Standarder [92]

- ISO 10418 Basic surface safety systems (Cor)
- ISO 10423 Wellhead & christmas tree equipment (Rev)
- ISO 13533 Drillthrough equipment (BOPs)
- ISO 13534 Hoisting equipment - care/maint (Rev)
- ISO 13535 Hoisting equipment - specification (Rev)
- ISO 13626 Drilling and well-servicing structures
- ISO 13702 Control & mitigation of fire & explosion
- ISO 13703 Offshore piping systems
- ISO 14224 Reliability/maintenance data
- ISO 14692 GRP piping, Parts 1-4
- ISO 14693 Drilling equipment
- ISO 15156-1 Selection of cracking resistant materials for use in H₂S environments
- ISO 15156-2 Cracking-resistant steels and cast irons for use in H₂S environments
- ISO 15156-3 Cracking-resistant alloys for use in H₂S environments
- ISO 15138 HVAC
- ISO 15544 Emergency response (And)
- ISO 15663 Life cycle costing, Parts 1-3
- ISO 17776 Assessment of hazardous situations
- ISO 20815 Production assurance and reliability management (New)
- ISO/TS 27469 Method of test for offshore fire dampers (New)
- ISO/TS 29001 Sector-specific quality management systems



Figur 96: Forstørret venstre side av Figur 94 [92]



Figur 97: Forstørret høyre side av Figur 94 [92]

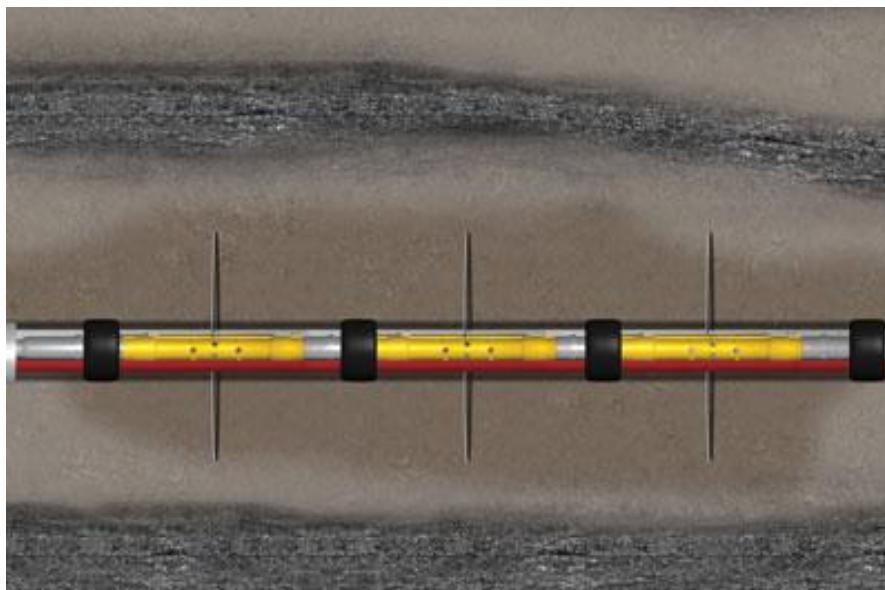
Kap 5: Konstruksjon av PowerTool Stroker

5.1 Innledning

5.1.1 Bakgrunn

Fra første gang det ble hentet opp olje fra en oljebrønn har dette blitt gjort på en forholdsvis enkel måte. I grove trekk ble det boret en brønn ca. midt på oljereservoaret, satt casing, casingen ble perforert og oljen strømmet opp til overflaten. Denne ”gamle” metoden for å drenere et reservoar på gir liten utvinningsgrad og er en økonomisk dårlig metode. Grunnen til det er at en drenerer olje/gass i området rundt brønnen, trykket faller som igjen fører til at produksjonsraten faller og det er ikke lenger økonomisk lønnsomt å produsere fra brønnen selv om det er mye olje/gass igjen i utkanten av reservoaret. Dette førte til at en begynte å injisere vann og gass i reservoarene for å opprettholde trykket. Vann og gass injisering gav litt bedre utvinningsgrad men det var fortsatt mye olje/gass igjen i reservoarene som det ikke var lønnsomt å hente ut.

Men ettersom tiden gikk og reservoarene rundt om på kloden begynte å bli tomme, ble det igjen lønnsomt å produsere fra brønner som det tidligere ikke var økonomisk å produsere fra. Men en måtte likevel finne på metoder for å øke utvinningsgraden ytterligere. Det som ble gjort var å plassere satellittbrønner og undervannssystemer på havbunnen, dette gav muligheten for å drenere og injisere et reservoar fra flere brønner som igjen førte til at trykket kunne kontrolleres bedre og utvinningsgraden gikk opp. Men heller ikke dette var nok, ettersom reservoarene kunne befinne seg i flere sjikt/lag i berggrunnen, ble det nå aktuelt å bore seg gjennom flere olje/gass sjikt, og deretter perforere flere steder i samme brønnen. Denne handlingen hadde en stor ulempe, ulempen var at dersom et sjikt hadde mye høyere trykk enn et annet sjikt, ville dette sjiktet ikke produsere til overflaten men inn i et annet sjikt. En måtte derfor kunne åpne og stenge de forskjellige sjiktene uavhengig. Det er til dette ”Sliding sleeves” (Figur 98) blir brukt. ”Sliding sleeves” er enkelt forklart en rørbit på innsiden av ”casing” som kan gli ned og sperre for en perforering. I tillegg ble det gjort mulig å operere ”sliding sleeves” fra overflaten. Dette kalles ”smarte” brønner.



Figur 98: "Sliding sleeves" [⁹³]

”Smarte” brønner var ganske enkelt genialt, nå kunne en styre trykk og strømning fra de enkelte sjiktene i reservoaret og sikre høye utvinningsgrader. Men etter en tid med produksjon begynte sand og korrosjon å tære på ”sliding sleeves”, dette førte til at mange sviktet. Nå trengtes en reserveplan for å få åpnet og stengt de ulike sjiktene. Det ble da utviklet et skyveverktøy (”Stroker”) som blir kjørt ned med en brønntraktor, spenner seg fast i rørveggen, hekter seg på en ”sliding sleeve” med et spesielt nøkkelverktøy og deretter enten stenger eller lukker ”sleeven”.

I tillegg er en ”Stroker” nødvendig når en skal:

- Trekke/sette plugger
- Hente/sette ventiler
- Verktøyet brukes også i sammenheng med andre verktøy som krever kraft i aksiell retning.

5.1.2 Spesifikasjoner

Krav til PowerTool Stroker fra DeepWell er:

- Må kunne operere i 7” komplettering
- Må ha en slaglende på 400 mm
- Må ha minste verktøydiameter lik 3,5” =88,9 mm
- Må være så kort som mulig
- Må kunne opereres med monokabel
- Er ønskelig å kunne lese av slaglengde i sanntid på overflaten.
- Er ønskelig å kunne lese av trykk/kraft i sanntid på overflaten.
- 3 kW tilgjengelig elektrisk kraft

En ”stroker” er noe som er blitt konstruert mange ganger før. Det nye og utfordrende med PowerTool Stroker (Figur 99) er:

- Avlesing av slaglengde i sanntid på overflaten
- Avlesing av trykk/kraft i sanntid på overflaten
- Ny gripemekanisme

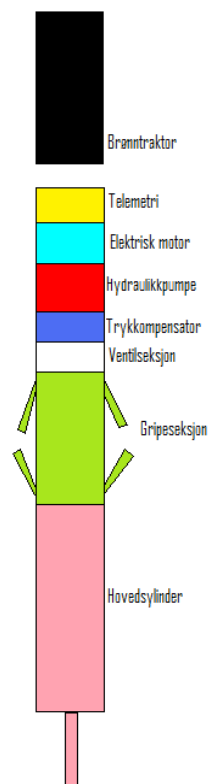


Figur 99: PowerTool Stroker

5.2 Grov konstruksjon

Hovedkomponentene til en ”stroker” (se Figur 100: Oversiktsskisse av hovedkomponenter på ”Stroker”) er:

- Hovedsyylinder
- Hydraulikkpumpe
- Elektrisk motor
- Gripe/låsemekanisme
- Telemetriseksjon
- Ventilseksjon (Inneholder hydraulikksystemet)
- Trykkompensator



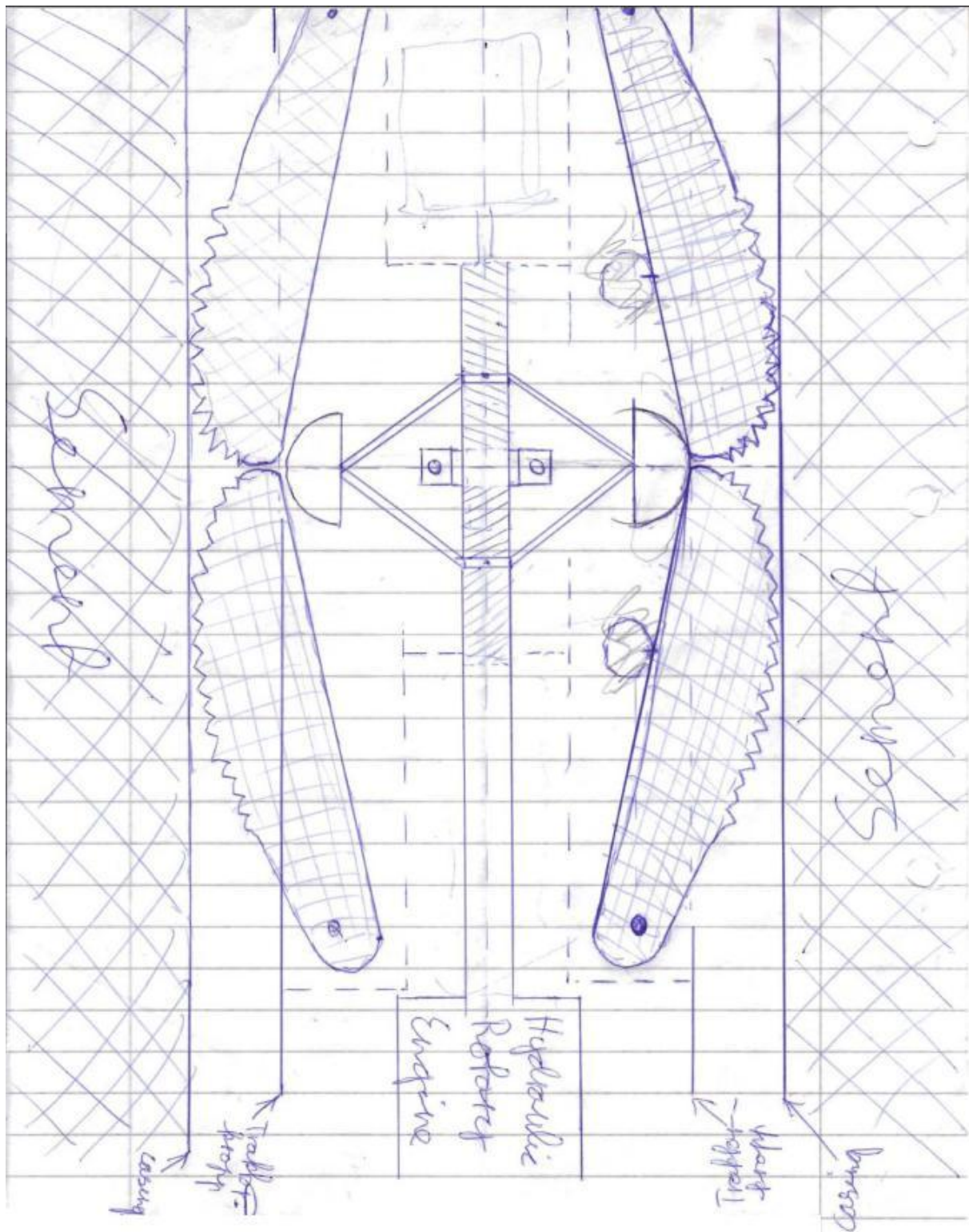
Figur 100: Oversiktsskisse av hovedkomponenter på "Stroker"

I tillegg må PowerTool Stroker ha et lineærpotensiometer for å kunne måle posisjonen til stempelstangen i hovedsyylinderen.

