

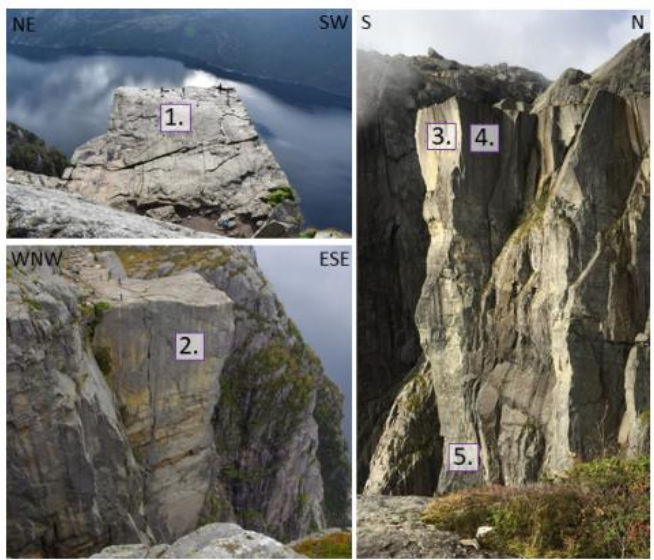


COMROD

Reaching further

Fundamentering av kraftmaster - historie, utfordringer og tester utført av Comrod

Dr. Ing. Tor Harald Hanssen
Siviling. Kjetil Rognlien



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



Composite masts

Why Comrod is investing in the development and manufacturing of Composite Poles?

- Long experience with composite products
- International experience from military industrial quality standards
- Experience from composite products for other industries
- Manufacturing experience, facilities and expertise
- Natural new business area
- Installed some 1000 masts in rock and soil per 2020



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

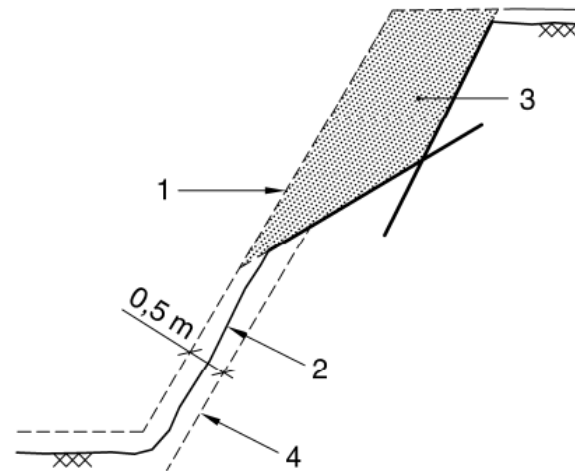
MERKNAD 1 Poissons koeffisient μ ligger vanligvis mellom 0,25 og 0,35.
 MERKNAD 2 Den indre friksjonsvinkelen ϕ^* ligger vanligvis mellom 35° og 45° og avhenger sterkt av vinkelen og retningen på sprekkdannelsen.

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

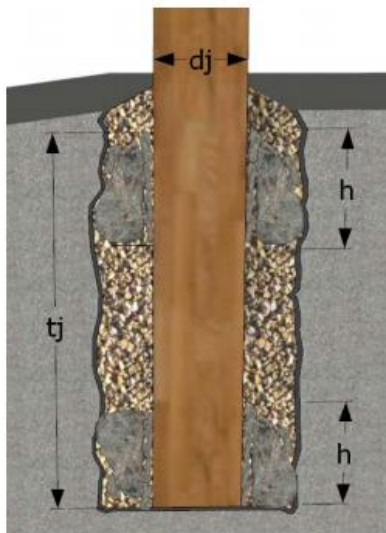
Eurokode 7 og ingeniørgeologen



- 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 erfaring



Figur 7 - RT2801 - Stolpefundament - fjellgrop i fjell

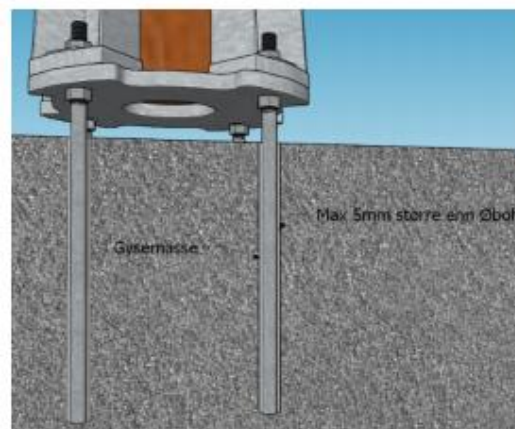


Figur 22 - RT0413 - Montering av stolpestag

Tabell 11 viser min. gropdybden.

