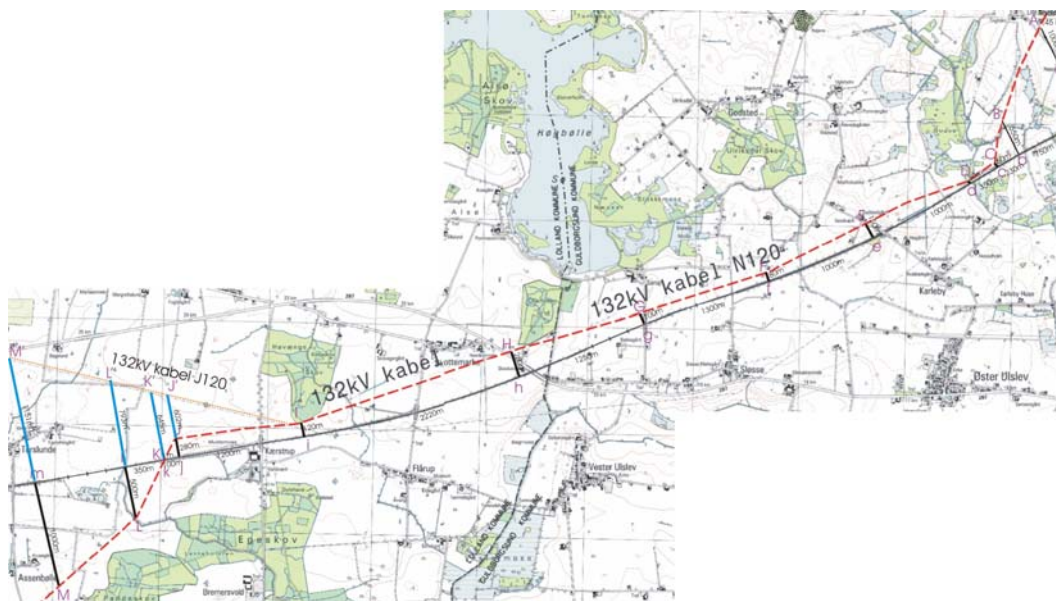


Nærføring mellem banen Nykøbing F-Rødby og

132 kV kabelanlægget Radsted-Rødsand 2

Dette dokument beskriver en nærføringssag med de forskellige punkter, der er foretaget. En dyberegående teori omkring formler og tilnærmelser, som er anvendt kan studeres i Nærføringsudvalgets håndbog om nærføring.

Nærføringssagen er i dette tilfælde foranlediget af beslutningen om at placere den nye havmøllepark Rødsand 2, syd for Lolland, hvorved der er behov for et 132 kV kabelanlæg benævnt N120, som tilsluttes i et passende punkt (Radsted nær Sakskebøbing) i det eksisterende eltransmissions-net. Kabelanlægget som er ca. 35 km langt vil på en strækning af 10,6 km have nærføring med banen Nykøbing F-Rødby (se Figur 1).



Figur 1 Nærført strækning mellem kabelanlæg og bane

Sagsgangen i nærføringssag

Generelle nærføringssager indeholder ikke nødvendigvis alle de i notatet beskrevne punkter, men vil oftest kunne afsluttes efter 1-2 punkter har været berørt i den herunder beskrevne sagsgang.

- 1) Ved etablering af et anlæg, hvor andre anlæg kan påvirkes sender udførende part (SEAS-NVE) relevant information til berørte part(er), som fra givne informationer og kendskabet til sit/sine eget/egne anlæg på givne baggrund vurderer om der er brug for yderligere tiltag.
- 2) I det givne tilfælde viste beregninger fra berørte part (Bane Danmark), at der er behov for yderligere tiltag. Bane Danmark laver en beregning af spændingen ud fra fejlstrømmen (opgivet af SEAS-NVE), desuden laver Bane Danmark et præliminært overslag på den udgift, som de beregner at have, hvis de skal modvirke de for høje beregnede spændinger fra nærføringen.
- 3) Ved sammenhold af Bane Danmarks beregning, laves nu en grundigere beregning, hvor flere forhold tages i betragtning. Det viser sig mest optimalt

Nærføring mellem banen Nykøbing F-Rødby og

132 kV kabelanlægget Radsted-Rødsand 2

at lægge nogle skærmleder kabler samtidigt med at hovedkabelanlægget udlægges. Derved mindskes skærmfaktoren og spændingen i Bane Danmarks Anlæg begrænses.

