

**Kabelbelastbaarheid met Vision**

o8-263 pmo

12 december 2008

© Phase to Phase BV, Arnhem, Nederland. Alle rechten voorbehouden.

Dit document bevat vertrouwelijke informatie. Overdracht van de informatie aan derden zonder schriftelijke toestemming van of namens Phase to Phase BV is verboden. Hetzelfde geldt voor het kopiëren van het document of een gedeelte daarvan.

Phase to Phase BV is niet aansprakelijk voor enige directe, indirecte, bijkomstige of gevolgschade ontstaan door of bij het gebruik van de informatie of gegevens uit dit document, of door de onmogelijkheid die informatie of gegevens te gebruiken.

## INHOUD

1	Inleiding .....	4
2	Kabels ondergronds .....	5
2.1	Bodemtemperatuur .....	5
2.2	Specifieke thermische weerstand bodem .....	5
2.3	Liggingdiepte.....	7
2.4	Parallele circuits .....	8
3	Kabels bovengronds .....	9
3.1	Luchttemperatuur .....	9
3.2	Installatiemethode.....	10
4	De kabelbelastbaarheidstool in Vision.....	11
5	Opmerkingen ten aanzien van de bodem.....	13
6	Rekenvoorbeeld.....	16

## 1 INLEIDING

De stationaire belastbaarheid van kabels wordt bepaald door de constructie van de kabel zelf en de liggingomstandigheid. De belastbaarheid kan het beste worden uitgerekend aan de hand van een op IEC 60287 gebaseerd computerprogramma, zoals *Vision Cable analysis*. Indien de constructiegegevens van de kabel niet bekend zijn en men genoegen neemt met een vlottere benadering, kan uitgegaan worden van de door de fabrikant (of in een norm) gespecificeerde nominale belastbaarheid, waarop in geval van afwijkende liggingomstandigheid een aantal correctiefactoren worden toegepast. Deze correctiefactoren worden vaak in de brochure van de fabrikant vermeld. Ook kunnen deze aan een norm, zoals NEN 1010 worden ontleend.

Er zijn correctiefactoren voor afwijkende omstandigheden bij ondergrondse en bovengrondse installatie. Voor ondergrondse installatie zijn er correctiefactoren voor afwijkingen in:

- bodemtemperatuur
- liggingdiepte
- ligging is een buis of direct in de grond
- specifieke thermische weerstand van de grond
- meerdere parallelle circuits in hetzelfde vlak

Voor bovengrondse installatie zijn er correctiefactoren voor afwijkingen in:

- luchttemperatuur
- zoninstraling en kleur van de buitenmantel
- installatiemethode en meerdere parallelle circuits

Voor andere afwijkingen moet een specifieke berekening volgens IEC 60287 worden uitgevoerd.

Om de juiste correctiefactoren toe te passen wordt aangeraden om uitsluitend de correctie factoren afkomstig uit het zelfde document (bijvoorbeeld de NEN 1010) te gebruiken. De opgegeven nominale continu stroom uitgaande van de basis parameters die (door de fabrikant) opgegeven zijn voor de kabel moet dan eerst worden omgerekend naar de stroom, die behoort bij de basis parameters van de gebruikte correctiefactoren. Aanpassing aan de actuele lokale omstandigheden kan dan gedaan worden met de correctiefactoren, zoals uit de NEN 1010. Zie een voor een omzetting het rekenvoorbeeld in het laatste hoofdstuk.

Waarom worden de correctiefactoren uit de NEN 1010 gebruikt? Dit doen we omdat het complete gamma correctiefactoren in die norm is opgenomen.

De norm NEN 1010 is geschreven voor laagspanningskabels. Kunnen de correctiefactoren uit die norm dan ook voor midden- en hoogspanningskabels gebruikt worden? Ja, want warmtetechnisch bekeken is elke kabel gelijk.

Op alle correctiefactoren afkomst uit de tabellen van de NEN 1010 zijn toleranties van toepassing. Voor details, zie de NEN 1010.

2 **KABELS ONDERGRONDS**

De correctiefactor voor ondergrondse kabels is samengesteld uit separate factoren:

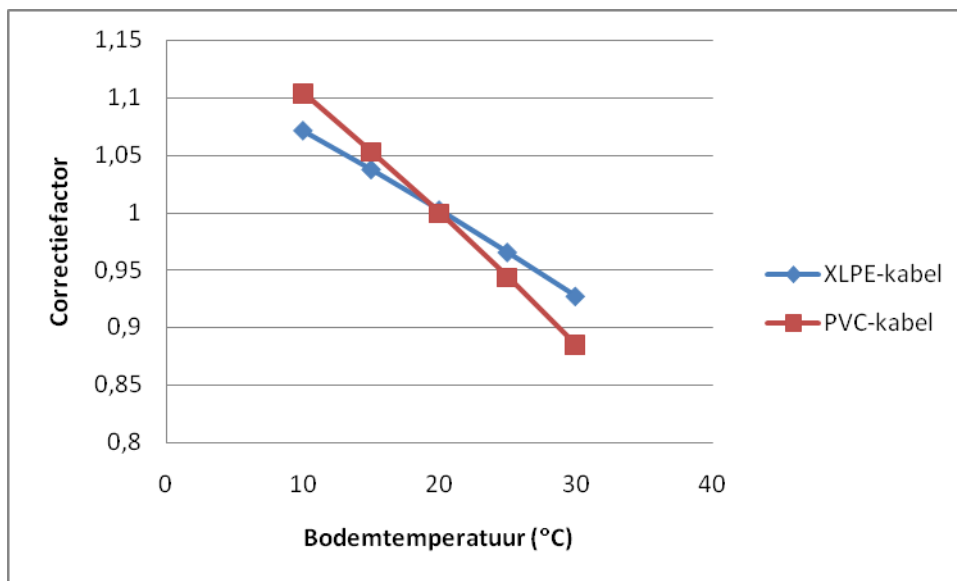
$$f = f_T \times f_L \times f_G \times f_c$$

Hierin zijn:

- $f_T$  : correctiefactor voor afwijkende bodemtemperatuur
- $f_L$  : correctiefactor voor afwijkende liggingdiepte
- $f_G$  : correctiefactor voor afwijkende thermische weerstand
- $f_c$  : correctiefactor voor meerdere parallelle circuits

2.1 **Bodemtemperatuur**

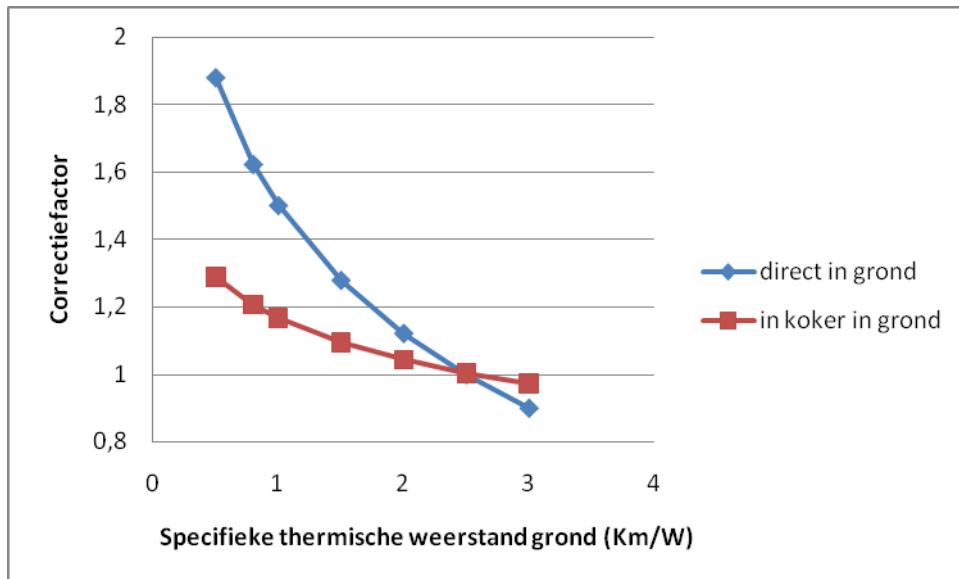
De in tabellen gepresenteerde correctiefactoren  $f_T$  voor in de grond gelegde kabels kunnen met voldoende nauwkeurigheid worden benaderd met een tweedegraads polynoom. Zie onderstaande grafiek. Voor PVC- en XLPE-geïsoleerde kabels geldt een verschillende benadering, vanwege de verschillen in de maximaal toelaatbare continue bedrijfstemperatuur.



Correctiefactoren voor een van 20 °C afwijkende bodemtemperatuur bij XLPE- en PVC kabels

2.2 **Specifieke thermische weerstand bodem**

De specifieke thermische weerstand van de bodem heeft een grote invloed op de maximale belastbaarheid. Deze invloed is het grootst indien de kabel direct in de grond is gelegd. Voor een kabel, die in een buis of in een koker in de grond is gelegd is de invloed van de specifieke thermische weerstand van de bodem kleiner. Onderstaande grafiek illustreert dit. Bron: NEN (tabel 52-D3) en IEC 60287-2.



Correctiefactoren voor een van  $G=2,5 \text{ Km/W}$  afwijkende thermische weerstand van de bodem

De specifieke thermische weerstand  $G$  van de bodem is gegeven in  $[\text{K}\cdot\text{m}/\text{W}]$ .  
Het model is geldig voor waarden van  $G$  tussen 0,5 en 3  $\text{K}\cdot\text{m}/\text{W}$ .

