

# Prosjektnotat

## Temperaturmåling av kabel med DTS

Case Tiller

**VERSJON**

1.1

**DATO**

2018-06-29

**FORFATTER(E)**

Espen Eberg

**OPPDRAGSGIVER(E)**

REN AS

**OPPDRAGSGIVERS REF.**

Kåre Espeland

**PROSJEKTNR**

502000652

**ANTALL SIDER OG VEDLEGG:**

12 + vedlegg

**SAMMENDRAG**

Dette notatet beskriver installasjon og bruk av et DTS-system (*distributed temperature sensing*) i testgrøften på Tiller som prosjektet disponerer. Hensikten er å undersøke hvor godt DTS-systemer fungerer til overvåking av termiske flaskehalsar i praksis, samt skaffe ytterligere data for verifisering av beregning av belastningsevne.

**UTARBEIDET AV**

Espen Eberg

**SIGNATUR****GODKJENT AV**

Hans Lavoll Halvorson

**SIGNATUR****PROSJEKTNOTAT NR**

AN 18.14.11

**GRADERING**

Fortrolig

# Historikk

---

VERSJON	DATO	VERSJONSBEKRIVELSE
1	2018-02-21	Utkast til kommentering i prosjektgruppen

---

1.1	2018-06-29	Endelig versjon
-----	------------	-----------------

# Innholdsfortegnelse

<b>1</b>	<b>Innledning .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Virkemåte .....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Installasjon .....</b>	<b>6</b>
	3.1 Kommunikasjon og overføring av data .....	8
<b>4</b>	<b>Målinger .....</b>	<b>8</b>
<b>5</b>	<b>Oppsummering .....</b>	<b>10</b>
<b>A</b>	<b>Tekniske data .....</b>	<b>11</b>

## BILAG/VEDLEGG

---

Vedlegg A: Tekniske spesifikasjoner *AP Sensing Linear Power Series N4385B*

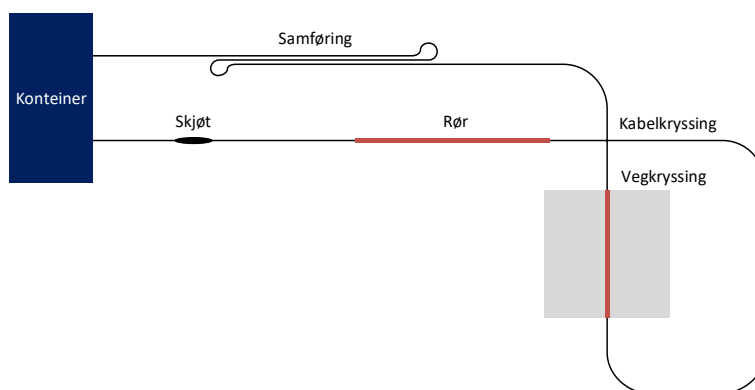
---

## 1 Innledning

For kabelforlegninger er den begrensende faktor for strømføringskapasitet (belastningsevne) varmeutvikling i kabledere og skjerm som følge av ohmske tap – gitt at tilstøtende komponenter i nettet er korrekt dimensjonert. Siden de termiske egenskapene til kabelens omkringliggende masser varierer med nedbør, årstid eller annen ekstern påvirkning, vil dimensjonerende beregninger ofte benytte konservative verdier for disse. En del kabelforlegninger er også så komplekse at det er utfordrende å lage presise modeller. Dette gjelder både når IEC 60287<sup>1</sup> eller numeriske modeller benyttes. Eksempler på slike forlegninger er kulverter/tuneller med (naturlig eller forsert) ventilasjon, kryssende infrastruktur (vei, jernbane, fjernvarme) eller samføringer hvor kabler krysser eller avstanden i lengderetning varierer.

