

# STATUS I PÅGÅENDE FOU- PROSJEKT INNEN KABEL

REN TEKNISK KONFERANSE, GARDERMOEN 16.11.2017

Hans L. Halvorson - SINTEF Energi

[hanslavoll.halvorson@sintef.no](mailto:hanslavoll.halvorson@sintef.no)

# Innhold

---

Pågående FoU prosjekter

**(IPN) Pålitelige Skjermtilkoblinger i Kabelanlegg**

**(IPN) Økning i belastningsevnen til jordkabler**

- Formål
- Status
- Resultater
- Beregningsverktøy

# Pålitelige Skjermtilkoblinger i kabelanlegg

---

Hovedmålet med prosjektet er å etablere retningslinjer for testing og installasjon av skjermtilkoblinger i kraftkabler for å unngå fremtidige feilsituasjoner og for å øke kabelnettets pålitelighet.

## Tidsperiode

2016-2019

## Parter

Prosjektansvarlig: REN AS

Forskningsinstitusjon: SINTEF Energi

Deltagere: Troms Kraft, Eidsiva, Hafslund, Vest-Telemark, Mørenett, NTE

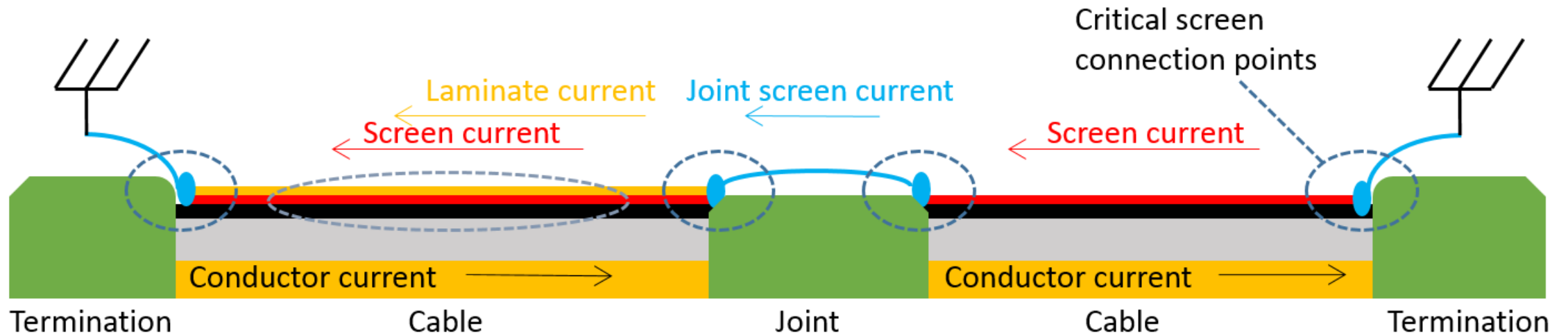
ABB, Abiko, Ensto Nor, General Cable, Maxeta, Melbye, Nexans, Procab, Prysmian

# Mål for prosjektet

---

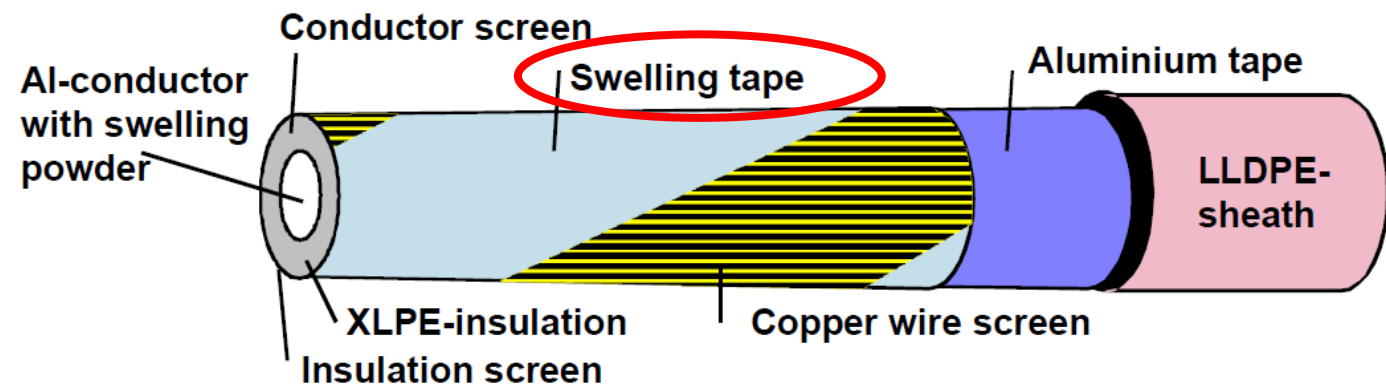
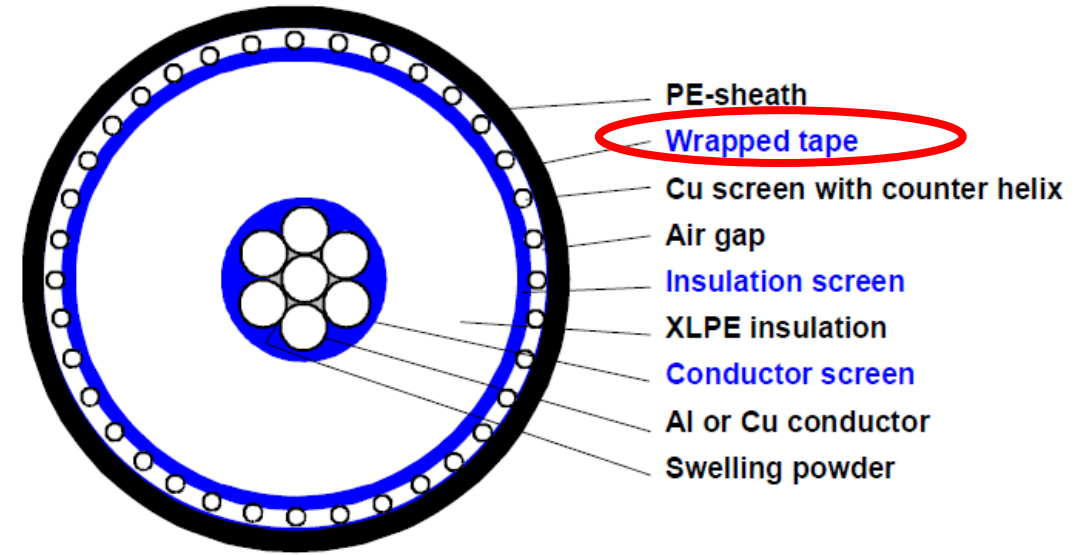
- Gi norske nettselskap og installatører/leverandører anbefalinger om krav til utstyr og utførelse av skjermtilkoblinger i skjøter og termineringer
- Enkelt beregningsprogram for skjermstrømmer
- Anbefalinger og retningslinjer vil bli publisert i RENblad samt implementert i REN kurs.
- Publisering i internasjonale fora (CIRED/CIGRE)