Jordbåndsdiameter "d" i cm	Gropdybde "t" 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

Overbelastning av kraftlinjemast I Tore Valstad, NGI

BRUDD I KRAFTLINJEMAST

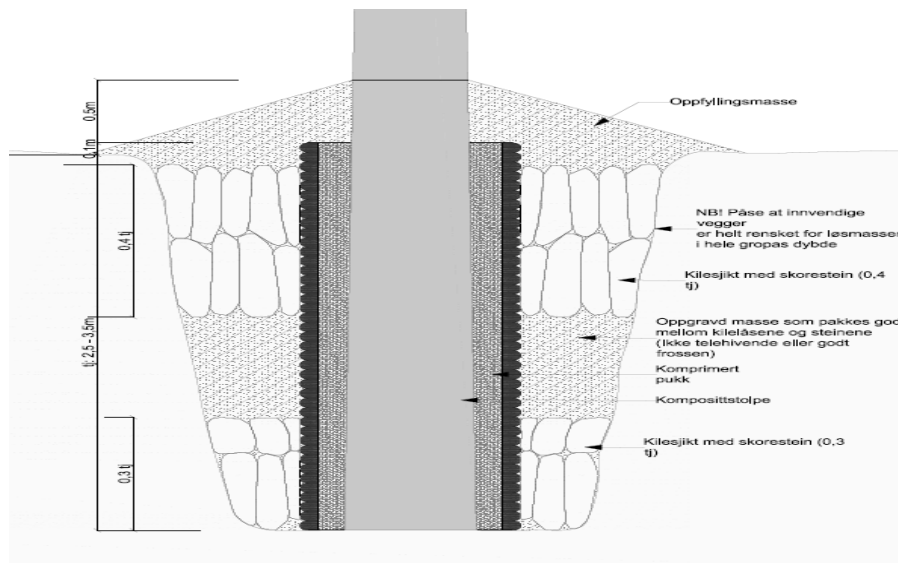


Overbelastning av kraftlinjemast II

Tore Valstad, NGI



Tradisjonell vs Slisseboring



Tradisjonell metode, kort beskrivelse:

Tradisjonelt utføres fundamentering av komposittstolper i fjell ved å sprengre 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.

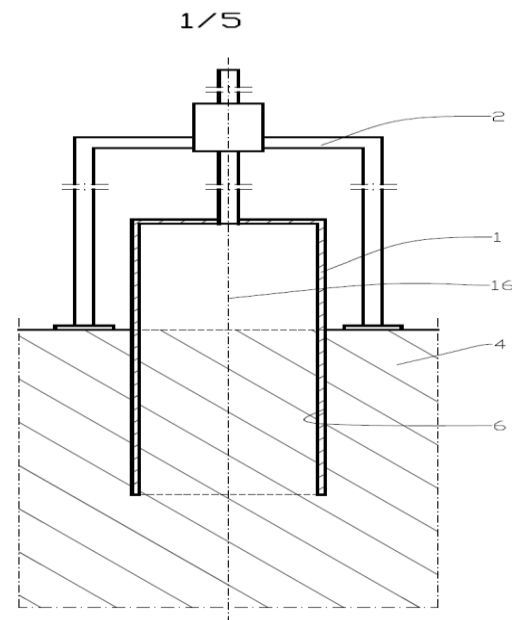


Fig. 1

Ny metode, kort beskrivelse «Comrod metoden»:

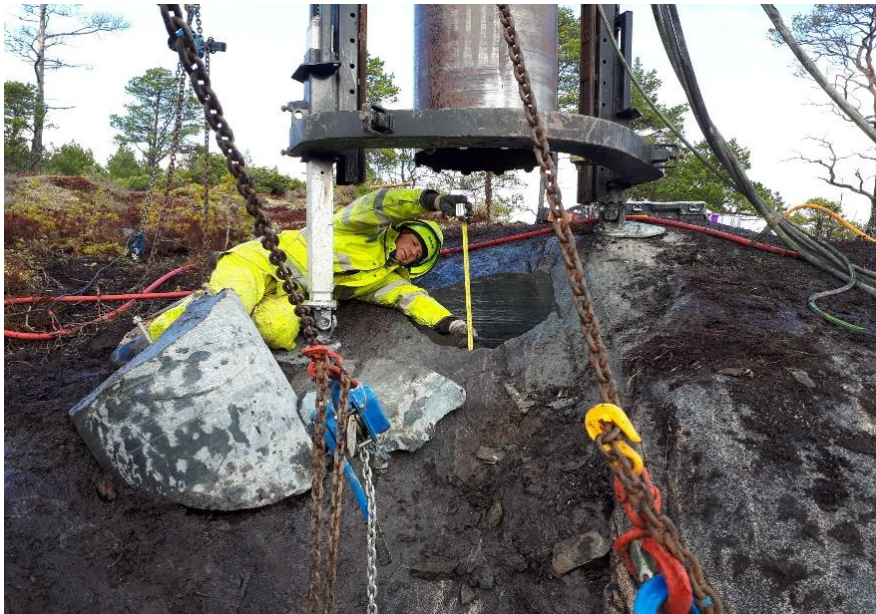
Alternativ fundamenteringsmetode i fjell gjennomføres uten bruk av sprenging. Enkelt forklart løses dette ved bore en slisse i fjellet ved hjelp av en stor «hull-kopp» montert på en nyutviklet boremaskin. Komposittfundament kan deretter settes ned i slissen og blir normalt gysert fast i fjellet.

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



Utførelse av fundamenter vil for hvert enkelt mastepunkt dokumenteres med en fundamentrapport som inneholder utfylt kontrollskjema samt bilder av arbeidet i de ulike faser.

1. Ingeniørgeologisk rapport etter befaring vedrørende utførelse og krav for utførelse
2. Risikovurdering sammen med oppdragsgiver
3. Retningslinjer for utførelse gjennomgås med operatører for prosjektet
4. Ferdigstillelserapport med bilder for alle fundamenter.



