

Jordfeil i ROV-Umbilical

Effekten av Statisk og Dynamisk
lastkarakteristikk

Daniel Eliassen

Undervannsteknologi

Innlevert: juni 2013

Hovedveileder: Per Schjølberg, IPK

Medveileder: Ragnar Gjengedal, HiB
Vidar Horneland, DOF Subsea

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for produksjons- og kvalitetsteknikk

I. Forord

Ved avsluttende mastergradsutdanning i Undervannsteknologi ved Norges Teknisk Naturvitenskapelige Universitet, skrives det en mastergradsavhandling. Studiet har et samarbeid med Høyskolen i Bergen, hvor jeg har tatt siste del av utdannelsen. Avhandlingen har blitt skrevet på Høyskolen i Bergen det siste semester av utdannelsen.

Oppgaven har blitt gitt av DOF Subsea, da de ønsker å finne ut mer om hvordan feil på ROV-Umbilical i større grad kan unngås. Det er et stort potensiale for økonomisk gevinst om hyppigheten på feil ved denne type kabel kan reduseres. Ved å studere hvorfor disse feilene oppstår, kan tiltak iverksettes for å redusere relevante degraderingsmekanismer. Mer effektive subseaoperasjoner kan utføres om feil på denne type utstyr reduseres.

En stor takk vil bli rettet mot Karsten Moholt som har stilt personell og måleutstyr tilgjengelig for bruk i avhandlingen. Uten deres velvilje til å bidra ville det vært problematisk å få utført omfattende elektriske tester på kabelen.

Jeg vil utrette en stor takk til DOF Subsea som har bidratt med Umbilical, midler og kunnskap rundt denne kabelen. Uten deres hjelp hadde ikke oppgaven vært mulig å gjennomføre.

Jeg ønsker også å takke mine veiledere ved Høyskolen i Bergen, Ragnar Gjengedal og Ørjan Fyllingen for nyttig veiledning og konstruktiv tilbakemelding gjennom oppgaveprosessen. En takk må også rettes mot Lasse Sivertsen som har hatt verdifulle bidrag rundt degradering av isolasjonsmaterialer i elektriske kabler.

Det skal også rettes en takk til Hallvard Faremo fra SINTEF, som har bidratt med nyttige innspill til tolkning av måleresultater.

Avslutningsvis ønsker jeg å rette en stor takk til min familie som har støttet og oppmuntret meg gjennom hele studiet. De har lagt til rette, slik at studietiden har blitt en positiv og gjennomførbar epoke i mitt liv.

Daniel Eliassen

Daniel Eliassen

II. Sammendrag

DOF Subsea innehar en rekke ROV-systemer plassert på ulike fartøy rundt om i verden. Det er ønskelig at disse systemene skal ha høyest mulig tilgjengelighet, slik at undervannsoperasjoner kan gjennomføres uten at feil på utstyret finner sted. ROV-systemene er bygget opp slik at feil kan oppstå på en rekke komponenter uten at systemet må tas ut av drift. Det vil imidlertid alltid være noen komponenter som poserer en større trussel mot tilgjengeligheten til ROV-systemet enn andre.

Umbilical er en av de komponentene på et ROV-system som innehar liten, eller ingen grad av redundans. En feil på kabelen vil derfor i de fleste tilfeller medføre at ROV-systemet må tas ut av drift, og følgelig vil fartøyet gå over på nedetid. Dette medfører et betydelig tap av inntekt for selskapet. Det er derfor ønskelig å øke forståelsen rundt hvorfor feil på denne kabelen oppstår, i tillegg til å finne ut hva som kan gjøres for å redusere hyppigheten til de ulike feilene på kabelen.

Fra tidligere arbeider har det blitt identifisert at jordfeil forekommer hyppigst på denne type kabel. Dette sett i sammenheng med behov for reterminering av kabel ved denne type feil, medfører at det er naturlig å fokusere på jordfeil i første omgang.

Da det fra tidligere arbeid har blitt identifisert at jordfeil forekommer hyppigst i nærheten av TMS, har det blitt studert hvilke laster som er unike for denne delen av kabelen. Lastdata er hentet fra et ROV-system plassert om bord på Geosund. Det har blitt identifisert tilfeller av svært høy last ved inn- og utkjøring av TMS fra dokkinghode. Av den grunn blir det valgt å studere effekten av høy last på dannelsen av jordfeil.

Måling av Tangens delta, Kapasitans og Partielle Utladninger har blitt utført på kabelens isolasjonsmaterialer. Deretter har kabelen blitt utsatt for strekk opp til 40 tonn. Dette er noe høyere enn den største registrerte lasten om bord på Geosund. Underveis ved strekk har isolasjonsresistans blitt målt. Avslutningsvis har Tangens delta, Kapasitans og Partielle Utladninger blitt målt på nytt. Dette for å kunne identifisere eventuelle endringer etter at kabelen har vært utsatt for strekk.

Det blir ikke påvist noen større endringer av kabelens dielektriske egenskaper. Dette indikerer at Umbilical tåler denne type mekanisk påkjenning uten at kvaliteten til kabelens dielektriske materialer blir forringet. Noen mindre endringer blir imidlertid registrert, dette kommer sannsynligvis av at kabelen har blitt noe mer kompakt, og at fyllmasser i kabelen kan ha blitt flyttet på. Videre undersøkelser der Umbilical blir utsatt for strekk og bøy er ønskelig. Dette vil da danne et mer komplett bilde av jordfeildannelse ved store laster.

Det blir konkludert med at høye laster over et relativt kort tidsrom ikke påvirker dannelsen av jordfeil i denne type kabel.

III. Summary

DOF Subsea own several ROV-systems placed on different vessels around the world. It is desirable that these systems should have as high availability as possible, so that subsea-operations can be performed without any failure on equipment. ROV-systems is built in such a way that failures may arise on several components without the need of breakdown. However, it will always be some components that pose a bigger threat against the availability of the ROV-system than others.

Umbilical is one of the components in a ROV-system that has small, or no degree of redundancy. Cable failures will in almost all cases lead to ROV-system breakdown, consequently the vessel will not be able to perform any operations. This leads to a considerable loss of income for the company. Therefore it is desirable to increase the knowledge around why failure on this cable arise, and find out what may be done to reduce the frequency of different cable failures.

From earlier work it has been identified that ground-fault occur most frequent in this type of cable. This in connection with the need for retermination of the cable when this kind of fault occurs, leads to the conclusion that it is best to investigate ground-fault initially.

It has been identified from earlier work that ground-fault occurs most frequent in close proximity of the TMS. Tension-data is collected from an ROV-system located on Geosund, and tension unique for this part of the cable has been studied. It has been identified cases with particularly high tension when TMS is docking in and out from Docking-head. This is why it has been chosen to study the effect high tension has on the creation of ground-fault.

Measurements of Tan delta, Capacitance and Partial Discharge have been performed. Afterwards the cable has been exposed to tension as high as 40 tons. This is higher than the highest registered tension onboard Geosund. While the cable was exposed to tension, the insulation-resistance was measured. After this Tan delta, Capacitance and Partial Discharge was measured again. Any changes in dielectric properties could then be identified.

No major changes in dielectric properties have been identified. This indicates that Umbilical can withstand this kind of mechanical stress without deteriorate the dielectrical materials in the cable. Some smaller changes has been registered, these changes is likely a result of cable compaction, and filler movement inside the cable. It is desirable to further investigate the effect from tension and bending on the cables dielectric properties. This will create a more detailed picture of ground-fault creation under high tension.

It has been concluded that high tension over a relatively short period of time do not influence the creation of ground-fault in this cable.

Innholdsfortegnelse

I.	Forord.....	1
II.	Sammendrag.....	2
III.	Summary	3
IV.	Forkortelser og definisjoner	6
1.	Innledning	7
1.1.	Bakgrunn.....	7
1.2.	Problemstilling.....	8
1.3.	Rapportstruktur	8
2.	ROV-System.....	10
2.1.	ROV og TMS	12
2.2.	LARS	13
2.3.	Umbilical	17
3.	Litteratur	20
3.1.	Mekaniske egenskaper	20
3.1.1.	Stål.....	20
3.1.2.	Kobber	22
3.1.3.	Polymer	23
3.2.	Elektriske egenskaper	25
3.2.1.	Resistans til Kobberleder.....	25
3.2.2.	Elektrisk Feltstyrke	26
3.2.3.	Kapasitans.....	30
3.2.4.	Tangens delta	33
3.2.5.	Dielektriske Tap.....	35
3.2.6.	Isolasjonsresistans.....	36
3.3.	Feltassistert degradering av Polymerer.....	38
3.3.1.	Partielle Utladninger	38
3.3.2.	Elektriske trær	40
3.3.3.	Termisk nedbryting	42
3.3.4.	Vantrær	43
4.	Metode.....	44
4.1.	Litteratur og databasesøk.....	44

4.2.	Logging av lastkarakteristikk.....	45
4.3.	Strekk av Umbilical	50
4.4.	Måling av dielektriske egenskaper	55
4.4.1.	Klargjøring av ledere for elektriske målinger	55
4.4.2.	Oppsett for måling av Tangens delta, Partielle utladninger og Kapasitans	57
4.4.3.	Måling av Partielle Utladninger.....	59
4.4.4.	Måling av Tangens Delta og Kapasitans	60
4.4.5.	Måling av isolasjons-resistans	61
4.5.	Samtaleintervju.....	63
5.	Resultater	64
5.1.	Lastkarakteristikk.....	64
5.2.	Isolasjonsegenskaper.....	76
5.2.1.	Partielle utladninger	76
5.2.2.	Tangens delta	78
5.2.3.	Kapasitans.....	82
5.2.4.	Isolasjonsresistans.....	85
	Diskusjon	86
	Konklusjon	90
	Videre arbeid.....	91
	Referanseliste.....	92
	Vedlegg.....	95

IV. Forkortelser og definisjoner

Forkortelse	Beskrivelse
ROV	Remotely Operated Vehicle
TMS	Tether Management System
LARS	Launch And Recovery System
PE	Polyetylen
XLPE	Tverrbunden(Crosslinked) Polyetylen
PP	Polypropylen
TPE	Termoplastisk Elastomer
NTNU	Norges Tekniske og Naturvitenskapelige Universitet
HiB	Høyskolen i Bergen
DC	Direct Current
AC	Alternating Current
HPU	Hydraulic Power Unit
MRU	Motion Reference Unit
RMS	Root Mean Square

Jordfeil:

Jordfeil defineres som en komplett nedbryting av isolasjonsmateriale rundt en leder, slik at strøm vil gå fra den aktuelle lederen til jord. Dette forekommer når omgivelsene rundt det skadde området er strømledende mot jord. Det er rimelig å anta at fuktighet vil finnes i denne type kabel. Forutsetningene for å kunne få dannet en jordfeil vil av den grunn være tilstede.

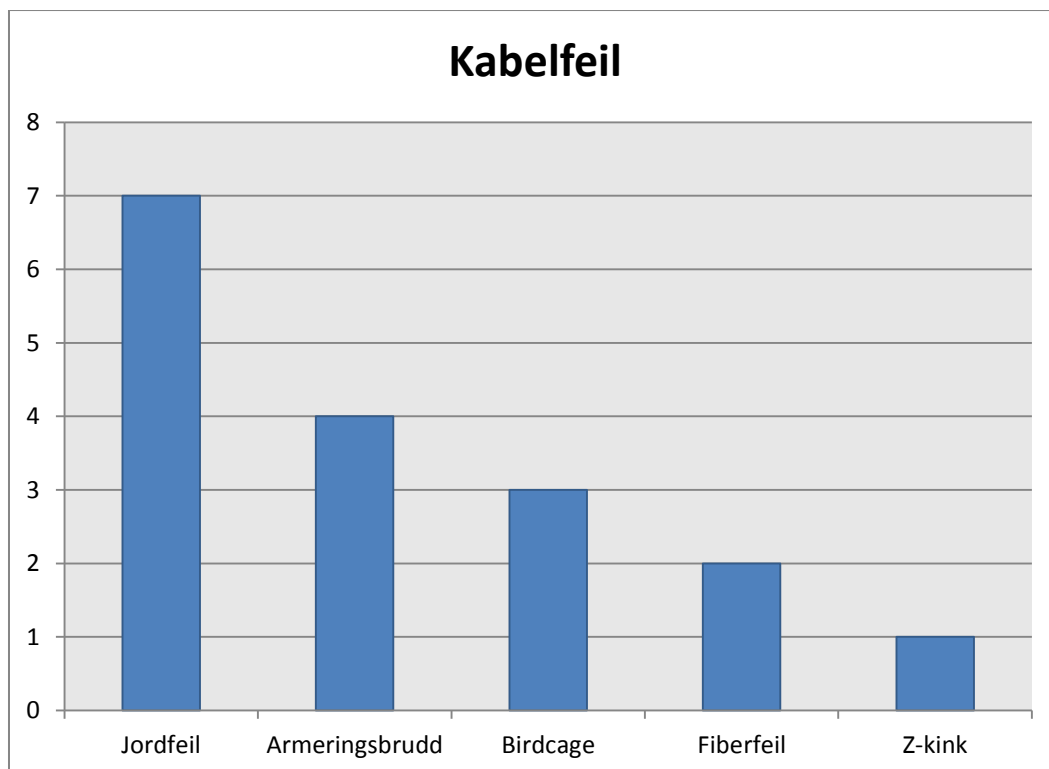
1. Innledning

1.1. Bakgrunn

I dagens oljebransje stilles det store krav til operasjonell tilgjengelighet. Dette medfører behov for driftssikre systemer. Når det kommer til offshoreoperasjoner foregår en stor del av disse under vann, det er da vanlig at arbeidsoppgavene blir utført- eller inspiseres av en fjernstyrt undervannsfarkost. Disse farkostene blir omtalt som ROV.

På dagens ROV-systemer er det stor grad av redundans på komponenter som er kritiske for driftssikkerheten. Likevel vil det alltid være noen komponenter som poserer en større fare for tilgjengeligheten til systemet. En feil på slike komponenter vil medføre uheldig nedetid, og forsinkelse i prosjektet. Avhengig av reparasjonstid vil konsekvensene av slike feil variere i alvorlighetsgrad.

Umbilical er en av de komponentene som har liten grad av redundans. I tidligere arbeid har feilrapporter for de ulike feilene som forekommer på ROV-Umbilical blitt studert, og kategorisert. Det har da kommet frem at Jordfeil er en av de feiltypene som poserer en større trussel mot den operasjonelle tilgjengeligheten til Fartøyet.



Figur 1-1. Feilfordeling for Atlanterhavsflåten til DOF-Subsea (1).

En reparasjonstid på opp mot ett døgn for feil på Umbilical er ikke uvanlig. Et fartøys tapte inntekter ved denne type feil ligger på mellom 500 000 og 1 000 000 kr pr. døgn. Dette medfører en betydelig økonomisk gevinst om feil på denne komponenten blir redusert.

Da feilrapportene er basert på hendelser som har medført nedetid på fartøyer, kan det tenkes at begynnende jordfeil ikke har blitt registeret. En bit av kabelen blir kappet av hvert år, for strekktesting. Dette kan medføre at begynnende feil blir fjernet fra kabelen som er i bruk. Imidlertid er utstyret som skal detektere denne type feil relativt følsomt, så alle feil av betydelig størrelse vil utløse alarmer, og følgelig reterminering av kabel. En slik betydelig avbrytelse av operasjon vil alltid medføre behov for dokumentasjon, da dette er svært kostbart. Av den grunn kan det antas at alle større jordfeil har blitt dokumentert. Det kan imidlertid tenkes at jordfeil kan forekomme i termineringsboksen inne i TMS, og feil på kabel kan (uheldigvis) ende opp som forklarende årsak. En reterminering av Umbilical kan da medføre utbedring av terminering, og jordfeilen opphører.

1.2.Problemstilling

I et ROV system er Umbilical en av de komponentene som har liten grad av redundans. Dette kombinert med konsekvensene av feil på kabelen fører til at Umbilical er en av de komponentene som har stor operasjonell risiko knyttet til seg. Jordfeil er en av de feilene som forekommer på Umbilical som medfører spesielt stor nedetid på ROV-systemet.

Da tester utført på kabelen er tid og ressurskrevende, har det vært nødvendig å begrense omfanget av oppgaven. Fra tidligere arbeid har feilrapporter blitt studert for å identifisere hvilke områder på kabelen som er spesielt utsatt for denne type feil. Det har vist seg at jordfeil oftest forekommer innenfor de siste 30 meter av kabelen. Da de ulike delene av kabelen blir utsatt for noe forskjellige degraderingsmekanismer, har fokus vært rettet mot hvilke ytre faktorer som er unik for den delen av kabelen der jordfeil oftest finner sted. Med bakgrunn i dette har det blitt valgt å studere hvilke effekt de mekaniske lastene kabelen blir utsatt for, har på dannelsen av jordfeil.

1.3.Rapportstruktur

Den første delen av avhandlingen er kapittel 2, denne tar for seg oppbyggingen av et ROV-system. Hvilke hovedkomponenter et større ROV-systemet består av, i tillegg til oppbyggingen av Umbilical og dens innfestninger.

Videre tar kapittel 3 for seg relevant teori relatert til stål, kobber og polymerer. De mekaniske egenskapene til stål, kobber og polymerer blir belyst. Kobbers elektriske egenskaper blir i noen grad beskrevet. De dielektriske egenskapene til polymeriske isolasjonsmaterialer står i fokus. Noen av de vanligste feltassisterte degraderingsmekanismene til polymerer blir også belyst.

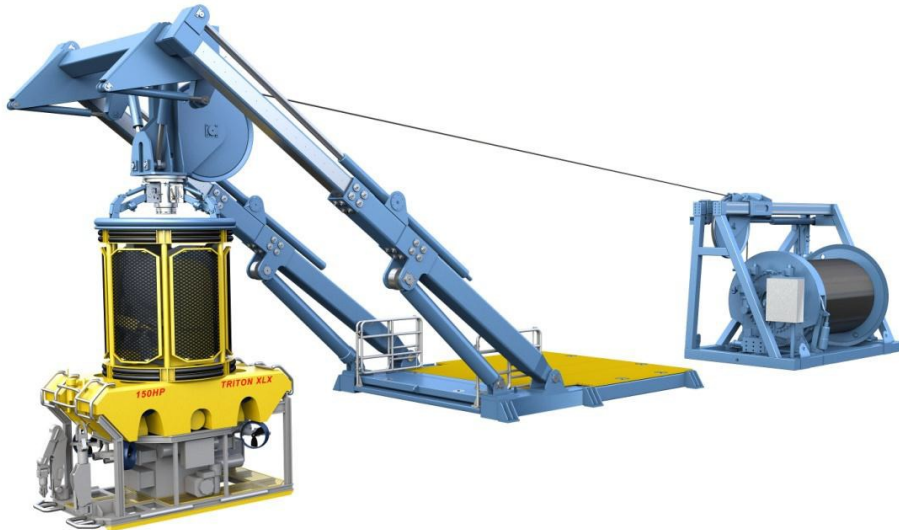
Kapittel 4 tar for seg de ulike vitenskapelige metodene som er brukt for å produsere resultater i avhandlingen. Utstyret som har blitt brukt til å utføre elektriske tester, strekking av kabel, og logging av lastkarakteristikk blir presentert i dette kapittelet. Hvordan utstyret har blitt brukt, og klargjøring av Umbilical til forskjellige målinger og strekking blir beskrevet.

Videre blir resultatene fra de ulike målingene som har blitt utført presentert i kapittel 5. Resultatene blir i hovedsak presentert grafisk eller i tabellform, i tillegg til at kommentarer blir gitt til måleresultatene. Noen kommentarer til kabeldesign blir også gitt i dette kapitlet.

Avslutningsvis er det en diskusjonsdel, der resultatene blir vurdert mot relevant teori, og målenøyaktighet blir diskutert. Deretter trekkes det en konklusjon basert på resultatene i avhandlingen. Videre arbeid blir anbefalt, slik at muligheten for ytterligere progresjon rundt forståelsen av kabeldegradering, og utbedring av «Launch and Recovery» systemer kan videreføres.

2. ROV-System

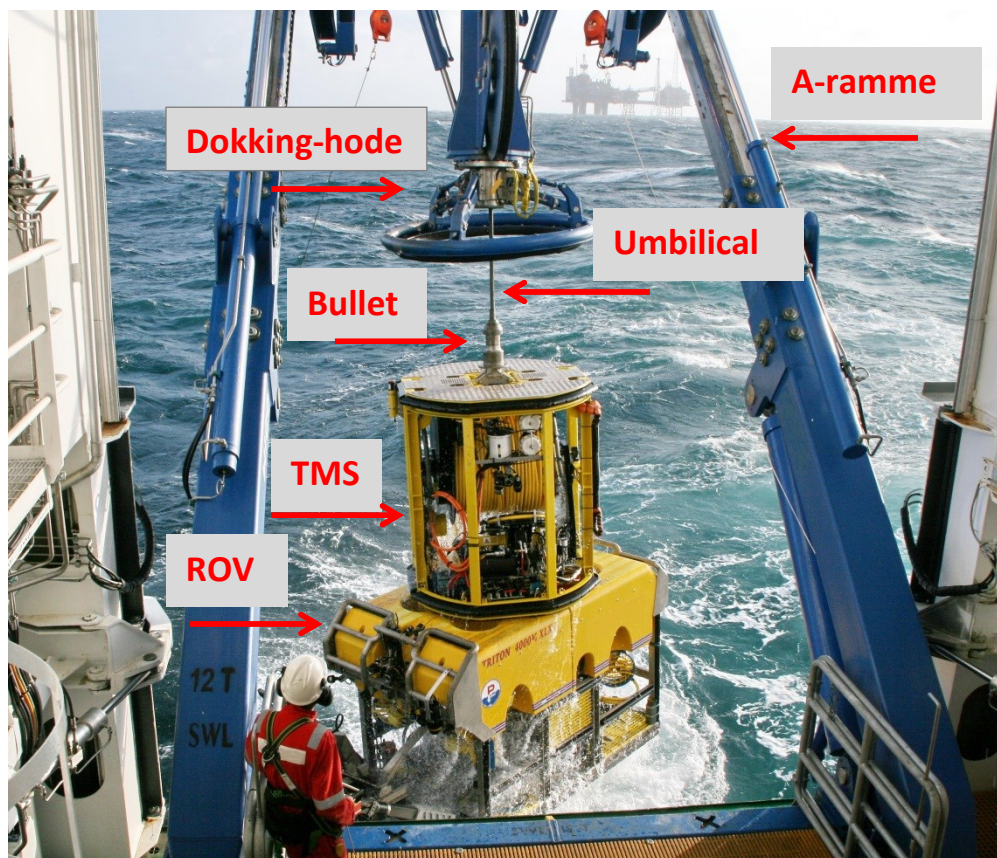
ROV er en forkortelse for Remotely Operated Vehicle, dette er en fjernstyrt undervannsfarkost som blir brukt til observasjon, kartlegging og fysiske jobber i vannet og på havbunnen. De finnes i forskjellige størrelser og utforminger avhengig av hvilke jobb de skal gjøre, og hvor de skal operere. De ulike typene blir ofte inndelt i klasser etter størrelse og effekt, der de største ROV systemene faller inn under gruppen kalt Work Class (2).



Figur 2-1: ROV-System, bakerst ser man en vinsj, deretter A-ramme, TMS og ROV (3).

Ved inn og utsetting over skutesiden (på et A-ramme system) vil TMS være låst fast i dokkinghodet på A-rammen. Vekten av ROV og TMS vil da være tatt opp av noen latches inne i dokking-hodet, ikke via Umbilical slik som vil være tilfelle under operasjon (4).

Når ROV er på operasjonsdybde vil denne dokke ut av TMS, for så å kunne fly fritt i området rundt TMS, begrenset av lengden på tether (5).



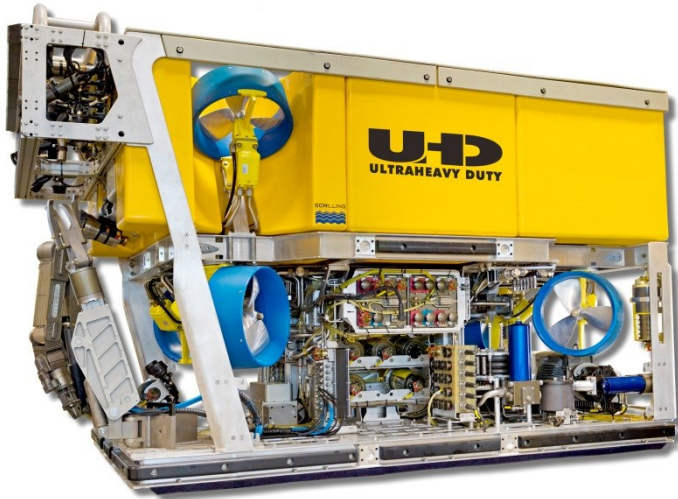
Bilde 2-1: ROV, TMS, Bullet og Dokking-hode hengende utenfor skutesiden.

Kilde: <http://www.mtcs.info/wp-content/uploads/2010/05/Lars-1.jpg> Dato 10/5-2013

Som man kan se i Bilde 2-1 er ROV og TMS i ferd med å settes ut (eller bli tatt opp) av vannet. A-rammen er kjørt ut over skutesiden, slik at utstyret kan settes ut (eller løftes om bord) uten at dette kommer i konflikt med skutesiden. TMS er her ikke låst fast i Dokking-hodet, tyngden til TMS og ROV blir da overført via Umbilical.

2.1.ROV og TMS

Et ROV-system i Work Class størrelse er typisk plassert om bord på plattformer eller større offshorefartøy. Disse har kapasitet til å utføre både observasjon, kartlegging og fysiske jobber avhengig av oppsett. Farkoster i denne klassen veier vanligvis noen tonn (2).



Denne type ROV har ofte mulighet til å montere ulike utstyr under selve ROV'en. Avhengig av utstyrets design, vil tyngdepunktet til dette ekstrautstyret være lokalisert på forskjellige plasser. Dette fører til en flytting av ROV'ens tyngdepunkt (5).

Figur 2-2: Workclass ROV, Schilling UHD.

Kilde: <http://blog.tmcnet.com/robotics/2010/08/schilling-nets-two-more-uhd-rov-orders.html> Dato: 10/04-13

TMS har til hensikt å inneholde Tether, en kabel som går mellom TMS og ROV. I denne kabelen blir elektrisk energi og signaler til og fra ROV sendt. Kabelen inne i TMS er noe ulik fra Umbilical. Denne er oppbygget på en slik måte at den skal ha en tilnærmet nøytral

oppdrift i vannet. Dette medfører at kabelen ikke vil trekke ROV ned, mens kabelen henger etter ROV. Lengden på Tether kan typisk variere fra 200-800meter, avhengig av design (5).



I noen tilfeller har TMS thrustere montert, disse skal være med på å sørge for at TMS henger mest mulig rett under moderfartøyet. Om moderfartøyet beveger seg mye rundt på overflaten, eller det er sterke strømmer, kan dette medføre uheldige vinkling av Umbilical. Dette kan da kompenseres ved å kjøre thrustere montert på TMS (4).

Figur 2-3: TMS, Tether Management System.

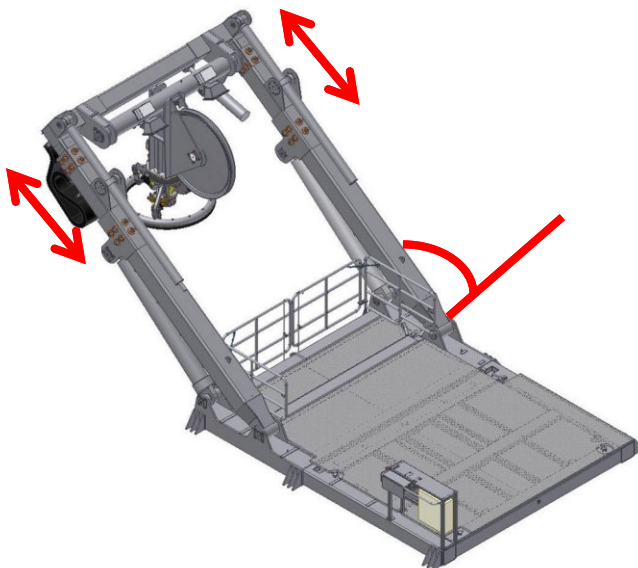
Kilde:

<http://blog.tmcnet.com/robotics/2010/08/schilling-nets-two-more-uhd-rov-orders.html> Dato: 10/04-13

2.2.LARS

LARS er en forkortelse for «Lanch And Recovery System». Dette systemet har til hensikt å senke ROV og TMS ned til operasjonsdybde, i tillegg til å sette ut og ta opp ROV og TMS fra vannet. Ved inn og utdocking av ROV fra TMS er det vanlig at systemet er satt i «Heave kompensering». Dette medfører at TMS vil forholde seg mest mulig i ro i vannet uavhengig av fartøyets Heave-bevegelser. For å kunne kompensere for fartøyets bevegelser blir Umbilical spolt inn og ut avhengig av bevegelsen til fartøyet på det aktuelle tidspunkt (3).

Et LARS system består vanligvis av en vinsj, en A-ramme eller et Moonpoolsystem (finnes også andre typer), i tillegg til en HPU (Hydraulic Power Unit). I de senere årene har elektriske vinsjer kommet på banen som konkurrent til hydrauliske vinsjer. Behovet for en stor HPU vil da ikke være tilstede. LARS vil også bestå av en form for kontrollsystem som styrer de forskjellige funksjonene under operasjon. I en del tilfeller er det også vanlig at vinsj er plassert langt fra A-rammen, det er da ofte montert flere sheave-hjul, som leder kabelen fra vinsj til A-ramme. (3).



Figur 2-4: A-ramme (3).

A-ramme:

På et A-ramme system har rammen til hensikt å løfte ROV og TMS ut over skutesiden på en sikker måte. Rammen kan også forlenges slik at avstanden til skutesiden øker. Dette kan være fordelaktig ved deployering og opptak, da faren for at farkosten kan komme i kontakt med skutesiden er størst. A-rammen består også av et dokking-hode, som TMS løftes opp til. Når TMS er i riktig posisjon i dokking-hodet, kan latches aktiveres slik at TMS er fastlåst. Dokking-hodet består også av et sheavehjul, dette skal lede Umbilical inn

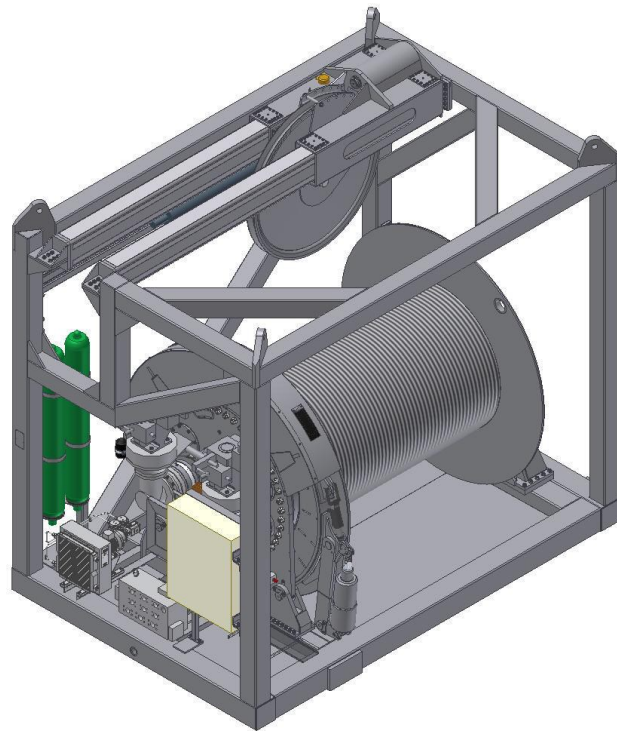
i senter av dokking-hodet (3).

Dokking-hodet kan tippe i ulike retninger slik at Umbilical, og TMS for øvrig, entrer dokking-hodet på en best mulig måte. Om ikke dokking-hodet og TMS er mest mulig plan i forhold til hverandre ved inn og utdocking kan dette være uheldig. Feil tilt av dokking-hode ved store utslag (vinkel) på Umbilical kan føre til krapp bøyning av kabelen inne i dokking-hodet, som igjen kan påføre skade på Umbilical og dokking-hode (3).

Umbilical Vinsj:

Vinsjen har til hensikt å romme hele Umbilical tilhørende systemet. På et Work Class system er det vanlig at Umbilical er et sted mellom 3 og 5 km lang. I de fleste tilfeller er vinsjene hydraulisk, men det har kommet noen elektriske vinsjer på markedet som kan konkurrere med hydrauliske vinsjer (3).

Heave kompensering blir foretatt på vinsj, der trommelen spoler inn og ut kabel etter fartøyets bevegelser. Dette medfører behov for stor hydraulisk kapasitet, ofte over et kort tidsrom. Av den grunn inneholder der hydrauliske systemet flere akkumulatorene som lagrer hydraulisk energi, denne energien hentes ut ved behov (3).



Figur 2-5: Hydraulisk Umbilical vinsj (3).

