

THOR-GI DESIGN AF HØJSPÆNDINGS- MAST

Mogens G Nielsen, Rambøll

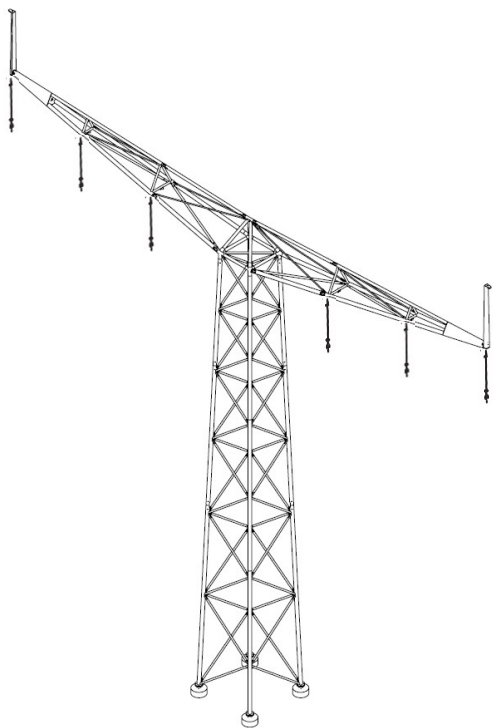


AGENDA

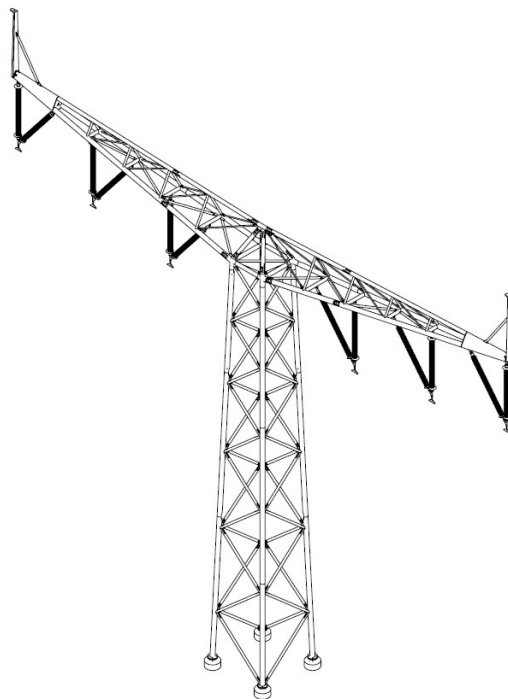
- Mastetyper
- Designforhold
- Belastninger
- Optimering af design
- Detaljer
- Fundamenter



