

Prosjektnotat

Måling av skjermstrømmer og skjermspenninger på anlegg i drift

Pålitelige Skjermtilkoblinger i kabelsystem

VERSJON 1.0	DATO 2018-09-12
FORFATTER(E) Hans Lavoll Halvorson Kristian Thinn Solheim	
OPPDRAGSGIVER(E) REN AS	OPPDRAGSGIVERS REF. Marius Engebretsen
PROSJEKTNR 502001245	ANTALL SIDER: 16

SAMMENDRAG

I prosjektet Pålitelige Skjermtilkoblinger i Kabelsystem er det utført beregninger, samt målinger av strøm; -og spenning i kabelskjermen på noen typiske og konkrete kabelanlegg. Dette er gjort som case analyser for å vise sammenhengen mellom lederstrøm, skjermstrøm, forlegning og jordingsmetodikk. Hensikten er også å vise en enkel metode for beregning av skjermstrøm.

Målingene utført på en enkelt 125 m kabel viser en lineær sammenheng mellom lederstrøm og skjermstrøm i området 0-140 A når skjermen er jordet i begge ender. Skjermstrømmen utgjør ca. 25 % av lederstrømmen. Målingene viser også en lineær sammenheng mellom lederstrøm og spenning (skjerm-jord) i når lederen påtrykkes 0-140 A. Det er tilsynelatende god overensstemmelse mellom beregning og måling av kabelens skjermresistans.

Avviket mellom beregninger og målinger er mellom 1 og 10 % for skjermstrømmen i et 145 kV kabelanlegg. Dette er i hovedsak knyttet til usikkerhet i hvordan og hvorvidt følgejord er forlagt, som avstand til fasene og hvilken eller hvilke fase(r) følgejord ligger ved. Caset viser at nøyaktige beregninger kan gjøres selv for kabelanlegg med flere seksjoner

UTARBEIDET AV
Hans L Halvorson

SIGNATUR



GODKJENT AV
Kristian Thinn Solheim

SIGNATUR



PROSJEKTNOTAT NR
AN 18.14.55

GRADERING

Åpen

Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBEKRIVELSE
1.0	2018-09-12	Første versjon

Innholdsfortegnelse

1	Innledning	4
1.1	Sammendrag og konklusjon.....	4
2	Case 1 – SINTEF testanlegg Tiller.....	5
2.1	Kabeldata 24 kV TSLF 1x50/16.....	5
2.2	Forlegning	5
2.3	Oppkobling.....	6
2.4	Måling av skjermstrøm	7
2.5	Måling av skjermspenning	7
2.6	Resistans beregnet fra målt strøm og spenning	7
2.7	Resistans målt med mikro-ohm meter (firepunktsmåling).....	8
2.8	Beregning av kabelens skjermresistans	9
2.9	Diskusjon og konklusjon.....	9
3	Case 2 – Jordkabel 145 kV.....	10
3.1	Kabeldata 145 kV TSLF 1x800/95	10
3.2	Forlegning	11
3.3	Oppkobling.....	11
3.4	Måleresultat.....	11
3.5	Numerisk beregning skjermstrømmer	13
3.5.1	Beregning av skjermstrømmer	13
3.5.2	Målinger vs. beregninger.....	15
3.6	Diskusjon og konklusjon.....	16
4	Referanser	17

1 Innledning

I prosjektet Pålitelige Skjermtilkoblinger i Kabelsystem er det utført beregninger, samt målinger av strøm; - og spenning i kabelskjermen på noen typiske og konkrete kabelanlegg. Dette er gjort som case analyser for å vise sammenhengen mellom lederstrøm, skjermstrøm, forlegning og jordingsmetodikk. Hensikten er også å vise en enkel metode for beregning av skjermstrøm.

1.1 Sammendrag og konklusjon

Det første caset tar for seg en enkelt 12 kV kabel forlagt i en kort sløyfe i jorden. Det andre caset tar for seg et komplett trefase 145 kV anlegg forlagt i flat forlegning.

Målingene utført på en enkelt 125 m kabel viser en lineær sammenheng mellom lederstrøm og skjermstrøm i området 0-140 A når skjermen er jordet i begge ender. Skjermstrømmen utgjør ca. 25 % av lederstrømmen. Målingene viser også en lineær sammenheng mellom lederstrøm og spenning (skjerm-jord) i når lederen påtrykkes 0-140 A. Det er tilsynelatende god overensstemmelse mellom beregning og måling av kabelens skjermresistans.

Avviket mellom beregninger og målinger er mellom 1 og 10 % for skjermstrømmen i et 145 kV kabelanlegg. Dette er i hovedsak knyttet til usikkerhet i hvordan og hvorvidt følgejord er forlagt, som avstand til fasene og hvilken eller hvilke fase(r) følgejord ligger ved. Caset viser at nøyaktige beregninger kan gjøres selv for kabelanlegg med flere seksjoner.

Case analysene viser godt samsvar mellom beregnede resultater og målte verdier.

2 Case 1 – SINTEF testanlegg Tiller

Prosjektet har hatt tilgang til et eksisterende testanlegg, opprinnelig bygget for testing av optimal termisk belastning av kabelanlegg [1]. Et enkelt skjermstrøm-forsøk er gjennomført på anlegget. Dette kapittelet beskriver forsøket som er gjort.