Lastcellen som blir brukt ved logging av lastkarakteristikk er plassert i senter av sheave-hjulet man kan se på Figur 2-5 over. Dette sheave-hjulet vandrer frem og tilbake over trommelen etter som kableen blir spolt inn eller sluppet ut. På denne måten blir kableen spolt på trommelen på en best mulig måte, slik at lagene med kabel blir helt tett (3).

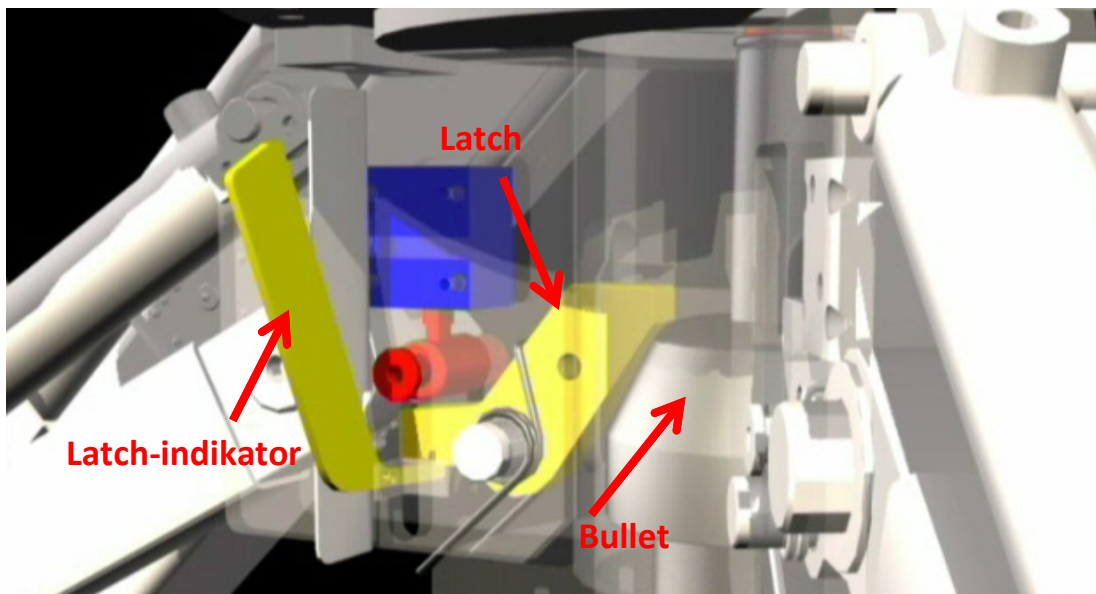
Bullet og Latcher:

Bullet er en mekanisk termineringsenhet festet på toppen av TMS. Umbilical er støpt fast inne i denne, slik at armeringen rundt kableen vil ende inne i bullet, mens kjernen av kableen går gjennom bullet og frem til en termineringsboks i TMS. Når TMS er dokket inn i dokking-hodet på A-rammen, vil store deler av vekten til TMS og ROV være hengt av i latcher plassert inne i dokking hodet via Bullet (3).



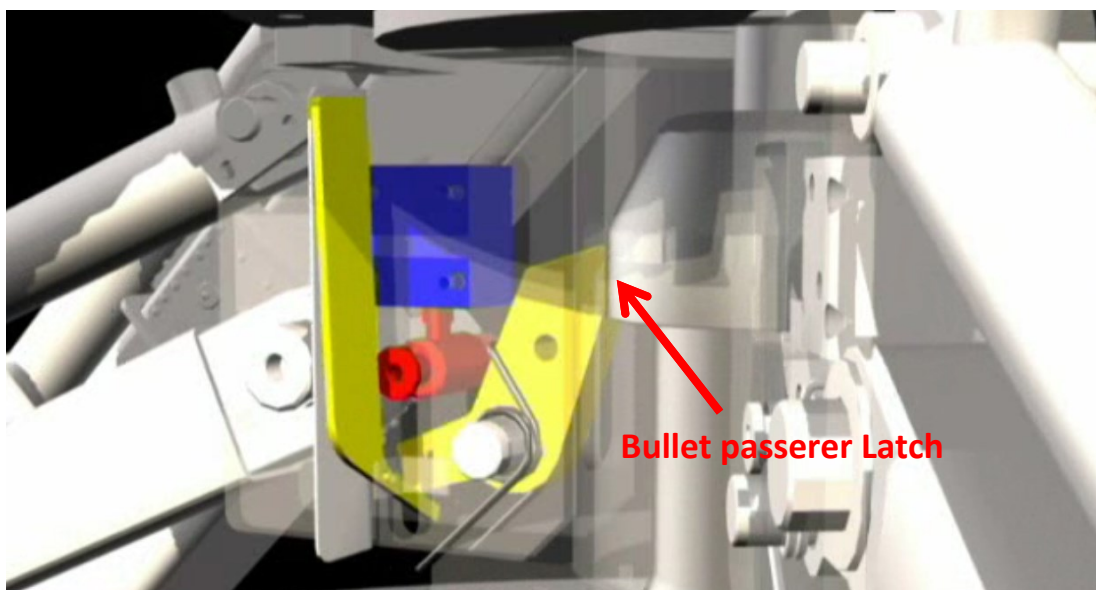
Ved inndokking av TMS i Dokking-hode vil Bullet løftes inn i Dokking-hode. Når Bullet løftes opp i Dokking-hodet, vil toppen av Bullet treffe tre Latcher som er lokalisert inne i Dokking-hodet. Bilde 2-2 viser hvordan Bullet treffer Latcher på vei opp i Dokking-hodet (6).

Figur 2-6: Bullet (3).



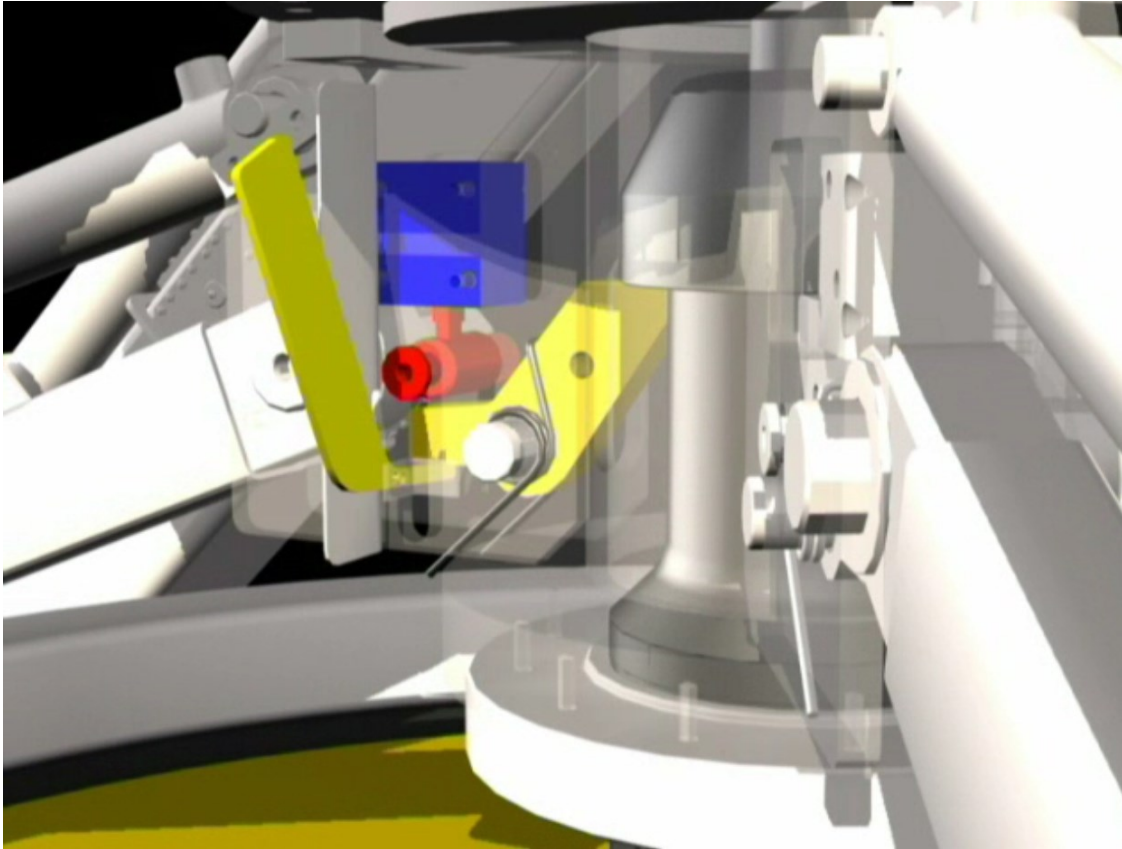
Bilde 2-2: Bullet på vei opp i Docking-hode.

Når Bullet er kommet tilstrekkelig høyt opp i Dokking-hodet vil Bullet presse Latchene ut fra senter av Dokking-hodet. Bullet vil da kunne passere Latchene på vei opp i Dokking-hodet. Bilde 2-3 illustrerer denne passasjen. Det er også bygget en latch-indikator som en del av latch-systemet. Denne er med på å indikere om latcher er koblet inn, og Bullet (og følgelig TMS) er sikret fast i dokking-hodet (6).



Bilde 2-3: Latch presses tilbake, da Bullet passerer.

Når øvre del av Bullet har passert Latcher vil disse returnere til sin opprinnelige posisjon (denne returneringen kommer på bakgrunn i at de er fjærbelastet, slik at de alltid ønsker å holde seg i lukket/låst posisjon). Når Latcher har returnert til låst posisjon, kan tension i Umbilical reduseres. Tyngden av ROV og TMS vil da bli tatt opp av Latcher via Bullet. Bilde 2-4 viser Latch som har returnert til låst posisjon etter at øvre del av Bullet har passert Latch (6).

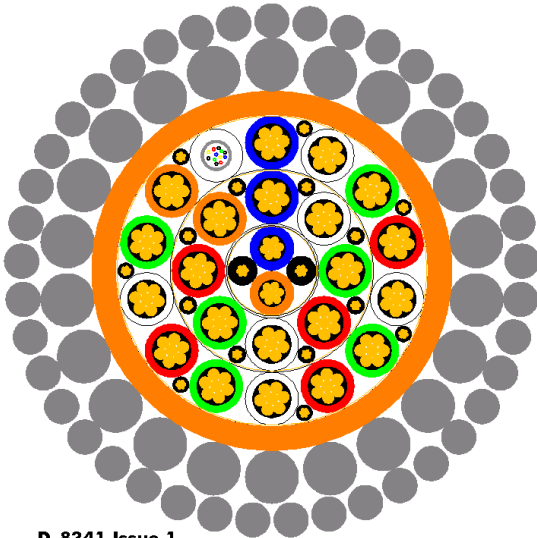


Bilde 2-4: Øvre del av Bullet har passert Latch, og Latch har returnert. Last (tyngden til TMS og ROV) kan nå bli overført til Latcher via Bullet. Bullet er nå låst fast i Dokking-hode.

Ved sjøsetting av ROV og TMS vil tension i Umbilical økes slik at vekten av hele ROV-systemet blir overført via Umbilical. Da kan Latcher bli returnert (vha. hydraulikk aktuatorer), slik at Bullet kan passere Latcher, for deretter å bli senket ned i vannet (6).

2.3.Umbilical

Umbilical har til hensikt å levere elektrisk energi og signaler ned til TMS, der noe av signalene og de fleste av kursene blir sendt videre gjennom tether og frem til ROV. I tillegg skal den bære vekten av seg selv, og TMS. Den skal også kunne klare å løfte ROV og TMS om bord i moderfartøyet.



D-8341 Issue 1

Figur 2-7: ROV-Umbilical.

Kilde: Vedlegg 1

Umbilical er bygget opp av en rekke lag som inneholder ulike komponenter. Under vil de ulike komponentene i kabelen bli beskrevet.

Materialer som blir brukt, vil i noen grad bli kommentert.

Armering

Ytterst har kabelen to lag med stålarmering, disse lagene skal gi kabelen styrke, i tillegg til å beskytte de indre lagene mot skade fra omgivelser. I noen tilfeller er det tre lag med armering (Vedlegg 2). Armeringen skal kunne bære vekten av hele kabelen, i tillegg til tyngden av TMS. De ulike lagene med armering blir tvunnet rundt kabelen i ulike retninger slik at kabelen blir mest mulig momentfri. Til armering

blir det brukt en stållegering. Denne er typisk varmebehandlet på en helt spesiell måte, slik at den får svært høy styrke. Det er også vanlig at de ulike armerings-kordelene har blitt galvanisert, dette for å forlenge levetiden til armeringen. Vanligvis er det brukt Sink, eller en kombinasjon av Sink og Aluminium. For test Umbilical brukt i oppgaven er det brukt Galfan (en kombinasjon av Sink og Aluminium)(Vedlegg 1). Armeringen er i tillegg fylt opp med grease, dette for å redusere korrosjon og mekanisk slitasje mellom de ulike kordelene.

Kappe

Videre innover i kabelen er det en kappe, denne skal hindre vanninntrenging i kabelen, og motstå mekanisk slitasje fra stålarmeringen. For test Umbilical er det brukt en termoplastisk polyester til materiale (Vedlegg1). I andre typer ROV-Umbilical kan man finne kapper laget av TPE-materialer (Termoplastisk Elastomer) (7).

Ledere

Ulegert kobber er mykt, duktilt, og tillater stor grad av kalddeformering. Kobber er svært resistent mot korrosjon, både i atmosfære og i sjøvann. Da kobber har lav elektrisk-resistans kombinert med høy motstand mot korrosjon og stor toleranse for kalddeformasjon, er dette et vanlig materiale å bruke som elektrisk leder (8).

I kabelen er det en rekke kobberledere, disse leverer elektrisk energi ned til TMS. Tverrsnittet til kobberlederne i test-Umbilical er 4mm^2 . Rundt ledere i test-Umbilical er det trukket et lag med halv-ledende Polypropylen. Dette vil være med på å gi en bedre feltfordeling rundt ledere i kabelen. Deretter er det trukket ren Polypropylen (Vedlegg 1). Det er også vanlig at det blir brukt Tverrbundet Polyetylen som isolasjonsmateriale. En lagvis oppbyggingen av isolasjonsmateriale blir imidlertid ikke alltid praktisert i denne type Umbilical, noe som kan være med på å redusere levetiden til en del kabler (7) (9).

Elektrisk spenning i isolasjonsmaterialet rundt ledere er ikke optimalt, dette kommer av for liten isolasjonsradius i forhold til lederradius (9) (10).

En av grunnene til at det har blitt valgt å ha en mindre isolasjonsradius enn optimalt kan være at det er ønskelig å holde total kabeldiameter minst mulig. Liten kabeldiameter krever mindre bøyeradius, noe som er fordelaktig da LARS utstyret kan lages mindre og lettere.

Drain wire

Det er også trukket en rekke med Drain-wire mellom de forskjellige lederne, disse er koblet opp mot jordfeil overvåking (11). Drain-wire er bygget opp av en kobber leder ($0,35\text{mm}^2$), med et halvledende isolasjonsmateriale (Vedlegg 1).

Skjerming

Innenfor kappen er det tvunnet en kobberskjerming og polyesterbånd. Kobberskjermingen er koblet mot jord, og står derfor med et viktig bidrag når det kommer til jordfeil overvåking av kabelen (11). Polyesterbåndet er med på å gjøre kabelen vanntett.

Rundt de ulike leder-lagene i kabelen er det også trukket kobberskjerming og plastbånd. Dette for å hindre at de elektriske feltene rundt ledere i de ulike lagene skal påvirke ledere i de resterende lagene. Dermed blir feltassisterte degraderingsmekanismer redusert (12).

Fiberotikk

I det ytterste laget med ledere, er det også plassert et stålrør med en rekke fibre, disse har til hensikt å føre signaler til og fra TMS og ROV. Stålrøret tillater stor grad av utmating før et brudd finner sted. Røret er trukket med Polypropylen, dette for å redusere mekanisk slitasje mellom ledere og fiberrør. (Vedlegg 1). I andre typer ROV-Umbilical blir det ofte brukt Polyetylen rundt stålrøret (7).

Toleder kabel

Det er også trukket en toleder-kabel i senter av Umbilical, som kan brukes til levering av signal. Per i dag blir ikke denne kapasiteten brukt (11).

Fyllmasse

Innvendig i kabelen blir det brukt en fyllmasse. Denne har til hensikt å fylle opp alle tomrom, i tillegg til å hindre en eventuell vanninntrenging i kabelen fra å spre seg. I test-Umbilical er det brukt en termoelastisk fyllmasse(Vedlegg 1). Denne består blant annet av flere typer polymerer. Fyllmasser av denne type viser ofte evne til å binde vann (13).

3. Litteratur

3.1.Mekaniske egenskaper

3.1.1. Stål

Stål er en jernbasert legering, med karbon som legeringsmateriale. Det er også vanlig med andre legeringselementer i legeringen. De mekaniske egenskapene til stål er svært avhengig av karbonkonsentrasjon og varmebehandling. Ofte blir stål delt inn i grupper avhengig av karbonkonsentrasjon. Andre vanlige legeringselementer er Nikkel, Krom, Mangan, Molybden, Wolfram og Vanadium. Hovedgrunnen til at dette materialet blir mye brukt, er lav pris kombinert med et stort spekter av mekaniske egenskaper. En av hovedtruslene til en rekke stållegeringer er lav motstand mot korrosjon (8).

For de fleste metaller som blir utsatt for strekk, finner man en lineær sammenheng mellom spenning og forlengelse. Denne sammenhengen er kjent som Hooks lov, der E er en proporsjonalitetskonstant som vanligvis blir kalt Elastitets-modul eller Youngs modus. E -modul ligger vanligvis mellom 45 og 400 GPa for metaller. I

Formel 3-1 er σ spenning, og ε er relativ forlengelse (14).

$\sigma = E \times \varepsilon$ $\sigma = \text{spenning (MPa)}$ $E = \text{Elastitetsmodul (GPa)}$ $\varepsilon = \text{relativ forlengelse (enhetsløs)}$	Formel 3-1
---	------------

Spenning er definert som kraft per area, og måles vanligvis i Mega-Pascal.

Formel -3-2 viser sammenhengen mellom Kraft, Areal og Spenning (14).

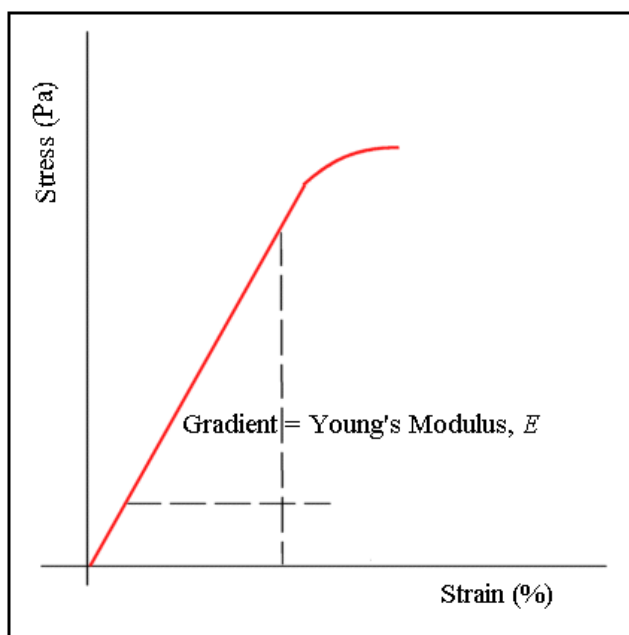
$\sigma = \frac{F}{A_0}$ $\sigma = \text{spenning (MPa)}$ $F = \text{kraft (N)}$ $A_0 = \text{areal (m}^2\text{)}$	Formel -3-2
---	-------------

Relativ forlengelse er forholdet mellom lengdeendring og opprinnelig lengde. Dette er en verdi uten enhet.

Formel 3-3 viser sammenhengen mellom Relativ forlengelse, Lengdeendring og Opprinnelig lengde (14).

$\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$ <p>$\epsilon =$ relativ forlengelse (enhetsløs) $\Delta l =$ lengdeendring (m) $l_0 =$ opprinnelig lengde (m)</p>	Formel 3-3
--	-------------------

For lavlegerte stållegeringer ligger vanligvis E-modul på rundt 210 GPa, og den er fallende ved økende temperatur (14).



Figur 3-1: Viser en spenning-forlengelse kurve, der E-modul blir indikert på kurven.

Kilde: http://www.antonine-education.co.uk/Salters/SUR/Stress-strain_3.gif Dato: 23/04-2013

Flytegrensen til et materiale er det spenningsnivået som skal til for at materialet går fra en elastisk deformasjon til en plastisk deformasjon. Om et materiale har blitt utsatt for elastisk deformasjon, vil det gå tilbake til opprinnelig form etter at lasten er fjernet. Ved plastisk deformasjon, vil materiale bli permanent deformert (14).

Strekfastheten er den maksimale lasten et materiale tåler før styrken faller, og materialet vil gå til brudd. Denne styrken kan typisk variere fra 50 til 3000 MPa avhengig av materiale (14).

Tabell 3-1: Oversikt over Flytegrense og strekkfasthet for konstruksjonsstål og Wirestål.

Mekanisk egenskap	Stål 1020 (14)	Wirestål brukt i Umbilical (Vedlegg 2)
Flytegrense (MPa)	180	
Strekfasthet (MPa)	380	2200

3.1.2. Kobber

Ulegert kobber er mykt, og duktilt. Det tillater stor grad av kalddeformering. Kobber er svært resistent mot korrosjon, både i atmosfære og i sjøvann. Dette gjør materialet ideelt til bruk i korrosive miljøer, og der stor grad av kalddeformasjon finner sted (8).

De fleste legeringstypene av Kobber lar seg ikke styrke ved varmebehandling, noe som fører til at modifikasjon av egenskapene til kobber blir utført ved å legere inn andre materialer, eller ved kaldbearbeiding av materialet. Vanlige kobberlegeringer er Messing og Bronse (8).

Kobber er et materiale som følger Hooks-lov, der det er en lineær sammenheng mellom kraft og forlengelse. Ved tilstrekkelig høy spenning vil metallet gå over i flyt, for deretter å gå til brudd (8). Hooks-lov står beskrevet i kapittel 3.1.1.

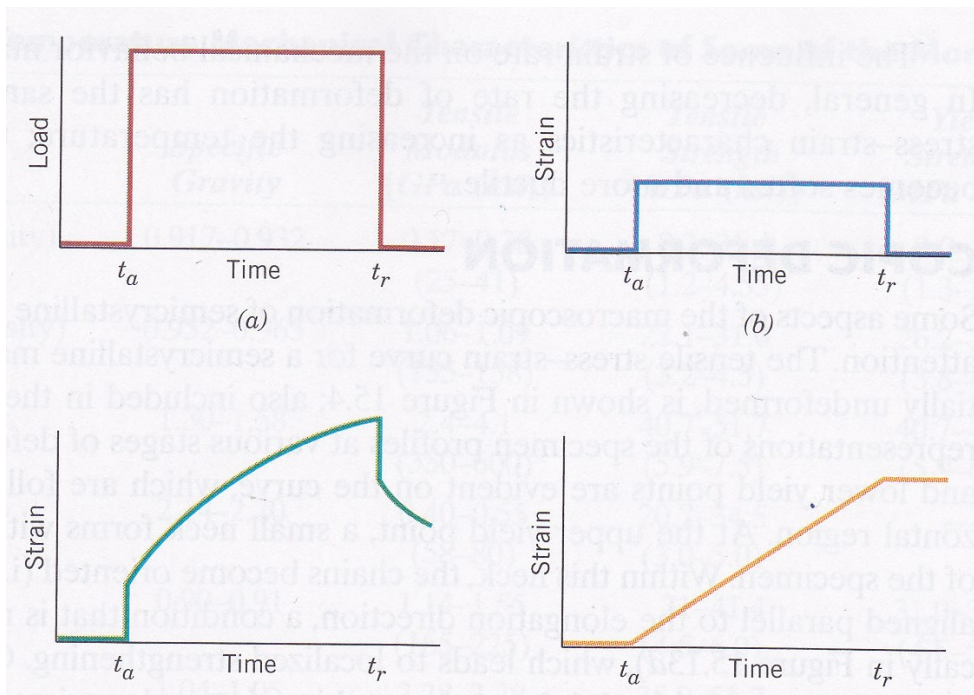
Tabell 3-2: Noen mekaniske egenskaper til Kobber (8).

Mekanisk egenskap	Verdi (8)
E-modul (GPa)	110
Flytegrense (MPa)	69
Strekfasthet (MPa)	200

3.1.3. Polymer

Polymerer kan vise glass-lignende egenskaper ved lave temperaturer (vil da følge Hooks-lov), gummi-lignende egenskaper ved mellom-temperaturer, og viskøse egenskaper ved høye temperaturer (vil da vise flytende egenskaper). Ved mellom-temperaturer kan da en kombinasjon av elastiske og viskøse egenskaper være fremtredende. Dette blir kalt viskoelastisitet (15).

Figur 3-2 viser sammenhengen mellom last (a), elastisk forlengelse (b), viskoelastisk forlengelse (c), og viskøs forlengelse (d) (15).



Figur 3-2: Sammenheng mellom last (a), elastisk forlengelse (b), viskoelastisk forlengelse (b), og viskøs forlengelse (d) (15).

Ved elastisk forlengelse vil en total deformering finne sted straks en last blir påført. Dette deformeringen vil returnere straks lasten blir fjernet, og prøvestykket vil da gå tilbake til sin opprinnelige form. Forlengelsen er da uavhengig av tid (15).

For viskøse materialegenskaper vil forlengelsen være avhengig av tid. Ved påtrykt last vil da forlengelsen være forsinket. Deformasjonen vil ikke være komplett reverserbar, i noen tilfeller ikke reverserbar i det hele tatt (15).

Ved viskoelastiske forlengelse vil en elastisk forlengelse finne sted straks last blir påført, deretter vil en viskøs forlengelse påfølge. Denne viskøse forlengelsen vil da være tidsavhengig. Ved fjerning av last vil da en elastisk returnering av forlengelse først finne sted, for deretter å bli etterfulgt av en viskøs returnering (15).

Hvilke mekaniske egenskaper som vil være dominerende for polymerer er sterkt temperatur avhengig (15).

3.2. Elektriske egenskaper

3.2.1. Resistans til Kobberleder

Da kobber har lav elektrisk-resistans kombinert med høy motstand mot korrosjon og stor toleranse for kalddeformasjon, er dette et vanlig materiale å bruke som elektrisk leder. Det blir vanligvis brukt en legering med svært lavt innhold av andre grunnstoffer (8).

DC resistansen til kobber er avhengig av temperatur, høyere temperatur gir høyere resistans. I formelen under blir sammenhengen mellom temperatur og resistans beskrevet for et ledermateriale (16).

$R_t = R_{20}[1 + \alpha_{20}(t - 20)]$ $R_t = \text{leder resistans ved } t \text{ }^\circ\text{C} (\Omega)$ $R_{20} = \text{leder resistans ved } 20 \text{ }^\circ\text{C} (\Omega)$ $\alpha_{20} = \text{resitiv temperatur koeffisient ved } 20 \text{ }^\circ\text{C}$ $t = \text{leder temperatur} (^\circ\text{C})$	Formel 3-4
---	------------

AC resistansen til en leder kan beregnes ut fra formel under (16).

$R = R_t(1 + y_s + y_p)$ $R = \text{AC resistansen til en leder}$ $R_t = \text{leder resistans ved } t \text{ }^\circ\text{C} (\Omega)$ $y_s = \text{skin factor}$ $y_p = \text{proximity effect}$	Formel 3-5
--	------------

Siden «Skin Factor» og «Proximity effect» er neglisjerbar for små ledere. Av den grunn vil AC og DC resistansen være tilnærmet den samme for denne type kabel (16).

Den totale resistansen til en leder vil avhenge av lengde og tverrsnitt. Formelen under kan brukes til beregning av denne motstanden (16).

$R = \rho \times \frac{l}{A}$ $R = \text{lederens resistans} (\Omega)$ $\rho = \text{ledermaterialets resistans} (\Omega \text{ m})$ $l = \text{lengde}(\text{m})$ $A = \text{areal}(\text{m}^2)$	Formel 3-6
---	------------

3.2.2. Elektrisk Feltstyrke

Den elektriske feltstyrken (også brukt elektriske feltintensiteten) er definert som den elektrostatiske kraften F per enhet positiv ladning q , plassert i et punkt p i et dielektrisk materiale. Denne elektriske feltstyrken blir denotert med E , og blir uttrykt i «Newton per Coulomb» (10).

Potensialet blir uttrykt som «Joule per Coulomb (J/C)» eller «Newtonmeter per Coulomb (Nm/C)», dette er definert som Volt. Elektrisk feltstyrke blir vanligvis uttrykt i en mer kjent enhet som «Volt per meter(V/m)» eller «Kilovolt per millimeter(KV/mm)». Den elektriske feltstyrken blir ofte omtalt som elektriske spenninger i det dielektriske materialet (10).

Det elektriske feltets uniformitet har mye å si for hvor partielle utladninger finner sted. Av den grunn er det blitt laget et måltall som sier noe om feltets uniformitet.

Formel 3-7 er dette måltallet, der \hat{E}_{mean} og \hat{E}_{max} er er peak verdiene til de gjennomsnittlige og maksimale feltintensitetene i et isolasjonsmateriale (10).

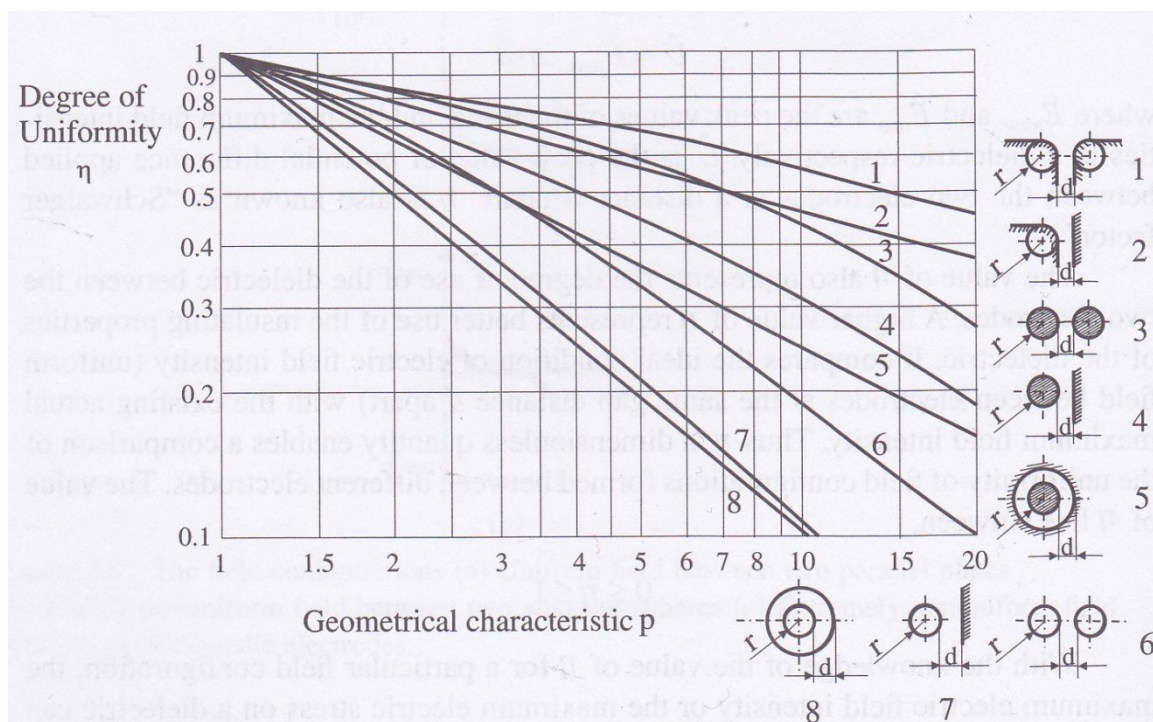
$\eta = \frac{\hat{E}_{mean}}{\hat{E}_{max}}$ $0 \leq \eta \leq 1$ <p>$\eta =$ feltuniformitet $\hat{E}_{mean} =$ gjennomsnittlig feltintensitet $\hat{E}_{max} =$ maksimal feltintensitet</p>	Formel 3-7
---	-------------------

Formel 3-7 er også et mål på hvor godt utnyttet isolasjonsmaterialet mellom to elektroder er utnyttet. En høyere verdi av eta indikerer bedre uniformitet, og dermed bedre utnyttelse av isolasjonsmaterialet (10).

Eta kan også bli uttrykt som en funksjon av p . Der p er en geometrisk karakteristikk faktor for elektrodekonfigurasjoner. I formelen er r minste kurvaturradius for elektrodene, og d er korteste avstand mellom de to elektrodene. Formel 3-8 uttrykker sammenhengen mellom geometrisk karakteristikkfaktor og eta (10).

