



A-master i kompositt

Vegard Bjørnsen

Kjetil Rognlien

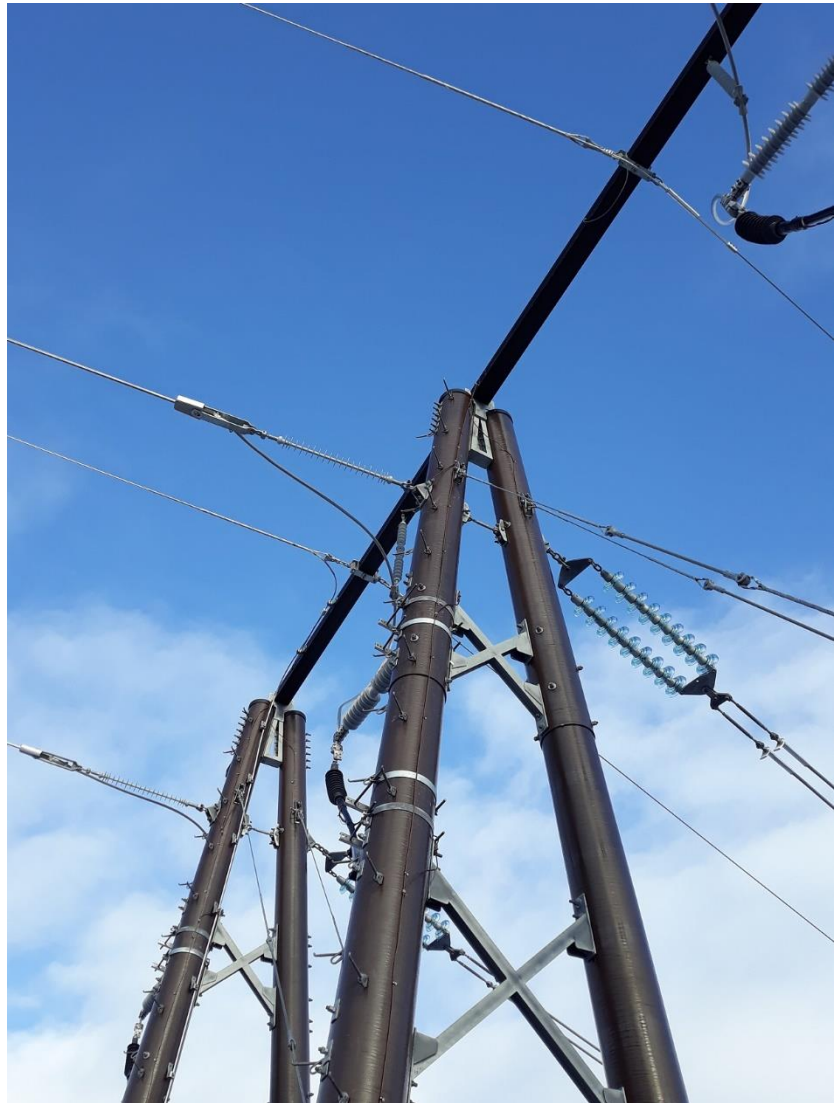
Tor Harald Hanssen



COMROD
Reaching further

Innhold

- Bakgrunn
- Design
- Installasjon
- Testoppsett
- Testresultat
- Diskusjon

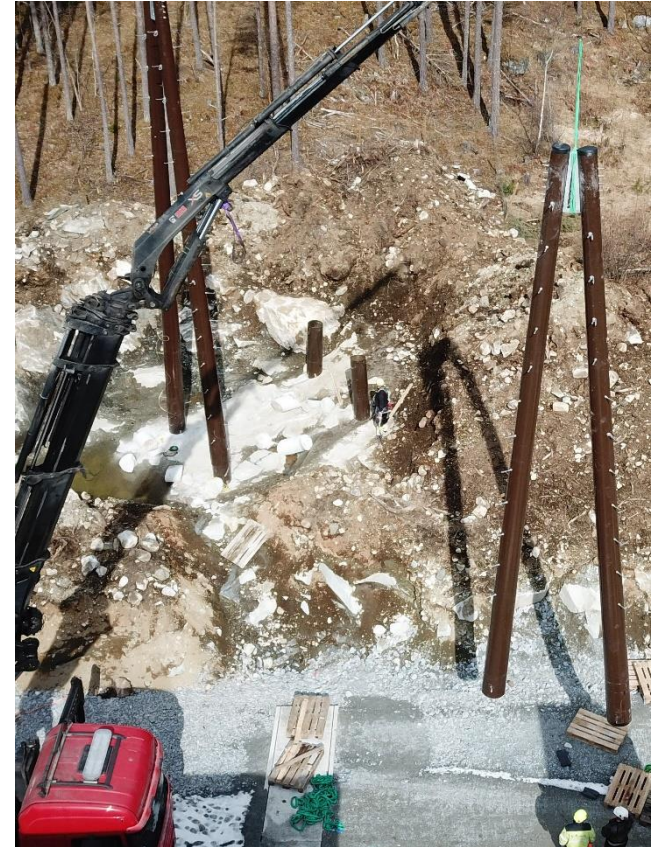


Comrod har levert A-master til flere linjeanlegg



3A-mast Sørmarkfjellet
vindpark montert på
betongfundament
Høyde: 23,8 m
Stigning mastebein: 10:1
Komposittvekt: 1560kg per A

2A-mast Kaupanger trafo
montert på slisseboret
fundament
Høyde: 13 m
Stigning mastebein: 10:1
Komposittvekt: 782kg per A
Totalvekt
med ståldetaljer: 913kg per A



BAKGRUNN

Strømnettet er viktig infrastruktur

Sikker strømforsyning er avgjørende for et moderne samfunn. I næringsliv, offentlig tjenesteyting og husholdninger regnes sikker tilgang på strøm som en selvfølge.

Nesten alle viktige samfunnsoppgaver og -funksjoner er kritisk avhengige av et velfungerende kraftsystem med pålitelig strømforsyning.

Transmisjonsnett	320kV - 420 kV (132 kV)	11 000 km
Regionalnett	33kV – 132 kV	19 000 km
Distribusjonsnett	< 22 kV	100 000 km

Det er om lag 2 millioner trestolper som etter hvert når sin tekniske levetid og må skiftes ut.