#### Kabels in een koker of een buis

Bij een specifieke thermische grondweerstand  $G = 2,5 \text{ K}\cdot\text{m}/\text{W}$  is de nominale stroom van ondergrondse kabels in een koker of een buis gelijk aan die van kabels die direct in de grond liggen.

Een goede ontwerppraktijk is dat de vulling van een koker of buis niet meer dan 60% van de doorsnede mag zijn.

De overgebleven ruimte in de buis is normaal lucht. Omdat lucht een goed isolatiemateriaal is, wordt in geval van een lage thermische grondweerstand de warmte overdracht van de kabel naar de omgeving moeilijker dan bij een kabel die direct in de grond ligt. Dit is de reden dat de curve voor de correctiefactor voor kabels in een buis of koker lager ligt dan die voor een kabel direct in de grond.

Een methode om de toelaatbare continue nominale stroom van een kabel in een buis of koker te vergroten is om de buis of koker na installatie van de kabel te vullen met een vloeibare magere mortel. In de USA heet dit mengsel een "Fluidized Thermal Backfill".

Kokers of buizen kunnen het beste van PVC of een vergelijkbare kunststof gemaakt zijn. RVS buis heeft een heel hoge thermische weerstand en mag daarom niet gebruikt worden.

2.3 **Liggingdiepte**

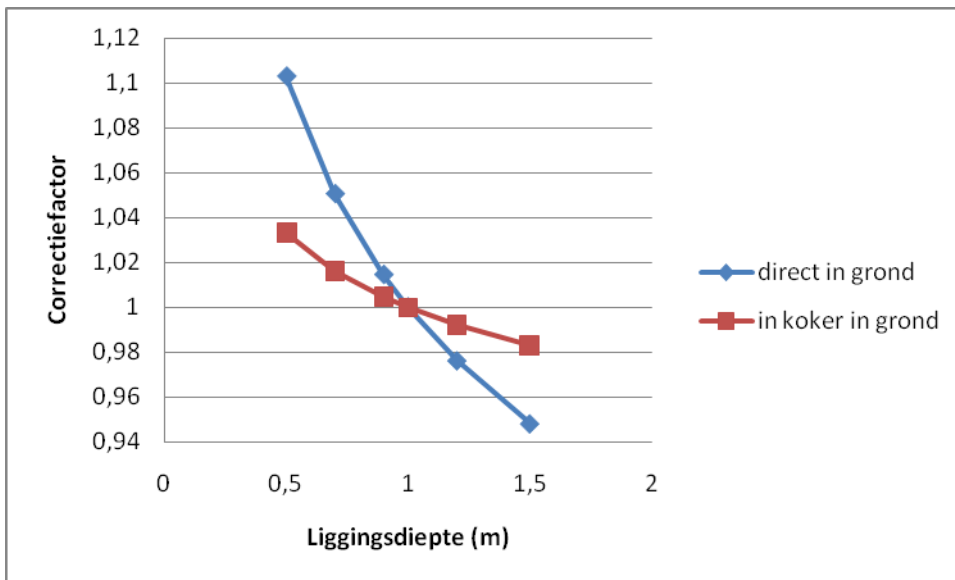
Volgens IEC 60287 is de thermische weerstand buiten de kabel gegeven door de thermische weerstand  $T_4$ . Voor een "Single buried cable" geldt:

$$u = 2L / D_e$$

$$T_4 = (1/2\pi) \cdot G \cdot \ln\{ u + \sqrt{u^2 - 1} \}$$

De formule is afhankelijk van de diameter  $D_e$  [m] van de kabel.  
 De specifieke thermische weerstand  $G$  van de bodem is gegeven in [K·m/W].  
 De liggingdiepte  $L$  is gegeven in [m].

Uitgaande van een kabel met een buitendiameter van:  $D_e = 0,07$  m en een  $G$  van  $2,5$  K·m/W (op 1 m diepte) volgt onderstaande grafiek.



*Correctiefactoren voor een van  $L=1$  m afwijkende liggingdiepte (bij  $G=2,5$  K·m/W en  $D_e=0,07$  m)*

Het rekenmodel is geldig voor waarden van  $G$  tussen  $0,5$  en  $3$  K·m/W, waarden van  $L$  tussen  $0,5$  en  $2,5$  m en een kabelbuitendiameter tussen  $0,01$  en  $0,2$  m.

#### 2.4 Parallele circuits

De norm NEN 1010 geeft de correctiefactoren in een tabel met twee variabelen voor het aantal parallele circuits en voor de afstand tussen de mantels van de kabels. In geval van éénaderige kabels liggen deze in driehoeksformatie tegen elkaar aan. Bron: NEN (tabel 52-E2)

Parameters:

a: kabel-afstand in [mm] (70 .. 500)

n: aantal parallele circuits (2 .. 20)

De situaties voor kabels in kokers geven in de NEN-tabellen hogere factoren (minder reductie), zodat we in deze benadering geen onderscheid maken tussen wel/geen buis/koker.