$p = \frac{r + d}{r}$ <p>hvor</p> $1 \leq p \leq \infty$ <p>og</p> $\eta = f(p)$ <p><i>p = geometrisk karakteristikk faktor</i> <i>r = elektroderadie</i> <i>d = korteste avstand mellom elektroder</i></p>	Formel 3-8
---	-------------------

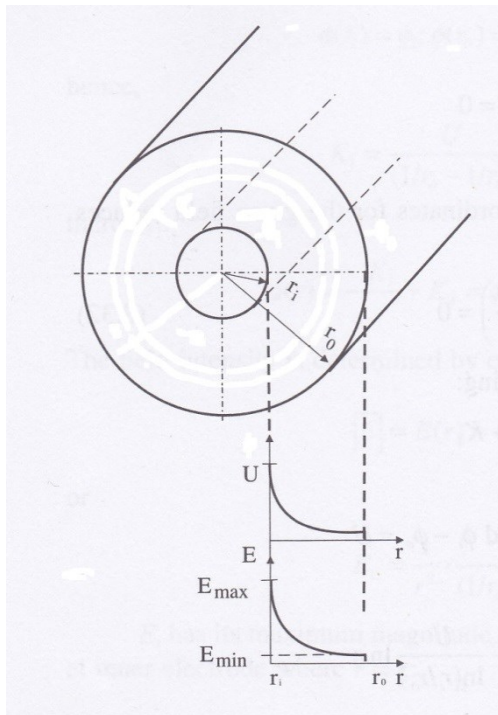
I Figur 3-3 kan man se Schwaiger-kurver for ulike elektrodekonfigurasjoner.



Figur 3-3: Schwaiger-kurver for elektriske felter. Sfæriske, sylindriske og kurvede elektrodekonfigurasjoner (10).

I Figur 3-3 representerer 1 og 2 overflateelektroder. 3, 4 og 5 er sylindriske elektroder. 6, 7 og 8 er sfæriske elektroder. Om man sammenligner ulike elektrodeformer ved en valgt geometrisk karakteristikk faktor, ser man at sfæriske elektrodekonfigurasjoner oppnår lavere grad av feltuniformitet enn sylindriske konfigurasjoner. Kurvede elektrodekonfigurasjoner

oppnår høyest grad av feltuniformitet. Koaksiale elektrodekonfigurasjoner gir lavere grad av feltuniformitet enn to elektroder plassert ved siden av hverandre (10).



Figur 3-4 viser isolasjonsmaterialet rundt en leder. Det er også tegnet inn grafer som illustrerer den elektriske feltstyrken, og spenning gjennom isolasjonsmaterialet (10).

Ut fra Formel 3-9 ser man at maksimal elektrisk feltstyrke finner sted ved overflaten til leder-materialet. Dette medfører at det er mest sannsynlig at elektriske trær (og følgelig jordfeil) vil initiere ved lederens overflate, og vokse ut gjennom isolasjonsmaterialet, om isolasjonsmaterialet er uskadet forøvrig (12).

Figur 3-4: Elektrisk feltstyrke i lederisolasjon (10).

$E_x = \frac{V}{x \times \ln(r_0/r_1)}$ <p> $E_x = \text{Elektrisk feltstyrke} \left(\frac{N}{C}\right)$ $x = \text{avstand}(m)$ $r_0 = \text{isolasjonens ytre radie}(m)$ $r_1 = \text{lederradie}(m)$ </p>	Formel 3-9
---	-------------------

Laveste elektrisk feltstyrke ved lederoverflaten oppnås ved å ha et radie-forhold mellom r_0/r_1 lik e (12).

$r_0/r_1 = e$ <p> $r_0 = \text{isolasjonens ytre radie}(m)$ $r_1 = \text{lederradie}(m)$ </p>	Formel 3-10
--	--------------------

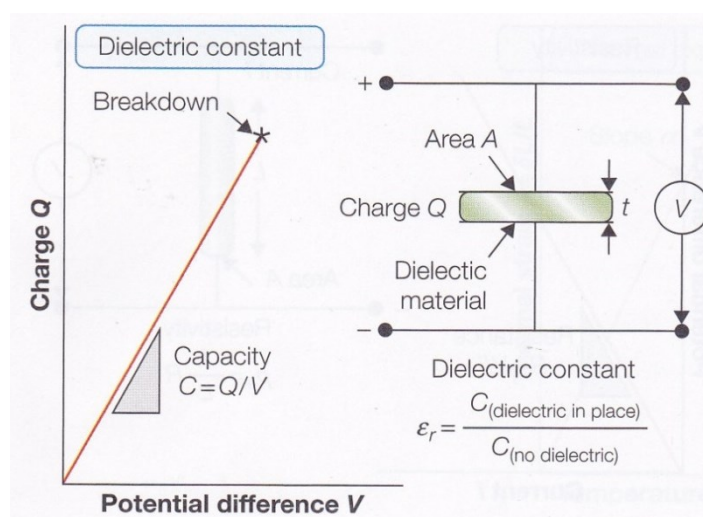
3.2.3. Kapasitans

Når et isolasjonsmateriale som er plassert i et elektrisk felt blir polarisert, da vil ladninger bygges opp på overflaten av isolasjonsmaterialet. Materialets evne til å bli polarisert blir omtalt som den dielektriske konstanten, ϵ_r . Kapasitansen (F) til et materiale er et forholdstall på hvor mye ladning (Q) som er lagret i en kondensator ved et elektrisk felt (V). Det er vanlig at kapasitansen måles i Coloumb per volt eller Farad. Formel 3-11 viser sammenhengen mellom spenning, ladning og kapasitans (17).

$C = \frac{Q}{V}$ <p> <i>C = kapasitans(Farad)</i> <i>Q = ladning(Coloumb)</i> <i>V = spenning (Volt)</i> </p>	Formel 3-11
--	--------------------

Om man har to ledende plater adskilt av et dielektrisk materiale, har man en parallell-plate kondensator. Kapasitansen (C) til en kondensator der det dielektriske materialet er vakum (eller luft) vil være avhengig av arealet (A) til platene, og avstanden mellom dem (t).

Formel 3-12 beskriver denne sammenhengen. Permittiviteten til vakum, ϵ_0 , er $8,85 \times 10^{-12}$ F/m (17).



Figur 3-5: Kapasitansen til en platekondensator (17).

$C = \epsilon_0 \frac{A}{t}$ <p> <i>C = kapasitans (Farad)</i> $\epsilon_0 =$ <i>permittiviteten til vakum</i> $\left(\frac{F}{m}\right)$ <i>A = Areal (kvadratmeter)</i> <i>t = tykkelse (meter)</i> </p>	Formel 3-12
---	--------------------

Ved tilfeller der vakum blir erstattet med et dielektrisk materiale vil kondensatorens evne til å bli polarisert øke. Da vil ϵ være permittiviteten til det nye dielektriske materialet, og ha samme enhet som permittiviteten til vakum.

Formel 3-13 viser sammenhengen mellom dielektrisk konstant (eller relativ permittivitet) (ϵ_r), permittiviteten til vakum (ϵ_0), og permittiviteten til det dielektriske materialet (ϵ) (17).

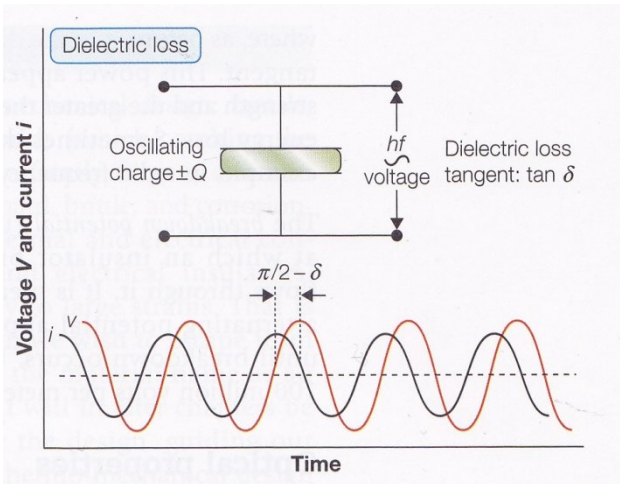
$\epsilon_r = \frac{C_{med\ dielektrisk\ materiale}}{C_{uten\ dielektrisk\ materiale}} = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$ <p> $\epsilon =$ <i>permittiviteten til det dielektriske materialet</i> $\left(\frac{F}{m}\right)$ $\epsilon_r =$ <i>dielektrisk konstant (enhetsløs)</i> $\epsilon_0 =$ <i>permittiviteten til vakum</i> $\left(\frac{F}{m}\right)$ </p>	Formel 3-13
--	--------------------

Formel 3-14 beskriver kapasitansen til en parallell-plate kondensator (17).

$C = \epsilon \frac{A}{t} = \epsilon_r \epsilon_0 \frac{A}{t}$ <p>$C = \text{kapasitans (Farad)}$ $\epsilon = \text{permittiviteten til det dielektriske materialet } \left(\frac{F}{m}\right)$ $\epsilon_r = \text{dielektrisk konstant (enhetsløs)}$ $\epsilon_0 = \text{permittiviteten til vakum } \left(\frac{F}{m}\right)$ $A = \text{Areal (kadratmeter)}$ $t = \text{tykkelse (meter)}$</p>	Formel 3-14
---	--------------------

3.2.4. Tangens delta

Når et materiale er lokalisert inne i et elektrisk felt vil polarisering opptre. Dette er en forflytting av ladning i materialet, enten i form av elektroner eller ioner. Ved vekslende elektrisk felt vil ladningsforflyttingen oscillere. En slik ladningsforflytting kan sees på som en elektrisk strøm som vandrer i materialet. Om det ikke var tap i materialet, ville denne strømmen være 90^0 ($\pi/2$) ute av fase med spenningen. I realistiske tilfeller vil det finne sted en liten faseforskyvning, noe som fører til at det blir avgitt energi i isolasjonsmaterialet (17).



Figur 3-6: Illustrasjon av faseforskyvning og oscillerende ladning i isolasjonsmateriale (17).

Da en leders isolasjonsmateriale kan sees på som en kondensator, kan tangens delta målinger være nyttige å utføre. Etter hvert som isolasjonsmaterialet aldres (brytes ned), vil tangens delta målinger få økende verdi. Denne type måling brukes som en indikator på tilstanden til isolasjonsmaterialer i blant annet motorer, generatorer, transformatorer og elektriske kabler. Ofte utføres det flere målinger over tid, der et trendbilde blir dannet. Økning i tangens delta indikerer degradering av isolasjonsmaterialet. (18).

Permittiviteten til en virkelig kondensator består av både et reelt ledd og et imaginært ledd. En ideell kondensator kan beskrives med bare et imaginært ledd.

Formel 3-15 for den komplekse permittiviteten til en virkelig kondensator er beskrevet under (19).

$\epsilon^* = \epsilon' - i\epsilon''$	
ϵ^* = kompleks relativ permittivitet ϵ' = reell relativ permittivitet ϵ'' = imaginær relativ permittivitet	Formel 3-15

Forholdet mellom den imaginære permittiviteten og den reelle permittiviteten kalles tapsfaktoren. Denne faktoren er beskrevet i

Formel 3-16 (19).

$\frac{\varepsilon''}{\varepsilon'} = \tan \delta$ <p> ε' = reell relativ permittivitet ε'' = imaginær relativ permittivitet </p>	Formel 3-16
--	--------------------

Tabell 3-3: Tangens delta verder for PP og XLPE (12).

Materiale	Tangens delta ved 50 Hz (%)
Kryssbunden Polyetylen	0,04 -0,05
Polypropylen	0,05

3.2.5. Dielektriske Tap

Dielektriske tap i hver fase kan beregnes ut fra Formel 3-17 (12).

$W_d = \omega \times C \times U_0^2 \times \tan\delta$ <p>$W_d =$ Dielektrisk tap i hver fase (W/m) $\omega = 2\pi f$ hvor f er frekvens $C =$ kapasitans (F/m) $U_0 =$ spenning i forhold til jord</p>	Formel 3-17
---	--------------------

Generelt sett vil det dielektriske tapet til en Umbilical av type brukt i oppgaven kunne neglisjeres. Med bakgrunn i varierende tangens delta på grunn av degradering av isolasjonsmaterialet kan det tenkes at lokale områder med høyere dielektrisk tap allikevel kan finne sted (12). Lokale områder med høye dielektriske tap kan gi termisk gjennomslag i isolasjonsmaterielat. Dette kan føre til nedbryting av polymerens kjeder (18).

For enkeltledende kabler, eller kabler med skjermede ledere kan kapasitansen beregnes ut fra Formel 3-18 (12).

$C = \frac{\epsilon}{18 \ln(D/d)} \times 10^{-9}$ <p>$C =$ kapasitans (F/m) $\epsilon =$ relativ permittivitet til isolasjonen $D =$ ytre diameter av isolasjon (mm) $d =$ diameter av leder (mm)</p>	Formel 3-18
--	--------------------

Den relative permittiviteten er avhengig av både temperatur og frekvens (12).

3.2.6. Isolasjonsresistans

Svært mange polymerer er hydrokarbon-kjeder, de er da bygget opp av karbon og hydrogen. Karbon vil da danne ryggraden i molekylet. Molekylet er bygget opp av kovalente bindinger, der de ulike atomene deler elektroner. I en enkel kovalent binding vil begge atomene bidra med ett elektron. Doble og triple kovalente bindinger kan også finne sted, da vil to og tre par med elektroner være involvert (20).

En polymer er bygget opp av mange enheter, kalt monomerer. Polyetylen er et av de enkleste polymerer som finnes. Denne polymeren er svært vanlig å bruke i som isolasjonsmateriale rundt elektriske ledere (20).

Formel 3-19 viser polymerstrukturen til Polyetylen (20).

$(- \text{CH}_2 -)_n$	Formel 3-19
-----------------------	--------------------

Ved bruk av Polyetylen som isolasjonsmateriale er det svært vanlig at polymeren har blitt kryssbundet. Da har de lange polymerkjedene blitt koblet sammen ved hjelp av kovalente bindinger. Dette medfører mulighet for å kunne bruke polymeren ved høyere operasjonstemperaturer (20).

I test-Umbilical brukt studiet er det brukt Polypropylen som isolasjonsmateriale rundt de elektriske lederne i kabelen (20).

Formel 3-20 viser polymerstrukturen til Polypropylen (20).

$(- \text{CH}_2 = \text{CH}(\text{CH}_3) -)_n$	Formel 3-20
--	--------------------

Da polymerer er bygget opp av kovalente bindinger, vil valens elektroner (elektroner i ytterste skall) være bundet opp mot sine respektive atomer. Dette medfører at det ikke er ledige/frie elektroner til å bære elektrisk strøm. Imidlertid vil det alltid finne sted en liten grad av urenheter i polymeren. Disse urenheterne fører til at polymeren viser evne til å bære ladning i form av elektroner eller ioner (20).

Formel 3-21 viser sammenhengen mellom elektrisk ledningsevne og elektrisk motstand (21).

--	--

$\sigma = \frac{1}{\rho}$ <p><i>σ = elektrisk ledningsevne</i> <i>ρ = elektrisk motstand</i></p>	Formel 3-21
---	--------------------

Isolasjonsresistansen er resistansen som virker på en strøm som passerer gjennom et dielektrisk materiale mellom to elektroder. I en elektrisk kabel måles resistansen mellom lederen og skjerming, armering eller nærliggende ledere (12).

Formel 3-22 kan brukes til å beregne resistansen til kabelisolasjonen for en leder (12).

$\delta R = \frac{\rho}{2\pi l} \times \ln\left(\frac{R}{r}\right)$ <p><i>δR = resistans over kabelisolasjon</i> <i>ρ = spesifikk resistans</i> <i>l = lengde(m)</i> <i>R = isolasjonsradius(m)</i> <i>r = lederradius(m)</i></p>	Formel 3-22
---	--------------------

Resistansen til et dielektrisk materiale er avhengig av temperatur. Høyere temperatur gir lavere resistans. Formel 3-23 kan brukes til å beregne resistansen til et materiale utsatt for ulike temperaturer (12).

$\rho_t = \rho_{20} \times 10^{(-\alpha t)}$ <p><i>ρ_{20} = spesifikk resistans ved 20°C</i> <i>α = resitiv temperatur koeffisient per Celsius ved 20°C</i> <i>t = temperatur(°C)</i></p>	Formel 3-23
--	--------------------

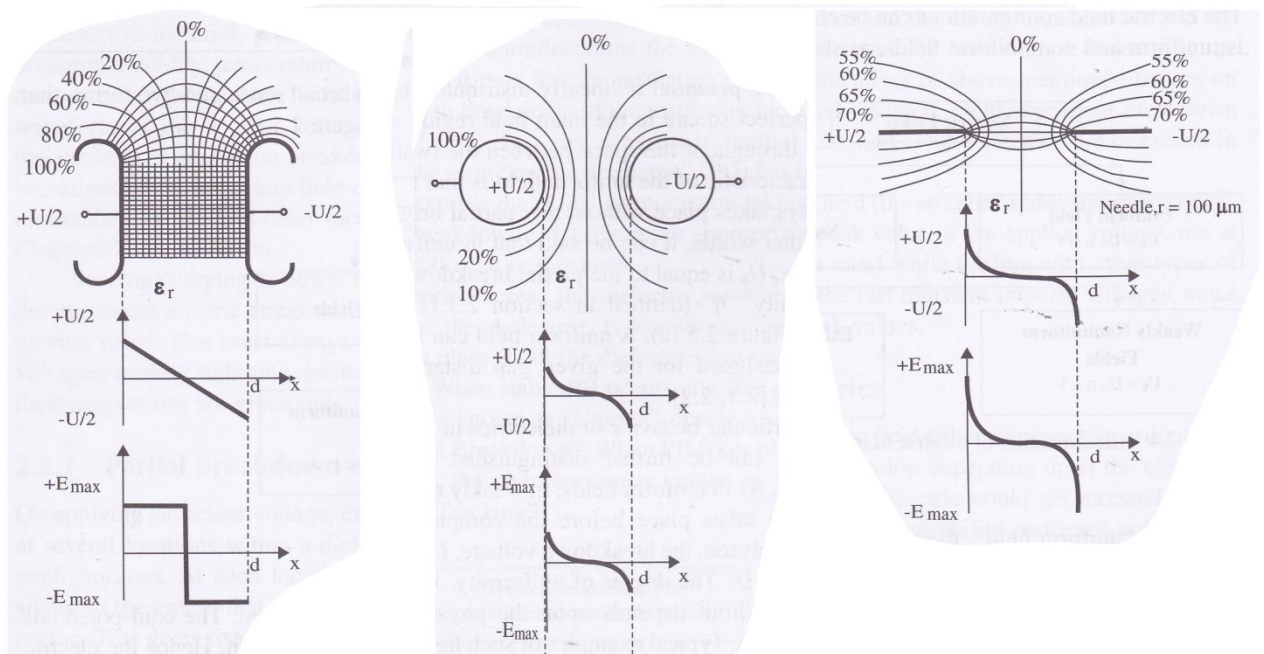
3.3.Feltassistert degradering av Polymerer

I dette delkapittelet vil noen av de vanligste feltassisterte degraderingsmekanismene for polymerer bli beskrevet.

3.3.1. Partielle Utladninger

Partielle Utladninger er en av de vanligste nedbrytingsmekanismene i et isolasjonsmateriale. Dette fenomenet gjenkjennes ved at ett eller flere lokale områder i isolasjonsmaterialet blir utsatt for ekstreme elektriske felter, av en størrelse så stor at de mister sine isolerende egenskaper. Fenomenet blir ofte omtalt som Partiell Nedbryting (10).

I uniforme elektriske felter (mellom to plater) vil en komplett nedbryting av isolasjonsmaterialet starte før partiell nedbryting har initiert. Dette gjelder også for øvrig for svakt ikke-uniforme elektriske felter (for eksempel felt mellom elektriske ledere i kabel, eller mellom leder og skjerming). For ekstremt ikke-uniforme elektriske felt vil partiell nedbryting starte før en eventuell komplett nedbryting(global nedbryting) av isolasjonsmaterialet starter (10).



Figur 3-7: Elektrisk feltstyrke og spenningspotensiale. Til venstre Uniformt felt mellom to parallelle plater. I midten svakt Uniformt felt mellom to kuler. Til høyre ekstremt ikke-Uniformt felt mellom to nål-elektroder (10).

Den maksimale feltstyrken forekommer ved peak-verdien for en vekslende spenning(AC), ikke ved RMS-verdien. Dette må man ta i betraktning når man sammenligner likespenning (DC) (10).

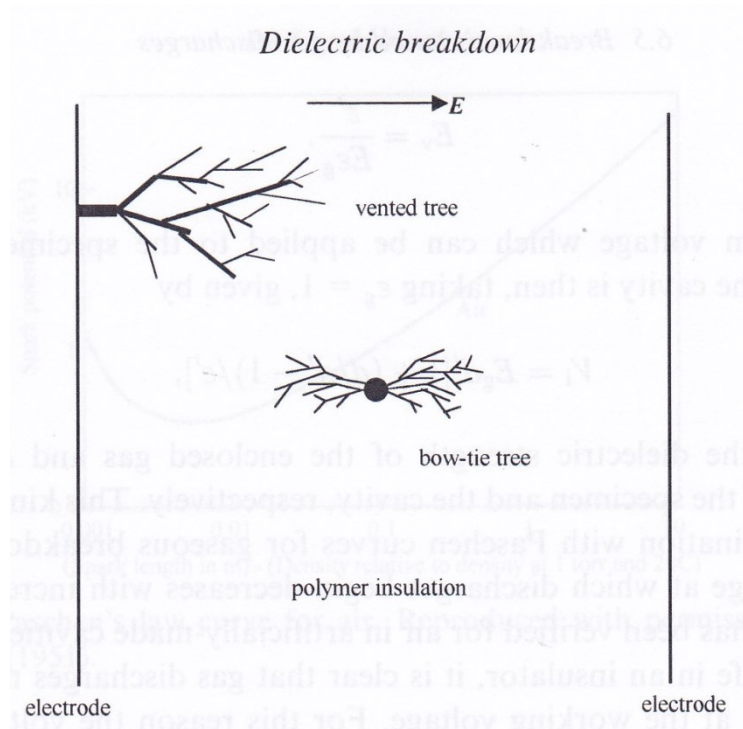
Da den elektriske feltstyrken er størst ved peak-verdien, vil det være naturlig å vente størst grad av utladning i denne delen av perioden (10).

Den elektriske styrken til et isolasjonsmateriale er den maksimale elektriske feltstyrken et isolasjonsmateriale kan motstå uten at en komplett nedbryting finner sted. Svært mange

faktorer påvirker den elektriske styrken til et isolasjonsmateriale. Disse faktorene er blant annet sammensetningen av stoffer i isolasjonsmaterialet, urenheter og ujevnheter, trykk, fuktighet, temperatur, elektrisk feltkonfigurasjon (elektrodeform, størrelse og avstand), elektrodemateriale, i tillegg til størrelse og bølgeform på den påtrykte spenningen (10).

3.3.2. Elektriske trær

Et elektrisk tre dannes når utladninger eroderer isolasjonsmaterialet, og danner flere kanaler som får et tre-lignede utseende. Erosjonen foregår ved at isolasjonsmaterialet vil bli smeltet, kjemisk nedbrutt, og produksjon av mikrosprekker vil oppstå (22). Kanalene som blir dannet vil normalt ha en diameter på mellom 1 og 5 μm , og utbre seg i det elektriske feltets retning (23). Denne type degradering kalles elektro-erosjon, og kan finne sted under høye elektriske felter (24).



Figur 3-8: illustrasjon av elektriske trær i et isolasjonsmateriale. Man ser tydelig at denne type trær vokser i samme retning som det elektriske feltet (23).

Vekslende elektriske felter(AC) fører til en høyere veksthastighet enn elektriske felt fra likespenning(DC). Dette kommer av at de største utladningene vil forekomme ved reversering av feltets polaritet (23). Av den grunn vil levetiden til et dielektrisk materiale som blir utsatt for elektrisk tre være avhengig av frekvensen til det elektriske feltet. En dobling av frekvens gir halvering av levetid (22).

Når et elektrisk tre har vokst gjennom et isolasjonsmateriale kan store elektriske strømmer gå gjennom kanalen, en komplett nedbryting av isolasjonsmaterialet har da funnet sted (23).



Bilde 3-1: Elektrisk tre som vokser ut fra en nål-elektrode.

Kilde:

<http://www2.le.ac.uk/departments/engineering/research/electrical-power/images/Electrical%20Tree.jpg>

Dato: 19/04-2013

Elektriske trær initierer i feil eller urenheter i et isolasjonsmateriale. Ved å unngå denne type feil, vil man i større grad kunne motstå dannelsen av elektriske trær (23).

Isolasjonsmateriale som blir utsatt for kompresjon viser større motstand mot dannelse av elektriske trær. Om materialet blir utsatt for strekk vil utviklingen av et elektrisk tre gå raskere (25).

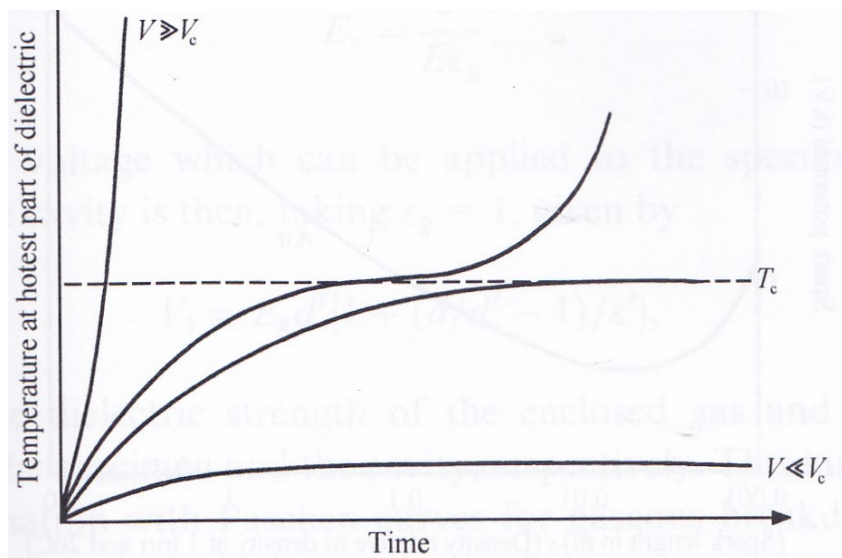
3.3.3. Termisk nedbryting

Høye temperaturer i en leder vil føre til at den dielektriske styrken til isolasjonsmaterialet vil falle. Ved tilfeller der denne styrken blir betydelig redusert, vil en utladning av elektrisk energi finne sted. Det har da blitt dannet en jordfeil, eller en kortslutning mellom to (eller flere) faser (23).

For at termisk nedbryting kan finne sted, må høy temperatur i isolasjonsmaterialet oppnås. Dette kan forekomme ved tilfeller der det dielektriske tapet er stort, eller ved for stort reaktivt tap i leder-materialet. Ofte er det en kombinasjon av disse faktorene. Stort dielektrisk tap forekommer ved tilfeller der frekvensen og spenningen er høy, eller en forhøyning av tangens delta og kapasitansen har funnet sted. En kombinasjon av alle disse faktorene kan gi uheldig stort dielektrisk tap (23). Formel 3-17 beskriver det dielektriske tapet.

Andre faktorer som høy omgivelsestemperatur vil gi dårlig nedkjøling av kabelens isolasjon. Dette fører til at kabelen vil oppnå en høyere temperatur enn ved lavere omgivelsestemperaturer. (23)

Figur 3-9 viser temperaturutviklingen i et isolasjonsmateriale, ved ulike spenninger. Økende spenning gir større dielektrisk tap, noe som gir høyere isolasjonstemperatur (23).



Figur 3-9: Temperaturkurver for økende spenning (23).

Ved normal operasjon vil isolasjonsmaterialet rundt en leder gå mot en konstant temperatur. Om det dielektriske tapet blir tilstrekkelig stort i forhold til avgitt varme til omgivelser, vil temperaturen øke så mye at kapasitansen og tangens delta vil få høyere verdier. Dette vil føre til et stigende dielektrisk tap, noe som igjen gir høyere isolasjonstemperatur. Denne uheldige effekten vil da fortsette frem til den dielektriske styrken til isolasjonsmaterialet har falt så mye at utladning finner sted, og man får dannet et elektrisk tre (24).

3.3.4. Vantrær

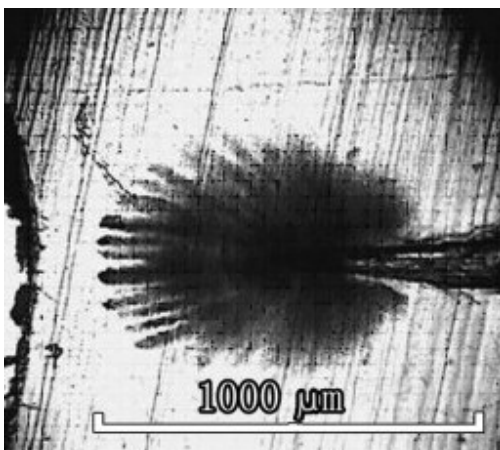
Et vanntre består av kanaler og hulrom i størrelsesorden 1-5 μm . Disse kanalene er fylt med vann, men kan også tørkes ut, for deretter å fylles med vann ved en senere anledning. Vantrær kan vokse gjennom hele isolasjonsmaterialet uten at en nedbryting finner sted. Vantrær oppstår under tilstedeværelse av elektriske felter, og vann. Det er vanlig at et elektrisk tre vokser inne i et vanntre, som deretter fører til at et en komplett nedbryting av dielektrisk styrke finner sted (23).

Vantrær fører til en økning i tangens delta, noe som fører til at sannsynligheten for termisk nedbryting av isolasjonsmaterialet blir større. Et lokalt varmt område vil da oppstå, og et elektrisk tre vil dannes (22).

En rekke faktorer påvirker dannelsen av vantrær i isolasjonsmaterialer. De viktigste er elektrisk feltstyrke, mekanisk påvirkning, type og konsentrasjon av ioner i vannet i tillegg til oppbyggingen og additivene i polymeren (23). I tillegg viser det seg at feltfrekvens har noe påvirkning på veksthastigheten til vantrær, en økning fra 50Hz til 500Hz gir dobbel veksthastighet (22).

Vantrær kan vokse fra ytterkanten av et dielektrisk materiale, mot den andre ytterkanten. Denne type vanntre er mest vanlig, og blir kalt ventilert vanntre. Det finnes også vantrær som initierer inne i isolasjonsmaterialet for deretter å vokse i retning mot en eller to elektroder, disse blir kalt «bow-tie» trær. Denne type vanntre har ofte en lavere veksthastighet (22).

Et vanntre kan tørkes ut om isolasjonsmaterialet blir utsatt for høy temperatur, uten tilstedeværelse av fuktighet. I slike tilfeller har det blitt dokumentert at dannelsen av elektriske trær er mye raskere. Noe som poserer en trussel for isolasjonsmaterialet i sin helhet (26).



Bilde 3-2: Vanntre i isolasjonsmateriale.

Kilde:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141391007000298> Dato 19/04-2013

Mekanisk spenning har vist seg å øke dannelsen av vantrær. Et isolasjonsmateriale som blir utsatt for dynamisk lastkarakteristikk vil ha en vesentlig høyere vanntre-tetthet enn ved statisk last. Ved dynamisk last vokser vantrær like raskt ved kompresjon som ved strekk. Ved statisk last vil isolasjonsmateriale som blir utsatt for strekk ha vantrær som blir lengre, sett i forhold til statisk kompresjon. Dette kommer trolig av spenningsrelaksjon ved statisk last, noe som ikke finner sted ved dynamisk lastkarakteristikk (25).

4. Metode

En rekke vitenskapelige metoder har blitt brukt. I dette kapittelet vil disse metodene bli presentert.

4.1.Litteratur og databasesøk

Litteratur og databasesøk har blitt utført for å finne relevante artikler relatert til jordfeil og degradering av isolasjonsmaterialer. Det har blitt brukt spesifikke søkeord som har generert korte trefflister. Listene har deretter blitt studert, sammendrag i interessante artikler har blitt lest. Relevante artikler har deretter blitt hentet ut basert på en vurdering av innholdet i sammendraget.

Tabell 4-1: Oversikt over database og litteratursøk.

Forum	Søkeord	Søkefelt	Antall treff	Artikkel/Kildenavn	Forfatter	Funndato
Engineering village	Water tree & XLPE & dynamic	Alle felt	6	Water tree initiation and growth in XLPE cables under static and dynamic mechanical stress	<u>Helleso, Svein</u>	15/01-13
Engineering village	Electrical tree & Water tree & XLPE	Title	11	Study on the transformation of electrical tree from water tree degradation in XLPE	<u>Wang, Jin-Feng</u>	21/01-13

Foruten artiklene over har det blitt brukt en del tilgjengelige bøker og andre ressurser som dokumentasjon på måleutstyr, og ROV-systemet for øvrig.