For kabler hvor utnyttelse av kapasitet er høy eller av kritisk karakter, kan det derfor være fornuftig å benytte måleutstyr som overvåker temperaturen langs kabelen for å utnytte den reelle kapasiteten. Hvis temperaturmålinger utføres i sanntid, vil det være mulig å belaste kablene slik at temperaturgrensen ikke overstiges. På grunn av lange termiske tidskonstanter (timer) i en kabelforlegning, vil det være mulig å midlertidig øke strømmen i flere timer (nøddlast) uten at kritisk temperatur nås. Det er også mulig å ta hensyn til lastvariasjon/forbruksmønster over tid med i beregning av temperaturforløp, ofte med det resultat at maksimal last kan økes, siden denne har en kortvarig topp per døgn.

I prosjektet *Økning av belastningsevnen til jordkabler*, er målet å utvikle verktøy og metoder for å sikkert kunne bestemme (og med stor sannsynlighet øke) belastningsevnen til kabler forlagt i bakken. Som en del av dette prosjektet har en kabelforlegning med innlagte termiske flaskehals blitt installert utenfor Trondheim, med formål å verifisere beregningsmetoder for belastningsevne på reelle termiske flaskehals. En skisse av forlegningen er vist i Figur 1 og en detaljert beskrivelse av denne forlegningen er gitt i notat AN 16.14.34 - *Installering av case Tiller*.



**Figur 1: Skisse av testgrøft på Tiller.**

For å kunne overvåke temperatur og andre relevante parametere har det blitt installert en rekke diskrete temperatur- og fuktsensorer på kabelen og i bakken. Kabelen ble også levert med optiske fibre, lagt inn sammen skjermtrådene, som kan benyttes til å måle temperaturen som funksjon av posisjon langs kabelen. Et slikt målesystem omtales som DTS (*distributed temperature sensing*).

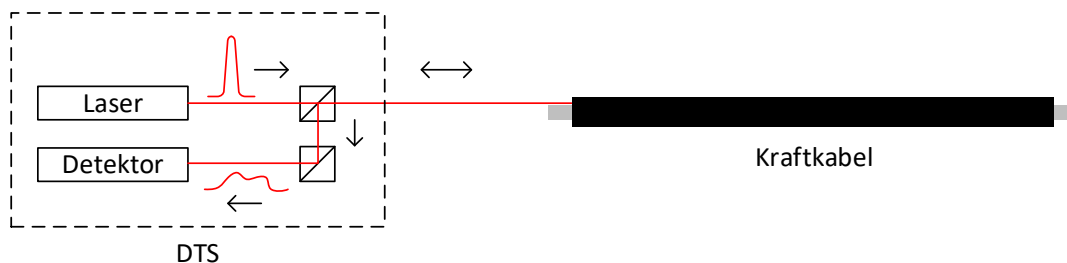
Basert på tilbakemeldinger i prosjektet ble det besluttet å invitere leverandører til å teste ut DTS-systemer på Tiller. Hensikten med dette er å teste ut DTS for å undersøke hvor godt DTS registrerer termiske flaskehals, bruk av DTS i praksis og om det er praktiske hensyn i forbindelse med installering av DTS når det allerede finnes optisk fiber i kabelen. Seks leverandører ble invitert, hvorav to responderte positiv. En av

<sup>1</sup> International Electrotechnical Commission, IEC 60287 Electric cables - Calculation of the current rating, 2006

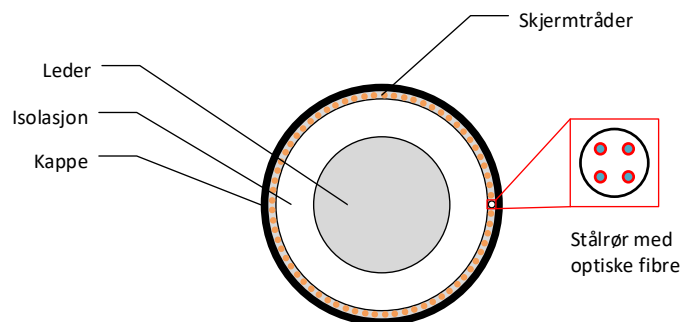
disse trakk seg, og AP Sensing stilte da som eneste leverandør med et DTS-system til utlån i perioden mai 2017 til mars 2018.