- 4) Da kablet er etableret udføres en kontrolmåling på site. Dette er grundet længden af nærføringen, anlæggets kompleksitet samt at beregningsresultatet er tæt på den acceptable grænse. Derfor skal det sikres at spændingsgrænsen ikke overskrides.
- 5) Ved afslutning af sagen, er det god kutyme at berørte part giver besked om at han anser sagen for løst.

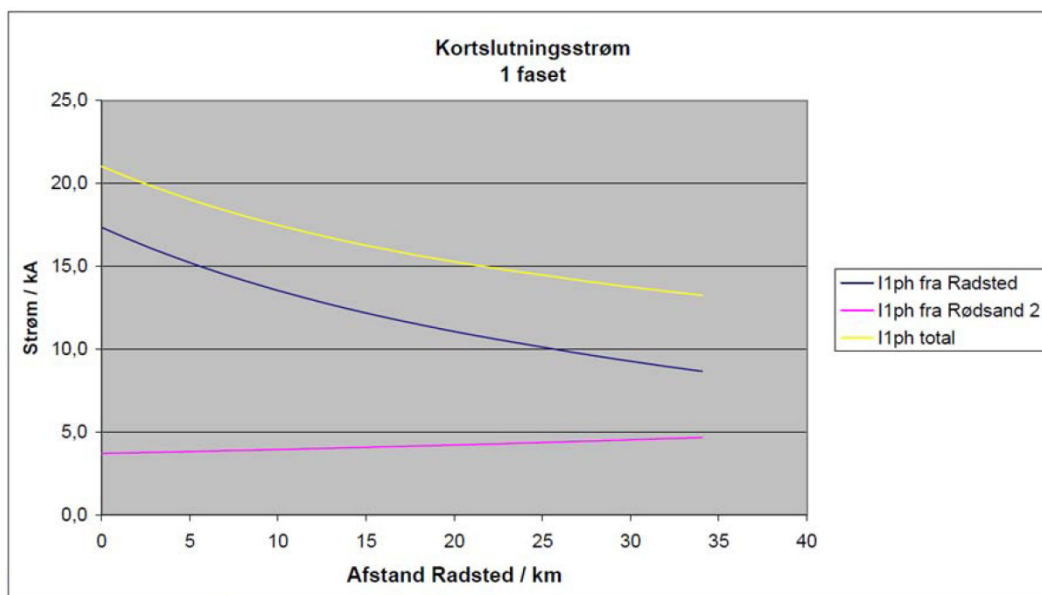
Sagsgang punkt 1: Beskrivelse af anlægget

Kabelanlægget N120 består af 1 system med 3 stk. 132 kV, 1.600 + 55 mm² PEX-Al/Cu-LRT enleder kabler som er cross bounded. Hvert kabelanlæg kan kontinuert overføre 245 MVA ved en strøm på 1.080 A.



Kabelanlæggene i SEAS-NVE's område har direkte jordet nulpunkt, og beskyttelsen virker således at en jordslutning vil medføre kortslutningsstrøm samt udkobling af det fejlfremte kabelsystem uden genindkobling.

Udkoblingstiden vil ved de dimensionerende fejlstrømme blive mindre end 0,2 sek., medens kortslutninger, der forsynes over større kabellængder, og som følge deraf medfører mindre kortslutningsstrøm, udkobles på 0,5 sek.



Figur 2 Kortslutningsstrøm

Den nærførte strækning starter 7,45 km fra Radsted og slutter 19 km fra Radsted.

Der er foretaget beregninger af kortslutningsstrømmene i det Sjællandske 132 kV net, og på baggrund af disse beregninger er den enfasede kortslutningsstrøm som funktion af afstanden langs Radsted – Rødsand 2 kablet indtegnet på vedlagte ”hængekøjekurver” (Figur 2).

Nærføring mellem banen Nykøbing F-Rødby og

132 kV kabelanlægget Radsted-Rødsand 2

Ved en fejl 19 km fra Radsted vil kortslutningsstrømmen være 11,5 kA (Se Figur 2) langs hele den nærførte strækning. Kabelanlægget som er lagt i tæt trekant giver i udgangspunktet en skærmfaktor på $k = 0,1927$.