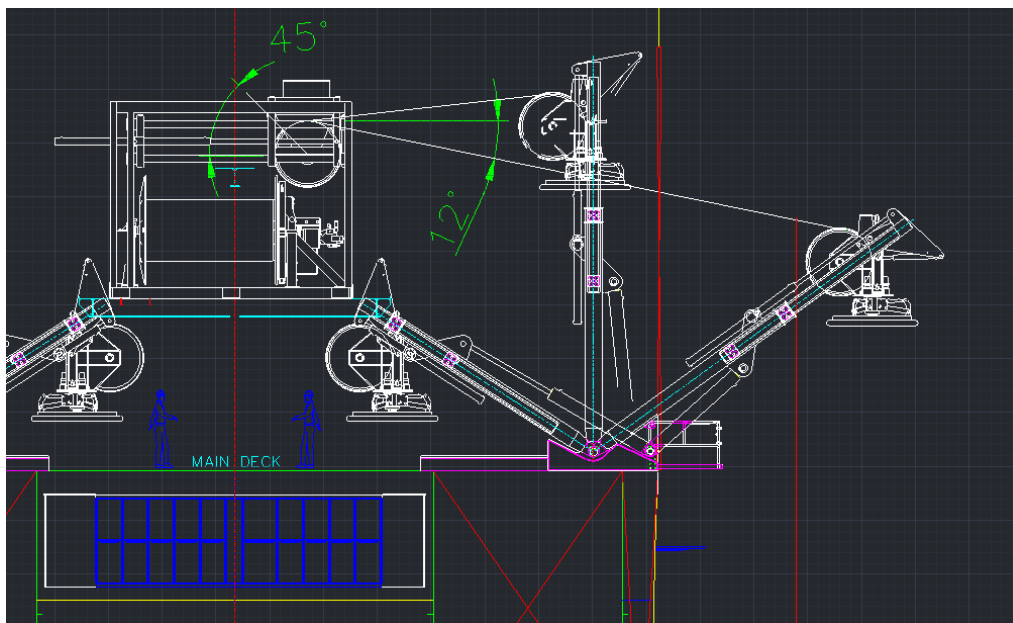
4.2. Logging av lastkarakteristikk

Logging av lastkarakteristikk, og fartøybevegelser har blitt utført på et Rolls Royce (tidligere Odim) A-ramme Launch and Recovery system plassert om bord på Geosund. Data har blitt avlest og lagret mellom 5 og 10 ganger i sekundet, over en periode på 51 dager fra desember 2012 til januar 2013. Under denne tidsperioden var Geosund lokalisert rundt Italia.

Lastcelle

Lastcellen som logger resultantkrefter er lokalisert i senter av sheave-hjulet på vinsj. Denne er plassert på en slik måte at den måler resultantkrefter som kommer inn med en angrepsvinkel på 45 grader i forhold til horisontalplanet (27).

Avhengig av last vil da sensoren gi et utsignal mellom 4-20mA (28). Med bakgrunn i kalibrering på fabrikk, der en kjent last har blitt hengt i en stropp over sheave-hjulet, vil da last på Umbilical bli oppgitt og avlest (27).



Figur 4-1: Plassering av Vinsj og A-ramme om bord på Geosund.

Sensoren som brukes til måling av last er fra Scan-Sense serien LS-3010-SP med en makslast på 40 te (FS 40te). Sensoren har en nøyaktighet på +/- 1 % av makslast ved romtemperatur. Det vil si +/- 400 kg (28).

MRU

MRU er en forkortelse for Motion Reference Unit. Denne enheten brukes til å avdekke fartøyets bevegelser. Da fartøyets bevegelse direkte påvirker TMS, vil dette vanskeliggjøre operasjoner der behovet for en stabil TMS er kritisk. MRU vil da bli brukt til å gi kontroll-PC informasjon om fartøyets bevegelser. Fartøybevegelsene vil da bli kompensert ved at Umbilical blir spolt inn og ut (29).



Bilde 4-1: MRU plassert om bord i Geosund.

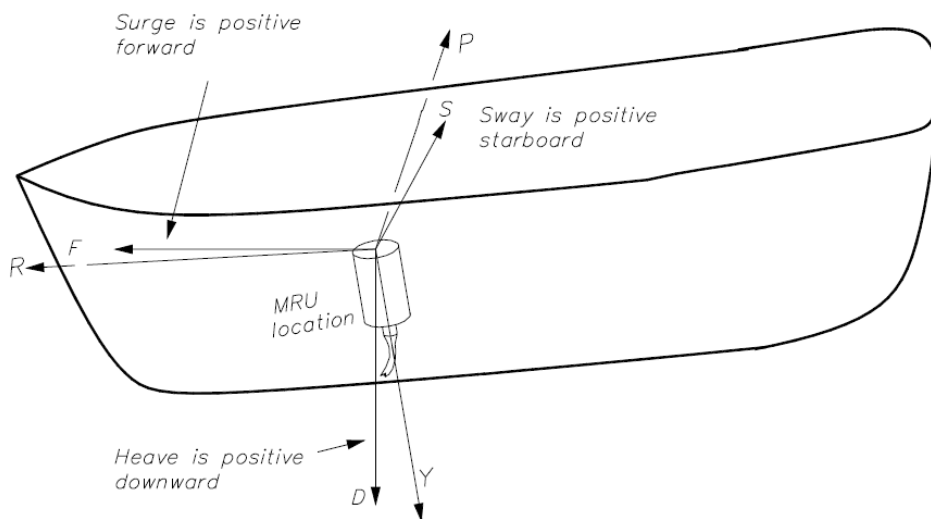
Denne MRU enheten er av typen Seatex 5, og er laget av Kongsberg. MRU-enheten består av tre typer sensorer, rotasjonsvektor sensorer, akselerasjonsvektor sensorer, og temperatursensor (29).

Det er plassert tre rotasjonsvektor sensorer, og tre akselerasjonsvektor sensorer i MRU`en. Rotasjonsvektor sensorene kan tillate en maksimal vinkelendring på 150 grader per sekund. Akselerasjonsvektor sensorene tillater en akselerasjon på maksimalt 30m/s^2 , og har en nøyaktighet på $0,01\text{ m/s}^2$ (29).

Når det kommer til dynamisk nøyaktighet har MRU`en en nøyaktighet på 5cm eller 5 %, den største av disse verdiene er gjeldende for aktuelt tilfelle (per bølgeperiode) (29).

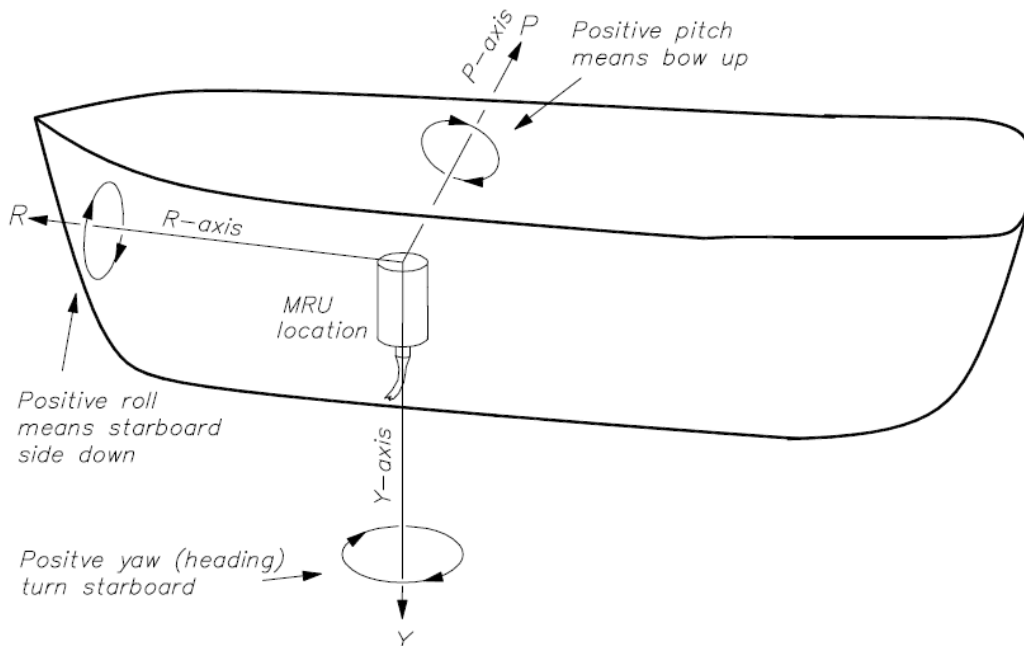
Da MRU er lokalisert på et annet sted i fartøyet enn der heave-bevegelse skal kompenseres, har avstanden mellom dette punktet og MRU blitt målt. Denne avstanden i form av tre akser blir konstant sendt til MRU, slik at Heave-bevegelse i dette punktet kan beregnes. Kontroll-PC vil da kunne beregne heave-kompensering. Et behov for konstant input for hvilke punkt det skal beregnes heave-bevegelse for, kommer av at dette punktet er plassert inne i Docking-hodet. Docking-hodet kan flyttes ved å bevege A-rammen inn eller ut (30).

Den totale nøyaktigheten til systemet er da avhengig av nøyaktig plassering av MRU, i kombinasjon med eksakt avstand (i tre akser) mellom MRU og Docking-hodet. Det er fordelaktig at denne avstanden er minst mulig. Den totale unøyaktigheten til systemet er ikke kjent (30).



Figur 4-2: Surge, Sway og Heave for et fartøy (30).

- Surge: er den lineære langsgående bevegelsen, frem og bak.
- Sway: er den lineære laterale bevegelsen, sidebevegelse.
- Heave: er den lineære vertikale bevegelsen, opp og ned.



Figur 4-3: Roll, Pitch og Yaw for et fartøy (30).

- Roll: er fartøyets rotasjon rundt den langsgående akse.
- Pitch: er fartøyets rotasjon rundt «side til side» akse.
- Yaw: er fartøyets rotasjon rundt vertikal akse.

Loggemetode

Logging av data er satt opp på en slik måte at registrering vil foregå når LARS er på. Det medfører at en del data vil være uinteressant, da ROV-systemet bare forholder seg i ro på dekk, uten at noe endres. Loggedata har blitt lagret i pc som kontrollerer LARS. Fra denne PC har da loggedata blitt hentet ut.

Følgende data ble registrert:

- Dato og klokkeslett, med hundredels-sekunds nøyaktighet
- Tension i Umbilical
- Heave Posisjon
- Heave Akselerasjon
- Heave Hastighet
- Heave Høyde (basert på logg)
- Heave Periode (basert på logg)
- Deployert Kabellengde

Dager der systemet har vært aktivt hele dagen, har det blitt lest av ca. 550 000 datapunkt. Andre dager har systemet ikke vært brukt i det hele tatt, det har da ikke vært registrert data. Men jevnt over har antall avlesninger ligget på ca. 250 000 pr døgn.

Behandling av loggedata

Loggedata ble gjort tilgjengelig i TAB format. Deretter ble data importert til Excel 2010, der det ble laget ett ark med data for hver dag. Dette for å sørge for at data blir mer oversiktlig. Da datamengdene var svært store måtte det brukes en nyere versjon av Excel, da denne tillater over en million rekker per ark. Datamengden ble også delt i to (Desember og Januar) arbeidsbøker, da dette reduserte tiden det tok for å åpne dokumentet. For å kunne behandle store datamengder i Excel, var det nødvendig å installere en 64-bit versjon av programvaren. Denne versjonen tillater bruk av mer enn 2 GB minne. (Excel stod for ca. 10 GB minnebruk når et av de to dokumentene var åpne). Da dette ble utført var datamengden, og tiden Excel bruker på å regne ut arkene i arbeidsboken innenfor akseptabel ramme.

Først ble det foretatt et innledende søk, der makslasten over hele perioden ble funnet. Det ble identifisert at denne forekom ved inn- og ut- dokking av TMS fra Dokking hode på A-ramme. Av den grunn ble det valgt å hente frem alle tilfeller der ROV går gjennom vannflaten (både på vei opp og på vei ned), for å se hvilke laster som er vanlig under denne delen av operasjonen. Hvert tilfelle måtte bearbeides manuelt, der ett minutt med data ble hentet ut, graf over denne tidsperioden ble tegnet, og makslasten lest av. Dette ga et godt bilde av hvordan lasten fordelte seg gjennom hele sjøsetting og opptaks operasjonen. Med bakgrunn i dette ble et representativt tilfelle av deployering valgt, og hva som hender med

systemet gjennom denne perioden beskrevet. Det ble også utarbeidet et søylediagram som viser fordelingen av makslast under denne type operasjon. De to tilfellene med størst makslast blir presentert for tydelig å vise hvilke del av operasjonen som gir høy belastning på kabelen.

Det ble også utarbeidet en oversikt over maksimal Heave-høyde for hvert døgn. Dette ble brukt til å hente ut tilfeller der bølgehøyden var stor, for å se på lastkarakteristikken ved slike tilfeller. De verste tilfellene ble plukket ut og studert. Det viste seg at Heave-kompensering ble i enkelte tilfeller brukt under hele operasjonen, mens andre ganger bare ved inn og utkjøring av ROV fra TMS. Av den grunn ble det valgt å se på lastkarakteristikk både med og uten Heave-kompensering ved tilfeller med stor bølgehøyde, der TMS (og ROV) er på arbeidsdybde. Dette kan da avdekke hvilke laster som er vanlig ved stor bølgehøyde, og hvordan lastmønsteret endres ved bruk av Heave-kompensering.

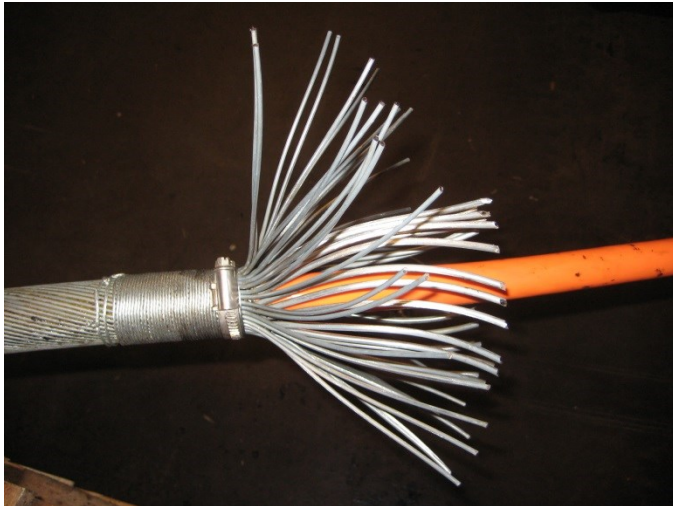
For å verifisere at statisk last på kabelen var avhengig av operasjonsdybde, ble det laget et plot av statisk last ved forskjellige operasjonsdyp. Den statiske lasten ble beregnet ved at over 500 datapunkter for operasjon på det aktuelle operasjonsdypet ble lest av, og et gjennomsnitt av disse verdiene ble regnet ut. Det ble valgt ut tilfeldige tilfeller, men da ved ulike operasjonsdyp, slik at man fikk datapunkter for operasjon helt ned til 700 meters dyp. Punktene ble plottet i et diagram, og en lineær trendkurve ble tegnet inn.

4.3. Strekk av Umbilical

For å kunne utsette kabelen for mekaniske laster ble det støpt fast socket i begge ender av prøvestykket. Deretter ble Umbilical montert i strekkbenk for å bli utsatt for ønsket påkjenning. Dette etter at innledende elektriske tester hadde blitt utført (se Kapittel 4.4).

Støping av socket:

For å kunne støpe fast socket i begge ender av prøvestykket må armeringen kuttet tilbake slik at den indre kjernen av kabelen vil stikke ut gjennom socket. Dette gir mulighet til å



Figur 4-4: Klargjøring av armering for støping i socket.

kunne koble på måleinstrumenter for å måle de elektriske egenskapene til kabelen. Når armeringen er fjernet fra enden av prøvestykket ble armeringen festet (bundet fast) 18cm fra slutten på armeringen. Enden på de ulike armeringskordelene ble da sluppet løst, og bøyd litt ut, slik at det ble mulig å rengjøre alle kordelene for grease. Til rengjøring av armeingskordelene ble det brukt «CRC Brake Cleaner» (et tetrakloretylen-basert løsemiddel).

Deretter ble alle kordelene pusset med smergel, dette for å sørge for ekstra

god helt til støpemasse. Det ble forsøkt å ikke bøye kordeler mer enn nødvendig, da dette induserer svakheter i armeringen.

Deretter ble socket trukket over de løse armeringskordelene for så å bli støpt fast. I bunnen av socket ble det brukt tape for å hindre at støpemassen skulle renne ut. Kabelen ble da hengt opp etter socket, og denne ble fylt med Wire Lock (en polyester-basert støpemasse) slik at de løse armeringskordelene inne i socket ble dekket av støpemasse. Socket ble hengt opp høyest mulig, slik at krummingsradien på kabelen var stor (da resten av kabelen lå utover gulvet). Dette medfører liten grad av problemer relatert til ulik kordellengde. Liten krummingsradius gir større variasjon i kordellengde, noe som kan være uheldig for fordelingen av last over de ulike kordelene i kabelen ved tilfeller der lasten er høy. Støpemassen brukte ca. 2 timer på å herde ved romtemperatur.

Denne type socket er vanlig å bruke på løftewire av ulike slag (31). Men da øyet i socket er relativt stort, tillater



Figur 4-5: Socket klargjort for støping, tape i bunnen av socket mangler.

dette bruk av sjakkel (for tilkobling til strekkbenk) uten at det skal være behov for å bøye kabelkjernen utover det normale.

Strekk av Umbilical

Strekking av Umbilical har blitt foretatt i strekkbenken til W.Giertsen i Gravdal (Bergen). Denne benken har en kapasitet på 100 tonn, med en kabellengde på maksimum 10 meter, der det tillates en maksimal forlengelse på 1 meter. Dette medfører at kabelen må være kortere enn 10 meter, det har derfor blitt valgt å ha 5 meter mellom de to socketene støpt fast i kabelen. En kabellengde på 5 meter mellom socket gir også en total kabelvekt som er lettere å hanskles med uten bruk av tyngre løfteutstyr (totalt ca. 40 Kg) .



Bilde 4-2: Innfestning i strekkbenk med hydraulikksylinder.

Det vil være fordelaktig at det eksponerte området av kabelen (delen av kabelen som blir utsatt for last) lengst mulig i forhold til resterende kabel (del av kabel som går gjennom socket). Dette fordi eventuelle endringer i isolasjonsmaterialet som følge av strekk i større grad vil dominere.

Strekkenbenken er bygget opp på en slik måte at strekkprøven settes fast i ene enden av benken. I andre enden av benken er strekkprøven festet i en bevegelig anordning. Denne anordningen blir flyttet ved hjelp av en hydraulisk sylinder. Denne sylinderen vil da påføre krefter i form av strekk.

I bakkant av Bilde 4-2 kan man se hydraulikksylinderen som flytter på kabelinnfestningen. Strekkprøven blir da festet i denne innfestningen ved hjelp av D-sjakler, og en Master-

Link. Avhengig av retningen på prøvestykkets socket, blir det brukt en eller to D-sjakler. Dette for ikke å måtte påføre unødig vridning av kabelprøven. I innfestningen mellom hydraulikksylinder og Master-Link er lastcellen plassert.

Bilde 4-3 viser lastcellen som er plassert i strekkbenken. Denne lastcellen har en kapasitet på opp til 100 tonn, og er av type KIMD-1136. Ved siste kalibrering (25/02-2013) viste lastcellen en største deviasjon på 1,4 %. Lastcellen er montert på en slik måte at Master-Link overfører krefter midt i høyden på lastcellen. Ved last vil sensoren sende et elektrisk signal til strekkbenkens kontrollsystem. Dette signalet er et strømsignal som ligger mellom 4 og 20 mA avhengig av lastens størrelse.

Strekkenbenkens bakre innfestning kan flyttes slik at det tillates ulik lengde på prøver som skal strekkes. Denne innfestningen ble da flyttet, og satt fast, slik at denne passet overens med



Bilde 4-3: Lastcellen plassert i strekkbenken.

kabelprøvens lengde. For å feste kabelen ble det brukt en D-sjakkell mellom kabelens socket og strekkbenkens innfestning. Bilde 4-4 viser hvordan kabelen ble festet i den stasjonære enden av strekkbenken.



Bilde 4-4: Stasjonær innfestning av kabel.

Strekkingen av kabelen ble foretatt trinnvis, der første trinnet strakk kabelen opp til en last på tre tonn. Dette for å fjerne all slakk, slik at et nullpunkt for forlengelse kunne etableres. Deretter ble elektriske målinger foretatt. For hver elektrisk måling måtte ledere jordes ned i benken i 5 minutter. Etter at en måling har blitt foretatt ble umiddelbart lasten økt opp mot neste trinn, mens nedjording av kabel ble utført. Når kabelen hadde vært tilstrekkelig nedjordnet, hadde lasten på kabelen kommet opp til

ønsket nivå, og neste måling av elektriske egenskaper kunne da bli utført. Denne prosedyren ble gjentatt for alle lasttrinn opp til ønsket makslast, for deretter å bli utført på samme måte med minkende last.

Det er også montert en posisjonssensor i strekkbenken. Denne er av type Celesco PT9420-0075-112-1110, og har et måleområde på 75 tommer. Denne sensoren sender et elektrisk signal til strekkbenkens kontrollsystem. Dette signalet er et strømsignal som ligger mellom 4 og 20 mA avhengig av posisjonen til benkens bevegelige innfestning.

Tabell 4-2: Oversikt over hvilke last-trinn som ble valgt for strekking av kabelen.

LAST	KOMMENTAR
3 tonn	Startlast for å kalibrere nullpunkt for forlengelse
10 tonn	
14 tonn	Normal last ved inn- og ut- dokking fra dokkinghode
20 tonn	
23 tonn	Safe Working Load (SWL) fra Nexans (Vedlegg 1)
30 tonn	
35 tonn	
40 tonn	Makslast, ingen indikasjoner på laster høyere enn dette om bord på fartøy.
20 tonn	
10 tonn	
3 tonn	

Lasttrinn som ble brukt under strekking har blitt valgt på bakgrunn av maksimal last som har blitt observert om bord på fartøy, Safe Working Load fra kabelprodusent (Nexans) (Vedlegg 1) og lastkarakteristikk fra logge-data. Det har da blitt satt inn ekstra trinn, slik at man har en relativt jevn fordeling av lasttrinn helt opp til 40 tonn. Ved minking av last fra 40 tonn har det blitt valgt å ha noe færre lasttrinn, dette for å spare tid, da eventuelle endringer i isolasjonsmaterialet ventes å kunne opptre ved økende last.

4.4.Måling av dielektriske egenskaper

For å identifisere eventuelle endringer i isolasjonsmaterialenes dielektriske egenskaper blir det foretatt målinger av tangens delta, kapasitans, partielle utladninger og resistans.

Følgende fremgangsmåte blir valgt for å kunne få dannet et bilde av isolasjonsmaterialenes dielektriske egenskaper før, under og etter strekking av Umbilical.

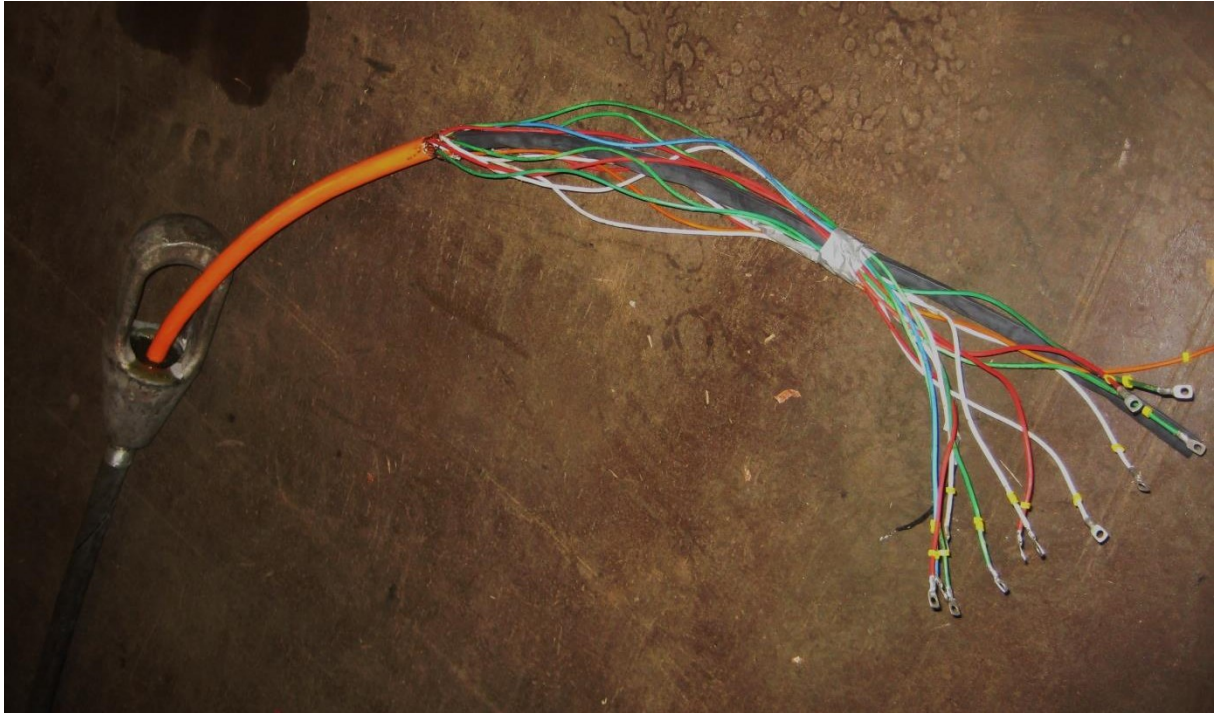
Tabell 4-3: Fremgangsmåte for testing av dielektriske egenskaper. Økende tid mot høyre.

Før strekk	Under strekk	Etter strekk
Måling av: <ul style="list-style-type: none">• Tangens delta• Kapasitans• Partielle Utladninger	Måling av: <ul style="list-style-type: none">• Isolasjonsresistans	Måling av: <ul style="list-style-type: none">• Tangens delta• Kapasitans• Partielle Utladninger

4.4.1. Klargjøring av ledere for elektriske målinger

For at elektriske målinger skulle kunne utføres ble ytre kappe og skjerming fjernet, dette gjorde det mulig å komme til det ytterste laget med ledere. De ulike lederne ble da skilt fra hverandre, merket, og kabelsko ble montert. Det ble valgt å utføre målinger på det ytterste laget med ledere, da jordfeil hyppigst forekommer i dette laget.

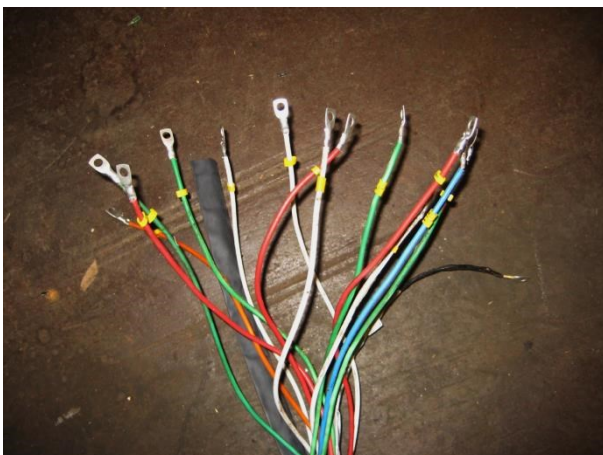
Kappen som er trukket over kableen ble bevart et stykke etter socket, dette for å beskytte mot eventuelle skader på ledere, som kan komme fra bevegelige deler i strekkbenken, og koblingen mellom strekkbenken og kableen (D-sjakkell).



Figur 4-6: Komplet terminering av Umbilical, til venstre ser man Umbilical som går inn i Socket, gjennom Socket går kjernen av Umbilical. Kappen fortsetter et stykke til den biten av kabel der lederne blir delt og skjerming fjernet. På enden av lederne er det montert kabelsko.

Mellom de ulike lederne i kabelen er det fylt med termo-elastisk fyllmasse (Vedlegg 1). Denne massen har til hensikt å fylle opp kabelens tomrom, forebygge vanninntrenging i kabelen, i tillegg til å forebygge gnidningsproblemer mellom de ulike lederne. Da fyllmassen har en klebrig konsistens, er den uheldig å ha på lederne da alt av fremmedlegemer vil bli limt fast. Av den grunn har det blitt forsøkt å fjerne denne fyllmassen. CRC Lectra Clean (Industrial Degreaser) og CRC Brake Cleaner har blitt brukt, uten å ha spesielt god effekt. Derfor har det ikke vært mulig å oppnå optimal renslighet, men store deler av fyllmassen har latt seg fjerne.

Mellom lederne er det plassert drainwire, disse har blitt lasket sammen, slik at målinger blant annet kan gjøres i forhold til disse. Til vanlig blir disse koblet opp mot en overvåkingsenhet for jordfeil (11).



Figur 4-7: Kabelsko på enden av ledere.

Når kappen ble fjernet, viste det seg å være vanskelig å skille de ulike lederne fra hverandre. Fyllmassen ga en limeffekt mellom de ulike lederne, og mellom lederne og skjerm for øvrig. Dette medførte et behov for å dra de ulike lederne bort fra resten. Det ble i noen tilfeller da observert lokale tilfeller av krakelering («Crazing») på isolasjonsmaterialet. Da dette forekommer på den delen av kabelen som ikke er i

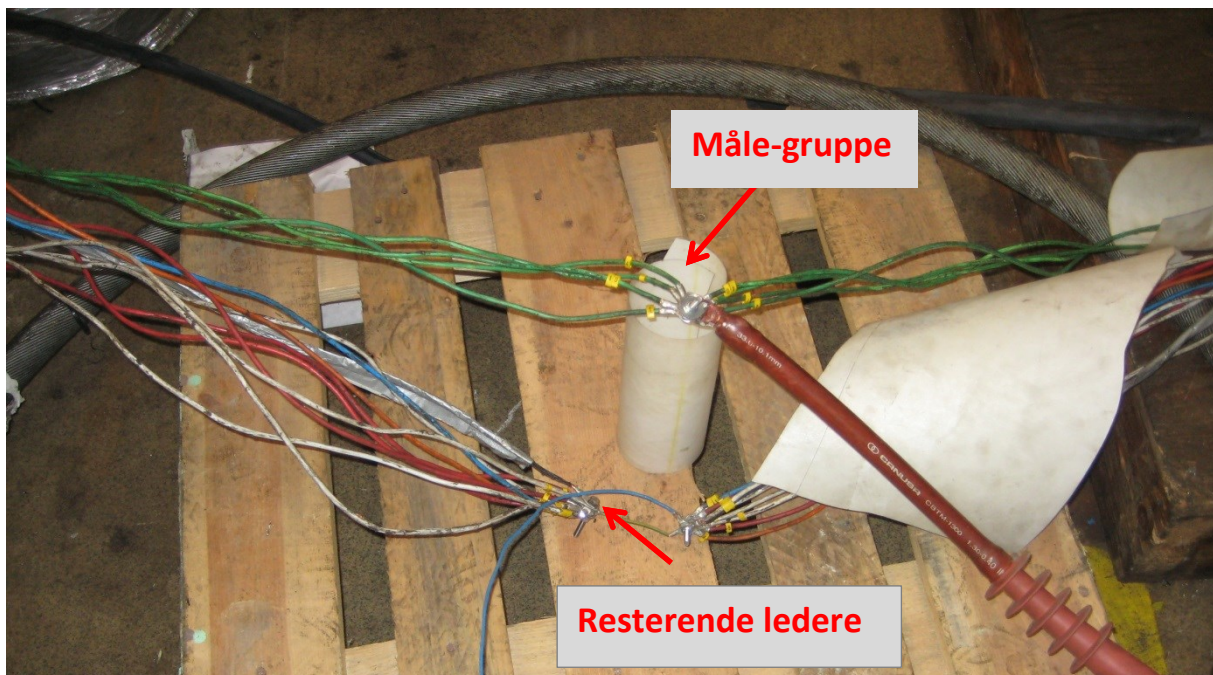
kontakt med nærliggende ledere eller drain-wire, vil dette ha liten effekt på måleresultatene. Målinger blir foretatt mellom flere ledere og nærliggende leder eller drain-wire, noe som fører til at eventuelle skade på isolasjonsmateriale utenfor kabelens kappe i liten grad vil påvirke måleresultatene.

4.4.2. Oppsett for måling av Tangens delta, Partielle utladninger og Kapasitans

Ved måling av Tangens delta, Partielle utladninger og Kapasitans ble det laget grupper med ledere som måles i forhold til resten av kabelen (resterende ledere og drainwire i ytterste lag). Det innerste laget med høyspenningsledere ble ikke koblet opp mot noe.