# Skjermstrømmer



# Kabelskjerm design

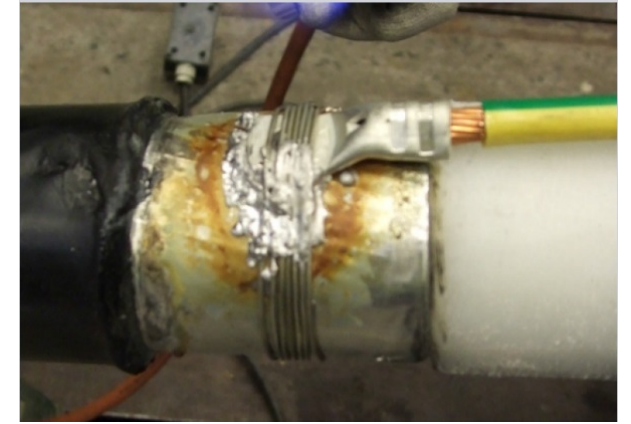
- Skjermtråder og laminat med eller uten galvanisk kontakt?
- Svellebånd/Halvledende teip



# Metoder for jording av skjerm og laminat

---

- Kontaktblikk over eller under laminat
  - Passet sammen med rullefjær, slangeklemmer e.l.
- Lodding
- Klemmeringer
- I kabeldesignet



# Feilanalyser

#	År	Kabeltype	Installasjon	Kort konklusjon
1	2014	24 kV 1x630 mm <sup>2</sup> Al TSLF Galvanisk kontakt	Trekant i grøft.	Fjærklemme feilaktig installert mellom skjermtråder i kabelen og Cu-nett i skjøt
2	2006/ 2008	24 kV 1x1200 mm <sup>2</sup> Al TSLF Svellebånd og teip m overlapp	Trekant på kabelbro	Manglende jording av laminat. Lodde-metode feilet etter kort tid. Relativt store skjermstrømmer (200 A)
3	2006/ 2014	24 kV 1x400 mm <sup>2</sup> Al TSLE Teiper	Flat in grøft. 7,5 km.	Manglende jording av laminat. Skjermtverrsnitt ikke videreført over skjøter (63 stk.)
4	2001/ 2003	145 kV 1000 mm <sup>2</sup> Al TSLE Svellebånd	200 m	Kontaktblikk hadde ikke god nok kontakt med alle skjermtråder. Ca 300 A i skjerm. Teoretisk opp mot 30 A pr blikk. Dimensjonert for 25 A.
5	2000 & 2016	66 kV 150 mm <sup>2</sup> AL TSLE Halvledende bånd	?	Manglende jording av laminat. Jordet med loddemetode etter 1 år. Lodding feilet etter 5 år. Ny hendelse etter 22 år.
6	2016	24 kV 630 mm <sup>2</sup> AL TSLF Galvanisk kontakt	?	Flere termineringer og kabler har smeltet på grunn av relativt store skjermstrømmer (140 A) og manglende jording av laminat.



