

1	BEREGNINGSGRUNNLAG	2
2	BEREGNINGSEKSEMPLER	7
2.1	400mm ²	7
2.2	240mm ²	8

1 BEREGNINGSGRUNNLAG

Det er laget et regneark for beregning av belastningsevnen ved kontinuerlig last for aktuelle kabel-tversnitt med aluminium som ledermateriale. Det er benyttet algoritmer fra IEC 287 med de forenklinger som følger av at kablene drives med jording i bare en ende, altså ingen skjermtap og at spenningen er så lav at dielektriske tap kan neglisjeres. Beregningene er basert på den konfigurasjon som er vist på figur 3 med at kablene er forlagt i sandfylte betongkanaler og med den forenkling (verste tilfelle) at alle kablene er likt og samtidig belastet. Ordinær dimensjonerende omgivelses-temperatur i Norge settes som regel til 15 °C i jord. Langs sporene kan soloppvarming og grunn forlegning gi høyere temperatur. I regnearket er det derfor brukt 25 °C. Videre er det liten tvil om at sandfyllingene rundt kablene vil tørke ut i forbindelse med lengre perioder med oppholdsvær sommerstid. IEC anbefaler i slike tilfeller å regne med en termisk motstand på 2,5 Km/W, mot normalt 1 Km/W i jord i Norge. Ut fra anbefalinger om å bruke TXSE 36 kV, 1x400 mm² som matekabel (se figur 1 og 2), er verdiene fra denne kabelen brukt i regnearket. Det er også laget et regneark for 240 mm² kabel.

Ved behov for beregninger for andre kvadrat er det enkelt å gjøre dette ved å sette inn nye inndata i regnearket. Dette er data en finner i leverandørenes kabelkataloger; slik som ledermotstand, lederdiameter, ytre diameter osv. Det er også enkelt å forandre inndataene for termisk motstand i jorden, omgivelsestemperatur osv. for å se på innflytelsen av disse parametrene på belastningsevnen.

En typisk strømbelastning for matekabel og returkabel ser ut til å bestå av en kontinuerlig grunnlast som i tillegg er overlappet med kortvarige impulsstrømmer. Typisk varighet på pulsene er 30 - 60 sek. Ved sterkt vekslende belastning kan det tillates høyere belastningsverdier enn ved kontinuerlig belastning siden kabelens og omgivelsenes varmekapasitet og lengden av kjøleperiodene kommer inn i beregningene.

Den relativt korte varigheten gjør at oppvarmingseffekten blir begrenset. Å regne på dette eksakt krever etablering av avanserte regnemodeller. Men siden belastningsbildet er så stokastisk, vil ikke verdien av slike nøyaktige beregninger ha noe særlig verdi.

Det er derfor forsøkt å lage et regneark for beregninger av temperaturen ved kortvarige impulsstrømmer. IEC har et beregningsopplegg for syklisk last (IEC 853), men varigheten av belastningsperiodene i disse beregningsmodellene er vesentlig lengre enn det som er aktuelt her. Det er derfor valgt å gjøre vurderinger basert på beregningsmodeller for kortslutningsberegninger (IEC 20A(Central Office)74, 1981). Det er i kortslutningssammenheng vanlig å regne konservativt ved å anta at all utviklet varme lagres i kabelleder i kortslutningstiden (adiabatisk beregning).

En har da følgende formel:

$$(I^2t) = K^2 S^2 \ln \frac{\Theta_f + b}{\Theta_i + b}$$

hvor

I = kortslutningsstrømmen (A)

t = varighet av kortslutningsstrømmen (s)

K = varmekapasitet for det aktuelle ledermateriale: Al: 148 (As^{1/2}/mm²)

S = ledertverrsnitt (mm²)

Θ_f = sluttemperatur (°C)