Sagsgang punkt 2: Beregning af spænding

Den gensidige impedans for det berørte nærføringsstykke med N120 beregnes som vist i Tabel 1 samt den deraf beregnede spænding ved banen i Tabel 2. Det angivne kabel J120 Radsted-Rødby, er et andet kabelanlæg, som ligger 6 m fra Rødsand 2 kablet på det meste af den nærførte strækning, dette kabel er i første beregning ikke medtaget

Strækning	Kabel Position Radsted	Længde m Bane	Afstand N120		Afstand J120		Detail	N120				J120		
			A ₁ m	A ₂ m	A ₁ m	A ₂ m		Kort	ækv Afs	ækv Afs	R / Ohm	X / Ohm	R / Ohm	X / Ohm
1 A-B	7445	750	1000	350	994	344	n120_3	591,6	584,8	0,01583	0,00771	0,01602	0,00802	
2 B-C	8407	230	350	60	344	54	n120_4	144,9	136,3	0,00974	0,01757	0,00980	0,01838	
3 C-D	8774	350	60	30	54	24	n120_4	42,4	36,0	0,01629	0,05282	0,01640	0,05641	
4 D-E	9085	1000	150	30	144	24	n120_4	67,1	58,8	0,04536	0,12252	0,04574	0,13067	
5 E-F	10115	1000	150	80	144	74	n120_4	109,5	103,2	0,04360	0,09275	0,04384	0,09630	
6 F-G	11385	1300	80	100	74	94	n120_5	89,4	83,4	0,05771	0,13642	0,05804	0,14194	
7 G-H	12445	1250	100	250	94	244	n120_5	158,1	151,4	0,05237	0,08927	0,05264	0,09232	
8 H-I	13608	2220	250	120	244	114	n120_5	173,2	166,8	0,09196	0,14726	0,09240	0,15191	
9 I-J	15675	1200	120	280	114	602	n120_6	183,3	262,0	0,04935	0,07587	0,04424	0,05386	
10 J-K	17005	100	280	1	602	645	n120_7	16,7	623,1	0,00479	0,02092	0,00200	0,00086	
11 K-L	17145	350	1	500	645	793	n120_7	22,4	715,2	0,01666	0,06684	0,00591	0,00183	
12 L-M	17813	850	500	1000	793	1151	n120_7	707,1	955,4	0,01457	0,00464	0,00860	0,00148	
	19000													
Kabel		Bane												
Længde i alt		11555	10600 m				Z _g =		0,4182		0,8346		0,3956 0,7540	

Tabel 1 beregning af nærføring

Strækning	Impedans N120		Impedans J120		Spænding ved 1A Z _g *Skærmfaktor		
	R / Ohm	X / Ohm	R / Ohm	X / Ohm	N120	J120	N120
1 A-B	0,01583	0,00771	0,01602	0,00802	0,0034	0,0000	0,0034
2 B-C	0,00974	0,01757	0,00980	0,01838	0,0039	0,0000	0,0039
3 C-D	0,01629	0,05282	0,01640	0,05641	0,0107	0,0000	0,0107
4 D-E	0,04536	0,12252	0,04574	0,13067	0,0252	0,0000	0,0252
5 E-F	0,04360	0,09275	0,04384	0,09630	0,0198	0,0000	0,0198
6 F-G	0,05771	0,13642	0,05804	0,14194	0,0285	0,0000	0,0285
7 G-H	0,05237	0,08927	0,05264	0,09232	0,0199	0,0000	0,0199
8 H-I	0,09196	0,14726	0,09240	0,15191	0,0335	0,0000	0,0335
9 I-J	0,04935	0,07587	0,04424	0,05386	0,0174	0,0000	0,0174
10 J-K	0,00479	0,02092	0,00200	0,00086	0,0041	0,0000	0,0041
11 K-L	0,01666	0,06684	0,00591	0,00183	0,0133	0,0000	0,0133
12 L-M	0,01457	0,00464	0,00860	0,00148	0,0029	0,0000	0,0029
Induceret spænding ved 1 A					0,1799 V		

$|Z_g| * \text{Skærmfaktor} = 0,1799 \text{ Ohm}$
 Fejlstrøm **11,5 kA**
 Induceret spænding **2069 V**
 Reduktionsfaktor ¹⁾ **0,7**
 Spænding Bane DK **1448,4 V**

¹⁾ Reduktionsfaktor 0.5-0.7 opgivet af bane danmark

Tabel 2 Første beregning af skærmfaktoren

Ved beregningerne er følgende parametre endvidere antaget

Frekvens $f = 50 \text{ Hz}$
 Jordens specifikke resistans $\rho = 25 \text{ } \Omega \text{ m}$
 Ækvivalent dybde $d = 467 \text{ m}$
 Resistans Jordan $r_j = 0.050 \text{ } \Omega / \text{ km}$

Banedanmark kan i sine anlæg tillade en spænding på 650 V, hvorfor 1448 V er for højt (bemærk at i beregningen er reduktionsfaktoren 0,7 anvendt for at give et konservativt skøn).

