

**SINTEF Energi AS**Postadresse:  
Postboks 4761 Sluppen  
7465 TrondheimSentralbord: 73597200  
Telefaks: 73597250energy.research@sintef.no  
www.sintef.no/energi  
Foretaksregister:  
NO 939 350 675 MVA

# Prosjektnotat

## Statisk elektrisitet i førslinger

**VERSJON**

2.0

**DATO**

2014-01-14

**FORFATTER(E)**

Odd Lillevik

**OPPDRAGSGIVER(E)**

Aquaculture Engineering AS

**OPPDRAGSGIVERS REF.**

Guttorm Lange

**PROSJEKTNR**

502000237 /14X74031

**ANTALL SIDER:**

14

**SAMMENDRAG**

Transport av før til fisken i fiskemerder gjøres via plastslinger fra en sentral og ut til de enkelte merdene. Føret blåses ut med trykkluft. Et problem i denne forbindelse er at det under spesielle klimatiske forhold med tørt og kaldt vær avsettes elektriske ladninger på innsiden av plastrørene. Disse ladningene kan bli liggende lenge i rørene. Det har vist seg at personer, som senere skal håndtere disse rørene, har blitt utsatt for elektriske strømstøt. Disse støtene har vært så kraftige at det har medført innleggelse på sykehus. For å hindre slike strømutviklinger, er det satt i gang et prosjekt for å finne ut hvilke tiltak som kan settes i verk. Det er gjort forsøk med forskjellige typer tilsetninger i plastmaterialet som rørene er laget av. Videre er det foreslått tiltak som driftspersonalet kan gjøre for å sikre seg mot slike ulykker. I denne delen av arbeidet, som denne rapporten tar for seg, har en særlig gått inn på å belyse de fysiske fenomenene rundt statisk elektrisitet. På bakgrunn av ulykkene som har funnet sted, er det undersøkt en del tiltak for å redusere ulykkene. Det er prøvd med svakt ledende (halvledende) materiale i plastrørene og det er foreslått tiltak for å utlade arbeidsstedene før arbeidet på rørene settes i gang.

**UTARBEIDET AV**

Odd Lillevik

**SIGNATUR****GODKJENT AV**

Rolf Hegerberg

**SIGNATUR****PROSJEKTNOTAT NR**

AN 13.14.66

**GRADERING**

Åpen

# Historikk

---

<b>VERSJON</b>	<b>DATO</b>	<b>VERSJONSBESKRIVELSE</b>
1.0	2013-09-30	Gjennomgang av oppdragsgiver
2.0	2014-01-14	Notatet har fått status "Åpen" etter ønske fra oppdragsgiver

# Innholdsfortegnelse

1	BAKGRUNN .....	4
2	GENERELT.....	4
3	FØRSLANGER MED ULIK UTFØRELSE.....	6
4	ANSKUELIGGJØRING AV ELEKTROTEKNISKE BEGREPER .....	7
5	BEGREPET SPENNING.....	8
6	TILTAK FOR Å HINDRE ULYKKER VED STATISK ELEKTRISITET .....	9
7	TEST MED STÅLHANSKER .....	10
8	KOMMENTARER TIL RESULTATENE.....	13
9	KONKLUSJON .....	13
10	INSTRUMENTLISTE.....	14

## 1 BAKGRUNN

Statisk elektrisitet har forårsaket alvorlige ulykker ved at utladninger (gnister) har ført til antennelse av brennbare medier og påfølgende eksplosjoner (støvekspløsjoner i siloer, eksplosjoner av brennbare gasser mm). Det er derfor utført et omfattende arbeid i forskjellige forskningsmiljøer for å forstå fenomenet bedre og komme fram til tiltak for å hindre ulykker. Statisk elektrisitet er også velkjent som et ubehagelig fenomen i hverdagen, hvor en lett kan bli utsatt for elektriske støt under forskjellige forhold (tepegulv og metall-rekkverk, etter å ha sittet i bilen for så å gå ut og låse den). Det er likevel ikke kjent at statisk elektrisitet har forårsaket så alvorlige tilfeller som det rapporteres fra oppdretnæringen, hvor det er rapportert at personer har havnet på sykehus forårsaket av elektriske støt ved håndtering av førslinger. En vil i denne korte rapporten prøve å belyse fenomenet statisk elektrisitet og komme med forslag til tiltak som kan gjøre arbeidet med førslinger trygt og sikkert.

## 2 GENERELT

I vår hverdag har vi mye omgang med elektrisitet. Slik vi best kjenner elektrisiteten, er det ladninger som er i bevegelse og som således danner en elektrisk strøm i en elektrisk krets. Statisk elektrisitet er ladninger som er i ro i mangel på en elektrisk krets som ladningene kan flyte i. Så fort det åpner seg en mulighet til å danne en krets, vil ladningene sette seg i bevegelse og en får en kortvarig elektrisk strøm som gir utladning.

