

## **1. Kabel- og anlægsdata**

### **1.1 400 kilovolt kabeldata**

400 kilovolt landkablerne er opbygget af følgende:

*Faktaboks med følgende oplysninger:*

1. Vandtæt komprimeret aluminiumsleder med et tværsnitsareal på 1200 mm<sup>2</sup>.  
Diameter 42,9 mm.
2. Indre halvledende lag med en tykkelse på 1,6 mm
3. PEX isolation med en tykkelse på 28 mm.
4. Ydre halvledende lag med tykkelsen 1,5 mm
5. Halvledende tape
6. Skærptråde af aluminium med diameteren 1,89 mm. Skærmtværsnittet er i alt på 328 mm<sup>2</sup>
7. Halvledende tape
8. Metallisk kappe/tape af aluminium vedhæftet den ydre kappe. Tykkelsen er på 0,5 mm. Tværsnitsarealet af den metalliske kappe er på 190 mm<sup>2</sup>
9. Glat ydre kappe af polyethylen med høj tæthed. Minimal gennemsnitstykkelse af kappen er 5 mm. Yderste del af kabelkappen er halvledende.

Ekstern diameter for hele kablet er 125,5 mm

Vægten er 14,3 kilogram pr. meter

Minimal bøjeradius er 1,9 m

Maksimal trækraft i kablet er 4800 kilogram

*400 kilovolt landkabel. Figur 5*

400 kilovolt søkablerne til Mariager fjordkrydsningen er opbygget af følgende:

*Faktaboks med følgende oplysninger:*

1. Vandtæt komprimeret aluminiumsleder med et tværsnitsareal på 1200 mm<sup>2</sup>.  
Diameter 42,9 mm.
2. Indre halvledende lag med en tykkelse på 1,6 mm
3. PEX isolation med en tykkelse på 28 mm.
4. Ydre halvledende lag med tykkelsen 1,5 mm
5. Halvledende tape
6. Skærptråde af aluminium med diameteren 1,89 mm. Skærmtværsnittet er i alt på 328 mm<sup>2</sup>
7. Rustfrit stålør med optiske fibre

8. Halvledende tape
9. Blykappe. Tykkelsen er på 2,3 mm. Tværsnitsarealet af blykappen er på  $820 \text{ mm}^2$
10. Glat ydre kappe af polyethylen med høj tæthed. Minimal gennemsnitstykkelse af kappen er 5 mm. Yderste del af kabelkappen er halvledende.

Ekstern diameter for hele kablet er 128 mm

Vægten er 23,8 kilogram pr. meter

Minimal bøjeradius er 1,9 m

Maksimal trækraft i kablet er 4800 kilogram

*400 kilovolt søkabel. Figur 6*

## **1.2 Skærmjording**

### **Krydskoblede skærme**

På strækningerne Tebbestrup-Hornbæk og Skudshale-Gistrup er skærmene krydskoblede. Hver strækning er opdelt i 1 gange 3 eller 2 gange 3 delstrækninger.

*Kabel med muffe. Fokus på skærmkrydsning og linkbokse. Figur 24*

I de muffe, hvor skærmene separeres for at krydses, føres skærmene ud af muffen i et kabel for at samles i en præfabrikeret samlebox. Herfra føres de to adskilte skærme til en linkbox via et koaxialkabel. I koaxialkablet er inderste leder koblet til skærmen til den ene side for en given fase og yderste leder er koblet til skærmen til den anden side for samme fase.

*Linkbox med afledere. Figur 24 (se også figur 28 som hjælp)*

I linkboxen er der indsat overspændingsafledere, der skal tænde, hvis skærmspændingen bliver for høj. Aflederne sidder mellem skærm og jord.

Aflederne kan udsættes for en jævnspænding på 5 kilovolt uden at tænde. Det vil sige, at der kan foretages kappeprøve med 5 kilovolt jævnspænding på kablernes skærme, uden at det er nødvendigt at lukke linkboksene op og fjerne aflederne.

Den nederste del af boksen er fyldt op med et plastisk materiale, der forhindrer vand i at trænge ind ved gennemføringerne. Låget er skruet på med passende moment. Efterfølgende er der lagt en elastisk fuge rundt ved kanten.

### **Enkelpunktsjordede skærme**

På strækningen Katbjerg-Bramslev er kabelskærmene enkeltpunktsjordede. Skærmene er jordet i Katbjerg og i Bramslev, mens skærmene er åbne i mufferne 2 lige nord for fjorden.

*Kabel, linkbokse og jordingskabel. Figur 25*

Sammen med højspændingskablerne er der lagt et isoleret jordingskabel med et ledertværsnit på  $300 \text{ mm}^2$  kobber. Der er lagt et jordingskabel for hvert system. Jordingskablet er forbundet til jordingsanlægget i de to kabelovergangsstationer i Katbjerg og Bramslev, hvor luftledningsanlægget er tilsluttet kabelanlægget. I tilfælde af højspændingsfejl på luftledningsanlægget, vil dette kabel skulle føre jordstrømmen.