2.1 Kabeldata 24 kV TSLF 1x50/16

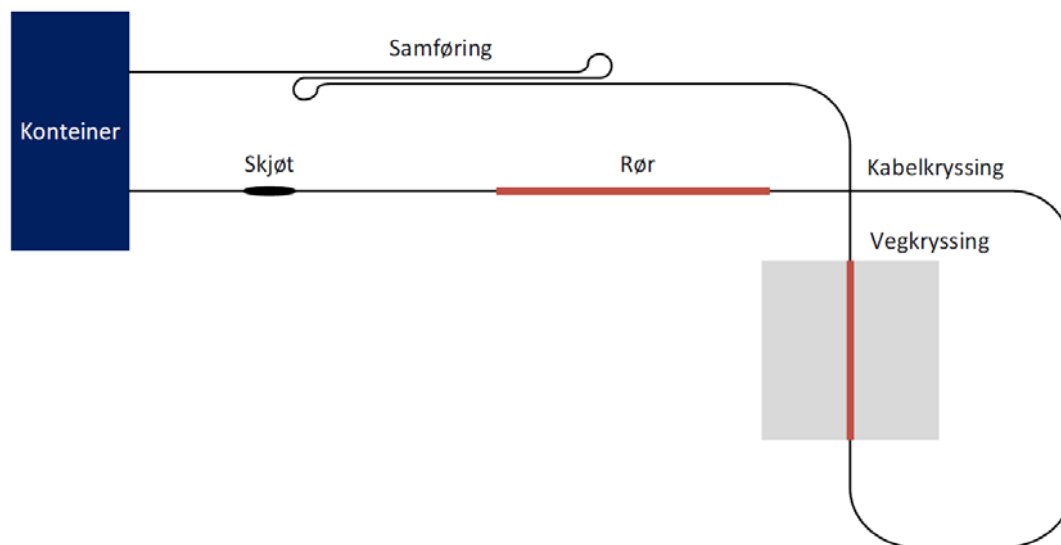
De viktigste aspektene som beskriver kabelskjermen er vist i tabellen under. Data er hentet fra databladet til kabelen.

Tabell 2.1: Lederen og skjermens oppbygging.

Element	Beskrivelse	Elektrisk
Leder	Flertrådet, komprimert aluminiumsleder fyllt med svellpulver.	50 mm ² 0,641 Ω/km DC@20°C
Skjerm	Består av et lag med runde, glødde kobbertråder og aluminiumsfolien.	
Normert skjermtverrsnitt	Oppgitt tverrsnitt er summen av ekvivalent tverrsnitt av Cu tråder og aluminiumsfolie.	16 mm ² 1,15 Ω/km DC@20°C
Skjermtverrsnitt	Oppgitt tverrsnitt er fysisk tverrsnitt av kobbertrådene i skjermen.	9 mm ²
Svellebånd	Et lag svellende bånd for å hindre langsintrengning av vann. Svellebåndet er påført med en fuge for å sikre elektrisk kontakt mellom skjermen og aluminiumslaminatet (diffusjonssperren), som ligger over svellebåndet. Dette betyr at det ikke er nødvendig med separat jording av aluminiumslaminatet i skjøter og endeavslutninger.	
Diffusjonssperre	Et lag aluminiumslaminat med overlapp limt fast til ytre kappe.	0.2 mm tykkelse. Diameter ved diffusjonssperre antatt å være 23 mm

2.2 Forlegning

En enkelt kabel forlagt i jordgrøft og i rør, over en lengde på ca. 125 m. Begge ender av kabelen er avsluttet på samme sted, og er koblet sammen med en kort lask som ligger koblet mot en transformator og styringspult. Med denne kan man indusere ønsket last-strøm i lederen på kabelen. Skjermen kan med enkelhet enten jordes i begge ender, eller frakobles jord om ønskelig.

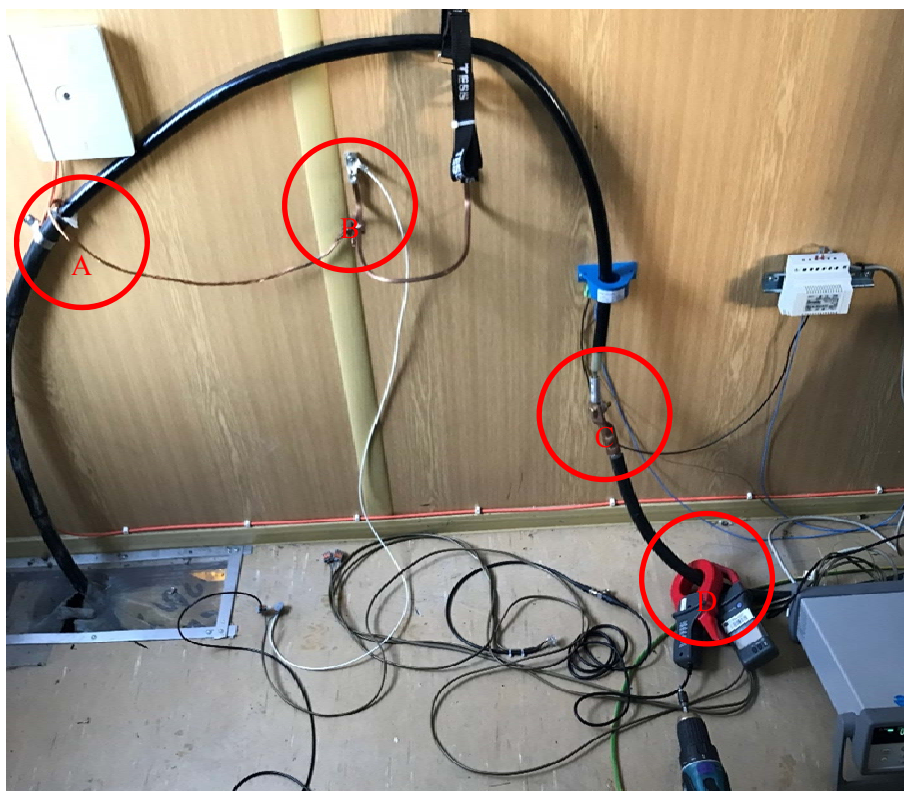


Figur 2.1: Oversikt forlegning av 125 m TSLF 24 kV 50/16. Begge ender av kabelen ligger i den blå konteineren [1].