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.



Comrod mastefundament i berg

Comrod mastefundament for bruk i berg har minst samme styrke og kvalitet som andre typer fundamenter.

Faktorer som har vært viktig ved utvikling av Comrods mastefundament i berg er:

- Fokus på ytre miljø ved bruk av maskiner og utstyr
- Fotavtrykk i naturen
- Redusere risiko for operatører helse.

Utførelse:

- Boring av hull for mastefundamenter gjennomføres med egenutviklet diamantbormaskin.
- På bakgrunn av erfaringer fra testfasen er nå utstyret videreutviklet slik at endelig versjon av boremaskin er betydelig forbedret både med tanke på arbeidets kvalitet og fremdrift, og ikke minst på sikkerhet for operatørene.
- Alle enheter som diamantbørrigg, hydraulikkaggregat med tilbehør veier mindre enn 1000 kg.
- Det er krav til dokumentert opplæring i bruk av denne riggen sammen med aggregatet for operatører.
- Riggen transporteres ut i terrenget med en standard lastebærer med totalvekt på inntil 2,5 tonn.
- Alternativt bli helikopter benyttet hvis adkomst er vanskelig.
- Alt utstyr for å montere et H-mastfundament flys inn til lokasjon ved åtte helikopterhiv.
- Det kan være nødvendig å ha med en liten beltegraver på ca. 1 tonn for å renske masteplass for eventuelle løs masser og stein, om ikke avdekking er utført i forkant.
- Etter at masteplass er rensket og klargjort settes boremaskin på plass med kran på lastbærer eller ved innflygning.
- Under boringen benyttes kjølevann, normalt omlag 500 liter vann pr. fundament.
- Når hull er ferdig boret til fastsatt dybde vurdert av ingeniørgeolog, settes fundamentrør i kompositt ned i hullet og gyses fast.
- Eventuelt sikres fjellet med ekstra bolting avhengig av geometri og oppsprekking.