*Jordingskabel. Figur 25*

*Linkbokse med afledere. Figur 27*

### **1.3 Nedlægningskonfiguration**

Kablerne er nedgravet i jorden til en dybde på ca. 1,2 m til overkant af kabel. Kablerne ligger i flad forlægning med en indbyrdes afstand på 300 mm.

*Skitse med tværsnit af kabelgrav. Figur 16 og 20*

Kablerne ligger i sand med en varieret kornstørrelse, så sandet kan pakkes tæt. Maksimal termisk resistivitet for sandet og den omgivende jord regnes til 1 kelvin meter pr. watt. Afstanden mellem de to 400 kabelsystemers centerlinjer er 6 m.

*Skitse med systemafstand. Figur 21*

Den opgravede jord lægges tilbage i graven. Den termiske ledningsevne omkring kablerne er derfor meget afhængig af den jord, kablerne lægges i.

### **1.4 Distribueret temperaturmåling**

For at kunne finde de steder, der er begrænsende for anlæggets overføringsevne, er der langs kablerne lagt et lyslederkabel. Lyslederkablet er indskyllet i det plastrør, der er strippet sammen med det midterste kabel, da dette kabel normalt vil blive varmest. Det er muligt at måle temperaturen langs kablet under drift med et udstyr, der kobles til lyslederen, og således finde de hotspots, der optræder langs kablet.

*Tværsnit af kabelgrav med angivelse af lyslederens placering. Figur 16*

Bestemmelsen af hotspots hjælper med at fastsætte den faktiske overføringsevne for anlægget, idet det er disse hotspots, der er dimensionerende.

*Hotspot langs kabel. Figur 50*

Bestemmelse af temperaturen langs kablet kan også anvendes i beregninger af kablernes dynamiske overføringsevne. Da den termiske resistivitet er afhængig af fugtigheden i jorden og da jordtemperaturen er årstidsbestemt, er den faktiske overføringsevne for anlægget ikke konstant.

### **1.5 Overføringsevne**

Udgangspunktet for fastlæggelse af anlæggets overføringsevne, er kravet til den statiske overføringsevne for anlægget. Det vil sige den kontinuerte belastning, som anlægget kan klare uden at de angivne temperaturgrænser overskrides. Kravet er minimum 700 ampere kontinuert pr. system.

De leverede kabler har under standardbetingelserne en kontinuert overføringsevne på 825 ampere. Temperaturgrænserne er 90 grader celsius for lederen og 50 grader celsius for ydersiden af kabelkappen.

*Faktaboks med ovenstående.*

I praksis er kablerne ikke nedgravet til en konstant dybde – derfor er den kontinuerte overføringsevne mindre end 825 ampere. Udgangspunktet er en jordtemperatur på 15 grader celsius. Da jordtemperaturen falder til 8 grader, når man går dybere ned, er det mere korrekt at anvende en temperatur mellem 8 og 15 grader celsius ved dybt begravede kabler.

*Skitse med underboring under vej og jordtemperaturens afhængighed af dybden.*

*Figur 11*

Ved underboringer trækkes kabler igennem rør, der efterfølgende fyldes med bentonit. Da bentonitten er lukket inde, vil der ikke forekomme udtørring inde i røret. Derfor regnes der med en maksimal temperatur på 50 grader celsius på ydersiden af røret - ikke på ydersiden af kablet. Det betyder, at det ofte er kablets ledertemperatur på 90 grader celsius, der bliver begrænsende ved underboringer.

*Underboring. Figur 18*

Kablerne vil under normal drift ikke være belastet med den maksimale kontinuerte belastningsstrøm i længere tid. Den lavere driftstemperatur gør det muligt at overføre en større strøm i adskillige timer, inden temperaturgrænserne nås. Hvor stor en strøm, der kan overføres, afhænger af den forudgående belastning samt omgivelsernes temperatur og termiske ledningsevne.

### *Korttidsbelastning. Princip. Figur 8*

Kabelanlægget er dimensioneret efter at korttidsbelastningsevnen skal udnyttes under sjældne, men ikke urealistiske hændelser. Korttidsbelastningsevnen skal ikke forveksles med overbelastningsevnen. Der er ikke dimensioneret med en overskridelse af temperaturgrænserne under korttidsbelastningen.

Ved en overskridelse af den maksimale kontinuerte belastningsstrøm, er det normalt temperaturgrænsen på 50 grader celsius på yderkappen, der er begrænsende for kablets overføringsevne. Ved en meget høj og kortvarig belastning er det ledertemperaturen på 90 grader celsius, der er begrænsende.

### *Skitse med maksimaltemperaturer. Figur 51*

For at kunne overvåge anlægget anvendes et udstyr, der overvåger belastningsstrømmen og temperaturen på kablet og giver alarm, hvis grænser overskrides. Udstyret kan også beregne den dynamiske belastningsevne og angive den maksimale belastning i de næste 4 timer eller 50 timer.

## **1.6 Kabellængde og muffeantal**

Kablerne leveres på tromler. Maksimal kabellængde er 900 m pr. tromle.