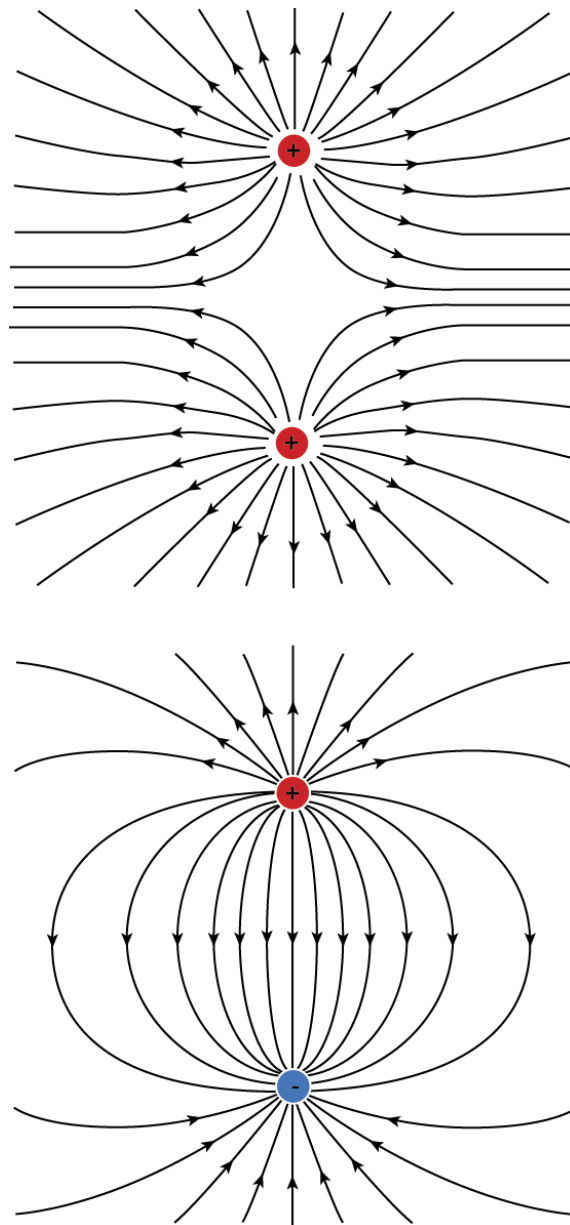
Ut fra den betraktning at summen av ladninger i universet er lik null, vil en ladning som befinner seg et sted ha en tilsvarende ladning med motsatt polaritet et annet sted. Tenker en seg et fritt elektron, som har negativ ladning, vil det finnes et proton med positiv ladning et annet sted. En større ansamling av negative ladninger et sted har blitt til på bekostning av at disse er tatt fra et annet område som i utgangspunktet var nøytralt, men som nå er positivt ladet. For at ladninger skal skille seg, må det bli tilført energi til systemet. For betraktninger rundt statisk elektrisitet, kan dette skje i form av gnissing mellom to isolerende materialer eller at et medium strømmer igjennom et isolerende rør. Ladninger kan også avsettes på ledende materialer, men for å få en ladningsoppbygging her må det ledende området være elektrisk isolert fra omgivelsene ellers.

Mellom ladninger med ulik polaritet virker det en kraft som prøver å trekke ladningene sammen og gjøre området nøytralt igjen. For at det skal bli mulig for ladningene og forenes, må det være et medium mellom ladningene som leder strøm, dvs. åpne muligheten for å få elektronene til å flyte mellom ladningskonsentrasjonene. Mellom ladninger settes det opp et elektrisk felt. Feltbildet vil bli forskjellig om det er like ladninger eller om det er ulike ladninger. Fig.1 viser en illustrasjon av dette. Er det ulike ladninger, vil feltlinjene gå fra positiv ladning og ende opp på negativ ladning. Er det like ladninger, vil de resulterende feltlinjene søke seg vekk fra hverandre.

På en ladning, som befinner seg i et elektrisk felt, vil det virke en kraft. Det er det elektriske feltet fra motstående ladning som er årsak til at det virker en kraft mellom ladningene.

En ladning kan detekteres ved det elektriske feltet ladningen omgir seg med. En måte å måle det elektriske feltet på er å anvende en såkalt feltmølle. Et legeme, som blir tilført en ladning, vil innta et elektrisk potensial, en spenning mot sine nære omgivelser. Et elektrisk felt er potensialforskjeller i rommet. Kapasitans er et annet begrep. Dette er systemets evne til å ta opp ladning. Avhengig hvor stor denne kapasitansen er, kan en gitt ladning gi forskjellig spenning. Stor kapasitans betyr at systemet kan ta opp mye ladning i forhold til spenningen.