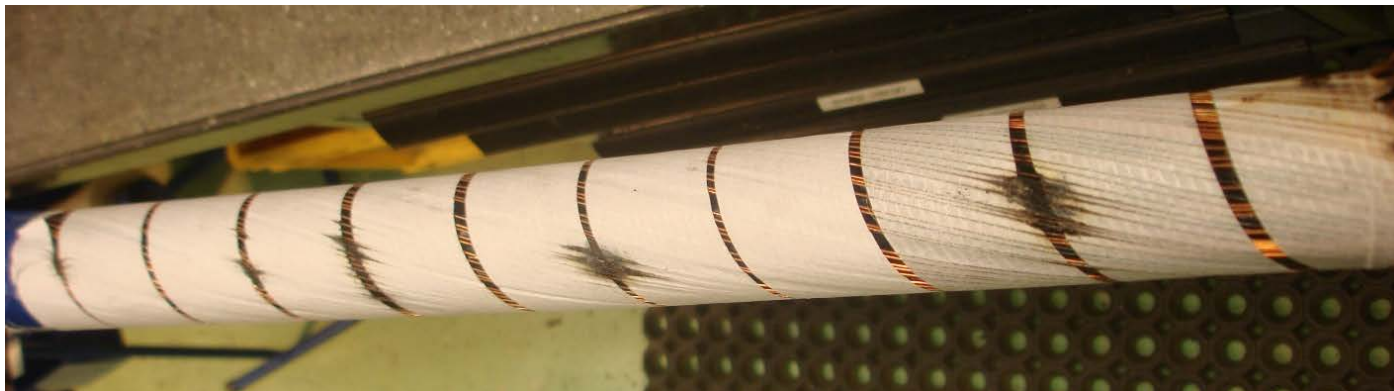
# Eksempel # 3

---



# Eksempel # 6

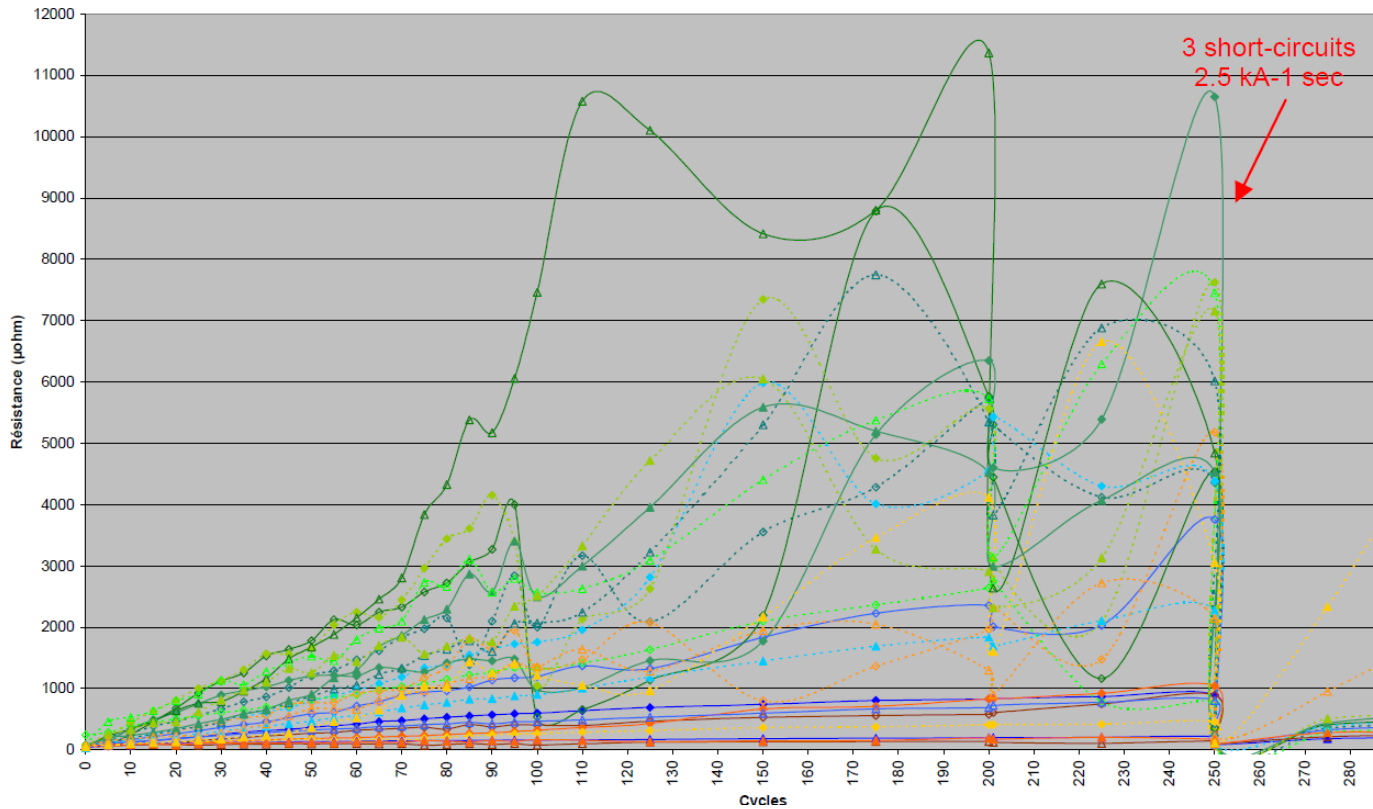
---



# Standarder og anbefalinger

Standard	Test	Comment
<b>CENELEC HD620</b>	N/A	Describes the general design requirements applicable to the cables
<b>CENELEC HD629</b>	Short Circuit Test ( $2xI_{sc}$ ) + Visual examination	Accessories. Only fault condition tested.
<b>CENELEC HD605</b>	Short circuit test + spike test	Cables alone. Only fault condition tested.
<b>IEC 60502-4</b>	Requirements for short circuit test ( $2xI_{sc}$ ) + visual examination	Accessories. Only fault condition tested.
<b>IEC 61442</b>	Method for short circuit test	Accessories
<b>CIGRÉ TB446</b>	Short circuit test ( $5xI_{sc}$ ) + visual examination	For cable systems > 36 kV. MV cable systems not considered
<b>National Standards</b>	Uncharted	Relevant tests may be described in national standards.

# Tilkobling mot AL-laminat



[Tourcher. SYCABEL. Tambrun. *Connection to MV cable aluminium screen.* Jicable 2011]

# Internasjonal Arbeidsgruppe CIRED WG 2017-01

---

- Tittel: Test recommendations for ground screen power cable connections
- Convenor: Sverre Hvidsten (SINTEF Energi)
- Medlemmer fra 12 ulike land
- Rapport juni 2019
  - Konfigurasjoner og strømmer
  - Design
  - Feiltyper
  - Testprosedyre



# Konklusjon og videre arbeid

---

- Manglende internasjonal standard for testing
  - 2 x kortslutning + visuell undersøkelse
- Lite kunnskap - overraskende store skjermstrømmer
- Vanskelige installasjonsprosedyrer
- Mange leverandører
- CIREC arbeidsgruppe er opprettet
  - <http://cired.net/working-groups/ground-screen-power-cable-connections>



# Økning i belastningsevnen til jordkabler

---

Prosjektets målsetting er å bidra til økt utnyttelse av det norske kabelnettet, samtidig som påliteligheten til strømforsyningen økes.

Tidsperiode

2014-2017

Parter

Prosjektansvarlig: REN AS

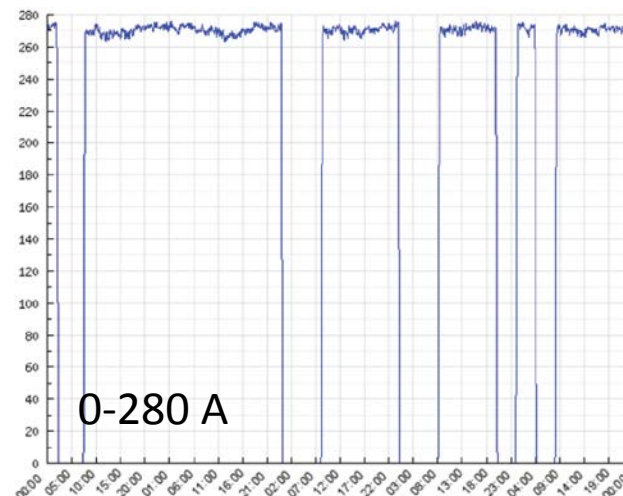
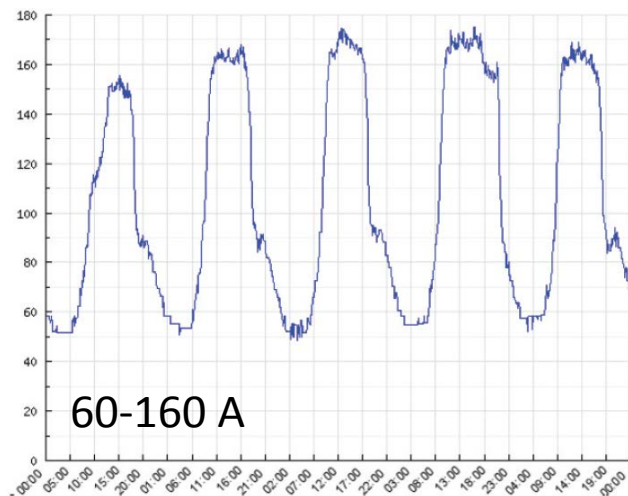
Forskningsinstitusjon: SINTEF Energi

Gudbrandsdal Energi, Glitre Energi Nett, Hafslund Nett, Hallingdal Kraftnett, Helgelandskraft, Istad Nett, Lyse Elnett, Mørenett, Nexans Norway, NTE Nett, OPI, Orkdal Energi, Skagerak Nett, Skjåk Energi, Stange Energi Nett, Statnett, Sykkylven Energi, Vang Energiverk



# Utfordringer

- Strømføringsevnen sterkt avhengig av termiske betingelser i forlegning
- Konsekvenser ved økt utnyttelse av kabelnettet?
- Konsekvenser ved avvikende eller mer kompleks kabelforlegning?