Test av 450 mm stolper testområde Nag



Testområde Nag med fyllitt



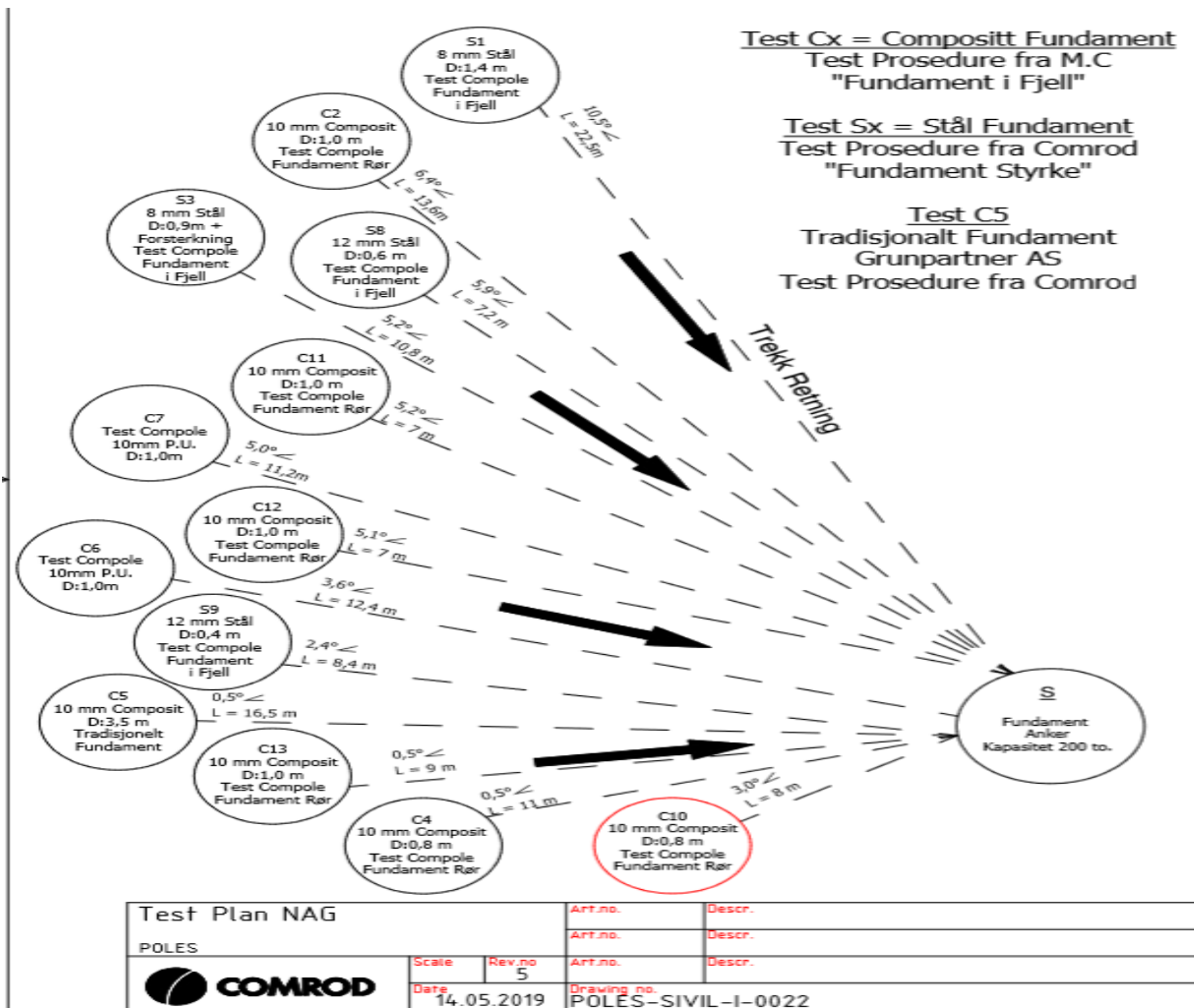
Fyllitt fra testfelt på Nag



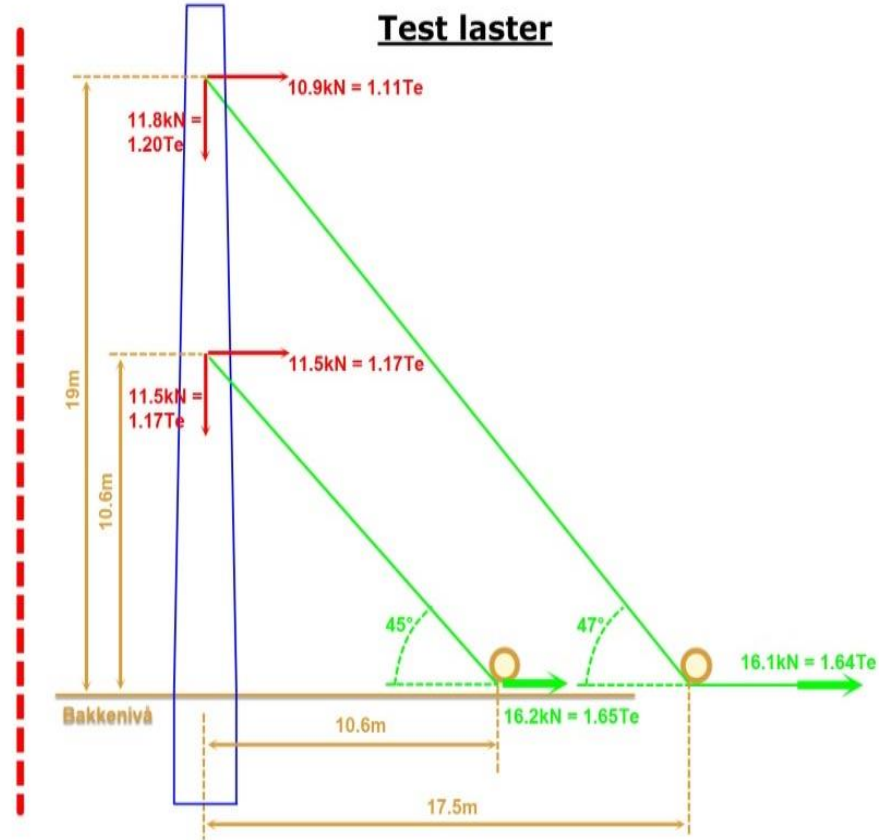
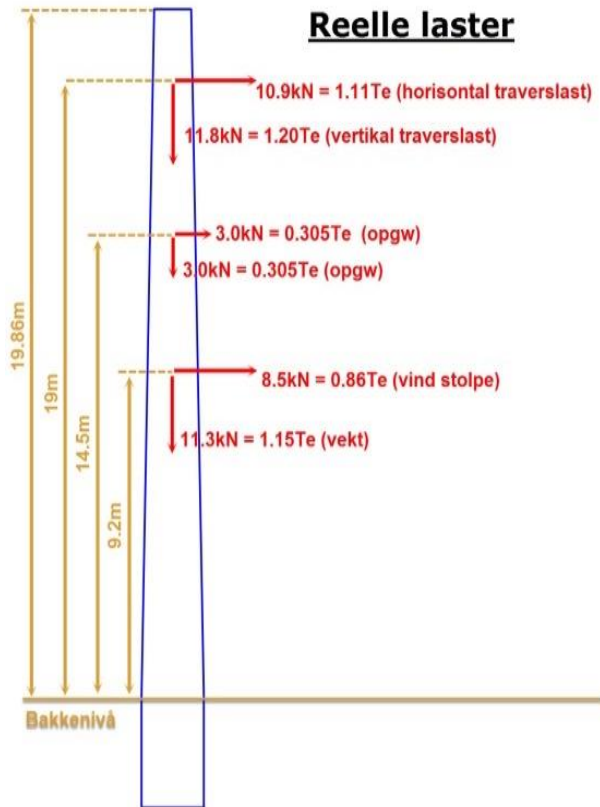
Gysemasse fra mastefundamentslisse I fyllitt på testfelt Nag



