

■ [www.sintef.no](http://www.sintef.no) ■

**Energiforsyningens  
Forskningsinstitutt AS**

Postadresse: 7034 Trondheim  
 Besøksadresse: Sem Sælands vei 11  
 Telefon: 73 59 72 00  
 Telefaks: 73 59 72 50

F. nr.: NO 939 350 675

# TEKNISK RAPPORT

SAK/OPPGAVE (tittel)

**Bruk av enlederkabel under brønnintervenering**

SAKSBEARBEIDER(E)

Horst Förster  (forfatter)

OPPDRAAGSGIVER(E)

STATOIL  
2050 Bergen

TR NR. <b>TR A4596</b>	DATO 1997-11-06	OPPDRAAGSGIVER(E)S REF. Steinar Gjestebø (SGJ / B&B RIG)	OPPLAG 10
GRADERING Åpen	PROSJEKTNR. 14X042.01	PROSJEKTANSVARLIG Gunnar Klevjer 	ANTALL SIDER 34
ELEKTRONISK ARKIVKODE J:\DOK\14\hof97008233.DOC		AVDELING Materialteknikk	
ISBN NR. 82-594-1136-9	RAPPORTTYPE	AVDELINGSSJEF Rolf Hegerberg 	

RESULTAT (sammendrag)

Undersøkelser for å avdekke eventuelle faremoment ved uforskriftsmessig bruk av kabler som kan føre driftsstrøm i skjermen.

Under loggeoperasjoner i brønnhull brukes det stålwire med innlagte leder til strømforsyning eller målesignaler. Returstrømmen går i utgangspunkt gjennom stålarmingen, noe som ikke er tillatt i henhold til gjeldende forskrifter for elektriske anlegg. Armeringen har imidlertid god forbindelse med gods, både i grease hodet på toppen av brønnhodet og til casingen i brønnhullet. slik at det foreligger flere parallelle strømbaner. Armeringen har liten tverrsnitt i forhold til de andre strømbanene slik at det ikke går store strømmer i armeringen (kabelskjermen) i områder som er klassifisert eller tilgjengelige for personell. Målinger på en forsøksbrønn på land og under loggeoperasjoner offshore viser at strøm og spenningsdifferanser i den tilgjengelige delen av armeringen ligger under grenseverdiene for egensikre anlegg i henhold til norske forskrifter og internasjonale standarder. Målingene er utført med vekselstrøm, men det er ingen grunn til å anta at det vil oppstå større spenningsdifferanser ved drift med likestrøm.

## STIKKORD

EGENVALGTE	Brønnintervenering	Offshore
	Monokabel	Sikkerhet

## INNHALDSFORTEGNELSE

	<u>Side</u>
1 BAKGRUNN .....	3
2 FORSKRIFTER OG REGELVERK.....	4
3 PROBLEMSTILLING .....	5
4 MÅLINGER OG RESULTAT.....	6
4.1 Innledende målinger .....	6
4.2 Målinger ved forsøksbrønnen på Husøy.....	6
4.3 Avsluttende målinger på Gullfaks B under en traktoroperasjon .....	7
5 VURDERING AV SIKKERHETEN .....	8
5.1 Feilfri drift .....	9
5.2 Feil i sleperingboksen.....	10
5.3 Berøring av armeringen med ledende, jordede gjenstander .....	10
5.4 Brudd eller kortslutning i kabelen (elektrisk).....	10
6 RUTINER VED BRUK AV LOGGEKABEL.....	11
7 KONKLUSJON.....	11
VEDLEGG 1: Beskrivelse av traktoren og dens tilleggsutstyr	12
VEDLEGG 2: Beskrivelse og resultater fra målinger	21
VEDLEGG 3: Detaljerte referanser til normer og forskrifter	31

## BRUK AV ENLEDERKABEL UNDER BRØNNINTERVENERING

Undersøkelser for å avdekke eventuelle faremoment ved uforskriftsmessig bruk av kabler som kan føre driftsstrøm i skjermen.

---

Under loggeoperasjoner i brønnhull brukes det stålwire med innlagte leder til strømforsyning eller målesignaler. Returstrømmen går i utgangspunkt gjennom stålarmeringen, noe som ikke er tillatt i henhold til gjeldende forskrifter for elektriske anlegg. Armeringen har imidlertid god forbindelse med gods, både i grease hodet på toppen av brønnhodet og til casingen i brønnhullet, slik at det foreligger flere parallelle strømbaner. Armeringen har liten tverrsnitt i forhold til de andre strømbanene slik at det ikke går store strømmer i armeringen (kabel-skjermen) i områder som er klassifisert eller tilgjengelige for personell. Målinger på en forsøksbrønn på land og under loggeoperasjoner offshore viser at strøm og spenningsdifferanser i den tilgjengelige delen av armeringen ligger under grenseverdiene for egensikre anlegg i henhold til norske forskrifter og internasjonale standarder. Målingene er utført med vekselstrøm, men det er ingen grunn til å anta at det vil oppstå større spenningsdifferanser ved drift med likestrøm.

---

## 1 BAKGRUNN

For effektiv drift av borehull off- og onshore er det nødvendig å intervenere i borehullet enten for å foreta målinger eller å utføre operasjoner som f.eks. pluggsetting eller perforeringer. Til overføring av måle- og styresignaler er det ønskelig å bruke kabel med så liten tverrsnitt som mulig for å overvinne trykket i brønnen. Derfor ble det utviklet en- og flerlederkabel som er å betrakte som stålwire med innlagte ledere. Hele konstruksjonen er i stor grad dimensjonert etter mekaniske behov.

Stålwiren som kan betraktes som kabelarmering eller -skjerm benyttes som returleder. Vedlegg 1 viser en oversikt over oppriggingen og elektriske koblinger under loggeoperasjoner.

Etter at teknologiske fremskritt gjorde det mulig å bore hull med avvik fra vertikalen var det ikke lenger mulig å bare senke måleutstyret ned i borehullet vha. lodd og det ble utviklet motordrevet redskap som er istand til å skyve utstyret foran seg med energi- dvs. strømforsyning fra overflaten.

Målesignaler har mye lavere spenninger og strømmer enn traktorens strømforsyning. Denne rapporten konsentrerer seg derfor om drift av traktor med strømtilførsel ved hjelp av monokabel. Strømforsyningen til slike traktorer leverer opptil 1000 V og 10 A vekselstrøm og i denne sammenhengen ble operatørselskapene oppmerksom på måten monokabel blir brukt på.

En stor del av den påtrykte spenningen går tapt i impedansen som innerlederen i kabelen representerer. Stålarmeringen fungerer i en slik enleder eller monokabel som returleder. Armeringen er blank og uisolert og har kontakt med jordet gods. Formelt sett, iht til forskriftene, blir dermed skjermen av en enlederkabel benyttet til å føre driftstrøm, noe som ikke er tillatt. For å evaluere sikkerhetsaspekter ved slike operasjoner ble det gjort målinger og utredninger som skal undersøke om og når det kan foreligge fare for:

- antenning av gassblandinger i klassifisert område
- fare for personell pga elektrisk støt.

Undersøkelsene ble gjort under normal drift. I tillegg ble sikkerhetsmessige aspekter under tenkelige feiltilfelle vurdert. Målingene ble utført av EFI i samarbeid med Maritime Well Service, Statoil og Norsk Hydro.

## 2 FORSKRIFTER OG REGELVERK

Som forskrift refereres til:

“Regelverksamling for petroleumsvirksomheten 1996; Forskrift om elektriske anlegg i petroleumsvirksomheten, fastsatt av Oljedirektoratet 8.1.1991. Sist endret 8. mars 1995 og 22. mars 1996”, som referer til:

“Forskrifter for elektriske bygningsinstallasjoner, NVE, av 20. desember 1989, §808” (FEB) og  
“Forskrifter for elektriske anlegg, maritime installasjoner, NVE, av 1. mars 1990 (FEA-M)”.  
Begge forskriftene fra NVE refererer dessuten til:

IEC-Publikasjon 79-11 “Electrical apparatus for explosive gas atmospheres, Part 11: Intrinsic safety “i”, 1991-11”.

### 3 PROBLEMSTILLING

Til overføring av målesignal og strømforsyning ved bruk av traktorer blir det benyttet én- eller flerlederkabel med armeringen som returleder, fortrinnsvis enlederkabel med minst mulig totaltverrsnitt slik at det brukes minst mulig kraft for å overvinne mottrykket fra brønnen. Slike enlederkabler blir også kalt monokabler. Kabellengden som det opereres med er opp til 6-8 km. I en del tilfelle blir det brukt kabel med flere ledere, men også her brukes armeringen som returleder slik at vi har samme situasjon som ved bruk av monokabel som disse målingene konsentrerer seg om.

Denne problemstillingen er også relevant ved andre former for logging da det her også benyttes samme kabeltype.

Teknisk sett er en monokabel en stålwire med innlagt leder, formelt sett, iht forskrifter for elektriske anlegg, er en monokabel en enlederkabel med skjerm. Når stålwiren, dvs kabelskjermen, benyttes til å lede returstrømmen er dette i strid med forskriften (FEA-M, §1843). Dessuten mangler kabelen en isolerende kappe som kreves for normale kabelkonstruksjoner (FEA-M, §1811.2). Metallhjulene til traktoren og stålarmeringen til kabelen har derimot god kontakt til gods som har mye større tverrsnitt enn armeringen og dermed mye lavere impedans. Derfor vil det ikke gå noe særlig strøm i armeringen dvs kabelskjermen. Traktoren og dens strømforsyning er nærmere beskrevet i vedlegg 1.

Det er et spenningsfall i innerlederen på flere hundre volt. Bruk av flerlederkabel uten å øke kabelens totaltverrsnitt ville føre til større spenningsbehov og grensen for lavspenning (1000 V AC, 1500 V DC) måtte overskrides. Bruken av flerleder med tilstrekkelig stort tverrsnitt ville føre til økt totaltverrsnitt av kabelen og dermed til økt effektbehov for å overvinne brønntrykket. Dessuten ville tykkere kabler medføre en del andre tekniske problem under wire line operasjoner. Pga den gode kontakten med gods som har stort tverrsnitt er spenningsfallet for returstrømmen neglisjerbar for driften av utstyr.

Det ble fastsatt (i forbindelse med målingene) grenseverdier for bruken av monokabel og flerlederkabel som benytter armeringen som returleder. Grenseverdien for spenningen er satt til 1000 V AC eller 1500 V DC, dvs grenseverdiene for lavspenningsanlegg (FEA-M, § 1101). Strømmen er begrenset til 10 A.

Formålet med prosjektet er å undersøke om det foreligger realistiske faremoment ved bruk av monokabel som logge- og forsyningskabel ved brønnoperasjoner.

