



Energinet  
Tonne Kjærvej 65  
DK-7000 Fredericia

+45 70 10 22 44  
info@energinet.dk  
CVR-nr. 28 98 06 71

Dato:  
28. september 2018

## NOTAT

# DANSK RESUMÉ – TEKNISK REDEGØRELSE OM ANVENDELSE AF KABELANLÆG VED UDBYGNING AF 400 KV-NETTET I SYD- OG VESTJYLLAND

1. Resumé med baggrund og konklusion .....	1
1.1 Baggrund for rapporten .....	1
1.2 Samlet konklusion .....	2
2. Rapportens delkonklusioner på alternative løsninger B, C, D, E og F... 3	
2.1 Op til 15 procent af strækningen kan kabellægges .....	3
2.2 150 kV og 200 kV kabler risikerer overbelastning og kræver rekonstruktion af nettet.3	
2.3 Jævnstrøm vil markant øge kompleksitet og medføre betydelige risici for fejl .....	4
2.4 Offshore kabler har samme udfordring som landkabler .....	4
2.5 Gasisolerede forbindelser er kun nedgravet på meget korte strækninger .....	4
3. Fremtidsperspektiv: .....	5
3.1 Elnettet forandrer sig – kabler skal bruges med varsomhed .....	5

## 1. Resumé med baggrund og konklusion

### 1.1 Baggrund for rapporten

Energinet søgte i december 2015 energi-, forsynings- og klimaministeren om tilladelse til at etablere 400 kV luftledninger mellem Endrup og Idomlund samt mellem Endrup og den dansk-tyske grænse.

I oktober 2017 godkendte ministeren de to projekter, hvorefter Energinet i marts 2018 anmeldte projekterne til Miljøstyrelsen. Første offentlighedsfase af VVM-processen blev afviklet fra 9. april til 9. maj 2018, og der blev holdt en række borgermøder, hvor der blev gjort rede for projekterne samt den politiske aftale fra november 2016, hvoraf det fremgår, at 400 kV-forbindelser som udgangspunkt skal anlægges som luftledninger.

På baggrund af tilbagemeldinger fra borgere i de berørte områder bad ministeren i juni 2018 Energinet udarbejde en teknisk redegørelse, bl.a. om hvor meget af forbindelserne der kan kabellægges. Formålet er at finde en løsning, der mest muligt begrænser påvirkning af natur og mennesker.

Ministeren bad Energinet behandle følgende muligheder med den godkendte 400 kV luftledningsløsning som reference (Alternativ A):

- Den godkendte 400 kV luftledningsløsning – med en øget kabelandel uden behov for etablering af yderligere kompenseringsstationer (Alternativ B)
- Den godkendte 400 kV luftledningsløsning – med en øget kabelandel og et deraf afledt behov for etablering af yderligere kompenseringsstationer (Alternativ C)
- Fuldstændig kabellægning af den aktuelle 400 kV forbindelse (Alternativ D)
- Perspektiver for anvendelse af 150 kV eller 220 kV kabelanlæg med fuldstændig kabellægning (Alternativ E)
- Perspektiver for anvendelse af jævnstrømsforbindelser (HVDC) med udlægning af nødvendige kabelanlæg på land eller til havs (Alternativ F)

## 1.2 Samlet konklusion

Der kan på forbindelserne mellem Idomlund-Endrup og Endrup-landegrænsen etableres begrænsede strækninger med nedgravede 400 kV kabler, men lange strækninger vil medføre betydelige risici og potentielt kompromittere Danmarks forsyningssikkerhed.

Rapporten påviser risiko for forvrænget spænding, også kaldet støj, som overstiger de tilladte grænseværdier i store dele af transmissionsnettet. Det kan medføre forkortet levetid og fejl i komponenter i elnettet og i elapparater hos forbrugerne.