I tillegg har Telenor 860 000 egne stolper og deler 630 000 stolper med andre

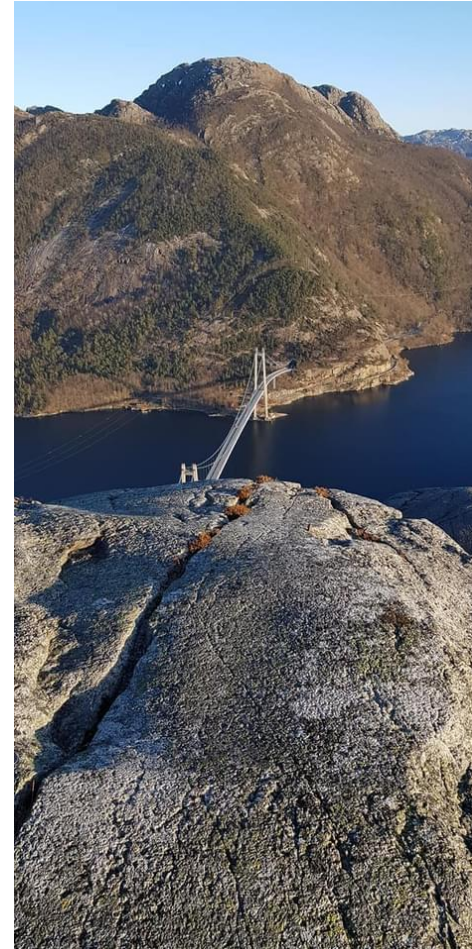


Gjeldende regelverk og retningslinjer brukt av Comrod

- For elektriske luftledninger med spenning over 1 kV gjelder normsamling NEK 445:2016 som norsk elektroteknisk norm med enkeltnormer:
 - NEK EN 50341-1:2012 Generelle krav – Fellesspesifikasjoner
 - NEK EN 50341-2-16:2016 – Felles Nasjonale Normative Forhold for Norge
- Eurokode 7: Geoteknisk prosjektering NS-EN 1997-1:2004+A1:2013+NA:2016
 - Del 1:Allmenne regler
 - Del 2:Regler basert på grunnundersøkelser og laboratorieprøver
- Veileder for bruk av Eurokode 7 til bergteknisk prosjektering V1, November 2011
- Statnett Teknisk Standard
 - Fundamentering av mastestabber på berg; Klassifisering av berggrunnen
 - Fundamentering av mastestabber på berg; Dimensjoneringsregler
- RENblad
 - RENblad Nr 2012-Ver 3.2 NOV/2013 HS Luftnett – Fundamentering og mastereis
 - RENblad Nr 2012 Ver 3.3 05/2018 Luft 1-36kV – Fundamentering og mastereis
 - RENblad Nr5012 Ver 2/2012 LS luftnett – Fundamentering og mastereis

