

Fundamentering av kraftmaster - historie, utfordringer og testing

Dr. Ing. Tor Harald Hanssen



Katrine Mo , Stability Analysis of Preikestolen, MSc 2018

Figure 4.7: Five locations at Preikestolen were used to measure the point density of the point clouds. The point distance was measured for all the point clouds, using the point to point tool in CloudCompare. The locations were chosen to get a relatively even distribution of the measurements, with the main focus of the top plateau and lateral surfaces of Preikestolen.

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.

Transmisjonsnettet	320kV - 420 kV (132 kV)	11 000 km
Regionalnettet	33kV – 132 kV	19 000 km
Distribusjonsnettet	< 22 kV	100 000 km

Det er om lag 2 millioner trestolper i dag.
Telenor har 860 000 egne stolper
og deler 630 000 stolper med andre



Gjeldende regelverk

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

RENblad Nr 2012-Ver 3.2 NOV/2013 HS Luftnett – Fundamentering og masteries *)

RENblad Nr 2012 Ver 3.3 05/2018 Luft 1-36kV – Fundamentering og mastereis

RENblad Nr5012 Ver 2/2012 LS luftnett – Fundamentering og mastereis

*) REN - REN AS tidligere Rasjonell Elektrisk Nettvirksomhet eies av 61 Nettselskap og her126 nettselskap som medlemmer/kunder altså alle nettselskaper. Og arbeider med standardisering / bransjeretningslinjer for bransjen.

Gjeldende regelverk

I henhold til NEK 445:2016:

Mastefundamenter skal anses som fundamenter av **geoteknisk kategori 1 eller 2** (jf. Avsnitt 2.1 i EN1997-1:2004)

Mastefundamenter for ledninger som ikke overskrider AC 45 kV, kan betraktes som fundamenter av geoteknisk kategori 1 mens mastefundamenter for ledninger som overskrider AC 45 kV, bør betraktes som fundamenter av geoteknisk kategori 2.

NEK 445:2016 – 225 – NEK EN 50341-1:2012 © NEK

Tabell M.3 - Mekaniske egenskaper til en del vanlige bergarter
(Definisjoner som gitt i avsnitt M.1.2 og M.1.3)

Bergart	R _c MN/m ²	R _t MN/m ²	E MN/m ²
Granitt-Gneiss- Basalt	100 - 200	4 - 10	20 000 - 70 000
Leire - skifer	15 - 100	0 - 10	7 000 - 50 000
Kalkstein, kompakt	50 - 100	5 - 7	30 000 - 60 000
Kalkstein, bløt	10 - 20	1 - 3	4 000 - 20 000
Kalkblandet leirjord (mergel), ikke omdannet	10 - 20	1 - 2	200 - 1 000
Sandstein	10 - 100	1 - 6	10 000 - 40 000
Molasse	2 - 10	0,2 - 1	1 500 - 5 000
Gips	3 - 10	0,3 - 1	2 000 - 5 000

MERKNAD 1 Poissons koeffisient μ ligger vanligvis mellom 0,25 og 0,35.

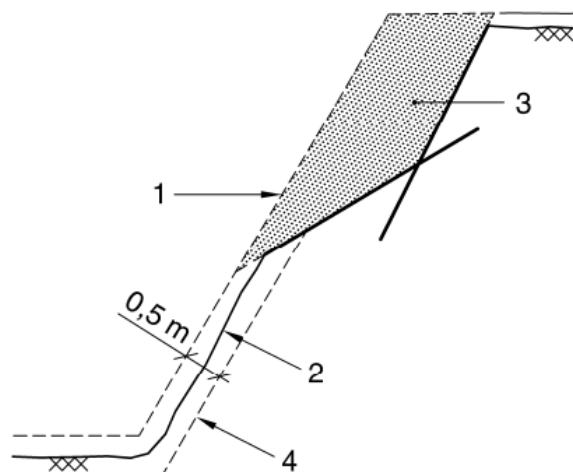
MERKNAD 2 Den indre friksjonsvinkelen ϕ^* ligger vanligvis mellom 35° og 45° og avhenger sterkt av vinkelen og retningen på sprekkdannelsen.

Standard Norge 2009-06-03

Eurokode 7 og ingeniørgeologen



- Eurokode 7 gjelder ved all prosjektering
 - Skråningsstabilitet
 - Tunneler
 - Fundamentering
 - Forankring
- Angir krav til kontroll, beregning og rapportering



Standard Norge 2009-06-03

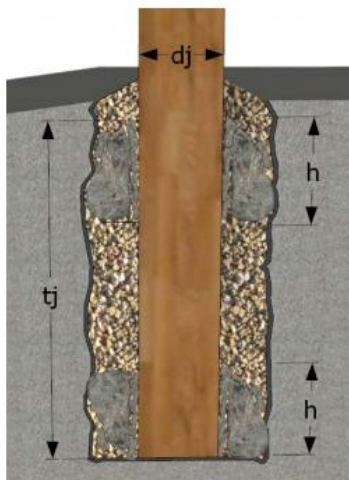
Eurokode 7 og ingeniørgeologen



- Felles prosjekteringsregler for hele Europa
 - Fordel å kjenne systemet ved arbeid i andre europeiske land
- Norske oppdragsgivere kan kreve bruk av standarden
- Hopp i det
 - Bruk den
 - Diskuter den med kolleger



REN fundament på fjell 1 – 36kV basert på praktisk erfaring over 100 år



Figur 7 - RT2801 - Stolpefundament - fjellgrop i fjell

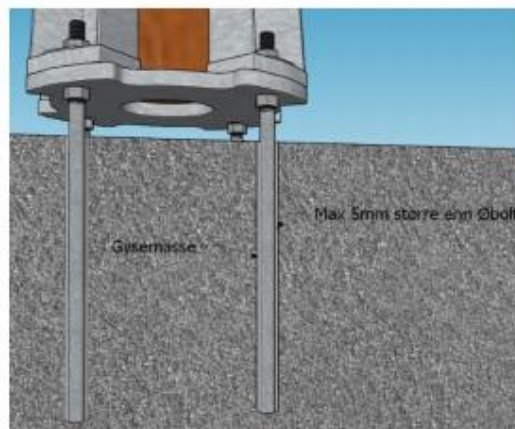


Figur 22 - RT0413 - Montering av stolpestag

Tabell 11 viser min. gropdybden.