Kapasitansen er igjen avhengig av det ledende arealet på legemet og avstanden dette har mot omgivende flater. Således kan store flater med liten avstand til sine omgivelser oppta mye ladning uten at spenningen blir særlig høy. Dette kan likevel bli farlig ved berøring, da den tilførte ladningen forårsaker mye strøm ved utladning. Det er ikke bare strømmens verdi som er farlig, men også hvor lenge strømmen varer. Ofte betrakter en virkningen av strømmen som den energien som avsettes i den motstanden der strømmen flyter. Strømmen kommer da inn i andre potens, mens tiden blir i første potens. En snakker da om  $I^2t$ -verdien av strømmen. Denne verdien får da dimensjon  $A^2s$ .



Figur 1: Øverst: Feltbildet fra to like ladninger. Nederst: Feltbilde fra ulike ladninger.

### 3 FØRSLANGER MED ULIK UTFØRELSE

En ser først på tilfellet med konvensjonelle førslanger som består av ren plastisolasjon, fortrinnsvis polyetylen. Dette materialet er nærmest å betrakte som en fullstendig isolator. Overflata er også av en slik beskaffenhet at lite fester seg. I tørr tilstand blir overflateledningsevnen lav, nærmest isolerende. Tenker en seg at det strømmer pellets igjennom plastslangen vil pelletene avsette negative ladninger på innsiden av slangen. Dette forårsaker at overflata tilføres en elektrisk strøm som går til ladningsoppbygging. Ladningene vil sette opp et elektrisk felt, hvor feltlinjene vil ende på de ledende omgivelsene utenfor plastslangen som har motsatt ladning. Siden overflata er isolerende, vil det elektriske feltet gå radielt ut fra overflata og i lufta utenfor. Ved å anvende en feltmølle på utsiden av slangen, kan en måle det elektriske feltet ladningene inne i slangen setter opp. Normalt, hvis overflata holder seg tørr og ren, vil en ikke få noe støt om en tar på en slik slange. Verre kan det bli dersom slangen utsettes for vekslende værforhold. Ved duggfelling på overflata, vil den begynne å lede svakt. De frie elektronene blir påvirket av en kraft fra feltet. De vil strømme vekk og området blir positivt ladet. Tenker en seg at overflata igjen tørker opp, vil området fortsatt være positivt ladet. Berører en nå disse positivt ladde områdene utenpå slangen, vil det oppstå utladninger.

Tenker en seg videre at overflata utvendig på plastrøret blir forsynt med et belegg med en viss ledningsevne vil de negative ladningene, som avsettes inne i røret, på samme måte sette opp et elektrisk felt som påvirker de frie elektronene med en kraft i det ledende laget på utsiden av røret. De frie elektronene vil strømme vekk langs det ledende laget og etterlate seg positive ladninger. Det ledende laget vil bli positivt ladet med en ladningstetthet som er tilnærmet like stor som de negative ladningene som er inne i røret. Prøver en nå å måle den elektriske feltstyrken utenfor slangen, vil en måle tilnærmet null felt. Årsaken til dette er at de positive ladningene i belegget vil skjerme for de negative ladningene på innsiden av slangen. En har nå fått avgrenset det elektriske feltet til volumet (plasten) i slangeveggen. Her har en nå fått et sterkt elektrisk felt. Det elektriske feltet forårsaker at det er en potensialforskjell, en spenning mellom utsiden og innsiden av røret. Faktisk kan det elektriske feltet bli så stort at en får et elektrisk gjennomslag i plastveggen (har skjedd i plastslanger med oljestrømning!). Prøver en å sage av en slange som har stor ladningsoppbygging på innsiden av røret, vil det oppstå et strømstøt idet sagen bryter igjennom. Avhengig av hvor god ledningsevne det ytre belegget på røret har, kan det bli en spenningspuls på sagen som vil vare en tid. God ledningsevne i det ledende belegget er gunstig, da spenningspulsen får kortere varighet og kanskje også lavere toppverdi. Ved kapping av denne type slanger bør sagbladet være forbundet med jord med en egen ledning.

Et annet forhold en også bør være klar over når en anvender slanger med halvledende (svakt ledende) belegg, er at det er viktig at en ikke har brudd i det ledende belegget noen steder. Blir det partier av belegget som ikke har kontakt med jord eller hverandre, kan det her oppstå spenningsforskjeller. Ved innsetting av skjøtestykker i slangene er det viktig at disse blir forsynt med forbindelser over stykket og at disse har god kontakt med det ledende belegget på hver side. Det samme kan også sies om andre plastkomponenter tilkoplede slangene.

Så har en det tredje tilfelle hvor hele materialet i førslangen består av et halvledende materiale eller svakt ledende materiale. I dette tilfelle er det liten mulighet for å få ladningsoppbygging noe sted. Ladninger, som også her vil bli avsatt ved transport av pellets, vil ledes vekk. Alle overflater vil innta tilnærmet samme potensial. Også her er det viktig med forbindelser over isolerte skjøtestykker, da ellers hele slangen kan bli ladet opp. Utladninger fra slike slanger kan bli kraftig hvis de ellers er isolert fra omgivelsene.