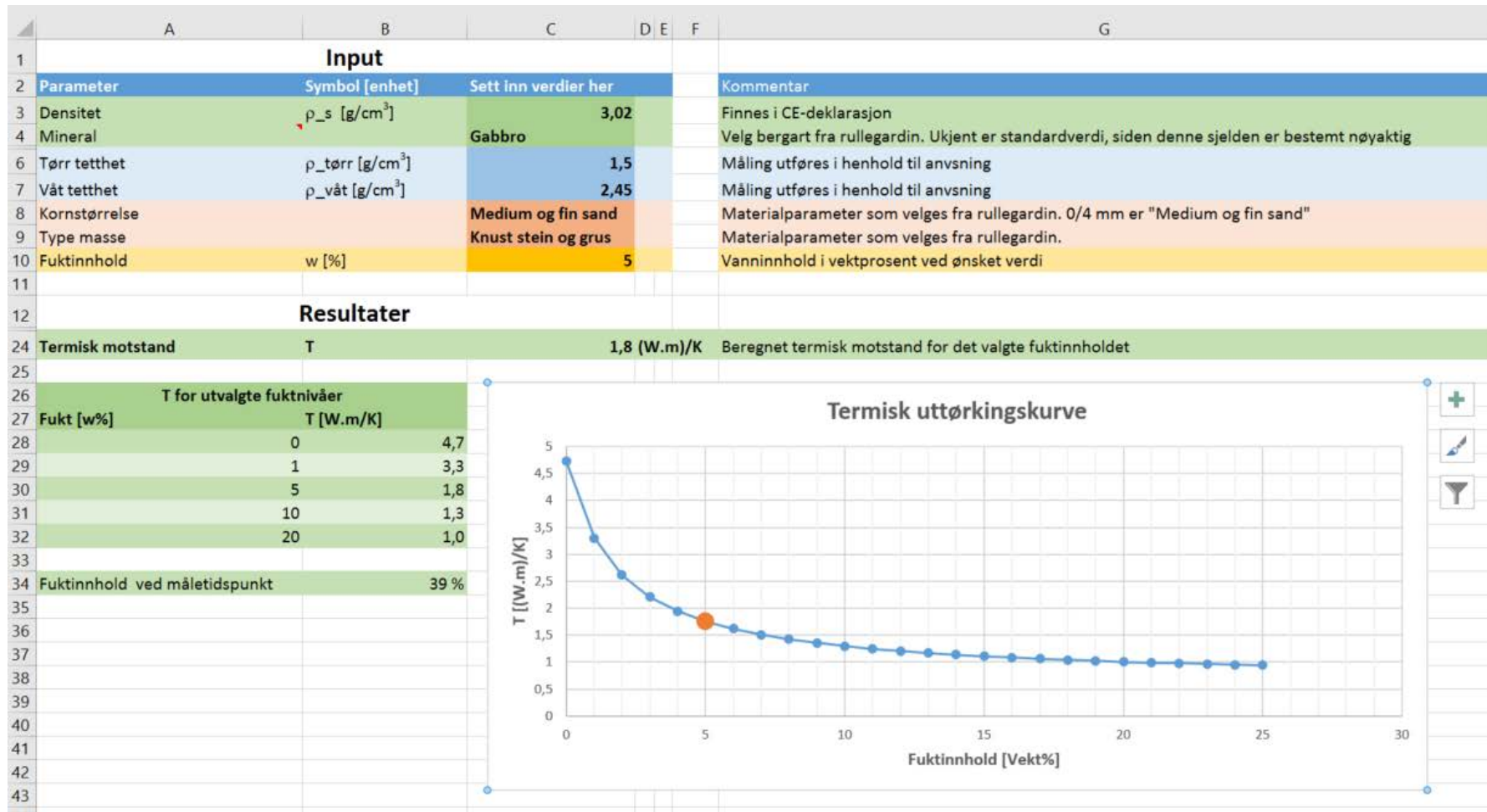


# Prosjektmål

---

- Finnes ingen *praktisk* metodikk for å bestemme termisk ledningsevne i massene kablet legges:
  - **Utvikle metode for å estimere relevante parametere for gjenfyllingsmasser**
- Analytiske beregningsmetoder komplisert for komplekse kabelføringer og fellesføringer:
  - **Utvikle forenklet beregningsverktøy for realistiske kabelføringer**