2.3 Oppkobling

Kabelen har en normert skjermtverrsnitt (Cu tråder + Al laminat) på 16 mm². Cu-trådene er på 9 mm². Det er kun Cu-trådene som er tatt ut og jordet i enden av kabelen. Laminatet er ikke håndtert. Dette betyr at Cu-trådene vil føre all strøm mellom kabel og jord.

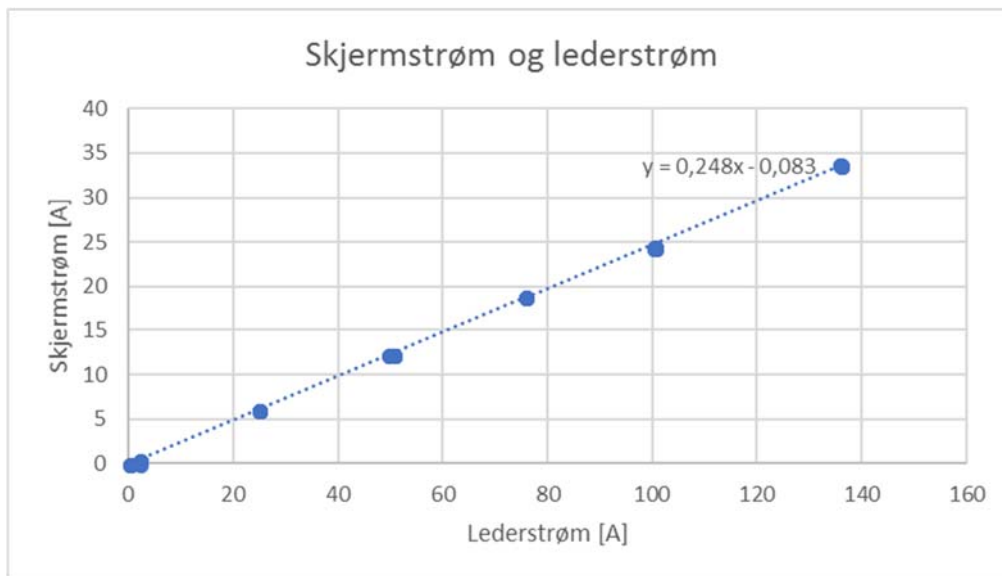
En enkel datalogger med strøm/spennings-prober er montert for å overvåke strømmer/spenninger i kabelens leder og skjerm.



Figur 2.2: Bildet viser oppsettet ved måling av kabel med skjerm isolert i en ende. Bare den isolerte enden av kabelen er vist. A) Uttak av Cu-tråder. Laminatet avsluttes her. B) Felles (isolert) jordingspunkt. C) Tilkobling av lederstrøm D) Målepunkt for lederstrøm.

2.4 Måling av skjermstrøm

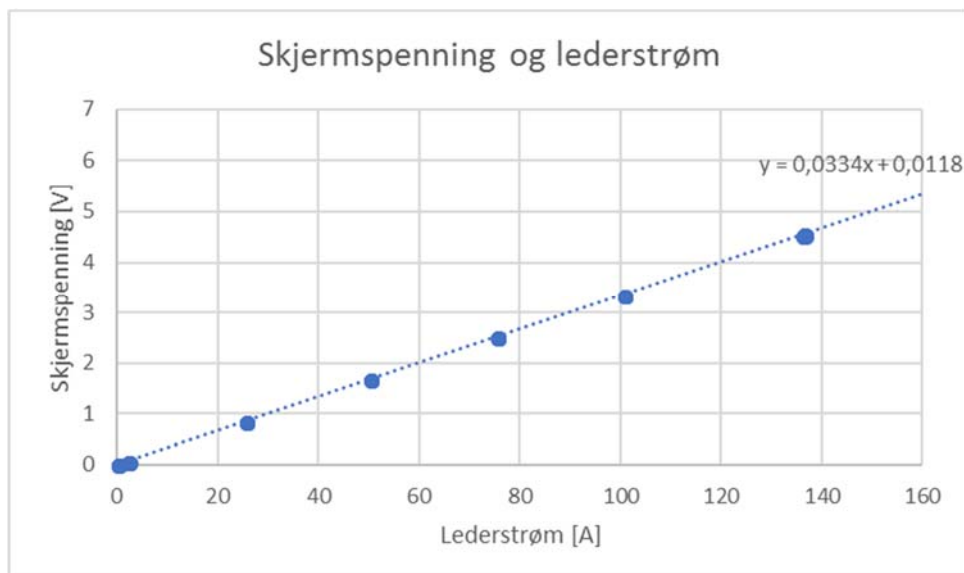
En serie målinger ble gjort med kabelskjermen jordet i begge ender, og med økende strøm i leder (0 til 140 A). Resulterende strøm i skjerm er registrert og vist i figuren under. Skjermstrømmen blir 34 A ved 140 A i leder, og viser en lineær sammenheng opp til dette nivået. Skjermstrøm utgjør omtrent 25 % av lederstrøm.



Figur 2.3: Lineær sammenheng mellom strøm i leder og strøm i skjerm for 6 målepunkt.