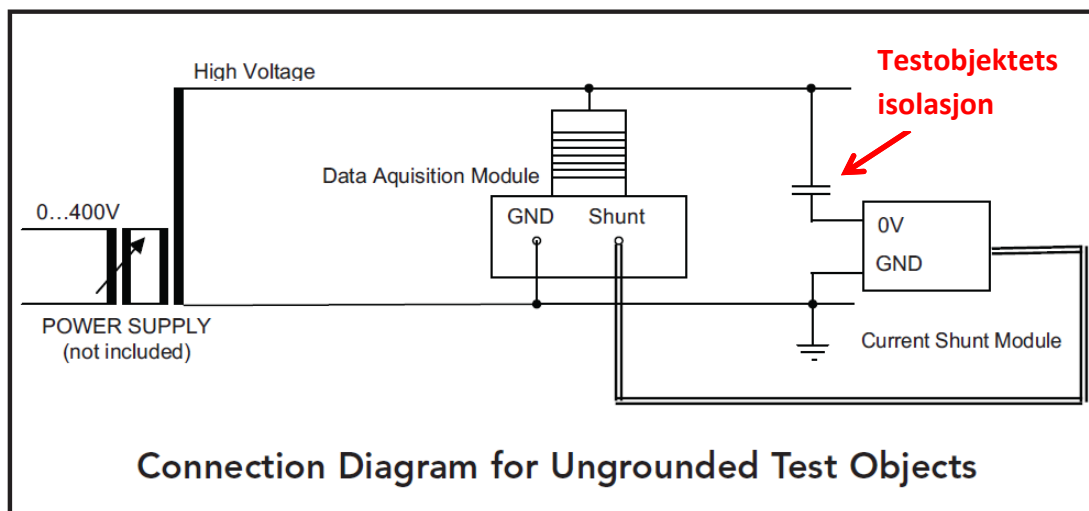
Følgende grupper ble utført målinger på:

- Målegruppe 1 (fire ledere koblet sammen, Hvit)
- Målegruppe 2 (fire ledere koblet sammen, Grønn)
- Målegruppe 3 (tre ledere koblet sammen, Rød)



Bilde 4-5: Sammenkobling av begge ender av måle-gruppen, og resterende ledere.

Begge endene av måle-gruppen ble lasket sammen, og koblet opp mot måleutstyret. Dette ble også foretatt for resten av ledere og drainwire i kabelen. Armeringen i Umbilical ble koblet mot jord, dette for å hindre et spennings-potensiale i å kunne bygge seg opp. Et slikt potensial kunne da ha gitt utladninger mot måle-gruppene, noe som ville vært uheldig.



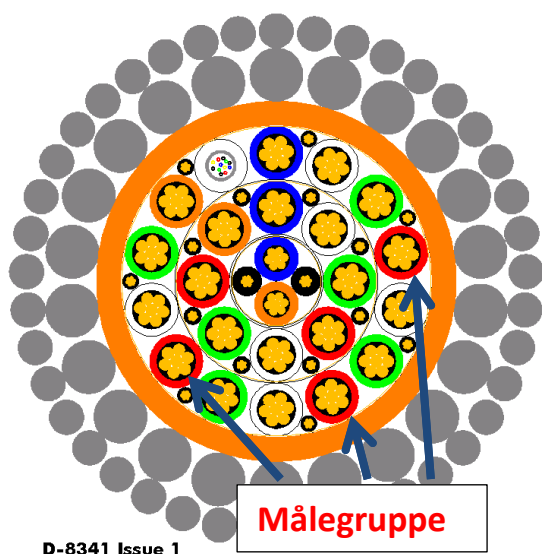
Figur 4-8: Oppsett av måleutstyr for måling av Tangens delta, Partielle utladninger og Kapasitans

Kilde: <http://www.pdtech.ch/storage/PDTech%20DELTAMAXX.pdf> Dato:28/05-2013.

Da normal operasjonell linjespenning (spenning mellom de ulike fasene) på denne kabelen er 3kV, ble det valgt å utføre målinger som går opp til 4,8kV. Dette utgjør over 50 % høyere spenning enn kabelen er beregnet for. Denne type praksis er vanlig for testing av elektriske kabler (32).

Det ble valgt å utføre en måleserie som startet på 0,6kV, som steg med intervaller på 0,6kV. Målingene ble foretatt helt opp til 4,8kV. Deretter ble spenningen senket nedover i de samme intervallene, og målinger ble foretatt for hvert intervall.

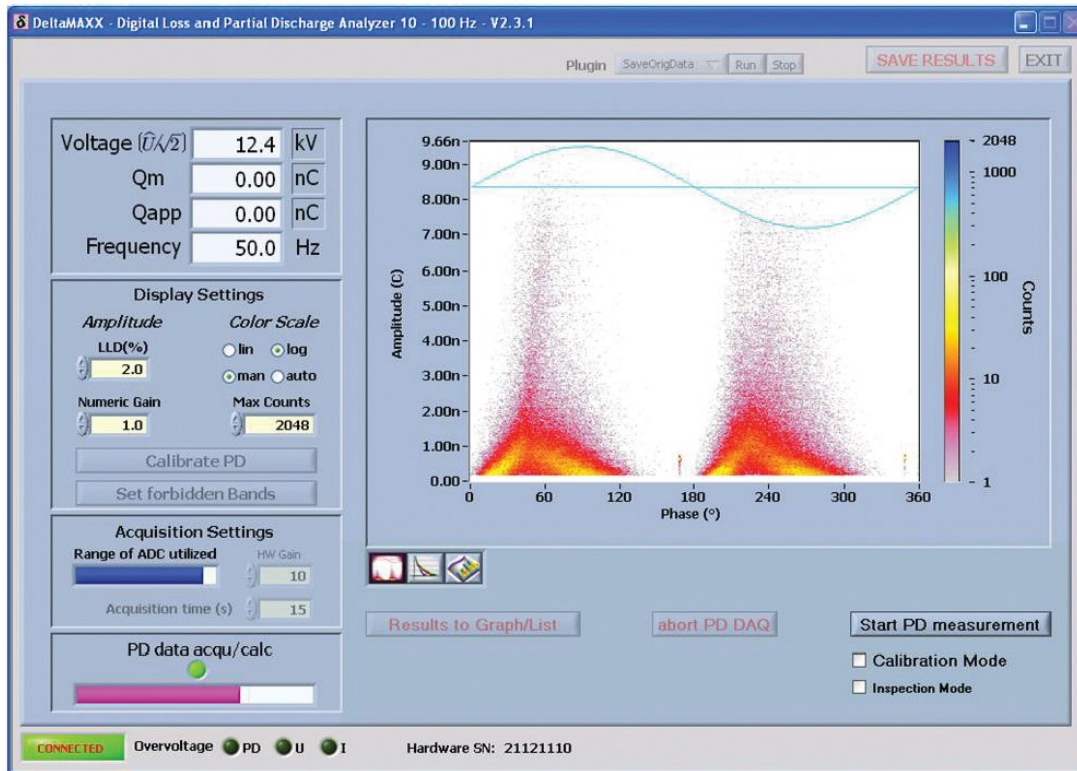
Alle målinger ble foretatt ved 50Hz, da strømforsyning (trafo) ble koblet til det lokale strømnettet. Denne strømforsyningen kunne variere spenning, slik at ønsket verdi kunne velges. Under normal drift om bord på fartøy vil kabelen bli utsatt for 50Hz (11).



Figur 4-9: Viser de tre lederne som utgjør målegruppe 3. De resterende ledere (og Drain-wire) i dette laget blir koblet sammen. Elektriske målinger blir utført mellom målegruppen og resten av lederne. Kilde: Vedlegg 1

4.4.3. Måling av Partielle Utladninger

Parallelt med målinger av tangens delta og Kapasitans, ble det også foretatt målinger av partielle utladninger. Det ble da påtrykt spenning på kabelen over et tidsrom på 30 sekunder, antall ladninger og deres størrelse ble da logget. Måleresultatene ble deretter samlet i en database, og eksport til Excel ble foretatt etter at alle målinger var utført. Bilde 4-6 viser brukergrensesnittet for måling av Partielle utladninger.



Bilde 4-6: Grensesnitt for måling av Partielle utladninger Kilde: <http://www.pdtech.ch/storage/PDTech%20DELTAMAXX.pdf> Dato:28/05-2013



Bilde 4-7: Kalibrator, PD Tech Type PD-CLSB-CD00.

Før måling av Partielle utladninger kunne finne sted, ble en kalibrator (PD Tech Type PD-CLSB-CD00) koblet opp mellom måle-gruppen og de resterende lederne i kabelen. Kalibratoren sendte da ut utladninger av en kjent størrelse, som måleapparatet detekterte. Deretter ble da måleapparatet stilt inn slik at de detekterte utladningene fikk riktig størrelse (samme størrelse som utsendt utladning fra kalibrator, 1000 pC). Under kalibrering var det ikke satt spenning på kabelprøven.

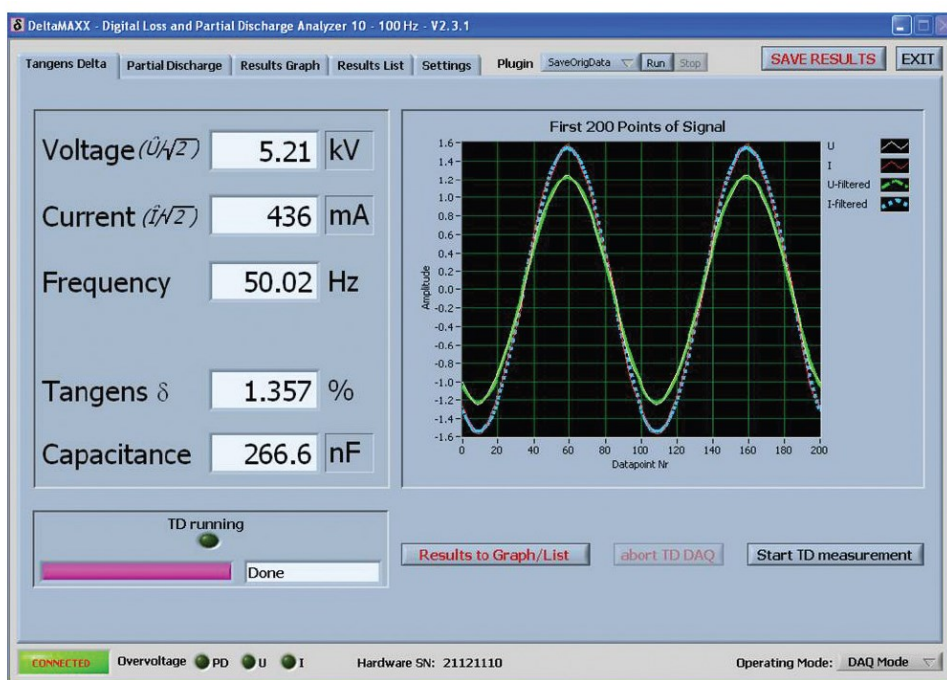
Som resultat fra en måling vil man få oppgitt Qapp (største ladning som er registrert gjennom målingen), Qm (største registrerte ladning som repeterer seg med en frekvens på 10 pulser per sekund), i tillegg til en grafisk visning av utladningene

(deres størrelse, antall, og ved hvilke fasevinkel disse forekommer).

Gain ble stilt inn slik at alle utladningene som fant sted var innenfor amplitude-aksens måleområde.

4.4.4. Måling av Tangens Delta og Kapasitans

For hvert spenningsnivå ble Tangens delta og Kapasitans målt. Disse verdiene ble deretter samlet i en database, etter at alle målingene var utført ble data eksportert til Excel. Bilde 4-8 viser brukergrensesnittet for måling av Tangens delta og Kapasitans. Informasjon om spenning, strøm og frekvens blir også lest av ved måling.



Bilde 4-8: Grensesnitt for måling av Tangens delta og Kapasitans Kilde: <http://www.pdtech.ch/storage/PDTech%20DELTAMAXX.pdf> Dato:28/05-2013.

Da avlesingen av disse verdiene var relativt enkelt å utføre når kabelen var koblet opp mot måleapparatet, ble det utført en rekke målinger ved en spenning på 2,4kV. Dette for å få en indikasjon på måleapparatets presisjon (evnen til å produsere samme verdi flere ganger).

4.4.5. Måling av isolasjons-resistans

Til måling av isolasjonsresistans under strekking av Umbilical ble det brukt en isolasjonstester. Denne er av typen «Megger MIT1025». Isolasjonstesteren kan påtrykke spenninger fra 500V og opp til 10kV etter ønske. Det opplyses i manualen for isolasjonstesteren at den har en målenøyaktighet på 5 % for målinger utført ved 10kV der isolasjonsresistansen er mindre enn 2 T-Ohm. Dette stemmer overens med kalibreringstestene som har blitt utført på denne enheten, der en unøyaktighet på 0,5 % har blitt dokumentert for dette spenningsnivået.



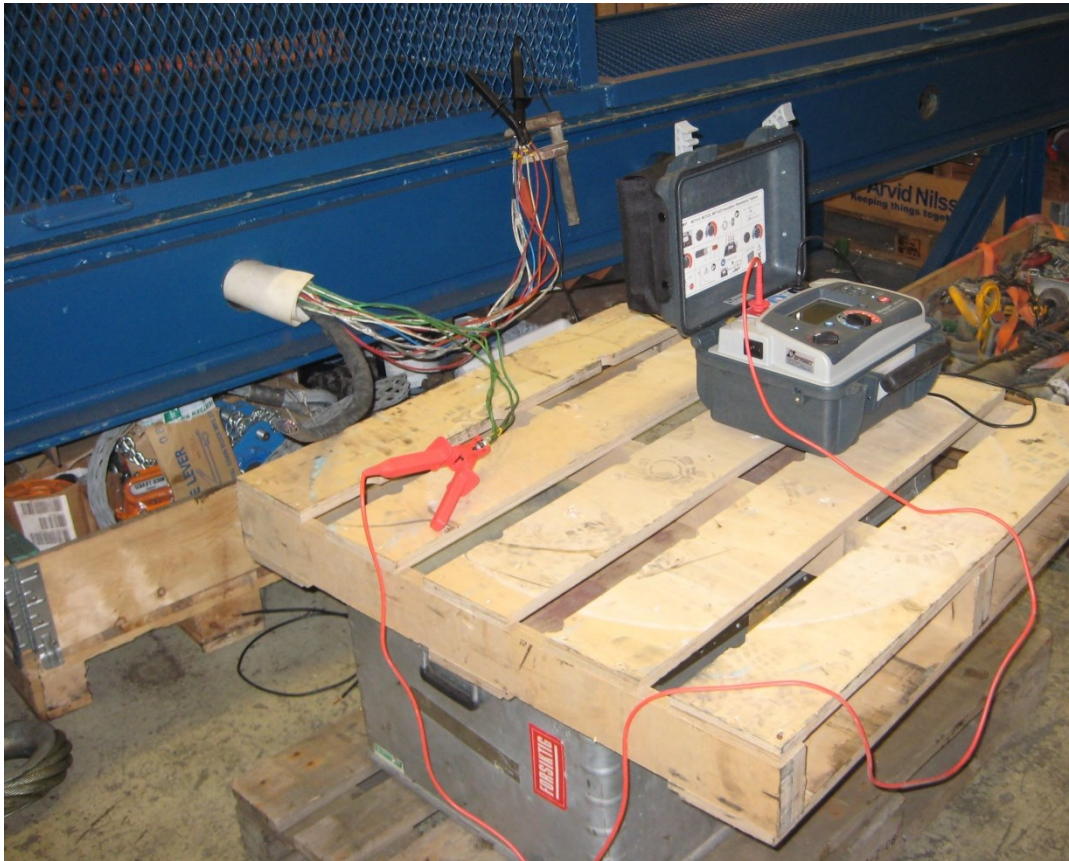
Figur 4-10: Isolasjonstester, Megger MIT1025.

Under strekktesten ble det valgt å påtrykke en spenning på 10kV(DC). I kabelens tekniske beskrivelse (Vedlegg 1) står det at kabelen skal tåle en høyspenningstest på 16 kV DC. Det er da rimelig å anta at kabelen tåler denne spenningen uten at isolasjonsmaterialet blir betydelig degradert. Spenningen ble på påtrykt i ett minutt, og isolasjonsresistansen ble avlest. Denne prosedyren ble utført for alle lasttrinn. Etter at en måling ble utført ble ledere (grønne ledere) jordet ned i benken i 5 minutter før nye målinger kunne bli utført. Dette for å lade ut spenningspotensialer i kabelen, som har blitt bygget opp under isolasjonstesten (33).

På noen av lasttrinnene ble isolasjonsresistansen avlest to ganger, dette for å se om resistansen varierer over tid. Å utføre samme testen to ganger sier også noe om reproduserbarheten til målingene. Det forventes at målingene skal produsere like verdier. Det kan også tenkes at høy statisk last over tid vil svekke materialet. Derfor ble det valgt å utføre dobbelt sett med målinger ved maks last (40 tonn).

Det ble valgt en enkel oppkobling av kabelen for måling av isolasjonsresistans. Grønne ledere i ytterste lag av Umbilical ble koblet sammen i begge ender av kabelen, disse danner da

Målegruppe 2. Resterende ledere i ytterste laget av kabelen ble også koblet sammen. Isolasjonsresistansen ble da målt mellom disse to settene med ledere. Målegruppe 2 ble koblet opp mot positiv side på isolasjonstesteren, mens resterende ledere ble jordet fast i strekkbenken, og koblet mot negativ side på isolasjonstesteren. Jording av ledere mot strekkbenken ble utført for å hindre eventuelle uheldige utladninger som potensielt kan skade lastcellen i benken (33).



Figur 4-11: Oppsett for måling av isolasjonsresistans ved strekking av Umbilical

Det ble brukt høyspenningspapp (et pappmateriale designet for å kunne motstå høye spenninger) der eksponerte ledere (Målegruppe 2) eller koblingspunktet for disse lederne kunne komme i kontakt med strekkbenken. Dette for å hindre eventuell kontakt med jordingspotensialet. Da dette kunne gitt uheldige utslag på målingen av isolasjonsresistansen.

4.5.Samtaleintervju

Flere samtaleintervjuer har blitt foretatt for å prøve å avdekke informasjon relatert til jordfeil på Umbilical. Fra intervjuene kan det komme frem teorier om hvorfor denne type feil forekommer på kabelen, og hvorvidt disse teoriene er testet.

Intervju har blitt foretatt for å finne ut hvordan måleutstyret vanligvis blir brukt. En gjennomgang av hvordan målinger vanligvis blir utført har blitt diskutert. Dette har vært svært nyttig, da de aktuelle personene bruker dette utstyret daglig.

Tabell 4-4: Samtaleintervju

Person	Stilling	Samtaletema	Dato
Johnny Aarseth	Senior Engineer System Development, Rolls Royce	Logging av Umbilical-last.	4.2.2013
Jon Harald Åse	Engineer, Karsten Moholt	Tangens delta, Partielle utladninger, Kapasitans	13.3.2013
Knot Dorsey	Sr. Advisor, W. Giertsen	Strekking av Umbilical	5.4.2013
Kurt Hessvik	Engineer, Karsten Moholt	Resistansmåling av isolasjonsmateriale	5.4.2013
Tom Jæger Eriksen	ROV Lead, DOF Subsea	Jordfeil, MRU, Latch, Bullet	2.5.2013
Sig Hammer	ROV Superintendent, DOF Subsea	Nedetid, Jordfeil, Feilrapporter	29.10.12
Hallvard Faremo	Seniorforsker, SINTEF Energi AS	Tolkning av måleresultater	13.5.2013
Lasse Sivertsen	Høyskolelektor HiB, Institutt for Elektrofag	Degradering av Isolasjonsmaterialer	12.5.2013

Under intervjuet har det blitt stilt så generelle spørsmål som mulig. Intervjuobjektet har da hatt mulighet til å styre samtalen selv, slik at personen får frem det den ønsker å fortelle. Intervjuobjektene har vist stor grad av interesse for resultatene fra studiet. Etter at generelle spørsmål har blitt stilt, ble det ofte stilt spesifikke spørsmål. Dette for å innhente mest mulig informasjon relatert til spesifikke temaer.

Det har også blitt utført et intervju av Hallvard Faremo, en forsker innenfor fagfeltet elkraftteknologi. Dette for å få en ekstern vurdering av resultatene fra de elektriske målingene som har blitt utført.

5. Resultater

I dette kapitlet blir de ulike resultatene presentert. Først vil lastkarakteristikken kabelen blir utsatt for bli gjennomgått. Deretter vil resultatene fra måling av kabelens dielektriske egenskaper før, under og etter strekk bli presentert.

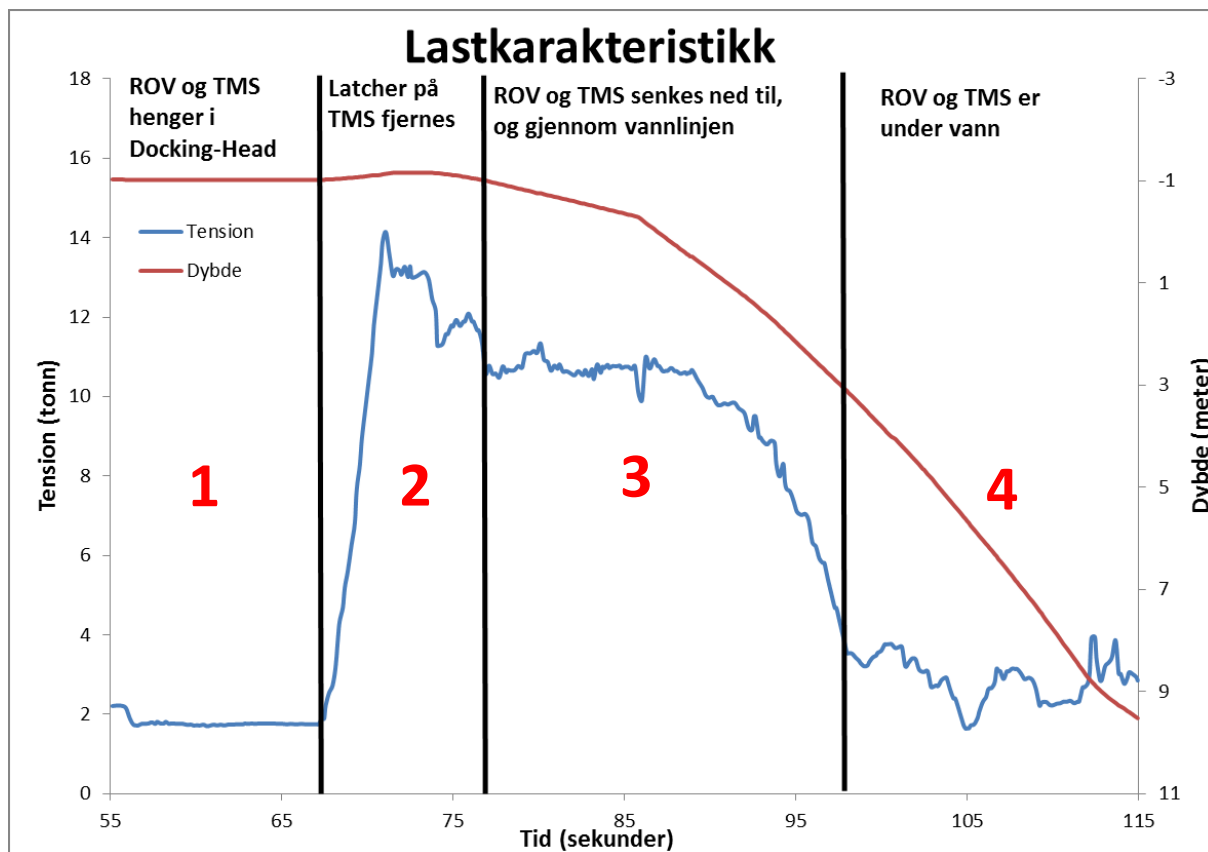
5.1. Lastkarakteristikk

Lastkarakteristikk for de ulike delene av operasjonen blir vist og kommentert i dette delkapitlet.

Lastkarakteristikk ved sjøsetting og trekking

Ved sjøsetting kan man dele inn lastkarakteristikken på kabelen i fire steg:

1. ROV og TMS henger i Dokking-hodet. A-rammen vil da være vendt innover i skuten, for deretter å vendes ut over skutesiden. Når Bullet og følgelig TMS er dokket fast i Dokking-hodet er Vinsj-systemet kalibrert slik at lasten på Umbilical skal holdes konstant på ca. 2 tonn.
2. For å fjerne Latcher i Dokking-hodet slik at Bullet og dermed TMS og ROV henger etter Umbilical, må tension i Umbilical økes slik at hele vekten av ROV og TMS (i tillegg til en sikkerhetsfaktor på ca. 2 tonn) henger i Umbilical. Da kan Latcher fjernes og vekten av systemet vil da bli holdt av Umbilical.
3. ROV og TMS heises ned fra Dokking-hodet til vannflaten. Da ROV og TMS totalt sett er ca. 4 meter høy, vil lasten på Umbilical falle etter hvert som større deler av systemet blir senket under vann. Dette kommer i hovedsak fra oppdriften til ROV`en i vann, men TMS`ens oppdrift vil også bidra til en lavere last på Umbilical.
4. Hele TMS og ROV er under vann. Systemet vil da bli senket ned til operasjonsdybde.

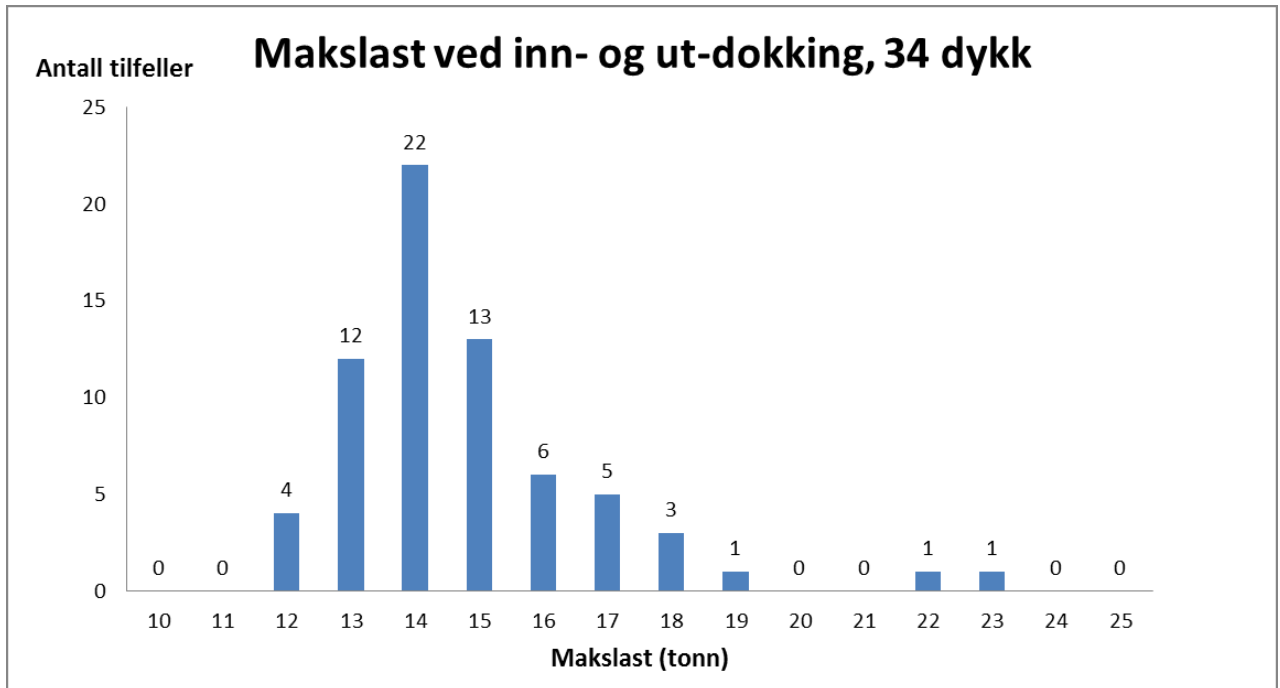


Figur 5-1: Lastkarakteristikk ved sjøsetting av ROV-system.

Ved opptak av ROV og TMS vil lastkarakteristikken følge de samme stegene som ved sjøsetting, men da i motsatt rekkefølge.

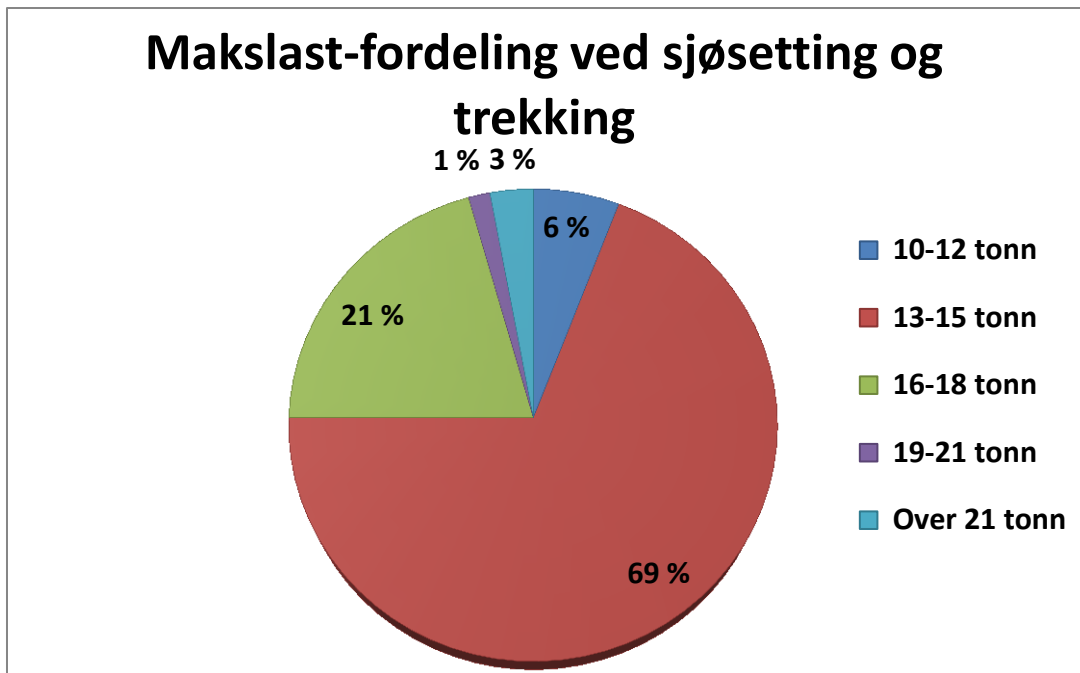
Dokke-laster

Ved sjøsetting og trekk av ROV og TMS blir kabelen utsatt for store laster. I diagrammet under har makslast for alle tilfeller blitt kartlagt og summert. Den maksimale lasten forekommer ved inn- og ut-dokking av A-rammens Dokking hode.



Figur 5-2: Makslast ved inn- og ut-dokking av ROV-system.

Ut fra diagrammet kan man se at i de fleste tilfeller ligger den maksimale lasten på mellom 13 og 15 tonn. Men i noen tilfeller kan den maksimale lasten være en del høyere. Varigheten på makslast var i de fleste tilfeller på mellom 2 og 4 sekunder.

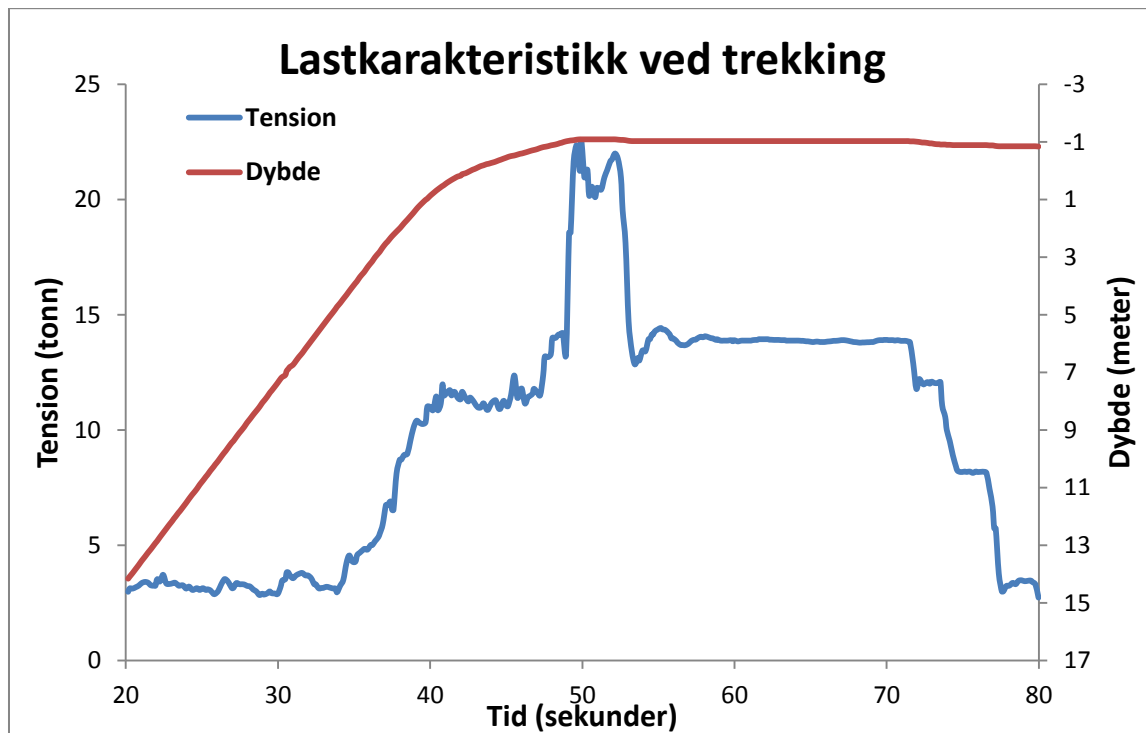


Figur 5-3: Prosentvis fordeling av makslaster ved inn- og ut-dokking av ROV-system.