Θ_i = starttemperatur (°C)

b = konstant, 228 for Al

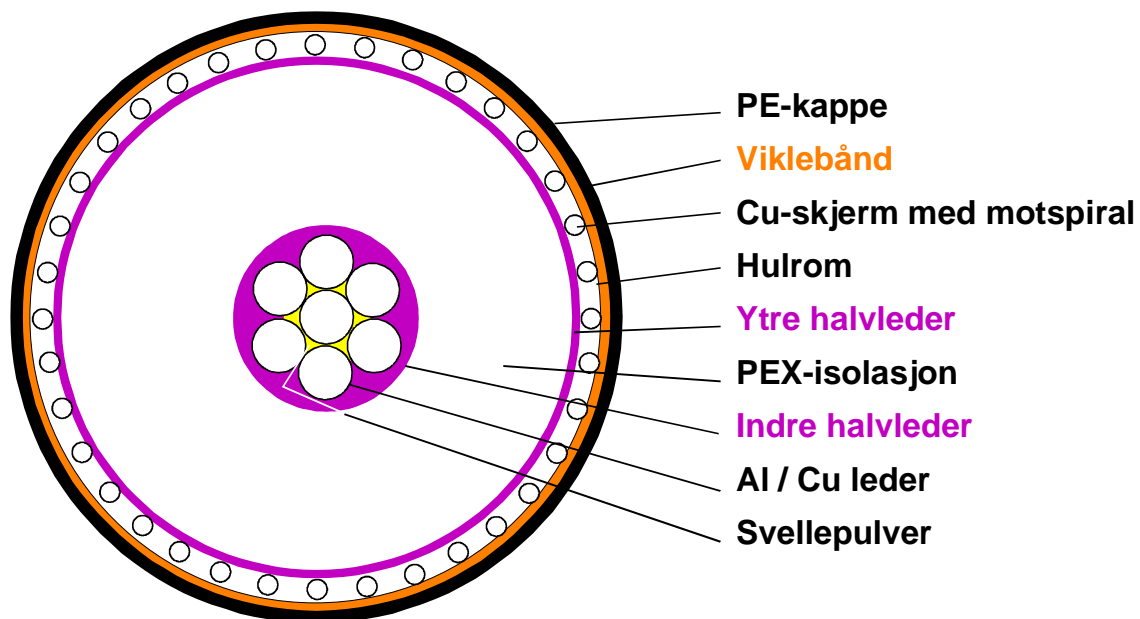
Denne formelen gjelder for korte tider, størrelsesorden 5 sek. Siden vi her har korttidsstrømmer som varer opp til 1 min, har vi i formelen brukt differansen mellom korttidsstrømmen og den kontinuerlige belastningsstrømmen. Argumentet for dette er at det er stigningen av strømmen over den kontinuerlige belastningsstrømmen som gir temperaturstigningen på kabelen ut over den likevekt som har innstilt seg.

Ved gjentatte kortvarige impulsstrømmer, vil kabelen avkjøles litt mellom hver strømpuls, idet avkjølingskurven for den aktuelle kabelen vil følge en eksponentialkurve. I regnearket er det tatt hensyn til dette, idet følgende formel er brukt:

$$T = T_{kont} - (T_{impuls} - T_{kont}) \left(1 - e^{-t/\tau}\right)$$

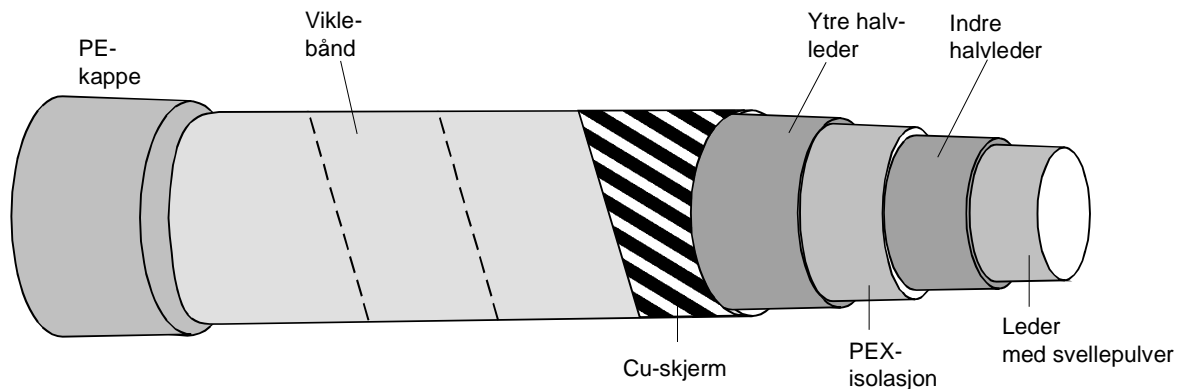
der T_{kont} = Ledertemperatur ved kontinuerlig strøm (f.eks. 285 A)
 T_{impuls} = Ledertemperatur ved korttidsstrøm (f.eks. 600 A)
 τ = Tidskonstant (3 timer)

PEX-kabel (TXSE)



Figur 5.a.1

Tversnitt av 36 kV PEX - kabel



Figur 5.a.2 Langssnitt av 36 kV PEX - kabel

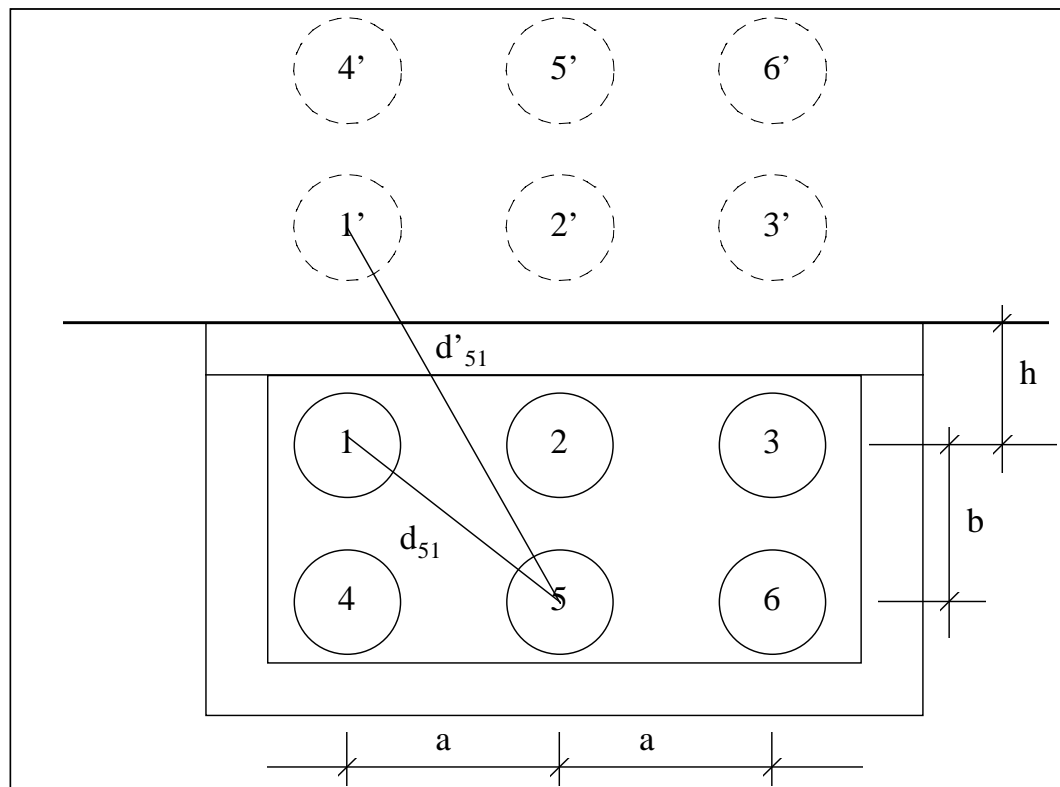
Beregning av ytre termisk motstand "T4" der flere kabler ligger nedgravd med lik belastning.