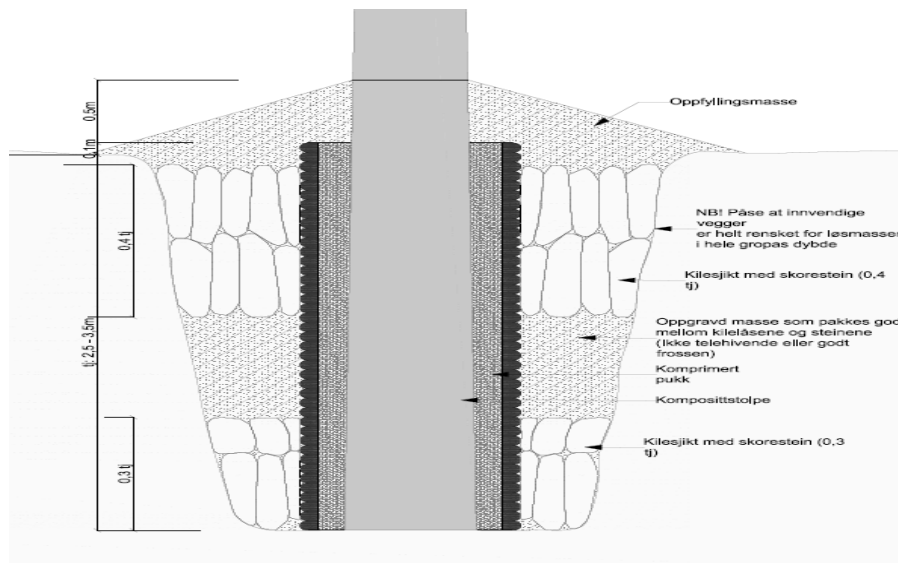
Jordbåndsdiameter "dj" i cm	Gropdybde "tj" i m	Kilesjikt "h" i m
18	0,9	0,25
20	0,9	0,25
22	0,9	0,25
24	1	0,25
26	1,1	0,35
28	1,2	0,35
30	1,3	0,35
32	1,4	0,35
34	1,5	0,35
36	1,6	0,35
38	1,7	0,35
40	1,8	0,35

Tabell 11



Figur 31 - RT11409.3 - Fjellfundament

Tradisjonell vs Slisseboring



Tradisjonell metode, kort beskrivelse:

Tradisjonelt utføres fundamentering av komposittstolper i fjell ved å sprengte et hull med 2-3 meters dybde, hvorpå det deretter settes ned et korrugert plastrør med typisk diameter 600-1000mm som kiles fast med stedlig sprengstein. Komposittstolpe settes til slutt ned i plastrøret og det fylles singel i åpning mellom plastrør og stolpe for å låse stolpe fast.

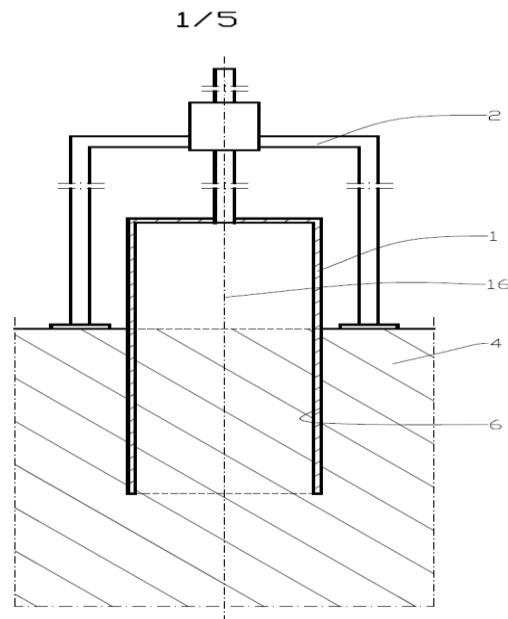


Fig. 1

Ny metode, kort beskrivelse «Comrod metoden»:

Alternativ fundamenteringsmetode i fjell gjennomføres uten bruk av sprenging. Enkelt forklart løses dette ved bore en slisse i fjellet ved hjelp av en stor «hull-kopp» montert på en nyutviklet boremaskin. Komposittfundament kan deretter settes ned i slissen og blir normalt gysert fast i fjellet.

- Core drilling concept
- Less impact on landscape
- Cost-effective
- More efficient assembly
- Environmentally friendly