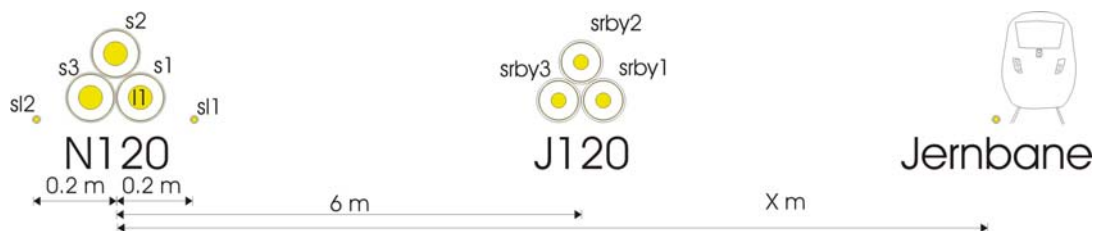
Nærføring mellem banen Nykøbing F-Rødby og

132 kV kabelanlægget Radsted-Rødsand 2

Sagsgang punkt 3: Grundigere beregning af spændingen

For at reducere den inducerede spænding yderligere inkluderes virkningen af det parallelførte Rødby kabel J120 i beregningerne. Den derved beregnede maksimale spænding for Banedanmark bliver herved reduceret til 1139 V, hvilket dog stadigvæk er for højt.

Der etableres derfor yderligere to skærmledere S11 og S12 i Jorden med et kvadrat på $2 \times 95 \text{ mm}^2$ CU. De udlægges som angivet i Figur 3.



Figur 3 Kabel layout

Strækning	Impedans N120		Impedans J120		Spænding ved 1A Zg *Skærmfaktor		
	R / Ohm	X / Ohm	R / Ohm	X / Ohm	N120	J120	N120
1 A-B	0,01583	0,00771	0,01602	0,00802	0,0024	0,0010	0,0014
2 B-C	0,00974	0,01757	0,00980	0,01838	0,0027	0,0011	0,0016
3 C-D	0,01629	0,05282	0,01640	0,05641	0,0075	0,0032	0,0043
4 D-E	0,04536	0,12252	0,04574	0,13067	0,0178	0,0075	0,0103
5 E-F	0,04360	0,09275	0,04384	0,09630	0,0139	0,0058	0,0082
6 F-G	0,05771	0,13642	0,05804	0,14194	0,0202	0,0083	0,0118
7 G-H	0,05237	0,08927	0,05264	0,09232	0,0141	0,0058	0,0083
8 H-I	0,09196	0,14726	0,09240	0,15191	0,0236	0,0097	0,0140
9 I-J	0,04935	0,07587	0,04424	0,05386	0,0123	0,0038	0,0085
10 J-K	0,00479	0,02092	0,00200	0,00086	0,0029	0,0001	0,0028
11 K-L	0,01666	0,06684	0,00591	0,00183	0,0094	0,0003	0,0092
12 L-M	0,01457	0,00464	0,00860	0,00148	0,0021	0,0005	0,0016
Induceret spænding ved 1 A					0,0807 V		

Zg *Skærmfaktor =	0,0807 Ohm
Fejlstrøm	11,5 kA
Induceret spænding	928 V
Reduktionsfaktor ¹⁾	0,7
Spænding Bane DK	649,5 V

¹⁾ Reduktionsfaktor 0.5-0.7 opgivet af bane danmark

Tabel 3 Beregning af induceret spænding med skærmledere

Med det nye kabelanlægs layout foretages beregningen atter, og det er nu muligt at beregne 649,5 V og derved komme under – men meget tæt på - den maksimale spænding på 650 V.

Med det nye kabelanlægs layout kan skærmfaktoren for kabelanlæggene ligeledes beregnes på traditionel (tilnærmet) vis, hvor man beregner ud fra en systemafstand til banen og negligerer de små afvigelser på ledernes og skærmens individuelle afstand til banen. Herved fås en skærmfaktor på 0,817 (se ligeledes Tabel 4). Hvor afstanden fra kabelanlægget til banen er stor i forhold til indbyrdes afstande mellem kablerne er fejlen som regel lille ved denne tilnærmelse. I det givne eksempel er differensen ved at beregne skærmfaktoren uden hensyntagen til kablernes indbyrdes placering i forhold til banen ca. 1%, hvilket oftest giver den fornødne nøjagtighed.