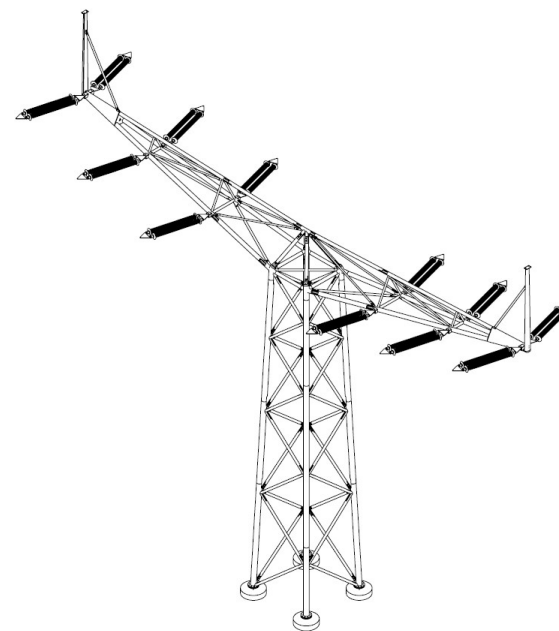
MASTETYPER



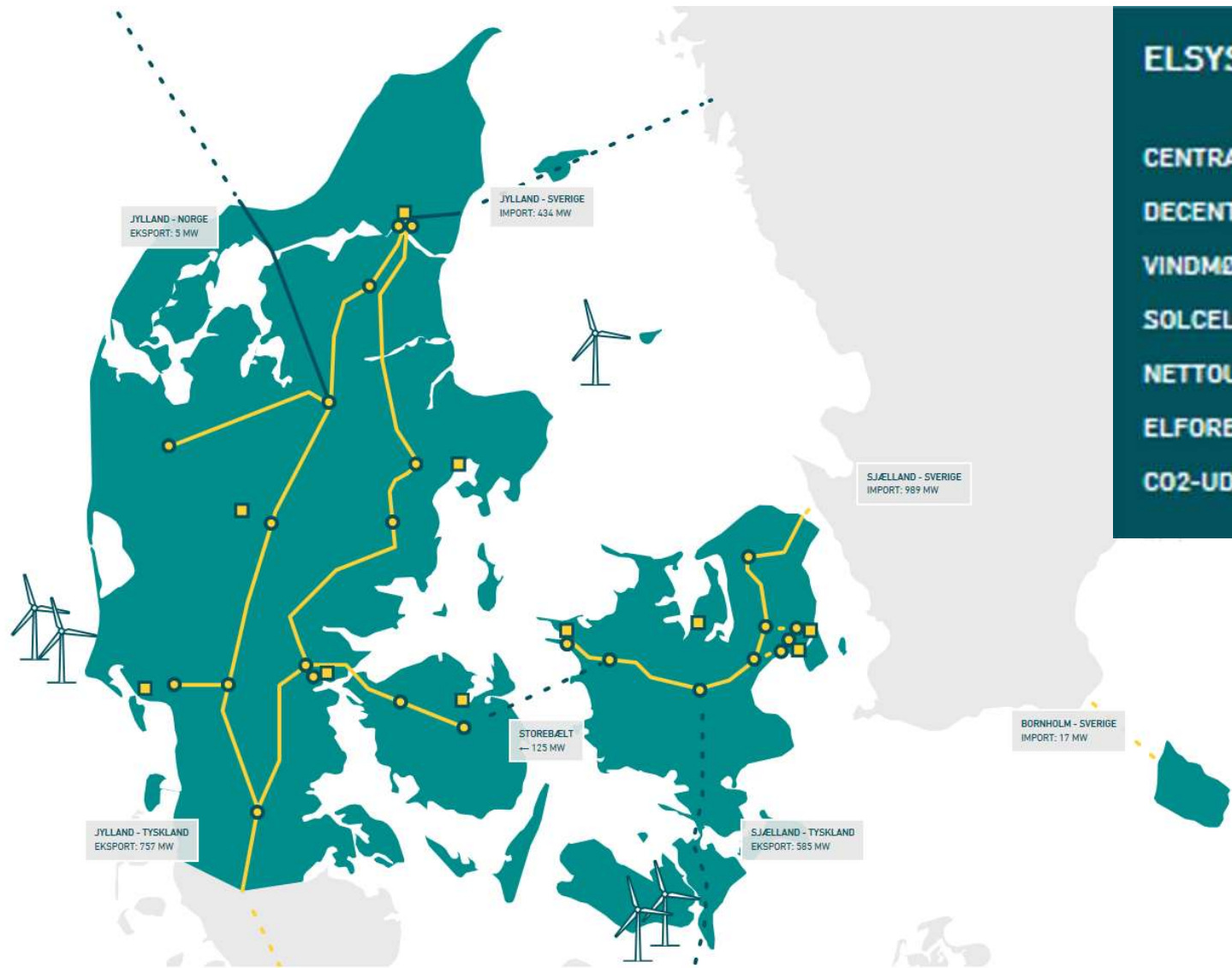
Bæremast



Gennemløbsknækmast



Afspændingsknækmast

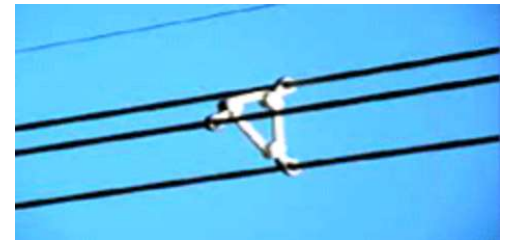


ELSYSTEMET LIGE NU

CENTRALE KRAFTVÆRKER	948 MW
DECENTRALE KRAFTVÆRKER	560 MW
VINDMØLLER	2.073 MW
SOLCELLER	0 MW
NETTOUDVEKSLING IMPORT	92 MW
ELFORBRUG	3.673 MW
CO2-UDLEDNING	144 G/KWH

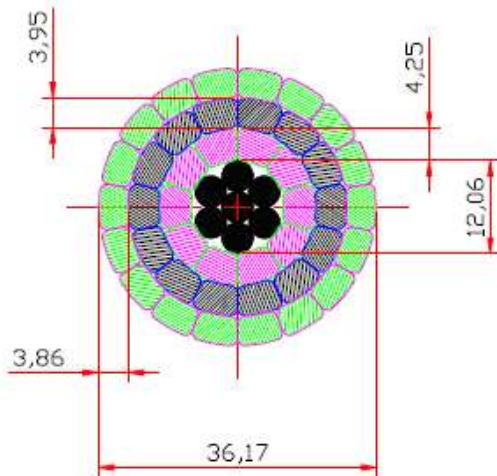
DESIGNFORHOLD – LEDERE OG JORDTRÅDE

- 2x400 kV
- Standard lederdiameter: 36,2 mm (Martin-størrelse)
- Maksimal ledertemperatur: 80° C
- Lederkonfiguration: Triplex (40 cm lederafstand)
- Faselederopsparing: 25 % af leders RTS
- Standard jordtrådsdiameter 16 mm (ACSR Dorking)
- Kapaciteten af linjen er 3,6 GW.
- Jordtråden er opspændt med en større opspænding for at opnå det samme nedhæng som faseleder (ca. 8m)