Onderstaande tabel is berekend met formule afgeleid uit de tabellen van NEN 1010.

n circuits	afstand [mm]			
	70	125	250	500
2	0,83	0,84	0,87	0,91
3	0,73	0,75	0,79	0,86
4	0,66	0,69	0,75	0,82
5	0,62	0,65	0,71	0,80
6	0,58	0,62	0,68	0,78
7	0,56	0,59	0,66	0,76
8	0,53	0,57	0,64	0,75
9	0,51	0,55	0,62	0,74
12	0,47	0,51	0,59	0,71
16	0,43	0,47	0,55	0,68
20	0,40	0,44	0,52	0,66



3 **KABELS BOVENGRONDS**

De correctiefactor voor bovengrondse kabels is:

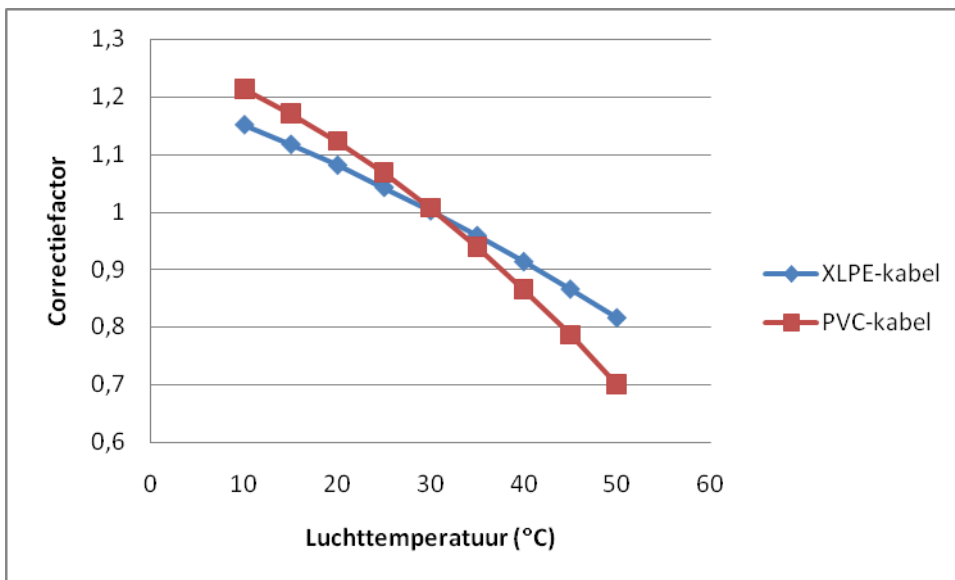
$$f = f_T \times f_I$$

Hierin zijn:

- $f_T$  : correctiefactor voor afwijkende luchttemperatuur
- $f_I$  : correctiefactor voor installatiemethode en meerdere parallelle circuits

3.1 **Luchttemperatuur**

De in tabellen gepresenteerde correctiefactoren  $f_T$  voor bovengronds gelegde kabels kunnen met voldoende nauwkeurigheid worden benaderd met een tweedegraads polynoom. Zie onderstaande grafiek. Bron: NEN (tabel 52-D1).



*Correctiefactoren voor een van 30 °C afwijkende luchttemperatuur bij XLPE- en PVC-kabels*

In alle gevallen is de temperatuur T in [graden C].  
De benadering is geldig voor T tussen 10 en 60 graden C.

Zoninstraling

Bovenstaande geldt voor géén directe zoninstraling.  
Indien er wel directe zoninstraling is, wordt voor (sub)tropische gebieden de volgende aanname toegepast:

- bij zwarte mantel: luchttemperatuur + 15 graden verhogen
- bij grijze of rode mantel: luchttemperatuur + 20 graden verhogen

3.2 Installatiemethode

De factor  $f_j$  voor de installatiemethode wordt gehaald uit tabel 52-E4 van NEN 1010.