2.5 Måling av skjermspenning

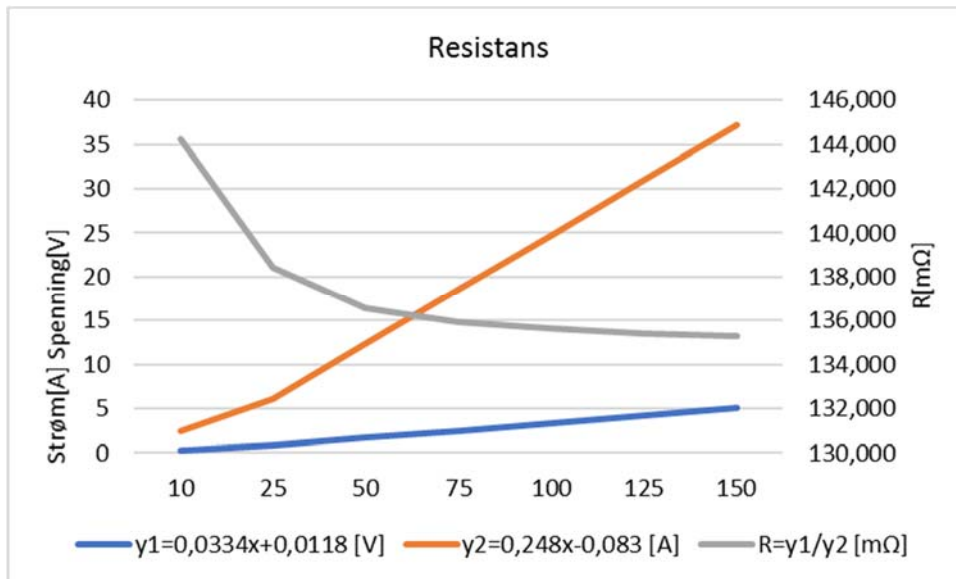
En serie målinger ble gjort med kabelskjermen isolert fra jord i en ende, og med økende strøm i leder (0 til 140 A). Resulterende spenning mellom skjerm og jord er registrert og vist i figuren under. Skjermspenningen ble ca. 4,7 V ved 140 A i leder, og viser en lineær sammenheng opp til dette nivået.



Figur 2.4: Lineær sammenheng mellom strøm i leder og spenning mellom skjerm og jord for 6 målepunkt.

2.6 Resistans beregnet fra målt strøm og spenning

En beregning av kabelskjermen og jordsløyfen sin resistans, basert på målte strømmer og spenninger er gjennomført. Se graf og tabell under.



Figur 2.5: Grafisk fremstilling av skjermspenning (y1/blå), skjermstrøm (y2/rød), og skjermresistans (R/blå) som funksjon av lederstrøm.

Tabell 2.2: Utregninger av resistans basert på målte verdier.

X Lederstrøm [A]	10	25	50	75	100	125	150
Y1=0,0334x+0,0118 [V]	0,3	0,8	1,7	2,5	3,4	4,2	5,0
Y2=0,248x-0,083 [A]	2,4	6,1	12,3	18,5	24,7	30,9	37,1
R=y1/y2 [mΩ]	144,3	138,4	136,5	135,9	135,6	135,4	135,3
Fordeling leder/sjerm = Y2/X	24 %	24 %	25 %	25 %	25 %	25 %	25 %

2.7 Resistans målt med mikro-ohm meter (firepunktsmåling)

Det ble gjort firepunktsmålinger av kabelskjermen og jordsløyfen. Lufttemperaturen ved målingen var ca. minus 10 °C, men temperaturen langs med kabelforlegningen i jord ble ikke undersøkt. Sannsynligvis var denne i området 0-10 °C.

Tabell 2.3: Måleresultatet fra fire-punkts måling av resistans i kabelskjerm og jordsløyfe.

	Verdi [mΩ]
Kabelskjerm	
Måling 1	113.92
Måling 2	113.83
Måling 3	114.46
Måling 4	114.83
<i>Gjennomsnitt avrundet</i>	<i>114</i>
Jordsløyfe	
Måling 1	15.04
Måling 2	15.03
Måling 3	15.03
Måling 4	15.05
<i>Gjennomsnitt avrundet</i>	<i>15</i>

Sum resistans av kabelens skjerm og jordsløyfe blir 114+15=129 mΩ.

2.8 Beregning av kabelens skjermresistans

Antar at skjerm og laminat som parallellkoblet, finner total resistans til skjerm og laminat.

$$\text{DC resistance @ 20 C} \quad \rho_{\text{Cu}} := 1.72 \cdot 10^{-8} \cdot \Omega \cdot \text{m} \quad \rho_{\text{Al}} := 2.65 \cdot 10^{-8} \cdot \Omega \cdot \text{m}$$

$$\text{Temperatur coefficient} \quad \alpha_{20\text{Cu}} := 0.00393 \quad \alpha_{20\text{Al}} := 0.00429$$

$$\text{lengde} := 125\text{m}$$

$$\theta := 10 \quad \text{°C}$$

$$A_{\text{Cu}} := 9\text{mm}^2$$

$$A_{\text{Al}} = \text{tykkelseAl} \cdot \text{OmkretsAl} = \text{tykkelseAL} \cdot \pi \cdot \text{DiameterAl}$$

$$0.2\text{mm} \cdot \pi \cdot (27.2\text{mm} - 2 \cdot 2.1\text{mm}) = 14.5\text{mm}^2$$

$$A_{\text{Al}} := 14.5\text{mm}^2$$

$$R_{\text{Cu}} := \rho_{\text{Cu}} \cdot \frac{\text{lengde}}{A_{\text{Cu}}} \quad R_{\text{Cu}} = 238.9\text{m}\Omega$$

$$R_{\text{Al}} := \rho_{\text{Al}} \cdot \frac{\text{lengde}}{A_{\text{Al}}} \quad R_{\text{Al}} = 228.4\text{m}\Omega$$

$$R_{\text{tot}} := \frac{R_{\text{Al}} \cdot R_{\text{Cu}}}{R_{\text{Al}} + R_{\text{Cu}}} \quad R_{\text{tot}} = 116.8\text{m}\Omega$$

$$R_{\text{Cu}\theta} := R_{\text{Cu}} \cdot [1 + \alpha_{20\text{Cu}} \cdot (\theta - 20)] \quad R_{\text{Cu}\theta} = 229.5\text{m}\Omega$$

$$R_{\text{Al}\theta} := R_{\text{Al}} \cdot [1 + \alpha_{20\text{Al}} \cdot (\theta - 20)] \quad R_{\text{Al}\theta} = 218.6\text{m}\Omega$$

$$R_{\text{tot}\theta} := \frac{R_{\text{Al}\theta} \cdot R_{\text{Cu}\theta}}{R_{\text{Al}\theta} + R_{\text{Cu}\theta}} \quad R_{\text{tot}\theta} = 112\text{m}\Omega$$

2.9 Diskusjon og konklusjon

Målingene utført på en enkelt 125 m kabel viser en lineær sammenheng mellom lederstrøm og skjermstrøm i området 0-140 A når skjermen er jordet i begge ender. Skjermstrømmen utgjør i ca. 25 % av lederstrømmen. Målingene viser også en lineær sammenheng mellom lederstrøm og spenning (skjerm-jord) i området 0-140 A. Det ser ut til å være god overensstemmelse mellom beregning og måling av kabelens skjermresistans.