## 4 MÅLINGER OG RESULTAT

Målsettingen med målingene er å kartlegge mulige berøringsspenninger og kortslutningsstrømmer mellom den delen av kabelen som er tilgjengelig for berøring og dekk. Under grease hodet og i brønnen befinner kabelen seg i et ikke eksplosjonsfarlig område da gasskonsentrasjonene er over øvre tennområde. Det foreligger heller ingen berøringsfare for personell. Målingene, måleresultater og oppkoblingen av strømforsyningen er nærmere beskrevet i vedlegg 2.

### 4.1 Innledende målinger

Det ble gjennomført innledende målinger i uke 11 - 1997 på Gullfaks A for å kartlegge returstrømmen. Selve traktoren og armeringen har elektrisk kontakt med metalliske deler av brønnen og grease hodet slik at man forventet at returstrømmen i armeringen var minimal.

Denne antagelsen ble bekreftet og strømmen i armeringen ble målt til < 100mA mens driftsstrømmen var ca 5A.

Konklusjonen av de innledende målingene var:

- Det må etableres en god forbindelse mellom traktor og/eller armeringen til monokabelen og jordingspunktet av(på?) strømforsyningen ved vinsjen. Da vil strømmen i armeringen være så liten at det ikke oppstår spenningsdifferanser som fører til berøringsfare for personell. Berøringsspenninger på 30 V AC eller 50 V DC er grensen som tillates i henhold til FEA-M 1990, §1235.
- Med hensyn til fare for antennelse av brennbare gassblandinger var det nødvendig å utføre spenningsmålinger mellom armeringen og dekk.

### 4.2 Målinger ved forsøksbrønnen på Husøy

Maritime Well Service disponerer en forsøksbrønn ved basen på Husøy hvor det var mulig å utføre målinger uten de restriksjoner som begrenser mulighetene til målinger offshore. Til spenningsmålingene ble det utviklet en måleelektrode som ga god kontakt mellom armeringen og måleinstrument både når kabelen var i ro og i bevegelse. Mellom brønnhodet og vinsjen ble det etablert en kabelforbindelse siden disse anleggsdelene ikke hadde kontakt gjennom gods slik det er tilfelle på en offshore installasjon. Det ble lagt to jordingskabler i parallell med til sammen 32mm<sup>2</sup> Cu i tverrsnitt. Returstrømmen fordeler seg da mellom jordingskabel og armeringen.

Målte spenningsdifferanser mellom anleggsdeler var avhengig av:

- tverrsnitt på forbindelsen mellom vinsjen og brønnhodet og
- hvor trange flowtuber som ble brukt i grease hodet

Spenningsdifferanser som ble målt ved 10 A driftsstrøm og forholdsvis slitte flowtuber:

- mellom armering grease hodet:  $U_{\text{peak}}=100\text{-}150\text{ mV}$ ,  $U_{\text{rms}}=18\text{-}28\text{ mV}$
- mellom armering ved grease hodet og jordingspunktet ved vinsjen (størst mulige berøringsspenning):  $U_{\text{peak}}=200\text{-}220\text{ mV}$ ,  $U_{\text{rms}}=136\text{-}142\text{ mV}$ .

Spenningsdifferanser som ble målt ved 10 A driftsstrøm og "normale" ikke spesiell trange flowtuber:

- mellom armering og grease hodet:  $U_{\text{peak}}=6\text{-}7\text{ mV}$ ,  $U_{\text{rms}}=4,3\text{-}4,4\text{ mV}$
- mellom armering og jordingspunktet ved vinsjen:  $U_{\text{peak}}=130\text{-}135\text{ mV}$ ,  $U_{\text{rms}}=88\text{-}90\text{ mV}$ .

Strømmen i armeringen var ca 2A.

Konklusjon etter målingene på Husøy:

- Mulige berøringsspenninger ligger godt under faregrensen for antennelse av brennbare gassblandinger.
- Strømmen som går i armeringen er ikke representativ for realistiske forhold på en plattform. På en plattform vil returstrømmen fordele seg mellom jordingskabelen, armeringen og i tillegg i plattformgods. Godset i plattformen vil ha en mye lavere impedans enn en kabelforbindelse på 25 m lengde og  $2 \times 16\text{ mm}^2$  tverrsnitt som ble brukt under målingene på Husøy. På en plattform vil spenningsfallet mellom vinsj og grease hodet og strømmen i armeringen bli mindre enn under målingene på forsøksbrønnen.
- Måleresultatene fra Husøy måtte bekreftes med målinger under en reell traktoroperasjon offshore.

#### 4.3 Avsluttende målinger på Gullfaks B under en traktoroperasjon

I tillegg til den vanlige oppriggingen av wire line og grease hodet ble det introdusert en forbindelse med 50m kopperkabel på  $70\text{ mm}^2$  tverrsnitt mellom jordingspunktet ved vinsjen og grease hodet. Man kan gå ut ifra at det er en tilstrekkelig forbindelse mellom disse punktene men ønsket som et sikkerhetstiltak en potensialutjevning i tilfelle at ikke alle jordforbindelser er tilfredsstillende.



### ***Måleresultat for strømfordelingen under traktoroperasjoner på Gullfaks B***

Måling av strømfordeling mellom armering, plattformgods og potensialutjevning til grease hodet.

Nøytrallederen, dvs den usikrede lederen av strømkilden til traktoren er jordet ved wire line vinsjen og armeringen har kontakt med nøytrallederen både gjennom sleperingen og kabeltrommelen. Returstrømmen fra traktoren har ulike mulige strømbaner til dette jordingspunktet. Returstrømmen fordeler seg mellom:

- plattformgods	4,64 A
- potensialutjevning mellom grease hodet og jordingspunkt ved vinsjen	0,60 A
- strøm gjennom sleperingen til jordet armering på kabeltrommelen	ikke målt
- strøm i armeringen mellom kabeltrommel og grease hodet	0,08 A

Den totale strømmen fra strømforsyningen ble målt til 5,26 A.

Summen av tilsynelatende returstrømmer (5,32 A + strømmen gjennom sleperingen) overskrider den totale strømmen fra kilden, noe som i første omgang kan se ut som en målefeil. En sammenligning av faseleie av spenningsfallet mellom armering og grease hodet og spenningsfallet mellom armering ved grease hodet og jordingspunktet viser at strømmen i armeringen ikke er i fase med driftsstrømmen.

Dette skyldes at en del, sannsynligvis mesteparten av strømmen i armeringen er en indusert strøm. En enlederkabel med skjerm som er jordet i begge ender vil alltid føre en indusert strøm i skjermen.

### ***Måleresultat fra spenningsmålinger på Gullfaks B***

Største spenningsfall som ble målt under hele operasjonen overskred aldri 210 mV (peak) ved startstrømmer opp til 10 A og driftsstrøm på 5,2 -5,5 A.

En peak verdi på < 210 mV tilsvarer en effektivverdi på < 150 mV.

## **5 VURDERING AV SIKKERHETEN**

Følgende krav til elektriske anlegg er ikke oppfylt ved bruk av monokabel under brønnoperasjoner:

- kabelskjermen dvs stålarmeringen kan føre en viss andel av driftsstrømmen.
- kablen har ingen isolerende kappe utenpå skjermen.

Under slike forhold er det mulig at:

- personer kommer i kontakt med strømførende anleggsdeler
- det kan oppstå utilsiktede ledende forbindelser mellom strømførende anleggsdeler og plattformgods.

Eventuelle faremoment vurderes under normal, feilfri drift og det vurderes konsekvensen av tenkelige feilsituasjoner.

Vurderingene er foretatt for den delen av kabelen og resterende anleggsdeler som befinner seg på dekk i klassifisert område.

Det ble ikke funnet faremoment mht personsikkerhet eller antennelse av eksplosive gassblandinger.

## 5.1 Feilfri drift

Under normal feilfri drift var den største målte spenningen mellom armeringen og dekket < 210mV (peak) og den største strømmen i armeringen <100mA.

Under slike forhold foreligger absolutt ingen berøringsfare for personell og verdiene for spenning, strøm som er mulig å kortslutte og kortslutningseffekt er lavere enn kravet i forskriften for egensikre anlegg som ikke krever prøvningsbevis (FEB, 1991, §808.7.4.3).

Vedlegg 3 inneholder detaljerte referanser til normer og forskrifter som er grunnlaget for verdiene i tabell 1 og en redegjørelse for forutsetninger for å tolke forskriftene.

Tabell 1: Sammenligning av målte og etter ulike forskrifter tillatte verdier for strøm og spenning i egensikre kretser.

	Krav i henhold til FEB 1991	Krav i henhold til IEC 76-11 <sup>(*)</sup>	Målte verdier
Spenning	< 1.2V	< 24 V	210 mV <sub>peak</sub> /150 mV <sub>rms</sub>
Strøm	< 100 mA	< 950 mA	80 mA <sup>(*)</sup>
Effekt	< 25 mW		15 mW <sup>(*)</sup>

- <sup>(\*)</sup> Forutsetninger:
- Induktansen i kretsen overstiger ikke 100 µH. Det er realistisk å gå ut fra en induktans på  $1 \times 10^{-6}$  H per m<sup>2</sup> sløyfe mellom monokabel og dekk, dvs god margin til forutsetningen.
  - Gassblandingen tilsvarer gruppe II A

- <sup>(\*)</sup> Målingene er utført ved stasjonær drift med ca 5,5A driftsstrøm. Verdiene kan kortvarig overskrides under oppstart av traktoren men representerer ingen realistisk kortslutnings- eller effektstrøm.

Dette er nærmere utredet i vedlegg 3.

## **5.2 Feil i sleperingboksen**

Brudd i spenningstilførselen (fase) vil medføre driftsstans uten fare for personell eller antenning av gassblandinger.

Brudd i jordforbindelsen vil ikke merkes siden driftsstrømmen ikke går gjennom kabelarmeringen.

## **5.3 Berøring av armeringen med ledende, jordede gjenstander**

Her er det hverken fare for personell eller antenning av gassblandinger siden strøm og spenning i den tilgjengelige delen av strømkretsen er for lave. Se tabell 1.

## **5.4 Brudd eller kortslutning i kabelen (elektrisk)**

Registreres av operatøren som driftsfeil siden det enten ikke går strøm lenger eller det oppstår en kortslutning og utkobling. Dannelse av gnister kan skje, men ingen fare for høy berøringsspenning. Sannsynligheten for en skade pga ytre påvirkning er mindre enn for en vanlig kabel på dekk siden området mellom vinsjen og brønnhodet er avsperrert og under konstant kontroll av wire line personell.