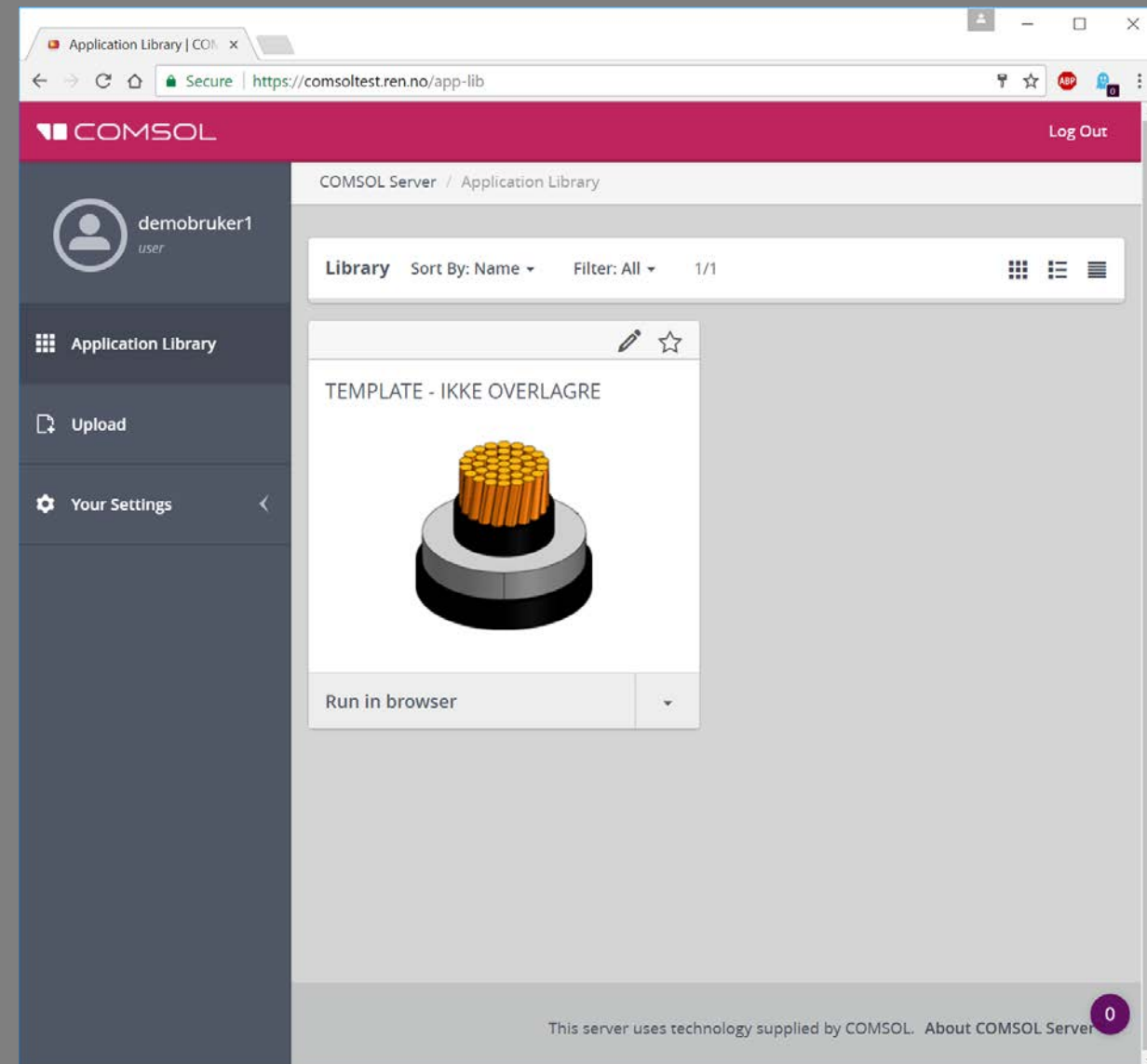
# Kalkulator for termisk ledningsevne



# Nettbasert beregningsverktøy

- Web-applikasjon som kjører numeriske beregninger på server
- Enkel i bruk og svært fleksibel

<https://comsoltest.ren.no/app-lib>





## Kabelgrupper

Antall kabelgrupper

### Grøft

Grøftvinkel:	°	<input type="text" value="60"/>	Referanse	
Tykkelse beskyttelseslag	cm	<input type="text" value="15"/>	Gruppe 1	
Tykkelse fundament	cm	<input type="text" value="10"/>	Gruppe 1	
Total grøftedybde	cm	92.67		
Resistivitet ledningssone	mK/W	1	Normal (IEC)	
Resistivitet gjenfyllingssone	mK/W	1	Normal (IEC)	

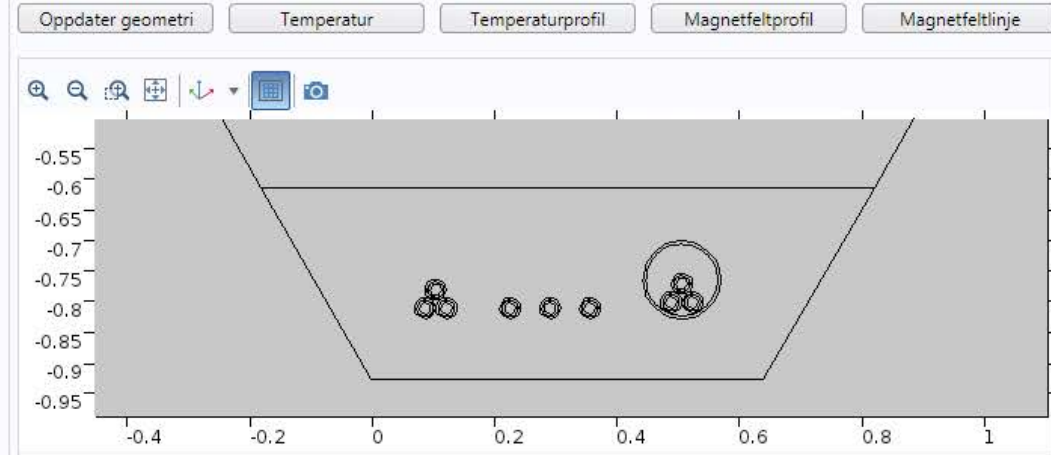
### Omgivelser

Overflatetemperatur: °C

Konveksjonstall luft:  $1 \cdot 10^5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

### Kabelnivå

### Grafikk Resultater



### Kabler Rør og materialer

	1	2	3
Overdekning	cm <input type="text" value="76.2"/>	<input type="text" value="79.3"/>	<input type="text" value="70"/>
Lysåpning	cm <input type="text" value="7"/>	<input type="text" value="7"/>	<input type="text" value="7"/>
Lysåpningref.	<input type="text" value="Venstre grøftkant"/>	<input type="text" value="Gruppe 1"/>	<input type="text" value="Gruppe 2"/>
Beskyttelseslag	cm 15	18	8.78
Fundament	cm 10	10	10
Strømpåtrykk	A <input type="text" value="300"/>	<input type="text" value="300"/>	<input type="text" value="300"/>
Kabeltype	<input type="text" value="TSLF12kV3x240A/35"/>	<input type="text" value="TSLF12kV3x240A/35"/>	<input type="text" value="TSLF12kV3x240A/35"/>
Lukket skjerm	<input checked="" type="checkbox"/> Ja	<input checked="" type="checkbox"/> Ja	<input checked="" type="checkbox"/> Ja
Konfigurasjon	<input type="text" value="Trekant"/>	<input type="text" value="Flat"/>	<input type="text" value="Trekant"/>