I forbindelse med de to oprindelige 400 kV projekter mellem Idomlund-Endrup samt Endrup-landegrænsen, var det forudsat, at der højst blev kabellagt ca. 10 procent af den samlede strækning, svarende til ca. 17 km tracé. Rapporten konkluderer, at andelen af kabellægning kan øges til op til 15 procent, svarende til ca. 26 km tracé. Det kan evt. ske ved følgende tiltag:

- Anvende kabler med meget stor overføringsevne - f.eks. aluminiumskabler med meget stort ledertværsnit. Der er imidlertid få globale erfaringer med sådanne kabeltyper. Ved at bruge store kabler og gå fra to parallelle kabelsystemer til ét kabelsystem kan man reducere mængden af kabler og dermed reducere problemet med forvrænget spænding.
- Installere filtre i 400 kV nettet til at afbøde konsekvenser ved øget kabellægning.

Kabellægning af 400 kV forbindelserne ud over 15 procent vil, uanset kabelvalg eller anvendelsen af filtre, være forbundet med betydelig kompleksitet og risici, fordi det vil kræve, at der indsættes mange nye filtre, kompenseringsspoler og andre komponenter i elnettet for at afbøde de problemer, der opstår med lange kabelstrækninger. Der vil være tale om uprøvet styring og teknologi i den krævede størrelsesorden, der er brug for, og sandsynligheden for fejl og afbrud stiger dermed.

Alternative løsninger i form af anvendelse af kabler på lavere spændingsniveau, jævnstrømsforbindelser, offshore-forbindelser og gasisolerede ledninger er ligeledes forbundet med betydelige risici og opfylder ikke Danmarks behov for transport af energi. De er dermed ikke alternativer til at etablere de aktuelle projekter i Vest- og Sønderjylland som 400 kV luftledninger.

## 2. Rapportens delkonklusioner på alternative løsninger B, C, D, E og F

### 2.1 Op til 15 procent af strækningen kan kabellægges

Det er muligt at etablere op til 15 procent af den samlede strækning med 400 kV kabler i jorden, svarende til Alternativ B. En større andel af kabler - Alternativ C og D - vil resultere i forvrænget spænding i store dele af transmissionsnettet og vil derfor være forbundet med betydelige risici for, at spændingsforvrængning ikke kan kontrolleres og fastsatte grænseværdier overskrides. Høj spændingsforvrængning over grænseværdierne kan medføre, at komponenter i elnettet og elapparater hos forbrugerne fejler eller deres levetid forkortes. Desuden kan en større kabelandel medføre, at Danmark eksporterer spændingsforvrængning til nabolande, hvorved de samme risici opstår der.

En højere andel af 400 kV kabler medfører også et mere komplekst og mindre robust elnet, bl.a. fordi der vil være behov for at indsætte anlæg, der skal afbøde uhensigtsmæssigheder forbundet med anvendelsen af kabler. F.eks. skal der installeres et ukendt antal filtre, og filtrene skal kompenseres med kompenseringsspoler. Desuden er der behov for at kompensere kablernes ladestrøm, for at kablerne kan bruges til at overføre energi. Samlet set skal der indsættes så mange komponenter, at der er behov for automatiseret styring af disse. En sådan type styring er pt. ikke udviklet til et større elsystem. Ud over at teknologien ikke er udviklet, vil markant flere komponenter i elnettet øge sandsynligheden for fejl og forsyningssvigt.

### 2.2 150 kV og 200 kV kabler risikerer overbelastning og kræver rekonstruktion af nettet

150 kV eller 220 kV kabelanlæg på Idomlund-Endrup samt Endrup-landegrænsen vil medføre behov for restrukturering af store dele af transmissionsnettet i Jylland.

150 kV nettet er designet som elnettets "landeveje" og anvendes til den lokale opsamling og fordeling af energi. 400 kV nettet er designet som "motorveje" til transport af store energimængder over store afstande. Sender man store energimængder ned på et lavere spændingsniveau (Alternativ E), vil det ikke bare påvirke den enkelte strækning, men hele 150 kV nettet. Det vil medføre behov for meget omfattende netforstærkninger, f.eks. fordi andre forgreninger af 150 kV nettet risikerer at blive overbelastet. Produktionen ændrer sig, som vinden blæser, og kommer i nogle timer i meget store mængder. Store variationer i produktion sammenholdt med ændringer i forbruget og udveksling over landegrænser øger risikoen for overbelastning og uacceptabel spændingsregulering. Dette vil medføre, at driften af elsystemet bliver meget kompleks og kræver, at der indføres automatisk styring af hele transmissionsnettet. Disse systemer er ikke udviklet. Stor kompleksitet øger samtidigt sandsynligheden for fejl og afbrud.