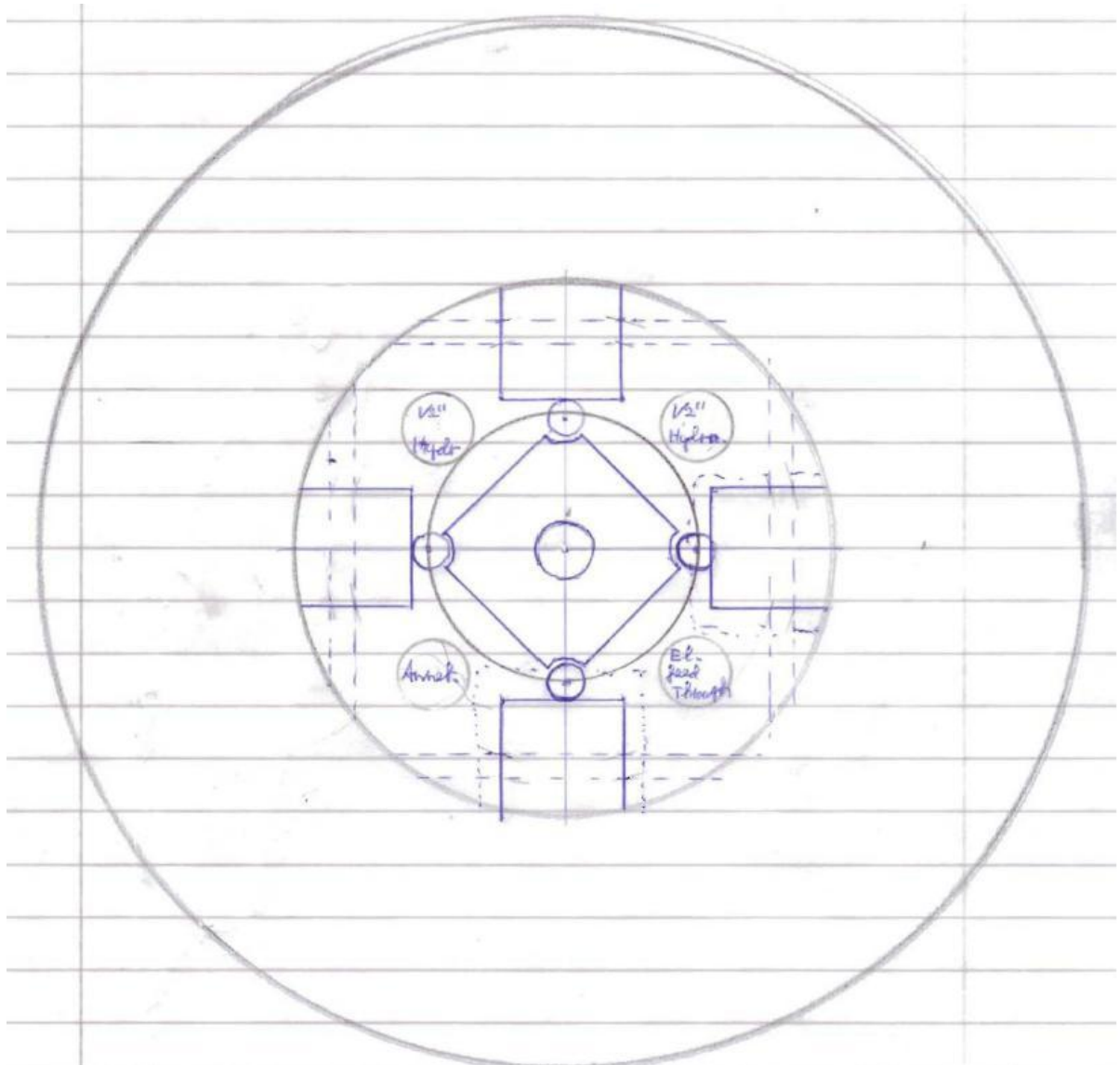
Det første og største problemet det tas tak i er gripemekanismen. Ettersom det kom frem at Oddvar Østebø hadde dårlig erfaring med Welltec`s metode hvor det er 8 små hydraulikkstempler som står rettet normalt på ”casingen” og låser verktøyet til ”casing veggen”. Ble denne metoden raskt avskrevet og det var ønskelig å komme opp med en helt ny metode som ikke hadde vært brukt før.

Resultatet ble; 4 armer (Figur 102) som står rundt verktøyet 90 grader på hverandre og er hengslet i bakkant (Figur 101). Armene felles ut mot senter av gripeseksjonen. Og siden de er hengslet i bakkant og står rettet med retningen hovedsyylinderen vil presse, vil armene gripe

mot "casing" veggen og "kile" verktøyet i senter av "casingen". "Strokeren" skal fungere i begge retninger, dette fører til at vi trenger 2 sett med armer rotet 180 grader i forhold til hverandre for å kunne holde i begge retninger.



Figur 101: Grovskisse av gripemekanisme, tidlig i grovkonstruksjonsfasen



Figur 102: Tverrsnitt av gripemekanisme, tidlig i grovkonstruksjonsfasen

5.3 Detalj konstruksjon

Beregningene under dette delkapittelet danner grunnlaget for tegningene av PowerTool Stroker som kan ses i Vedlegg A. Tegningene ses på som et resultat av konstruksjonsoppgaven i seg selv og viser i grove trekk hvordan et slikt verktøy vil se ut. Det er imidlertid viktig å merke seg at denne konstruksjonsoppgaven ikke inneholder detaljerte vurderinger av konstruksjonen men et mer prinsipielt forslag til hvordan konstruksjonen kan se ut.

5.3.1 Hydraulikk system

For å konstruere et hydraulikksystem som skal fungere i en olje/gass brønn er en nødt til å ta noen forholdsregler. Å bore og komplettere en brønn er dyrt, i tillegg koster det oljeselskapene mye penger for hvert sekund brønnen ikke produserer. Det er av den grunn absolutt første prioritet ved en brønnoperasjon å få ut/opp igjen det en slipper ned i brønnen. Dette legger grunnlag for en del krav til hydraulikksystemet. I første omgang må hele verktøyet være "fail-safe". I dette begrepet ligger det at dersom noe svikter så skal systemet gå tilbake til passiv modus. Med passiv modus menes det:

- Den modusen verktøyet er i når det blir fraktet ned og opp av brønnen.
- Den modusen verktøyet er i dersom den elektriske forbindelsen skulle gå tapt.

Et eksempel på "fail-safe" er brønntraktorer hvor hjulene ikke presses utover før det tilføres energi. Dette medfører at ved tap av energi vil hjulene trekke seg inn i traktorkroppen og traktoren kan trekkes ut ved hjelp av vaieren den er festet til. På en "stroker" betyr "fail-safe" hovedsaklig at låsemekanismen som låser verktøyet til "casingen", ikke under noen omstendigheter skal kunne låse verktøyet fast når det er i passiv modus.

Videre må det i henhold til Norsok Standard D-SR-007: "Well Testing Systems" avsnitt 5.7.2 [⁹⁴] ikke være mulighet for å ha noe innestengt fluid i systemet på grunn av de store trykkforskjellene mellom overflaten og nede i brønnen.

Til slutt er det nødvendig med en trykkompensator på systemet. Dette for å:

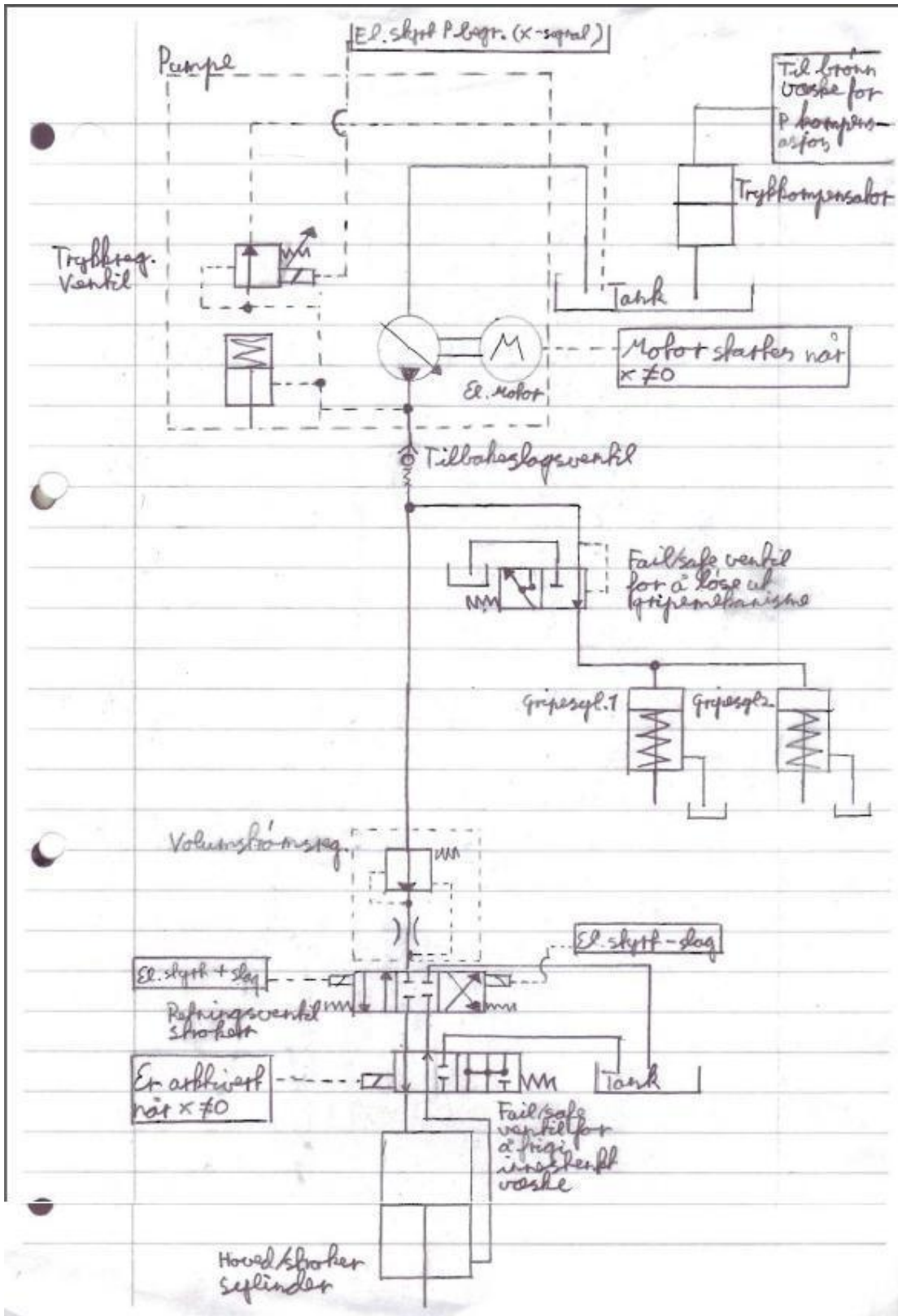
- Øke trykket i systemet før pumpen til brønntrykket, dette for å hindre at pumpen først må øke trykket i systemet til brønntrykket og deretter produsere det ønskelige overtrykket.
- For å fjerne det potensielt skadelige differensialtrykket over verktøyet.

Det er vanlig å "forlade" trykkompensatoren slik at det dannes et lite overtrykk i systemet. Dette for å hindre at brønnvæsker kommer inn i systemet ved passiv modus.

I tilfellet med PowerTool Stroker (Figur 103) vil trykkompensatoren fungere som oljereservoar.

Hydraulikkskjemaet på neste side (Figur 103) viser hydraulikksystemet for PowerTool Stroker. Gripemekanismen er drevet av to små hydrauliske sylindere som er tilknyttet hvert sitt sett med "pads". Første ledd i å gjøre gripemekanismen "fail-safe" på er ved å la sylindrene være enkeltvirkende med fjærretur. Neste ledd er ved å ha en ventil som blir aktivert ved hydraulisk trykk fra pumpen og deaktivert og fører til tank ved tap av trykk. Dette betyr at dersom en mister den hydrauliske energien vil fjæren presse sylindrene i retur og dermed går "padsene" inn i verktøyet. Ved at ventilen leder til tank i passiv modus er det ingen innestengt

fluid i gripemekanismen. For å frigjøre det innestengte fluidet i resten av systemet er det satt inn en 6/2 ventil etter hovedsylindere som er aktivert så lenge motor er aktivert (Figur 103)



Figur 103: Hydraulikk skjema (For stor versjon se Vedlegg B)

5.3.2 Hydraulikk Pumpe

Pumpen er valgt på bakgrunn av spesifikasjonene som følger:

- Begrenset verktøydiameter (88,9 mm)
- Høy temperatur i brønnen (175 °C)
- Høyt trykk
- Begrenset moment og kraft på grunn av begrenset elektrisk kraft til elektromotor som driver pumpen
- Vil ha høyest mulig trykk ut av pumpen. Dette kommer av at det er ønskelig med størst mulig skyvekraft, men arealet av stempelet i hovedsylinderen er begrenset som fører til at det kun er trykket som kan påvirke skyvekraften.
- Trenger ikke ha høy hastighet på oljen ut av pumpen.

Se (Figur 104) for en skisse av pumpen som er valgt. Pumpen er en skråskivemaskin hentet fra Hydro Leduc. Denne pumpen har variabel fortregning. Variabel fortregning er en fordel på grunn av at det er ønskelig å kunne justere trykk og hastighet til ”strokeren”.