## 2 Virkemåte

I Figur 2 er den prinsipielle virkemåten til et DTS-system skissert: DTS'en sender en laserpuls inn i en optisk fiber som ligger inni<sup>2</sup> kabelen, som vist i Figur 3. I den optiske fiberen vil en liten del av laserpuls reflekteres etter hvert som den forplantes i fiberen. Energien til lyset som er reflektert på en bestemt posisjon i fiberen vil være temperaturavhengig. Ved å samle inn det reflekterte lyset i en fotodetektor, og måle hvor lang tid det reflekterte lyset har brukt, er det mulig å bestemme temperaturen i fiberen som funksjon av posisjon. Temperaturavhengigheten kommer som en følge av at glassmolekylene i fiberen har en temperaturavhengig vibrasjon, og når deler av lysstrålene reflekteres tilbake i fiberen skjer det dermed en temperaturavhengig energiutveksling mellom glassmolekylene og lysstrålen.



**Figur 2: Prinsippskisse DTS.**



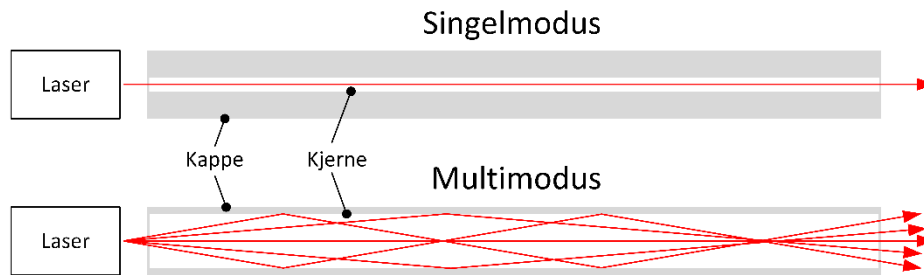
**Figur 3: Plassering av fiber i TSLF-kabel. En av skjermtrådene er byttet ut med et stålrør som inneholder optiske fibre.**

Intensiteten og endringen i energi for det reflekterte lyset er svært liten, slik at det reflekterte lyset akkumuleres over både posisjon og tid for å kunne gi en nøyaktig temperatur. Typisk akkumuleres signalet i ½ til 1 minutt over en avstand på 0,5-2 meter. Høyere tidsoppløsning vil gå på bekostning av romlig oppløsning - og omvendt.

Hvordan laserlyset forplantes langs fiberen avhenger av hvilken type optisk fiber som benyttes, og det er her vanlig å skille mellom singelmodus (SM) og multimodus (MM) fiber. I Figur 4 er forskjellen mellom disse to skissert. For SM er kjernen som leder lyset gjennom fiberen så liten diameter, at lyset ikke tillates å reflektere på veggene, og alt lys som forplantes gjennom kommer direkte fra laserkilden. Dette medfører at

<sup>2</sup> Det er også mulig å legge fiberen i et rør utenpå kabelen, eller i hulrommet i midten av snodde ledere. Med fiberen bakt inn i kabelen er det færre feilkilder når man regner seg tilbake til hva den reelle kabeltemperaturen er.

lyset kan forplantes over lange avstander uten å smøres utover (dispersjon), men siden arealet som laseren kan sende lys inn i er lite, vil lysmengden være liten. I MM er tverrsnittet på kjernen som leder lys mye større enn i SM, slik at det er mulig å sende inn en mye større lysmengde. På grunn av den større diameteren vil det være mulig for lyset å reflektere langs veggene og forplantes videre. Dette resulterer i at lysstråler fra samme laserpuls har hatt ulik reiselengde og -tid når de når enden av fiberen, og laserpulsene blir smurt utover. Det vil ikke være praktisk mulig å kombinere eller skjøte SM og MM fiber i samme krets.



**Figur 4: Singelmodus (SM) multimodus (MM) fiber.**

For lange lengder vil derfor SM egne seg bedre enn MM, men signalstyrken vil være mye mindre. For bruk til DTS hvor signalet som gir informasjon om temperaturen er svært lite, vil lengden på kabelen være avgjørende for hvilken type fiber eller teknologi som benyttes.