Fundamentering på berg

- Eurocode 7 (NS-EN 1997-1:2004) Geoteknisk prosjektering setter krav til omfang av forundersøkelser.
- Klassifisering
 - Grunnvann
 - Bergart
 - Forvitring
 - Fasthet /Styrke av berg
 - Oppsprekking
 - Dokumentasjon
 - Klassifisering (bergklasse)
- Grunnforsterkning



Fundamentering på berg

Raggovidda vindpark i Båtsfjord

- Permafrost
- Dypforvitring
- Vanskelige fundamenteringsforhold
- Grunnforsterkning



Fundamentering på berg

- Klassifisering
 - Grunnvann
 - Bergart
 - Forvitring
 - Fasthet /Styrke av berg
 - Oppsprekking
 - Dokumentasjon
 - Klassifisering (bergklasse)
- Grunnforsterkning?



Statnettmast mellom Sauda og Saurdal kollapset under linjeinntrekk på grunn av dårlig fundamentering



Dobbel A-mast installert på Comrods testfelt på Nag

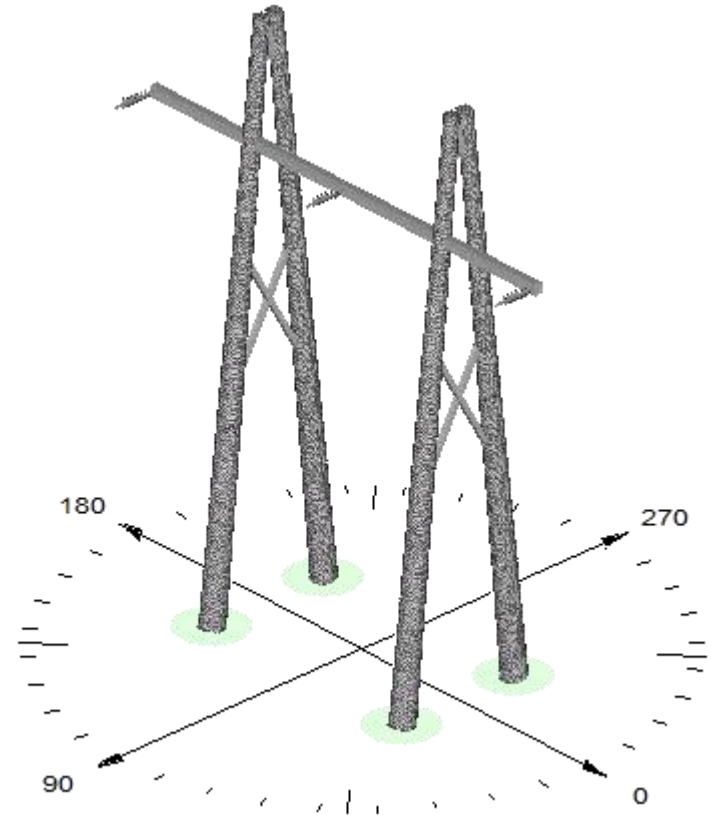


A-mast klar for testing
Slisseboret fundament
Høyde: 13 m
Stigning: 10:1

DESIGN

Design

- Endemast ved Kaupanger
- Opprinnelig planlagt som en 3A
- Endret til 2A
 - Medførte noen endringer i utstyr til stolpen
 - Reduserte pris på stolper og fundamentering
- Fundamentert på Comrod adaptere nedsatt i slissespor, dimensjon 500
- Én masteseksjon, maksimal stolpelengde 12.5 m. Forsterket laminat pga store krefter fra innfestning
- Én kryssavstivning per A
- Modellert i PLS Pole
- Maksimalt oppstrekk i bakben: 340 kN (34 tonn)
 - Max islast, våt snø