Figur 104: Udetaljert tegning av hydraulikk Pumpe

Spesifikasjoner på pumpen som er valgt:

- Navn: Hydro Leduc PBV 57,5
- Vekt: 4,2 kg
- T_{\max} : 200° C
- P_{\max} : 350 bar
- RPM_{\max} : 3500
- Fortregning: 0-1,5 cm³ / rev

Microhydraulics

How to calculate the power and the drive torque of your pump ?

Page available in **metric** or **imperial** measurements. [▶ METRIC](#) / [▶ IMPERIAL](#)

1. Determining power

1.1. Hydraulic power

Hydraulic power is obtained from the following equation:

$$\text{hyd HP} = Q \times P \times 1.67$$

1.2. Drive power

The mechanical power that must be supplied to the pump will always be 15 to 30% (depending on pump type (1)) greater than the hydraulic power of the pump.

$$\text{useful HP} = \frac{\text{hyd HP}}{0.7}$$

1.3. Practical example

A PB 33 pump (45mm³) is driven at 4000 rpm and is required to provide maximum output pressure of 300bar. What is the power necessary of the motor driving the pump ?

$$\text{hyd HP} = Q \times P \times 1.67$$

$$\text{hyd HP} = (45 \cdot 10^{-6} \times 4000) \times 300 \times 1.67$$

$$\text{hyd HP} = 90 \text{ W}$$

$$\text{useful HP} = \frac{90}{0.7} = 130 \text{ W}$$

- from 100bar(2) to maximum pump pressure, the required installed power will be virtually proportional to P.
- from 800(3) to 6000rpm, the required installed power will be virtually proportional to N.

1.4. Quick calculation formula

$$\text{useful HP} = D \cdot 10^{-6} \times N \times P \times 1.67 \times \frac{1}{0.7}$$

ou encore :

$$\text{useful HP} = D \cdot 10^{-6} \times N \times P \times 2.4$$

2. Determining torque

2.1. Theoretical torque

$$\text{hyd T} = D \times P \times 0.0016$$

2.2. Drive torque

As with (1.2) above, from 100bar(2) upwards and from 800(3) to 6000rpm, the drive torque of the pump should be increased by 15 to 30% compared with theoretical torque, thus

$$\text{useful T} = \frac{\text{hyd T}}{0.7}$$

2.3. Quick calculation formula

$$\text{useful T} = D \times P \times 0.0023$$

P = Pressure in bar
N = rotation speed in rpm
D = displacement in mm³
Q = flow in m³/s
Q = D × 10⁻⁶ × N
hyd HP and useful HP in W
hyd T and useful T in cm.N

- (1): Please consult our Technical Department.
 (2): for P<100bar, please consult our Technical Department.
 (3): for N<800rpm, please consult our Technical Department.

Figur 105: Formelark fra "Hydro Leduc" for beregninger på hydraulikk pumpe [⁹⁵]

Siden en har 3 kW tilgjengelig elektrisk kraft fra overflaten og det er sannsynlig med 90% virkningsgrad på elektromotoren vil en ha 2700 W tilgjengelig elektrisk kraft inn på den hydrauliske pumpen.

Fra HydroLeduc formelarket (Figur 105) ser en at de bruker en virkningsgrad på 0,7 på sine pumper.

Turtallet ved 350bar:

(6)

$$\begin{aligned}
 \text{hydHP} &= Q * P * 1,67 \\
 2700W * 0,7 &= 350\text{bar} * 1,67 * x * 1500 * 10^{-6} m^3 \Rightarrow x = \underline{\underline{2155,69 RPM}}
 \end{aligned}$$

Beregner momentet som trengs fra el-motor:

(7)

$$\begin{aligned}
 \text{hydT} &= Q * P * 0,0016 \\
 \text{hydT} &= 1500\text{mm}^3 * 350\text{bar} * 0,0016 \\
 \text{hydT} &= 840\text{Ncm} \\
 \text{usefulT} &= \frac{840\text{Ncm}}{0,7} = 1200\text{Ncm} = \underline{\underline{12Nm}}
 \end{aligned}$$

Beregner maksimal strømningsrate Q:

(8)

$$Q = 2155,69 \frac{\text{rev}}{\text{min}} \cdot 1,5 \frac{\text{cm}^3}{\text{rev}} = 3233,54 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}} = 53,89 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}} = \underline{\underline{5,389 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}}$$

5.3.3 Motor

En forespørsel har blitt sendt til Moog Inc. for å se om det finnes en motor som tilfredsstillere kravene:

- Differensialtrykk: 350 bar
- Temperatur: 175 °C
- Effekt ut: 2700 W
- Moment: 12 Nm (7)
- Turtall: 2155.69 RPM (6)

Svaret fra Moog Inc. er at per dag dato er det ingen motorer som tilfredsstillere disse krav, men en slik motor kan bli konstruert på bestilling.

5.3.4 Materialvalg

I følge formelen (9):

(9)

$$\text{Kraft} = \text{Trykk} * \text{Areal}$$

er det i hovedsak to faktorer som spiller inn på ytelsen av sylindere;

- Innvendig overtrykk
- Areal av stempel/stempelstang

I dette tilfellet er det lagt restriksjoner på ytterdiametere av verktøyet (3,5”), det betyr da at det er ønskelig med minst mulig veggtykkelse i sylindere for å få størst mulig areal av stempelet og dermed størst mulig skyvekraft.

På bakgrunn av dette velges det å se på Duplex rustfritt stål, 25Cr, som er et forholdsvis dyrt materiale med flytgrense $Re_{0,2}=530\text{MPa}$ [96]

Dette materialet er nevnt i Norsok M-001 med følgende spesifikasjoner:

Generisk type	UNS	% Cr	% Ni	% Mo	Andre
25Cr (Pitting resistance equivalent ≥ 40)	S32550	25	5,5	3,5	N
	S32750	25	7	3,5	N
	S32760	25	7	3,5	N

For å bekrefte at materialet er kvalifisert til vårt bruksområde henviser vi til utdraget fra Norsok M-001 ”Table 5 – Materials selection for sub-sea production and flowline systems”.

Disse to utstyrsgroppene ligger nærmest vårt bruksområde:

Application	Materials	Notes
Wellheads and X-mas trees		
Retrievable equipment internals	13Cr or CRAs with higher PRE	
Subsea manifold piping		
Piping systems for well fluids	6Mo, 22Cr duplex, 25Cr duplex.	

Hvor:

CRA corrosion resistant alloys

PRE pitting resistant equivalent

I tabellen nedenfor blir det nevnt krav til materialet:

Material	Minimum design temp °C	Impact testing required	Other requirements	NOTES
Duplex stainless steels				5,11
22Cr	-46	Yes	Maximum operating temperature 100 °C if exposed to saliferous atmosphere	
25Cr	-46	Yes	Maximum operating temperature to 110 °C if exposed to saliferous atmosphere. Probability for cracking should be assessed in systems affected by acidising if sulphide containing scales	

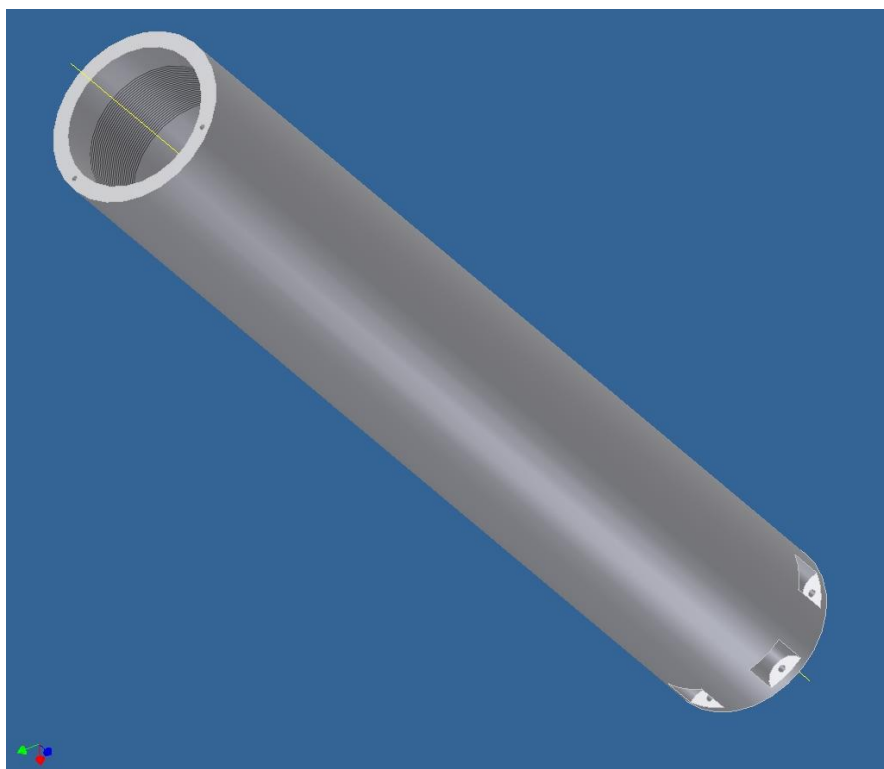
En ser at det er en temperaturbegrensning på 110 °C ved eksponering for saltholdig atmosfære og sulfider tilstede. Materialet skal utsettes for dette i høyere temperaturer enn 110

°C. Disse opplysningene tatt i betraktning velges fortsatt samme materialet. Begrunnelsen er at materialet kun skal eksponeres for atmosfæren i korte perioder, ettersom en operasjon nede i brønnen tar kort tid (i de fleste tilfeller kun noen få timer). Velger også å henvise til følgende avsnitt for å begrunne valget:

”The 22Cr, 25Cr and 6Mo materials may be used above these temperatures provided corrosion protection according to Norsok M-501. The temperature limits may be exceeded in dry, fully HVAC controlled environments, see Norsok R-004”

Material	Chloride concentration max. %	Min. allowed in-situ pH	Temperature, max. °C	Partial pressure H ₂ S max. bar _a
25Cr	5	3,5	150	0,1
	5	4,5	150	0,4

5.3.5 Beregning av godstykkelse i hovedsylinder

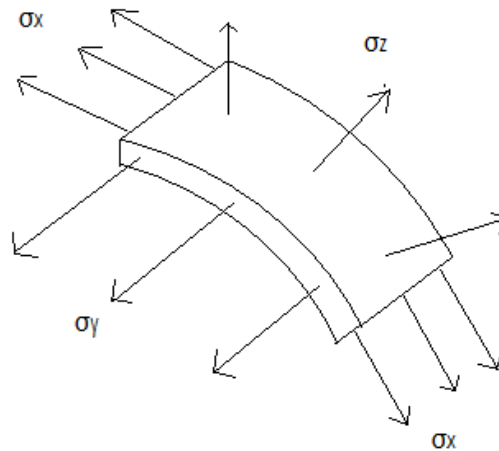


Figur 106: Hydraulikk sylinder

For å beregne godstykkelsen i hovedsylindere (Figur 106) er kriteriene som følger satt:

- Trykk: 350 bar
- Ytre diameter: 88,9 mm
- Indre diameter: Denne diameteren velges i første omgang til 73 mm. Dette gir et areal på 0,0041853868 m² som igjen fører til en skyvekraft $F = 146488,54 \text{ N}$

5.3.5.1 Beregninger uten boringer i sylindervegg



Figur 107: Viser spenningene i et lite element av rørveggen

Radielle spenninger (σ_z) (Figur 107):

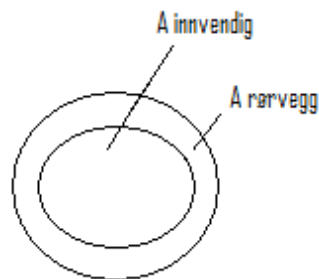
(10)

$$\sigma_z = \frac{F_z}{A_z} = \frac{P_z \cdot A_z}{A_z} = 350 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

Aksielle spenninger (Figur 107):

(11)

$$\sigma_y = \frac{F_y}{A_y} = \frac{P_y \cdot A_{\text{innvendig}}}{A_{\text{rørvegg}}}$$



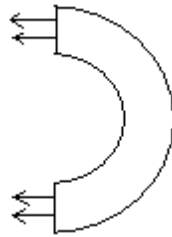
Figur 108: Viser tverrsnitt av sylinder

(12)

$$\sigma_y = \frac{350 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot \pi(0,0365 \text{ m})^2}{\pi(0,04445 \text{ m})^2 - \pi(0,0365 \text{ m})^2}$$

$$\sigma_y = 72455238,69 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

Tangentielle spenninger (σ_x) (Figur 109):



Figur 109: Tverrsnitt av sylinder skåret i to for å vise de tangentielle spenningene