Ulike leverandører implementerer DTS-systemer på ulike måter, og tekniske data er heller ikke lett tilgjengelig. Det er derfor ikke mulig å gi en presis beskrivelse av ytelse, men følgende tabell gir et overslag over ytelsen som kan forventes. For DTS-systemet på Tiller er spesifisering gitt i Vedlegg 5.

**Tabell 1: Anslag på ytelsen til DTS-systemer, basert på offentlig tilgjengelig informasjon.**

Kabellengde	Fiber	Oppløsning		
		Posisjon [m]	Tid [min]	Temperatur [K]
< 5-10 km	MM	1	0,5	1
>10 – 30 km	SM/MM	2	1-2	2
> 30 km – ~100 km*	SM	5	> 10	5

\*) Maks kabellengde er ofte ikke spesifisert, siden nøyaktigheten avtar gradvis.

### 3 Installasjon

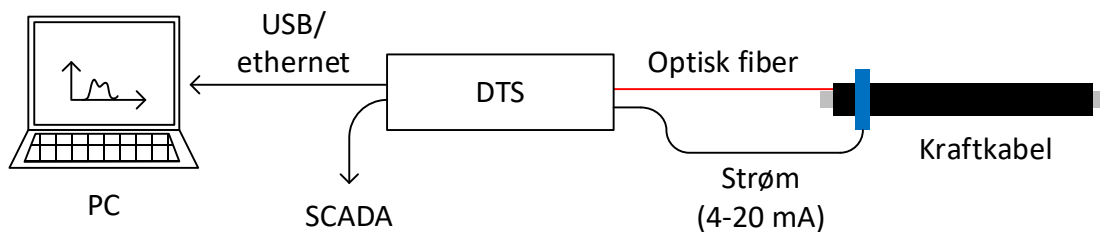
For at det skal være mulig å måle temperatur langs en kabel eller kabeltrasé, må det ligge en optisk fiber inne i kabelen eller festet på kabelen. Det er også mulig å legge fiber i nærheten av kabelen, f.eks. i ledige rør i støpte kanaler eller tunneller. I sistnevnte tilfelle kan eksisterende telekomfibre benyttes eller det kan være mulig å trekke fiberen i ettertid. Det vil være beregningsmessig mer komplisert å regne seg tilbake til ledertemperaturen enn om fiberen ligger inne i kabelen, men dette vil være mulig om leverandøren har implementert beregning av belastningsevne i henhold til IEC 60287<sup>1</sup> og IEC 60583<sup>3</sup> (transiente/ dynamiske laster).

<sup>3</sup> International Electrotechnical Commission, IEC 60583 Calculation of the cyclic and emergency current rating of cables, 1985/2008.

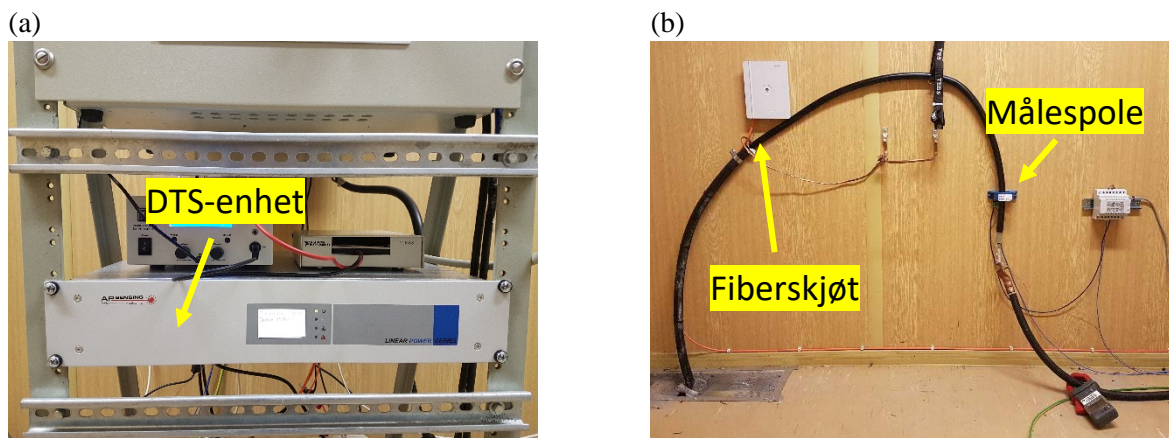
DTS-systemet kobles normalt til i én ende av kabelen. Fiberen skjøtes og føres ut sammen med skjermtrådene når endeavslutningen settes på. Er kabeltermineringen utendørs, føres fiberen inn til nærmeste stasjon, hvor DTS-systemet er plassert. Vanligvis består et DTS system av et skap med måleutstyret, samt en tilkoblet PC med programvare for logging, analyse, visualisering og eventuelt sanntids belastningsevneberegninger (*real time thermal rating, RTTR*). Skal det gjøres RTTR monteres det også målespoler for strøm.