LEDERDATA

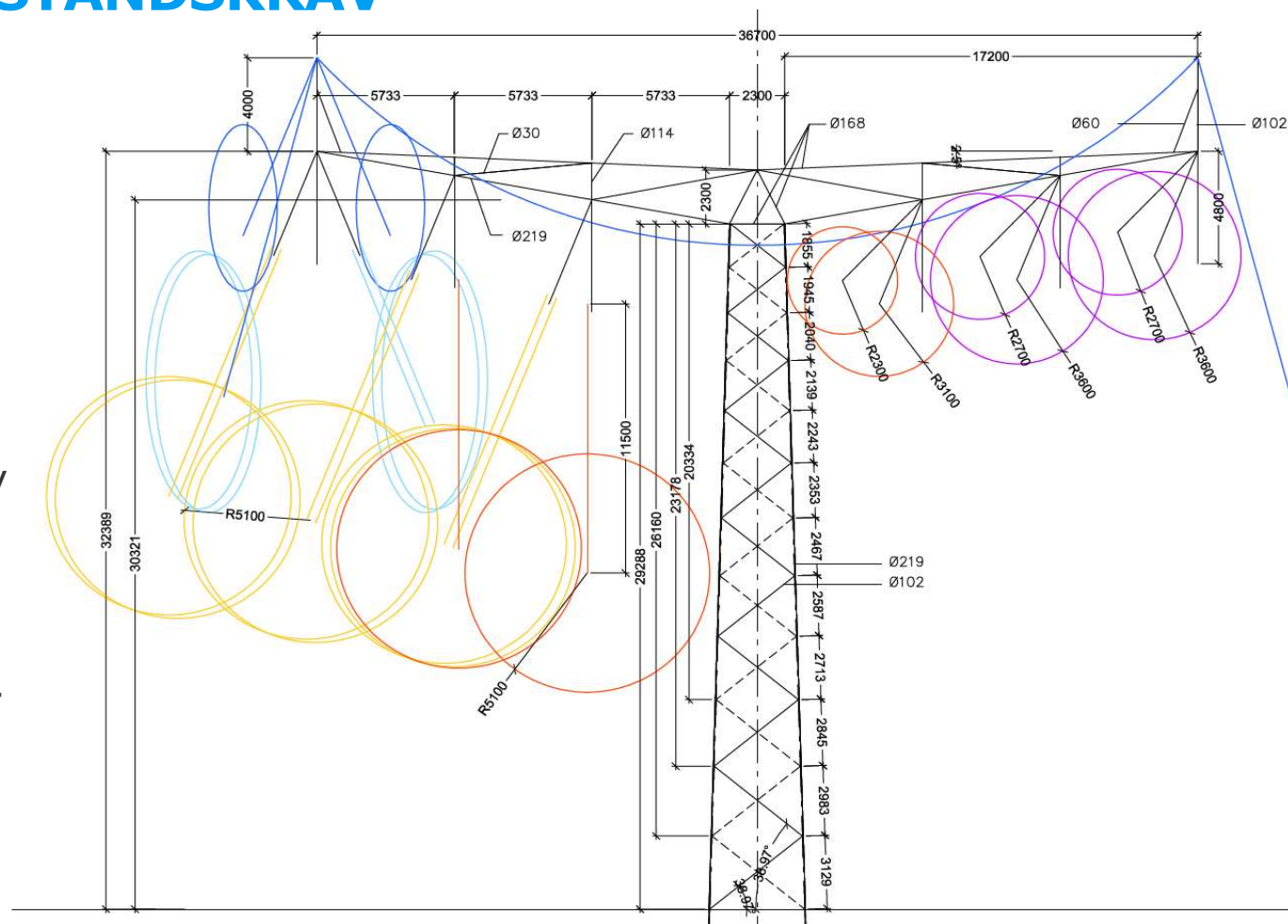
AAAC TW 925 AL7:



		Design Basis	Alternativ
		Martin	AAAC Munich 760 Lamifil
Nominal aluminium equivalent area	mm ²	772	772.3
Overall diameter	mm	36.2	32.85
Rated tensile strength of conductor	kN	211.8	195.8
Nominal mass per unit length - total	g/m	2572	2209.2
Coefficient of linear expansion below thermal kneepoint	10 ⁻⁶ K ⁻¹	19.5	19.6
Modulus of elasticity below thermal kneepoint	GPa	65	61.2
Force coefficient	-	1.0	0.8
Energinet Every Day Stress (EDS)	MPa	65	65
Rated stress = Rated tensile strength/area	MPa	274	254
Rated tensile strength/mass	kN/(N/m)=km	8.39	9.03
23% of tensile strength corresponds to EDS	%	63 MPa	58 MPa

DESIGNFORHOLD - AFSTANDSKRAV

Blå kurver: Jordtrådsdækning
Cirkler: Elektrisk afstandskrav
(Venstre midt spænd
Højre ved mast)
Ellipser: Galloping svingninger
(Uden is)



DESIGNFORHOLD – AEROELASTISKE SVINGNINGER

- Optræder ved laminær vind (uden turbulens)
- Typisk forårsaget af hvirvelafløsning omkring lederen
- Højfrekvent
- Giver anledning til udmattelse ved afspændingsisolatorerne
- Kan dæmpes med 'stockbridge' dæmpere som ofte anvendes ved afspændingsmasterne

Eksempel:

<https://www.youtube.com/watch?v=z8SGLnmJ61o>



DESIGNFORHOLD - GALLOPING

- Optræder ved en kombination af:
 - tyndt asymmetrisk islag
 - laminær og høj vind (uden turbulens)
- Primært i glat terræn
- Lav frekvens
- Ikke begrænset i amplitude
- Svært at dæmpe
- Høje vindhastigheder

Eksempel:

Galloping Basin Electric transmission lines due to wind

<https://www.youtube.com/watch?v=GEGbYRii1d4>

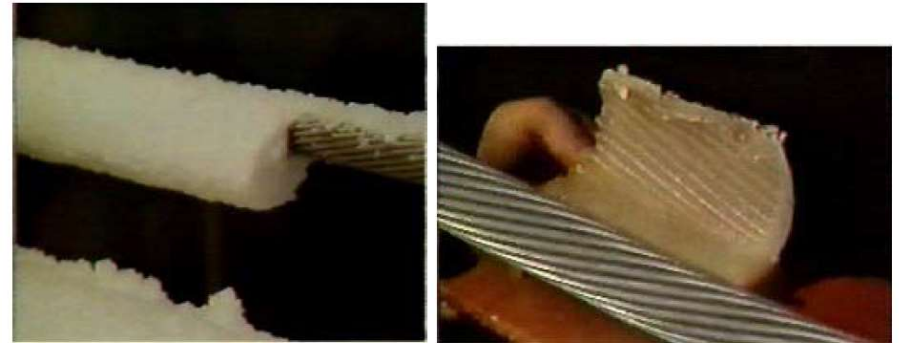
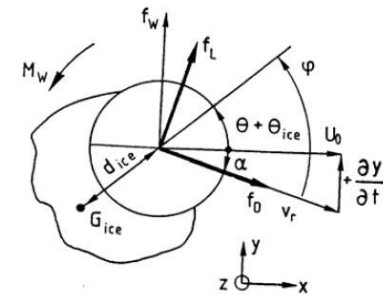


Figure 4.3: Typical ice shapes as observed on power lines, at instant close to galloping events



ICE SHEDDING

Modeling of Cable Vibration Following Ice Shedding Propagation. University of Huddersfield

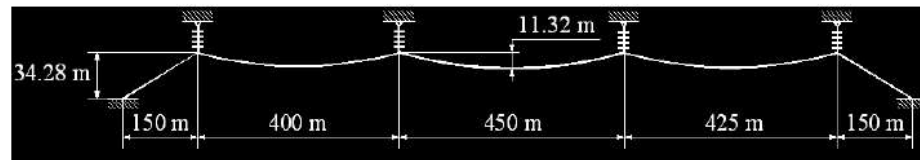
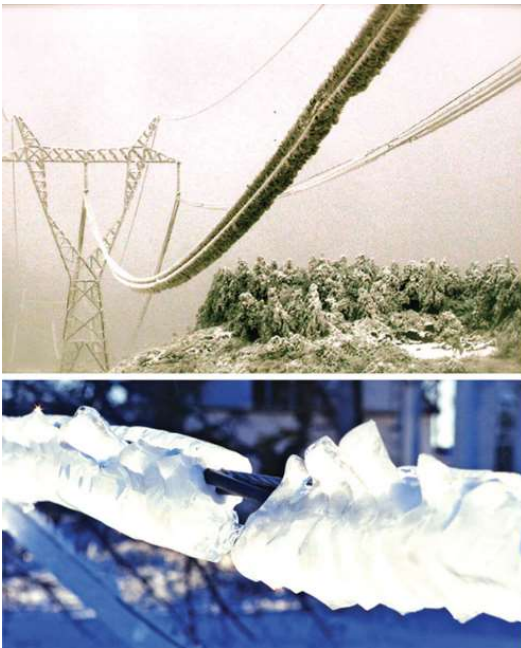


Figure 2. Sketch of numerical model of the unloaded test line (vertical dimensions are exaggerated)

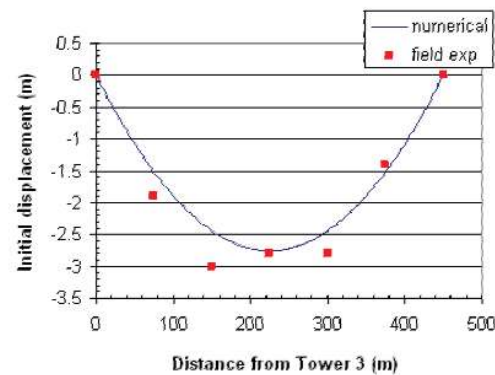


Figure 3. Cable deformation in the loaded static equilibrium

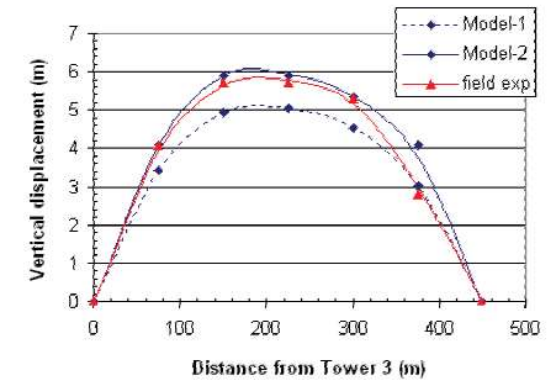


Figure 4. Cable jump during ice shedding propagation

Additional load = 0.6 kg/m

DESIGNFORHOLD – HAVARI

- 30/11 1966 væltede 167 bæremaster mellem Skærbæk og Esbjerg som følge af en kombination af is og vind. De væltede som dominobrikker på 10 min.
- Siden er masterne dimensioneret for havari

HONOPOL ROUGE
den med lyen, Magnusflaske,
Kr. 18,85
SKJOLD BØRNE
AL-53416 ADVISER NØRHESTE FORHANDLER
Tlf. 11 85 11 døgnet rundt — Oplysningen 14 40 88 hverdage kl. 14–21