## 4 ANSKUELIGGJØRING AV ELEKTROTEKNISKE BEGREPER

I teoridelen har en brukt elektrotekniske begreper som ladning, spenning, kapasitans mm. For å anskueliggjøre denne terminologien til begreper som folk flest har et forhold til, kan vi gjøre følgende betraktninger: Ladningsoppbyggingen som finner sted når pellets strømmer igjennom et plastrør kan sammenliknes med et vannrør det strømmer vann fra. Vannet er ladninger. Tenker vi oss videre at vannet renner ned i et tett kar, vil vannstanden i karet etter hvert stige. Høyden vannet står i karet kan sammenliknes med den spenningsoppbyggingen som elektriske ladninger forårsaker. Er det et kar med stor grunnflate, vil vannstanden øke sakte når det renner vann i karet. Det omvendte vil være tilfelle for et kar med liten grunnflate. Grunnflata i karet kan sammenliknes med elektrisk kapasitans. For tilfeller med stor kapasitans vil spenningen øke sakte med tilførsel av ladning. Stor kapasitans vil si store sammenhengende flater det kan avsettes ladning på. Tenker en seg videre at karet forsynes med et lite hull i bunnen, vil vannet begynne å renne ut. Er innstrømning av vann større en det som renner ut, vil vannstanden i karet øke. Etter hvert som vannstanden øker, øker også trykket mot åpningen og mer vann vil strømme ut. Det innstiller seg etterhvert en likevektssituasjon hvor like mye vann renner ut som det som kommer inn. Hullet i karet vil være analog med avledning av ladninger fra indre overflate av plastrøret. Dette har vi kalt overflateledningsevne. Overflateledningsevnen gjør at når spenningen kommer opp til er viss grense, øker den ikke mer. Avledning av ladninger blir lik tilstrømning av ladninger. På samme måte som at en gjør hullet i karet større og får et lavere vannivå som blir en likevektstilstand, vil det samme skje med elektriske ladninger. Øker en overflateledningsevnen, vil en få liten spenningsoppbygging fordi ladningene ledes vekk. (En antar at samme mengde ladning pr. tidsenhet avsettes på innsiden av plastrøret så lenge strømmen av pellets er konstant). En elektrisk utladning (rask utlikning av ladninger) som finner sted kan sammenliknes med vannkaret som tømmes hurtig for eks ved at hele bunnen i karet åpner seg. Har karet stor grunnflate kan det bli mye vann på kort tid selv om ikke nivået er så høyt. Det samme vil også være tilfelle med elektriske utladninger. Er kapasitansen bak stor, kan det frigjøres mye ladning som (i verste fall) strømmer igjennom kroppen og gjør skade selv om spenningen ikke er så høy.

Tidligere har en nevnt at ladninger på en isolerende overflate kan sees på som isolerte "øyer" av ladninger. En kan anskueliggjøre dette som et landskap med masse isolerte sølepytter som ligger på samme høyde. Hver utladning som finner sted blir som å tømme sølepyttene en etter en. Konsekvensene blir ikke så store. Derimot er det en stor ledende flate som ladningene ligger på, blir konsekvensene større ved en utladning. En kan her tenke seg at det blir en ledende kanal mellom sølepyttene. Dette blir som å tømme en innsjø. Et annet begrep, som ofte blir brukt, er volumresistivitet. Dette angir selve materialets evne til å lede strøm. Høy volumresistivitet betyr et godt isolerende materiale. For å anskueliggjøre dette til eksemplet med sølepytter, kan vi se på jordsmonnet under sølepyttene. Er jordsmonnet lite gjennomtrengelig for vann, vil det ta lang tid for vannet å trenge ned i grunnen og sølepyttene bli liggende lenge før de forsvinner. Er jordsmonnet av lett gjennomtrengelig for vann, vil sølepyttene forsvinne raskt. På samme måte blir det også med ladninger. Er den elektriske isolasjonen god (høy volumresistivitet), vil det ta lang tid før ladningene på overflata forsvinner. Det motsatte vil bli tilfelle hvis volumresistiviteten er lav. Ladningene vil raskt lekke inn i materialet og forsvinne.

## 5 BEGREPET SPENNING

På samme måte som det i vannforsyningsnettet må et vanntrykk til for å drive en vannstrøm igjennom et rørsystem, opererer en i det elektriske system med begrepet spenning. Spenningen er det "trykket" som står bak for å drive en strøm igjennom en krets med en viss motstand (resistans). Den vanlige oppfatningen blant folk flest er at det er spenningen som er farlig. Dette er en riktig oppfatning når en tenker på vårt elektriske forsyningsnett og ellers i mange sammenhenger med elektrisitet. Desto høyere spenning, desto mer strøm vil en få igjennom kroppen ved berøring av spenningssatte deler. Ved strømgjennomgang i kroppen fra forsyningsnettet, vil det hovedsakelig være kroppens indre motstand som begrenser strømmen. Strømgjennomgangen vil da bli proporsjonal med spenningen (ikke helt riktig, da kroppsmotstanden vil være litt avhengig av spenningen).