For at et DTS-system skal fungere etter hensikten er det viktig at det ikke er uønskede refleksjoner i fiberen som forstyrrer (interferens) det ønskede temperaturavhengige signalet. Det er typisk to steder slike refleksjoner kan oppstå; der hvor fiberen skjøtes og i motsatt ende. Hvis motsatt ende er tilgjengelig i en stasjon vil det være mulig å terminere fiberen med plugg. Er fiberen kappet i forbindelse med skjøting av kabel kan man risikere uønskede refleksjoner. Ved skjøting av kabel med fiber er det derfor vanlig å skjøte fiberen med en lengre kveil som legges i bakken. Før installasjon av DTS-systemer måles derfor fiberens integritet med optisk tidsdomenereflektometri (OTDR), den optiske ekvivalenten til TDR som benyttes til lokalisering av skjøter og feil i kabelen.

På Tiller er DTS-systemet lånt ut av AP Sensing, og består av måleelektronikk plassert i et 19" kabinett, plassert i rack, og en bærbar PC tilkoblet via Ethernet med logge- og analyseprogramvare. Fiberen (50 $\mu$ m/125 $\mu$ m MM) i kabelen ble skjøtt med en kveil på 30 m fiber og terminert med E2000 TPA plugg i DTS-systemet. Ofte legges en kveil med fiber i bakken sammen med en PT100 temperatursensor. På denne måten kan temperaturen i fiberen kalibreres opp mot PT100 sensoren, samt at en får en referansemåling jordtemperaturen. En målespole for strøm ble også koblet til DTS-systemet gjennom en standard 4-20 mA målesløyfe. Oppsettet er skissert i Figur 5, og bilder av henholdsvis DTS-enheten og kabelinntak er vist i Figur 6 (a) og (b).



**Figur 5: Skisse av oppsett.**



**Figur 6: (a) DTS-enhet monteret i 19'' kabinet. (b) Kabelinntak i konteiner.**

### 3.1 Kommunikasjon og overføring av data

DTS-enheten logger data i et internt minne, og sender disse videre til en PC som står og lytter. På PC'en er det mulig å visualisere og analysere data. Erfaringsmessig kan det være utfordrende å få fjerntilgang til denne PC'en via bedriftens nettverk, siden den kommer som en del av DTS-leveransen og dermed sannsynligvis ikke oppfyller bedriften sitt IT-reglement. Dette er tilfelle for SINTEF, og fjerntilgang er ordnet med 4G-modem og programvaren TeamViewer.