POLITIKEN
KØBENHAVN, TORSDAG 1. DECEMBER 1966

INTERVALLO SHERRY
KING SIZE kr. 22,95
SKJOLD BØRNE
AL-53416 ADVISER NØRHESTE FORHANDLER
83. årgang · Nummer 62 · Løssalg over hele landet 80 øre

Mange bilister blev overrasket, færger gav op, master knækkede **Stormen kom med 100 km's fart**



Den rygende storm var lige slem ved hav og landjord, og her ses med begge elementer som fotografisk vidne resultaterne af hærværket — til venstre en af dagens stormvæltede, svære højspændingsmaster i et sne-tilfældigt landskab i Vejrup mellem Kolding og Esbjerg. Og til højre Helsingør-færge "Svea" i kamp med at slippe ud forbi dækmolen i Helsingør, straks mødt af svær sø og rogvand, mens kajenlæg oversvømmes og fredelige befordringsmidler gjordes til vandcykler.

Stærkstrøm på landeveje **DSB-færger hårdt ramt**

MED en fart af 100 km i timen gav søndenstormen med novembers udgang efteråret en afskedssalut, der som et hærværk delvis afbrød forbindelsen mellem landsdelene, stoppede lufttrafikken og nedlagde talrige telefon- og højspændingsmaster. I flugten rev vejret, der i byerne nåede orkanagtig styrke, sne og slud med sig, så mange steder al landevejstrafik måtte standse og advarsler mod udkørsel rundspreddes.

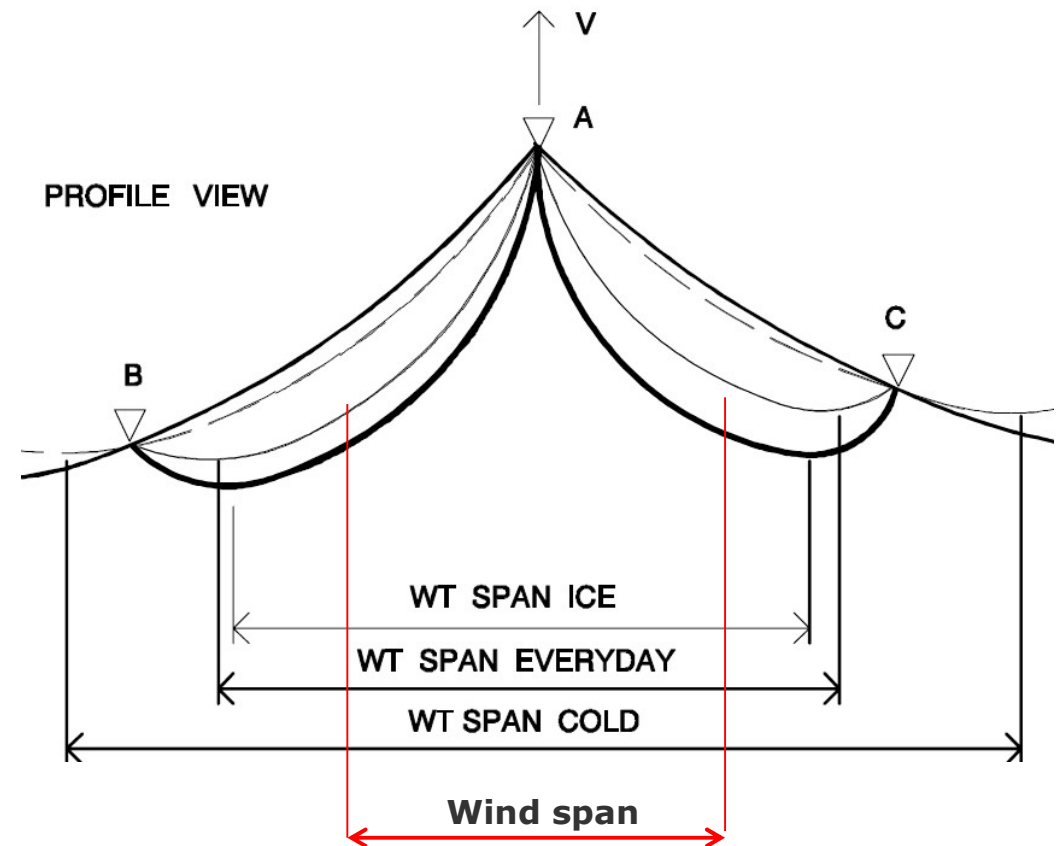


Barometret røg i går i gulvet Minus 30 grader fem km over os

Det harer til sjældenhedene, at en vejrdvikling sker med så voldsom hast, som vi så, herte og felle det i går, og der

BELASTNINGER - LASTKOMBINATIONER

- Dimensioneres efter DS/EN 50341:2012 med dansk NNA
- 360 m vindspænd
- Max. 420 m/Min. 270 m vægtspænd
- Diameter med is:
 - Jordtråd: 16mm => 64mm
 - Fasetråd: 36mm => 87mm



BELASTNINGER - LASTKOMBINATIONER

- 1a Vindlast
- 2a Ensfordelt is på alle spænd
- 2b Uensfordelt is for max bøjning i masteplan
- 2c Uensfordelt is for max bøjning i linjeretning (dog ikke for gennemløbsmaster)
- 3 Kombineret vind og is
- 5a Lederbrud
- 5b Havari