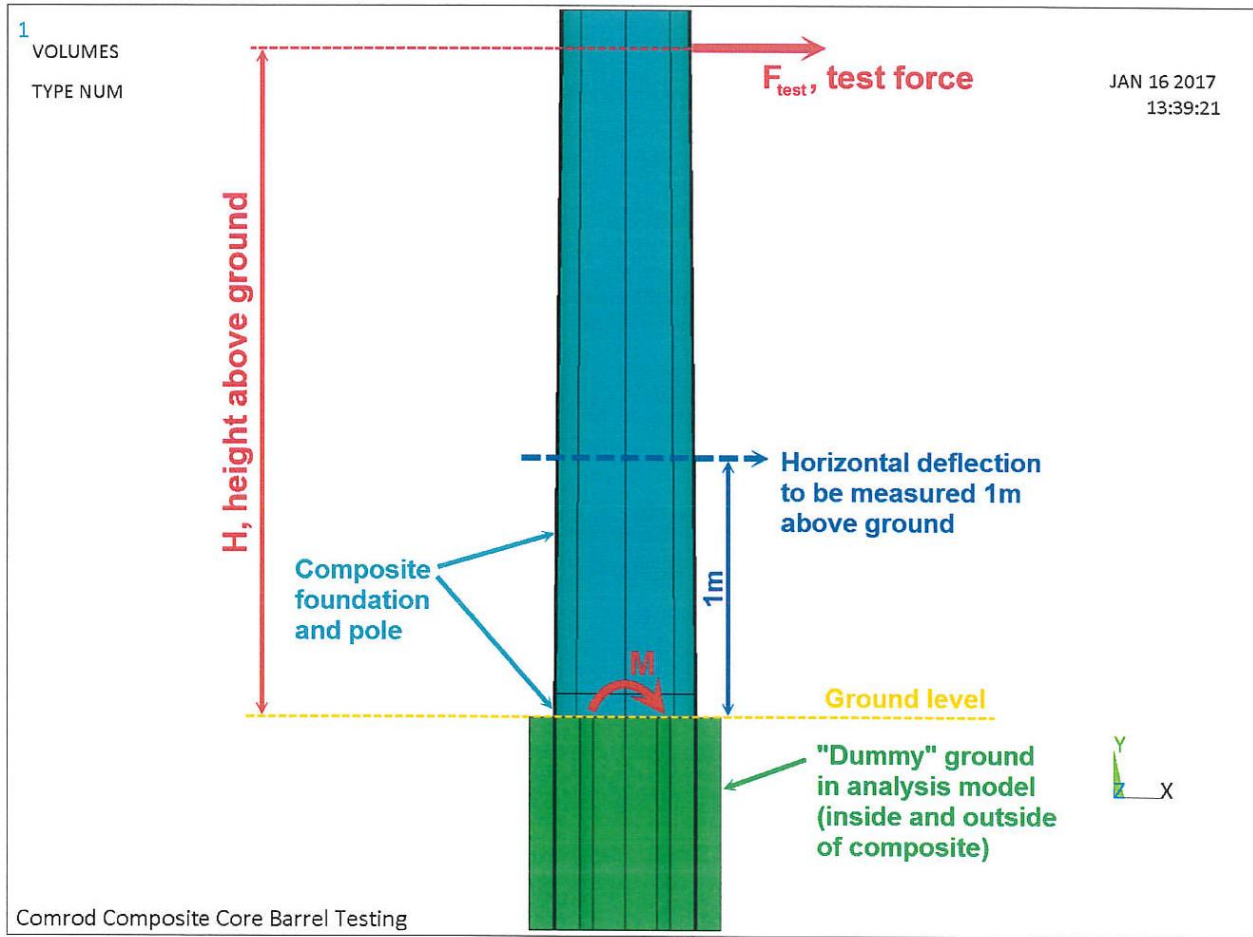
Oversikt testfundamenter



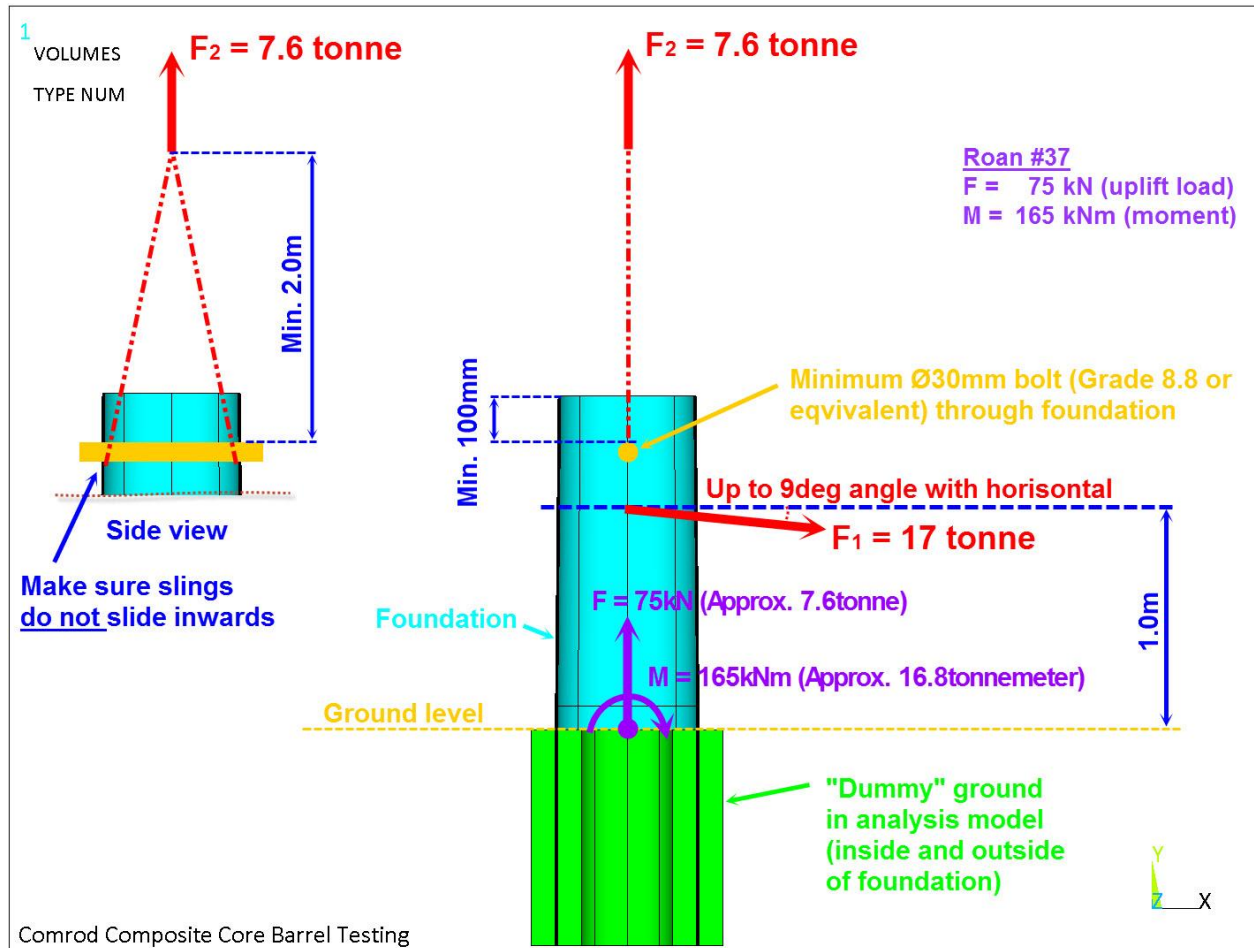
Fullskalatest



Test metode



Test Oppløft Tabell 3



Opptrekk med og uten sidetrekk!



Eksempel på rapport fra DNV

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/:

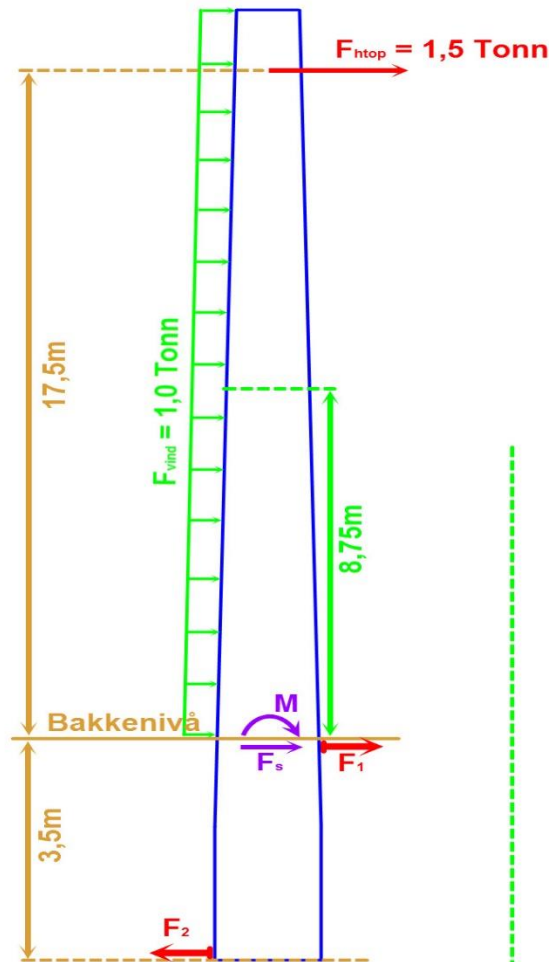
1. First Test of a 12 mm thick steel pipe mounted in a core drilled foundation (0.6 m embedment depth into the ground) performed in six steps. Identified as test location F8 in the attached test plan. Expanding epoxy grouting was used to fill the gap between steel pipe and rock. The sling around the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

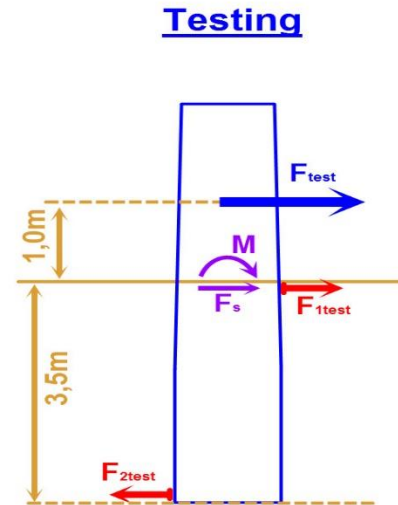
- Horizontal pull force 5.1 tonnes
- Horizontal pull force 7.6 tonnes
- Horizontal pull force 10.2 tonnes
- Horizontal pull force 12.9 tonnes
- Horizontal pull force 15.7 tonnes
- Horizontal pull force 18.5 tonnes
- Horizontal pull force 19.0 tonnes (Loaded until foundation failure)

"Tradisjonelt" Fundament



Realistiske fundamentlaster (forenklet beregning):

