



# Konstruksjonsdagen 2021

## Vurdering av metoder for inspeksjon og instrumentering av grout

JULLE EKEBORG, PRINCIPAL ENGINEER, FORCE TECHNOLOGY



PETROLEUMSTILSYNET



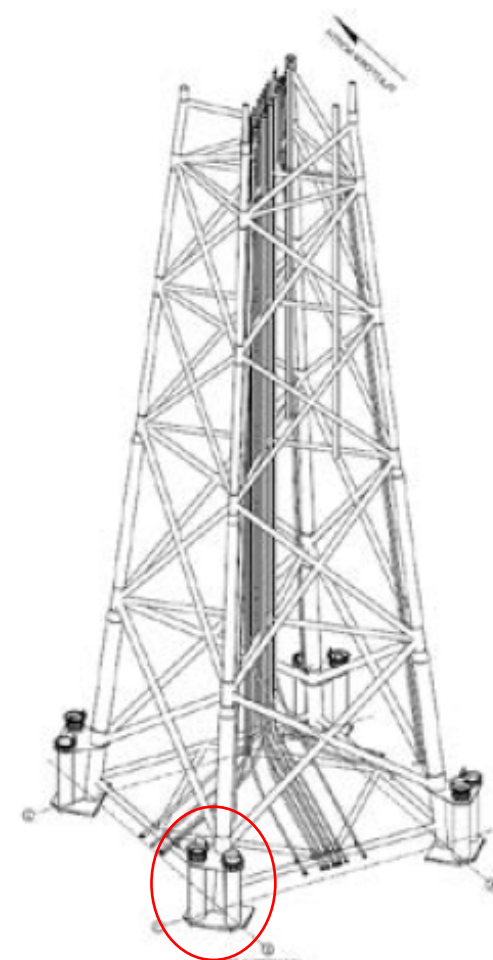
# Introduksjon - Oppdraget

Force Technology har, på oppdrag fra Petroleumstilsynet (Ptil), utført en studie av inspeksjonsmetoder og metoder for instrumentert tilstandsovervåking av grout forbindelser mellom peler og jacket konstruksjoner.

- Etablere oversikt over tilgjengelige inspeksjonsmetoder
- Vurdering av modenhet, kvalitet og pålitelighet for identifiserte inspeksjonsmetoder
- Etablere oversikt over tilgjengelige instrumenteringsmetoder
- Vurdering av modenhet, kvalitet, pålitelighet og langtidsegenskaper for identifiserte instrumenteringsmetoder.

Link til rapport:

<https://www.ptil.no/fagstoff/utforsk-fagstoff/prosjektrapporter/2020/inspeksjon-og-instrumentert-tilstandsovervaking-av-grout-forbindelser/>