Installatiemethode	Horizontaal / verticaal	Kabels rakend	Aantal kabelbanen	Aantal circuits per baan					
				1	2	3	4	5	6
Geperforeerde kabelbaan	Horizontaal	ja	1	1.00	0.88	0.82	0.79	0.78	0.76
			2	1.00	0.87	0.80	0.77	0.75	0.73
			3	1.00	0.86	0.79	0.76	0.74	0.71
Geperforeerde kabelbaan	Horizontaal	nee	1	1.00	1.00	0.98	0.95	0.93	0.91
			2	1.00	0.99	0.96	0.92	0.90	0.87
			3	1.00	0.98	0.95	0.91	0.88	0.85
Geperforeerde kabelbaan	Verticaal	ja	1	1.00	0.88	0.82	0.78	0.76	0.73
			2	1.00	0.88	0.81	0.76	0.74	0.71
			3	-	-	-	-	-	-
Geperforeerde kabelbaan	Verticaal	nee	1	1.00	0.91	0.89	0.88	0.88	0.87
			2	1.00	0.91	0.88	0.87	0.86	0.85
			3	-	-	-	-	-	-
Kabelladder	Horizontaal	ja	1	1.00	0.87	0.82	0.80	0.80	0.79
			2	1.00	0.86	0.80	0.78	0.77	0.76
			3	1.00	0.85	0.79	0.76	0.75	0.73
Kabelladder	Horizontaal	nee	1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
			2	1.00	0.99	0.98	0.97	0.97	0.96
			3	1.00	0.98	0.97	0.96	0.95	0.93

Horizontale geperforeerde kabelbaan, kabels wel en niet rakend:



Verticale geperforeerde kabelbaan, kabels wel en niet rakend:



Kabelladder, kabels wel en niet rakend:



De verticale afstand tussen horizontale kabelbanen moet ten minste 300 mm bedragen.

De horizontale afstand tussen horizontale kabelbaan en wand moet ten minste 20 mm bedragen.

De verticale kabelbanen zijn rug aan rug gemonteerd met een onderlinge afstand die ten minste 225 mm bedraagt.

Kabels die elkaar niet raken moeten op ten minste een kabeldiameter ( $D_e$ ) afstand van elkaar liggen.

Opmerkingen

- De maximale verkrijgbare standaardbreedte van kabelbanen/ladders is ongeveer 60 cm. Daarom is het aantal kabels in de bovenstaande tabel gelimiteerd tot 6 stuks.
- Van uit een montage technisch oogpunt worden banen/ladders bij voorkeur horizontaal geïnstalleerd.
- Kabelladders hebben een betere ventilatie dan geperforeerde kabelbanen.
- De breedte van kabelbanen of kabelladders moet zodanig gekozen worden dat toekomstige kabels geïnstalleerd kunnen worden in de aanwezige banen/ladders. Voor de berekening moet dan rekening gehouden worden met het maximale aantal totaal te installeren kabels.

4 **DE KABELBELASTBAARHEIDSTOOL IN VISION**

De correctiefactoren voor kabels ondergronds en bovengronds zijn in Vision verwerkt in de Tool Kabelbelastbaarheid, bereikbaar via **Extra** in de menubalk. Het scherm is opgebouwd uit twee gedeeltes: de *Basis* en de *Casus*.

Bij Basis worden voor een kabel de liggingomstandigheid ingevuld, waarvoor de kabel in de brochure van de fabrikant of in de norm gespecificeerd is. Voor ondergrondse kabels is dat tegenwoordig bijvoorbeeld een bodemtemperatuur van 20°C, specifieke thermische weerstand 2,5 Km/W en liggingdiepte 1 m. Ook moet het isolatiemateriaal, de buitendiameter en de gespecificeerde maximale stroomsterkte (volgens de fabrikant of de norm) worden ingevuld.

Bij Casus worden de afwijkende liggingomstandigheden ingevuld. In dit voorbeeld een lagere grondweerstand van 15°C en een lagere specifieke thermische warmte weerstand van de grond van 1 Km/W. Uit de berekening blijkt dat de Belastbaarheidsfactor 1,55 is, waardoor de kabel in dit voorbeeld met maximaal 155 A belast kan worden, in plaats van de oorspronkelijk gespecificeerde 100 A.

The screenshot shows a software window titled 'Kabelbelastbaarheid' with two main sections: 'Basis' and 'Casus'. Both sections have a 'Ligging' dropdown menu set to 'ondergronds'. The 'Basis' section includes input fields for 'Grondtemperatuur' (20 °C), 'Warmte weerstand' (2,5 Km/W), 'Liggingdiepte' (100 cm), 'Isolatiemateriaal' (XLPE), 'Diameter' (70 mm), and 'Inom' (100 A). The 'Casus' section includes input fields for 'Grondtemperatuur' (15 °C), 'Warmte weerstand' (1 Km/W), 'Liggingdiepte' (100 cm), an 'In buis' checkbox (unchecked), 'Aantal circuits' (1), 'Isolatiemateriaal' (XLPE), 'Diameter' (70 mm), 'Belastbaarheidsfactor' (1,55), and 'Inom' (155 A).