Ved strømgjennomgang fra statisk elektrisitet vil forholdene være noe forskjellig. Spenningen vil normalt være høy, kanskje flere tusen volt. En behøver derfor ikke å berøre objektet som er oppladet før det etableres en strømkrets. Kommer en nær nok (kanskje centimeters avstand), vil det slå over og strømmen vil flyte til nesten all tilgjengelige ladningen som ligger der er tømt. Det er derfor viktig å holde en viss sikkerhetsavstand til områder der det kan samle seg ladning. Strømpulsen blir kortvarig, men toppverdien kan bli høy. Kanskje i området ampere eller mer. Er kapasitansen stor på det objektet som er oppladet og spenningen høy, betyr det at mye ladning ligger lagret (ladning = kapasitans x spenning). For slike tilfeller kan strømpulsen vare så lenge at det kan oppstå indre skader i kroppen. Det må likevel sies at en vanskelig kan se for seg slike tilfeller ved statisk elektrisitet i førslanger, men sjokket ved å bli utsatt for selv svært kortvarige strømstøt er ubehagelig. Derimot har det vært tilfeller fra elforsyningen, hvor personer har kommet i berøring med oppladete kondensatorer med mye ladning, og det har blitt skader på hud og vevet i kroppen. Det er derfor et krav at store kondensatorer skal ha utlademotstand som trekker ned spenningen i løpet av en viss tid. I IEC-norm 60871-1 er det gitt krav om at spenningen på en kondensator ikke skal overstige 75 V, 600 sekunder etter at tilkoplede spenning er fjernet. Kanskje burde det også ha vært et liknende krav til førslanger. Dette måtte da ha blitt i form av krav til elektrisk ledningsevne i materialet slangene er laget av. I anlegg som behandler brannfarlige varer er det et krav til elektrostatisk jording. Her skal alle komponenter i systemet forsynes med utjevningforbindelser og jordes. Det er et krav om at samme hvor en måler skal ikke motstanden til jord overstige 1 Megaohm. Dette kan være et urimelig krav for oppdrettsanlegg. Kanskje kan en heller søke løsninger på problemet ved å beskytte det personellet som skal handtere førslanger?



## 6 TILTAK FOR Å HINDRE ULYKKER VED STATISK ELEKTRISITET

Når en skal prøve å finne tiltak for å hindre at personell blir utsatt for strømstøt, vil det være naturlig å se på elforsyningen som har lange tradisjoner for sikkerhetsarbeid i elektriske anlegg. Et særlig farlig område er høyspenningsanlegg. En berøring av spenningsførende deler her er ofte ensbetydende med døden. Etter at et høyspenningsanlegg er frakoplet og lagt spenningsløst, er det krav om at anlegget skal jordes med synlig jord på arbeidsstedet. Dette fordi det kan være noen som utilsiktet legger inn en bryter og anlegget kan komme under spenning. Er anlegget forsvarlig jordet, er det ikke mulig å få spenning på anlegget. For tilfeller med fare for statisk elektrisitet, burde det ikke være nødvendig med så strenge tiltak. Det en ser ved arbeid på isolerte komponenter, som har vært utsatt for høye likespenninger og kan sammenliknes med statisk elektrisitet, er at det blir liggende igjen ladninger rundt om på flatene. Før en går i gang med arbeid på slike komponenter, må en alltid bstryke alle deler med en jordingsstav. En hører da at det knitrer etter hvert som en kommer til områder der det ligger ladninger. Etter at en har gjort dette over alt, kan en trygt jobbe på delene selv om jordingen er fjernet. Gjennomføres det samme prosedyre på førslanger av isolerende materiale, burde en kunne arbeide trygt og sikkert.