Statnettmast mellom Sauda og Saurdal kollapset under linjeinntrekk

BRUDD I KRAFTLINJEMAST

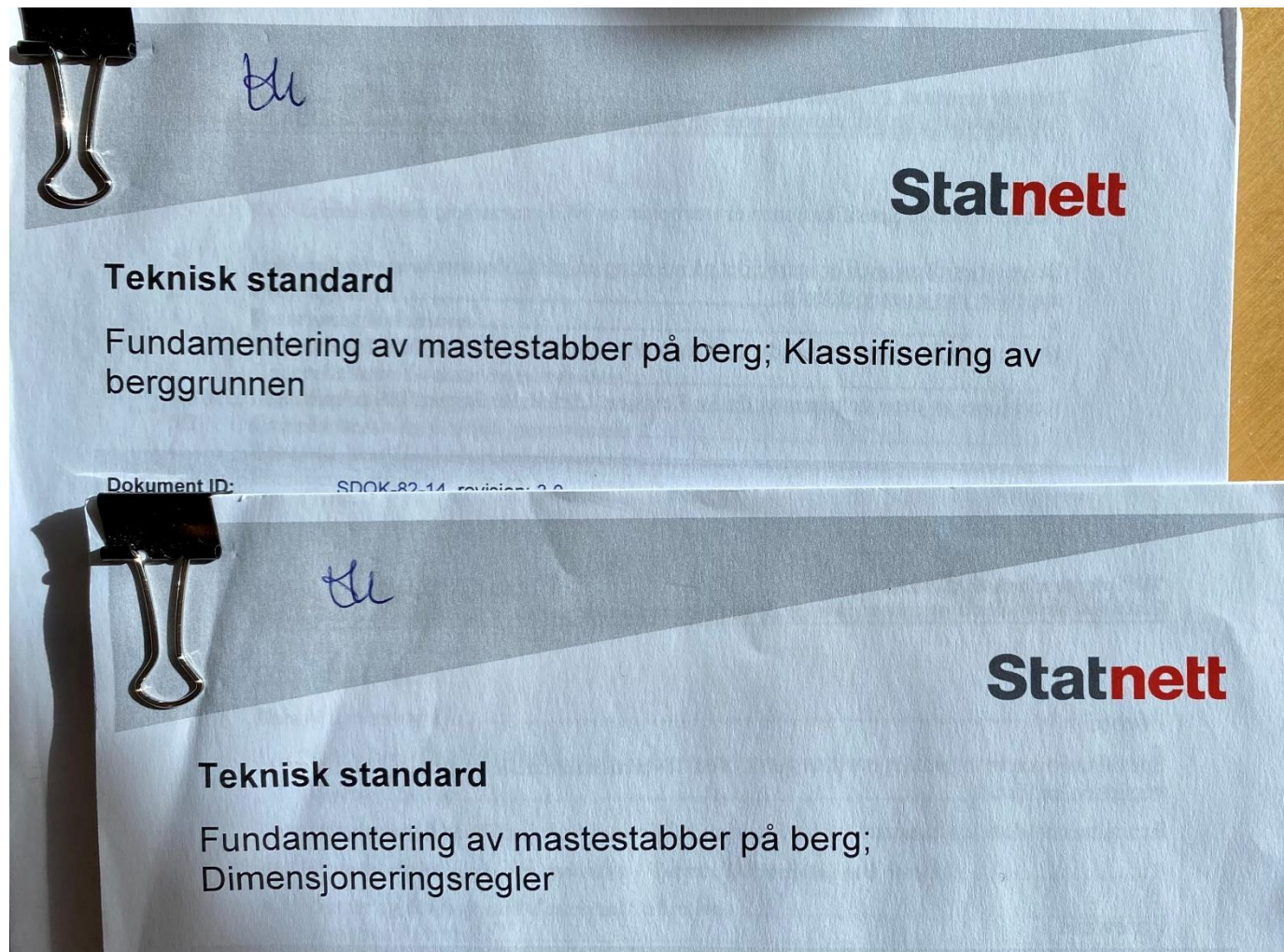


Tower 42 Sauda - Liastøl

Overbelastning eller skjevbelastning av kraftlinjemast Statnett Sauda Saurdal, Tore Valstad, NGI



Statnett som linjeeier for transmisjonsnettet har utarbeidet teknisk standard basert på bergmekaniske prinsipper.
«Spesifikasjonen skal brukes av konsulenter og entreprenører»



Dobbel A-mast installert på Comrods testfelt



A-mast klar for testing
Slisseboret fundament
Høyde: 13 m
Fundamentdybde 1m
Stigning: 10:1
Fyllitt
 $\sigma_c = 45MPa$

Sognekraft Kaupanger inntaksmast

13 m dobbel A-mast

Prosjektert som trippel, men på grunn av sterk og lite oppsprukket anortositt kunne den bygges som dobbel.



Sognekraft Kaupanger dobbel A-mast



Sognekraft Kaupanger dobbel A-mast - Montering



Bilder fra Tonstad Vindpark

Befaring med Comrod



Lite inngrep i naturen annet enn stolpene. Her er fundamentdelen satt ned og klar for å påmonteres mast. Den største masta her hadde diameter på 90 cm.