Parameter	Basis Value	Casus Value
Ligging	ondergronds	ondergronds
Grondtemperatuur	20 °C	15 °C
Warmte weerstand	2,5 Km/W	1 Km/W
Liggingdiepte	100 cm	100 cm
In buis	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Aantal circuits	1	1
Isolatiemateriaal	XLPE	XLPE
Diameter	70 mm	70 mm
Belastbaarheidsfactor	-	1,55
Inom	100 A	155 A

Ook voor bovengrondse ligging is een scherm gemaakt. In veel brochures is de maximale continue stroomsterkte bij een luchttemperatuur van 30°C gespecificeerd. In onderstaand voorbeeld is bij Casus een lagere luchttemperatuur van 25°C en 3 parallelle circuits ingevuld. Als resultaat is de Belastbaarheidsfactor 0,85 in dit voorbeeld, waardoor de kabel maximaal met 85 A belast mag worden.

De resulterende belastbaarheidfactor kan worden verwerkt bij de specifieke kabel in het algemene invoerscherm Kabel, onder **Belastbaarheidsfactor**. Hieronder het voorbeeld voor een ondergrondse kabel.

Type	Lengte (m)	Inom	Belastbaarheidsfactor
3*240 AL GPLK 10/10	10828	100 A bij 2,5 Km/W	1,55

## 5 OPMERKINGEN TEN AANZIEN VAN DE BODEM

Bij het projecteren van een kabelverbinding krijgt de elektrotechnicus te maken met een aantal civieltechnische zaken. Hij moet onder andere weten of er gevaar van uitdrogen van de bodem bestaat of niet, hoe hoog het grondwaterpeil staat, hoe groot de specifieke thermische weerstand van het zand om de in bedrijf zijnde kabel is en op welke bodemtemperatuur gerekend kan worden.

### De specifieke thermische grondweerstand

Van alle parameters die nodig zijn om de maximaal toelaatbare continue stroom van een ondergrondse kabel te berekenen is de parameter G, de thermische weerstand in K·m/W, van het zand de moeilijkste om correct te bepalen.

De G-waarde die toegepast moet worden, is de stabiele waarde die optreedt na een langdurige periode van bedrijf van de kabel(s), waarbij de maximaal toelaatbare continue stroom door de kabel loopt. De maximaal toelaatbare stroom kan de optredende continue stroom zijn of de berekende equivalent voor een gegeven cyclisch bedrijf.

De G-waarde van de “maagdelijke” grond vóór installatie van de kabel(s) kan door specialisten gemeten worden. Daarnaast zijn het jaarlijks verloop van de vochtigheid, het grondwaterpeil en de temperatuur op de vereiste diepte belangrijk. De metingen moeten bijvoorkeur uitgevoerd worden na de zomer (op het noordelijk halfrond rond het midden van november), omdat dit de meest conservatieve G-waarde zal opleveren.

Als de “maagdelijke” grond geen zand is, maar bijvoorbeeld bestaat uit klei of veen, zijn de temperatuur, de vochtigheid en het grondwaterpeil relevant.

De kabels moeten in verdicht zand liggen. De stabiele G-waarde van het verdichte zand kan drastisch afwijken van de eerder geschatte waarde omdat de hoeveelheid vocht in het zand door seizoensinvloeden of door externe beïnvloeding kan variëren. Zo kan de vochtigheid bijvoorbeeld veranderen indien neerslag niet meer kan binnendringen in de kabelsleuf of indien de grondwaterstand wijzigt.

### Neerslag verschillen

Ervan uitgaande dat de kabels liggen in een omgeving waarin de neerslag volledig kan penetreren in de kabelsleuf, heeft de IEC 60287-3-1 de volgende definities gegeven voor de vochtigheid:

Thermal resistivity K·m/W	Soil conditions	Weather conditions
0,7	Very moist	Continuously moist
1,0	Moist	Regular rain fall
2,0	Dry	Seldom rains
3,0	Very dry	Little or no rain

De norm IEC 60287 definieert de vochtigheid uitsluitend door de hoeveelheid neerslag. Aangenomen wordt dat de neerslag ongehinderd door de toplaag kan wegzakken. Beïnvloeding van de vochtigheid door mogelijk aanwezig grondwater wordt terecht niet door de norm genoemd behalve dan in de data voor Nederland: “sub-soil water level near to cables”

Grondwater

Wereldwijd gezien is het een grote uitzondering dat de diepte waarop het grondwaterpeil ligt van invloed is op de vochtigheid van het zand in de kabelsleuf. Dit komt omdat het maaiveld veel hoger ligt dan het zeewater niveau of hoger dan het niveau van bijvoorbeeld een rivier/kanaal of een (groot) meer in de omgeving. In de Sahara ligt het grondwater vaak dieper dan 25 m. In Nederland bestaan er zelfs plekken waar het grondwaterpeil nog veel dieper ligt. In de buurt van Hoog-Soeren op de Veluwe bijvoorbeeld is ooit een peil van meer dan 71 m gemeten en in Limburg is het eens op een diepte 200 m onder het maaiveld gemeten. Er bestaan regionale Nederlandse kaarten waarop het grondwaterpeil op wordt aangegeven.