En skade eller feil i kabelen vil ikke medføre andre eller større faremoment enn for en hvilken som helst kabel i et klassifisert område.

Når det oppstår høye mekaniske belastninger er kabelen strømløs (f.eks. under trekking av utstyr til overflaten).

## 6 RUTINER VED BRUK AV LOGGEKABEL

For å garantere en korrekt oppkobling gis det en instruks for oppkoblingen av strømforsyning og måleutstyr ved loggeoperasjoner.

- Ved sleperingsboksen på vinsjen blir det installert et sentralt jordingspunkt for strømforsyning til loggeutstyret. Jordingspunktet skal utføres i henhold til gjeldende forskrifter i form av en kobberskinne hvor hver kabelavgang har en egen skrueforbindelse.
- Returlederen fra loggeutstyrets strømforsyning (nøytrallederen, uten sikring) skal gjennom jordingsskruen på sleperingsboksen tilkobles her.
- I tillegg til driftsjord til elektrisk utstyr skal vinsjen ha en jordforbindelse til dekket (gods til vinsjen).
- Fra jordingspunktet strekkes en jordledning til grease hodet. Lederen skal ha en tverrsnitt på minst 70 mm<sup>2</sup> og lengden skal ikke overskride 50 m uten å øke ledertverrsnittet.
- Fra jordingspunktet strekkes en jordingskabel til gods på vinsjen med mindre selve jordingsskinne er betryggende festet i gods til vinsjen.

Hele installasjonen utføres i henhold til de relevante krav og retningslinjer som gjelder for midlertidig utstyr offshore.

## 7 KONKLUSJON

Med hensyn til praktiske problemstillinger er det vanskelig å overholde alle forskrifter for elektriske anlegg under loggeoperasjoner i brønnhull. Målinger viser derimot at det ikke foreligger berøringsfare for personell eller fare for antenning av gassblandinger i klassifisert område. Dette forutsetter at i avsnitt 6 nevnte rutiner overholdes. Målingene viser at strøm og spenning i tilgjengelige anleggsdeler ikke overskrider grenseverdiene for egensikre kretser i klassifisert område.

## **VEDLEGG 1**

### **BESKRIVELSE AV TRAKTOREN OG DENS TILLEGGSUTSTYR**

- V1.1 Traktorens funksjon og kraftforsyning**
- V1.2 Beskrivelse av traktorens virkemåte fra Aker Maritim**
- V1.3 Typiske tekniske data fra en monokabel som brukes under traktoroperasjoner**
- V1.4 Opprigging av utstyr under en loggeoperasjon**

## **V1 Beskrivelse av traktoren og dens tilleggsutstyr**

Vedlegg 1.1 beskriver traktorens funksjon og strømforsyning som fører til forutsetninger ved vurdering av sikkerhetsmessige aspekter ved drift av traktoren. Vedlegg 1.2 er basert på en mer detaljert presentasjon fra Aker Maritime som beskriver traktorens virkemåte og tekniske spesifikasjoner. Vedlegg 1.3 viser typiske tekniske data fra en monokabel som brukes under traktoroperasjoner.

### **V1.1 Traktorens funksjon og strømforsyning**

Når borehull har for stor avvik fra vertikalen er det ikke lenger mulig å senke loggeutstyr ned i borehull vha lodd. For å kunne utføre loggeoperasjoner i slike hull ble det utviklet et motordrevet redskap som skyver loggeutstyret foran seg som kalles for traktor.

#### **Traktor**

Traktoren som ble brukt under målingene som er utført i sammenheng med denne rapporten besto av et rør som er skrudd sammen av flere element. Fremdriften skjer vha metalliske hjul som drives av hver sin hydraulikkmotor. Hjulene presses hydraulisk mot brønnveggen. Til kraftforsyning brukes en elektromotor som driver en hydraulikkpumpe. Traktoren kan bare brukes i områder med stålforinger i brønnhullet, ikke i såkalte open holes uten casing. Vedlegg 1.2 viser en detaljert beskrivelse av traktoren og dens virkemåte fra Aker Maritim.

Elektromotoren krever en spenning på ca 440 V AC og en strøm på 5 –6 A. Startstrømmen kan komme opp i 10 A. Til overføring av måle-/styresignaler og kraftforsyning brukes samme kabel og en elektronisk krets i inngangen av traktoren skiller mellom måle-/styresignaler og kraftforsyning. Denne kretsen sørger for rette viderekobling av inngangsspenningen enten til motoren eller til loggeutstyret.

#### **Kabel**

Til overføring av måle-/styresignaler og kraftforsyning brukes spesielle kabler som må ha stor mekanisk styrke. Kabelen kan beskrives som stålwire med innlagte leder. Det kan være kabler med bare én eller flere ledere som befinner seg under flere lag med stålfordeller. Felles for bruken av slike loggekabler er at stålarmingen benyttes som returleder.

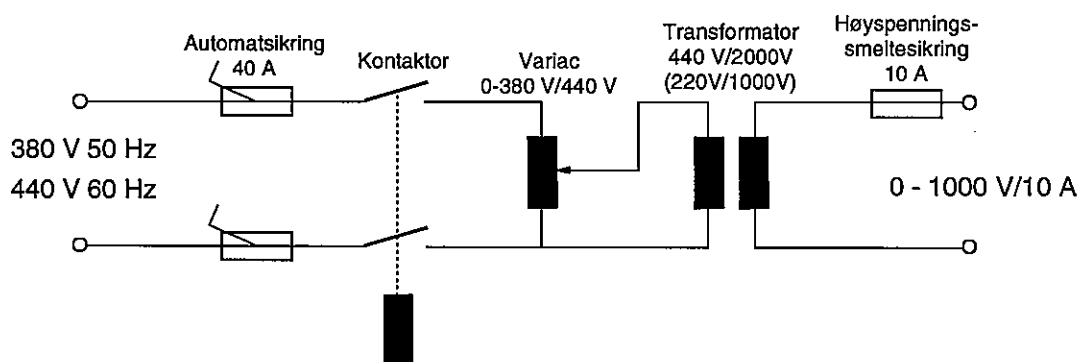
Til kabelen stilles krav om så lite totaltverrsnitt som mulig for å overvinne mottrykket fra brønnen som kan komme opp i flere hundre bar.

Det fører til begrenset ledertverrsnitt og forholdsvis stor spenningsfall over impedansen i lederen. Typiske data for en monokabel er vist i vedlegg V 1.3. Lengden av kabelen begrenses av impedansen i innerlederen av kabelen. Både traktoren og armeringen har elektrisk kontakt med casingen slik at returstrømmen går i den. Tverrsnittet av casingen er på flere tusen mm<sup>2</sup> og den har mye lavere elektrisk motstand enn armeringen.

## Kraftforsyning

Kraftforsyningen til traktoren består av en regulertransformator (variac), et kontrollpanel som bl a viser utgangsspenning og strøm og en transformator med galvanisk skille. Variacen har en mekanisk sperre slik at den nominelle omsetningen til spenningskilden begrenser utgangsspenningen til 1000 V.

Figur V1.1 viser de vesentlige komponenter til kraftforsyningen.



Figur V1.1: Koblingsskjema til traktorens kraftforsyning.

## V1.2 Beskrivelse av traktorens virkemåte fra Aker Maritim

### Beskrivelse av Well-Traktor



Aker Maritim

#### Følgende personell/utstyr vil være nødvendig ifm. traktor jobb :

For kontinuerlig operering vil det være behov for 2 traktor spesialister.

Overtrykkskontainer for overflate utstyr

8m toolbasket for transport av traktorer

Sleperings boks tilpasset for traktor

5/16" mono/coax kabel med riktige kabel parametre

1 traktor med back up

2 kontroll paneler

1 traktor powersupply

2 dc powersupplyer

#### Virkemåte

Traktoren startes når verktøystrengen ikke kommer lenger pga. deviasjon. Når traktoren ikke er aktivisert vil en ha forbindelse til det verktøy som er tilkoblet traktoren i bunn. Det kan være loggeverktøy, avfyringssystem for setting av plugger, fyring av kanoner etc.

Når traktoren skal kjøre skjer dette ved at en ved hjelp av kontroll panelet sender ned et digitalt pulstog som registreres av en mikroprosessor i traktorens "control unit". Denne sørger så for at en skifter forbindelse til motor i traktoren og en kan dermed tilføre spenning fra traktor powersupply (plassert i kontaineren). Motoren har i oppgave å drive hydraulikk pumpen som gir trykk for utsving og rotasjon av hjulene. Wireline versjonen har 3 drivseksjoner som er plassert slik at traktoren vil sentreres i røret. Hele traktoren med unntak av kontroll enheten er oljefyllt og vil ha et innvendigt overtrykk i forhold til omgivelsene uavhengig av brønn trykk. Dette sørger kompensatoren for.

Traktoren kan i sin nåværende utgave kun kjøre en retning og må trekkes tilbake vha. winchen. En må også velge om en skal kjøre traktor eller feks. logge.

Well-Tractor var ferdig uttestet sommeren 1996. Den har så langt blitt benyttet ifm. PLT, sement logg, plugg setting, perforering og kjøring av diverse mekaniske verktøy. Traktoren har vist gjennom disse operasjonene at den er meget solid laget og har ikke feilet slik at noen run har måttet bli kjørt på ny.

Traktoren er utprøvd sammen med verktøy fra MWS, Atlas og Schlumberger. Den vil innenfor kort tid også bli testet ut for kjøring med coax kabel for å verifisering av traktor/RST (Schlumberger), samt teste traktor/VSP (Read).





## MWS WELL TRACTOR

### Electric Version

The MWS Well Tractor is targeted for use in highly deviated and horizontal wells. It is a highly cost effective alternative for pushing downhole tools such as perforating guns, setting / pulling of plugs, PL - logging and operation of downhole tools.

The Well Tractor has been tested offshore with max pressure of 430 bar ( 6235 psi ) and a maximum speed of 46 ft/min.

#### Technical specifications:

*	Max OD:	85 mm	3,35 "
*	Max speed:	15 m/min.	50 ft/min.
*	Pullingforce:	3 kN	680 lbs.
*	Min ID of tubing:	85.4 mm	3.4"
*	Max ID of tubing:	175 mm	7.0"
*	Weight:	200 kg	440 lbs.
*	Length:	6,40 m	21 ft.
*	Temperature tested:	100° C	212° F
*	Temperature spec.:	150° C	302° F
*	Wireline configuration:	5 / 16" monoconductor	
*	Tensile strength:	170 kN	38.000 lbs.