(13)

$$\sigma_x = \frac{F_x}{A_x} = \frac{P_x \cdot A_{tot}}{A_{metall}} = \frac{P_x \cdot l \cdot d}{t \cdot l \cdot 2}$$

$$\sigma_x = \frac{350 \cdot 10^5 \frac{N}{m^2} \cdot 0,0889 \text{ m}}{2 \cdot 0,00795 \text{ m}}$$

$$\sigma_x = \underline{\underline{195691823 \frac{N}{m^2}}}$$

(14)

$$\sigma_n = \left(\frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \right) + \left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \right) \cdot \cos 2\alpha + \tau_{xy} \cdot \sin 2\alpha$$

$$\tau_{xy} = 0$$

$$\Rightarrow \sigma_n = \left(\frac{196 + 73}{2} \right) + \left(\frac{196 - 73}{2} \right) \cdot \cos 2\alpha$$

$$\sigma_n = \underline{\underline{134,5 \frac{N}{mm^2} + 61,5 \frac{N}{mm^2} \cdot \cos 2\alpha}}$$

Hovedspenningsretningen er retningen som gir $\tau_n = 0$ altså $\alpha = 0$ og $\alpha = \frac{\pi}{2}$

(15)

$$\alpha = 0 \Rightarrow \sigma_{n1} = (134,5 + 61,5) \frac{N}{m^2}$$

$$= \underline{\underline{196 \frac{N}{mm^2}}}$$

(16)

$$\alpha = \frac{\pi}{2} \Rightarrow \sigma_{n2} = 134 + 61,5 \cos \pi$$

$$\sigma_{n2} = \underline{\underline{72,5 \frac{N}{mm^2}}}$$

(17)

$$\sigma_{jf} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - (\sigma_x \cdot \sigma_y) + 3\tau_{xy}^2}$$

$$\sigma_{jf} = \sqrt{196^2 + 72,5^2 - (196 \cdot 72,5)}$$

$$\sigma_{jf} = \underline{\underline{171,65 \frac{N}{mm^2}}}$$

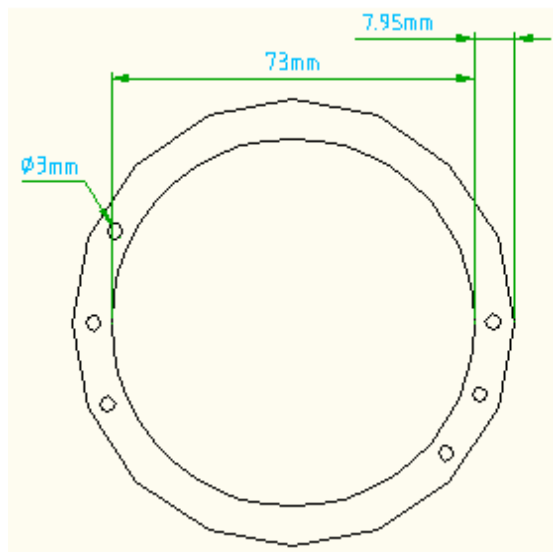
Sikkerhet mot flyt:

(18)

$$n = \frac{Re}{\sigma_{jf}} = \frac{530 \frac{N}{mm^2}}{171,65 \frac{N}{mm^2}} = \underline{\underline{3,0877}}$$

5.3.5.2 Beregninger med borer i sylindervegg

Tar en med borer i sylinderveggen (Figur 110) får en et mye mindre areal når de tangentielle spenningene beregnes. Det tas ikke hensyn til det reduserte arealet når de aksielle spenningene beregnes på grunn av at det ikke utgjør en stor prosentandel av det totale arealet. Det er bergningene med borer i sylinderveggene som vil være de dimensjonerende.



Figur 110: Viser tverrsnitt av sylinder med borer for elektrisk "feed through" og hydraulikk olje

(19)

$$\sigma_x = \frac{F_x}{A_x} = \frac{P_x \cdot A_{tot}}{A_{metall}} = \frac{P_x \cdot l \cdot d}{t \cdot l \cdot 2}$$

$$\sigma_x = \underline{\underline{314292929,3 \frac{N}{m^2}}}$$

(20)

$$\sigma_n = \left(\frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \right) + \left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \right) \cdot \cos 2\alpha + \tau_{xy} \cdot \sin 2\alpha$$

$$\tau_{xy} = 0$$

$$\Rightarrow \sigma_n = 193,5 \text{ MPa} + 120,5 \text{ MPa} \cdot \cos 2\alpha$$

$$\alpha = 0 \Rightarrow \sigma_{n1} = 314 \text{ MPa}$$

$$\alpha = \frac{\pi}{2} \Rightarrow \sigma_{n2} = 193,5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{if} = \sqrt{314 \text{ MPa}^2 + 193,5 \text{ MPa}^2 - (314 \text{ MPa} \cdot 193,5 \text{ MPa})}$$

$$\underline{\underline{\sigma_{if} = 274,37 \text{ MPa}}}$$

Sikkerhet mot flyt:

(21)

$$n = \frac{530 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{274,37 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = \underline{\underline{1,93}} \Rightarrow \text{OK dimensjonert!}$$

5.3.6 Strømningsanalyse av borer i kropp

Det er ønskelig å teste om de ”trange” borerne (Figur 111) som hydraulikkoljen skal strømme gjennom påvirker trykket.



Figur 111: Sylindrer skåret på langs for å vise borer i sylindervegg

5.3.6.1 Reynoldstall for borer i sylindrer

- γ = kinematisk viskositet
 $\gamma = 1 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$
- $D = 3 \text{ mm}$

(22)

$$\text{Re} = \frac{Dv}{\gamma}$$

(23)

$$v = \frac{Q}{A}$$

(24)

$$\text{Re} = \frac{Q \cdot D}{A \cdot \gamma}$$

$$\text{Re} = \frac{5,389 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 0,003 \text{ m}}{\pi \cdot (0,0015 \text{ m})^2 \cdot 1 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} = \underline{\underline{2287,16}}$$

Ser ut av Moody diagramet (Se Vedlegg D) at Reynolds tallet ligger i det laminære området.

5.3.6.2 Beregninger på trykktap over boringer på hydraulisk sylinder

Trykktap over rør:

(25)

$$\Delta p_{\text{tap}} = \sum \lambda \frac{l}{d} \ell \frac{V_m^2}{2}$$

Hvor:

λ = friksjonskoeffisient

l = rørlengde

d = indre diameter

ℓ = densitet

$\lambda = \frac{64}{\text{Re}}$ for laminær strømning ($\text{Re} < 2300$)

$$\lambda = \frac{64}{2287,16} = \underline{\underline{0,027982}}$$

$l = 400 \text{ mm}$

$d = 3 \text{ mm}$

$$\ell = 840 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

For hydrauliske væsker vil tettheten (densiteten) avta med stigende temperatur, men øke med stigende trykk. Det tas utgangspunkt i en tetthet på ca $0,84 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ fra figur 2.2 s.25 i boka ”Innføring i Oljehydraulikk”.

(26)

$$V_m = \frac{Q}{\pi \cdot \frac{d^2}{4}} = \frac{5,389 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{\pi \cdot \frac{0,003\text{m}^2}{4}} = 7,62387 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot \frac{1}{\text{m}^2} = \underline{\underline{7,62387 \frac{\text{m}}{\text{s}}}}$$

(27)

$$\Delta p_{\text{tap}} = \sum \lambda \frac{1}{d} \ell \frac{V m^2}{2}$$

$$\Delta p_{\text{tap}} = 0,027982 \cdot \frac{0,4 \text{ m}}{0,003 \text{ m}} \cdot 840 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{\left(7,62387 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2}$$

$$\Delta p_{\text{tap}} = 3133,99 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 29,061 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} = \underline{\underline{91076,88 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2}}}$$

(28)

$$N = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}$$

$$Pa = \frac{N}{\text{m}^2} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} \cdot \frac{1}{\text{m}^2} = \frac{\text{kg}}{\text{s}^2 \cdot \text{m}}$$

$$\Delta p_{\text{tap}} = 91076,88 \text{ Pa} \Rightarrow \underline{\underline{0,91 \text{ Bar}}}$$

Trykktap over 90° bend i sylinder:

(29)

$$\Delta p_{\text{tap}} = \zeta \ell \frac{V m^2}{2}$$

hvor: $\zeta_{90^\circ} = 2$

$$\Delta p_{\text{tap}} = 2 \cdot 840 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{\left(7,62387 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2} = \underline{\underline{48823 \text{ Pa} \Rightarrow 0,49 \text{ Bar}}}$$

Det samlede trykktapet i røret blir:

(30)

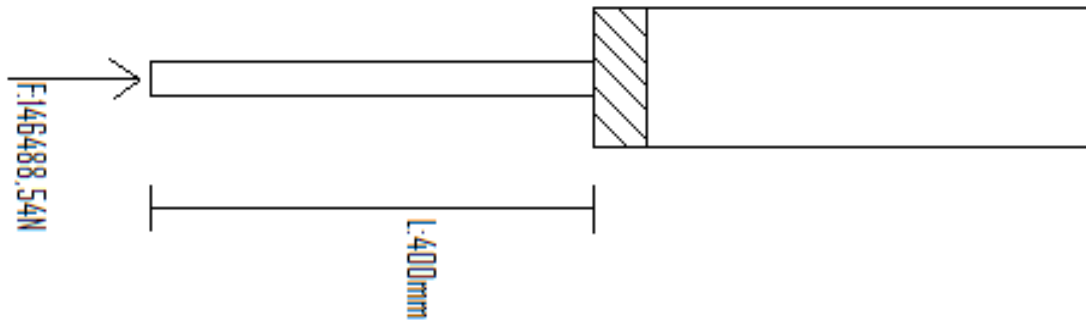
$$\Delta p_{\text{Tap Total}} = 0,91 \text{ Bar} + 0,41 \text{ Bar} = \underline{\underline{1,4 \text{ Bar}}}$$

$$\Delta p_{\text{Tap Total}} = 91076,9 \text{ Pa} + 48823 \text{ Pa} = \underline{\underline{139,9 \text{ KPa}}}$$

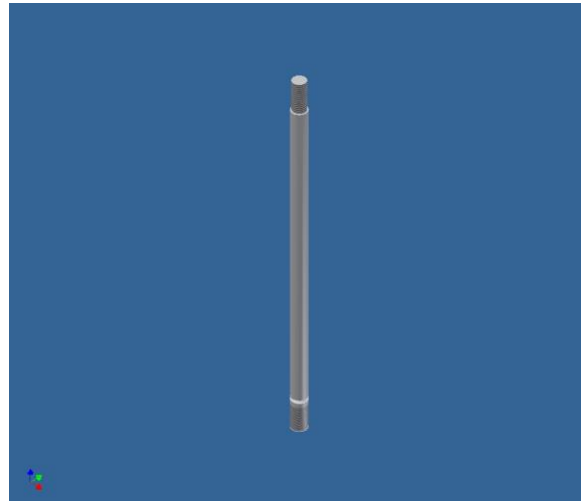
Som forventet på grunn av laminær strømming er trykktapet over de ”trange” boringene svært lite og kan neglisjeres i dette tilfellet.

5.3.7 Knekkning av stempelstang i hovedsylinger

- Lengde av stempelstang: 400 mm
- Tykkelse av stempelstang settes i første omgang til 25 mm
- Kraft på stempelstang: 146488,54 N



Figur 112: Kraftbilde av stempelstang



Figur 113: Stempelstang

Formel hentet fra "Formelsamling i statikk og Fasthetslære (ING2028)" (Formel 23.23)

(31)

$$P_k = \frac{\pi^2 EI}{L_k^2}$$

$$L_k = 2L$$

$$I = \frac{1}{4} \pi r^4$$

Hvor:

I = annet arealmoment

$E = 210 \text{ GPa}$

$L_k = \text{Knekk lengde}$

(32)

$$P_k = \frac{\pi^2 \cdot 210 \text{ GPa} \cdot \frac{\pi \cdot 0,025 \text{ m}^4}{4}}{(2 \cdot 0,4 \text{ m})^2}$$

$$P_k = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^{-9} \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot \frac{\pi \cdot (0,025 \text{ m})^4}{4}}{(2 \cdot 0,4 \text{ m})^2}$$

$$P_k = \underline{993548,29 \text{ N}}$$

Dette gir sikkerhet mot knekking:

(33)

$$n = \frac{993548,29}{146488,54} = \underline{\underline{6,78}} \Rightarrow \text{ikke dimensjonerende.}$$

Sjekker også mot flyt:

(34)

$$\sigma = \frac{146488,54 \text{ N}}{\pi \cdot (0,0125 \text{ m})^2} = 3,351 \cdot 10^{-9} \text{ Pa} = \underline{\underline{298,42 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}}$$

Dette gir sikkerhet mot flyt dersom vi bruker 25Cr Duplex:

(35)

$$n = \frac{530}{298,4} = \underline{\underline{1,78}}$$

Denne sikkerhetsfaktoren er litt lav. Øker tverrsnittsarealet for å få sikkerhetsfaktoren over eller lik sikkerhetsfaktoren mot flyt i sylinderveggen.