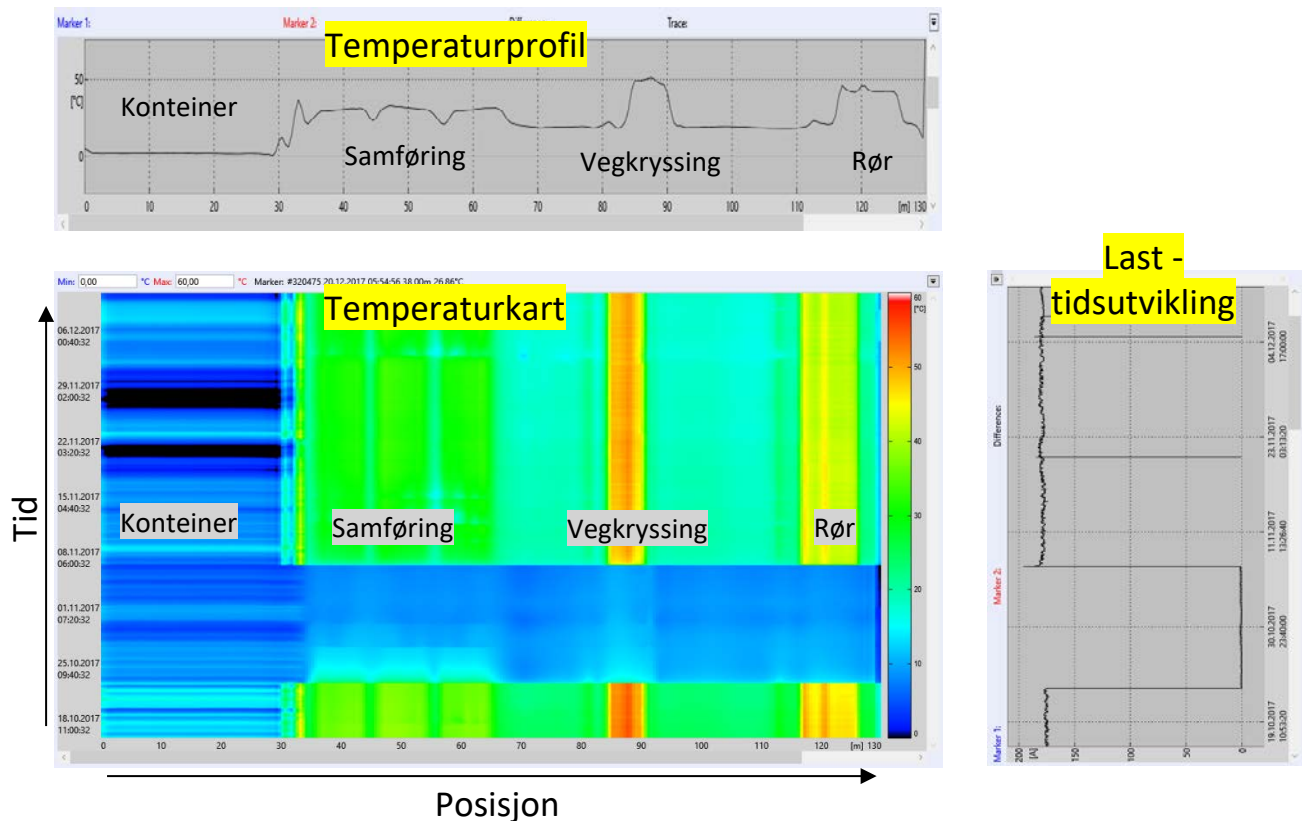
DTS-enheten kan også sende data via SCADA, MODBUS, eller andre industrielle standarder til driftssentral eller datalagre. Dette kan være temperatur på kritiske punkter (flaskehals), temperatur over en alarmgrense eller unormal økning i temperatur over kort tid. Mange nettselskaper har for tiden en satsing på digitalisering, og praktiske problemer med tilgang til måledata er en av utfordringene som behandles.

## 4 Målinger

Hensikten med kabelinstallasjonen på Tiller er å skaffe underlagsdata for å verifisere modeller for belastningsevne. Siden dette er en utendørs forlegning er det svært mange tidsvarierende parametere som påvirker temperaturfordelingen rundt kabelen, slik at lasten har vært holdt konstant fra oppstart frem til oktober 2017 for å gjøre sammenligning mellom modeller og målinger mulig. Frem til denne datoen har det kun vært korte driftsstans, som i liten grad har påvirket temperaturfordelingen som bare har variert med utetemperatur og nedbør.