Test av 450 mm stolper testområde Nag



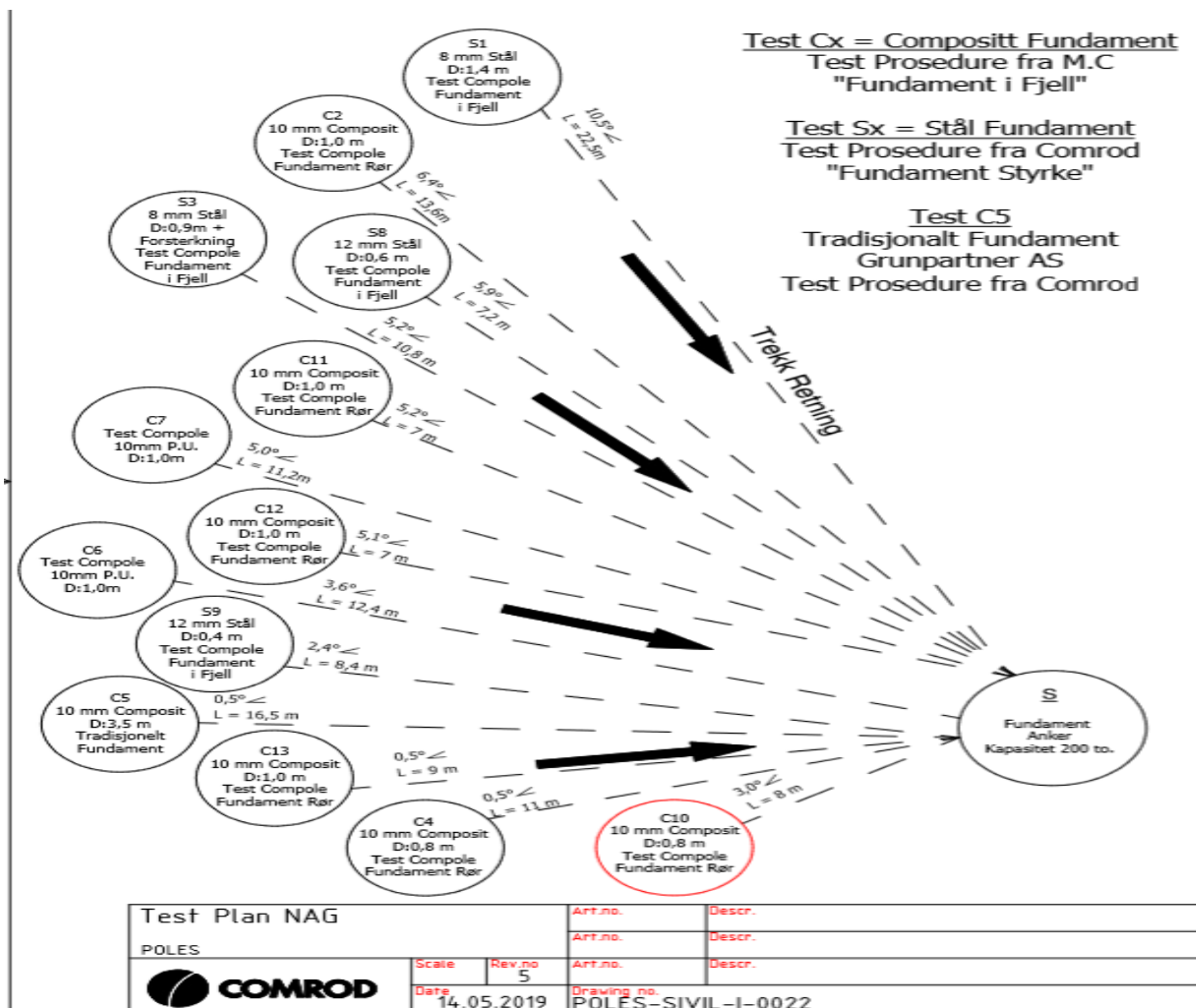
Fyllitt fra testfelt



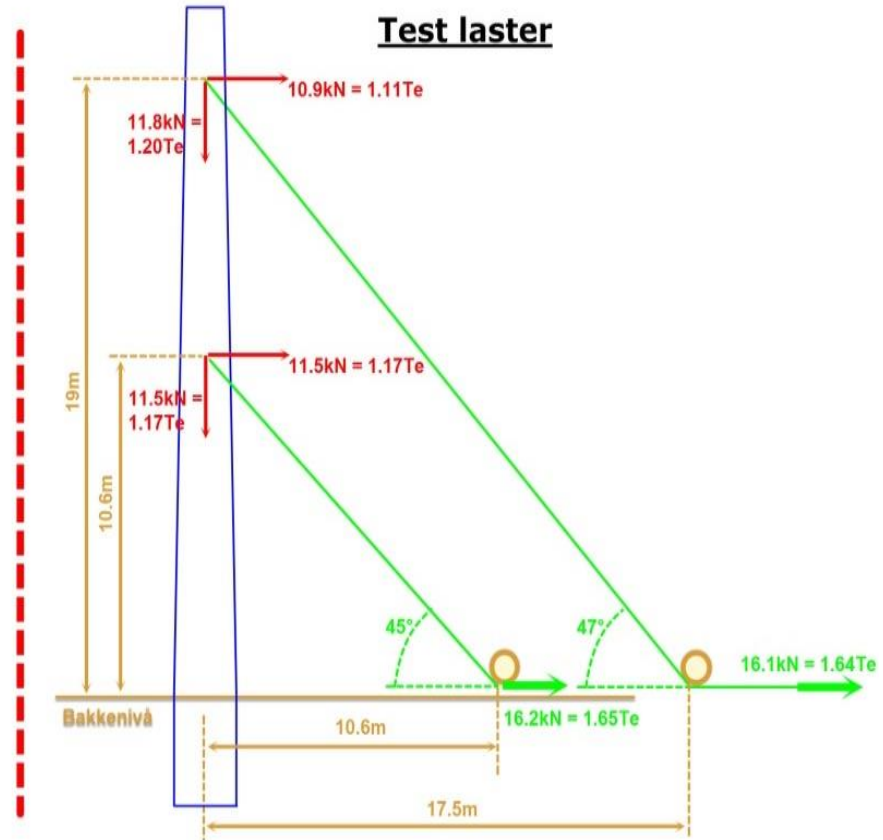
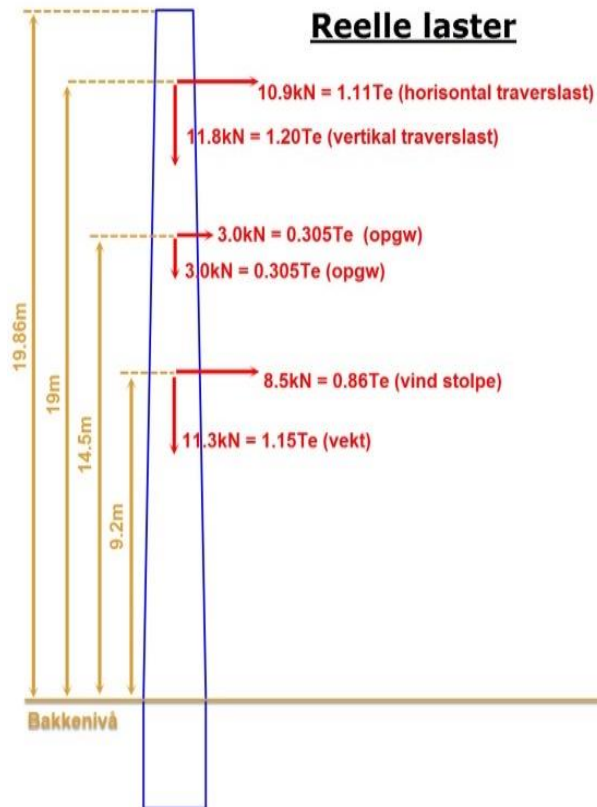
Gysemasse fra mastefundamentalslisse I fyllitt på testfelt Nag