(36)

$$1,93 = \frac{530}{\frac{146488,54 \text{ N}}{\pi \cdot x^2}}$$

$$1,93 = \frac{530 \cdot \pi \cdot x^2}{146488,54 \text{ N}}$$

$$x = \sqrt{\frac{1,93 \cdot 146488,54 \text{ N}}{530 \cdot \pi}}$$

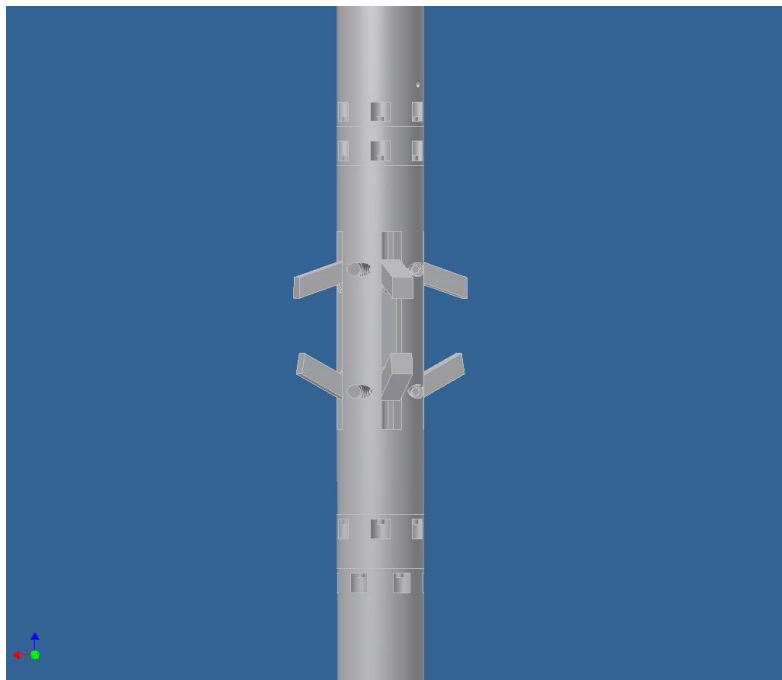
$$x = \underline{\underline{13,031 \text{ mm}}}$$

Et tverrsnitt på stempelstangen velges lik:

(37)

$$D = 2 \cdot 13,031 \text{ mm} = 26,06 \text{ mm} \approx \underline{\underline{26 \text{ mm}}}$$

5.3.8 Gripemekanisme



Figur 114: Gripeseksjonen på "Power Tool Stroker"

5.3.8.1 Generelle kraft og dimensjonsberegninger

- Total diameter = 17,2 cm (total brønndiameter)
- Min. diameter = 8,89 cm (verktøy diameter)
- Velger i første omgang å sette lengden av "pads" = 14 cm
- Maks hovedsylinderkraft = 146488,54 N

Dersom "pads" er hengslet 1cm inn i kroppen (Figur 114) vil avstanden fra hengselpunkt ut til "casing" være:

(38)

$$L_{\text{Hengselpunkt til rørvegg}} = \frac{(17,2 \text{ cm} - 8,89 \text{ cm})}{2} + 1 \text{ cm} = \underline{\underline{5,155 \text{ cm}}}$$

Videre kan det sies at holdemekanismen må holde minst 146488,54 N, mht. N3.lov (kraft=motkraft)

Settes det inn en sikkerhetsfaktor på 1,5 må gripemekanismen holde:

(39)

$$1,5 \cdot 146488,54 \text{ N} = \underline{\underline{219732,81 \text{ N}}}$$

Hver "pad" (Figur 117) må da holde en kraft på:

(40)

$$F = \frac{219732,81 \text{ N}}{4} = 54933,2 \text{ N}$$

Holdemekanismen (Figur 114) fungerer slik at det er kraften som oppstår mellom innfesting/opplagring av ”pads” og rørvegg /”casing” som gjør arbeidet med å låse verktøyet fast til rørveggen når hovedsynderen kjøres. Sylinderne som skal kjøre ”padsene” ut har som oppgave å holde ”padsene” inntil rørveggen for å låse de fast i en eventuell oppkoblingsfase mot ”sliding sleeves” og lignende, og å holde ”pads” inntil rørvegg med tilstrekkelig kraft slik at de griper tak i det hovedsynderen begynner å kjøre.

Ettersom vi velger å bruke stål-”pads” og det er tillatt å sette merke i ”casingen”, kan vi med god sikkerhet sette friksjonsfaktor $\mu = 0,5$.

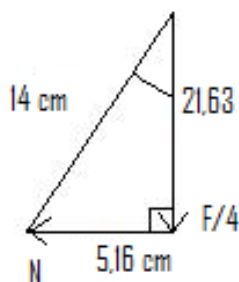
Det betyr at normalkraften N ”padsene” må utøve mot ”casing”/rørvegg er

(41)

$$F = N \cdot \mu \Rightarrow N = \frac{F}{\mu} = \frac{54933,2 \text{ N}}{0,5}$$

$$N = \underline{\underline{109866,41 \text{ N}}}$$

Tegner en forenklet skisse (Figur 115) av kraftbildet med maks utslag:



Figur 115: Kraftbilde på pads med maks utslag

(42)

$$\sin \theta = \frac{5,16}{14} \Rightarrow \theta = 21,63^\circ$$

(43)

$$\tan 21,63 = \frac{N}{36622,1}$$

$$N = \underline{\underline{14521,9 \text{ N}}}$$

Ser her at den oppnådde normalkraften N er langt ifra det som kreves. Eneste muligheten for å øke denne er å øke vinkelen θ .

Dersom vinkelen θ økes til 70° ser en at:

(44)

$$\tan (70) = \frac{N}{\frac{146488,4}{4}}$$

$$N = \underline{\underline{100618,39 \text{ N}}}$$

Det gir at den resterende kraften:

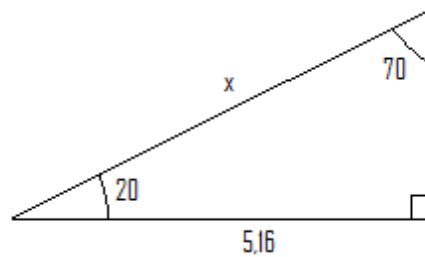
(45)

$$N_{\text{kreves}} - N_{\text{oppnådd}} = 109866,41 \text{ N} - 100618,39 \text{ N} = \underline{\underline{9248,02 \text{ N}}}$$

Dette er kraften som holdemekanismen sine hydrauliske sylindre må påvirke 4 ”pads” med inn mot veggen.

For å oppnå 70° ser en at lengden av ”padsene” må minkes. Og utskiftbare ”pads” for forskjellige ”casingstørrelser” må brukes.

Finner lengden av pads (”worst case”):



Figur 116: Beregning av lengden (x) av ”pads”

(46)

$$\cos 20 = \frac{5,16}{x} \Rightarrow x = \underline{\underline{5,486 \text{ cm}}}$$

Sjekker om den lille sylinderen i gripemekanismen har stort nok areal for å utøve den ønskede kraften:

- D=40 mm
- P=350 Bar

(47)

$$F = P \cdot A \Rightarrow F = 350 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot \pi \cdot (0,02 \text{ m})^2 \Rightarrow F = 43982,3 \text{ N}$$

$$\Rightarrow \frac{F}{4} = \underline{\underline{10995,57 \text{ N}}} \quad (\text{Total kraft fordelt på 4 pads})$$

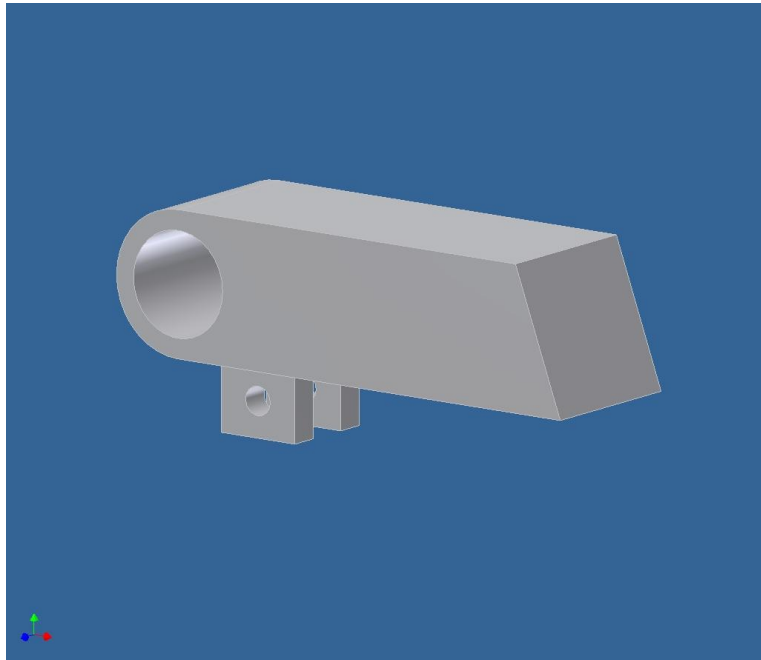
Setter vinkelen på armene i holdemekanismen lik vinkelen på ”pads” = 70° . Dette gir at hver av de fire armene i holdemekanismen kan presse:

(48)

$$\tan 70 = \frac{N}{10995,57 \text{ N}} \Rightarrow N = 302010 \text{ N}$$

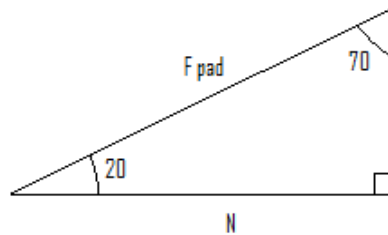
Vi ser da at dette er 3,27 ganger så mye som vi trenger \Rightarrow Ok dimensjonert.

5.3.8.2 Tester "pads" mot knekking



Figur 117: Pad

Total normalkraft $N = 109866,41 \text{ N}$



Figur 118: Kraftbilde på pad med maks utslag 70 grader

(49)

$$\cos 20 = \frac{N}{F_{\text{pad}}} \Rightarrow F_{\text{pad}} = \frac{109866,41 \text{ N}}{\cos 20}$$

$$\underline{F_{\text{pad}} = 116917,39 \text{ N}}$$

(50)

$$P_k = \frac{\pi^2 EI}{L_k^2}$$

$$P_k = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot \left(\frac{0,02 \text{ m} \cdot (0,02 \text{ m})^3}{12} \right)}{(0,05486 \text{ m})^2}$$

$$\underline{P_k = 9182187,783 \text{ N}}$$

$P_k \gg F_{\text{pad}} \Rightarrow$ Ok dimensjonert.

Sjekker med hensyn på flyt:

(51)

$$\sigma = \frac{116917,39 \text{ N}}{400 \text{ mm}^2} = \underline{\underline{292,29 \text{ MPa}}}$$

(52)

$$n = \frac{530 \text{ MPa}}{292,29 \text{ MPa}} = 1,81$$

Ser at dette er litt lavt, øker da bredden av pads med 2 mm og får:

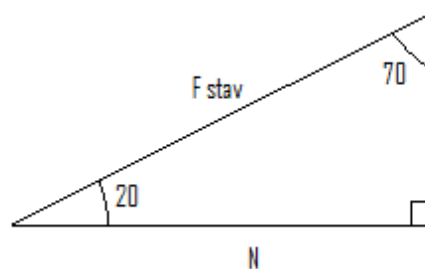
(53)

$$\sigma = \frac{116917,39 \text{ N}}{440 \text{ mm}^2} = 265,72 \text{ MPa}$$

(54)

$$n = \frac{530 \text{ MPa}}{265,72 \text{ MPa}} = \underline{\underline{1,995}} \Rightarrow \text{OK dimensjonert!}$$

5.3.8.3 Tester Staver i holdemekanisme mot knekking



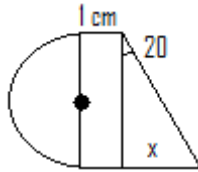
Figur 119: Kraftbilde på staver i holdemekanisme

(55)

$$\cos 20 = \frac{N}{F_{stav}} \Rightarrow F_{stav} = \frac{9248,02 \text{ N}}{\cos 20} \Rightarrow F_{stav} = \underline{\underline{9841,54 \text{ N}}}$$

Lengde av staver:

Minste mulige ”pad” (Figur 120):

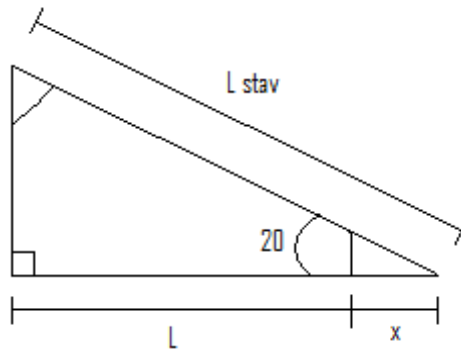


Figur 120: Beregning på lengde av minste mulige pad

(56)

$$\tan 20 = \frac{x}{2} \Rightarrow x = 0,73$$

Velger å hengsle stav 1 cm inn på pad.