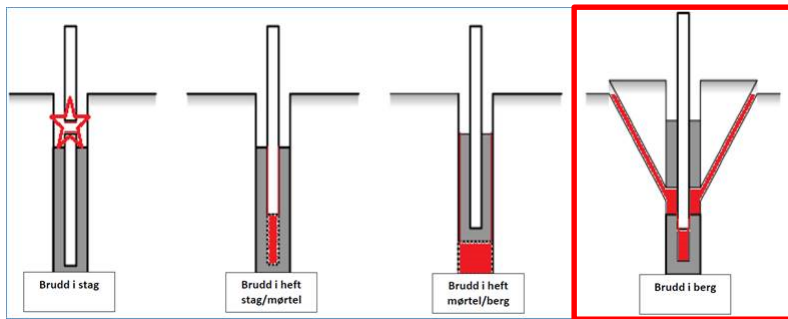


	Load Case	Joint Label	Long. Force (kN)	Tran. Force (kN)	Vert. Force (kN)	Shear Force (kN)	Tran. Moment (kN-m)	Long. Moment (kN-m)	Bending Moment (kN-m)	Vert. Moment (kN-m)
9 - Max islast, våt snø	LB:g	-41.30	-0.96	-338.01	41.31	6.32	-33.10	33.70	-36.39	
9 - Max islast, våt snø	LF:g	-58.12	0.62	340.10	58.12	-3.32	-63.53	63.62	0.36	
9 - Max islast, våt snø	RB:g	-41.31	0.94	-338.02	41.32	-6.11	-33.09	33.65	36.41	
9 - Max islast, våt snø	RF:g	-58.12	-0.70	340.11	58.12	3.65	-63.53	63.63	-0.39	

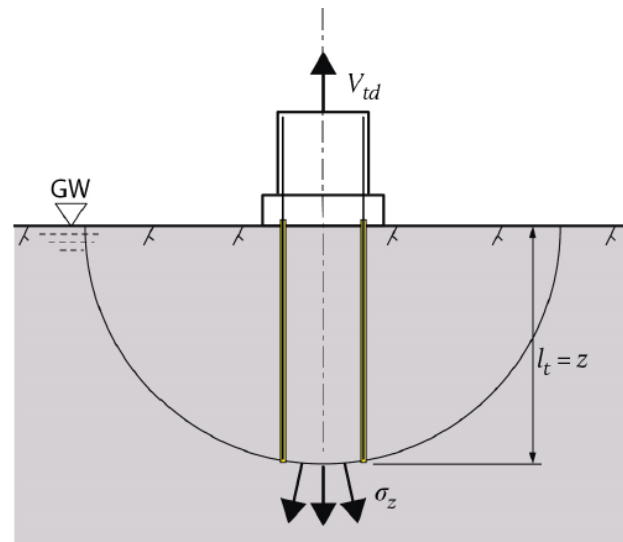
Design slisseboring

- Oppstrekk-kapasitet i bergmassen er vanskelig å beregne
- To metoder vurdert:

[1]: Statens vegvesen: *Forankringslengde i berg*

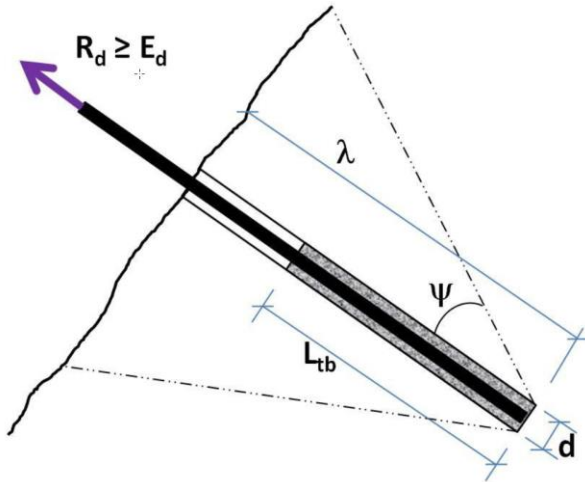


[2]: Statnett: Teknisk standard - *Fundamentering av mastestabber på berg; Dimensjoneringsregler*



Modell for beregning av strekkmotstand i massivt berg

Design slisseboring – Statens Vegvesens metode



$$F_{Rd} = \frac{\lambda^2 * \tau_k * \pi * \tan \psi}{\gamma_M * \cos \psi}$$

Beregnet oppstrekkskapasitet, R_d en funksjon av:

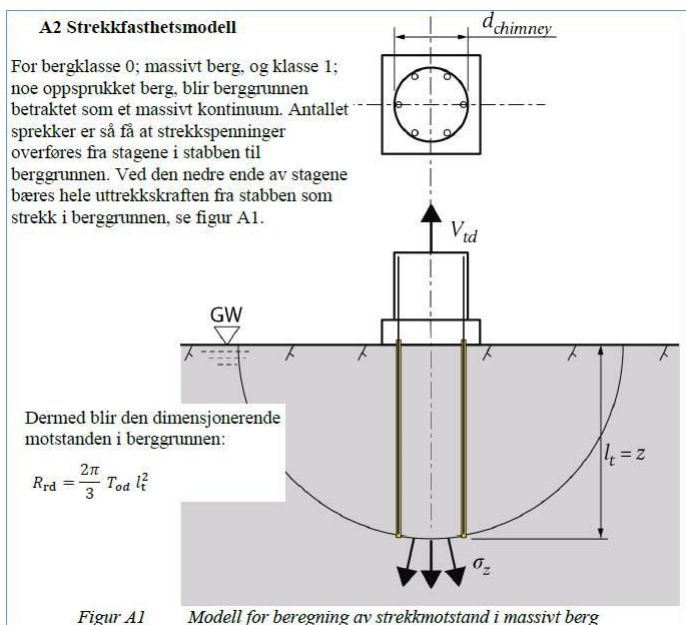
- λ : Dybde av fundament, her 1.4 m
- τ_k : Heftefasthet i bruddplan
- ψ : Bruddvinkel
- γ_M : Materialfaktor, her satt til 2.5

Kapasitet avhengig av bergklassifisering:

- Beste klassifisering: 522 kN
- Nest beste: 270 kN

Beskrivelse av bergart	Heftefasthet på bruddplan τ_k kPa	Bruddvinkel ψ°
Meget godt berg, ett sprekkese sett med sporadiske sprekker, bergmassens trykkstyrke > 50 MPa.	100 - 200	$\psi_{maks} \leq 45^\circ$
Bergmasser med to sprekkese sett og sporadiske sprekker, bergmassens trykkstyrke 15 – 50 MPa	50 - 100	$\psi_{maks} \leq 40^\circ$
Tre sprekkese sett med sporadiske sprekker, men mindre enn 20 sprekker pr. m ² , bergmassens trykkstyrke < 15 MPa.	50	$\psi_{maks} \leq 30^\circ$
Ved sterkt oppsprukket berg bør sementinjeksjon i bergmassen vurderes		

Design slisseboring – Statnetts metode



Tabell 1 Karakteristiske og dimensjonerende fasthetsparametere for berggrunnen
Table 1 Characteristic and design strength parameters of rock mass

Fasthetsparameter Strength Parameter	Bergklasse / Rock Class			
	0	1	2	3
Enaksial trykkfasthet i intakt berg, $q_{u,k}$ Unconfined compressive strength of intact rock, $q_{u,k}$ MPa	100	50	25	25
Strekkfasthet av bergmassen, $T_{0,k}$ Tensile strength of the rock mass, $T_{0,k}$ MPa	4.0	0.81	0.17	0.06
Bæreevne av berggrunnen, q_{ad} Bearing capacity of rock mass, q_{ad} MPa	71.4	16.4	5.0	3.1
Dimensjonerende strekkfasthet av bergmassen, T_{od} Design tensile strength of rock mass, T_{od}	2.0	0.40	0.085	0.03
Dimensjonerende heftfasthet i berggrunnen og i forankring berg / mørtel, f_{brd} Design bond strength in rock mass and in anchorage rock/mortar, f_{brd} MPa	1.97	1.4	1.0	0.7
Dimensjonerende heftfasthet mørtel/stag; B35, $f_{bcd}^{[1]}$ Design bond strength mortar/tendon: B35, f_{bcd} MPa	1.97	1.97	1.97	1.97

^[1] Bestemt iht. NS-EN 1992-1 for terningfasthet, $f_{ck} = 45$ MPa / According to NS-EN 1992-1 for cube strength, $f_{ck} = 45$ MPa

Beregnet oppstrekkskapasitet, R_{rd} en funksjon av:

- l_t : Dybde av fundament, her 1.4 m
- T_{od} : Strekkfasthet i bergmasse

Kapasitet avhengig av bergklassifisering:

- Bergklasse 0: 8210 kN
- Bergklasse 1: 1642 kN

Design slisseboring – Statnetts metode

Table 1 Classification of rock ground

<i>Bergklasse</i> <i>Rock class</i>	<i>Benevning</i> <i>Designation</i>	<i>Beskrivelse</i>	<i>Description</i>
0	Massivt berg Massive rock	Intakt berg eller massivt berg med noen få sprekker med stor sprekkeavstand. Sprekkeflatene er uforvitret og ru.	Intact rock or massive rock with a few widely spaced joints. The joint surfaces are unweathered and rough
1	Noe oppsprukket berg Slightly jointed rock	Bergmassen er gjennomskåret av et eller to sprekkesett. Sprekkene er godt fortannet og uforvitret. Sprekkeflatene er ru.	Rock mass intersected by one or two sets of joints. The joints are well interlocked and unweathered. Joint surfaces are rough.
2	Grovblokkig berg Blocky rock	Bergmassen er gjennomskåret av to eller tre, sprekkesett som danner kubiske blokker. Sprekkene er godt fortannet og uforvitret. Sprekkeflatene er fra ru til plane.	Rock mass intersected by two or three, sets of joint forming cubical blocks. Joints are well interlocked and unweathered. Joint surfaces are rough to planar.
3	Småblokkig berg Very blocky rock	Bergmassen er gjennomskåret av opptil tre sprekkesett. Sprekkene er noe fortannet eller litt forvitret. Sprekkene er plane eller med noe fylling av sleppemateriale.	Rock mass intersected by up to three joint sets. Joints are slightly interlocked or slightly weathered. Joints are planar or slightly filled with gauge material.
4	Oppsprukket eller nedknust berg Disturbed or disintegrated rock	Bergmassen med flere sprekkesett. Sprekkene er dårlig fortannet, gjennomsettende eller skifrige. Sprekkene kan være plane eller fylt med sleppemateriale.	Rock mass with several joint sets. Joints are poorly interlocked, persistent or schistose. Joints may be planar or filled with gauge material.

Anmerkning Uttrykket "sprekk" brukes her som en felles beskrivelse av diskontinuiteter i berg, som sprekk, stikk, skjærsone, sleppe, lagdeling, osv.



COMROD
Reaching further

2A-MAST SYGNIR, KAUPANGER

Sognekraft Kaupanger dobbel A-mast



Metodikk boring

- Vanlig utstikking av mastepunkt.
- Laser for å finne retning.
- Laser i mal for å finne forskyvning.
- Kontrollmål på diagonal bunn.
- Digitalt vater for vinkling av borene.
- Kontrollmål diagonal på bunn og topp etter at riggene er reiste og borene satt inn.
- Kontrollmåling igjen på satt fundament, mulighet for noe justeringer i slissespoet.



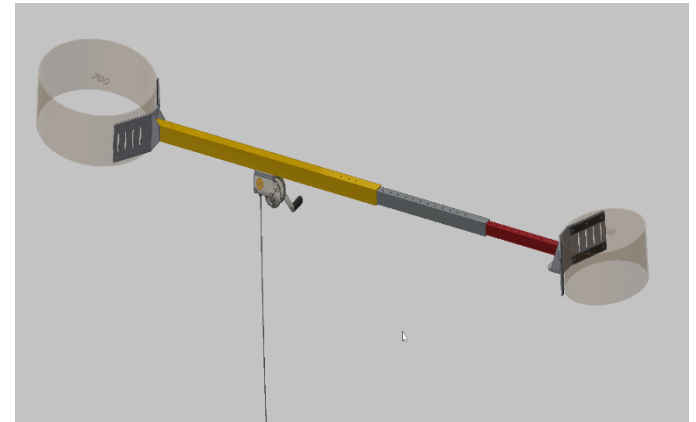
Sognekraft Kaupanger dobbel A-mast



Sognekraft Kaupanger dobbel A-mast - Montering



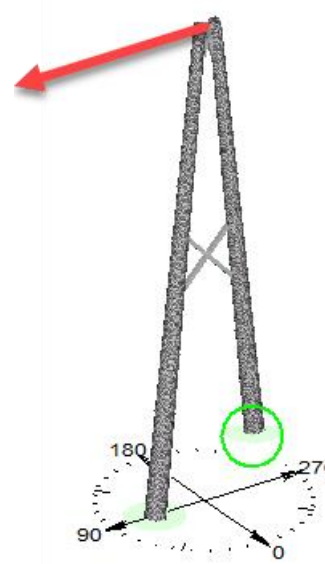
- Mast monteres sammen i toppen liggende på bakken.
- Mastene dras sammen ved hjelp av en jigg for å få den avstanden som trengs imellom for å skli ned på adapterene.
- Når mastene er kommet et lite stykke ned på adapterene frigjøres denne jiggen så mastene kan skli fritt ned.