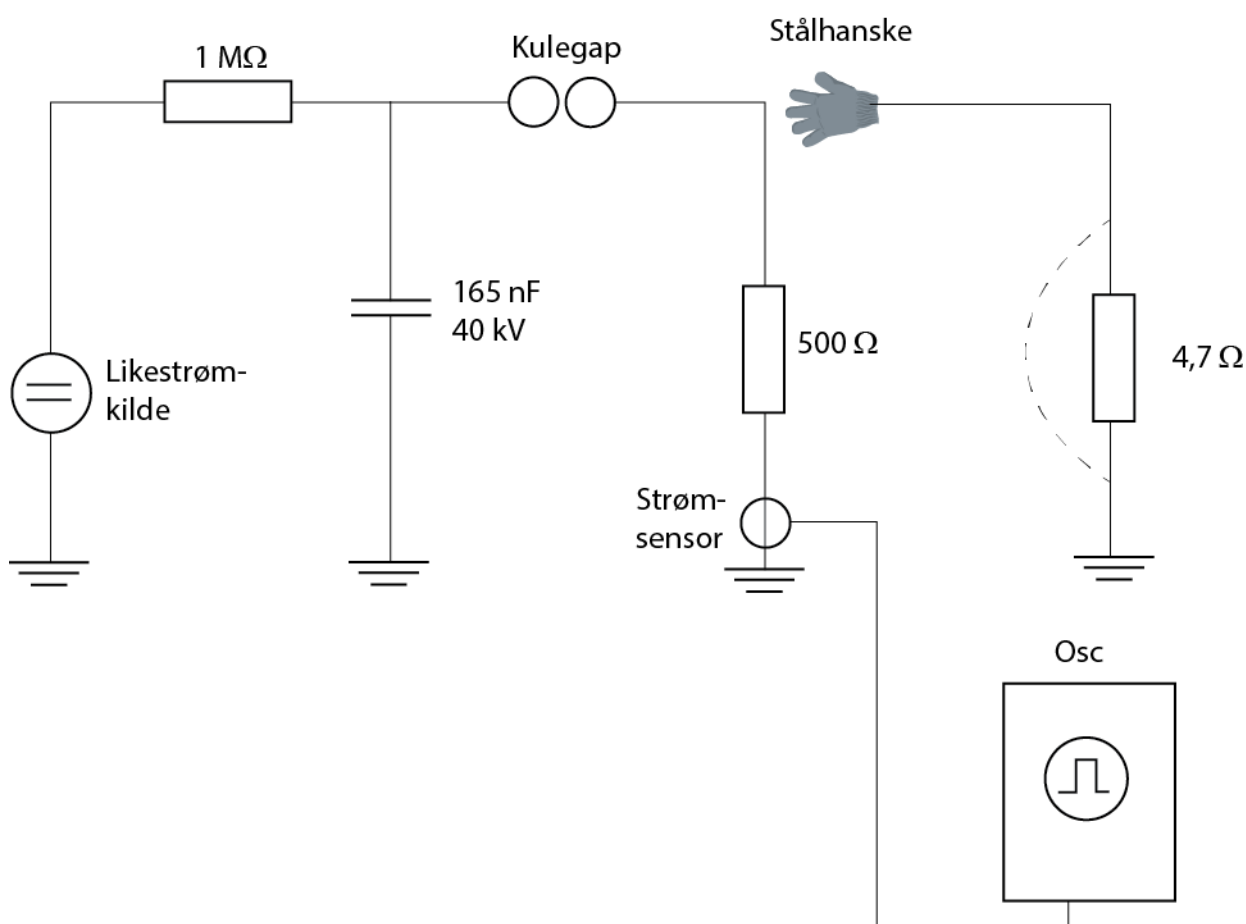
Selv om ladningene blir fjernet på alle flater utvendig, vil det ligge igjen ladninger innvendig i røret som en ikke kommer til. Her har det blitt anvendt gjennomstrømning med sjøvann. Dette er en effektiv metode for fjerning av ladninger, men det kan ligge ladninger på utsiden av røret som ikke er blitt ledet bort. **Det er derfor viktig å tenke på at det må etableres en elektrisk ledende krets mellom alle områder på slangen hvor det kan tenkes å bli ladningsoppbygging.** Å fjerne ladninger blir ikke det samme som å vaske en overflate. Mellom ladningene virker det krefter. Det en gjør at tiltak et sted kan påvirke ladningsfordelingene et annet sted. Et tiltak som alltid virker er å sørge for **utjevningsforbindelser**. Gjør en det overalt der en skal jobbe, så fjerner ladningene seg selv. (Det blir som å drenere vekk sølepytter etter et regnvær). Er en ikke trygg på at en har fått fjernet ladningene over alt der en skal jobbe, er det viktig å sørge for **parallellforbindelse** til kroppen slik at utladestrømmen blir ledet utenfor kroppen. Her er det tidligere nevnt jording av sagblad før rør kappes. Et annet tiltak, som er lett å huske på for alle, er å benytte stålhansker som er jordet. Alle steder der det måtte ligge ladninger og som en rører ved vil få sin utladestrøm ledet utenfor kroppen.

Et annet forhold er slanger i bruk og som ligger rundt om og som folk kan komme i kontakt med ved tilfeldig berøring. Tidligere har en sagt at ladninger avsettes på innsiden av slangene, men dette kan under varierende klimatiske forhold også påvirke ladninger på utsiden av slangene. Slike slanger må derfor behandles som spenningsførende deler. Et tiltak kan være å tildekke slangene med en ledende skjerming på utsiden. Det er svært viktig at denne skjermingen er forbundet med jord (ellers kan det bli svært farlig). Et lovende tiltak i denne retning er nye slanger med ledende overflatesjikt. Her er det viktig at dette sjiktet kommer i kontakt med jord. Således må alle skjøtestykker langs plastslangene forsynes med utjevningsforbindelser (hvis ikke skjøtestykkene er laget av halvledende plastmateriale beregnet for den type rør som er anvendt).