Partner:

Welltec

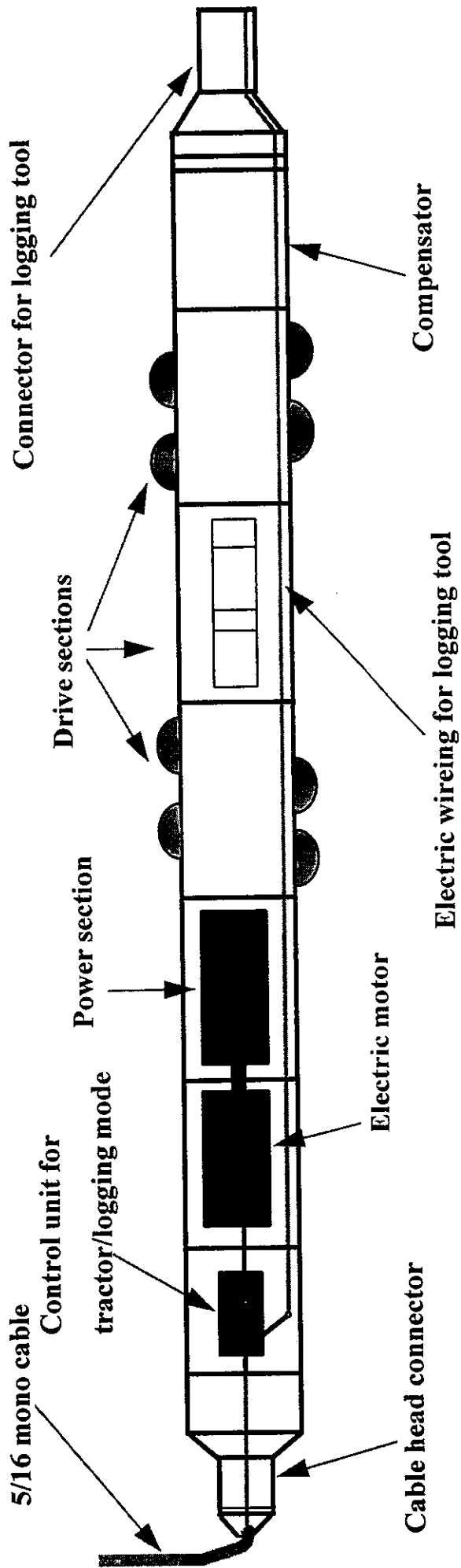
Project partner:

Statoil



Aker Maritime

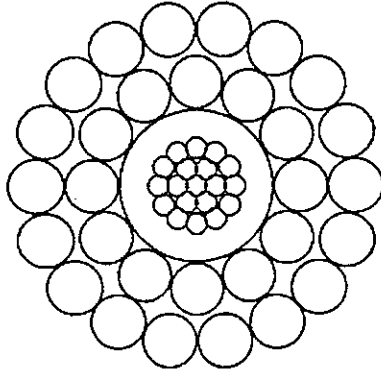
# Electric driven version



### V1.3 Typiske tekniske data fra en monokabel som brukes til traktoroperasjoner



PAGE 10



5/16" (8.18mm)  
MONOCABLE

1N32

Cable Diameter - .322"±.005" (8.18±.13mm)  
Cable Breaking Strength - 11,000lbs. (48.9KN.)  
Cable Stretch Coefficient (Nominal) - 1.2ft/Kft/Klbs  
1.3m/km/5KN

#### ARMOR

Inner - 12 Wires .0445" (1.13mm) Right lay, OD - .233" (5.92mm)  
Outer - 18 Wires .0445" (1.13mm) Left lay  
Average Wire Breaking Strength: Inner & Outer - 434lbs (1.93KN)  
Armor Electrical Resistance - 2.1ohm/Kft. (6.9ohm/km)

#### Core Construction

#### Finished Cable

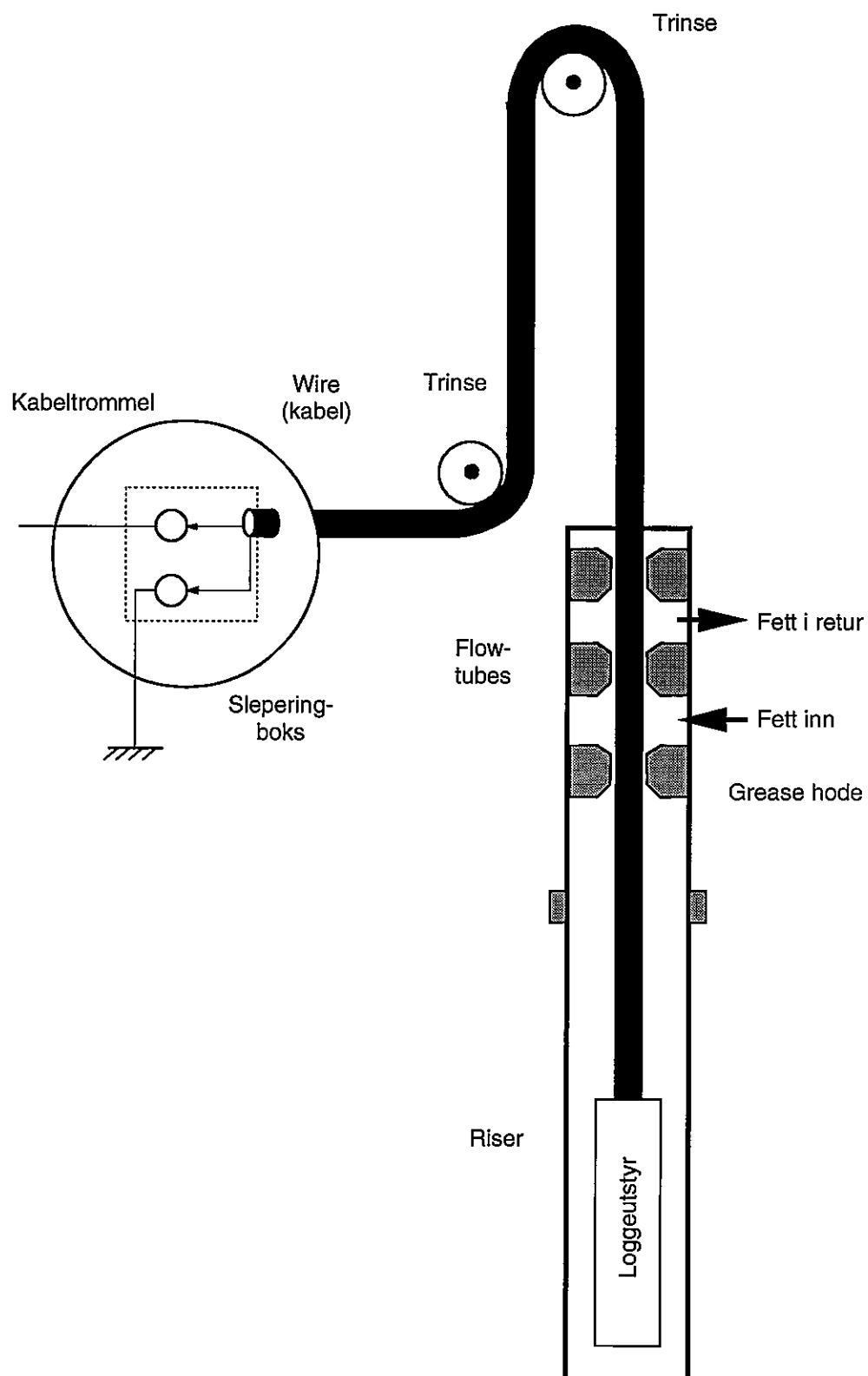
Cable Type	Temp. (Deg.C)	***** Insulation *****		***** Conductor *****		***** Minimum *****			Cable Weight		
		Type	Thick	Copper Const.	Res. Max.	Cap. Max.	OD	Maximum Voltage	Insulation Resistance	in air	in water spec. grav.
	Deg.F (Deg.C)	Polymer	in. (mm)	in. (mm)	ohm/Kft. (ohm/km)	pf./ft. (pf./m.)	in. (mm)	V.D.C.	Mohm/Kft. (Mohm/km)	lbs./1000 ft (kg./km.)	
1N32PP	300 (149)	Poly	.042 (1.07)	19x.0142 (19x.36)	3.1 (10.2)	50 (164)	.154 (3.91)	1500	1500 (460)	188 (280)	158 (235) 6.34
1N32PXZ	420 (204)	Camtane	.022 (.56)	19x.0142 (19x.36)	3.1 (10.2)	50 (180)	.115 (2.92)	1500	1500 (460)	191 (284)	161 (239) 6.44
		Tefzel	.020 (.51)				.154 (3.91)				
1N32PTZ	500 (260)	Teflon	.022 (.56)	19x.0142 (19x.36)	3.1 (10.2)	50 (164)	.115 (2.92)	1500	1500 (460)	192 (286)	162 (242) 6.49
		Tefzel	.020 (.51)				.154 (3.91)				
1N32PTA	550 (288)	Teflon	.022 (.56)	19x.0142 (19x.36)	3.1 (10.2)	50 (164)	.120 (2.92)	1500	1500 (460)	193 (287)	163 (242) 6.51
		PFA	.020 (.51)				.154 (3.91)				
1N32PE	600 (316)	TFE	.042 (1.07)	19x.0142 (19x.36)	3.1 (10.2)	50 (164)	.154 (3.91)	1500	1500 (460)	194 (289)	164 (245) 6.55

Stranded conductor blocked to prevent water and gas migration -  
"SUPERSEAL" applied between armor layers.

3/93

#### V1.4 Opprigging av utstyr under en loggeoperasjon

Det er ikke noe prinsipiell forskjell mellom opprigging av en loggeoperasjon med eller uten traktor. På toppen av juletreet monteres en eller flere rørseksjoner (riser) som inneholder loggeutstyret som etter åpning av diverse ventiler kan senkes ned i borehullet. Wiren som utstyret er festet til går gjennom tre trange stålforinger (flow tubes) for å tette rundt wiren (grease hodet). Mellom de to nederste stålforinger presses fett med et trykk som ligger ca 50 bar over brønntrykket for å unngå en utblåsing rundt wiren. Fett som siver ut fra den midterste foringen samles opp mellom den midterste og øverste foringen og returneres til fettpumpen. Wiren går rett opp til en trinse som henger i en kran, ned igjen og over enda en trinse til vinsjen. Ved kabeltrommelen til vinsjen er det montert sleperinger som kabelen er koblet til. Figur 1.2 skisserer oppriggingen under en loggeoperasjon.



Figur V1.2 : Skisse av opprigging til en loggeoperasjon.