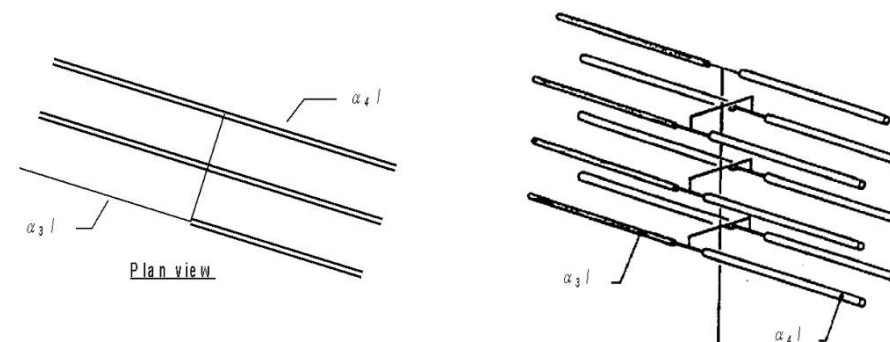


Figure 4.6—Torsional bending

Bæremaster er primært dimensioneret ud fra '1a' og '5b'

Afspændingsknækmaster er primært dimensioneret ud fra '2a', '2b' og '5b'

FAILURES OF LINES

Pictures from Cigré: "Mechanical Security of Overhead Lines, Containing Cascading Failures and Mitigating Their Effects" Oct. 2012



Figure 1-1 Longitudinal cascade on a 735 kV line in Canada during the Great Ice Storm of January 1998. (Photo: B. Breault, *La Presse*)

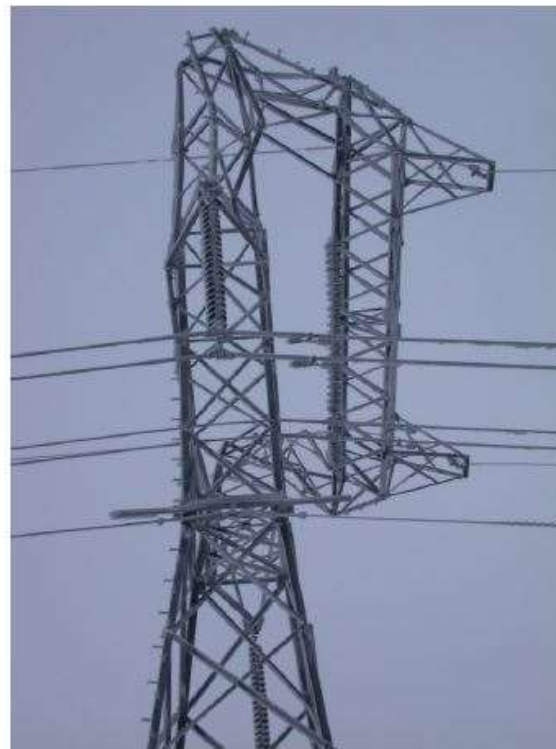


Figure 1-2 Close-up of tower top failure in a longitudinal cascade on 11 supports of a 500 kV line in Oregon (USA). (Photo: L. Kempner, Jr.)



Figure 1-3 Transverse cascade on the 400 kV D/C Rubí-Vandellós-Pierola line in Spain during a 2008 HIW storm. (Photo: J. Santana López)



Figure 1-4 Transverse cascade of five 400-kV towers due to a May 2006 HIW storm in Czech Republic. (Photo: P. Froněk)

OPTIMERING AF DESIGN – TRADITIONELLE HØJSPÆNDINGSMASTER

Traditionelle højspændingsmaster er lavet af vinkeljern i både diagonaler og hjørnejern.

De har et kvadratisk tværsnit og er relativt bredde.



Aarhus-Aalborg linjen, Donau type, 1x400kV og 2x132kV

OPTIMERING AF DESIGN – TELEMASTER

Telemaster er gennem tiden blevet optimeret:

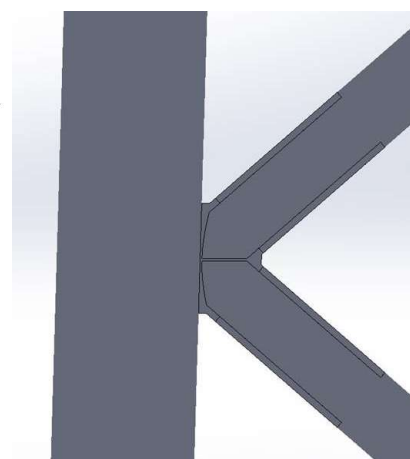
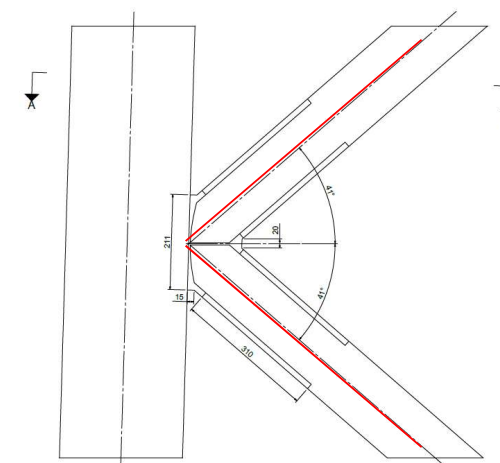
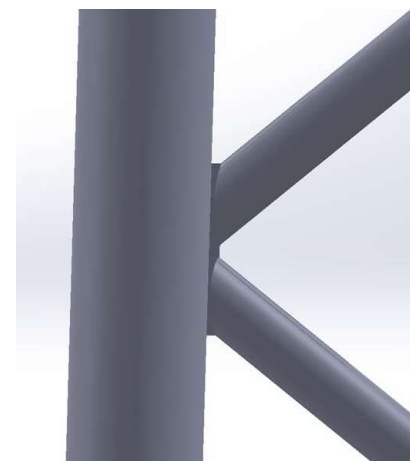
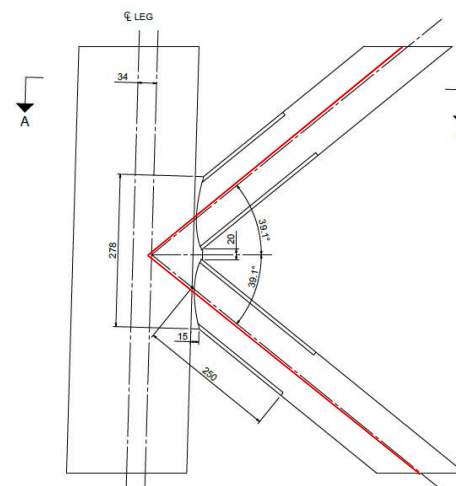
- Rør er bedre end vinkeljern, da:
 - Rør har større søjlebæreevne
 - Rør har mindre bredde
 - Rør har mindre vindmodstand
 - Rør kan fås i større dimensioner
- Flange stød er optimale i forhold til fremstilling og montage
- Diagonal stød er optimale med klemte eller svejste samlinger



Eksempel på diagonal samling optimeret ud fra produktionsomkostningerne

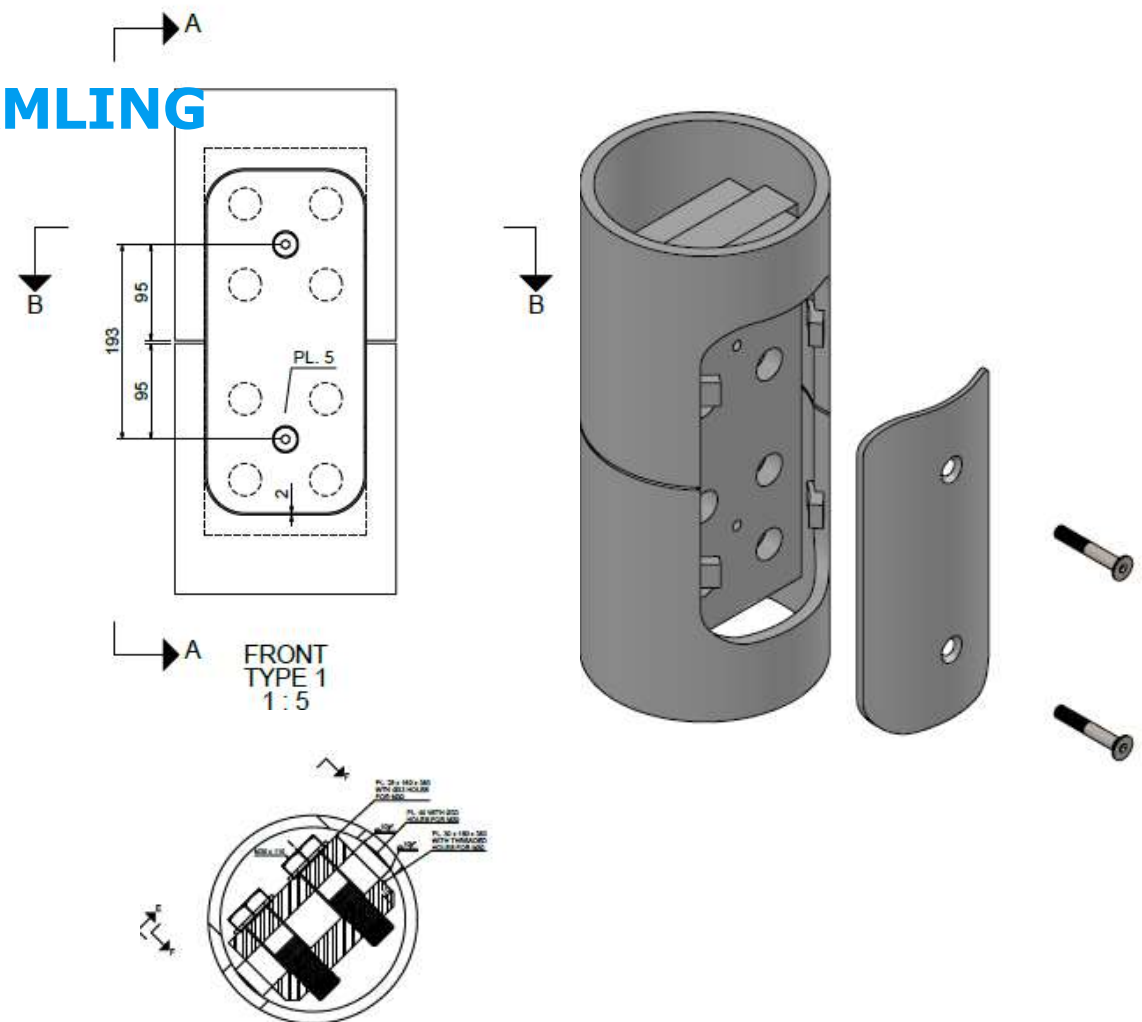
DETALJER – DIAGONALSAMLING

- Boltesamling kun synlig fra indersiden
- Samling minimeret for bæremasten – giver anledning til bøjning i hjørnejern – afhængig af skæringspunkt for centerlinjer
- Gevind i knudeplade – ingen møtrikker