Man ser tydelig i Figur 5-3 at makslast mellom 13 og 15 tonn utgjør 69 % av alle makslaster ved sjøsetting og trekking av ROV-systemet. De største makslastene forekommer ved noen få prosent av tilfellene.

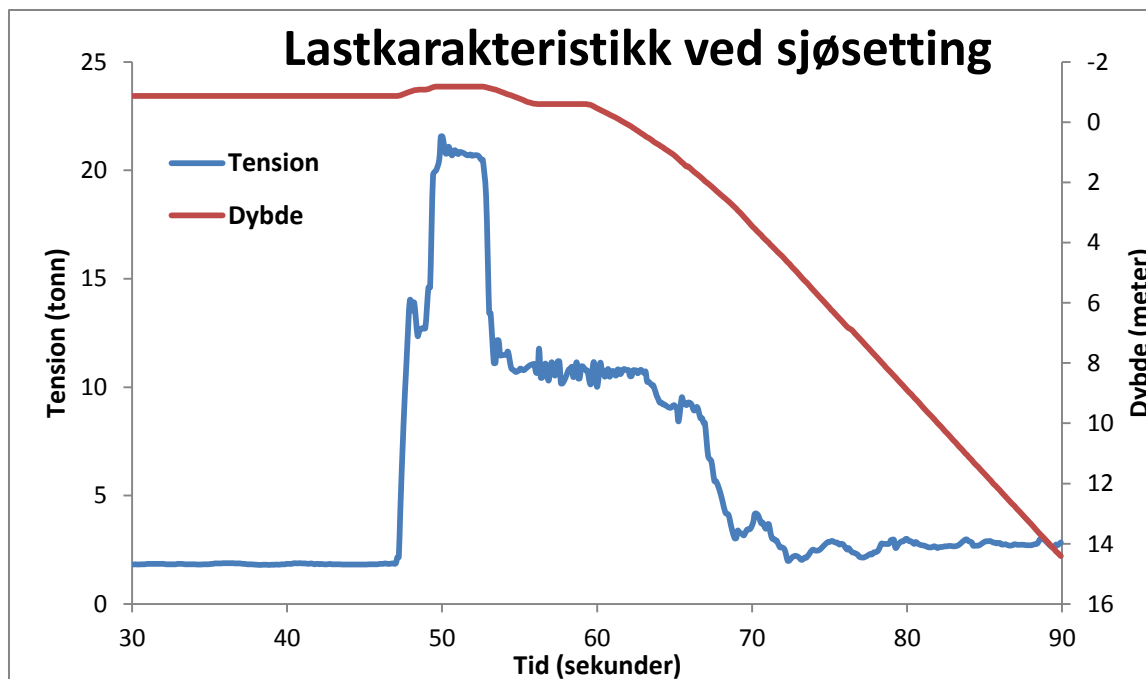
Største registrerte dokke-laster

Under ser man de to tilfellene gjennom tomånedersperioden, der kabelen har blitt utsatt for størst last.



Figur 5-4: Trekking av ROV-system med høy makslast.

I Figur 5-4 ser man et av de tilfellene der makslasten er større enn normalt. Dette er et lasttilfelle der ROV-systemet er på vei opp på dekk. Dette ser man fordi dybden er fallende, noe som indikerer inn-spoling av Umbilical. Det er en tydelig økning i last på kabelen ved negative dybdeverdier. Negative dybdeverdier indikerer at TMS, og ROV er løftet opp av vannet. I dette tilfellet er den maksimale lasten på nesten 23 tonn, noe som er betydelig større enn normal makslast for denne delen av operasjonen.



Figur 5-5: Sjøsetting av ROV-system med høy makslast.

Figur 5-5 viser et tilfelle der makslasten er betydelig større enn normalt for sjøsetting av dette ROV-systemet. Lasten forholder seg liten, inntil den får en kraftig økning i størrelse. Dette kommer av at latcher skal kobles ut. Da kreves det at hele vekten av ROV og TMS bæres gjennom kabel. Latcher vil da separeres fra Bullet, og muligheten for å kunne fjerne dem vil da være tilstede. Når latchene er fjernet faller lasten på kabelen betydelig. Når systemet senkes ned i vannet kan man se at lasten faller til en relativt stabil verdi (rundt 3 tonn). Denne lasten, er den sammenlagte tyngden av ROV og TMS i vannet. Den maksimale lasten i diagrammet over er på nesten 23 tonn.

Som man kan se i Figur 5-4 og Figur 5-5 forekommer den maksimale lasten ved sjøsetting og trekk av ROV-system ved inn- eller ut-kobling av Latcher rundt Bullet. I noen tilfeller kan denne lasten bli høyere enn normalt, dette kan komme som følge av uheldige fartøybevegelser, feil tilt av dokkinghode, eller skjevt lastet ROV. Det trengs da høyere tension i Umbilical for at Bullet skal komme tilstrekkelig høyt opp i dokkinghode til at Latcher skal kunne aktiveres/deaktiveres. Den maksimale lasten vil da pågå helt til Latcher er koblet inn, eller fjernet, slik at lasten kan reduseres og A-rammen kan kjøres inn på dekk, eller ROV systemet kan senkes ned i vannet.

Beregning av makslast-varighet gjennom kabelens levetid:

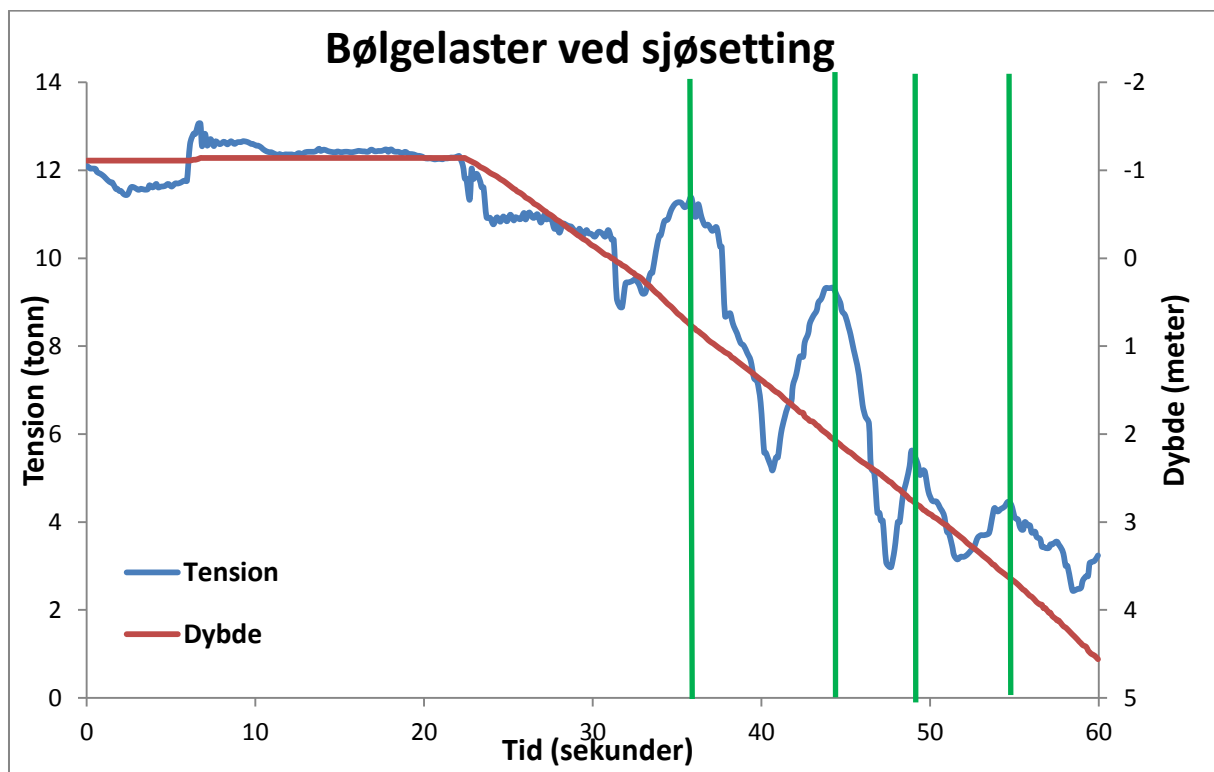
Antagelser ved beregning av total varighet på kabelens makslast:

- Antar at dykkeaktivitet gjennom tomånedersperioden er representativ for hele kabelens levetid.
- Antatt levetid for kabel er 7 år.
- Varighet på makslast er 4 sekunder.
- Bruker sikkerhetsfaktor på 5. Det fordi data tilgjengelig ikke nødvendigvis representerer hele kabels levetid, en høy sikkerhetsfaktor vil da kunne kompensere for dette. Det kan tenkes at høye laster forekommer oftere, eller varer lengre enn det som har blitt observert.

<p style="text-align: center;"><u>Lasthyppighet for dokkelaster over 22 tonn:</u> <i>Hyppighet ev last fra og med 22 tonn = $2 \text{ tilf.} / 2 \text{ mnd.}$</i> <i>= 1 tilfelle pr mnd.</i></p> <p style="text-align: center;"><u>Kabelens levetid i måneder:</u> <i>Antall måneder kabellevetid = $12 \text{ mnd} \times 7 \text{ år} = 84 \text{ mnd}$</i></p> <p><u>Total varighet på makslast gjennom hele kabelens levetid (sikkerhetsfaktor =5):</u> <i>Total varighet makslast = $84 \text{ tilfller} \times 4 \text{ sek} \times 5 = 28 \text{ min}$</i></p>	Beregning 5-1
--	--------------------------

I strekkbenken blir kabelen utsatt for strekk vesentlig høyere enn 22tonn, over en periode på mer enn en halv time. Dette vil da utgjøre en betydelig lengre tidsperiode enn summen av makslast-varigheten til kabelen ved sjøsetting og trekking av ROV-systemet gjennom hele kabelens levetid.

Bølgelaster i plaskesone



Figur 5-6: Sjøsetting av ROV system med tydelige bølgelaster.

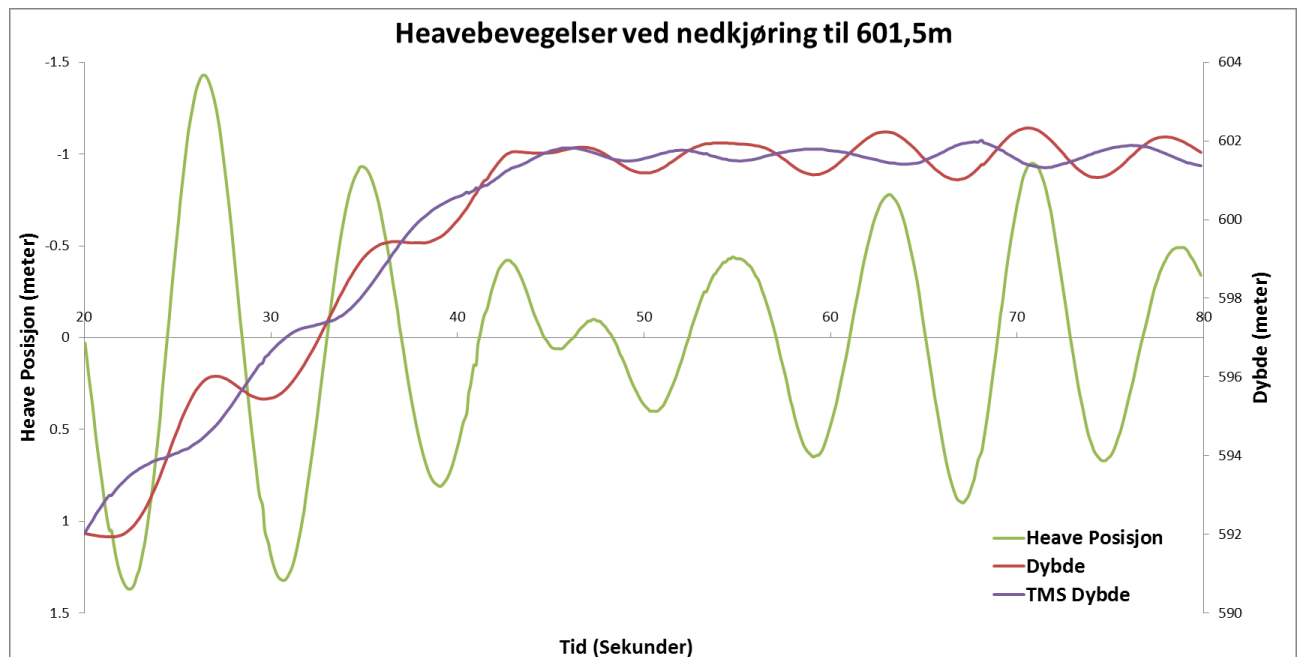
I Figur 5-6 kan man tydelig se bølgelastene som påvirker ROV, og TMS mens den senkes ned i vannet (vertikale linjer indikerer bølgedal, lav oppdrift). Det er tydelig at lasten på kabelen blir mindre etter hvert som utstyret kommer dypere ned i vannet. Dette kommer primært av oppdriften til ROV, men også av oppdriften til TMS. Da ROV skal kunne ferdes fritt rundt i vannmassene har denne en oppdrift tilnærmet lik dens tyngde. TMS skal henge under moderfartøyet. Det er da nødvendig at den har lavere oppdrift enn tyngde, slik at den vil henge i Umbilical. Under sjøsetting av systemet, vil bølger føre til at større og mindre deler av systemet vil være under vann avhengig av bølgenes bevegelse. Dette gir varierende krefter som virker på kabelen, de ulike komponentene vil få oppdriften når de er under vann (bølgetopp), mens ingen oppdrift når de er over vann (bølgedal).

Lastkarakteristikk ved opp og nedkjøring til operasjonsdybde

Under ser man Figur 5-7 som viser Heave Posisjon og Dybde (lengde av utspolt Umbilical). I tillegg er det laget en dataserie for TMS Dybde, dette for å indikere bevegelsen til TMS (det er da ikke tatt hensyn til demping og forlengelse i kabel). Formel 5-1 ble laget for å kunne beregne TMS-Dybden.

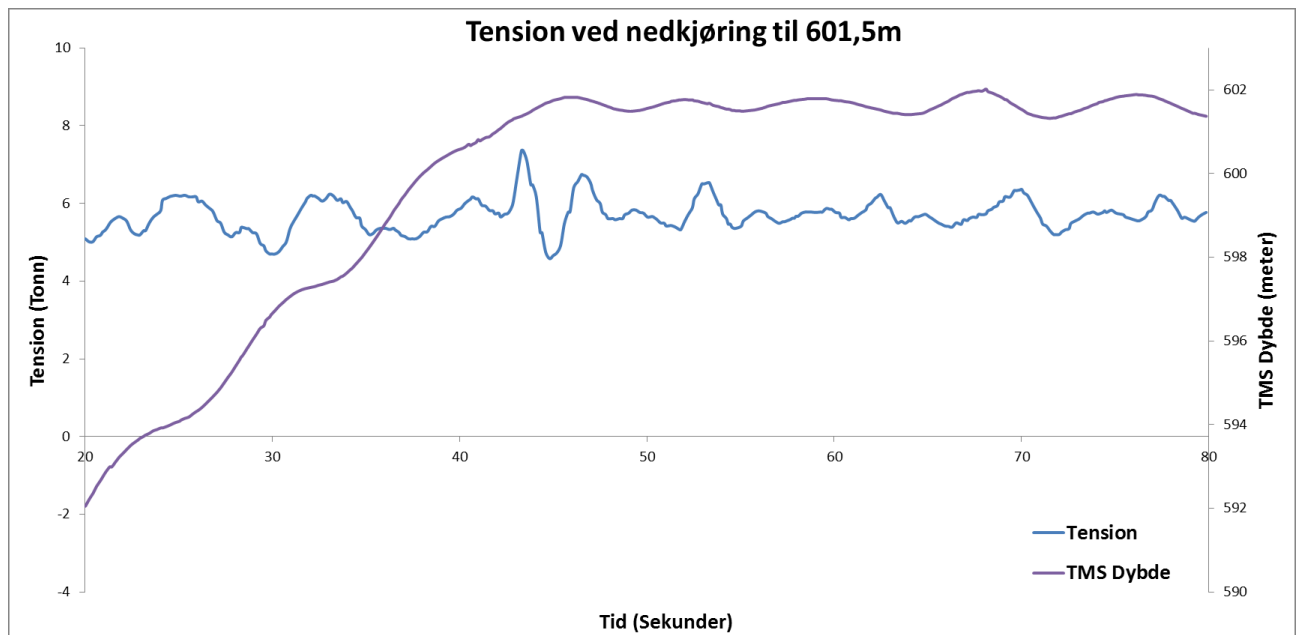
$TMS\ Dybde = Dybde + Heave\ Posisjon$	Formel 5-1
--	------------

Som man ser av Figur 5-7 er TMS på vei ned til operasjonsdybde, for deretter å stabilisere seg på ønsket dybde (ca. 601,5meter). Fartøyet er utsatt for relativt store Heave bevegelser, i noen tilfeller opp mot 3 meter mellom bunn og topp. I dette tilfellet er det brukt Heave kompensering, noe som er vanlig ved inn- og ut- dokking av ROV fra TMS (4).



Figur 5-7: Heave Posisjon, Dybde og TMS Dybde ved nedkjøring til operasjonsdybde.

Figur 5-8 viser lastkarakteristikken for samme tidsperiode som i Figur 5-7. Man kan se at lasten på kabelen varierer mellom 4,5 og 7 tonn. Dette gir en maksimal amplitude på 2,5 tonn for dette tilfellet. Det er også lett å se at lastene kabelen blir utsatt for, er mye mer stabil, enn ved tilfeller der Heave-kompensering ikke blir brukt.

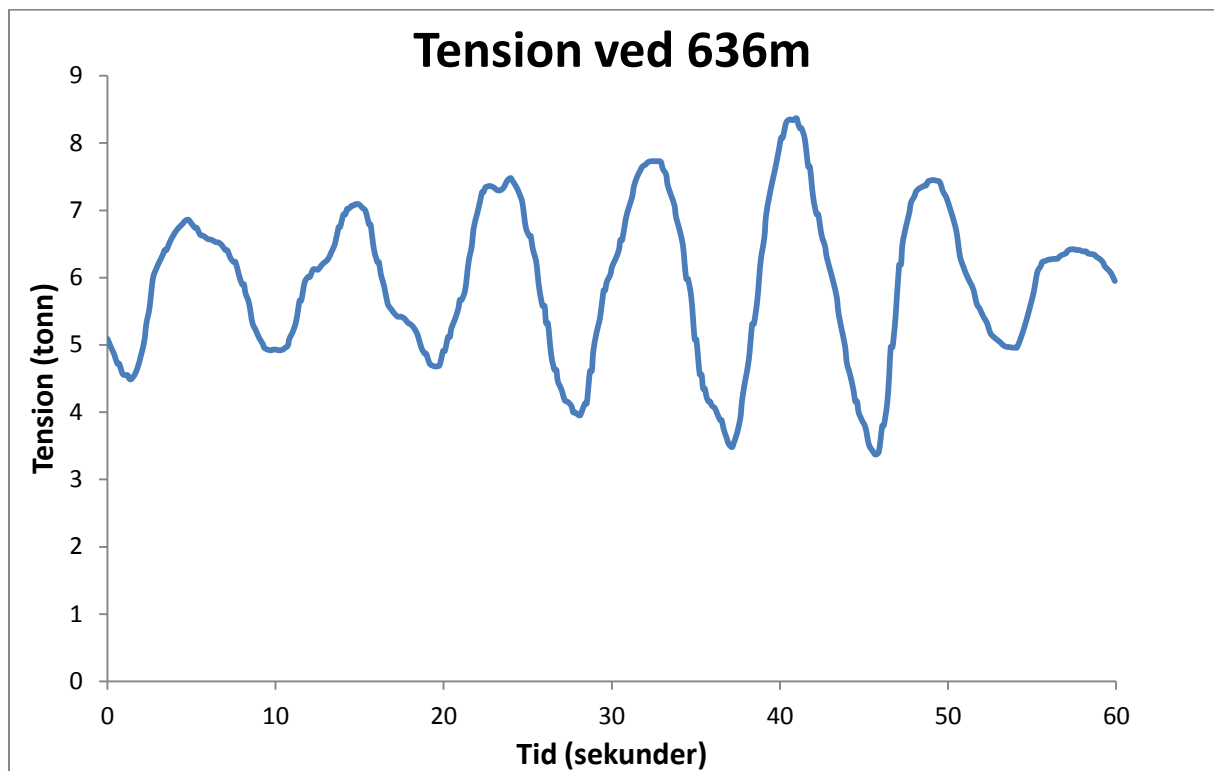


Figur 5-8: Tension og TMS Dybde ved nedkjøring til operasjonsdybde.

I figuren over ser man at TMS-Dybden forholder seg relativt stabil ved operasjonsdybden. Dette indikerer at systemet presterer godt selv ved bølgehøyder som gir fartøybevegelse på opp til flere meter. Det kan tenkes at den reelle begrensningen til systemet også vil være knyttet opp mot bølgelengde, da stor bølgehøyde kombinert med stor bølgelengde gir relativt lav Heave-hastighet. Dette kan kompenseres av systemet. Stor bølgehøyde kombinert med liten bølgelengde vil gi høy Heave-hastighet, dette vil være problematisk å kompensere.

Lastkarakteristikk ved operasjonsdybde

Data brukt i Figur 5-9 er hentet ut for operasjon av TMS på 636 meters dyp. Den maksimale Heave høyden er 5,2 meter. I dette tilfellet blir det ikke brukt Heave kompensering, dette kan man se ved at tension i kabelen ikke er stabil. Da vil TMS bli løftet og senket i vannet, avhengig av moderfartøyets bevegelser, og følgelig vil tension i kabel svinge.



Figur 5-9: Lastkarakteristikk ved operasjonsdybde, uten bruk av Heave kompensering.

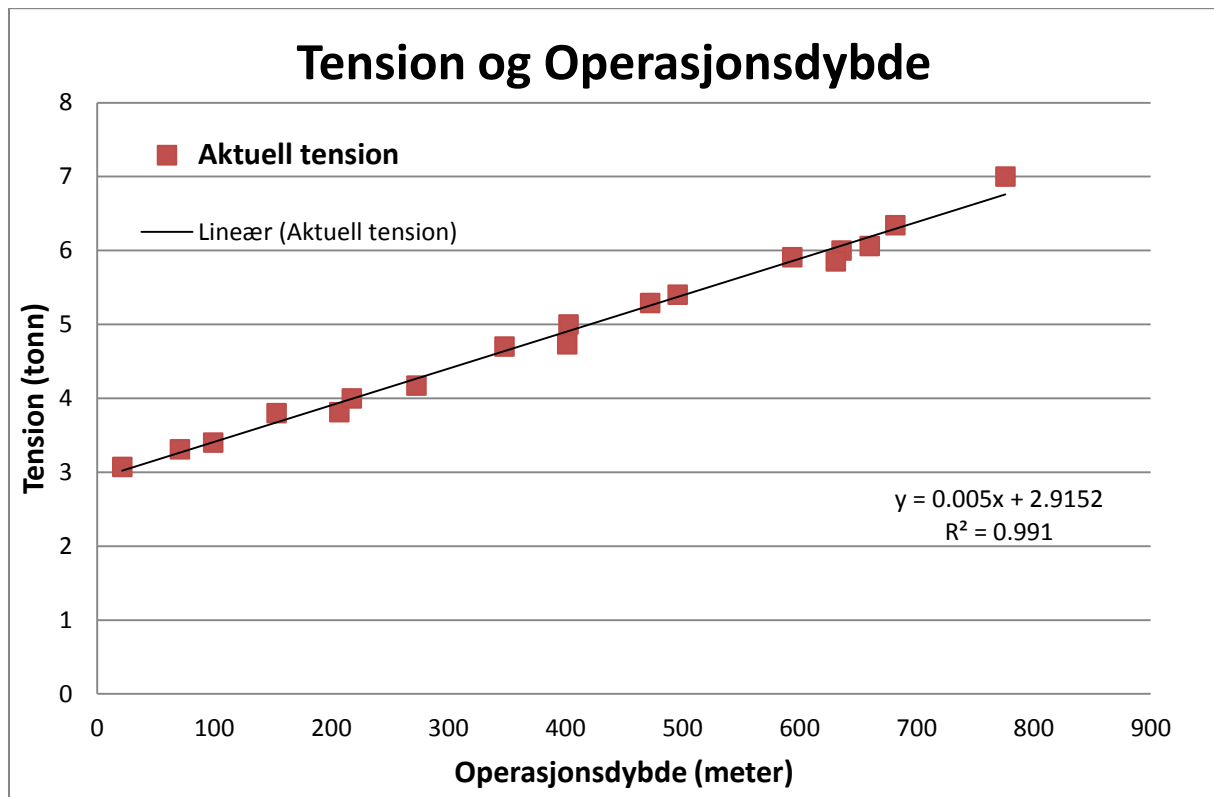
I figuren over kan man se at lasten på kabelen varierer mellom ca. 3,5 og 8,5 tonn. Dette gir en maksimal amplitude på 5 tonn for dette tilfellet. Den gjennomsnittlige lasten for et slikt tilfelle vil være avhengig av systemets dybde. Dette kommer av at kabelen har egenvekt i vann, noe som bidrar til at systemets tyngde i vann vil påvirkes av lengden til kabelen som går ned til TMS. Formelen under beskriver denne sammenhengen.

$$\text{Statisk last i vann} = \text{tyngde TMS (i vann)} + \text{tyngde Umbilical(i vann)}$$

Formel 5-2

I Figur 5-9 ligger gjennomsnittlig tension i Umbilical på ca. 6 tonn. Tension er avhengig av hvilket dyp operasjonen foregår på. Store dyp gir høy gjennomsnittlig tension i kabelen.

Operasjon på grunt vann gir lavere tension, da tyngden til Umbilical ikke har særlig stort bidrag, det dominerende bidraget vil da komme fra TMS.



Figur 5-10: Røde punkter er aktuell tension hentet fra operasjon ved forskjellig operasjonsdyp. Lineær trendlinje er også tegnet inn.

I Figur 5-10 blir Formel 5-2 verifisert. Man kan tydelig se en lineær sammenheng mellom tension (gjennomsnittlig tension) operasjonsdybde. Til beregning av trendlinjen blir det brukt minste kvadraters metode. En R^2 verdi i nærheten av 1 indikerer at trendlinjen representerer data svært godt. Ut fra trendlinjen kan man se at TMS har en tyngde på 2,92 tonn nedsenket i vann, mens tyngden til Umbilical er 5 tonn per kilometer. Tyngden til Umbilical i vann er oppgitt til å være 4,150 tonn per kilometer (34).

Det kan imidlertid kommenteres at størst tension vil forekomme ved den delen av kabelen som befinner seg på overflaten. Dette kommer av at det bare er denne biten som blir utsatt for både tyngden av kabelen i tillegg til tyngden av TMS. Kabel ved TMS vil bare bli utsatt for tension-bidrag fra tyngden til TMS.

Dette medfører at enden av kabel (lokalisert ved TMS) bare blir utsatt for høye laster ved sjøsetting og trekking av ROV systemet. Høye laster forekommer også ved store operasjonsdyp, men da størst ved den delen av kabelen som er lokalisert om bord på båten (men spolt ut av vinsj).

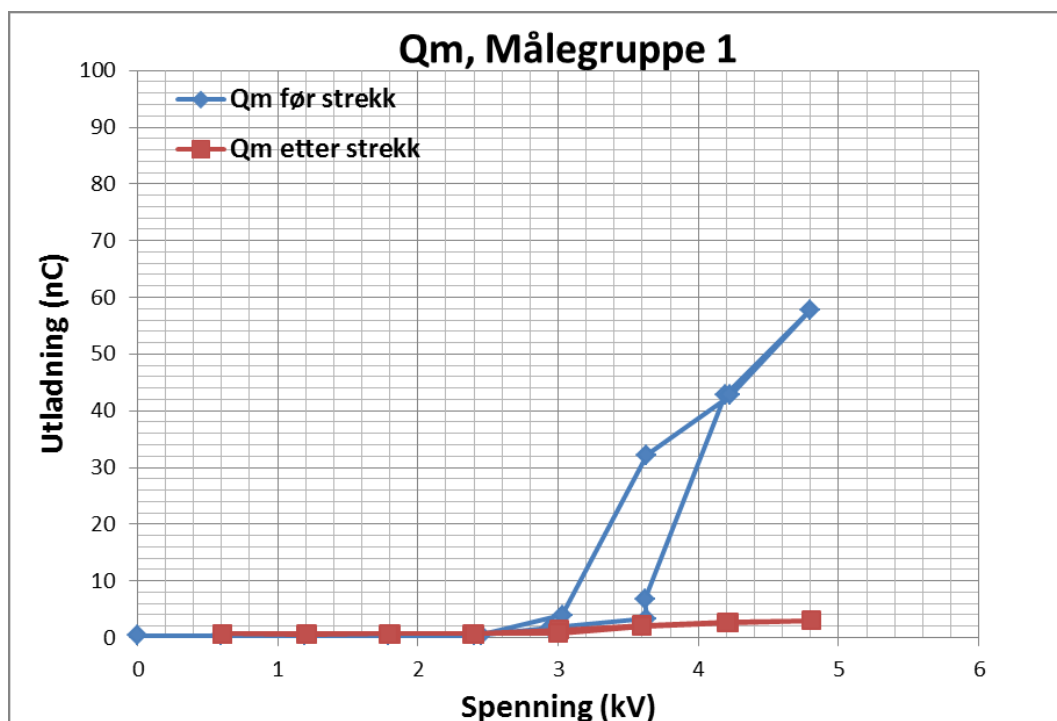
5.2. Isolasjonsegenskaper

En rekke elektriske egenskaper har blitt målt for isolasjonsmaterialet rundt lederne i kabelen. I dette kapitlet vil resultatet fra disse målingene bli presentert. Isolasjonsresistans har blitt målt under strekking av kabel, mens de resterende målinger har blitt utført før og etter strekk av kabelen.

5.2.1. Partielle utladninger

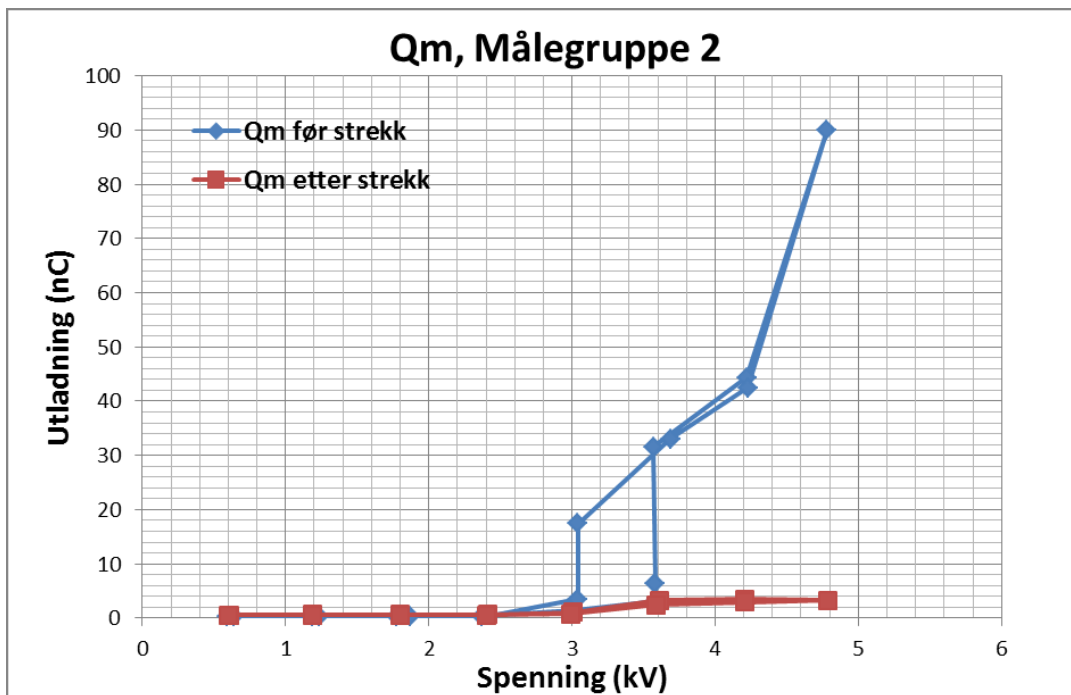
Det har blitt utført målinger av partielle utladninger for de ulike gruppene med ledere. For hver gruppe har det blitt målt to serier, en før strekk, og en etter strekk. En måleserie inneholder måling av partielle utladninger ved stigende og fallende spenning.