Kabeltracéerne har følgende længder:

|                           |                |
|---------------------------|----------------|
| Tebbestrup-Hornbæk:       | 4,5 km         |
| Katbjerg-Bramslev:        | 2,5 km         |
| Skudshale-Gistrup:        | 7,5 km         |
| <b>Total tracélængde:</b> | <b>14,5 km</b> |

Der er lagt to systemer ned på alle tre delstrækninger. Det vil sige, at **den samlede kabellængde er:**

$$2 \times 3 \times 14,5 \text{ km} = \mathbf{87 \text{ km}}$$

Der er anvendt følgende **antal samlemuffer:**

|                     |                         |           |
|---------------------|-------------------------|-----------|
| Tebbestrup-Hornbæk: | $5 \times 2 \times 3 =$ | 30        |
| Katbjerg-Bramslev:  | $3 \times 2 \times 3 =$ | 18        |
| Skudshale-Gistrup:  | $8 \times 2 \times 3 =$ | 48        |
| <b>Total:</b>       |                         | <b>96</b> |

Der er anvendt følgende antal **endemuffer**:

|                     |                            |
|---------------------|----------------------------|
| Tebbestrup-Hornbæk: | $2 \times 2 \times 3 = 12$ |
| Katbjerg-Bramslev:  | $2 \times 2 \times 3 = 12$ |
| Skudshale-Gistrup:  | $2 \times 2 \times 3 = 12$ |
| <b>Total:</b>       | <b>36</b>                  |

### 1.7 Rørunderføringer

Ved krydsning af vandløb, veje, andre ledninger, skrænter, samt enkelte bevoksede områder er kablerne trukket i foringsrør. Ved krydsning af mindre vandløb, grøfter, grusveje og mindre ledninger, er rørene nedlagt i åben grav, hvorefter jorden igen er pålagt. Ved længere krydsninger, eller hvor det ikke har været muligt at lave en åben grav, er rørende trukket gennem en styret underboring.

Der er anvendt tre forskellige nedlægningskonfigurationer ved rørunderføringer:

*Skitse med forskellige nedlægningskonfigurationer. Figur 58.*

Rørene ligger fladt og tæt ved siden af hinanden. Rørene er lagt ned i åben grav - ned til maksimalt 3 meters dybde.

Rørene ligger i flad forlægning med en indbyrdes afstand på 1 m. Ved dybe underboringer laves én underboring pr. rør. Rørene placeres med en indbyrdes afstand på ca. 1 m. Kablerne kan herved bedre komme af med varmen.

Rørene ligger i tæt trekant. De tre rør er trukket igennem den styrede underboring på én gang.

*Skitse der viser arbejdsgangen. Underboring og itrækning af 1-3 rør gennem boringen. Figur 10*

Rørene består af polyethylen, der er et hårdt plastmateriale. Udvendig rørdiameter er 315 mm og vægtykkelsen er 18,7 mm.

Efter kablerne er trukket gennem rørene, fyldes disse med bentonit.

Bentonitblandingen størkner i løbet af ca. et døgn, så den bliver stabil uden at blive hård. Bentonitten skal kunne spules ud senere, hvis der opstår fejl på kablet.

*Rør fyldes med bentonit. Lav skitse på grundlag af tidligere skitser ved underboring af vej samt foto nr. 101, 102 og 103*

Bentonitten har en termisk resistivitet på under 1 kelvin meter pr. watt.

### **1.8 Kompensering**

400 kilovolt kablerne producerer reaktiv effekt, som ønskes udkompenseret så tæt på kablerne som muligt. Herved mindskes nettabene. For hver system-kilometer kabel genereres der 10 megavar reaktiv effekt.

De tre kabelsektioner har en samlet længde på 2 gange 14,5 km - i alt 29 km. Det giver en samlet reaktiv effektgenerering på 290 megavar.

*Placering af reaktorer i nettet. Figur 32*

I station Ferslev er der installeret en 140 megavar reaktor, der er fast tilkoblet ledningen Ferslev-Nordjyllandsværket. Ledningen indeholder en kabelstrækning på 2 gange 7,5 km med en reaktiv effektproduktion på 150 megavar. Når ledningen kobles ind og ud, følger reaktoren automatisk med, da den er direkte tilsluttet ledningen.

*Skitse over reaktortilkobling i Hornbæk. Figur 43 og 44*

Samme procedure er anvendt i kabelstation Hornbæk, hvor der er opstillet en reaktor på 100 megavar, der er fast tilkoblet ledningen Ferslev - Trige. Denne ledning indeholder en kabelstrækning på 2 gange 7 km med en reaktiv effektproduktion på 140 megavar.

*Skitse over reaktorplaceringen i Ferslev. Figur 45 og 46*

Endeligt er der installeret to kobbelbare 70 megavar reaktorer i station Ferslev. De indledende undersøgelser viste, at der kunne være risiko for store spændingsspring i nettet, hvis der skulle kobles med en 140 megavar reaktor. Derfor er der sammen med den fast indkoblede 140 megavar reaktor installeret to 70 megavar reaktorer, hvilket også øger fleksibiliteten.