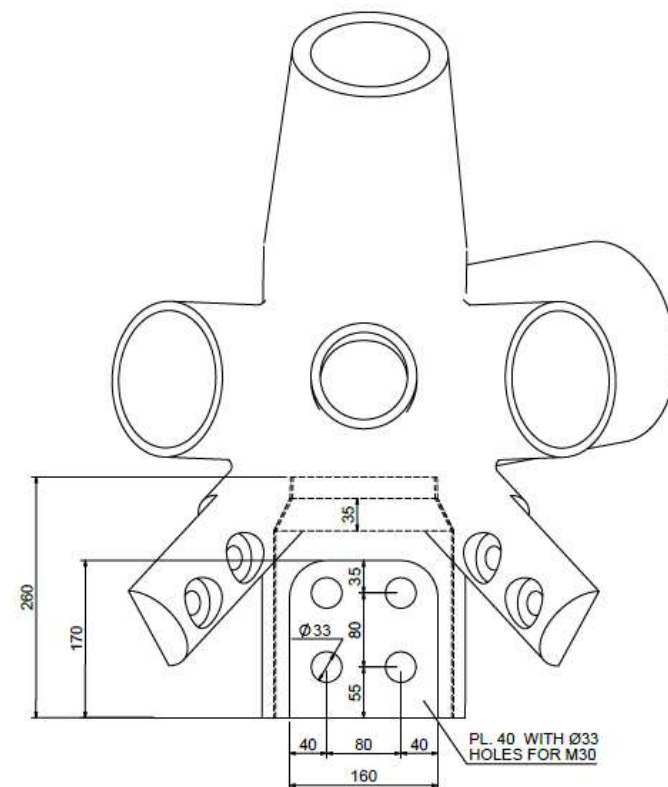
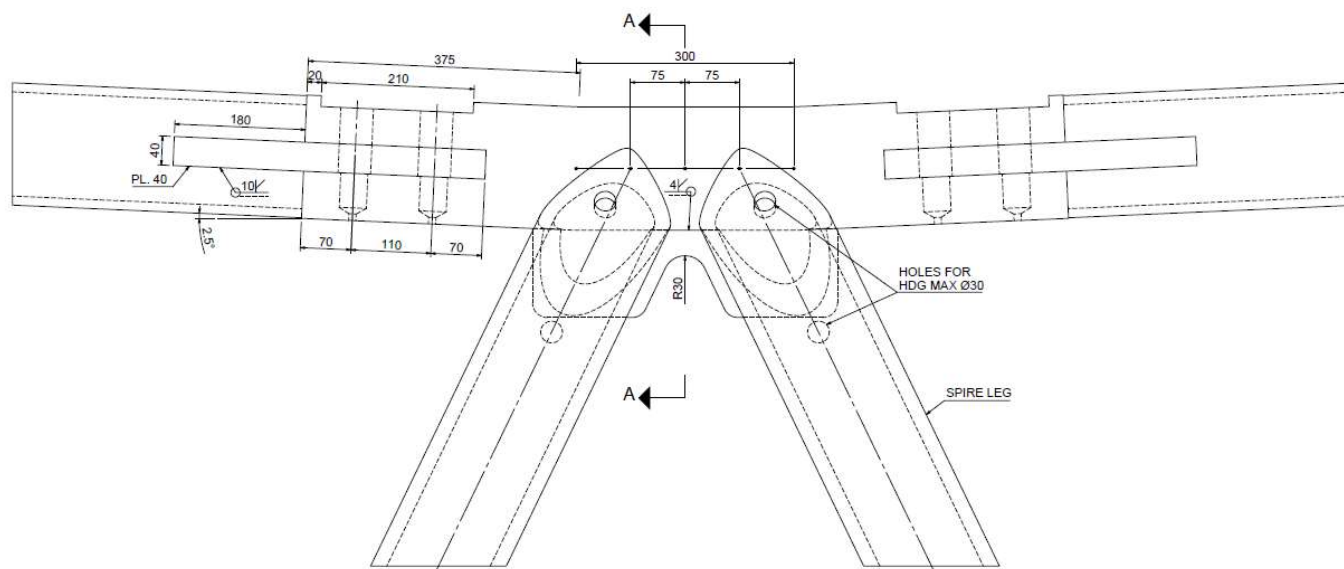
DETALJER – HJØRNEJERNSSAMLING

- Indvendig laskepladesamling
- Lukkes med kappe



DETALJER – KNUDER I TRAVERS

- Støbte og svejste knuder er anvendt



FUNDAMENTER

To løsninger

- Pladefundament
- Pladefundament med betonpæle
- Overvejer om Skruepæle kan anvendes
- Stålmonopæle ikke optimale



SPØRGSMÅL?

Brian Endahl, Dissing + Weitling

Mogens G Nielsen, Towers and Steel Structures, Ramboll