TEST AV 2A-MAST

Fullskala test

- Testet på enkel A-mast, bardunert sideveis for støtte
- A-mast står i skrått terreng
- Lengde fremben som i Kaupanger
- Modellert og beregnet i PLS Pole for å finne nødvendig strekk for tilsvarende oppløft
- Tilsvarende strekk ved 87 kN strekk i toppen
 - Hver testlast med 10 kN inkrement



Summary of Joint Support Reactions For All Load Cases:

Load Case	Joint Label	Long. Force (kN)	Tran. Force (kN)	Vert. Force (kN)	Shear Force (kN)	Tran. Moment (kN-m)	Long. Moment (kN-m)	Bending Moment (kN-m)	Vert. Moment (kN-m)	Found. Usage %
Testlast 1	LB:g	-4.97	-0.02	-42.34	4.97	0.09	-2.94	2.94	0.01	0.00
Testlast 1	LF:g	-5.07	-0.02	37.09	5.07	0.09	-3.97	3.97	-0.01	0.00
Testlast 2	LB:g	-9.68	-0.02	-81.82	9.68	0.09	-5.90	5.90	0.01	0.00
Testlast 2	LF:g	-10.36	-0.02	76.58	10.36	0.10	-7.91	7.91	-0.01	0.00
Testlast 3	LB:g	-14.36	-0.01	-121.29	14.36	0.08	-9.83	9.83	0.01	0.00
Testlast 3	LF:g	-15.68	-0.02	116.05	15.68	0.10	-11.85	11.85	-0.01	0.00
Testlast 4	LB:g	-19.00	-0.01	-160.75	19.00	0.08	-11.75	11.75	0.01	0.00
Testlast 4	LF:g	-21.03	-0.02	155.51	21.03	0.10	-15.81	15.81	-0.01	0.00
Testlast 5	LB:g	-23.62	-0.01	-200.19	23.62	0.08	-14.64	14.64	0.01	0.00
Testlast 5	LF:g	-26.42	-0.02	194.95	26.42	0.10	-19.77	19.77	-0.01	0.00
Testlast 6	LB:g	-28.20	-0.01	-239.62	28.20	0.08	-17.51	17.51	0.01	0.00
Testlast 6	LF:g	-31.84	-0.02	234.38	31.84	0.10	-23.74	23.74	-0.01	0.00
Testlast 7	LB:g	-32.74	-0.01	-279.03	32.74	0.07	-20.36	20.36	0.01	0.00
Testlast 7	LF:g	-37.29	-0.03	273.79	37.29	0.10	-27.71	27.71	-0.01	0.00
Testlast 8	LB:g	-37.26	-0.01	-318.43	37.26	0.07	-23.19	23.19	0.01	0.00
Testlast 8	LF:g	-42.78	-0.03	313.19	42.78	0.10	-31.70	31.70	-0.01	0.00
Testlast 9	LB:g	-41.74	-0.01	-357.82	41.74	0.07	-25.99	25.99	0.01	0.00
Testlast 9	LF:g	-48.30	-0.03	352.57	48.30	0.11	-35.69	35.69	-0.01	0.00
Testlast 10	LB:g	-46.19	-0.01	-397.19	46.19	0.06	-28.78	28.78	0.01	0.00
Testlast 10	LF:g	-53.85	-0.03	391.94	53.85	0.11	-39.70	39.70	-0.01	0.00

Testresultat

- Brudd ved 12 tonn strekk, tilsvarende 464 kN oppstrekk i bakbenet
- Bruddet kom rett over innfestningen av krysset
- Ingen synlige tegn til brudd/sprekkdannelser i berget
- Boreddybde på test-mast var 1.0 m

Testresultat

Før strekktest



Umiddelbart etter brudd



A-mast på fundament eller i berg både for Regional- og Lokalnnett



3A-mast på
fundamenter
Sørmarkfjellet

2A-mast
montert på fjell
i Kaupanger



Takk for oppmerksomheten!

Vegard Bjørnsen vbj@comrod.com

Tor Harald Hanssen thh@comrod.com

Kjetil Rognlien kr@comrod.com