I Oktober 2017 ble lasten satt til 0 A, og satt på igjen to uker senere, dette for å måle tidsforløpet for kabeltemperatur fra termisk likevekt til full last. I Figur 7 er temperaturen plottet som et fargekart med posisjon på den horisontale akse, tid på den vertikale akse og temperaturen er angitt med farge (blå kaldest og rød varmest). Programvaren som fulgte med DTS-systemet er benyttet til å plote disse grafene.

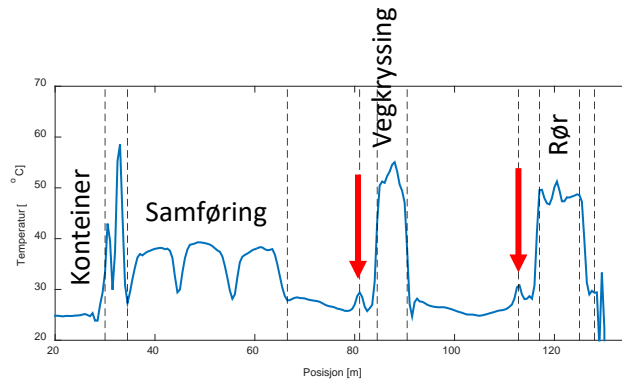




**Figur 7: Temperaturkart og tids- og temperaturprofil (indikert med sorte piler i temperaturkart).**

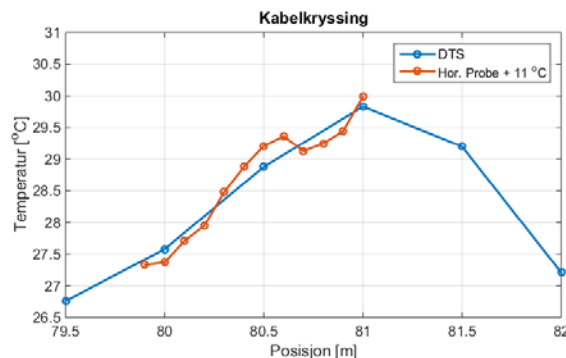
Det blå feltet i venstre halvdel av varmekartet utgjør de første 30 m av fiberen som ligger i en kveil i konteineren, og holder noen grader over utetemperatur. De oransje og gule vertikale feltene er henholdsvis vegkryssing og kabel i rør. Det blå horisontale feltet er perioden fra 23. oktober 2017 til 6. november 2017 hvor laster var 0 A. Dette vises også i tidsutviklingen til høyre. I tidsutviklingen vises også korte utkoblinger, som ikke har påvirket temperaturen i noen grad.

I Figur 8 er temperaturprofilen fra kabelen i mai 2017 plottet. I denne vises temperaturøkningen til de termiske flaskehalsene tydelig, med unntak av kabelkryssingen som er markert med to røde piler (kabelen krysser seg selv og vil derfor ha to steder med temperaturøkning). Her er utstrekningen til den termiske flaskehalsen i kabelens lengderetning liten, siden kablene krysser hverandre vinkelrett. DTS-signalet er akkumulert over 0,5 m, slik at denne toppen i temperaturprofilen vil være gjennomsnittstemperaturen for 0,5 m i området hvor kabelkryssingen ligger.



**Figur 8: DTS temperaturprofil**

I Figur 9 er temperaturprofilen langs kabelen vist i området ved kabelkryssingen for DTS-måling (blå) og temperatur-probe forlagt horisontalt parallelt med kabelen (oransje). Et temperaturtillegg på 11 °C er lagt til probe-temperatur for å ta hensyn til at den måler temperatur en avstand ca. 6-7 cm vekk fra kabelens kappe. Temperatur-proben måler temperatur med en romlig oppløsning på 10 cm, og vil derfor kunne måle temperaturgradienten i kabelens lengderetning mer nøyaktig enn DTS-systemet. Siden kurvene her er sammenfallende, viser det at DTS-målingen har god nok oppløsning til å detektere termiske "hotspots" med kort utstrekning. Årsaken til dette, er at den termiske ledningsevnen til kablededene er så høy at varmen fordeles langs i kabelen over lengder i samme størrelsesorden som oppløsningen til DTS-systemet.