### Flat forlegning:

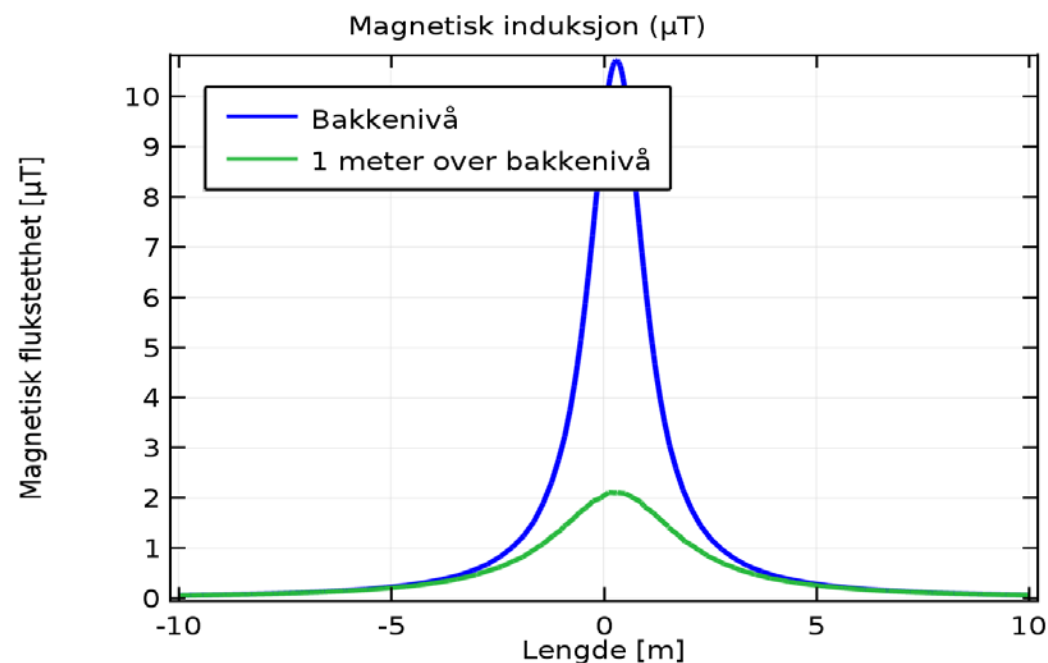
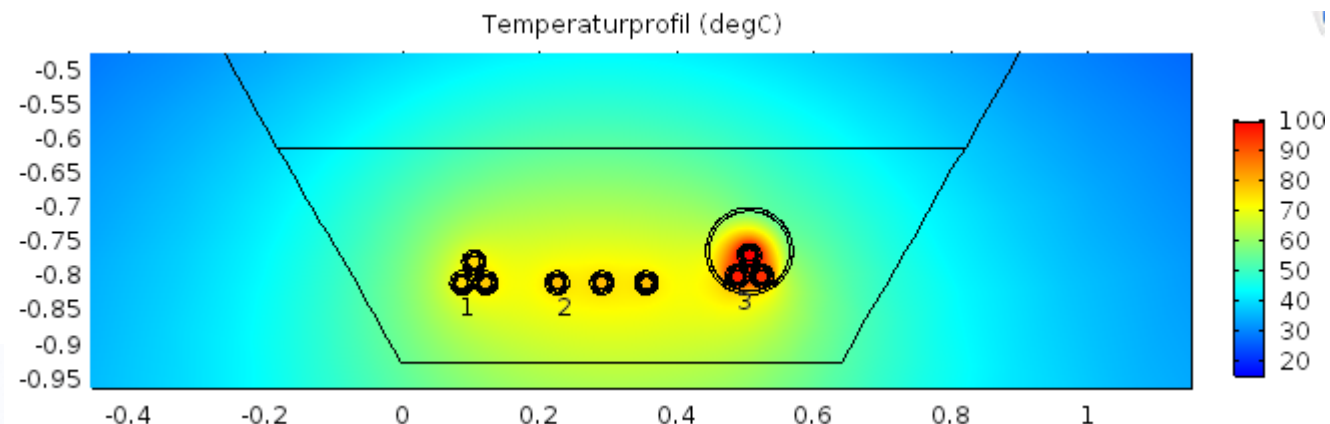
Lysåpning venstre	cm <input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="3"/>
Kabelvinkel venstre	° <input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
Lysåpning høyre	cm <input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="3"/>
Kabelvinkel høyre	° <input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>

# Resultater

## Resultater

Siste simuleringstid: 2 Total effektutvikling: 140 W/m

Tittel	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3
Overføringskapasitet [MVA]	5.2	5.2	5.2
Strøm [A]	300.0	300.0	300.0
Driftsspenning [kV]	10.0	10.0	10.0
Tap ledere [W/m]	42.1	42.3	45.0
Tap skjermer [W/m]	2.0	6.4	1.8
Skjermspanning [V/km]	10.3	3.4	8.3
Skjermstrøm [A]	31.8	66.9	29.0
Strøm i hovedskjerm [%]	100.0	100.0	100.0
Strøm i sekundærskjerm [%]	0.0	0.0	0.0
Lederimpedans [ $\text{ohm/km}$ ]	$0.1635 + 0.101i$	$0.1799 + 0.153i$	$0.174 + 0.101i$
Maksimal ledertemperatur [ $^{\circ}\text{C}$ ]	78.0	79.0	103.0