Nærføring mellem banen Nykøbing F-Rødby og

132 kV kabelanlægget Radsted-Rødsand 2

Strøm til skærmfaktor beregning

	Strøm	Vinkel	Grp
I_1	1,0000	0,0	N120
s_1	0,2192	-155,8	N120
s_2	0,2194	-156,2	N120
s_3	0,2115	-156,6	N120
sl_1	0,2144	168,3	N120
sl_2	0,1680	145,7	N120
$srby_1$	0,0180	115,9	J120
$srby_2$	0,0181	116,1	J120
$srby_3$	0,0182	116,3	J120
Gruppe N120	0,1360	-65,5	
Gruppe J120	0,0544	116,1	
N120 + J120	0,0817	-66,5	

Tabel 4 Beregning af skærmfaktor ved betragtning ud fra en systemafstand

Sagsgang punkt 4: Verifikationsmåling:

Da beregningerne viste værdier meget tæt på grænsen, er der ligeledes foretaget en kontrolmåling på det etablerede anlæg. Grundet praktiske omstændigheder var strækning A-E ikke med i målingen. Den genside impedans beregning som er gældende for målingen ser derfor ud som angivet i Tabel 5.

Strækning	Impedans N120		Impedans J120		Spænding			
	R / Ohm	X / Ohm	R / Ohm	X / Ohm	N120	J120	Samlet	
1 A-B	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,0000	0,0000	0,0000	
2 B-C	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,0000	0,0000	0,0000	
3 C-D	0,00000	0,00001	0,00000	0,00001	0,0000	0,0000	0,0000	
4 D-E	0,00000	0,00001	0,00000	0,00001	0,0000	0,0000	0,0000	
5 E-F	0,02311	0,04916	0,02324	0,05104	0,0074	0,0030	0,0043	
6 F-G	0,05771	0,13642	0,05804	0,14194	0,0201	0,0083	0,0118	
7 G-H	0,05237	0,08927	0,05264	0,09232	0,0141	0,0058	0,0083	
8 H-I	0,09196	0,14726	0,09240	0,15191	0,0236	0,0097	0,0140	
9 I-J	0,04935	0,07587	0,04424	0,05386	0,0123	0,0038	0,0085	
10 J-K	0,00479	0,02092	0,00200	0,00086	0,0029	0,0001	0,0028	
11 K-L	0,01666	0,06684	0,00591	0,00183	0,0094	0,0003	0,0092	
12 L-M	0,01457	0,00464	0,00860	0,00148	0,0021	0,0005	0,0016	
Induceret spænding ved 1 A							0,0596	V

Tabel 5 Beregnet induceret spænding for prøvestrækningen

Ved målingen var det muligt at injicere en 50 Hz strøm på 41,6 A i en af N120's ledere hvilket gav en målt strøm på 0,9 V i Bane Danmarks anlæg.

Dette resultat var bedre end det konservativt beregnede, hvilket leder til en afklaring af årsagen. Ved anvendelse af den nedre reduktionsfaktor 0,5 giver den beregnede værdi en induceret spænding på 1,2 V (se Tabel 6), hvilket stadig er

Nærføring mellem banen Nykøbing F-Rødby og

132 kV kabelanlægget Radsted-Rødsand 2

større end den målte spænding på 0,9 V. Reduktionsfaktorens formindskelse er en kombination af flere faktorer, og skal ligeledes kombineres med at en eventuel civilisationsfaktor er mindre end 1 som antaget i beregningen.

$ Z_g $ *Skærmfaktor =	0,0596 Ohm
Fejlstrøm	0,0416 kA
Induceret spænding	2 V
Reduktionfaktor *)	0,5
Måltstrækning aktiv	1
Spænding Bane DK	1,2 V

^{*)} Reduktionsfaktor 0.5-0.7 opgivet af bane danmark

Tabel 6 Beregnet induceret spænding ved måleopstillingen

Yderligere faktorer, der reducerer den inducerede spænding, er at den nærførte strækning krydser en 50 kV luftlinje, ligesom 10 kV kabler ikke er medtaget. Jernbaneskiner kan ligeledes have en skærmende effekt som kan være større end reduktionsfaktoren angiver. På en strækning på 1,4 km var de ekstra skærmmkabler der blev lagt, 4x150 mm² AL i stedet for 2x95 mm² CU, hvilket også mindsker den inducerede spænding yderligere i forhold til anvendelse af 2x95 mm² CU hele vejen. Endelig kan resistans i jorden samt jordresistiviteten have været lavere end antaget. Alle ovennævnte faktorer forbedrer resultatet og derved marginen.

Verifikationsmålingen viser således tydeligt, at reduktionsfaktoren 0,5 kan vælges. Overføres den valgte reduktionsfaktor til hele kabelstrækningen kan den inducerede spændingen ved 11,5 kA fejlstrøm, som normalt løses af relæer/brydere indenfor 100ms, beregnes til 464 V, hvilket er pænt under den acceptable grænse på 650 V. Nærføringsproblemet er således løst med den valgte udlægning af to ekstra skærmledere.