**Figur 9: Sammenligning mellom DTS-måling og horisontal probe forlagt 6-7 cm fra kabel.**

## 5 Oppsummering

En leverandør har lånt et DTS målesystem for uttesting til prosjektet *Økning i belastningsevnen til jordkabler*. DTS-systemet ble installert i mai 2017 og har vært i drift siden da. Systemet har så langt fungert tilfredsstillende.

Alle termiske flaskehalsar blir korrekt detektert av DTS-systemet. Kabelkryssingen ble sammenlignet med målinger fra en temperatur-probe som er forlagt parallelt med kabelen i kabelkryssingen, dette for å undersøke om DTS-systemet har tilstrekkelig romlig oppløsning for å detektere termiske "hotspots". Sammenligningen viser at også kabelkryssingen blir korrekt målt av DTS-systemet.

## A Tekniske data



# Linear Power Series N4385B

### Specifications

Each DTS instrument must pass defined test limits and is individually tested before shipping. This ensures that every DTS unit will meet or exceed the specifications in this datasheet. Adhering to our stringent quality control measures guarantees optimal performance and a long product life.

#### DTS Specification – Typical Performance

Instrument option	Linear Power Series N4385B				
	-002	-004	-008	-012	
Distance range	2 km	4 km	8 km	12 km	
Minimum sampling interval	0.15 m (up to 4 km) 0.25 m (up to 12 km)				
Minimum spatial resolution	0.7 m				
Temperature resolution (standard deviation) Measurement time: 600 s (per trace) Sampling interval: 1.0 m Spatial resolution: 2.0 m	Sensor length 2 km				
Single-ended	4 km				
	8 km				
	12 km				
	1 ch (option -100)	0.04 °C	0.06 °C	0.19 °C	0.75 °C
	2 ch (option -200)	0.04 °C	0.07 °C	0.21 °C	0.85 °C
	4 ch (option -400)	0.04 °C	0.07 °C	0.23 °C	0.95 °C
6/8 ch (options -600/-800)	0.05 °C	0.08 °C	0.27 °C	1.10 °C	
12 ch (option -120)	0.05 °C	0.08 °C	0.27 °C	1.15 °C	
Temperature repeatability (standard deviation)	+/- 0.6 °C				
Measurement time	30 s to 24 h				
Available measurement modes	Single ended; dual ended (incl. fiber break recovery)				
Data storage capacity	SD/SDHC card slot				



Interfaces	
Optical connector	E2000 APC 8° angled; 50/125 µm graded index MM
Computer interface	USB, Ethenet (LAN)
Communication protocol	SCPI; Modbus TCP (option -060)
Relay board (internal, optional)	Volt-free contacts, 4 inputs 19+1 outputs (option -050), 30 V DC, 1 A 43+1 outputs (option -051), 30 V DC, 1 A
Multi Sensor Board (internal, optional)	Option -052: 4x PT100 / PT1000 temperature inputs 2x voltage inputs (0-10 V) 2x current inputs (0-20 mA) 2x digital inputs 10x potential-free relay outputs 4x reset inputs

Other	
Power supply	10 V to 30 V DC
Power consumption	21 W typically, at 20 °C ambient temperature; <60 W (entire operating conditions)

Housing & Environmental Conditions			
Housing option	-H01 (Indoor)	-H02 (Outdoor)	-H04 (Portable)
Operating temperature range	-10 °C to +65 °C (-40 °C to +50 °C with Outdoor Extreme Option -T01; -25 °C to + 65 °C with Outdoor Extended Option -T02)		-10 °C to +55 °C *
Storage temperature range	-40 °C to +80 °C		
Operating humidity range	0% to 95% r.h., non-condensing		
Dimensions (H x W x D)	88 x 448 x 364 mm (500 mm installation depth recommended for connectors in the back)	500 x 400 x 150 mm	500 x 400 x 200 mm
Weight	9 kg	17 kg	12 kg



\* above 50 °C with open lid

Product specifications and descriptions in this document are subject to change without notice and are not binding to AP Sensing.



Teknologi for et bedre samfunn

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