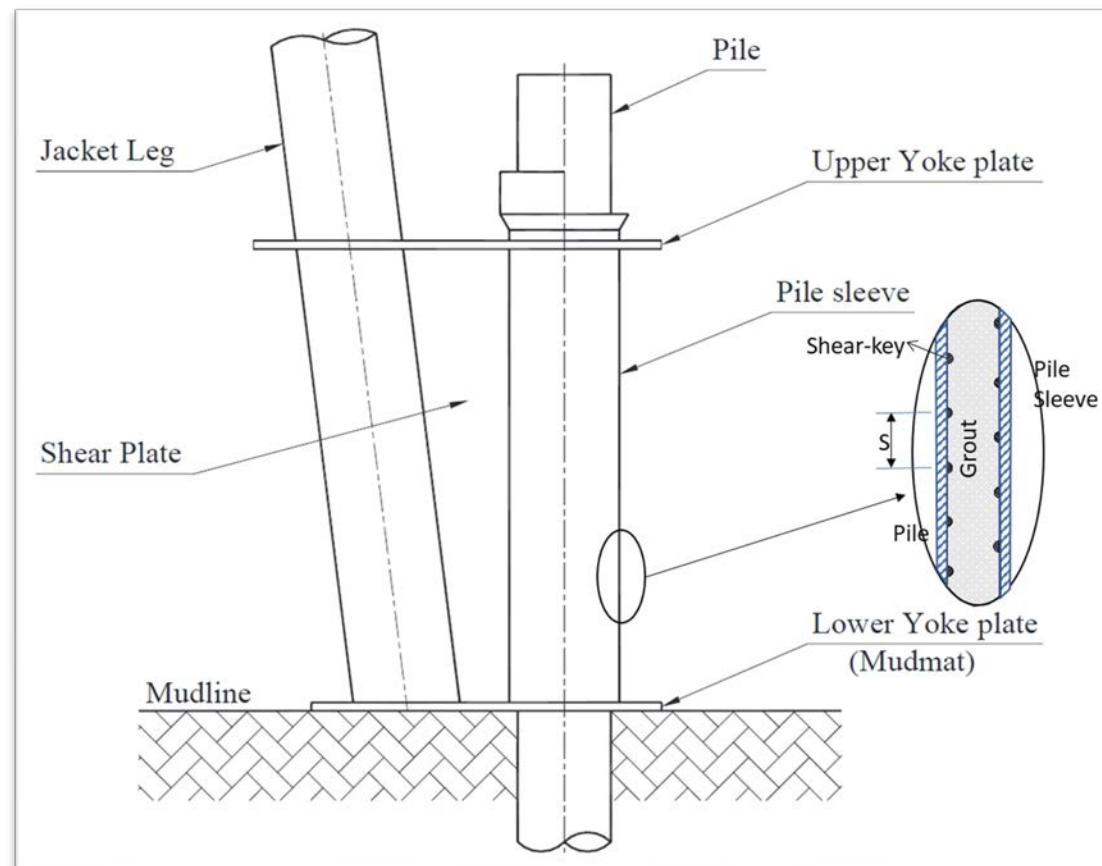
# Introduksjon – Norsok 2013

Oppdatering av kapasitetsformler for grout forbindelser:

- Bøyemomenter (ny)
- Skjærkrefter (ny)
- Axial krefter
- Torsional krefter

Etter beregninger i henhold til de nye kapasitetsformler for eldre installasjoner viser på utnyttelse over tillatt nivå man er da derfor avhengig av enten:

- Inspeksjonsmetode som er robust og pålitelig, eller
- Instrumentering som er robust og pålitelig



Illustrasjon fra N-004

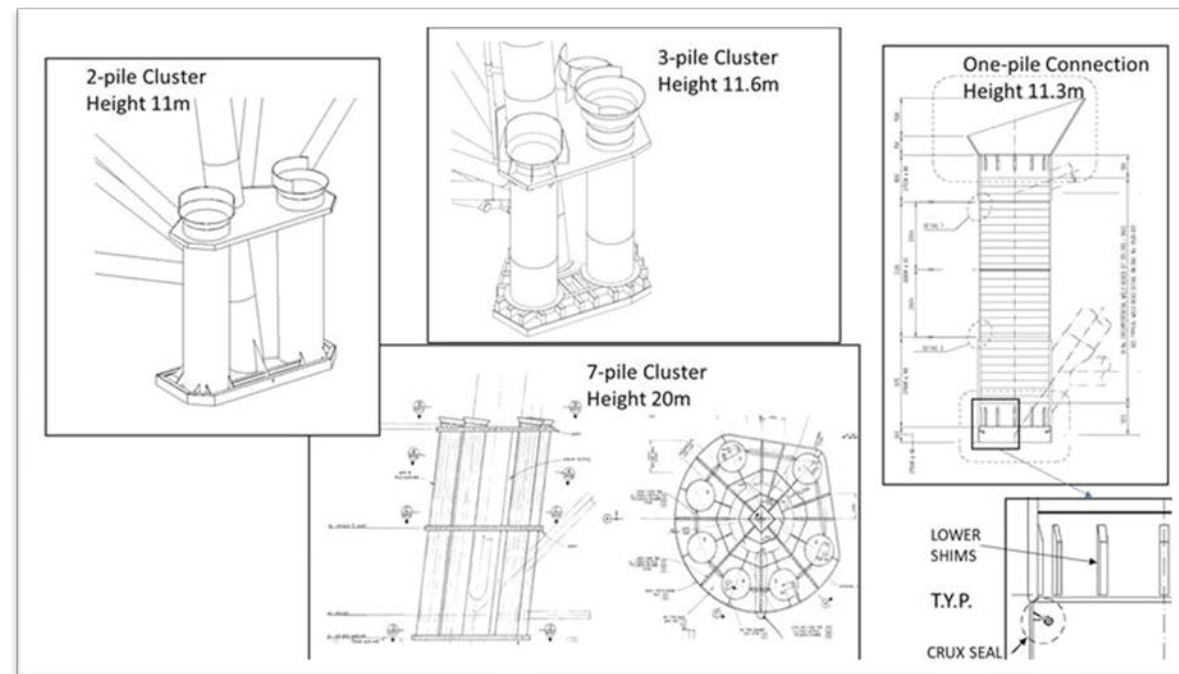
# Introduksjon – Grout Forbindelse

Degradering av grout forbindelse:

- ❑ Degradering starter nedenfra

Deteksjonsmetoder

- ❑ Egenfrekvens
  - Vanskelig og oppdage delvis skadet grout
- ❑ Relative forskyvning mellom peler-sleeve
  - Mulig og oppdage delvis skadet grout
- ❑ Topside forskyvning
  - Vanskelig og oppdage delvis skadet grout



# Introduksjon - Identifisere Tilgjengelige Metoder

- Direkte kontakt til mulige selskaper
- Annonsering i sosiale medier
- Søk på nettet

Det meste av relevant informasjon er mottatt via direkte kontakt, mange har valt og dela med sig av informasjon men det finns de som valt og ikke dela informasjon.