Qm er den største utladningen som forekommer med en hyppighet på 10 ganger per sekund.



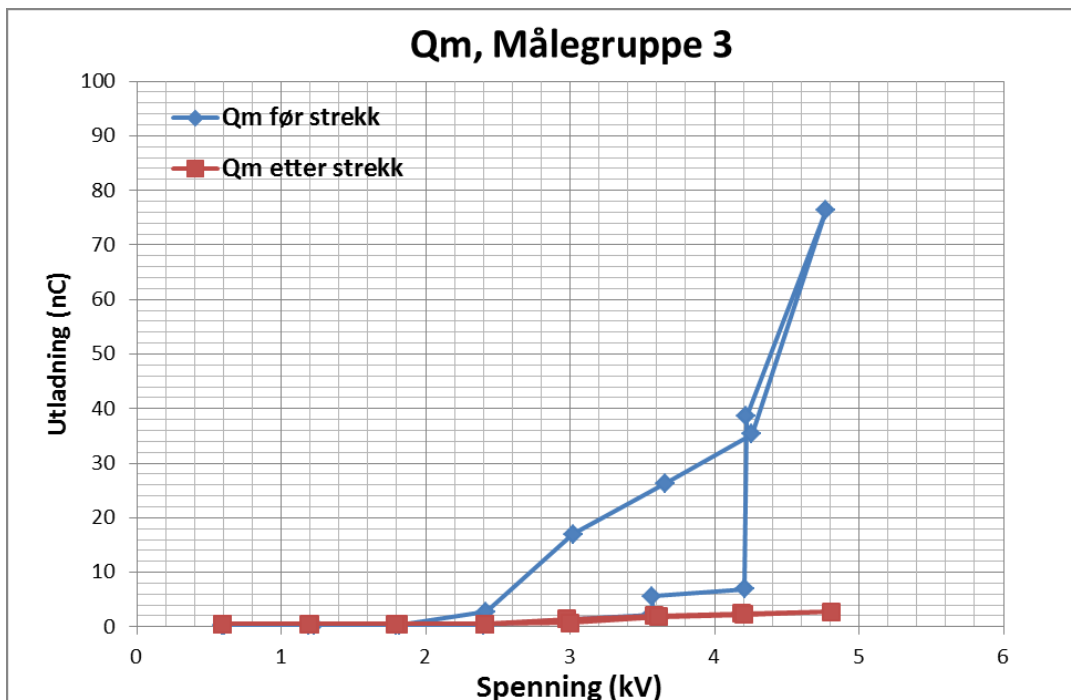
Figur 5-11: Qm for Målegruppe 1 før og etter strekk av kabelen.

Som man kan se i Figur 5-11 er det en betydelig endring i størrelsen på partielle utladninger før og etter at kabelen har blitt utsatt for strekk. Før strekk er det en markant økning i partielle utladninger ved spenninger over 3 kV. Et slikt omfang av partielle utladninger vil over tid degradere kabelen til et punkt der isolasjonen vil svikte. Man ser tydelig at nivået på partielle utladninger er betydelig redusert etter at kabelen har blitt utsatt for strekk.



Figur 5-12: Qm for Målegruppe 2 før og etter strekk av kabelen.

Figur 5-12 viser også en markant endring i partielle utladninger før og etter at kabelen har blitt utsatt for strekk. Også her kan man se at størrelsen på partielle utladninger har blitt betydelig redusert etter at kabelen har blitt utsatt for strekk.

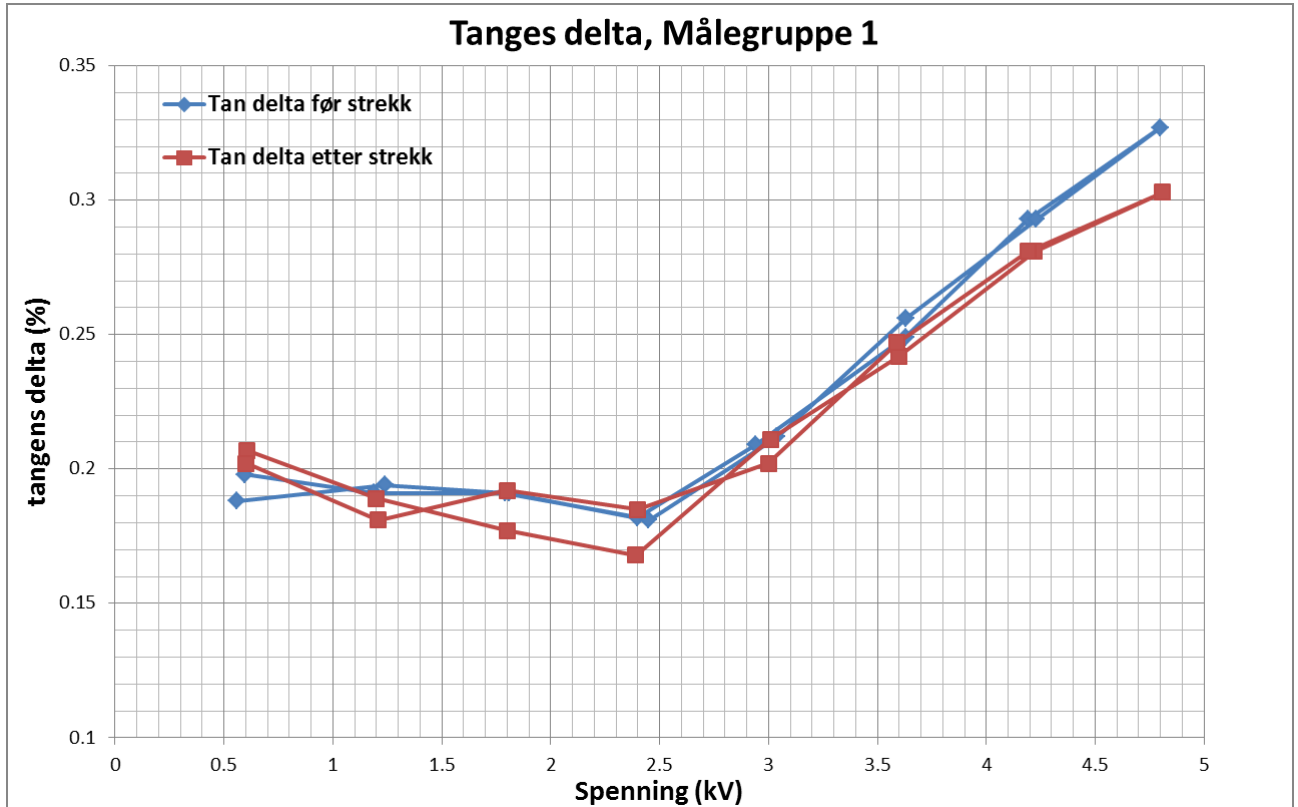


Figur 5-13: Qm for Målegruppe 3 før og etter strekk av kabelen.

Figur 5-13 viser Qm for Målegruppe 3. Som man kan se fra figuren har en stor senkning av Qm forekommet for de øvre spenningsnivåer etter at kabelen har blitt utsatt for strekk.

5.2.2. Tangens delta

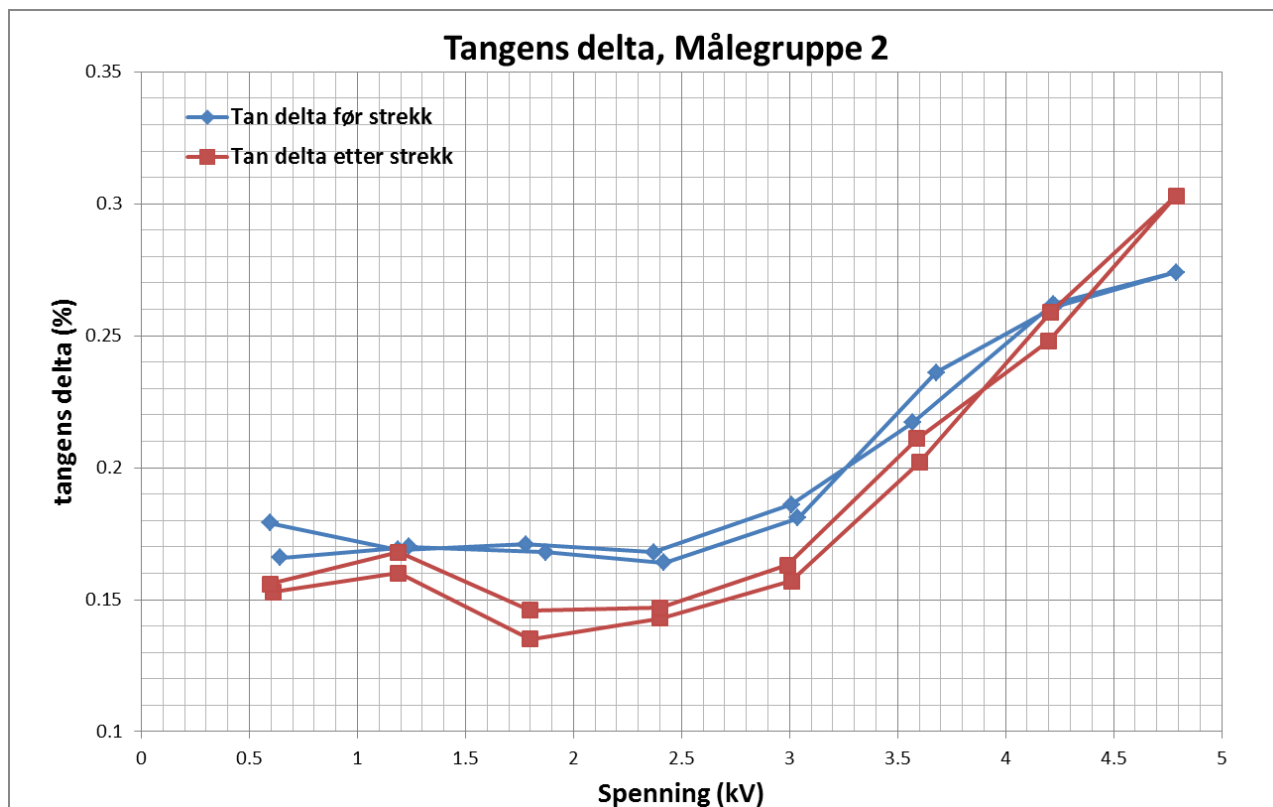
Det har blitt utført målinger av tangens delta både før og etter at kabelen har blitt utsatt for strekk, dette for å avdekke eventuelle endringer i kabelens dielektriske egenskaper som følge av statisk last på kabelen.



Figur 5-14: Tangens delta før og etter strekk av kabel for Målegruppe 1.

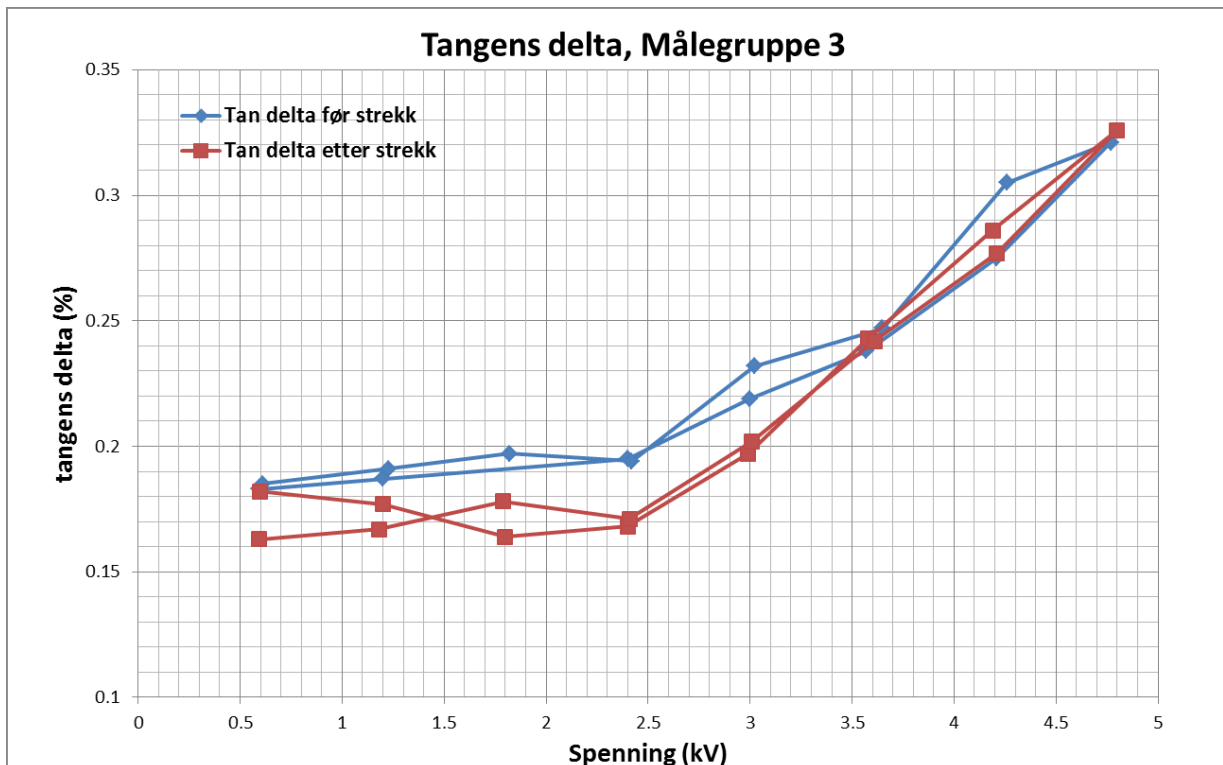
Figur 5-14 viser sammenhengen mellom Tangens delta og spenning for Målegruppe 1. Det har blitt utført en måleserie før kabelen har blitt utsatt for strekk, og en måleserie etter at kabelen har blitt utsatt for strekk. Som man kan se diagrammet over får tangens delta noe lavere verdi etter at kabelen har blitt utsatt for strekk for de lavere spenningsområder.

Figur 5-15 viser de to måleseriene som har blitt utført på Målegruppe 2. En serie før strekk av kabel, og en serie etter. Det er tydelig at en endring av Tangens delta har funnet sted. Etter strekk har kabelen fått en noe redusert verdi, dette for nesten hele spenningsintervallet. Den øvre delen av spenningsspekteret ser ut til å være noe forhøyet etter at strekk har funnet sted.



Figur 5-15: Tangens delta før og etter strekk av kabel for Målegruppe 2.

Figur 5-16 viser måleserier for Tangens delta utført på Målegruppe 3, før og etter at kabelen har blitt utsatt for strekk. Som man kan se fra figuren ser det ut til at Tangens delta har fått redusert størrelse for de lavere spenningsnivåene etter at kabelen har blitt utsatt for strekk. Ved høyere spenning ser det ut til at tangens delta forholder seg relativt uendret.



Figur 5-16: Tangens delta før og etter strekk av kabel for Målegruppe 3.

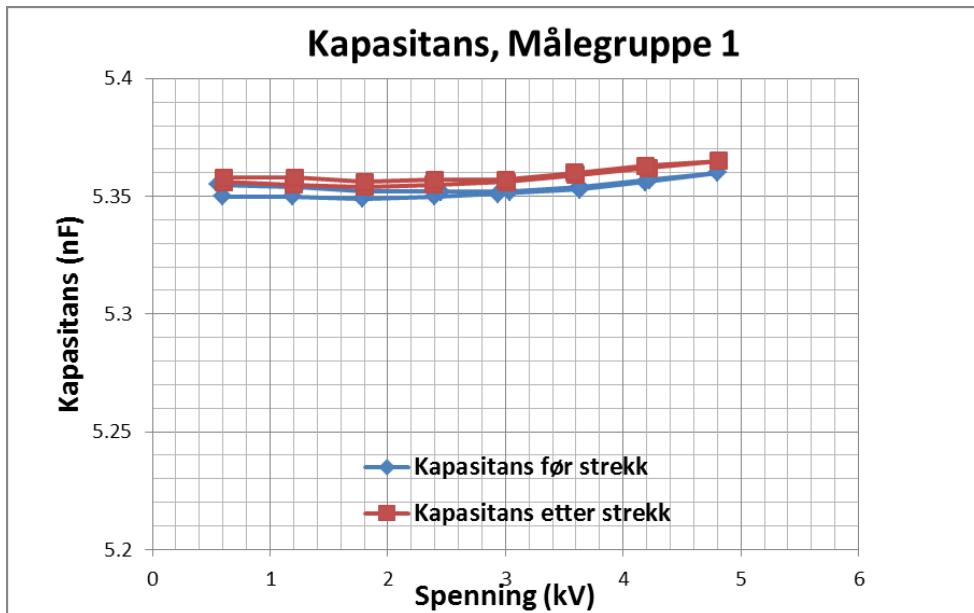
Tabell 5-1 viser en oversikt over målinger utført ved samme spenning for alle ledergrupper. Dette ble utført for å kunne dokumentere presisjonen til måleapparatet. Som man ser fra måleresultatene viser måleapparatet god presisjon. Spranget mellom lavest og høyeste verdi i måleseriene er 0,02.

Tabell 5-1: Måling av tangens delta utført ved samme spenning for alle målegrupper. Dette for å få dannet et bilde av presisjonen til måleapparatet.

Målegruppe 1			Målegruppe 2			Målegruppe 3		
Spenning (kV)	Tangens delta (%)	Frekvens (Hz)	Spenning (kV)	Tangens delta (%)	Frekvens (Hz)	Spenning (kV)	Tangens delta (%)	Frekvens (Hz)
2.40	0.181	49.92	2.40	0.152	50.00	2.40	0.152	50.00
2.41	0.183	49.88	2.40	0.147	49.97	2.40	0.147	49.97
2.41	0.177	49.96	2.40	0.150	49.96	2.40	0.150	49.96
2.41	0.177	49.98	2.40	0.141	49.95	2.40	0.141	49.95
2.40	0.178	49.97	2.40	0.148	49.95	2.40	0.148	49.95
2.41	0.180	49.95	2.39	0.147	49.99	2.39	0.147	49.99
2.41	0.181	49.96	2.40	0.139	50.02	2.40	0.139	50.02
2.41	0.173	49.97	2.40	0.142	49.99	2.40	0.142	49.99
2.41	0.180	49.96	2.40	0.149	49.96	2.40	0.149	49.96
2.41	0.177	49.97	2.40	0.148	49.94	2.40	0.148	49.94
2.41	0.174	49.97	2.39	0.154	49.95	2.39	0.154	49.95
2.41	0.177	49.93	2.39	0.137	49.95	2.39	0.137	49.95
2.41	0.175	49.94	2.40	0.141	49.96	2.40	0.141	49.96
			2.40	0.135	49.96	2.40	0.135	49.96
			2.40	0.135	49.95	2.40	0.135	49.95
			2.40	0.145	49.98	2.40	0.145	49.98
			2.39	0.153	50.01	2.39	0.153	50.01
			2.40	0.148	50.00	2.40	0.148	50.00

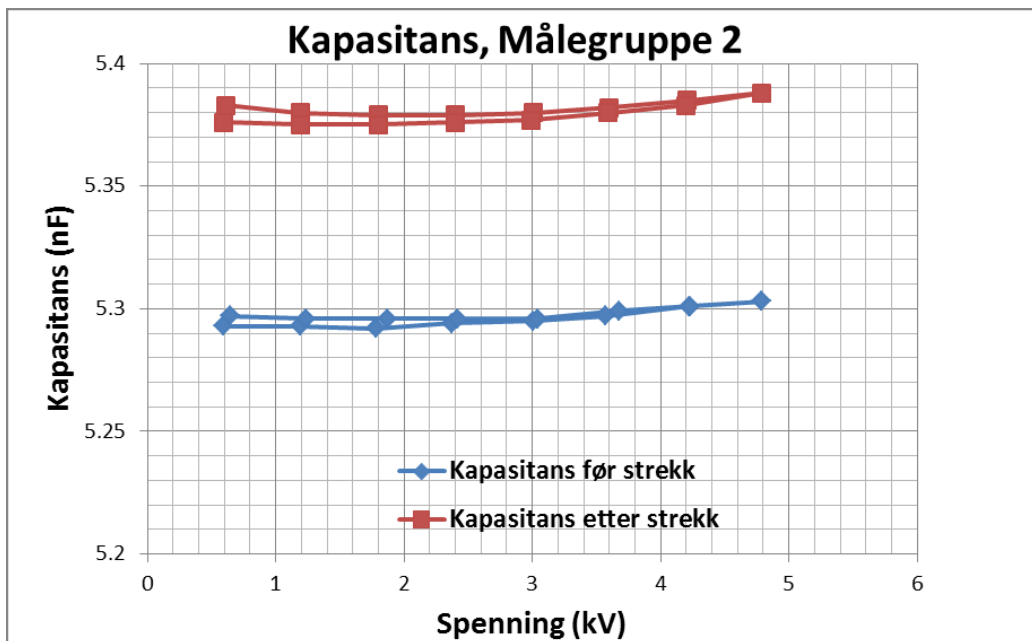
5.2.3. Kapasitans

Det har blitt foretatt måleserier av kapasitansen til ledere i kabelen. To måleserier har blitt utført for hver gruppe med ledere, en før kabelen har blitt strukket, og en etter.



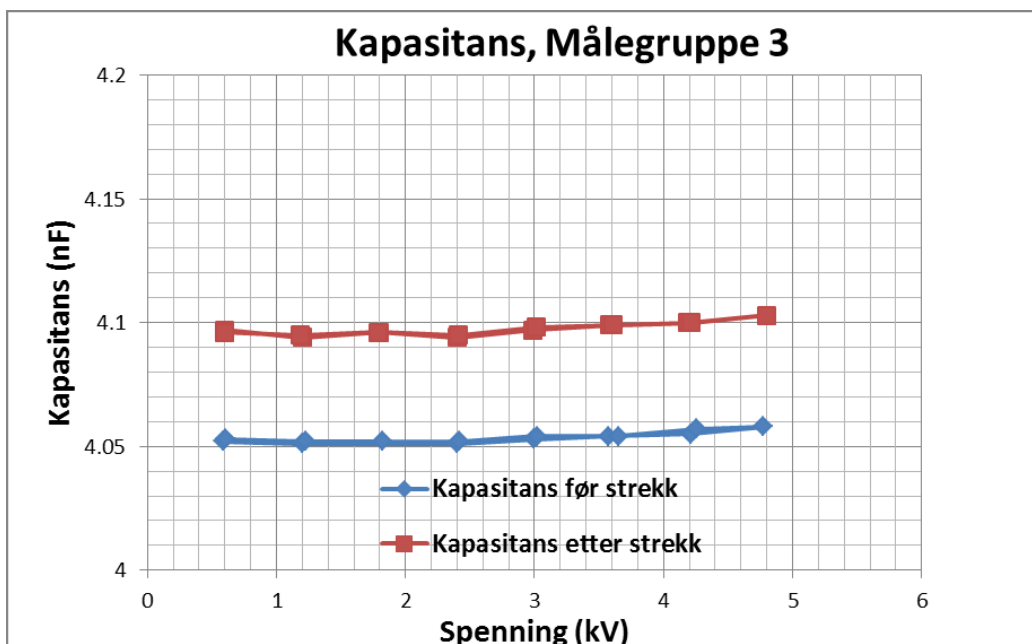
Figur 5-17: Kapasitansen til Målegruppe 1 før og etter strekk av kabel.

Figur 5-17 viser en oversikt over de to måleseriene som har blitt utført på Målegruppe 1. Man kan se at kapasitansen forholder seg relativt stabil, uavhengig av spenning. Det er svært liten differanse mellom kapasitansen før og etter at kabelen har blitt utsatt for strekk for denne gruppen med ledere, men det ser ut til at kapasitansen er marginalt høyere etter at strekk av kabelen har blitt utført.



Figur 5-18: Kapasitansen til Målegruppe 2 før og etter strekk av kabel.

Figur 5-18 viser kapasitansen til Målegruppe 2 før og etter at kabelen har blitt utsatt for strekk. Her ser man at det er en endring i kapasitans mellom måleserien foretatt før, og måleserien foretatt etter at kabelen har blitt utsatt for strekk. Det er også tydelig at kapasitansen til lederne holder seg relativt stabil selv om spenningen endres.



Figur 5-19: Kapasitansen til Målegruppe 3 før og etter strekk av kabel.

I Figur 5-19 ser man kapasitansen til Målegruppe 3 før og etter strekk av kabel. Her ser man at kapasitansen er noe lavere enn for resten av måleseriene, dette kommer av at det bare er målt kapasitansen til tre røde ledere i denne gruppen, mens det er målt kapasitans til fire ledere i de resterende måle-gruppene (Målegruppe 1 og Målegruppe 2).

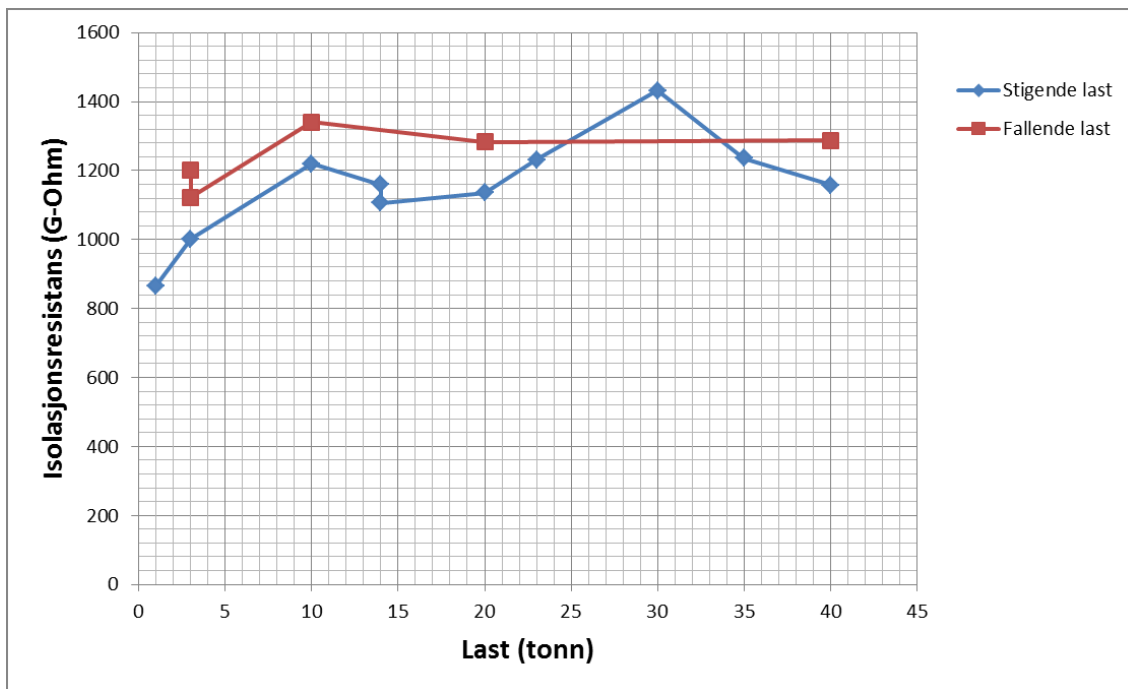
I Tabell 5-2 ser man en oversikt over måleresultater av kapasitansen til de ulike leder-gruppene ved samme spenningsnivå. Dette ble utført for å få en indikasjon på måleapparatets presisjon. Som man ser fra resultatene viser apparatet svært god presisjon når det kommer til Kapasitans.

Tabell 5-2: Målinger av Kapasitans utført på alle målegrupper ved samme spenning. Dette for å få en indikasjon på måleapparatets presisjon.

Målegruppe 1			Målegruppe 2			Målegruppe 3		
Spenning (kV)	Kapasitans (nF)	Frekvens (Hz)	Spenning (kV)	Kapasitans (nF)	Frekvens (Hz)	Spenning (kV)	Kapasitans (nF)	Frekvens (Hz)
2.40	5.357	49.92	2.40	5.375	50.00	2.39	4.096	49.98
2.41	5.357	49.88	2.40	5.374	49.97	2.39	4.096	49.97
2.41	5.358	49.96	2.40	5.374	49.96	2.39	4.095	49.99
2.41	5.357	49.98	2.40	5.374	49.95	2.39	4.095	50.01
2.40	5.358	49.97	2.40	5.374	49.95	2.39	4.096	49.99
2.41	5.358	49.95	2.39	5.374	49.99	2.39	4.096	49.97
2.41	5.357	49.96	2.40	5.375	50.02	2.39	4.096	49.94
2.41	5.357	49.97	2.40	5.374	49.99	2.39	4.096	49.95
2.41	5.357	49.96	2.40	5.375	49.96	2.39	4.096	49.96
2.41	5.357	49.97	2.40	5.374	49.94	2.40	4.096	49.99
2.41	5.358	49.97	2.39	5.374	49.95	2.39	4.095	49.97
2.41	5.357	49.93	2.39	5.374	49.95	2.39	4.096	49.99
2.41	5.358	49.94	2.40	5.374	49.96	2.38	4.096	49.97
			2.40	5.374	49.96	2.39	4.096	49.94
			2.40	5.373	49.95	2.39	4.096	49.97
			2.40	5.374	49.98	2.40	4.095	50.00
			2.39	5.374	50.01	2.39	4.096	50.00
			2.40	5.374	50.00			

5.2.4. Isolasjonsresistans

I Figur 5-20 ser man en oversikt over resistansen til isolasjonsmaterialene rundt Målegruppe 2 ved stigende og fallende last. Det ser ut til at isolasjonsmaterialet får høyere resistans etter at et par målinger er foretatt. Den største kabelforlengelsen (ved 40 tonn) var 80 mm (lengde mellom socket er 5 meter). På kurven for stigende last får isolasjonsresistansen en verdi ved 30 tonn som er høyere enn for resten av kurven. Grunnen til en økning i resistans for akkurat dette målepunktet er vanskelig å si noe om.



Figur 5-20: Isolasjonsresistans under strekk av Umbilical.

På en del lasttrinn ble det foretatt to målinger, dette for å verifisere god målepresisjon. Disse målingene produserte verdier i samme størrelsesorden, noe som indikerer god reproduserbarhet.

Diskusjon

Lastkarakteristikk

Når det kommer til logging av lastkarakteristikken for ROV-systemet plassert om bord på Geosund, er tension i kabelen kalibrert ut ifra en lastcelle som måler resultanterkraftene fra en kabel som går 90 grader over sheave-hjulet på vinsjen. I realiteten går Umbilical 102 grader over sheave-hjulet ved ytre plassering av A-rammen (ved tilfeller der det er ønskelig med størst mulig avstand fra skutesiden). A-rammen står vanligvis i denne posisjonen ved sjøsetting og trekking av ROV-systemet. Da måle-unøyaktigheten bare utgjør noen få prosent har denne blitt neglisjert.

De tilgjengelige loggedata kommer fra ett ROV- system logget over en tomånedersperiode. Det ville vært fordelaktig om de tilgjengelige data hadde kommet fra ulike ROV-systemer på flere fartøy. Man ville da fått et mer reelt bilde av hvordan last på denne type kabel ser ut for ulike systemer. Imidlertid representerer de tilgjengelige lastdata en stor gruppe med ROV-systemer, da mange av systemene er bygget opp relativt likt.

Tilgang på loggedata fra ulike selskaper kunne vært fordelaktig. Dette fordi ulike firma ofte operer utstyret på forskjellig måte. Dette kunne bli brukt til å identifisere operasjonelle påvirkninger som kan være med på å degradere kabelen. Tilgang på loggedata fra operasjon på svært stort dyp kunne også være interessant å studere, da det forventes store laster ved denne type operasjon. Uansett viser tilgjengelige data ulike operasjoner, og representerer derfor et stort utvalg av lasttilfeller.

Operasjonsdyp og tension

Høye laster kan også finne sted ved operasjon på store dyp (4000 meter). Da kan tyngden av kabel og TMS komme opp i mot 20 tonn. Lastdata fra denne type operasjon har ikke vært tilgjengelig. Denne type last antas å være relativt statisk, om operasjon finner sted ved rolig sjø. Laster av denne størrelse over lengre tidsrom har ikke blitt vurdert.

Ved operasjon på stort dyp vil store laster finne sted på kabel ved overflaten. Det har blitt vist en lineær sammenheng mellom operasjonsdyp og tension i kabel. Resultatene viser en at aktuell tyngde til kabel er noe høyere enn oppgitt fra produsent. Noe av dette spriket kan komme fra usikkerhet knyttet opp mot kalibrering av lastcellen.

Da laster på stort dyp medfører belastning av kabel lokalisert ved overflaten, medfører dette at de største lastene som finner sted på kabel i nærheten av TMS vil opptre ved inn- og utkjøring fra Dokking-hode.

Dokkelaster og strekk i benk

Da den mekaniske lasten kabelen har blitt utsatt for, er utført i en strekkbenk der man bare kan strekke kabelen rett, ville det vært nyttig å utføre strekk av kabelen der den også var utsatt for bøy. Dette ville indusert en spenningsfordeling i kabelen som er mer lik den delen av kabelen som er lokalisert over sheave-hjul ved høye laster. Det kan tenkes at problemer med isolasjonsmateriale finner sted ved denne lokasjonen. Den mekaniske påkjenningen som kabelen har blitt utsatt for vil uansett være relevant, da store deler av Umbilical som blir brukt under trekking og sjøsetting vil være utsatt for rett strekk.