De samme udfordringer i forhold til styring vil være gældende for en 220 kV løsning.

Derudover vil kabelløsninger på 150 kV og 220 kV niveau have en betydelig lavere overføringsevne i forhold til netforstærkninger på 400 kV niveau og dermed mangle robusthed og fremtidssikring: Det vil f.eks. være nødvendigt løbende at bygge nye parallelle "landeveje" i takt med udbygning af vedvarende energi og øget elforbrug som følge af øget elektrificering af f.eks. varme- og transportsektoren.

Endelig vil en 150 kV eller 220 kV forbindelse for at få tilstrækkelig overføringsevne kræve etablering af en stribe parallelle kabler, der - selv om de er mindre end 400 kV kabler - vil forøge antallet af kabelkilometer betragteligt og sandsynligvis medføre samme problemer med forvrænget spænding, som det er konstateret med 400 kV kabler.

### 2.3 Jævnstrøm vil markant øge kompleksitet og medføre betydelige risici for fejl

Jævnstrømsforbindelser, Alternativ F, vil i de aktuelle projekter blive så komplicerede, at de ikke er realistiske at gennemføre. Der vil skulle indbygges mange nye komponenter, som vil behøve meget kompliceret styring, og risikoen for fejl øges dermed. Der er ingen erfaringer med anlæg i den størrelsesorden, og der udestår meget forsknings- og udviklingsarbejde, før jævnstrømsforbindelser kan fungere svarende til et vekselstrømsnet.

For eksempel mangler jævnstrømsforbindelserne modsat vekselstrømsløsninger evnen til automatisk at kunne reagere på fejl og udfald i transmissionsnettet og aktivere reserver. Udfald af jævnstrømsforbindelsen mellem Danmark og England, Viking Link, vil kræve, at der momentant kan trækkes strøm fra Tyskland gennem forbindelsen mellem landegrænsen og Endrup og opretholde sikker elforsyning i Danmark.

Jævnstrømsforbindelser bruges til at transportere store mængder energi over lange, ubrudte afstande, f.eks. mellem lande. Langs Vestkysten er der behov for "tilkørsler" med indføddning af produktion fra f.eks. havmølleparker, samt "frakørsler" mod forbrugerne. Jævnstrømsløsninger indbygget som en integreret del af vekselstrømsnettet vil kræve konverterstationer i hver ende samt ved hver "til- og frakørsel". Det vil gøre driften af elnettet uhyre kompleks og medføre forøget risiko for fejl.

Multiterminalteknologi, der kan reducere antallet af konvertere, er stadig umoden og endnu ikke afprøvet i den størrelsesorden, der er behov for i Vest- og Sønderjylland.

### 2.4 Offshore kabler har samme udfordring som landkabler

Kabler til havs, f.eks. langs den jyske vestkyst, har samme grundlæggende driftsmæssige udfordringer som kabler nedgravet i jorden. Det gør således ingen systemmæssig forskel, om forbindelser ligger i jord eller vand. Problemer og risici for hhv. jævnstrømsforbindelser og 400 kV vekselstrømskabler er de samme som beskrevet herover.

### 2.5 Gasisolerede forbindelser er kun nedgravet på meget korte strækninger

Ud over Alternativerne B-F undersøger redegørelsen muligheden for at bruge gasisolerede transmissionsforbindelser. Løsningerne bruges bl.a. i millionbyer, hvor anlæggene er installeret i tunneller under jorden. Der er globalt meget få erfaringer med direkte nedgravede gasisolerede ledninger og kun over meget korte strækninger på ca. 1 km. Det er forbundet med stor risiko at introducere GIL-teknologi på en 170 km lang nedgravet strækning.

### 3. Fremtidsperspektiv:

#### 3.1 Elnettet forandrer sig – kabler skal bruges med varsomhed

Omstillingen til vedvarende energi betyder, at elsystemet undergår store forandringer.