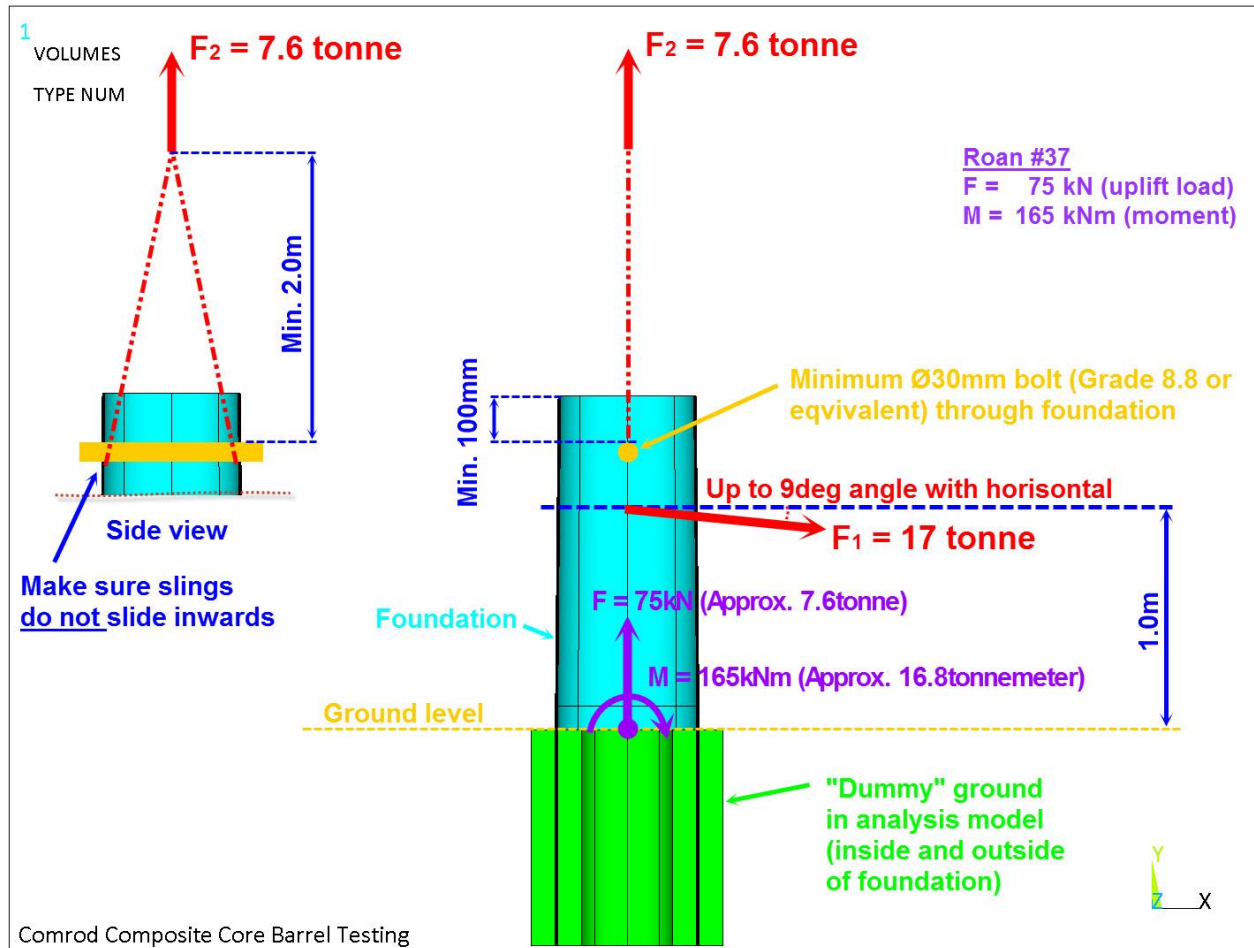
Oversikt testfundamenter



Fullskalatest



Test Oppløft



Opptrekk med og uten sidetrekk!



Testing under verifikasjon av DNV-GL

SITE VISIT REPORT

DNV GL

Report No:

227630

General

Date of visit: 25.06.2018
Project No.: 10114026
Customer Name: Comrod AS
Site: Comrod test facility (Jørpeland, Nag)
Reported by: Alex Castellanos
Verified by: Ole Gabrielsen

Particulars of visit

Purpose of visit:
Witnessing of Compole foundation

Participants:
Comrod AS; DNV GL; Multiconsult

Summary:
Comrod AS has developed a new foundation solution in rock, which is a new core drilling concept. The core drilling foundation shall be used to efficiently install composite utility masts.

The tests were carried out on a fundament of phyllite "fyllitt". The outer diameter of all the foundations were 600mm at ground level.