In permanent natte gebieden, dus daar waar het grondwaterpeil bijna permanent vlak onder het maaiveld ligt, is de invloed van neerslag groot. Ligt het grondwaterpeil dieper, dan kan het peil daarom seizoensafhankelijk variëren. Bemaling van het gebied kan het grondwaterpeil permanent verlagen. Verstandig is om plaatselijk of in het traject metingen te doen en na te gaan of er plannen bestaan om het grondwaterpeil te veranderen. Voor kabels die op een installatiediepte blijvend onder het grondwaterpeil liggen, in een goed gecompacteerd en met zand gevulde kabelsleuf, is  $G \approx 0.5 \text{ K}\cdot\text{m}/\text{W}$ .

De lokale grond

Een grove indeling van de bewerkbare grond is:

- Niet organisch materiaal:
  - o Klei (Leem = Silt = Löss = Limburgse klei)
  - o Zand
- Organisch materiaal:
  - o Veen (Laag en Hoog)

Materiaal dat na verwarming en verdampen van het aanwezige vocht een onomkeerbare verandering van de permeabiliteit heeft, is niet acceptabel als “bedding” materiaal. Klei/leem en veen zijn daarom niet geschikt om gebruikt te worden in kabelsleuven. Klei wordt namelijk “gebakken” en vormt dan een voor water ondoordringbare schil om de kabel ( $G \approx 7 \text{ K}\cdot\text{m}/\text{W}$ ). Plantenresten (veen) hebben de zelfde eigenschap ( $G \approx 4 \text{ K}\cdot\text{m}/\text{W}$ ).

Het “bedding” materiaal

Het enige juiste “bedding” materiaal voor de kabels is schoon kwarts zand, omdat dit zand de beste warmte geleider blijft van alle bodem mineralen.

Materiaal	Conditie	Minimale G (K·m/W)	Maximale G (K·m/W)
Zand	Verzadigd met water	0,25	0,50
Zand	Vochtig	0,50	1,00
Zand	Droog	1,00	3,00
Zand	Kurkdroog	3,00	6,67
Klei	Verzadigd met water	0,40	1,67
Klei	Vochtig	0,56	6,67
Veen	Verzadigd - droog	0,25	4,00

Voor alle duidelijkheid: Klei en veen zijn alleen in de tabel opgenomen ter vergelijking.

Omdat een bedding van zand “poreus” blijft kan mogelijk verdampend vocht worden vervangen door neerslag en als het grondwaterpeil hoog genoeg is door grondwater. Vocht kan ook zijdelings uit de bestaande lokale bodem in de kabelsleuf binnendringen, mits de kabelsleuf geen gesloten zijwanden heeft.

De meeste industrie terreinen zijn geëgaliseerd met zand of zijn met zand opgespoten terreinen. Het geheel terugvullen van de kabelsleuf met schoon zand is dan geen probleem. Kabels, geïnstalleerd buiten industrieterreinen, liggen meestal in andere grondsoorten zoals in veen of in klei. Het is verstandig om altijd zand te gebruiken als bedding omdat zand de kleinste thermische weerstand heeft.

Het zand kan een hoeveelheid water opnemen, terwijl het volume van het zand niet verandert. Het water moet de alleen ruimten tussen de zandkorrels opvullen. Als bijvoorbeeld 100 liter water door 1 m<sup>3</sup> zand opgenomen is, bevat dit 10 vol % vocht. Het maximum vol % vocht dat door zand met een droge dichtheid van ongeveer 1700 kg/m<sup>3</sup> kan worden opgenomen is ongeveer 15%.

Bij een gegeven vol % water heeft zand met een hoge dichtheid een lagere thermische weerstand dan zand met een lagere dichtheid. Daarom is naast de korrelgrootte van het zand ook het compacteren van het storten van het natte zand belangrijk. Het inspoelen van het zand met water is geen compacteermethode, want waar water zit kunnen geen zandkorrels zijn en als het water na verloop van tijd wegzakt blijven er met lucht gevulde ruimtes over tussen de zandkorrels.

Meer specifieke informatie is te vinden in het PIRELLI (SIEMENS) handboek “Kabel und Leitungen für Starkstrom”, hoofdstuk: “Spezifischer Erdbodenwärmewiderstand”.

### Uitdroging

Uitdrogingsproblemen kunnen ontstaan onder bestrating en onder een vloeistofdichte toplaag.