Figur 121: Beregning for å finne lengde av staver i holdemekanisme

Hvor:

- L: Lengde fra stempelstang til hengslingspunkt
- x: Avstand fra hengslingspunkt for ”pads” til hengslingspunkt for stav på ”pads”

(57)

$$\begin{aligned} \cos 20 &= \frac{x}{1} \\ x &= 0,9397 \text{ cm} \\ L + x &= \underline{3,8847 \text{ cm}} \end{aligned}$$

(58)

$$\cos 20 = \frac{L + x}{L_{\text{stav}}} = \frac{3,8847}{L_{\text{stav}}} \Rightarrow L_{\text{stav}} = \underline{\underline{4,134 \text{ cm}}}$$

(59)

$$\begin{aligned} P_k &= \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot \left(\frac{\pi \cdot (0,003 \text{ m})^4}{4} \right)}{(0,04134 \text{ m})^2} \\ P_k &= \underline{77153,03 \text{ N}} \end{aligned}$$

$P_k \gg F_{\text{stav}} \Rightarrow$ Ok dimensjonert.

Tester mhp flyt:

(60)

$$\sigma = \frac{9841,54 \text{ N}}{\pi \cdot (3 \text{ mm})^2} = 348,07 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{530 \text{ MPa}}{348,07 \text{ MPa}} = \underline{\underline{1,52}}$$

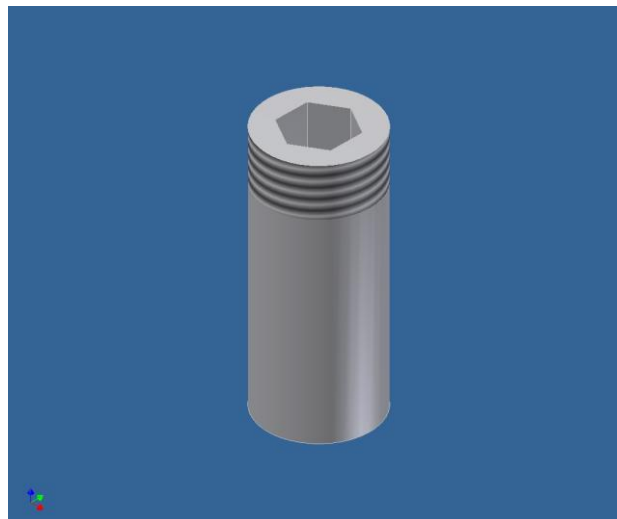
Dette er litt lavt, øker da tverrsnittet til 7 mm:

(61)

$$\sigma = \frac{9841,54}{\pi \cdot (3,5 \text{ mm})^2} = 255,73 \text{ MPa}$$

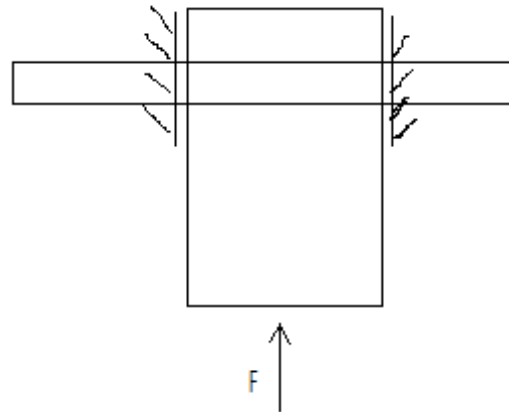
$$n = \frac{530 \text{ MPa}}{255,73 \text{ MPa}} = \underline{\underline{2,07}} \Rightarrow \text{OK diimensjonert}$$

5.3.8.4 Skjærspenning i bolter/hengsler til pads:



Figur 122: Bolt til pad

- Kraft normalt på bolt er $F = 116917,39 \text{ N}$ ← inneholder sikkerhet
- Bredde på ”pad” 22 mm
- Tykkelse av bolt= velger her i første omgang radius lik 4 mm
- Material: 25Cr Duplex = 530 MPa (flytegrense)



Figur 123: Kraftbilde av bolt til "pad"

(62)

$$A_1 = \pi \cdot (0,004 \text{ m})^2$$

$$A_1 = 5,0265 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

(63)

$$A = 2 \cdot A_1 = 1,0053046 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

(64)

$$\tau = \frac{F}{A} = \frac{116917,39 \text{ N}}{1,0053096 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} = 1162,9988 \text{ MPa}$$

Ser at dette blir alt for høyt, må da øke radiusen og velge et sterkere materiale:

- Material: 16Cr, 5Ni, 1Mo Re = 620 MPa
- R=14,5 mm

(65)

$$A_1 = \pi \cdot \left(\frac{14,5 \text{ mm}}{2} \right)^2 = 165,13 \text{ mm}^2$$

(66)

$$A = 2 \cdot 165,13 \text{ mm}^2 = 330,26 \text{ mm}^2$$

(67)

$$\tau = \frac{116917,39 \text{ N}}{330,26 \text{ mm}^2} = 354,016 \text{ MPa}$$

(68)

$$\sigma_{jf} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - (\sigma_x \cdot \sigma_y) + 3\tau_{xy}^2}$$

Går i dette tilfellet ut fra at det kun er skjærspenning τ_{xy} som opptrer:

(69)

$$\Rightarrow \sigma_{jf} = \sqrt{3\tau_{xy}^2} \Rightarrow \sigma_{jf} = \sqrt{3} \cdot \tau_{xy}$$

$$\sigma_{jf} = 354,016 \text{ MPa} \cdot \sqrt{3}$$

$$\sigma_{jf} = \underline{\underline{613,174 \text{ MPa}}}$$

Ettersom det er en sikkerhetsfaktor med i F trenger σ_{jf} i dette tilfellet å være mindre eller lik Re.

(70)

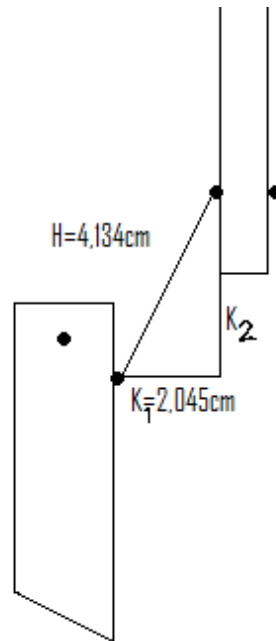
$$\sigma_{if} \leq Re \Rightarrow \underline{\underline{613,174 \text{ MPa} \leq 620 \text{ MPa}}} \Rightarrow \text{Ok dimensjonert}$$

5.3.8.5 Beregning av slaglengde i sylinder for holdemekanisme

- Velger tykkelse av stempelstang i sylindren = 8 mm
- Tykkelse av "pad" = 20 mm
- "Pad" er hengslet i senter 10 mm inn i kroppen

Tilfelle 1 ("Pads" inne) (se

Figur 124: Viser tilfelle når pad er lagt inn i kroppen på gripemekanisme):



Figur 124: Viser tilfelle når pad er lagt inn i kroppen på gripemekanisme

Dette gir lengden K_1 :

(71)

$$K_1 = \frac{(8,89\text{cm} - (2 * 2\text{cm}) - 0,8\text{cm})}{2} = \underline{\underline{2,045\text{cm}}}$$

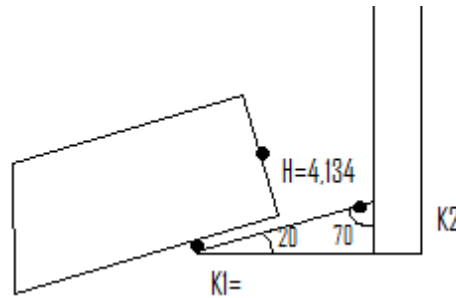
Lengden K_2 finnes med pytagoras:

(72)

$$H^2 = K_1^2 + K_2^2 \Rightarrow K_2 = \sqrt{H^2 - K_1^2} \Rightarrow K_2 = \underline{\underline{3,5928\text{cm}}}$$

Tilfelle 2 (Pads ute) (se

Figur 125: Viser tilfellet når pad er felt helt ut):



Figur 125: Viser tilfellet når pad er felt helt ut

(73)

$$\sin(20) = \frac{K_2}{4,134\text{cm}} \Rightarrow K_2 = \underline{1,4139\text{cm}}$$

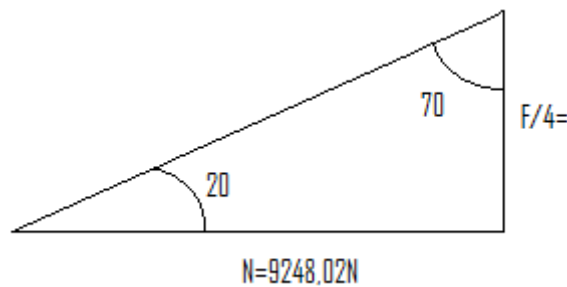
Slaglengden sylindren må ha er da differansen mellom K_2 i Tilfelle 1 og K_2 i Tilfelle 2:

(74)

$$\Delta K = 3,5928\text{cm} - 1,4139\text{cm} = \underline{2,17885\text{cm}}$$

5.3.8.6 Dimensjonering av stempelstang i liten sylinder

- $D=8\text{ mm}$



Figur 126: Kraftbilde av stempelstang i liten sylinder

Tester med hensyn på flyt:

(75)

$$\tan(20) = \frac{\frac{F}{4}}{9248,02\text{N}} \Rightarrow \frac{F}{4} = 3366,004\text{N} \Rightarrow F = \underline{13464,02\text{N}}$$

(76)

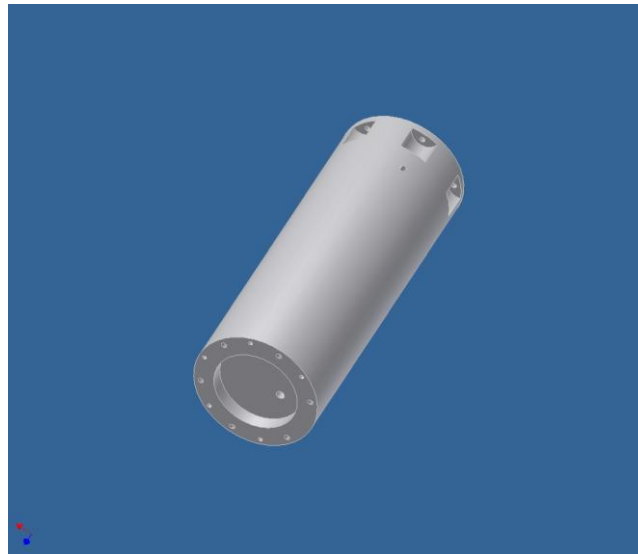
$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{13464,02\text{N}}{\pi * (4\text{mm})^2} = \underline{267,858\text{MPa}}$$

Sikkerheten mot flyt blir da:

(77)

$$N = \frac{530}{267,858} = \underline{1,98} \Rightarrow \text{OK dimensjonert!}$$

5.3.9 Dimensjonering av trykkompensator



Figur 127: Trykkompensator

Volumet av trykkompensatoren (Figur 127) trenger i grove trekk ikke være større enn endring i volum som følge av om en stempelstang er inne eller ute. I denne påstanden tas det forbehold om inkompressibelt fluid.

I tillegg må det legges til for lekkasje og generell sikkerhet. Det velges i dette tilfellet en relativt høy sikkerhetsfaktor som inneholder både generell sikkerhet og sikkerhet for lekkasje.

$$\text{Endring i volum} = \text{Endring i volum for hovedsyylinder} + (\text{Endring i volum for liten sylinder} * 2)$$

Endring i volum for hovedsyylinder:

(78)

$$\Delta V = V_2 - V_1 = \text{Volum av stempelstang}$$

$$\Delta V = \pi * r^2 * L = \pi * (0,013m)^2 * 0,4m = \underline{2,124 * 10^{-4} m^3} = \underline{0,2124dm^3}$$

Endring i volum for liten sylinder:

(79)

$$\Delta V = \pi * (0,004m)^2 * 0,0218m = \underline{1,0957875 * 10^{-6} m^3} = \underline{0,0010958dm^3}$$

Endring i totalt volum:

(80)

$$\Delta V_{tot} = 0,2124dm^3 + (2 * 0,0011dm^3) = \underline{0,2146dm^3}$$

Volum av trykkompensator:

- Med hensyn på det tidligere nevnte settes sikkerhetsfaktoren $n = 2,5$

(81)

$$V = \Delta V_{tot} * n = 0,2146dm^3 * 2,5 = \underline{\underline{0,5365dm^3}}$$

Slaglengde i trykkompensator:

- Velger indre diameter lik som for hovedsylinder, på grunn av at en da vet at veggtykkelse er OK dimensjonert.