Vindenergi udgør allerede i dag den største enkeltkilde til Danmarks elforsyning, og andelen vil stige yderligt i årene fremover. Forsyningssikkerheden skal fremover tilvejebringes på andre måder end i dag. Det medfører behov for, at meget store energimængder skal transporteres fra produktionen, der ofte vil være placeret på havet eller langt fra forbrugerne, til husholdninger, virksomheder mv. i andre regioner eller nabolande.

Udviklingen foregår ikke bare i Danmark, men i hele Europa. Omstillingen til grøn energi gør det fordelagtigt og nødvendigt at udveksle mere energi over grænser. F.eks. kan danske elproducenter eksportere mere, når det blæser meget, og forbrugere kan importere, når det er favorabelt, eller når Danmark har lav elproduktion. 400 kV nettet udgør ikke bare i Danmark, men i resten af Europa, grundstammen for transmissionsnettet.

Den aktuelle forstærkning af transmissionsnettet mellem Idomlund og Endrup er nødvendig på grund af den store udbygning med vindenergi i Nord- og Vestjylland – senest kommer to nye kystnære havmølleparker med en samlet installeret kapacitet på 350 MW til, og der er behov for udbygning for at kunne håndtere de store mængder vedvarende energi.

400 kV forbindelsen mellem Endrup og landegrænsen hænger tæt sammen med den 770 km lange Viking Link på tværs af Nordsøen. Forbindelsen mellem Danmark og England får en kapacitet på 1400 MW og bliver dermed dobbelt så stor som de største øvrige udlandsforbindelser i Danmark. Viking Link bliver en meget stor komponent i det danske transmissionsnet, og for at forhindre et større forsyningsvigt eller nedbrud, hvis der skulle ske udfald af Viking Link, er der behov for at forstærke forbindelserne mellem Danmark og Tyskland, så et pludseligt tab af store mængder energi kan erstattes fra Tyskland og Centraleuropa. Ligeledes bidrager 400 kV forbindelsen til en forbedret markedsadgang mellem Tyskland og Danmark. I Tyskland er man i gang med at udbygge 400 kV transmissionsnettet langs den tyske vestkyst mellem Hamborg og Nibøl og dermed den danske grænse.

Den politiske ambition er, at vindenergi i 2020 skal producere, hvad der svarer til 50 procent af Danmarks elforbrug. I 2030 skal andelen af vedvarende energi i elsystemet være vokset til 100 procent, og el skal i stigende grad udfase fossile brændsler i transportsektoren og varmesektoren, i form af f.eks. elbiler og elektriske varmepumper i både fjernvarmen og i private husstande. Målet er et lavemissionsamfund i 2050.

Den udvikling vil løbende medføre yderligere behov for forstærkninger og udbygninger af elnettet, herunder også 400 kV nettet. F.eks. vil placeringen af fremtidens havmølleparker, bl.a. de tre nye havmølleparker, der er aftalt i Folketingets energiaftale, gøre det nødvendigt med stærke elmotorveje for at sikre, at energien kan komme frem til forbrugerne og sikre strøm i stikkontakterne.

Den nye 400 kV luftledningsforbindelse Idomlund-Endrup er en robust og fremtidssikret løsning. De nye master skal ved anlæggelsen bære to 400 kV systemer, men det ene skal til at begynde med drives som et 150 kV system som erstatning for det 150 kV system, der i dag hænger som luftledninger på den største del af strækningen, nemlig mellem Idomlund og Karlsgårde. Sker der som forventet yderligere udbygning med vedvarende energi, herunder vindkraftudbygning i Nordsøen, kan 150 kV systemet opgraderes til 400 kV.

---

Ligeledes vil der andre steder i landet blive behov for forstærkning af elnettet. Eftersom den nuværende kabelteknologi kun efterlader mulighed for at anvende en begrænset mængde 400 kV kabler, skal kabellægning ske med varsomhed og med hensyntagen til fremtidig udbygning af nettet.

Transmissionsnettet er et stort sammenhængende net, og mange kabler ét sted begrænser muligheden for anvendelsen af kabler andre steder. I fremtidens udbygning af transmissionsnettet vil der sandsynligvis også blive brug for at kabellægge nær særlige naturområder eller nær byer. Samtidig vil der blive introduceret endnu flere kabler i transmissionsnettet i forbindelse med nettilslutning af kommende havmølleparker.