## **VEDLEGG 2**

### **BESKRIVELSE OG RESULTAT FRA MÅLINGER**

- V2.1 Innledende målinger på Gullfaks A**
- V2.2 Målinger på forsøksbrønnen hos Maritime Well Service, Husøy**
- V2.3 Målinger på Gullfaks B**

## V2 Målinger: målsettinger, beskrivelser og resultat

Målsetting med målingene var å finne ut:

- om potensialdifferanser mellom uisolerte anleggsdeler kan medføre berøringsfare for personell og/eller fare for gnister som kan føre til antennelse av eksplosive gassblandinger
- om utilsiktet kortslutning mellom uisolerte anleggsdeler f eks med et verktøy kan føre til gnister og eksplosjonsfare.

Når en blank kabelarmering, som i denne sammenheng kan oppfattes som en blank, uisolert kabelskjerm, brukes som leder for returstrømmen kan spenningsfallet langs armeringen innebære et faremoment.

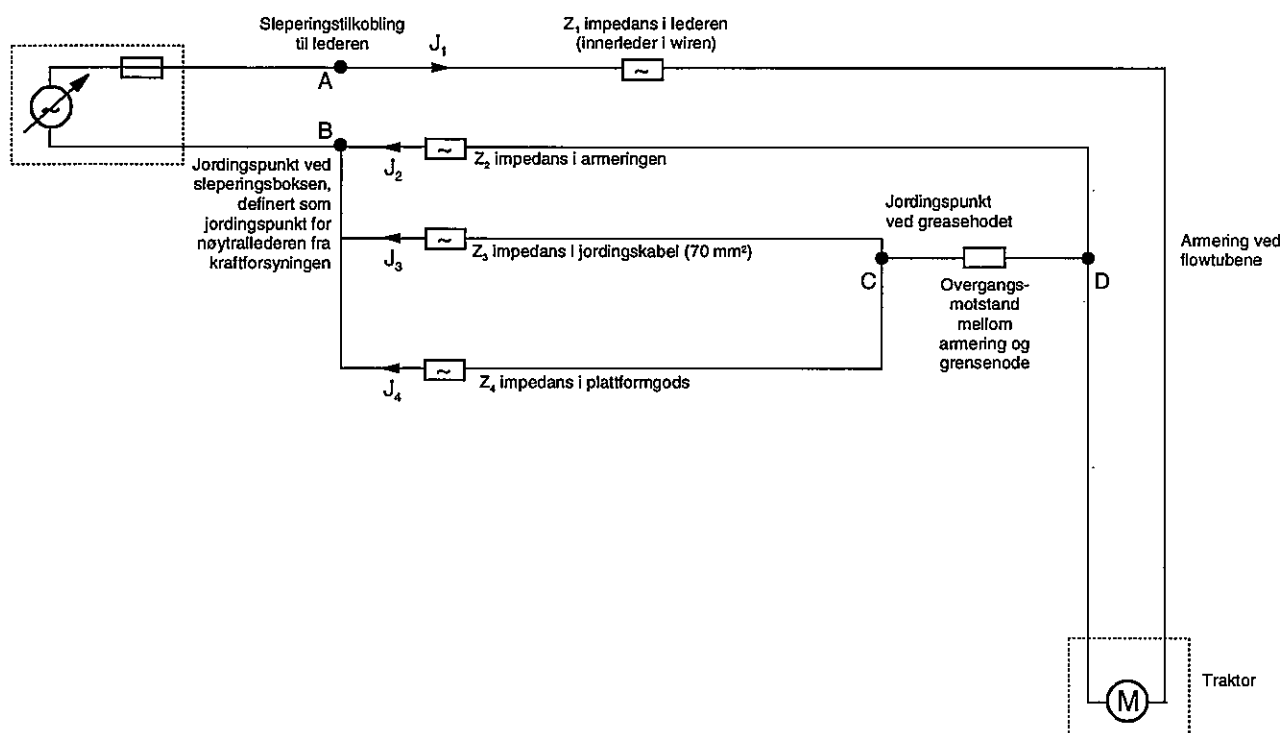
For å kunne utelukke faremomenter var det nødvendig å få bekreftet to antagelser.

1. Returstrømmen går hovedsakelig i casingen og plattformgods og bare i liten grad i armeringen. Dette forutsetter god elektrisk kontakt mellom traktor og/eller armering og plattformgods slik at det bare oppstår ubetydelige spenningsfall langs armeringen på dekk, dvs den delen av armeringen som befinner seg i et område hvor den kan berøres av personell eller hvor det er fare for antennelse av eksplosive gassblandinger.
2. Strømmen i armeringen er så lav at en elektrisk kontakt mellom armering og plattformgods ikke kan føre til strømmer som kan danne gnister og dermed forbundet faremoment

Følgende måleprogram ble satt opp:

- Innledende målinger for å kartlegge strømfordelingen av returstrømmen. Målingene ble utført på Gullfaks A og er beskrevet i vedlegg 2.1. Resultatene indikerte at antagelse 1 kunne være rett.
- Målinger ved forsøksbrønnen til Maritime Well Service på Husøy for å måle spenningsfallet mellom armering og gods i grease hodet. Dessuten ble spenningsfallet mellom jordingspunktet ved sleperingboksen og armeringen ved grease hodet målt. Dette representerer den størst mulige berøringsspenningen. Det største målte spenningsfall var  $< 150 \text{ mV}_{\text{rms}}$  og bekreftet antagelse 2. Målingene og resultat er beskrevet i vedlegg 2.2.
- Deretter ble det utført målinger på Gullfaks B for å verifisere hittil oppnådde resultat under en reel loggeoperasjon offshore. Under målingene på Husøy manglet en forbindelse gjennom plattformgods og det ble brukt to kobberleder med hver  $16 \text{ mm}^2$  tverrsnitt i parallell som returleder. En slik returleder i tillegg til plattformgods ble introdusert som sikkerhetstiltak og var tilkoblet under målingene på Gullfaks B. Resultatene indikerte ingen faremoment og er beskrevet i vedlegg 2.3.

For å få en forståelse av mulige strømbaner og strømfordeling ble det satt opp et ekvivalent-skjema. For oversiktens skyld brukes det konsentrerte komponenter som egentlig er fordelt over avsnitt av strømbaner. Det ble bare tatt hensyn til impedanser som har innflytelse på potensialforholdene mellom anleggsdeler som er av interesse for denne undersøkelsen. Impedanser som ikke kan føre til potensialforskjell som behandles her er neglisjert.



Figur V2.1: Ekvivalentskjema for impedanser og strømfordeling i strømkretsen for loggeutstyr



## V2.1 Innledende målinger på Gullfaks A

Oppkoblingen svarer til figur V2.1 med unntak av kabelen mellom jordingpunktene ved sleperingsboksen og grease hodet som hadde en tverrsnitt på  $16 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$ . Målingene ble utført med et tangampermeter. Ved måling av strømmen i kabelen viser et tangampermeter summen av strømmer innenfor tangen, dvs instrumentet måler strømmen i lederen minus strømmen i armeringen. Når strømmen i lederen er kjent beregnes strømmen i armeringen som differanse mellom strømmen i lederen og måleverdien for måling rundt kabelen. Denne differansen var ca  $0,1 \text{ A}$  ved ulike målinger med driftstrømmer for traktoren på  $4,9 - 5,2 \text{ A}$

Teoretisk er det mulig å kontrollmåle og beregne strømmen i armeringen ( $I_2$ ) som differanse mellom driftsstrømmen ( $I_1$ ) og strømmen i jordingskabelen  $70 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$  ( $I_3$ ) og strømmen i plattformgods ( $I_4$ ).

$$I_2 = I_1 - (I_3 + I_4)$$

Men det er fysisk umulig å måle strøm  $I_4$  mot plattformgods. Vinsjen er jordet og en del av strømmen som går gjennom sleperingen til armeringen på trommelen går til grease hodet ( $I_2$ ) og en del går til jord siden armeringen ligger uisolert på en jordet trommel. Denne andelen av strømmen er et bidrag til strømmen gjennom plattformgods ( $I_4$ ) som for det meste går gjennom jordforbindelsen mellom jordingpunktet ved sleperingsbokser og gods.

## V2.2 Målinger på forsøksbrønnen hos Maritime Well Service, Husøy

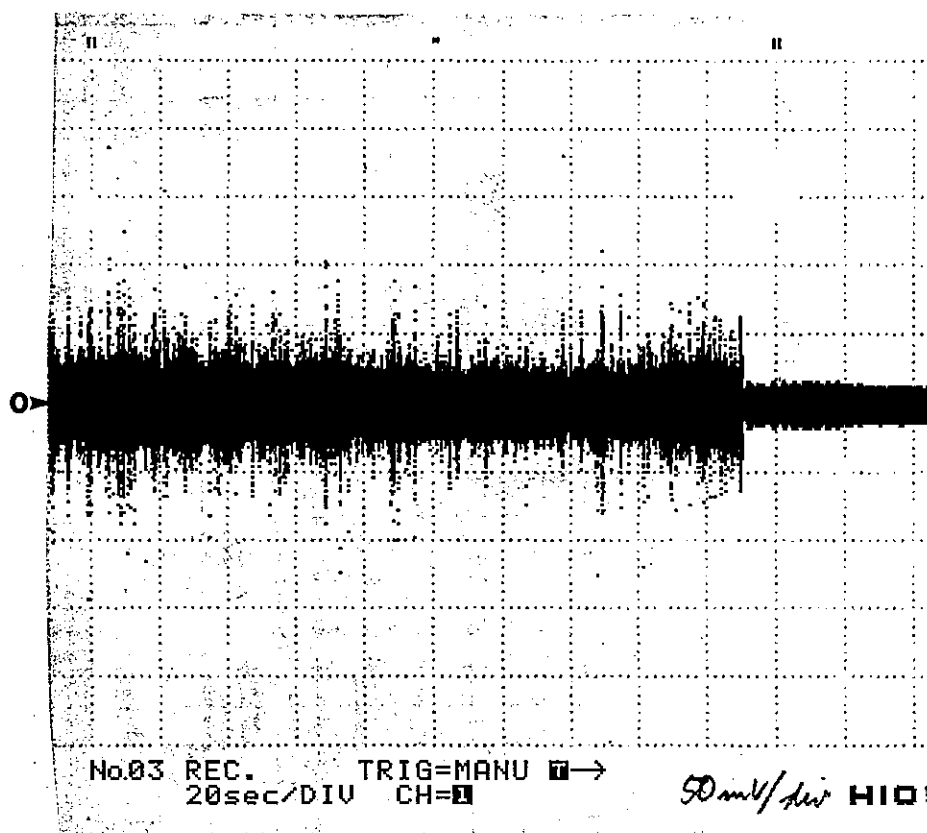
Oppkoblingen svarte til skjemaet i figur V2.1 unntatt forbindelsen gjennom plattformgods. Forsøksbrønnen befinner seg på land og som returleder ble to kobberkabler med tverrsnitt på  $16 \text{ mm}^2$  koblet i parallell.