Gå en igjen tilbake til sikkerhetsarbeidet en foretar før arbeid på elektriske anlegg og også innen oljeindustrien, er første trinn i arbeidet at en fortar en såkalt "sikker jobb analyse" (SJA). Dette går ut på å gå igjennom de arbeidsoperasjonene som skal gjøres og analyserer hva som kan gå galt og hvilke sikkerhetstiltak som kan settes i verk. Et viktig prinsipp før arbeid i elektriske anlegg er at en alltid skal sørge for to sikkerhetsbarrierer. Svikter den ene, har en enda en å falle tilbake på. Før arbeid på førslanger, kan den første sikkerhetsbarrieren være at området en skal jobbe på blir bestrøket med et egnet jordet redskap. For ladninger som ligger inne i røret kan dette være vanskelig. Her må en da benytte en sag hvor bladet er jordet. Skulle det likevel ligge igjen ladninger noen steder, kan den andre sikkerhetsbarrieren være at en anvender stålhansker som er jordet. Her er det også forhold en bør tenke på og som det er gjort noen orienterende forsøk med.

## 7 TEST MED STÅLHANSKER

For å teste virkningen av å bruke stålhansker (slakterhansker) for å avlede utladningsstrømmer fra strømgjennomgang i kroppen, ble det rigget opp et forsøk for å måle hvilken strøm en person blir utsatt for ved berøring av en oppladet kondensator til høyspenning som skal simulere en utladning fra statisk elektrisitet. Figur 2 viser hvordan forsøket var arrangert.



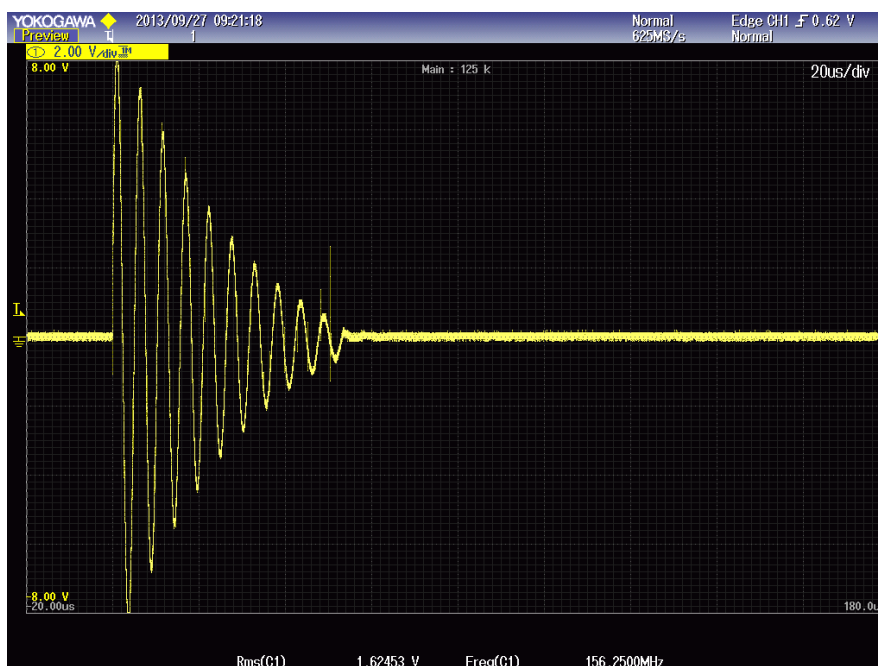
Figur 2: Arrangement for å teste ut bruken av stålhansker for beskyttelse mot farlige strømmer fra statisk elektrisitet.

Til venstre i figuren har en spenningskilden som leverer ladning til kondensatoren og derved lader opp denne til en spenning på ca. 20 kV. Midt i figuren er det et kulegap som var innstilt på ca. 10 mm gap og tenner da på ca. 20 kV. Dette fungerer som en bryter når det tenner. Derved lages det forbindelse mellom kondensatoren og motstanden på 500 Ω, som skal simulere en person. Strømmen igjennom motstanden blir målt med en sensor i bunnen av motstanden. Signalet fra sensoren blir ført til et oscilloskop som viser strømforløpet. Måleresultatene viser utskriften fra oscilloskopet. I figur 3 er vist strømforløpet igjennom motstanden uten at stålhansken berører motstanden. Toppverdien av strømmen er her målt til ca. 10 A og varigheten ca. 200 μs.



Figur 3: Strømforløp med bare motstand (person uten beskyttelse).

I det andre tilfellet ble en jordet stålhanske koplet til motstanden og det hele ble påtrykket en ny spenningspuls med samme spenning som i forrige tilfelle. Dette tilfelle skal simulere hvilken strøm en person vil få igjennom kroppen dersom han bruker stålhansker som er jordet. Figur 4 viser strømforløpet i dette tilfelle.