$M = 35 \text{ Tm}$
 $F_s = 2,5 \text{ T}$
 $F_1 = 12,5 \text{ T}$
 $F_2 = 10 \text{ T}$



"Brutal" testing med fullt moment

$F_{\text{test}} = 35 \text{ T}$
 $M = 35 \text{ Tm}$
 $F_{1\text{test}} = 45 \text{ T}$ (mye høyere enn realistisk)
 $F_{2\text{test}} = 10 \text{ T}$

"Skånsom" testing med lavt moment

$F_{\text{test}} = 9,72 \text{ T}$
 $M = 9,72 \text{ Tm}$ (mye lavere enn realistisk)
 $F_{1\text{test}} = 12,5 \text{ T}$
 $F_{2\text{test}} = 2,78 \text{ T}$ (mye lavere enn realistisk)

Numerisk modellering av mastefundament

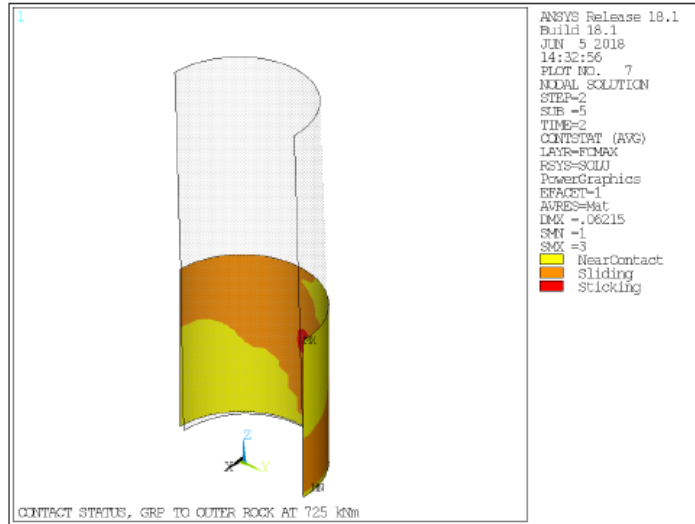


Figure 5-37: Contact status, foundation 900 to outer rock, internal rock plug removed

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

- Nærkontakt
- Glidende
- Fast

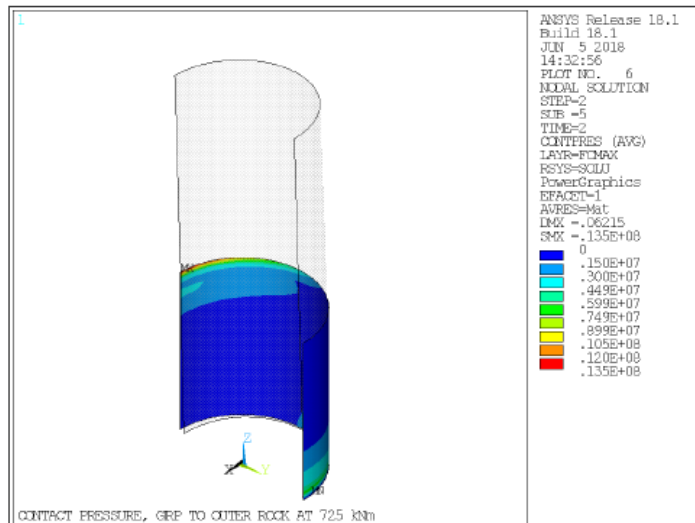


Figure 5-38: Contact pressure, foundation 900 to outer rock, internal rock plug removed