3 Case 2 – Jordkabel 145 kV

Prosjektet har hatt tilgang til måledata fra et eksisterende 145 kV kabelanlegg. Det er utført noen måleserier av skjermstrømmer og lederstrømmer for anlegget, og anlegget er også blitt simulert/beregnet med et COMSOL verktøy. Dette kapittelet beskriver hva som er gjort.

3.1 Kabeldata 145 kV TSLF 1x800/95

De viktigste aspektene som beskriver kabelskjermen er vist i tabellen under. Data er hentet fra databladet til kabelen.

Tabell 3.1: Lederen og skjermens oppbygging.

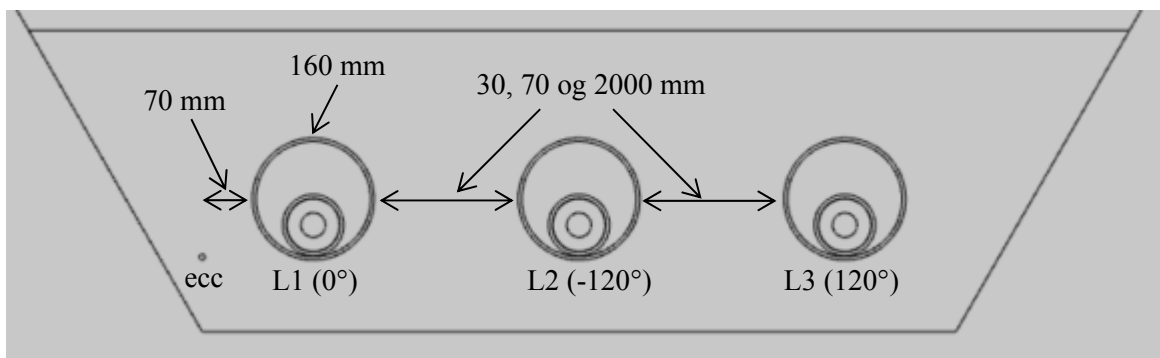
Element	Beskrivelse	Ytre diameter	Elektrisk
Leder	Flertrådet, komprimert aluminiumsleder	34.2 mm	800 mm ² 3,67x10 ⁻⁵ Ω/m (3.41·10 ⁷ [S/m]) DC@20°C
Isolasjon og halvledere	PEX	73.5 mm	
Skjermtråder	Cu-tråder (58 stk * 1.45 mm) med slaglengde 750 mm, med Cu-tape (1 stk * 10 mm)	76.7 mm	95.75 mm ²
Bedding	Vannblokkerende tape mellom skjermtråder og laminat		0.2 mm
Laminat	0.2 mm aluminium limt til ytterkappe		48.58 mm ²
Ytterkappe	PE	85.3 mm	
Skjermresistans			193.301 μΩ/m DC@20°C (3.45·10 ⁷ [S/m] på 150 mm ²)
Følgejord (ecc)	50 mm ²		3,67x10 ⁻⁵ Ω/m (3.41·10 ⁷ [S/m])

3.2 Forlegning

Tre enkelt kabler (L1, L2, L3) er forlagt på tre ulike måter mellom to stasjoner, med total trasélengde 4326 m. Kablene og skjermene er ikke revolvert. Skjermtrådene er jordet i hver ende av kabelanlegget. Det er lagt 50 mm² CU følgejord (ecc) langs hele trasélengden, utenfor rørene. Traséen kan forenklet sett oppsummeres som følger:

Tabell 3.2: Oversikt forlegningsmetode

Beskrivelse	Senter-avstand kabel	Trasélengde
Flat formasjon OPI-kanal. 160 mm rør. 30 mm lysåpning mellom rør.	110 mm	250 m
Flat formasjon grøft. 160 mm rør. 70 mm lysåpning mellom rør.	150 mm	3876 m
Styrt boring under vei/jernbane/elv.	2000 mm	200 m
<i>Total lengde</i>		<i>4326 m</i>