The following tests were carried out based on the task plan, /1/:

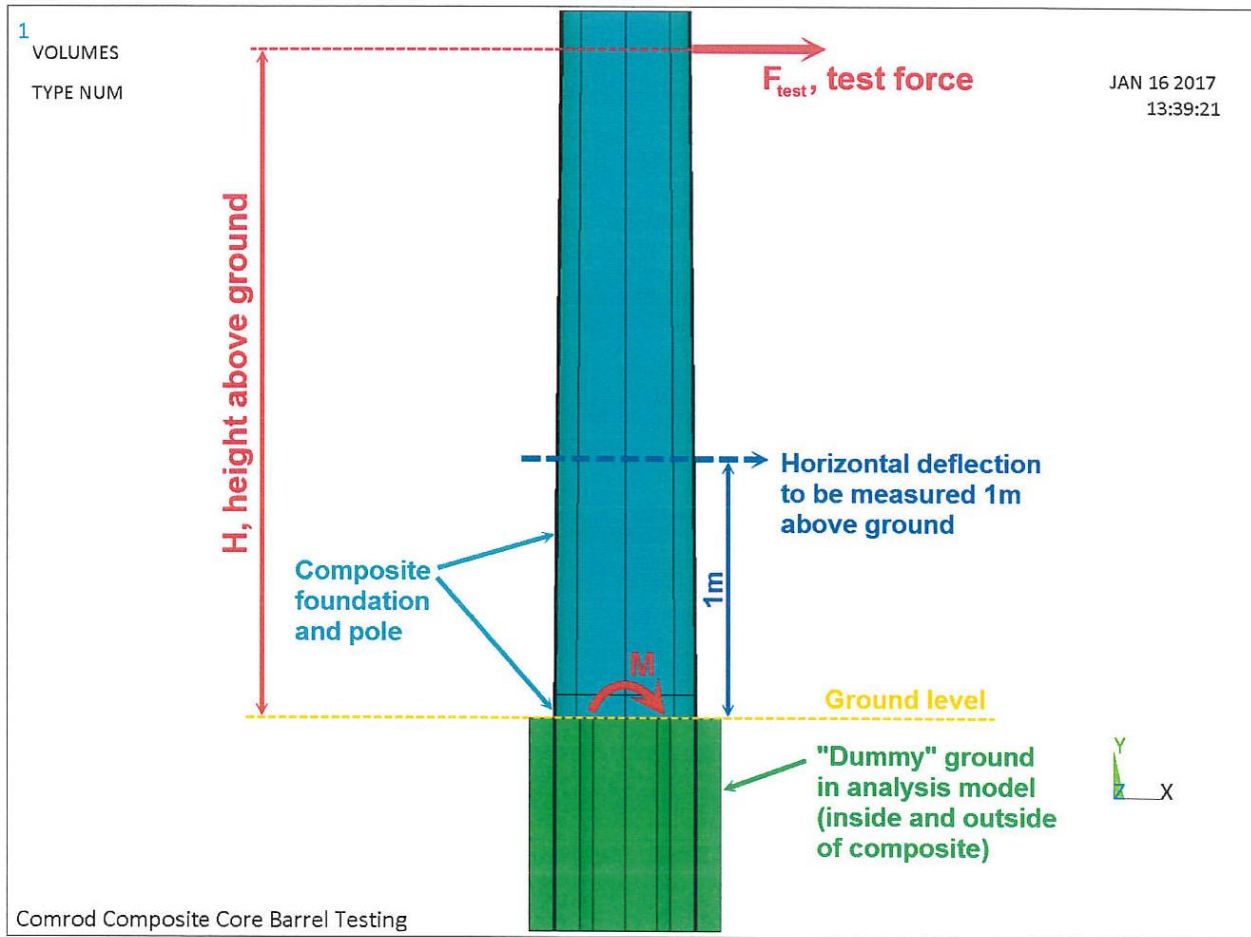
1. First Test of a 12 mm thick steel pipe mounted in a core drilled foundation (0.6 m embedment depth into the ground) performed in six steps. Identified as test location F8 in the attached test plan. Expanding epoxy grouting was used to fill the gap between steel pipe and rock. The sling around the metal pole was at 1.0 m above the ground.

- Horizontal pull force 10 tonnes
- Horizontal pull force 23.4 tonnes
- Horizontal pull force 30 tonnes
- Horizontal pull force 42 tonnes
- Horizontal pull force 50 tonnes
- Horizontal pull force 47 tonnes (Loaded until foundation failure)

2. Second Test of a steel pipe mounted in a core drilled foundation (0.4 m embedment depth into the ground) performed in seven steps. Identified as test location F9 in the attached test plan. Expanding epoxy grouting was used to fill the gap between steel pipe and rock. The sling around the metal pole was at 1.0 m above the ground.

- Horizontal pull force 5.1 tonnes
- Horizontal pull force 7.6 tonnes
- Horizontal pull force 10.2 tonnes
- Horizontal pull force 12.9 tonnes
- Horizontal pull force 15.7 tonnes
- Horizontal pull force 18.5 tonnes
- Horizontal pull force 19.0 tonnes (Loaded until foundation failure)

Test metode



Numerisk modellering av mastefundament

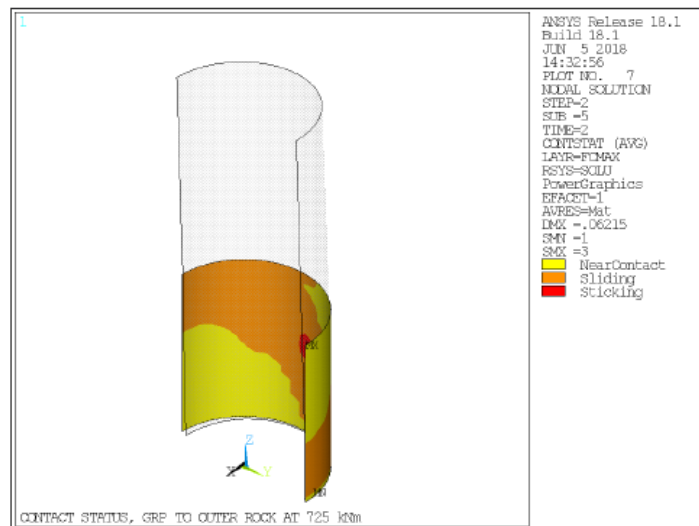


Figure 5-37: Contact status, foundation 900 to outer rock, internal rock plug removed

Kontaktområde mellom 900 mm mastefundament og berg uten gysemasse og uten kjerne innvendig ved 725kNm belastning.