En lar her den "varmeste" kablen bestemme belastningsevnen.

Det er her regnet på den 5. kablen.

Formlene er hentet fra IEC 287, side 65 avsnitt 9.3.2

Avstand mellom kablene horisontalt	a	100 mm
Avstand mellom kablene vertikalt	b	150 mm
Dybde til senter av første kabel	h	100 mm
Antall kabler		
d_{51}		180,2776
d_{52}		150
d_{53}		180,2776
d_{54}		100
d_{56}		100
d'_{51}		364,0055
d'_{52}		350
d'_{53}		364,0055
d'_{54}		509,902
d'_{56}		509,902
u		11,62791
Ytre termisk motstand "T4"		3,444627



Figur 5.a.3

Typisk snitt for kabelkanal fylt med sand

Jernbaneverket

Hovedkontoret

FELLES ELEKTRO

Regler for prosjektering og bygging
Belastningsberegninger for matekabel
Kabellegging og kabelkanaler

Kap.: 5.a

Utgitt: 01.02.99

Rev.: Høring

Side: 6 av 8

2 BEREGNINGSEKSEMPLER**2.1 400mm²**

MATEKABEL NSB KONTINUERLIG BELASTNINGSEVNE

Data inn:

Tverrsnitt		400 mm ²
Ledermotstand ved 20 C		7,78E-05 ohm/m
Temp.koeffisient for aluminium	α (Al)	0,00407
Ledermotstand ved maks temp.		1E-04 ohm/m
Omgivelsestemperatur		25 °C
Ledertemperatur		90 °C

Forlegningsmåte		kanal
Termisk motstand i isolasjonen "T1"		0,341918 Km/W
Termisk motstand i kappen "T2"		0,051141 Km/W
Ytre termisk motstand "T4"		3,409236 Km/W

Beregnet belastningsevne 413,53 A

Lederdiameter		23,6 mm
Isolasjonstykkelse(+halvleder)		10 mm
Termisk resistivitet for isolasjon		3,5 Km/W
Kappetykkelse		2,5 mm
Termisk resistivitet for kappe		3,5 Km/W
Ytre diameter under kappe		52 mm
Termisk resistivitet i jord	2,5	Km/W

Kontinuerlig belastningsstrøm		285 A
Starttemperatur		55,87 °C
Korttidsstrøm		600 A
Varighet		60 s
α		0,002597
Sluttemp		56,61 °C

Ved gjentatte koplinger:

Tid mellom hver kopling		3 min
Ny starttemperatur		56,60 °C

2.2 240mm²

MATEKABEL NSB KONTINUERLIG BELASTNINGSEVNE

Data inn:

Tverrsnitt		240 mm ²
Ledermotstand ved 20 C		0,000125 ohm/m
Temp.koeffisient for aluminium	α (Al)	0,00407
Ledermotstand ved maks temp.		0,000161 ohm/m
Omgivelsestemperatur		25 °C
Ledertemperatur		90 °C

Forlegningsmåte		kanal
Termisk motstand i isolasjonen "T1"		0,412999 Km/W
Termisk motstand i kappen "T2"		0,054168 Km/W
Ytre termisk motstand "T4"		3,409236 Km/W

Beregnet belastningsevne 323,1116 A

Lederdiameter		18,2 mm
Isolasjonstykkelse(+halvleder)		10 mm
Termisk resistivitet for isolasjon		3,5 Km/W
Kappetykkelse		2,4 mm
Termisk resistivitet for kappe		3,5 Km/W
Ytre diameter under kappe		47 mm
Termisk resistivitet i jord	2,5	Km/W

Belastningsstrøm		285 A
Starttemperatur		75,57 °C
Korttidsstrøm		600 A
Varighet		60 s
α		0,007214
Sluttemp		77,77 °C

Ved gjentatte koplinger:

Tid mellom hver kopling		3 min
Ny starttemperatur		77,73 °C