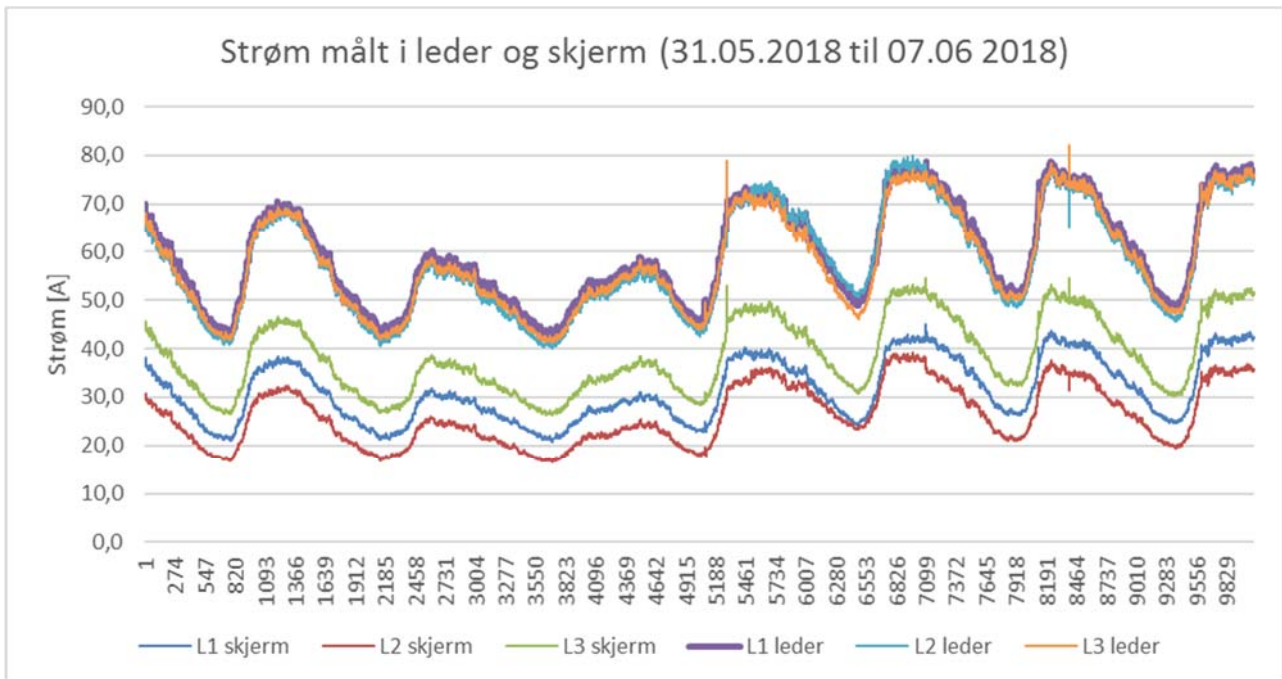
Figur 3.1: Modell 145 kV kabeltrasé

3.3 Oppkobling

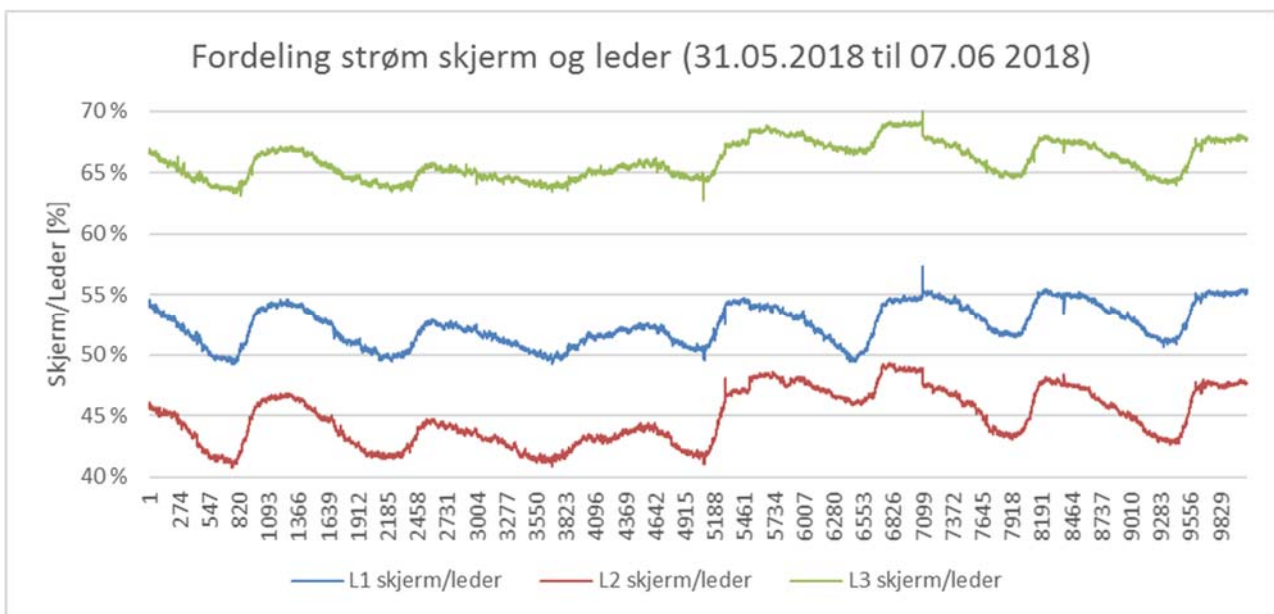
Det er installert et Elspec-apparat for måling av strømmer i skjermene og ledere for alle tre faser i en stasjon. Det gjøres målinger av maks og min strøm for hvert minutt.

3.4 Måleresultat

Lederstrøm og skjermstrøm er målt i en periode fra 31.05.2018 og 07.06.2018.



Figur 3.2: Strøm i kabelanlegget målt i over en uke



Figur 3.3: Grafisk fremstilling av strømfordeling mellom skjerm og leder for hver fase.

3.5 Numerisk beregning skjermstrømmer

Strømmene i skjermene er i hovedsak avhengig av strømpåtrykket i lederen, avstand mellom leder og skjerm (isolasjonstykkelse) og avstand mellom kablene. I en forlegning hvor det er flere seksjoner mer ulik avstand mellom kablene må strømmene regnes ut for hver skjerm i hver seksjon, for deretter å summeres for å finne den totale strømmen i hver skjerm.

Strømmene kan enten beregnes fra formelverk eller med programvare. Et slikt program er tilgjengelig via medlemskap i REN. I nåværende versjon vises ikke skjermstrømmene hver fase på vektorform, noe som er nødvendig for å beregne resulterende skjermstrøm i forlegninger med flere seksjoner. Ecc er heller ikke med i den nåværende versjonen. Det er planlagt å inkludere dette i nåværende prosjekt. For å finne strømmene i hver av skjermene på 145 kV-kablene er det brukt en modifisert utgave av dette programmet program.