Figur 4: Strømforløp i motstanden ved en jordet stålhanske tilkoplett oppå motstanden.

I det tredje tilfellet ble det i jordledningen fra stålhansken satt inn en seriemotstand på  $4,7 \Omega$ . Figur 5 viser strømforløpet i dette tilfelle. En ser at varigheten og amplitudeverdien av strømmen ble redusert betydelig.



Figur 5: Strømforløp i motstanden på  $500 \Omega$  ved innsetting av en seriemotstand på  $4,7 \Omega$  i jordledningen til stålhansken

## 8 KOMMENTARER TIL RESULTATENE

Strømforløpet i figur 3 for tilfellet der en anvender en ren motstand er helt som forventet. Strømmen følger en fallende kurve med en tidskonstant  $R \times C$  hvor  $R=500\Omega$  og  $C=165 \times 10^{-9}F$ . Verre blir det når den jordede stålhansken blir koplet til oppe på motstanden (som skal simulere en person). Amplitudeverdien av strømmen øker her til to til tre ganger verdien for ren motstand og en får et svingeforløp som varer ca.  $60\mu s$ . Årsaken til dette, tror vi, er at jordledningen fra stålhansken, som i dette tilfelle var av  $10 \text{ mm}^2$  kobberledning og lengde ca. 2,5m, har svært liten motstand i seg. Når stålhansken påtrykkes spenning fra kondensatoren, oppstår det kraftige svingninger i energien i kretsen, som kondensatoren og induktansen i jordledningen danner. Det er lite dempning (motstand) i kretsen og svingeforløpet varer lenge. Ved å innføre en seriemotstand på  $4,7\Omega$  (tilfeldig valgt) i jordledningen "brennes" mye av energien vekk i denne seriemotstanden. Hele svingeforløpet er over i løpet av ca.  $10\mu s$ . Det er usikkert hvilken fysiologisk virkning slike raske svingeforløp vil ha på en person og om han i det heletatt vil merke noe. Det som er nokså sikkert, er at forløpet i figur 3 vil være svært ubehagelig å få igjennom seg. Kanskje også svært skadelig? Det må også understrekes at kondensatoren på  $165nF$ , som ble valgt til å gjøre forsøk med, overstiger langt det en kan forvente med statisk elektrisitet.

I dette tilfelle valgte vi en kroppsmotstand på  $500\Omega$ , mens en i litteraturen ofte finner at kroppsmotstanden ligger i området 2 til  $3k\Omega$ . Årsaken til dette er at ved lavspenning vil en måle flere kiloohm mellom hand til hand eller hand til fot. Den vesentligste andelen av denne motstanden ligger i huden i handen og foten. Blir en utsatt for høyspenning er energien her så stor at dette punkterer huden der strømmen går inn. En sitter da igjen med den indre motstanden i kroppen, som ofte blir oppgitt til ca.  $500\Omega$ .

## 9 KONKLUSJON

Nesten alle plastmaterialer har svært liten elektrisk ledningsevne. Polyetylen, som er basismaterialet for forslanger, utmerker seg også med en overflate som er svært glatt og lite hefter til den. Dette betyr at elektriske ladninger, som avsettes på overflata, blir liggende der med liten mulighet for å bli ledet bort pga. lav overflateledningsevne. En mulighet for å lede bort ladninger er å gjøre plastmaterialet svakt ledende. Dette er gjort med godt resultat for å fjerne ladninger, men materialet blir kostbart å produsere. Slitestykken for slangene blir også dårligere. En annen mulighet for å fjerne ladninger, er å bestryke området det skal arbeides på med et jordet redskap før arbeidet tar til. Dette er også en metode som virker, men er vanskelig å gjennomføre innvendig i rørene. Her er gjennomspyling med sjøvann en annen mulighet. Muligheten for å bruke egnet verneutstyr er også undersøkt. En metode med jordede stålhansker er testet ut. Det er her oppdaget ved laboratorieforsøk, er at det er viktig å utføre jordforbindelsen med dempning slik at det ikke blir store svingninger i strømmer og spenninger ved utladninger. Således er det enda behov for å gjøre flere forsøk før en kan gå ut å anbefale metoder.

## 10 INSTRUMENTLISTE

1. Yokogawa oscilloskop DLM2054                      Lab.nr. G04-0353
2. HVDC-forsyning, Glassman                              Lab.nr. B02-0553
3. Strømsensor Pearson model 110 0,1 V/A              Lab.nr. I04-0240
4. Arrangement med kondensator og kulegap
5. Stålhansker med tilbehør levert fra Betten maskinstasjon
6. Høyspenningsmotstand, 500 $\Omega$
7. Effektmotstand, 4,7 $\Omega$



Teknologi for et bedre samfunn

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