- Nærkontakt
- Glidende
- Fast

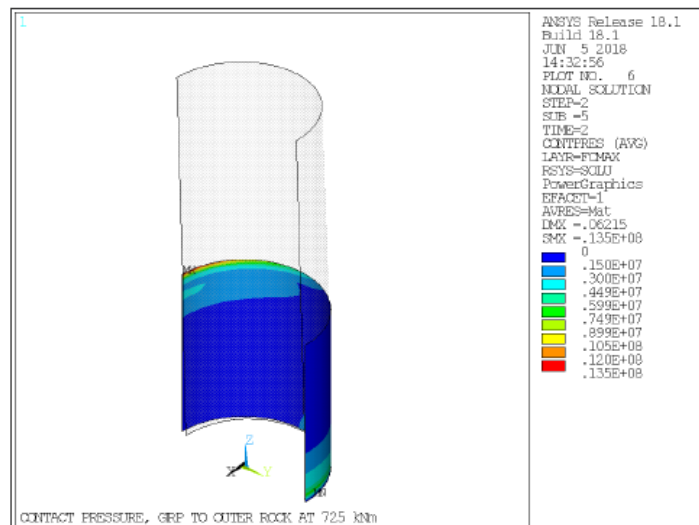


Figure 5-38: Contact pressure, foundation 900 to outer rock, internal rock plug removed

Kontaktpenninger mellom mastefundament og berg

- Lite område I topp
- Høge spenninger (13MPa)
- Stort område I bunn
- Lavere spenninger (6MPa)

Numerisk modellering av mastefundament

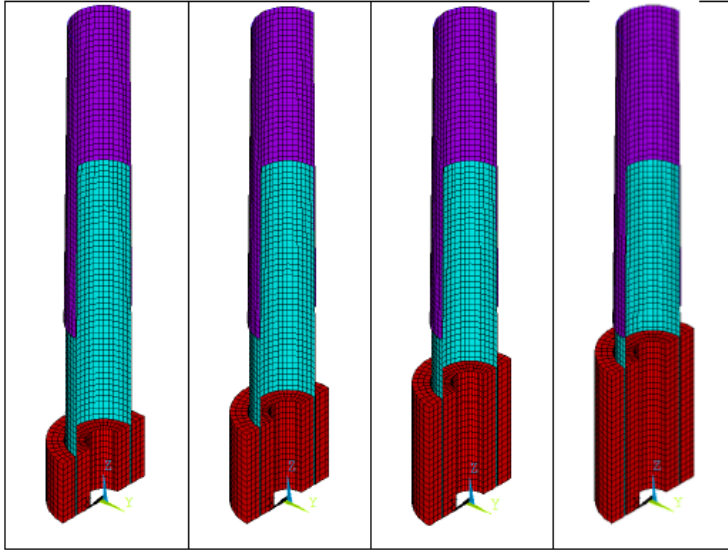


Figure 6-5: Rock embedment depths studied

Effekt av redusert boreddybde eller fundamentdybde

- 450mm fundament
- 100 kNm

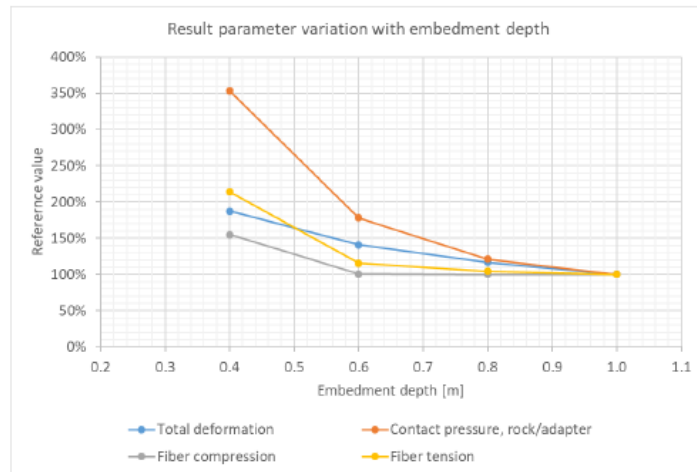


Figure 6-6: Convergence of result parameters with rock embedment depth

Rock embedment depth [m]	Max total deformation [mm]	Max contact pressure, rock/adaptor [MPa]
0.4	107.3	8.62
0.6	80.6	4.34
0.8	66.8	2.95
1.0	57.3	2.44

Testing av 900mm master til brudd

- Berget opptar mye større laster enn våre konservative bruddmodeller
- Bergets kapasitet er sterkt undervurdert
- Vi overdimensjonerer ved vår manglende forståelse av de reelle bruddkriteriene