#### *Onder bestrating*

Een kruising van een kabelsleuf met een weg, kan onder de weg uitdroging van het zand om de kabels tot gevolg hebben. Onder elke (gedeeltelijke) waterdichte afdekking over meer dan één meter lengte van een kabelsleuf bestaat dit gevaar. Nog vóór installatie van de kabels kan onder een toplaag van asfalt of beton de bodemtemperatuur in de zomer 5°C of meer hoger zijn dan de temperatuur in het open veld (op de zelfde diepte gemeten). Dit komt door de opwarming van het asfalt of het beton zelf door de zonnearmte.

#### *Onder een vloeistofdichte toplaag*

In industriële installaties liggen de met zand en back-fill gevulde kabelsleuven vaak tussen de betonfundaties voor de apparaten of tussen (dure) zijdelingse betonnen wanden. Over de kabelsleuf moet dan meestal een vloeistofdichte en of een berijdbare toplaag worden aangebracht. Deze toplaag moet, indien het zand en de back-fill na enige tijd, ondanks het compacteren, toch nog iets inklinken, mee kunnen zakken om te voorkomen dat er een warmte isolerend luchtlaag(je)  $G \approx 40 \text{ K}\cdot\text{m}/\text{W}$ , ontstaat tussen de back-fill en de aangebrachte toplaag.

Als van een continu volbelaste kabel op een diepte van 0,7 m en bij een grond temperatuur van 20°C de temperatuur aan de omtrek van de buitenmantel ongeveer 35°C is, begint het verdampingsproces van het vocht in het zand direct rondom de kabel (VDE 0298 Teil 2).

Toen nog alleen papierisolatie werd gebruikt, waren problemen door uitdroging niet aan de orde omdat de adertemperatuur bij papierkabel begrensd was tot 50°C en de mantel temperatuur lager dan 35°C was. Zand en ook klei konden daardoor bijna niet uitdrogen. Maar met de komst van XLPE geïsoleerde kabel liep de mantel temperatuur op naar ongeveer 75°C.

Aannemende dat de G-waarde, die in de berekening gebruikt werd, juist was, is toch sprake van uitdroging als het aan de omtrek van de kabelmantel verdampte vocht niet “vervangen” wordt door ander vocht. Oorzaken zijn dan: het binnendringen van neerslag in de kabelsleuf en in directe omgeving is bemoeilijkt of onmogelijk (toplaag en of zijwanden) of er is (veel) minder neerslag dan oorspronkelijk verwacht was en of het grondwaterpeil is gezakt.

Het compleet uitdrogen van een operationele kabelsleuf kan enige tijd duren en kondigt zich pas aan als het te laat is. Een juist inschatting van de G-waarde met de minimum hoeveelheid vocht na een langdurig operationeel bedrijf is dus essentieel.

Ook hier geldt: een keten is zo sterk is als de zwakste schakel. Dus de slechtste G-waarde in het tracé is doorslaggevend voor het hele circuit.

## 6 REKENVOORBEELD

Basisparameters voor één enkele ondergronds geïnstalleerde drieadrige Cu XLPE geïsoleerde kabel, buitendiameter 57 mm.

De totale correctiefactor om de stroom, zoals opgegeven door de fabrikant, om te rekenen naar de nominaal stroom, behorende bij de basis parameters van de NEN 1010, kan berekend worden met de correctiefactoren van de NEN 1010:

Basisparameters van:	fabrikant	NEN 1010	Correctiefactor
Bodemtemperatuur:	20 °C	25 °C	$f_T = 0,9632$
Installatiediepte:	1 m	0,7 m	$f_L = 1,0479$
Specifieke thermische grondweerstand:	1 K·m/W	2,5 K·m/W	$f_G = 0,6662$

De totale correctiefactor wordt dan:

$$f = f_T \times f_L \times f_G \times f_c = 0.9632 \times 1.0479 \times 0.6662 \times 1 = 0.6724$$

Bij een nominale continue stroom volgens de fabrikant van 380 A, wordt dan de nominale continue stroom voor de basis van NEN 1010: 255.5 A.



Dit kan uiteraard ook met de tool Kabelbelastbaarheid van Vision worden uitgerekend. Links staat bij *Basis* de specificatie volgens de fabrikant. Rechts staat bij *Casus* de omgerekende situatie.

Kabelbelastbaarheid	
<b>Basis</b>	<b>Casus</b>
Ligging	ondergronds
Grondtemperatuur	20 °C
Warmteweerstand	1 Km/W
Ligingsdiepte	100 cm
Isolatiemateriaal	XLPE
Diameter	57 mm
Inom	380 A
Ligging	ondergronds
Grondtemperatuur	25 °C
Warmteweerstand	2,5 Km/W
Ligingsdiepte	70 cm
In buis	<input type="checkbox"/>
Aantal circuits	1
Isolatiemateriaal	XLPE
Diameter	57 mm
Belastbaarheidsfactor	0,67
Inom	256 A