(82)

$$V = \pi * r^2 * L \Rightarrow L = \frac{V}{\pi * r^2} = \frac{0,5365dm^3}{\pi * (0,365dm)^2} = \underline{\underline{1,282dm = 128,2mm}}$$

5.3.10 Tetninger [97]

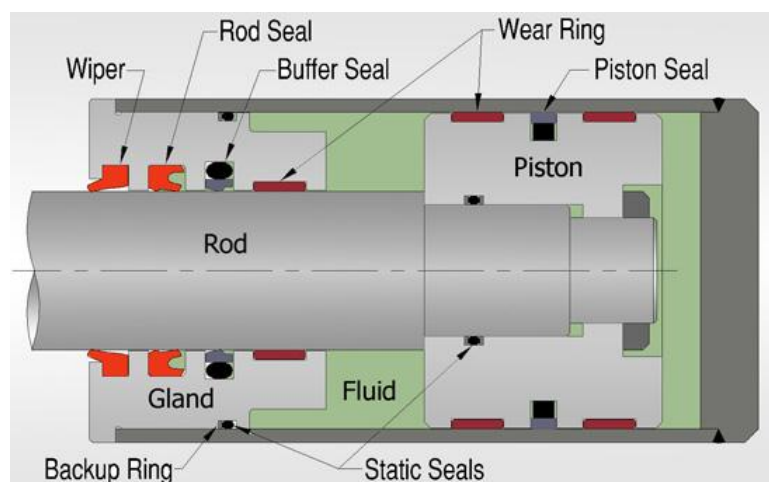
American High Performance Seals produserer tetninger til stort sett alle slags formål med enhver diameter under 100". Det er ønskelig å sjekke om de har tetninger som tilfredsstiler kravene som settes i tilfellet med "strokeren". Kravene er som følger:

- Temperatur 175 °C
- Trykk 350 Bar
- CO₂ tilstede
- H₂S tilstede
- 3 fase brønnstrøm
- Sjøvann

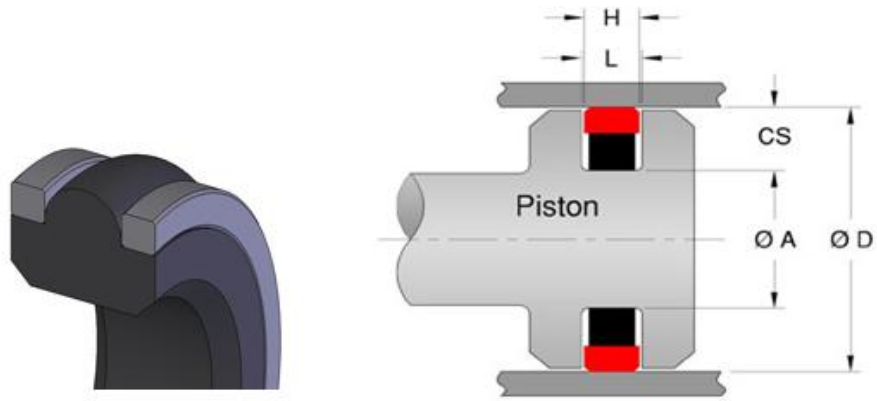
Svaret fra AHPS var følgende:

"Den vanligste løsningen i Nordsjøen (siden den er rik på sur gass) er å bruke k20 tetninger til stempeltetninger og s20 tetninger til stempelstang. Tetningene blir laget i materialet Viton, og er motstandsdyktig mot eksplosiv dekompresjon. Sliteflaten vil være i beryllium kobber og med minimum 2 "back-up rings".

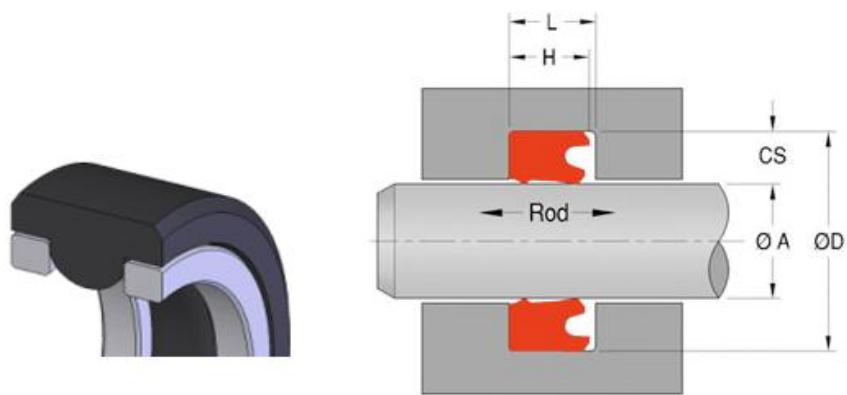
"Viton" materialet er en fluorkarbon gummiblanding som opererer i et temperaturområde fra -20° C til 200° C, med muligheten for å motstå opptil 1900 Bar. Begge tetningene k20 (Figur 129) og s20 (Figur 130) er dobbeltvirkende, dvs. at de klarer å motstå trykk fra begge sider. Nedenfor vises et oversiktsbilde (Figur 128) over alle tetninger på hydrauliske sylindere.



Figur 128: Oversiktsbilde av tetninger på hydrauliske sylindere [98]



Figur 129: K20 tetning [⁹⁹]



Figur 130: S20 tetning [¹⁰⁰]

5.3.11 Posisjonsmåling av stempelstang [101]

For posisjonsmåling av stempelstangen er det valgt å bruke et lineær potensiometer.

Hovedsakelig finnes det to alternativer når det gjelder plasseringen av potensiometeret, på utsiden eller innsiden av sylindere. Det første alternativet må forkastes ettersom plassering på utsiden gjør at diameteren på verktøyet øker. Ved plassering inne i verktøyet må det bores hull i stempelstangen for å få plass til ”staven”.

Når ”staven” er montert til den bakre enden av sylindere finnes det to alternativer for posisjonsmåling:

Det første innebærer at det sendes en elektrisk puls gjennom ”staven”, opp til en magnetisk ring montert på stempelet. Den magnetiske ringen reagerer på den elektriske pulsen og sender et signal tilbake. Tiden det tar for pulsen å vandre fram og tilbake er direkte avhengig av avstanden mellom sensor og stempel, og kan omformes til å vise denne. Denne metoden er svært nøyaktig med tilnærmet uendelig oppløsning, men også komplisert.

Det andre alternativet er en mekanisk metode. ”Staven” blir plassert i et hull i stempelstangen i likhet med metoden nevnt over. Derimot blir det plassert en børste på stempelet istedenfor en magnet. Når denne har kontakt med ”staven” og den lineære motstandskomponenten gir dette en differanse i spenning avhengig av hvor stempelet befinner seg. Denne metoden er mindre komplisert og billigere. Ulempene i forhold til det andre systemet er:

- Den mekaniske koblingen mellom børsten og ”staven” vil bli utslitt.
- Hastighetsbegrensning på sylindere ettersom det kreves god kontakt mellom børste og ”stav”
- Mindre nøyaktig posisjonsmåling enn ved elektrisk puls

Alternativ to blir i dette tilfellet valgt på bakgrunn av:

- At sylindere går med lave hastigheter.
- At dette er den enkleste metoden, som igjen fører til at det er mindre sannsynlighet for at noe kan gå galt.
- At ”strokeren” ikke skal kjøres med store antall repetisjoner.
- At det er krav til funksjonstesting før hver enkelt operasjon, som igjen fører til god overvåking av slitasje.
- At det forutsettes at potensiometeret er ufølsomt for temperatur.
- At det ikke kreves/er mulig med høy oppløsning av posisjonsmålingen.

5.3.12 Beregning av datamengde

Ettersom det er ny teknologi å sende større mengder data på monokabel er det i samråd med Jacob Lie Simonsen, Imenco gitt en begrensning på maksimal datamengde = 200 bit/s

5.3.12.1 Data som skal sendes fra overflaten og ned til ”strokeren”

Trykkstyring:

- Måleområde: 0 - 350 bar
- Oppløsning 1 bar
- Oppdateringsrate 1 gang pr. Sekund

Ligning for beregning av varianter/muligheter for kombinasjoner i bit:
(83)

$$N \frac{\text{bit}}{\text{pakke}} = 2^N - 1 \text{ forskjellige varianter}$$

$$\Rightarrow 8 \frac{\text{bit}}{\text{pakke}} = 2^8 - 1 = 255 \text{ forskjellige varianter}$$

Ser av (83) at måleområde = 0 – 350 bar med oppløsning = 1 bar ikke passer inn i $8 \frac{\text{bit}}{\text{pakke}}$

Ser nå på $9 \frac{\text{bit}}{\text{pakke}}$:

(84)

$$9 \frac{\text{bit}}{\text{pakke}} = 2^9 - 1 = 511 \text{ forskjellige varianter}$$

Ser av (84) at måleområde = 0 – 350 bar med oppløsning = 1 bar passer inn i $9 \frac{\text{bit}}{\text{pakke}}$

Videre kan datamengden beregnes for trykkstyring:

(85)

$$\text{Datamengde} = 9 \frac{\text{bit}}{\text{pakke}} \cdot 1 \frac{\text{pakke}}{\text{sekund}} = 9 \frac{\text{bit}}{\text{sekund}}$$

Retningsventilstyring:

- + slag
- - slag
- Oppdateringsrate 1 gang pr. Sek

Ser av (83) at dette passer i $8 \frac{\text{bit}}{\text{pakke}}$:

Videre beregnes datamengden for retningsventilstyring:

(86)

$$\text{Signalmengde} = 8 \frac{\text{bit}}{\text{pakke}} \cdot 1 \frac{\text{pakke}}{\text{sekund}} = 8 \frac{\text{bit}}{\text{sekund}}$$

5.3.12.2 Data som skal sendes fra "strokeren" til overflaten

Trykkovervåkning:

- Måleområde: 0 - 350 bar
- Oppløsning 1 bar
- Oppdateringsrate 1 gang pr. Sekund

Ser av (84) at måleområde = 0 – 350 bar med oppløsning = 1 bar passer inn i $9 \frac{\text{bit}}{\text{pakke}}$

Ser videre av (85) at datamengden for trykkovervåkning er lik $9 \frac{\text{bit}}{\text{sekund}}$

Lengdeovervåkning:

- Måleområde: 0 - 400 mm
- Oppløsning 1 mm
- Oppdateringsrate 1 gang pr. Sekund

Ser av (84) at måleområde =0 – 400 mm med oppløsning = 1 mm passer inn i $9 \frac{\text{bit}}{\text{pakke}}$

Ser videre av (85) at datamengden for Lengdeovervåkning er lik $9 \frac{\text{bit}}{\text{sekund}}$

5.3.12.3 Total Signalmengde

Total datamengde som må sendes på monokabelen er da summen av:

- Trykkstyring $9 \frac{\text{bit}}{\text{sekund}}$
- Retningsventil $8 \frac{\text{bit}}{\text{sekund}}$
- Trykkovervåkning $9 \frac{\text{bit}}{\text{sekund}}$
- Lengdeovervåkning $9 \frac{\text{bit}}{\text{sekund}}$

(87)

$$Total\ datamengde = (9 + 8 + 9 + 9) \frac{\text{bit}}{\text{sekund}} = 35 \frac{\text{bit}}{\text{sekund}}$$

Det fremkommer av enkle beregninger i (83) - (87) at datamengden som skal sendes til og fra ”strokeren” ligger godt innenfor den fastsatte begrensningen på 200 bit/s.

Kap 6: Oppsummering og diskusjon

DeepWell AS er et forholdsvis nytt brønnintervensjonsfirma som i dag operer med brønnintervensjonsutstyr som ikke kan brukes i horisontale brønner. Etter at firmaet fikk en stor kontrakt med Statoil har firmaet store muligheter og ønsker om å kunne utvide sitt tjenestespekter. Det var på bakgrunn av dette et ønske om å få en oversikt over eksisterende brønnintervensjonsverktøy som finnes på markedet i dag, både verktøy for bruk i lag med brønntaktor for horisontale brønner, så vel som mer konvensjonelle verktøy for vertikale brønner. I tillegg ønsker firmaet i fremtiden å kunne utvikle sine egne verktøy.

Oppgaven er blitt løst kronologisk i følge oppgaveteksten, som nevnt i innledningen var dette mer eller mindre en nødvendighet med tanke på at oppgave 1, 2 og 3 var gruppas læringsfase mot å kunne konstruere et eget verktøy i oppgave 4.

Velger i det følgende å snakke om del 1 (Oppgave 1, 2 og 3) og del 2 (oppgave 4) av bacheloroppgaven.