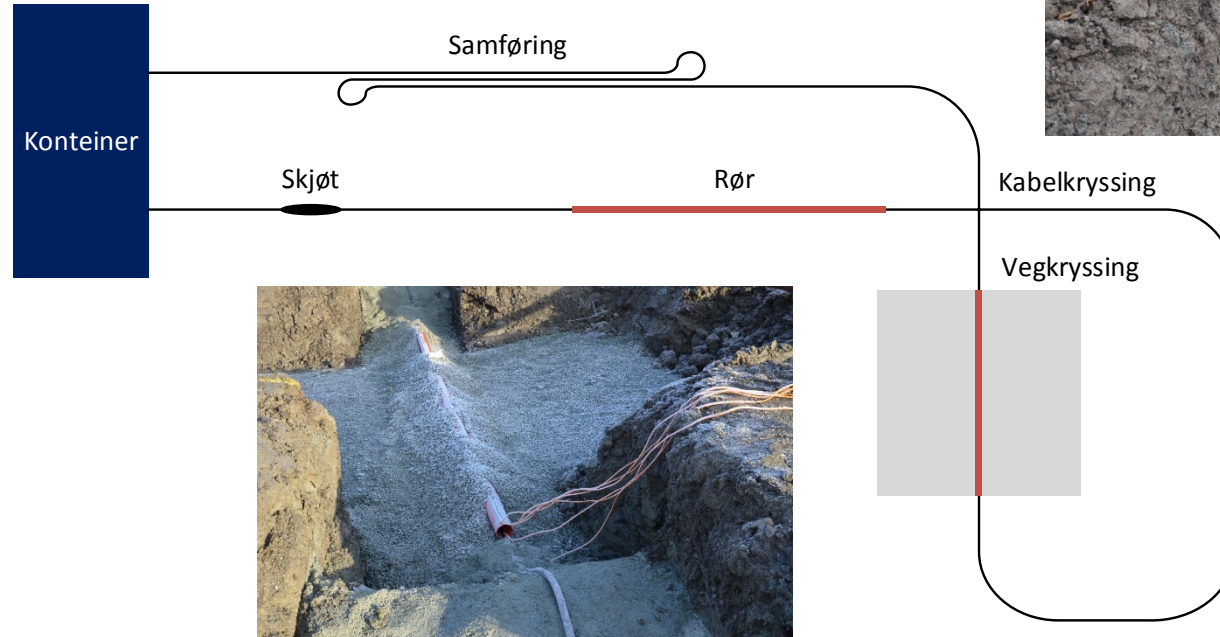


# Oppsummert

---

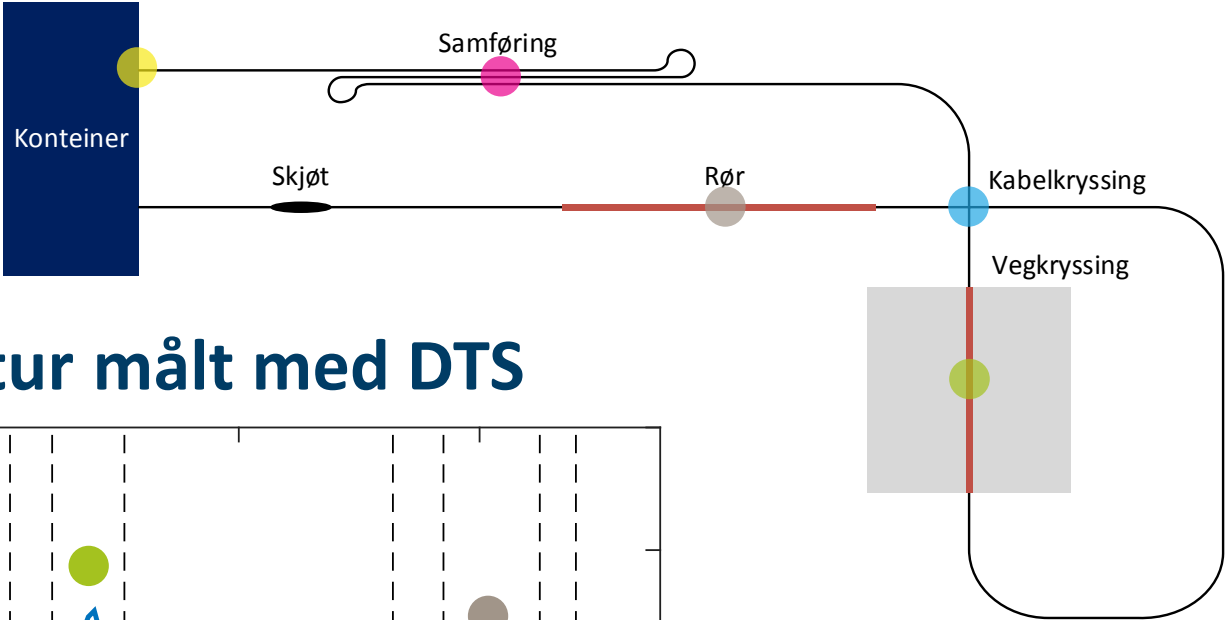
- Enkelt og intuitivt
  - Unik kombinasjon av avanserte beregninger og god brukervennlighet
  - Web-app abonnementstjeneste fra REN
- Fleksibelt
  - Kabelverrsnitt, plassering i grøft, rør, betongkanaler,
  - Egendefinert resistivitet jordsmonn
  - Database for standard kabler, kan legge inn egne kabeldesign
- Kvalitet
  - Større nøyaktighet sammenlignet med tabeller, normer, excel-ark...
- Nyttig
  - Mange behov dekkes. (strømføringsevne, skjermstrømmer, magnetfelt, impedans ...)
  - Rapport