Kontaktpenninger mellom mastefundament og berg

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

Numerisk modellering av mastefundament

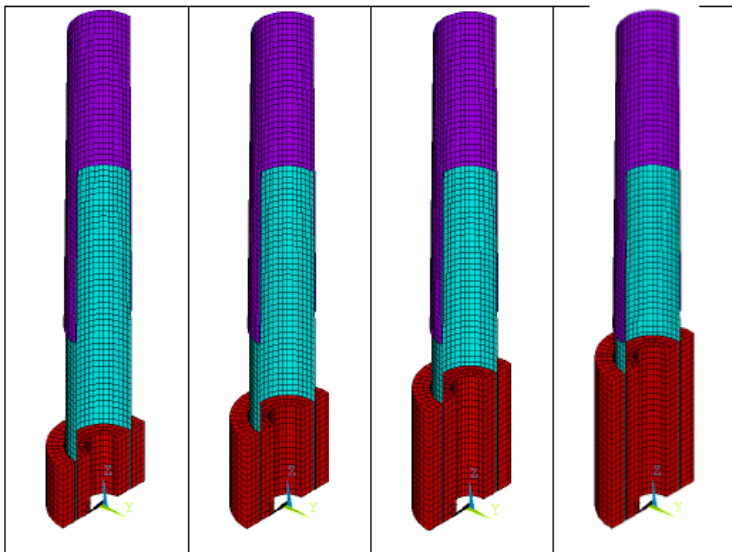


Figure 6-5: Rock embedment depths studied

Effekt av redusert boreddybde eller fundamentdybde

- 450mm fundament
- 100 kNm

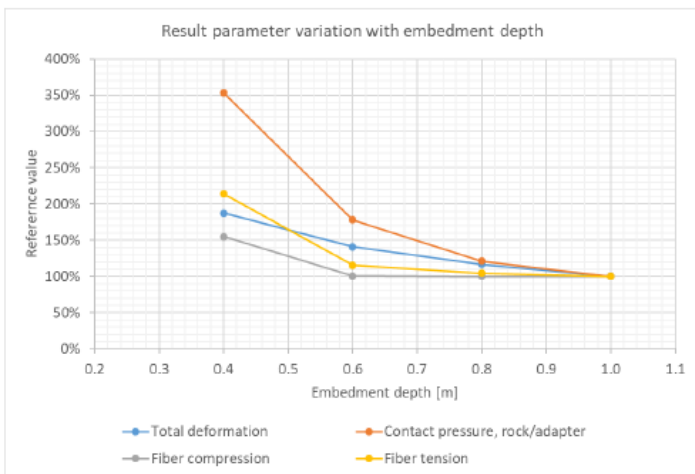
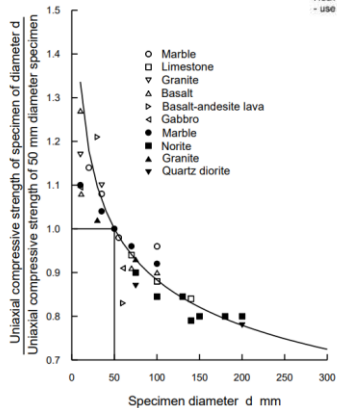
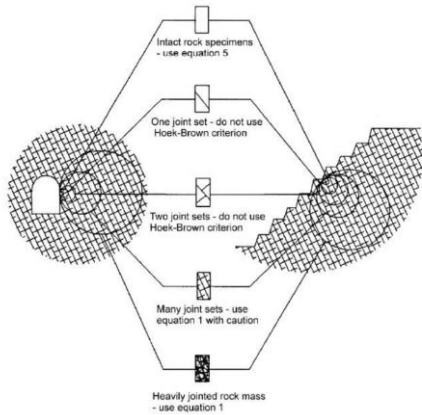


Figure 6-6: Convergence of result parameters with rock embedment depth

Rock embedment depth [m]	Max total deformation [mm]	Max contact pressure, rock/adapter [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

Mastefundamentering I berg

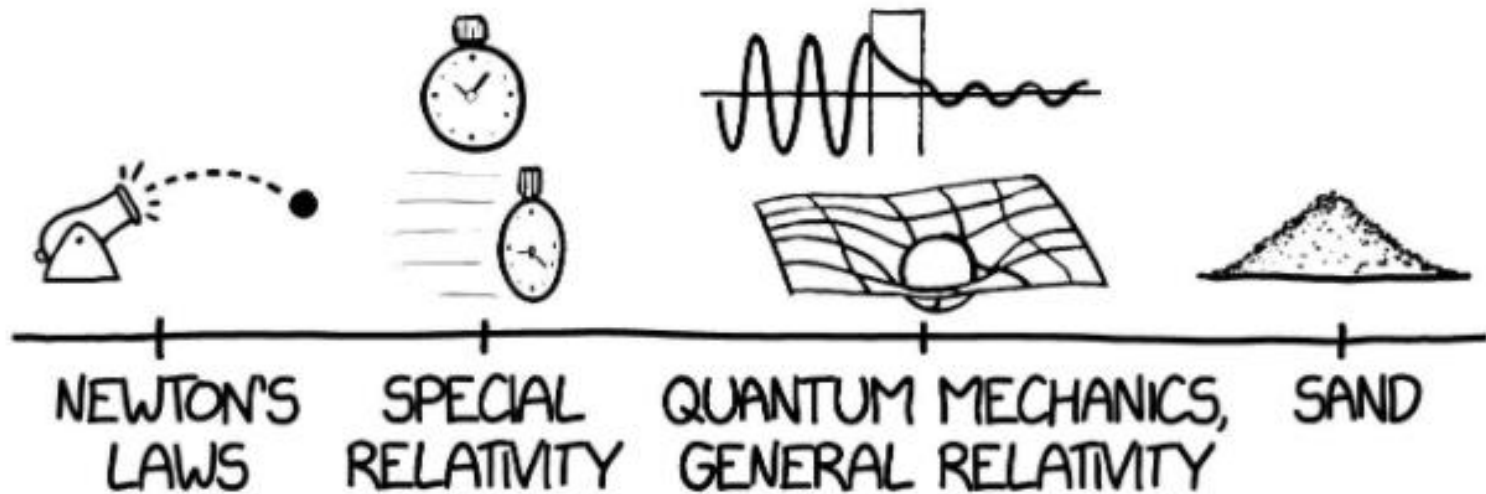
- Mastefundamenter I berg involverer et bergvolum på omkring 10 m³.
- Hvordan gå fra laboratoriemålinger til feltbetingelser?
- Figurer fra E.Hoek og E.T.Brown 1980



Oppsummering og erfaringer

- Rolleforståelse ved optimal linjekonstruksjon
 - Linjeeier
 - Prosjekterende
 - Entreprenør
 - Leverandører
- Gjeldende regelverk synes ikke fullt ut kjent og benyttet I dag.
 - 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 går videre med numerisk modellering og verifisering I testfeltet I skala 1:1

AREAS OF PHYSICS BY DIFFICULTY HARDER →



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