Det kan diskuteres om tidsfordelingen mellom oppgavene var hensiktsmessig. Del 1 i bacheloroppgaven var veldig omfattende og tok omtrent 75 % av tiden. Mye av grunnen til dette var at det er veldig vanskelig å begrense en oppgave som skal gjennomføres som en del av en læringsprosessen. Kutter vi i denne delen mangler vi kunnskap til å gjennomføre neste del. Dersom oppgaven imidlertid skulle blitt gjennomført på nytt hadde det blitt lagt mindre vekt på del 1, det mest gunstige ville kanskje være en 50/50 fordeling.

På grunn av de tidsmessige begrensningene ble oppgave 4 (Kap. 5) utført på et mer eller mindre skissenivå med enkle kraftberegninger.

Hovedutfordringene med PowerTool Stroker var å klare å lese av slaglengde og trykk/kraft i sanntid på overflaten. For å klare dette var det nødvendig å sende data over monokabel samtidig som store mengder strøm ble sendt ned til verktøyet. For å få greie på om dette var mulig ble det avlagt et besøk hos Jacob Lie Simonsen, Imenco. Simonsen har i et tidligere prosjekt, arbeidet med den samme problemstillingen. Simonsen kom frem til at det skal være mulig å sende data på monokabel samtidig som store strømmengder blir sendt. Hans resultater satte begrensningene for hvor mye data som kan sendes ned til PowerTool Stroker, og med enkle beregninger ble de slått fast at vi var innenfor grensene og at det i er prinsippet mulig å lese av slaglengde og trykk/kraft i sanntid på overflaten. For å måle slaglengden blir det brukt et lineær potensiometer.

Neste utfordring med PowerTool Stroker var å komme opp med en ny gripemekanisme. Inspirasjonen til gripemekanismen ble hentet fra en helt vanlig rørtang. En rørtang vil gripe om et rør bare ved hjelp av torsjonsmomentet som oppstår når tangen presses i en rotasjonsretning. Det trengs med andre ord ikke en ekstern kraft for å presse tangens ”munn” sammen for å gripe om røret. Det var ønskelig å kopiere dette til en mekanisme bestående av 4 armer som står symmetrisk fordelt rundt verktøyet, og som kan gripe fast innvendig i et rør bare ved hjelp av den aksielle kraften som oppstår fra strokerens hovedsyylinder. Resultatet som er kommet frem er foreløpig bare en teoretisk idè som ikke er testet. Det kan f.eks ved testing vise seg at ”pads” kiler seg inne i ”casingen”. Men dette er spekulasjoner som en finner svar på ved videre testing i en eventuell videreutviklingsfase av PowerTool Stroker.

Prosjektproduktet ses på som et verdifullt produkt både for gruppemedlemmer som har lært om brønnintervensjon og for ekstern bedrift (DeepWell AS) som kan bruke rapporten som et oppslagsverk/oversikt over ulike produkter med tilhørende ”interface” som finnes på markedet. I tillegg finnes en samling av aktuelle lover og standarder for operasjon og konstruksjon av et brønntraktorverktøy som også kan være nyttig for ekstern bedrift i en eventuell konstruksjonsfase av eget verktøy/utstyr. Til slutt kommer konstruksjonen av PowerTool Stroker som kan gi mange ideer og hjelpe DeepWell AS på vei dersom de ønsker å konstruere en egen ”stroker”.

Resultatene i rapporten stemmer godt overens med målsetningene satt i innledningen.

Kap 7: Referanser

Referansene som vi finner i teksten ser slik ut: [2]. Disse refererer til tallene foran referansen i referanselisten som ser slik ut: 2

- 1 [http://en.wikipedia.org/wiki/Wireline_\(cabling\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Wireline_(cabling))
- 2 <http://en.wikipedia.org/wiki/Slickline>
- 3 http://portal.woodgroup.com/portal/page?_pageid=0,1713786&_dad=portal30&_schema=PORTAL30
- 4 http://en.wikipedia.org/wiki/Coiled_tubing
- 5 <http://www.welltec.com>
- 6 <http://en.wikipedia.org/wiki/Snubbing>
- 7 [http://en.wikipedia.org/wiki/Wireline_\(cabling\)#Tractors](http://en.wikipedia.org/wiki/Wireline_(cabling)#Tractors)
- 8 http://www.schlumberger.com/~media/Files/production/brochures/wireline_cased_hole/analysis_behind_casing/abc_br.ashx
- 9 http://www.slb.com/~media/Files/production/product_sheets/wireline_cased_hole/analysis_behind_casing/casedhole_formation_porosity.ashx
- 10 http://www.slb.com/services/evaluation/wireline_cased_hole/analysis_behind_casing/cased_hole_formation_resistivity.aspx
- 11 http://www.slb.com/~media/Files/production/brochures/wireline_cased_hole/analysis_behind_casing/chdt.ashx
- 12 http://www.slb.com/~media/Files/evaluation/brochures/wireline_open_hole/petrophysics/acoustic/sonic_scanner_br.ashx
- 13 http://www.slb.com/~media/Files/evaluation/brochures/wireline_open_hole/petrophysics/porosity/rstpro_brochure.ashx
- 14 http://www.slb.com/services/evaluation/wireline_open_hole/geology.aspx
- 15 http://www.slb.com/~media/Files/evaluation/brochures/wireline_open_hole/geology/fmi_br.ashx
- 16 http://www.slb.com/~media/Files/evaluation/brochures/wireline_open_hole/geology/ubi_br.ashx
- 17 http://www.slb.com/~media/Files/evaluation/brochures/wireline_open_hole/geology/obmi_br.ashx
- 18 http://www.slb.com/~media/Files/evaluation/product_sheets/wireline_open_hole/geology/obdt_ps.ashx
- 19 http://www.slb.com/~media/Files/evaluation/brochures/wireline_open_hole/petrophysics/nmr/mrscanner_br.ashx
- 20 http://www.slb.com/services/evaluation/wireline_open_hole/petrophysics/porosity/compensated_neutron_log.aspx
- 21 http://www.enseco.ca/upload/media_element/73/01/ldt_vm2.pdf
- 22 http://www.slb.com/~media/Files/evaluation/brochures/scanner_rock_fluid_character/em_pipe_scanner_br.ashx
- 23 <http://www.slb.com/~media/Files/seismic/brochures/vsi.ashx>
- 24 http://www.slb.com/~media/Files/production/brochures/well_integrity/isolation_scanner_br.ashx

- 25 http://www.slb.com/~media/Files/evaluation/industry_articles/200905_ogme_fluid_frontier.ashx
- 26 <http://www.tecwel.com/doc/WSD%20brochure.pdf>
- 27 <http://www.tecwel.com/specifications/WLD.pdf>
- 28 http://www.sondex.com/assets/documents/pdfs/products/wireline/W_PL_Platinum_Resistance_Thermometer_PRT_D.pdf
- 29 http://www.sondex.com/assets/documents/pdfs/products/wireline/W_PL_Quartz_Pressure_Single_Sensor_OP_S_C.pdf
- 30 http://www.sondex.com/products/wireline/cased_hole/production_logging/-W_PL_Production_Dual_Caliper_PDC.php
- 31 http://www.sondex.com/products/wireline/cased_hole/production_logging/W_PL_Caged_Fullbore_Flowmeter_6arm.php
- 32 http://www.sondex.com/products/wireline/cased_hole/production_logging/W_PL_Fluid_Density_Differential_Pressure.php
- 33 http://www.sondex.com/products/wireline/cased_hole/production_logging/-W_PL_Enhanced_Capacitance_Water_Hold-up_Tool_CWH.php
- 34 Jørgensen , Erland og Framnes, Einar (2001): Boreteknologi , Moderne boretekniske prinsipper. 2. opplag. Vett og Viten AS
- 35 Jørgensen , Erland og Framnes, Einar (2001): Boreteknologi , Moderne boretekniske prinsipper. 2. opplag. Vett og Viten AS
- 36 [http://en.wikipedia.org/wiki/Perforation_\(oil_well\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Perforation_(oil_well))
- 37 http://en.wikipedia.org/wiki/Well_stimulation
- 38 <http://semaittek.wordpress.com/2009/04/22/57/>
- 39 [http://en.wikipedia.org/wiki/Completion_\(oil_and_gas_wells\)#Acidizing](http://en.wikipedia.org/wiki/Completion_(oil_and_gas_wells)#Acidizing)
- 40 http://en.wikipedia.org/wiki/Hydraulic_fracture
- 41 [http://en.wikipedia.org/wiki/Completion_\(oil_and_gas_wells\)#Nitrogen_circulation](http://en.wikipedia.org/wiki/Completion_(oil_and_gas_wells)#Nitrogen_circulation)
- 42 <http://en.wikipedia.org/wiki/Workover>
- 43 <http://www.welltec.com/downloads/brochure.aspx>
- 44 Welltec brosjyre side 30-39
- 45 Welltec brosjyre side 40-49
- 46 Welltec brosjyre side 50-51
- 47 Welltec brosjyre side 52-55
- 48 Welltec brosjyre side 56-57
- 49 Welltec brosjyre side 60-67
- 50 Welltec brosjyre side 68-75
- 51 Welltec brosjyre side 76-77
- 52 <http://www.slb.com>

- 53 http://www.slb.com/~media/Files/production/brochures/wireline_cased_hole/wireline_conveyance/tufftrac_brochure.ashx
- 54 http://www.slb.com/~media/Files/production/brochures/wireline_cased_hole/production_logging/maxtrac_pstts.ashx
- 55 <http://www.akersolutions.com/NR/ronlyres/14492F42-F014-4C2B-B72E-BE6EC6131C6D/19397/AkerTractorCatalogueApril09.pdf>
- 56 Aker Well Service brosjyre side 6-11
- 57 Aker Well Service brosjyre side 12-13
- 58 Aker Well Service brosjyre side 14-15
- 59 Aker Well Service brosjyre side 16
- 60 Aker Well Service brosjyre side 17
- 61 Aker Well Service brosjyre side 18
- 62 Aker Well Service brosjyre side 19
- 63 Aker Well Service brosjyre side 20
- 64 Aker Well Service brosjyre side 21
- 65 Aker Well Service brosjyre side 22
- 66 Aker Well Service brosjyre side 23
- 67 Aker Well Service brosjyre side 24
- 68 Aker Well Service brosjyre side 25
- 69 Aker Well Service brosjyre side 26-27
- 70 Aker Well Service brosjyre side 28
- 71 Aker Well Service brosjyre side 29
- 72 Aker Well Service brosjyre side 30
- 73 Aker Well Service brosjyre side 31
- 74 Aker Well Service brosjyre side 32
- 75 Aker Well Service brosjyre side 33
- 76 Aker Well Service brosjyre side 34
- 77 Aker Well Service brosjyre side 35
- 78 http://www.sondex.com/assets/documents/pdfs/products/wireline/W_DT_Downhole_Tractor_MDT_E.pdf
- 79 http://www.sondex.com/assets/documents/pdfs/products/wireline/W_DT_Downhole_Tractor_MDT_E.pdf
- 80 <http://www.akersolutions.com/NR/ronlyres/14492F42-F014-4C2B-B72E-BE6EC6131C6D/19397/AkerTractorCatalogueApril09.pdf>
- 81 <http://www.welltec.com/downloads/brochure.aspx>
- 82 <http://www.standard.no/> Søk D-002

-
- 83 <http://www.standard.no/> Søk D-SR-007
 - 84 <http://www.standard.no/> Søk M-001
 - 85 <http://www.standard.no/> Søk U-001
 - 86 <http://www.standard.no/> Søk Z-015 N
 - 87 <http://www.standard.no/> Søk D-010
 - 88 <http://www.standard.no/> Søk M-122
 - 89 <http://www.standard.no/> Søk M-120
 - 90 http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/mechanical/files/atex/direct/text94-9_en.pdf
 - 91 <http://www.lovdata.no/cgi-wift/ldles?doc=/sf/sf/sf-19990609-0721.html>
 - 92 <http://info.ogp.org.uk/standards/downloads/StandardsIssued.pdf>
 - 93 <http://www.spe.org/spe-app/spe/jpt/2007/07/TechUp.htm>
 - 94 <http://www.standard.no/> Søk D-SR-007
 - 95 http://www.hydroeduc.com/site/en_microhydraulique_formule_met.php
 - 96 <http://www2.norskstaa.no/varekatalog/tabell.aspx?tabellID=1350&vgr=825&del=1&mode=show>
 - 97 <http://www.ahpseals.com/products/hydraulic.php>
 - 98 <http://www.ahpseals.com/products/hydraulic.php>
 - 99 <http://www.ahpseals.com/products/piston.php>
 - 100 <http://www.ahpseals.com/products/rod.php>
 - 101 <http://www.ultrametal.com/smartycls.cfm?CategoryID=62>