I løpet av kabelens levetid har det blitt estimert at kabelen blir utsatt for strekk høyere enn 22 tonn til sammen over en periode på ca. 28 minutter ved sjøsetting og trekking. I løpet av perioden kabelen har vært i strekkbenken har den blitt utsatt for laster større enn 22 tonn over en periode på mer enn 30 minutter. Imidlertid vil denne lasten være statisk, mens om bord på fartøyene vil denne lasten være dynamisk. Det kan likevel antas at lasten test-Umbilical har blitt utsatt for, ville påført tilsvarende eller ytterligere skade som eventuelt ville komme fra laster om bord på fartøyene ved inn- og ut-dokking fra A-rammen.

Terminering av Test-Umbilical

Ved overgangen mellom kappe, og frie ledere ble det i noen tilfeller observert synlige utladninger. Dette kan ha med en endring av geometri, noen som vil føre til en dårligere feltuniformitet mellom lederne i dette området. Dette påvirket måleresultatene i noen grad. Ledere ble derfor flyttet på, og målinger ble utført på nytt. Denne type utladninger ble da ikke observert. Da dette området av kabelen kan ha innvirkning på måleresultatene, ville det vært nyttig å terminere kabelen på en annen måte. Man kan uansett bruke de utførte målingene, da utladningene i dette området av kabelen ble observert og utbedringer ble utført slik at disse ikke skulle ha innvirkning på måleresultatene.

Partielle Utladninger

Generelt for måling av Partielle Utladninger har en stor senkning av verdiene funnet sted for alle måle-gruppene. Dette indikerer at en endring i isolasjonsmaterialet har forekommet. Denne endringen kan komme av at kontakten mellom kobberleder og omkringliggende isolasjon har blitt bedre. Spennings-potensiale vil da ikke bygge seg opp, og en reduksjon i partielle utladninger vil finne sted.

Utladningsaktivitet var å finne ved spenning høyere enn 3 kV, dette indikerer at en operasjonell spenning på 3 kV er akseptabel for denne type kabel. Om kabelen blir utsatt for spenning høyere enn dette kan det ventes at elektriske trær vil utvikles.

Tangens delta

Det viser seg at tangens delta verdiene er betydelig høyere enn tabellverdiene for denne type isolasjonsmateriale indikerer (Tabell 3-3). Dette kan komme av at fyllmassen har en påvirkning på kabelens totale dielektriske egenskaper (særlig om denne inneholder en del vann). Tangens delta har 3-4 ganger så høy verdi som litteratur indikerer for denne type isolasjon.

Generelt sett har en senkning i tangens delta funnet sted i alle måle-gruppene. Dette spesielt ved lavere spenning. Ved høyere spenning er resultatene sprikende for de ulike leder-gruppene. Presisjonen til måleinstrumentet har vist seg å være svært god. Dette underbygger muligheten for at en liten endring i tangens delta vil være reell. Det er sannsynlig at denne endringen av tangens delta kan komme fra flytting av fyllmasse mellom de ulike lederne i kabelen. Da denne fyllmassen spiller en rolle i kabelens dielektriske egenskaper, vil strekk av kabelen føre til at den blir mer kompakt, og følgelig vil fyllmasse flyttes, og dielektriske egenskaper endres. En økning i tangens delta ved spenninger over 3 kV kan sees i sammenheng med at Partielle Utladninger initierer ved denne spenningen. Utladningene kan da påvirke tangens delta, slik at en høyere verdi vil bli registrert.

Kapasitans

Kapasitansen til isolasjonsmaterialene i kabelen er blitt noe høyere etter at kabelen har blitt utsatt for strekk. Dette kan komme av at de kabelen har blitt mer kompakt. En sammenklemming av kabel vil føre til at avstanden mellom lederne vil reduseres, som følgelig vil gi høyere kapasitans. I formelen for kapasitansen til en platekondensator (Formel 3-12) ser man at kapasitansen er omvendt proporsjonal med tykkelsen til det dielektriske materialet. Det er derfor rimelig å anta at en sammenpressing av kabel vil føre til mindre avstand mellom ledere, og følgelig en noe høyere kapasitans. Det kan også tenkes at en flytting av fyllmasse kan ha en innvirkning på kapasitansen til kabelen.

Isolasjonsresistans

Isolasjonsresistansen forholder seg høy, og stabil gjennom hele strekkprosessen. Dette indikerer at isolasjonsmaterialets resistans forholder seg upåvirket over tid, selv om lasten på kabelen er stor. Da det har blitt observert noe variasjon i måleresultater for andre dielektriske egenskaper, kunne det vært nyttig å utføre isolasjonstest av flere måle-grupper. Dette kunne vært med på å gi et bedre bilde av isolasjonsresistansen til lederne i kabelen. Imidlertid har det vist seg at måleresultatene for andre dielektriske egenskaper har produsert resultater som indikerer det samme, men i ulik grad, kan det likevel antas at

målingen av isolasjonsresistansen til en målegruppe representerer isolasjonsresistansen til de resterende lederne i kabelen.

Det kan se ut til at endringer av kabelens dielektriske egenskaper kan forklares ved at kabelen blir mer kompakt etter at den har blitt utsatt for mekanisk last for første gang. Det kan imidlertid tenkes at mindre endringer av isolasjonsmaterialet kan ha funnet sted uten at dette kan detekteres. Slike endringer vil trolig ikke ha stor innvirkning på kabelens levetid.

Konklusjon

Lastkarakteristikken kabelen blir utsatt for viser at det forekommer tilfeller av betydelig høy last. Denne type last forekommer ved inn- og ut dokking av TMS fra dokking-hode. En slik høy last kan ha en sammenheng med skjevlastet ROV/TMS, og feil vinkel på Dokking-hode.

Ved operasjonsdybde forholder lasten seg relativt stabil når det blir brukt heave-kompensering. Når det ikke blir brukt Heave-kompensering vil lastkarakteristikken kabelen blir utsatt for svinge mellom et minimums og et maksimumsnivå, avhengig av fartøyets bevegelser, og operasjonsdybde. En tydelig lineær sammenheng mellom operasjonsdyp og tension i kabel har blitt dokumentert. Det viser seg imidlertid at tyngden til kabelen i vann er noe høyere enn oppgitt fra produsent.

Da de største lastene finner sted når TMS er på vei inn i, eller ut av Dokkinghode, og jordfeil hyppigst forekommer på enden av kabelen, er det ønskelig å undersøke om det er en sammenheng mellom høye laster og dannelsen av jordfeil. En test-Umbilical har derfor blitt strukket i strekkbenk, og elektriske målinger av kabelens dielektriske egenskaper har blitt utført. Strekkprogrammet som test-Umbilical har blitt utsatt for tilsvarer mer enn 7 års med dokkelaster over 22 tonn, for en kabel plassert om bord i et fartøy. Dette utgjør hele kabelens forventede levetid.

Målinger for å identifisere endringer i isolasjonsmaterialets egenskaper viser at det ikke har forekommet betydelige endringer som kan påvirke kabelens levetid. For områder av kabelen som blir utsatt for rett strekk, er det av den grunn ikke noen sammenheng mellom høye statiske laster og dannelsen av jordfeil. Det har imidlertid vist seg at mindre endringer av kabelens totale isolasjonsegenskaper har funnet sted etter at kabelen har blitt utsatt for strekk. Dette kan komme som en kombinasjon av at kabelen har blitt mer kompakt, og fyllmassene mellom ledere i kabelen har blitt flyttet på.

Det er behov for å gjennomføre ytterligere tester av kabel som blir utsatt for bøy i kombinasjon med høy last, for å kunne avdekke den totale effekten av de høye lastene kabelen blir utsatt for.

Videre arbeid

- Utføre strekk av kabel der det også er introdusert bøy. For deretter å undersøke om isolasjonsmaterialets egenskaper har blitt betydelig endret. Det kan da vurderes om Sheave-hjul-diameter er tilstrekkelig stor.
- Elektriske tester av Umbilical etter at kabelen har blitt utsatt for dynamisk lastkarakteristikk.
- Elektriske tester av Umbilical etter at kabelen har blitt utsatt for dynamisk lastkarakteristikk i kombinasjon med fuktige omgivelser.
- Undersøke om forekomsten av Jordfeil er annerledes på Moonpoolsystemer. Ved gjennomgang av vannlinje kan TMS (og ROV) vippe over på siden, og introdusere lokal bøy over TMS på A-rammesystemer. Det kan tenkes at disse systemene ikke blir utsatt for (uheldig) lokal bøy av kabel ved sjøsetting og trekking av ROV.
- Det ville også vært nyttig om kabler med jordfeil hadde blitt tilstrekkelig undersøkt. Dette kunne identifisert hvilke degraderingsmekanismer som er utslagsgivende for dannelsen av jordfeil i denne type kabel.
- Undersøke dannelsen av Z-kink, og dens effekt på degradering av isolasjonsmaterialet rundt ledere.
- Innhenting av større feildatabase. Fortrinnsvis fra flere ulike firma, da ulike operasjonsrutiner kan være utslagsgivende for levetiden til Umbilical.
- Bearbeiding av lastkarakteristikk for ulike ROV-systemer på forskjellige fartøyer. Gjerne i flere ulike firma. Dette kan være med på å gi et bedre bilde av hvilke laster det er vanlig at slike kabler blir utsatt for.

Referanseliste

1. **DOF Subsea, ROV Supervisors.** *Feilrapporter*. ROV Department. Atlantic Region : s.n., 2010-2012. Begrenset tilgang.
2. **OLF.** Remotely Operated Vehicle (ROV) Services. s.l. : Norwegian Technology Centre, 2003. Rev. 1. NORSOK U-102.
3. **ODIM.** *Component User Manual*. 2011. A-frame, ROV Umbilical Winch, Bullet. Begrenset tilgang. 226823-UM-01-01-(01 til 04).
4. **Eriksen, Tom.** *ROV Lead DOF Subsea*. [interv.] Daniel Eliassen. Januar 21, 2013.
5. **Christ, Robert D. and Wernli, Robert L. SR.** *The ROV Manual*. s.l. : Elsevier, 2007. pp. Side 26-45. ISBN 978-0-7506-8148-3.
6. **ODIM.** A-Frame based LARS for ROV. *Animasjonsfilm*. Begrenset tilgang.
7. **NSW.** Triton ZX Umbilical ||| Technical Description. s.l. : NSW, 2007. Rev. 2. Begrenset tilgang.
8. **Callister, William D. Jr.** *Materials Science And Engineering An Introduction*. Seventh Edition. s.l. : John Wiley & Sons, 2007. p. Kapittel 11. ISBN 978-0-471-73696-7.
9. **Sivertsen, Lasse.** *Høyskolelektor, HiB, Institutt for Elektrofag*. [interv.] Daniel Eliassen. Mai 12, 2013.
10. **Arora, Ravindra and Mosch, Wolfgang.** *High Voltage and Electrical Insulation Engineering*. First Edition. s.l. : John Wiley & Sons, 2011. pp. Side 11-40. ISBN 978-0-470-60961-3.
11. **Hammer, Stig.** *ROV Superintendent DOF Subsea*. [interv.] Daniel Eliassen. Oktober 29, 2012.
12. **Moore, G. F.** *Electric Cables Handbook*. Third Edition. s.l. : Blackwell Science, 1997. Kapittel 2 og 3. ISBN 0-632-04075-0.
13. **Faremo, Hallvard.** *Seniorforsker SINTEF Energi*. [interv.] Daniel Eliassen. Mai 13, 2013.
14. **Callister, William D. Jr.** *Materials Science And Engineering An Introduction*. Seventh Edition. s.l. : John Wiley & Sons, 2007. p. Kapittel 6. ISBN 978-0-471-73696-7.
15. —. *Materials Science And Engineering An Introduction*. Seventh Edition. s.l. : John Wiley & Sons, 2007. p. Kapittel 15. ISBN 978-0-471-73696-7.

16. **Moore, G. F.** *Electric Cables Handbook*. Third Edition. s.l. : Blackwell Science, 1997. p. Kapittel 8. ISBN 0-632-04075-0.
17. **Ashby, Michael F.** *Materials Selection in Mechanical Design*. Fourth Edition. Burlington : Elsevier, 2011. pp. Side 51-53. ISBN 978-1-85617-663-7.
18. **Sivertsen, Lasse.** *Kompendium i Høyspenningsteknikk*.
19. **Blythe, Tony and Bloor, David.** *Electrical Properties of Polymers*. Second Edition. s.l. : Cambridge, 2005. pp. Side 58-59. ISBN 978-0-521-55838-9.
20. —. *Electrical Properties of Polymers*. Second Edition. s.l. : Cambridge, 2005. pp. Side 2-26. ISBN 978-0-521-55838-9.
21. **Callister, William D. Jr.** *Materials Science And Engineering An Introduction*. Seventh Edition. s.l. : John Wiley & Sons, 2007. p. Kapittel 18. ISBN 978-0-471-73696-7.
22. **Moore, G. F.** *Electric Cables Handbook*. s.l. : Blackwell Science, 1997. Third Edition, p. Kapittel 24. ISBN 0-632-04075-0.
23. **Blythe, Tony and Bloor, David.** *Electrical Properties of Polymers*. s.l. : Cambridge, 2005. Second Edition, pp. Side 186-211. ISBN 978-0-521-55838-9.
24. **Arora, Ravindra and Mosch, Wolfgang.** *High Voltage and Electrical Insulation Engineering*. s.l. : John Wiley & Sons, 2011. First Edition, pp. Side 351-369. ISBN 978-0-470-60961-3.
25. **Hellesø, Svein, et al., et al.** *Water Tree Initiation and Growth in XLPE cables Under Static and Dynamic Mechanical Stress*. s.l. : Electrical Insulation (ISEI), Conference Record of the 2012 IEEE International Symposium on, 10-13 June 2012. pp. Side 623-627. ISBN 978-1-4673-0488-7.
26. **Wang, Jin-feng, et al., et al.** *Study of the Transformation of Electrical Tree from Water Tree Degradation in XLPE*. Bangalore, India : IEEE 10Th International Conference on the Properties and Applications of Dielectric Materials, 2012. Vols. July 24-28.
27. **Aarseth, Johnny.** *Senior Engineer System Development Rolls Royce*. [interv.] Daniel Eliassen. Februar 4, 2013.
28. **Scan Sense.** Scan Sense. [Online] Mai 7, 2013.
<http://www.scansense.no/PRODUCTS/LOAD/Shear-pin/Shear-pin-LS-3010-SP.aspx>.
29. **Kongsberg Seatex AS.** *Seatex MRU Users Manual*. Trondheim : s.n., September 26, 2006. Begrenset tilgang.
30. **Kongsberg Seatex AS.** *Seatex MRU 5 & H Installation Manual*. Trondheim : s.n., Februar 27, 2006. Begrenset tilgang.


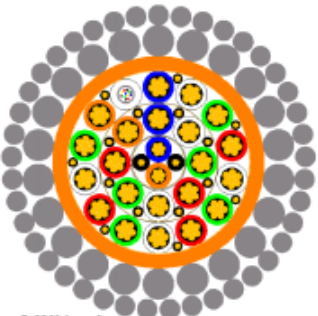

31. **Dorsey, Knut.** *Sr. Advisor W. Giertsen.* [interv.] Daniel Eliassen. April 5, 2013.
32. **Aase, Jon Harald.** *Engineer Karsten Moholt.* [interv.] Daniel Eliassen. Mars 13, 2013.
33. **Hessvik, Kurt.** *Engineer Karsten Moholt.* [interv.] Daniel Eliassen. April 5, 2013.
34. **NSW.** Technical Description Quest UHD 4000m, 126393. Juli 12, 2005. Begrenset tilgang.

Vedlegg

Vedlegg 1 – Nexans Technical Description (Test Umbilical)

Vedlegg 2 – Testdokument NSW Umbilical Geosund

Vedlegg 1:

																	
<h2>Technical Description</h2>																	
<h1>STEEL ARMoured TXLS UMBILICAL</h1>																	
Document no.: RS501			 <p style="font-size: small; text-align: center;">D-0341 Issue 1</p>														
Unit content: <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%;">UNIT-P4</td> <td style="width: 50%;">Power conductor, 4mm², 3.3kV</td> <td style="width: 30%; text-align: right;">21 off</td> </tr> <tr> <td>UNIT-P2</td> <td>Power conductor, 2mm², 3.3kV</td> <td style="text-align: right;">2 off</td> </tr> <tr> <td>UNIT-FO</td> <td>Fibre optic element, 12SM</td> <td style="text-align: right;">1 off</td> </tr> </table>						UNIT-P4	Power conductor, 4mm ² , 3.3kV	21 off	UNIT-P2	Power conductor, 2mm ² , 3.3kV	2 off	UNIT-FO	Fibre optic element, 12SM	1 off			
UNIT-P4	Power conductor, 4mm ² , 3.3kV	21 off															
UNIT-P2	Power conductor, 2mm ² , 3.3kV	2 off															
UNIT-FO	Fibre optic element, 12SM	1 off															
Material description: G _s (12)+21x4mm ² +2x2mm ² FMV RP4/2.6			Material no.: 10136069														
Tender no.:			Contract no.:														
04E	10.08.11	Approved for Construction	ANG	JLU	LOM												
03E	06.02.09	Approved for Construction	ANG	ANK	LOM												
02E	13.04.07	Approved for Construction	ANG	ANK	LOM												
01T	28.02.07	Issued for Tender	ANG	ANK	LOM												
Issue no.	Date	Document status	Prepared by	Approved by	Released by												
Revision / Status coding: <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;">Issued for Tender</td> <td style="width: 33%;">XXT</td> <td style="width: 33%;">Issued for Company Comment (Review)</td> <td>XXR</td> </tr> <tr> <td>Issued for DIC / IDC (Draft)</td> <td>XXD</td> <td>Approved for Construction</td> <td>XXE</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>As-Built</td> <td>XXA</td> </tr> </table>						Issued for Tender	XXT	Issued for Company Comment (Review)	XXR	Issued for DIC / IDC (Draft)	XXD	Approved for Construction	XXE			As-Built	XXA
Issued for Tender	XXT	Issued for Company Comment (Review)	XXR														
Issued for DIC / IDC (Draft)	XXD	Approved for Construction	XXE														
		As-Built	XXA														
<p style="font-size: x-small;">CONFIDENTIAL.</p> <p style="font-size: x-small;">All rights reserved. Passing on or copying of this document, use and communication of its content are not permitted without prior written authorization from Nexans Norway AS.</p>  <p style="font-size: x-small;">Nexans Norway AS, P.O. Box 6450 Etterstad, N-0605 Oslo, Norway</p>																	

1. SCOPE

This document describes a torque balanced steel armoured umbilical.

NOTE: Cable handling and installation shall be performed in accordance with latest revision of Nexans guidelines (see section 2. REFERENCES).

2. REFERENCES

Document:	Document title:
NeNo-TR-01-01 Issue 8	<i>Handling / Installation guidelines for dynamic cables.</i>

3. CABLE DESIGN

3.1 Element details

Process/ Material		Nom. thickness (mm)	Nom. outer diameter (mm)
UNIT-FO Fibre Optic element			
Optical fibre	125M (9/125 μ m)		0.25
Tube	Steel tube with filling compound	0.2	2.3
Sheath	Polypropylene, natural		4.0
UNIT-P4 Power conductor, 4mm², 3.3kV			
Conductor	Cu, 4mm ²	7x0.88	2.5
Insulation	Semiconducting polypropylene Insulating polypropylene, colour coded		4.0
UNIT-P2 Power conductor, 2mm², 3.3kV			
Conductor	Cu, 2mm ²	7x0.6	1.8
Insulation	Semiconducting polypropylene Insulating polypropylene, colour coded		3.3

CONFIDENTIAL.

All rights reserved. Passing on or copying of this document, use and communication of its content are not permitted without prior written authorization from Nexans Norway AS.

3.2 Element lay-up

Process/ Material		Nom. thickness (mm)	Nom. outer diameter (mm)
1st-layer			
UNIT-P2	Power conductor, 2mm ² , 2 off	3.3	6.7
Filling	Soft adhesive compound		
Screen	Semicond.insul. 0.5mm ² Cu, 2 off Cu polyester laminate	2.2	6.8
Wrapping	Tape(s)		7.1
2nd-layer			
UNIT-P4	Power conductor, 4mm ² , 8 off	4.0	15.1
Filling	Soft adhesive compound		
Screen	Semicond.insul. 0.35mm ² Cu, 8 off Cu polyester laminate	1.3	15.3
3rd-layer			
UNIT-P4	Power conductor, 4mm ² , 13 off	4.0	23.3
UNIT-FO	Fibre optic element, 1 off	4.0	23.3
Filling	Soft adhesive compound		
Screen	Semicond.insul. 0.35mm ² Cu, 7 off Cu polyester laminate	1.2	23.5
Inner sheath	Thermoplastic polyester, orange		27.1
Armouring			
1 st layer	Galfan coated steel wires, 22 off	4.0	35.1
Filling	Corrosion protective lubricant		
2 nd layer	Galfan coated steel wires, 41 off	2.6	40.3
Filling	Corrosion protective lubricant		

CONFIDENTIAL

All rights reserved. Passing on or copying of this document, use and communication of its content are not permitted without prior written authorization from Nexans Norway AS.

3.3 Characteristics

Physical characteristics	Unit	Nominal value	±
Cable outer diameter	mm	40.3	1
Weight in air, approx.	kg/km	5700	
Weight in seawater, approx.	kg/km	4400	
Minimum dynamic bending diameter	m	1.2	
Armouring breaking strength	kN	825	
Safe working load	kN	230	

Electrical / Optical characteristics (target values)	Unit	Nominal value	±
UNIT-FO Fibre Optic element			
SINGLEMODE FIBRE:			
Attenuation @ 1310nm	dB/km	<0.6	
Attenuation @ 1550nm	dB/km	<0.4	
UNIT-P4 Power conductor, 4mm², 3.3kV			
DC resistance, max	Ω/km	5.2	
Insulation resistance @ 500 V DC	GΩ·km	>5	
HV test for 5 min.: Conductor – conductor/screen	kV DC	16	
Voltage rating, U ₀ /U (U _m)	kV	1.8/3.0(3.3)	
UNIT-P2 Power conductor, 2mm², 3.3kV			
DC resistance, max	Ω/km	10.7	
Insulation resistance @ 500 V DC	GΩ·km	>5	
HV test for 5 min.: Conductor – conductor/screen	kV DC	16	
Voltage rating, U ₀ /U (U _m)	kV	1.8/3.0(3.3)	

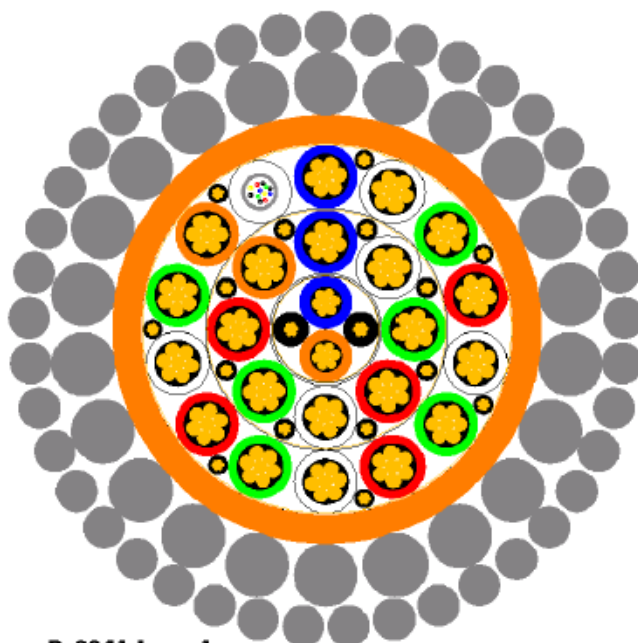
CONFIDENTIAL

All rights reserved. Passing on or copying of this document, use and communication of its content are not permitted without prior written authorization from Nexans Norway AS.

3.4 Cable marking

Element	Marking		
UNIT-P2	Conductor #1-#2: Blue, orange		
UNIT-P4	IN EACH LAYER: First conductor: Blue Alternating: White, green, red, white,... Last conductor: Orange		
UNIT-FO	Natural	12SM fibres:	With two rings every 25mm: Red, green, blue, yellow, white, natural With two rings every 50mm: Red, green, blue, yellow, white, natural
SHEATH	<Production order no.> Nexans Norway High Voltage <year>, <meter>		

4. CROSS-SECTIONAL DRAWING



D-8341 Issue 1

CONFIDENTIAL

All rights reserved. Passing on or copying of this document, use and communication of its content are not permitted without prior written authorization from Nexans Norway AS.

5. AMENDMENT LIST

Issue no.	Date	Amendments
04E	10.08.11	<ul style="list-style-type: none"> Added voltage rating in section 3.3
03E	06.02.09	<ul style="list-style-type: none"> Changed document title (no design changes).
02E	13.04.07	<ul style="list-style-type: none"> Included corrosion protective filling for the outer armouring layer. Upgraded document status to Approved for Construction.
01T	28.02.07	First edition.

CONFIDENTIAL.

All rights reserved. Passing on or copying of this document, use and communication of its content are not permitted without prior written authorization from Nexans Norway AS.

Vedlegg 2:



Quest UHD

NSW Order No. : 76016

Specification No. : 12693

Final Test

Cable No. : C057027

Length : 4520 m

Drum No. : AS 340 01 02

TEST REPORT

In-Process Inspection and Testing Final Test

Project/Cable type : Quest UHD 4000 m
 NSW Order-No. : 76016 P/O No.: ---
 Specification No. : 126393 Cable No.: C057027
 Procedure Ref. No. : 0113506; 0113507; 0113508; 0113510; 0113511; 0113855
 Reel No. : 3400102 Length Meas.: 4520 m
 Length Deliv.: 4520 m

Quality characteristics : Mechanical characteristics
 Dimension

Element	Diameter mm	Wire Diameter mm	Tensile strength δ N/mm ²	Length m	Weight in air/ seawater kg/km	Lay length mm	Number of wires	Ease of stripping
1 st layer armouring	31,0	1,63...1,64	2232	---	---	223 L	52	---
2 nd layer armouring	34,1	1,63...1,65	2215	---	---	259 L	58	---
3 th layer armouring	39,6	2,63...2,65	2196	o.k.	5405	280 R	40	---
Acceptance Criteria:								
1 st layer armouring	31,0±0,3	1,6±0,05	≥2160			201/L	52±2	n.a.
2 nd layer armouring	34,2±0,3	1,6±0,05	≥2160	≥4500	≈ 5250	238/L	58±2	
3 th layer armouring	39,4±0,3	2,6±0,06	≥2160			287/R	40±2	
Test Device No.	0101363	0101514	0201100		07 01 001	0101556		

06.01.06 Neumann
 (Date) (Signature of Tester)

06.01.06 
 (Date) (Signature of Inspector)

TEST REPORT

In-Process Inspection and Testing Final Test

Project/Cable type : Quest UHD 4000 m
 NSW Order-No. : 76016 P/O No.: ---
 Specification No. : 101081 Cable No.: C057027
 Procedure Ref. No. : 0113094 ; 0113095 ; 0113096 ; 0113097
 Reel No. : 340 01 02 Length Meas.: 4520 m
 Ambient/Water Temp. : 18,1 °C* Length Deliv. : 4520 m

Quality characteristics : Electrical characteristics

Element	Colour	DC-Resistance		Ins. Resistance		Capacitance		High Voltage Test U
		R _{mea.} Ω	R at 20°C Ω/km	R _{mea.} 1kV.DC GΩ	R _{ins.} GΩ·km	C _{mea.} 800 Hz nF	C nF/km	
F.O.	blue							
Core 1	brown	32,62	7,27	15	68			6,5 AC 5 : o.k.
Core 2	yellow	32,36	7,21	15	68			6,5 AC 5 : o.k.
Core 3	violet	32,35	7,21	15	68			6,5 AC 5 : o.k.
Core 4	red	32,36	7,21	15	68			6,5 AC 5 : o.k.
5 Drain wires		10,22	2,28					
Acceptance Criteria :								
Core 2,5 mm ²			≤ 7,6		≥ 5			6,5 AC 5
Test Device No.		04 01 056		04 01 104/105		04 01 001/007		04 01 004/088

* 03 01 424

06.01.06 Neumann
 (Date) (Signature of Tester)

06.01.06 
 (Date) (Signature of Inspector)

TEST REPORT

In-Process Inspection and Testing Final Test

Project/Cable type : Quest UHD 4000m
 NSW Order-No. : 76016
 Specification No. : 1263931
 Procedure Ref. No. : 0113094 ; 0113095 ; 0113096 ; 0113097
 Reel No. : 340 01 02
 Ambient/Water Temp. : 18,1 °C*

P/O No. : ---
 Cable No. : C057027
 Length Meas. : 4520 m
 Length Deliv. : 4520 m

Quality characteristics : Electrical characteristics

Element	Colour	DC-Resistance		Ins. Resistance		Capacitance		High Voltage Test U
		R _{mea}	R at 20°C	R _{mea} 100V,DC 1kV,DC**	R _{ins}	C _{mea} 800 Hz	C	
		Ω	Ω/km	GΩ	GΩ·km	nF	nF/km	kV , AC/DC , min
TSQ	red	145,82	32,50	100	452	335,37	74,20	2 DC 2 : o.k.
	nature	145,88	32,52	100	452			2 DC 2 : o.k.
	blue	145,84	32,51	100	452	333,00	73,67	2 DC 2 : o.k.
	yellow	145,79	32,50	100	452			2 DC 2 : o.k.
	drain wire	631,65	140,80	15	68			
	screen	51,86	11,56	0,1	0,5			
Core 1	blue	9,62	2,14	8**	36			6,5 AC 5 : o.k.
Core 2	orange	9,62	2,14	8**	36			6,5 AC 5 : o.k.
Core 3	white	9,60	2,14	8**	36			6,5 AC 5 : o.k.
Core 4	brown	13,40	2,99	8**	36			6,5 AC 5 : o.k.
Core 5	grey	13,42	2,99	8**	36			6,5 AC 5 : o.k.
Core 6	yellow	13,45	3,00	8**	36			6,5 AC 5 : o.k.
Core 7	blue	9,62	2,14	8**	36			6,5 AC 5 : o.k.
Core 8	orange	9,64	2,15	8**	36			6,5 AC 5 : o.k.
Core 9	white	9,62	2,14	8**	36			6,5 AC 5 : o.k.
10 Drainwires		5,14	1,15					
Acceptance Criteria :								
TSQ 0,56 mm ²			≤34		≥10/0,01		≈ 80	2 DC 2
Power Core 8 mm ²			≤2,3		≥5			6,5 AC 5
Power Core 6 mm ²			≤3,2		≥5			6,5 AC 5
Test Device No.		04 01 056		04 01 038/104		04 01 001/007		04 01 004/088

* 03 01 424

06.01.06 Thümler
 (Date) (Signature of Tester)

06.01.06 
 (Date) (Signature of Inspector)

TEST REPORT

Final Test

Project/Cable type	: Quest UHD 4000 m		
NSW Order-No.	: 76016	P/O No.:	---
Specification No.	: 126393	Cable No.:	C057027
Procedure Ref. No.	: 0113556		
Reel No.	: 340 01 02	Length Meas.:	4520 m
		Length Deliv.:	4520 m

Quality characteristics : Optical characteristics:

Element	Colour	Attenuation at 850 nm		Attenuation at **1300/*1310 nm		Attenuation at 1550 nm	
		top end dB/km	bottom end dB/km	top end dB/km	bottom end dB/km	top end dB/km	bottom end dB/km
SMF							
Fibre 1	blue	---	---	0,33	0,33	0,19	0,19
Fibre 2	orange	---	---	0,33	0,33	0,19	0,19
Fibre 3	green	---	---	0,33	0,33	0,19	0,19
Fibre 4	white	---	---	0,33	0,33	0,19	0,19
Fibre 5	red	---	---	0,33	0,33	0,20	0,19
Fibre 6	yellow	---	---	0,33	0,33	0,19	0,19
MMF							
Fibre 7	brown	2,14	2,13	0,44	0,43	---	---
Fibre 8	grey	2,17	2,16	0,45	0,44	---	---
Fibre 9	black	2,17	2,16	0,44	0,44	---	---
Fibre 10	violet	2,17	2,16	0,45	0,45	---	---
Fibre 11	pink	2,15	2,15	0,44	0,44	---	---
Fibre 12	turquoise	2,15	2,15	0,45	0,45	---	---
Acceptance Criteria:							
*SMF		---	---	<0,5	<0,5	<0,3	<0,3
**MMF		< 3,0	< 3,0	<1,0	<1,0	---	---
Test Device No.		05 01 071					

* 03 01 424

06.01.06 Thümler
 (Date) (Signature of Tester)

06.01.06 *[Signature]*
 (Date) (Signature of Inspector)