Det ble målt:

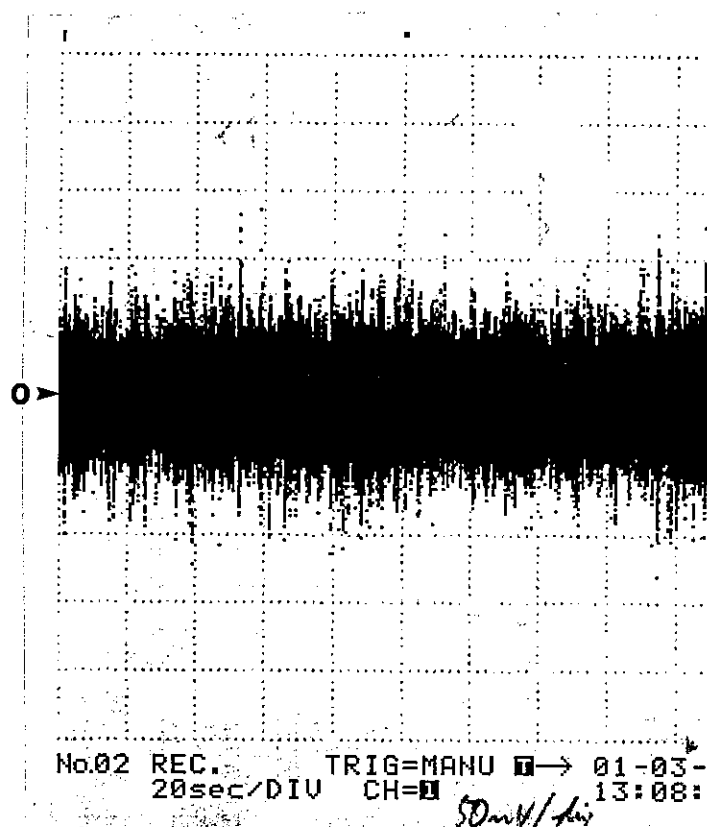
- spenningsfall mellom armeringen ved grease hodet og jordingpunktet ved sleperingsboksen.
- spenningsfall mellom armeringen ved grease hodet og grease hodet.

Målingene ble utført både med flow tuber som var forholdsvis romme og et sett med trange flowtuber. Overgangsmotstanden mellom armeringen og grease hodet gjennom flow tubene fører til en spenningdifferanse mellom uisolerte anleggedeler på dekk som kan berøres og kortsluttes.

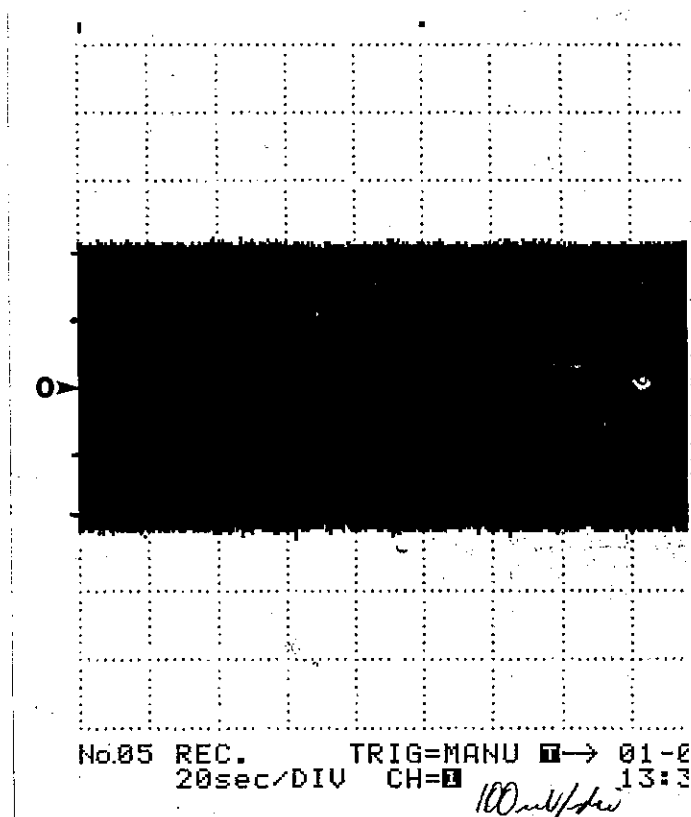
Målingene ble foretatt vha en transientrekorder som har innbygget skriver og et digitalt multimeter (Fluke 76, true rms). Under målingene var kabelen i bevegelse siden det viste seg at spenningen var da størst, vist i figur V2.2. For å kunne registrere spenningene over lengere tid ble det valgt en tidsbase på  $20\text{s/div}$ . Det fører til at utskriften viser et bånd som representerer en spenning målt fra peak to peak. Alle målinger er utført ved en strøm på  $10 \text{ A AC}$  unntatt sammenligningen for kabelen i bevegelse og kabel i stillstand i figur V2.2. Her var strømmen  $5 \text{ A}$ .



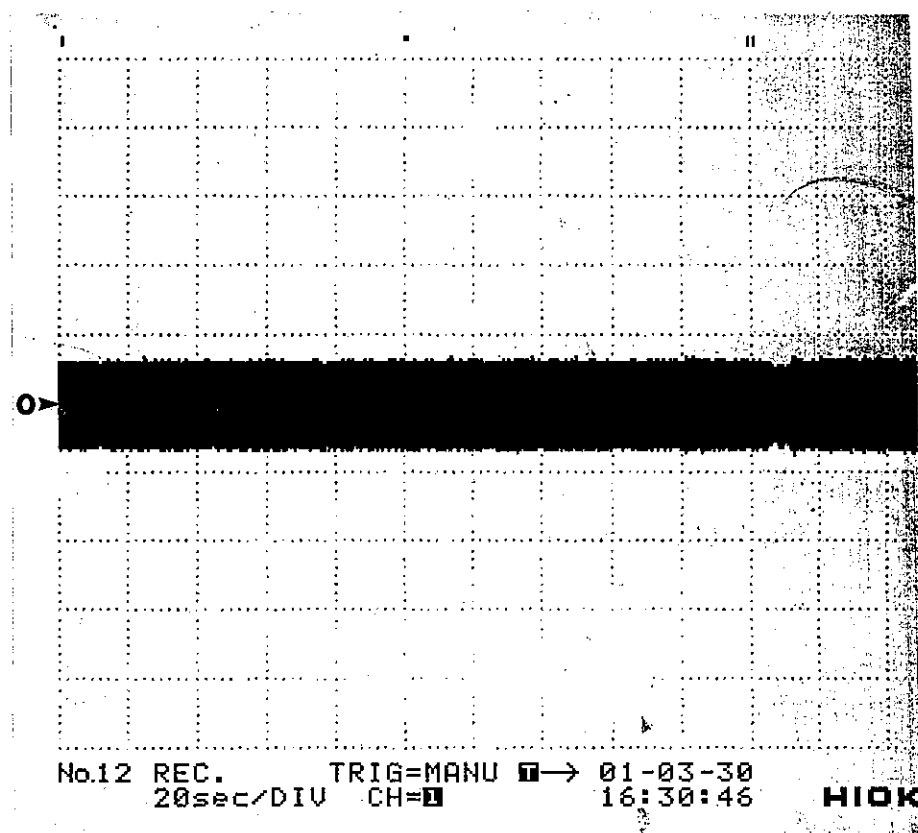
Figur V2.2: Sammenligning av spenningfallet mellom armering og grease hodet (punkt D og C i figur V2.1). Tid: 20s/div, spenning: 50mV/div.



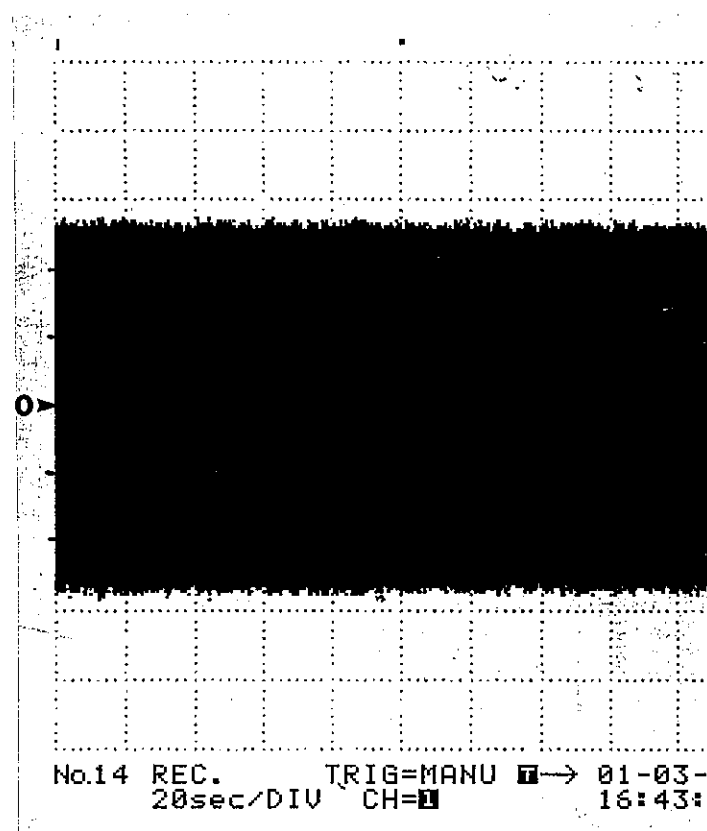
Figur V2.3: Spenningsfall mellom armering og grease hodet ved rome flow tuber (punkt D og C i figur V2.1). Tid: 20s/div, spenning: 50mV/div.



Figur V2.4: Spenningsfall mellom armering og jordingspunktet ved sleperingboksen (punkt D og B i figur V2.1) ved røme flow tuber. Tid: 20s/div, spenning: 100mv/div.



Figur V2.5: Spenningsfall mellom armering og grease hodet ved trange flow tuber (punkt D og C i figur V2.1). Tid: 20s/div, spenning: 10mV/div.



Figur V2.6: Spenningsfall mellom armering og jordingspunktet ved sleperingboksen (punkt D og B i figur V2.1) ved trange flowtuber. Tid: 20s/div, spenning: 50mv/div.