3.5.1 Beregning av skjermstrømmer

For å beregne den totale skjermstrømmen i et kabelanlegg må man vite strømmen i hver skjerm, i hver seksjon hvor forlegningen forandres. Et krysskoblingsanlegg er brukt som eksempel på hvordan den totale skjermstrømmen kan regnes ut. Krysskobling er en effektiv måte for å kansellere strømmer og tap i skjermene. Dersom kablene har lik avstand gjennom i hele forlegningen vil den totale skjermstrømmen bli null dersom skjermene blir krysskoblet. I tillegg gjøres en utregning dersom de tre seksjonene har forskjellig lengde.

I eksempelet er det antatt tre like seksjoner, hver med en lengde 10 km. I beregningsprogrammet er det funnet ut at skjermstrømmen i L1 er $(50 + 0i)$ A i seksjon 1, $(-25 + 43.3i)$ A i seksjon 2 og $(-25 - 43.3i)$ i seksjon 3. Dette er gitt i Tabell 3.3, Skjermstrømmene regnes i eksempelet ut bare for ene skjermen, men utregningen vil være lik for de to andre.

Tabell 3.3: Parametere for å regne ut den totale skjermstrømmen i en forlegning bestående av tre seksjoner.

	Seksjon 1	Seksjon 2	Seksjon 3
Lengde (L_n)	10 km	10 km	10 km
Skjermstrøm (I_n) L_1	$50 + 0i$ A	$-25 + 43.3$ A	$-25 - 43.3$ A

Den totale skjermstrømmen beregnes ut fra den generiske formelen:

$$I_{tot} = \frac{\sum_1^n I_n L_n}{\sum_1^n L_n}$$

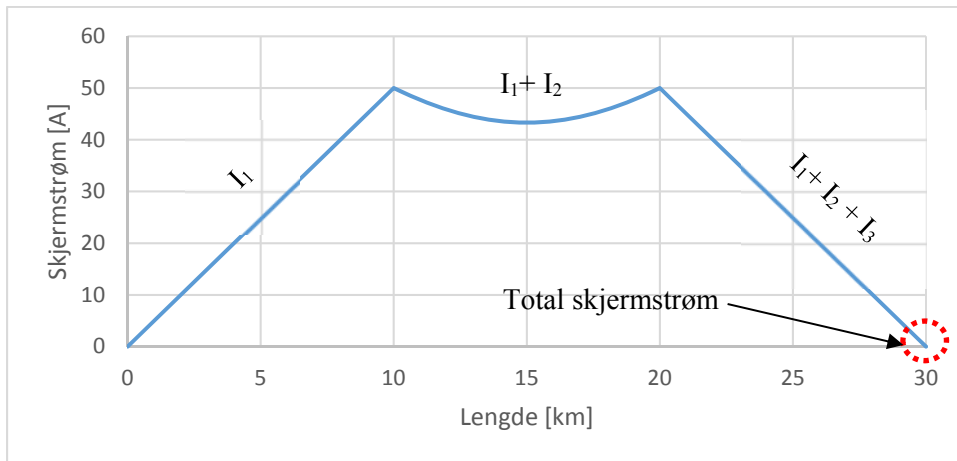
hvor n er antall seksjoner. I vårt eksempel med tre seksjoner blir formelen forenklet til:

$$I_{tot} = \frac{I_1 \cdot L_1 + I_2 \cdot L_2 + I_3 \cdot L_3}{L_1 + L_2 + L_3}$$

Ved å sette inn tallene fra Tabell 3.3 regnes den totale skjermstrømmen ut til å være 0 A, som forventet for et krysskoblet anlegg.

$$I_{tot} = \frac{(50 + 0i)A \cdot 10km + (-25 + 43.3i)A \cdot 10km + (-25 - 43.3i)A \cdot 10 km}{(10 + 10 + 10)km} = 0 A$$

Dersom man tenker seg at strømmen akkumuleres over lengden (noe den ikke gjør) så kan bidraget fra hver av seksjon illustreres som i Figur 3.4. Figuren viser at når bidraget fra alle strømmene (I_1 , I_2 og I_3) summeres over lengden så blir totalstrømmen lik null.

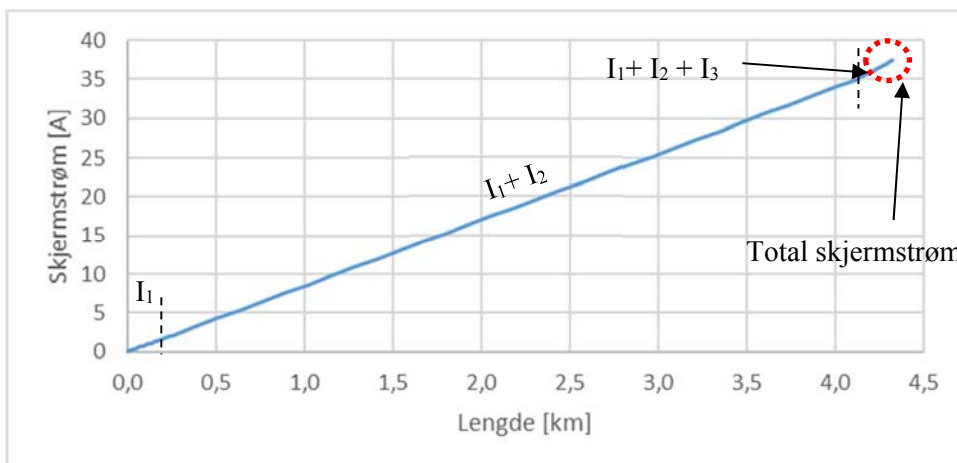


Figur 3.4: Bidrag til skjermstrømmen fra hver av de tre seksjonene for et krysskoblet anlegg. Total strøm i skjermen blir null for lik avstand mellom kablene og like seksjonslengder.