Stålfundament i berg

M24 8.8 bolter

Innboringsdyp 1 m

Epoxy gysemasse

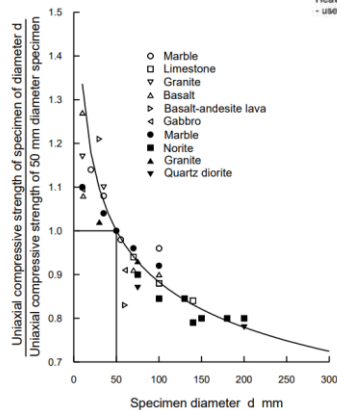
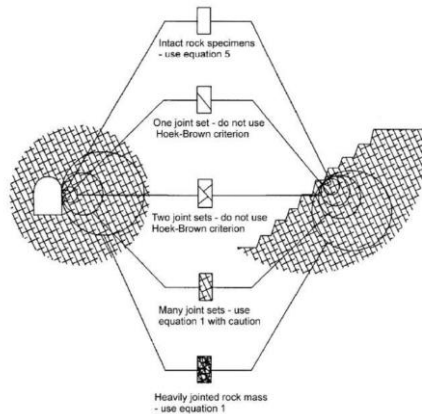
Fyllitt ($\sigma_c = 45\text{MPa}$)

Forankringskraft >15t



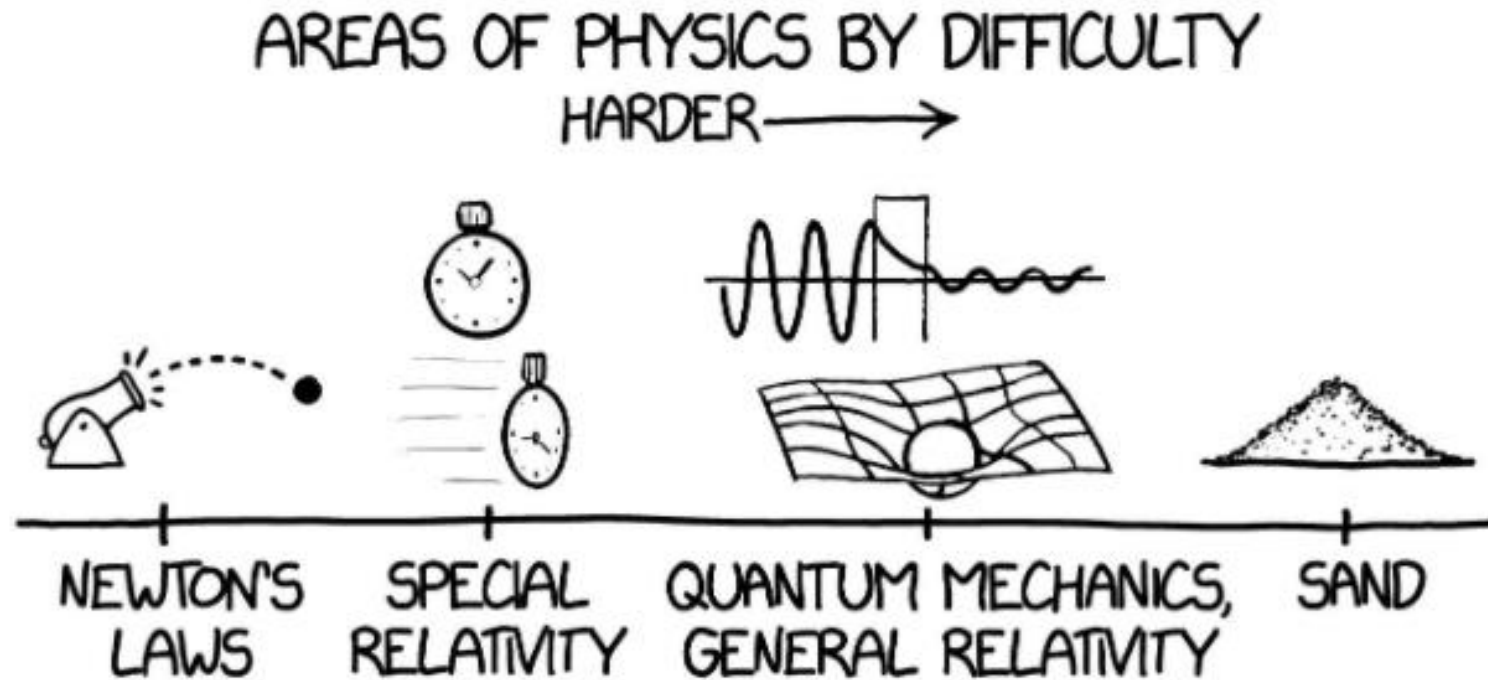
Mastefundamentering I berg

- Mastefundamenter I berg involverer et bergvolum på omkring 10 m³.
- Hvordan gå fra laboratoriemålinger til feltbetingelser?
- Figurer fra E.Hoek og E.T.Brown 1980



Oppsummering og erfaringer

- Rolleforståelse ved optimal linjekonstruksjon
 - Linjeeier
 - Prosjekterende
 - Entreprenør
 - Leverandører
- Gjeldende regelverk synes ikke fullt ut kjent og benyttet idag.
 - Mastefundamentering i berg baseres på erfaring uten maskinelt arbeid.
- Dimensjonering av mastefundamenter i berg
 - Lasttilfeller trykk, opptrekk og momentbelastning av master
 - Kartleggingsmetodikk av fundamentområde
 - Bruddkriterium for bergvolum på omkring 10m³
- Comrod arbeider videre med numerisk modellering og verifisering i testfeltet i skala 1:1



<https://www.nytimes-com.cdn.ampproject.org/c/s/www.nytimes.com/2020/11/09/science/what-makes-sand-soft.amp.html>

Fundamentering

- Dette er resultatet av en lang utvikling i Comrod som har gjort at vi har installert men enn 1.500 master siden 2015. Med bidrag fra:
 - Vegard Asbjørnsen
 - Atle Hovland Berg
 - Ole Gunnar Fjelde
 - Roger Fredheim
 - Johannes Hareide
 - Kjetil Rognlien
 - Harald Strand
- Multiconsult og Rambøll deltok i en tidlig fase med diskusjon og vurdering av bergforholdene