Tabell V2.1: Oversikt over målte spenninger ved forsøksbrønnen på Husøy

Flow tuber	Spenning mellom punkt C og D		Spenning mellom punkt B og D	
	$U_{\text{peak to peak}}$	$U_{\text{rms}}$	$U_{\text{peak to peak}}$	$U_{\text{rms}}$
Romme	220mV	18-28mV	420mV	140mV
Trange	13,5mV	4,4mV	280mV	90mV

### V2.3 Målinger på Gullfaks B

Innledende målinger på Gullfaks A og målingene på Husøy ga resultat som tyder på at det er trygt å bruke monokabel eller flerlederkabel med armeringen som returleder. For å verifisere dette ble det utført målinger av både strømfordeling og mulige berøringsspenninger under en traktoroperasjon på Gullfaks B. Oppkoblingen svarer til ekvivalentskjemaet i figur V2.1 og både forbindelsen i plattformgods og en jordingskabel på 70mm<sup>2</sup> Cu mellom jordingspunktet ved sleperingboksen og grease hodet var tilstede.

## Strømmålinger

Strømmålingene som er utført på samme måten som på Gullfaks A som er beskrevet i vedlegg V2.1 ga reproduserbare resultat og strømmen i armeringen mellom vinsjen og grease hodet var 0.08A– 0,1A.

## Spenningsmålinger

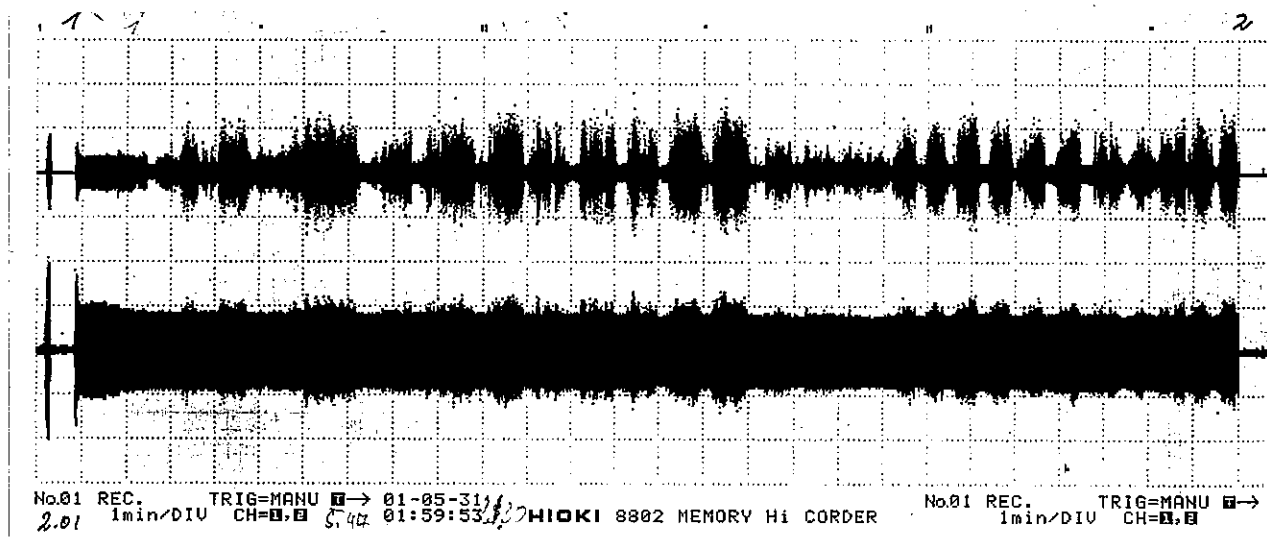
Spenningsmålingene ble utført med samme transientrekorder og fremgangsmåte som på forsøksbrønnen på Husøy.

Registreringen av spenningen forgikk under hele loggeoperasjonen over flere timer. Pga en bedre jordforbindelse mellom jordingspunktet ved sleperingsboksen og grease hodet ble det forventet at mulige berøringsspenninger ville bli lavere enn spenningene som ble målt på Husøy. Denne antagelsen ble bekreftet og spenningsdifferanser mellom uisolerte anleggsdeler overskred aldri en peakverdi på 210mV. Kurveformen på spenningen var tilnærmet sinusformet med bare ubetydelige peak på toppen av enkelte halvbølger. Slike spenningspeakere kommer fra spenningsfall over kontaktovergangen mellom armering og flowtubene i grease hodet. Figurene V3.1 – V3.4 viser representative utsnitt fra utskriften for spenningsmålinger.

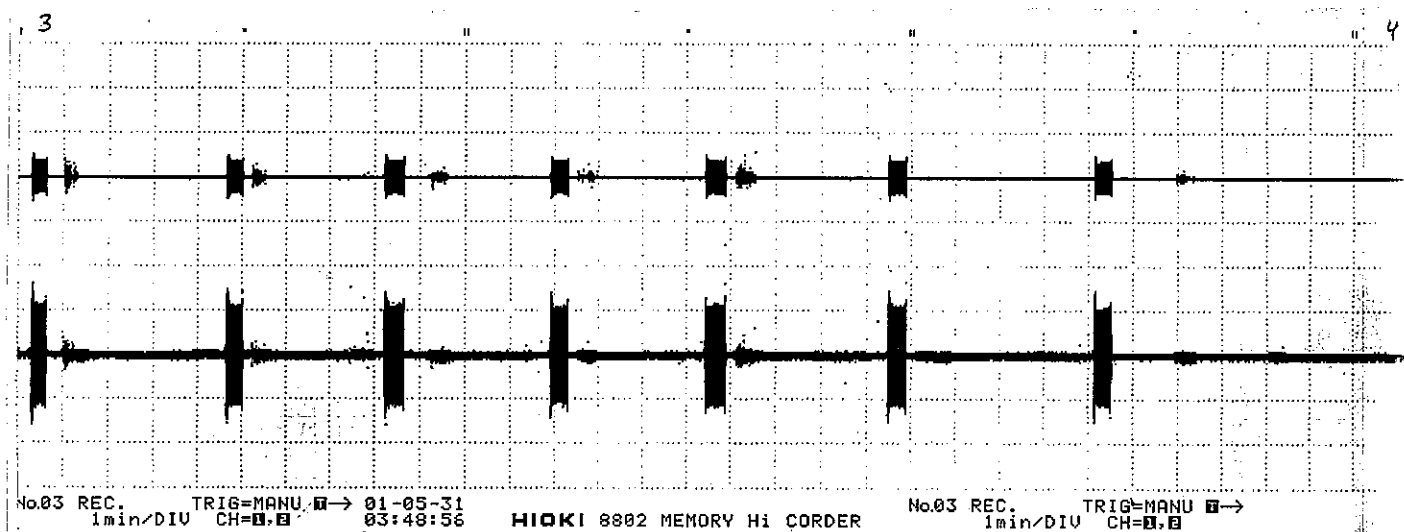
Resultatene fra målingene både av peakverdiene og kurveform gir en effektivverdi for spenningen på < 150mV for spenningen mellom armeringen ved grease hodet og jordingspunktet ved sleperingsboksen (spenning mellom punkt D og B i figur 2.1). Denne spenningen er den størst mulige berøringsspenningen mellom uisolerte anleggsdeler og er summen av spenningsfallet i jordingsystemet (spenning mellom punkt C og B i figur V2.1) og spenningsfallet mellom armering og greasehodet (spenning mellom punkt D og C i figur C2.1).

Kommentarer til utskriftene i figurene V2.7 – V-2.10:

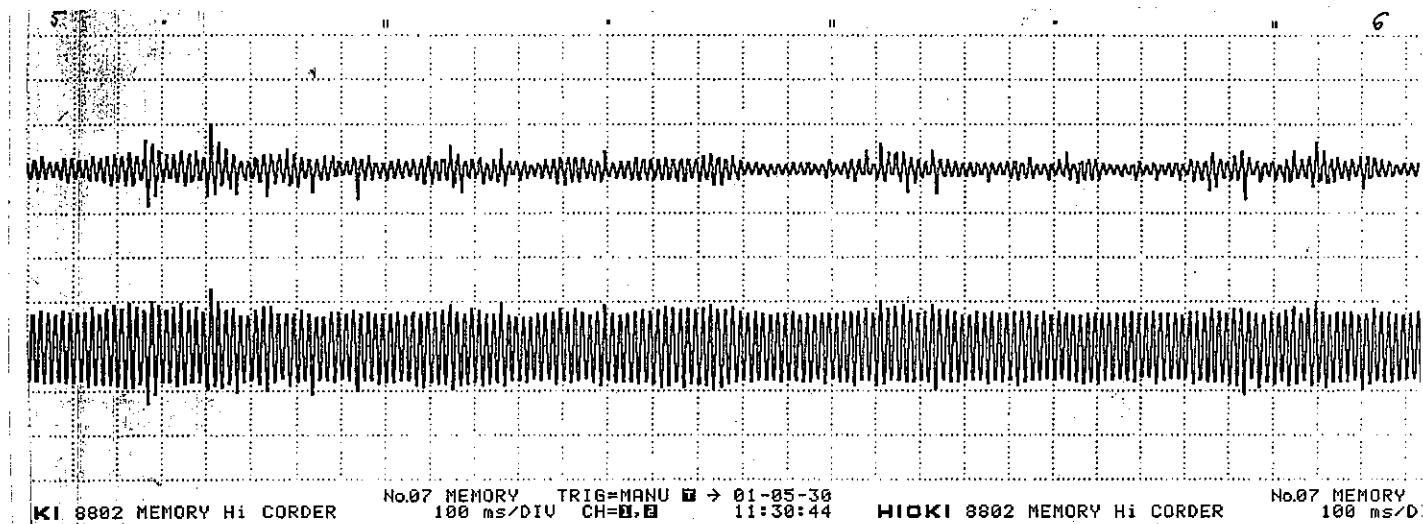
Under registrering av spenningen som pågikk over lengere tid ble spenningen mellom armering og grease hodet (punkt D og C i figur V2.1, øverste kurve) og spenningen mellom armering og jordingspunktet ved sleperingsboksen (punkt D og B i figur V2.1, nederste kurve) skrevet ut på samme utskrift.