# Case: Tiller

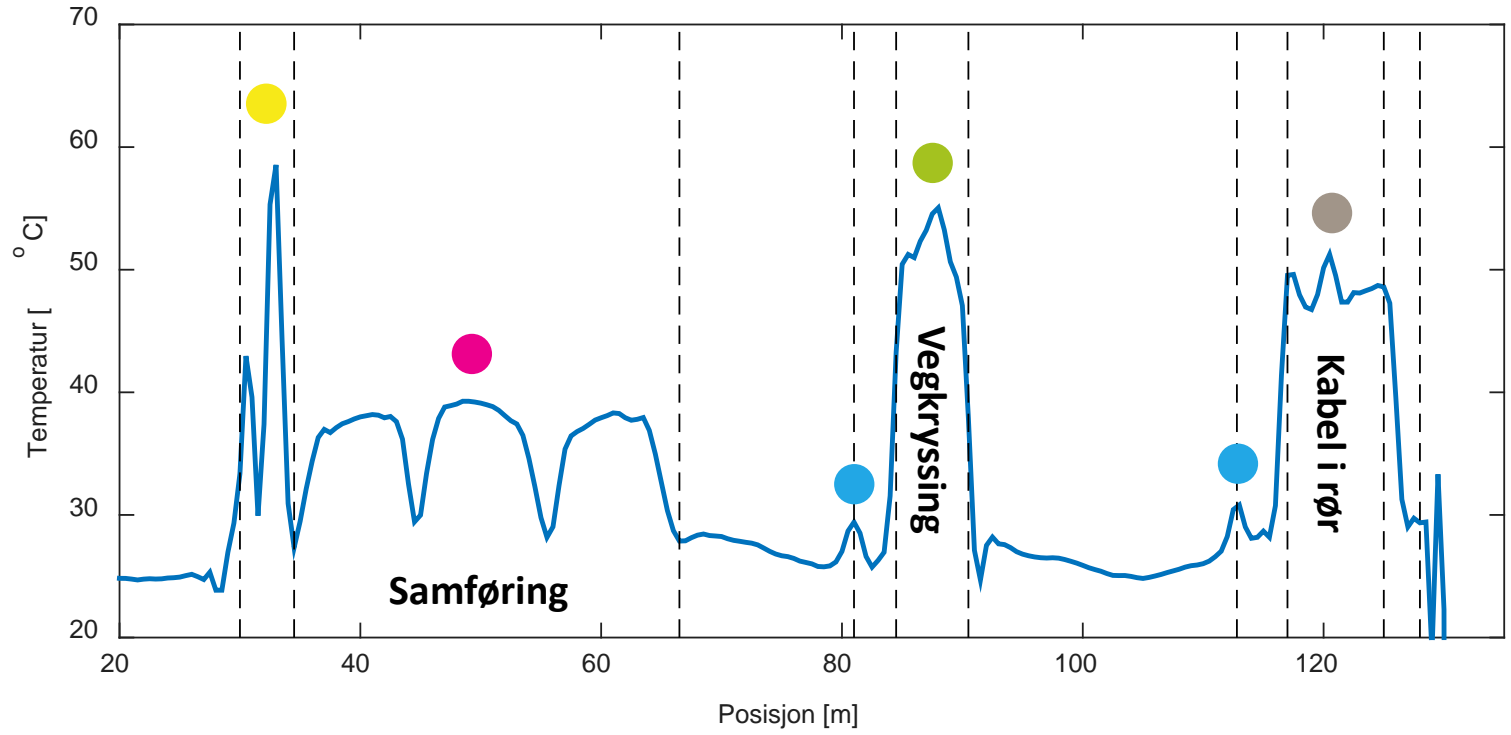




# Case Tiller



## Kappetemperatur målt med DTS



# Konklusjoner

---

- Nyttige verktøy utviklet
  - Kalkulator for termisk ledningsevne
  - COMSOL beregningsverktøy temperatur/magnetfelt
- Flere oppgaver:
  - Effekt av korte og lange termiske flaskehalser (felles kabelføring ved stasjon)
  - "Verktøykasse" med flere verktøy
  - Modell for dynamisk belastningsevne

# Videre lesning skjermtilkoblinger

---

- <http://www.sintef.no/prosjekter/reliable-power-cable-screen/>
- <http://cired.net/working-groups/ground-screen-power-cable-connections>
- SINTEF Info-blad 9.58. **Metode for sammenkobling av AL-laminat/kobberskjerm i vanntette PEX kabler**
- Sivertsvoll, Rønningen, Faremo, Lervik, Hønsi, Wilnes, Jacobsen, Halvorson. **Watertight Cable Designs in Hydropower Generation Plants.** Jicable 2015.
- Sivertsvoll, Rønningen, Faremo, Lervik, Hønsi, Wilnes, Jacobsen, Halvorson. **Problemstillinger knyttet til folieskjerede enlederkabler ved store kabelstrømmer.** NEF Teknisk Møte 2014.
- Eberg. Hvidsten. Bergset. **Assessment of Overheating in XLPE MV Cable Joints by Partial Discharge Measurement.** Jicable 2015.
- Lervik. Solheim. Kvaale. Snarteland. **XLPE Cables with Aluminium Laminated Sheath.** Jicable 2015.
- Halvorson, Hvidsten, Kulbotten, Lervik. **Experiences with cable faults located at metallic screen connections.** CIRED 2017
- Tourcher. Fortin. SYCABEL. Tambrun. **Connection to MV cable longitudinal aluminium screen.** Jicable 2015.
- Tourcher. SYCABEL. Tambrun. **Connection to MV cable aluminium screen.** Cired 2013
- Tourcher. SYCABEL. Tambrun. **Connection to MV cable aluminium screen.** Jicable 2011
- Faremo. Benjaminsen, Steen, Olsen. **Evaluation of Aspects Important for the Long Term Service Performance of Axial and Radial Watertight XLPE Cables.** Jicable 1999
- Faremo. **Vanntette PEX-kabler i fordelingsnett.** Xergi 4.98.

# Videre lesning belastningsevne

---

- Eberg *et al.*, **Full-scale case study of a road crossing thermal bottleneck in a buried MV cable installation**. CIRED 2017.
  - [http://cired.net/publications/cired2017/pdfs/CIRED2017\\_0820\\_final.pdf](http://cired.net/publications/cired2017/pdfs/CIRED2017_0820_final.pdf)
- CIGRE WG B1.35, **A Guide for Rating Calculations of Insulated Cables**, Technical Brochure 640
  - <https://e-cigre.org/publication/640-a-guide-for-rating-calculations-of-insulated-cables>
- F. d. Leon, **Major Factors Affecting Cable Ampacity**, in *Power Engineering Society General Meeting*, Montreal, 2006.
  - [https://www.researchgate.net/publication/224651435\\_Major\\_factors\\_affecting\\_cable\\_ampacity](https://www.researchgate.net/publication/224651435_Major_factors_affecting_cable_ampacity)
- S. Balzer *et al.*, **Improvement of ampacity ratings of Medium Voltage cables in protection pipes by comprehensive consideration and selective improvement of the heat transfer mechanisms within the pipe**, *JiCable'15*, Versailles, 2015.
  - [https://www.researchgate.net/publication/309292654\\_Improvement\\_of\\_ampacity\\_ratings\\_of\\_Medium\\_Voltage\\_cables\\_in\\_protection\\_pipes\\_by\\_comprehensive\\_consideration\\_and\\_selective\\_improvement\\_of\\_the\\_heat\\_transfer\\_mechanisms\\_within\\_the\\_pipe](https://www.researchgate.net/publication/309292654_Improvement_of_ampacity_ratings_of_Medium_Voltage_cables_in_protection_pipes_by_comprehensive_consideration_and_selective_improvement_of_the_heat_transfer_mechanisms_within_the_pipe)
- Burceanu og van der Borgh, **Study of thermal backfill materials for directly buried HV cables**, *JiCable'15*, Versailles, 2015.
- G. J. Anders, **Rating of Electric Power Cables in Unfavorable Thermal Environment**, New Jersey: Wiley-Interscience, 2005
  - <http://eu.wiley.com/WileyCDA/WileyTitle/productCd-0471679097.html>



Teknologi for et bedre samfunn