Dersom seksjon 2 er 500 m kortere og seksjon 3 er 500 m lengre er det ikke lengre symmetri, og den resulterende skjermstrømmen øker fra null til 1,4 A. Dette betyr at en variasjon i seksjonslengder på ca. 10% vil gi en totalstrøm på ca. 2.8% av skjermstrømmen for en seksjon.

$$I_{tot} = \frac{(50 + 0i)A \cdot 10.5km + (-25 + 43.3)A \cdot 9.5km + (-25 - 43.3)A \cdot 10.5 km}{(10 + 9.5 + 10.5)km} = 1.4 A$$

Det spesielle med krysskobling er at hver skjerm omgir hver av de tre fasene i løpet av forlegningen. Dersom man gjør tilsvarende beregninger for tre seksjoner, hvor man summerer opp skjermstrømmen for bare en fase (enten innerst, midterst eller ytterst) vil man se at strømmen i den ene ytterfasen er omtrent lik gjennomsnittet av de to andre. Det betyr at den ene ytterfasen vil ha høyere strøm enn den andre. Dette er tilsvarende som målingene i Figur 3.2 og Figur 3.3 viser. Man vil også se at den resulterende skjermstrømmen akkumulerer seg for hver seksjon, i motsetning til i krysskoblinger hvor den resulterende strømmen blir null. Dette kan vises for caset med de tre 145 kV-kablene. Lysåpningen mellom kablene er 30, 70 og 2000 mm, som vist i Figur 3.1 og avstander 0.25, 3.9 og 0.2 km som gitt i Tabell 3.2. Følgjord er ikke med. For fase L1 er skjermstrømmene beregnet til (-24,5-24,8i) A i seksjon 1, (-26,6-25,8i) A i seksjon 2 og (-44,2-27,9i) A i seksjon 3. Dette gir en total skjermstrøm på 37.6 A, som vist i Figur 3.5. Det er i hovedsak seksjon 2, som er lengste lengden, som bidrar til den totale skjermstrømmen.



Figur 3.5: Bidrag til skjermstrømmen i L1 for tre seksjoner på 0.25, 3.9 og 0.2 km. Total skjermstrøm er 37.6 A.

3.5.2 Målinger vs. beregninger

Det er gjort beregninger av skjermstrømmene for 145 kV-kabelanlegget vist i Figur 3.1. Skjermstrømmene er beregnet for hver fase i hver av de tre seksjonene (30, 70 og 2000 mm lysåpning). Disse er deretter summert, tilsvarende som vist i forrige kapittel, og sammenlignet med de målte verdiene. For en fasestrøm på 66 A er skjermstrømmene målt til 35,6 A (L1), 30,6 A (L2) og 43,8 A (L3).

Det er noe usikkerhet til følgejord; ved hvilken fase den er plassert (eller om det blir byttet på), hvor langt unna den er forlagt den nærmeste fasen og om den er kontinuerlig eller ikke. For å vite noe om sensitiviteten er det derfor gjort beregninger for følgende tilfeller:

1. Uten 50 mm² ecc (Tabell 3.4)
2. Med 50 mm² ecc 7 cm fra L1 (Tabell 3.5)
3. Med 50 mm² ecc 7 cm fra L3 (Tabell 3.6)

Beregningene viser at dersom det ikke er følgejord, eller denne er brutt, så er avviket fra målinger på opptil 5 %. Et mindre avvik, opptil 2 %, er beregnet dersom følgejord er 7 cm fra L1-fasen. Om det viser seg at følgejord ligger 7 cm fra L3 er avviket på opptil 10 %. Dette viser at man kan få god overenstemmelse mellom beregninger og målinger.

Tabell 3.4: Målt og beregnet skjermstrømmer uten 50 mm² ecc. Skjermmotstand hentet fra datablad.

Fase	Målt		Beregnet		Avvik
	Fasestrøm [A]	Skjermstrøm [A]	Fasestrøm [A]	Skjermstrøm [A]	
L1	66,4	35,6	66,0	37,6	5 %
L2	65,7	30,4	66,0	31,7	4 %
L3	65,9	43,8	66,0	42,9	-2 %

Tabell 3.5: Målt og beregnet skjermstrømmer med 50 mm² ecc 7 cm fra L1-fase.

Fase	Målt		Beregnet		Avvik
	Fasestrøm [A]	Skjermstrøm [A]	Fasestrøm [A]	Skjermstrøm [A]	
L1	66,4	35,6	66,0	35,0	-2 %
L2	65,7	30,4	66,0	31,0	2 %
L3	65,9	43,8	66,0	44,2	1 %
ecc	-	-		4,6	-

Tabell 3.6: Målt og beregnet skjermstrømmer med 50 mm² ecc 7 cm fra L3-fase.

Fase	Målt		Beregnet		Avvik
	Fasestrøm [A]	Skjermstrøm [A]	Fasestrøm [A]	Skjermstrøm [A]	
L1	66,4	35,6	66,0	37,6	5 %
L2	65,7	30,4	66,0	33,7	10 %
L3	65,9	43,8	66,0	40,3	-9 %
ecc	-	-		4,6	-

3.6 Diskusjon og konklusjon

Det er gjort beregninger for å finne den totale skjermstrømmen i et 145 kV kabelanlegg. Avviket mellom beregninger og målinger er mellom 1 og 10 %. Dette er i hovedsak knyttet til usikkerhet i hvordan og hvorvidt følgejord er forlagt, som avstand til fasene og hvilken eller hvilke fase(r) følgejord ligger ved. Dette viser at nøyaktige beregninger kan gjøres selv for kabelanlegg med flere seksjoner.

4 Referanser

[1] E. Eberg, "Temperaturmåling av kabel med DTS," SINTEF Energi 2018.



Teknologi for et bedre samfunn

www.sintef.no