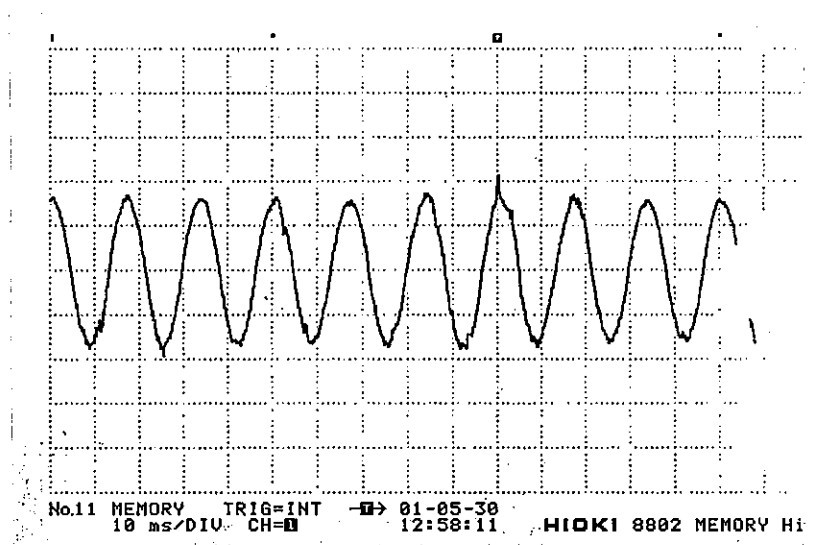
Figur V2.7: Start – stop – start – drift, stasjonær strøm :ca 5,4A, begynnelse av kabelen som er forholdsvis slitt slik at det blir relativ store spenningsvariasjoner over kontakt-overgangen mellom armeringen og grease hodet (øverste kurve). Tid: 1min/div, spenning: 100mV/div for begge kurver.



Figur V2.8: Flere start og stop, stasjonær strøm ca 5,5A. Tid: 1min/div, spenning: 100mV/div for begge kurver.



Figur V2.9: Drift med ca 5,5A stasjonær strøm, bedre tidsoppløsning som viser sinusformed spenning med overlagrede peaker. Tid: 100ms/div, spenning 100mV/div for begge kurver.



Figur V2.10: Spenning mellom armering og jordingspunktet ved sleperingboksen og (punkt D og B i figur V2.1) med en tidsoppløsning som viser innflytelsen av kontaktovergangen i flow tubene. Tid: 10ms/div, spenning: 100mV/div.

## **VEDLEGG 3**

### **DETALJERTE REFERANSER TIL NORMER OG FORSKRIFTER**

**(Forklaringer av konklusjoner og tolkninger av  
normer og forskrifter, diagrammer fra IEC 79-11)**



## **V3 Referanser til nasjonale forskrifter for elektriske anlegg og internasjonale normer**

### **Personsikkerhet**

Spørsmålet om berøringsfare og elektrisk støt ble ikke videre undersøkt med hensyn til grenseverdier i nasjonale forskrifter eller internasjonale normer. Den maksimale målte spenningen var 210mV peakverdi og 150mV effektivverdi. Slike spenninger representerer ingen fare for personer.

Fare for antennelse av eksplosive gassblandinger i Ex-område:

Vi tok utgangspunkt i:

"Forskrift om elektriske anlegg i petroleumsvirksomheten, fastsatt av Oljedirektoratet 8.1.1991 i medhold av forskrift om sikkerhet mv, fastsatt ved kgl res 28. juni 1985, § 7, jf §§ 37 og 38, jf Kommunal- og arbeidsdepartementets delegeringsvedtak 28. juni 1985. Sist endret 8. mars 1995 og 22. mars 1996".

Denne forskriften refererer i § 14 "Særskilte tekniske og operative krav" til

"Forskrifter for elektriske anlegg - Maritime installasjoner - FEA-M", fastsatt av Norges vassdrags- og energiverk 1. mars 1990.

For prosessanlegg og ved bruk av brønntestingsutstyr gjelder i tillegg § 808 i

"Forskrifter for elektriske bygningsinstallasjoner - FEB" fastsatt av Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen", 20. desember 1989, med ikrafttredelse 1. januar 1991.

FEA-M og FEB refererer dessuten til

IEC-publikasjon 79-11 "Electrical apparatus for explosive gas atmospheres, Part 11 Intrinsic safety "i". FEA-M refererer til utgaven fra 1989 mens FEB ikke oppgir til hvilken utgave som refereres. Den nyeste utgaven er fra november 1991 og er brukt i denne rapporten.

I henhold til FEB §808 svarer brennbare gasser i det område hvor logging av oljebrønner foregår til gruppe II A. Etter inndelingen for område og sone foregår loggeoperasjoner i områdekategori av (gass) og sone 1 (under normale driftsforhold forekommer leilighetsvis eksplosive gassblandinger).

I henhold til FEB §808.7.4.3 behøver utstyr som ikke overskrider følgende grenseverdier ingen prøving:

- Spenning: 1,2V
- Strømstyrke: 0,1A
- Energi: 20µJ
- Effekt: 25mW

Den maksimale strømmen som ble målt i armeringen mellom kabeltrommelen og grease hodet var 0,1A. Når det oppstår en ledende forbindelse mellom et sted på armeringen og gods vil bare en del av denne strømmen gå denne veien pga overgangsmotstander i denne forbindelsen. Dvs at kortslutningsstrømmen fra en mulig strømkilde er  $<0,1A$ . For ikke å overskride en effekt på 25mW må da den drivende spenningen i kretsen ikke overskride en effektivverdi på 250mV. Den største målte effektivverdien var  $<150mV$ . Kravene for grenseverdiene for strømstyrke, spenning og effekt er oppfylt.

Energien er produktet av effekt og tid. Det er tvilsomt om det er mulig å oppnå en gnist med en drivende spenning som er så lav som 210mV som er den største peakverdien for spenningen som ble målt. For å overskride en energi på  $20\mu J$  i en gnist måtte denne ha en varighet på mer enn 1ms, siden energi er produktet av effekt og tid. Dette er lite sannsynlig med en drivende spenning på  $<210mV$  og en strøm på  $<0,1A$ .

IEC-publ. 79-11 gir grenseverdier for egensikre kretser som må verifiseres som ligger mye høyere. Kretsen betraktes som induktiv slik at referansekurven i figur 5 i IEC-publ.79-11 brukes for å bestemme den maksimal tillatte induktansen i kretsen. For rent resistive kretser stilles mindre krav enn for induktive kretser.

Generelt kan man gå ut fra at en ledersløyfe i luft har en induktans på ca  $1\mu H$  per  $m^2$ . Ved en loggeoperasjon vil arealet i sløyfen mellom kabelen og gods ikke overskride  $20-30 m^2$ . Man kan med god margin forutsette at induktansen i kretsen er  $<100\mu H$ .

Etter IEC-publ. 79-11 er da grenseverdiene for spenning og strøm henholdsvis 24V og 0,95A i sone IIA. Målte verdier for spenning og strøm under loggeoperasjonen ligger med stor margin under disse grenseverdier.

- 98 -

79-11 © CEI

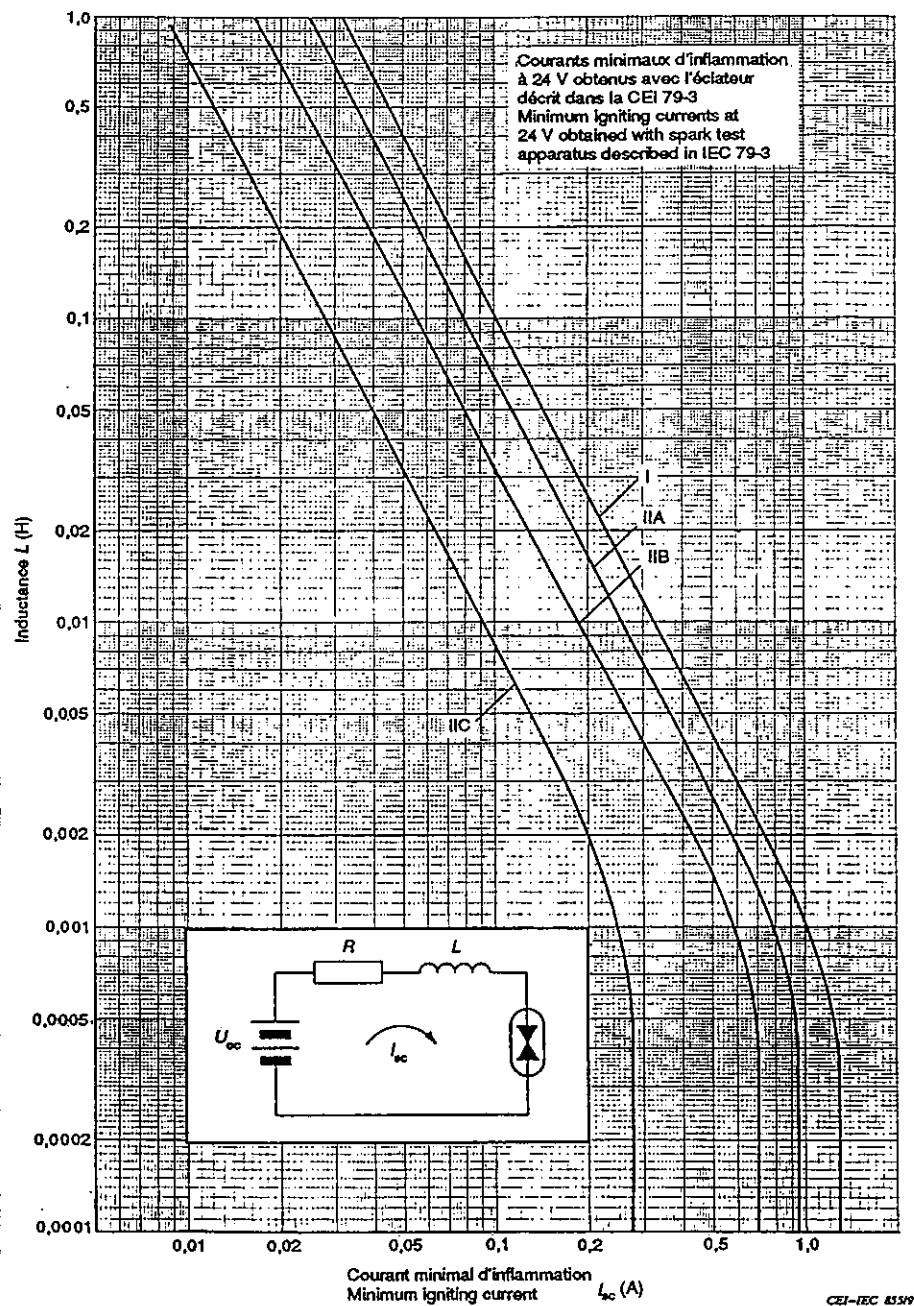


Figure 5 - Circuits inductifs

Inductive circuits

Figur V3.1: Sammenheng for grenseverdier for induktans og strøm for egensikre kretser ved en spenning på 24V i henhold til IEC publ. 79-11.

**SINTEF Energiforskning AS**  
Adresse: 7465 Trondheim  
Telefon: 73 59 72 00

**SINTEF Energy Research**  
Address: NO 7465 Trondheim  
Phone: + 47 73 59 72 00