Ser bare på metoder for allerede installerte installasjoner.

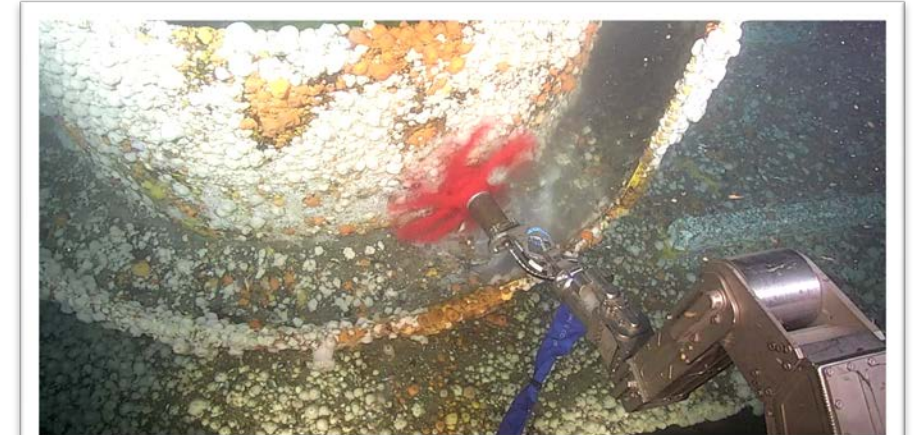
# Inspeksjon – Visuell Inspeksjon

Visuell inspeksjon er den desidert vanligste metoden for inspeksjon av grout forbindelser.

- Dykker / ROV
- Visuell inspeksjon av toppen av grout forbindelser

## Kommentar

- Vanligste metoden for inspeksjon av grout
- Kan oppdage skadet grout
- Kan ikke oppdage delvis skadet grout



Pictures from DeepOcean

# Inspeksjon – Kjerneprøver

Å hente kjerneprøver er en metode som har blitt brukt i mange år. Ger informasjon om:

- Vedheft mellom grout og stål
- Indikasjon på knusing eller sprekker
- Mangel på fylling og hulrum

Kommentar

- Ger lokal statusen for grout der prøven er tatt men har begrensninger før og gi status nedafor og oven
- Om kjerneprøven er intakt så er statusen for grout oven mest troligste intakt men kan ikke gi status nedafor prøvepunktet
- Om kjerneprøven er skadet så er statusen for grout nedafor prøvepunktet mest troligste skadet men kan ikke gi status oven prøvepunktet



Picture from IK Norway

# Inspeksjon – Mekanisk Resonans Teknikk, Interface Wave Method

Et konsept for en inspeksjonsteknikk er å detektere endringer i resonanseegenskapene i grout forbindelsen. Teknikken er basert på prinsippet om at en lokal mekanisk forstyrrelse i radial retning vil starte en forplantning av forstyrrelsen, periferisk og aksialt fra den lokale forstyrrelsen.

Simulering/test av grout forbindelse er utført med lokalt påførte forstyrrelsen fra 100Hz til 10kHz. Resultatet viser at degradert grout har noen ekstra resonansfrekvenser sammenlignet med intakt grout.

## Kommentar

- Test var utført med stor degradering (1/3 av rørets lengde), uklart hvordan mindre degradering vill bli oppdaget.
- Den neste fasen er å teste forskjellige varianter av degradering.



# Instrumentering – Digital Tvilling

En digital tvilling er en kombinasjon av en digital modell og et fysisk produkt, der den digitale versjonen er en nøyaktig sammenligning av den fysiske modellen.

Digital tvilling kan brukes til å finne de lokale belastningene på et element uten å måle lasten lokalt.

For å lage en digital tvilling trenger man belastningene, for eksempel bølge-, strøm- og vindsensorer, i kombinasjon med sensorer som måler bevegelse og lokal belastning på utvalgte elementer.

Den endelige elementmodellen kan deretter kalibreres for å matche de målte egenfrekvensene og egenmoder, og de lokale spenningene for belastningene som påføres.

# Instrumentering – Egenfrekvens / Egenmoder

Ved bruk av akselerometre og algoritmer kan egenfrekvens og modus beregnes og overvåkes i sanntid.

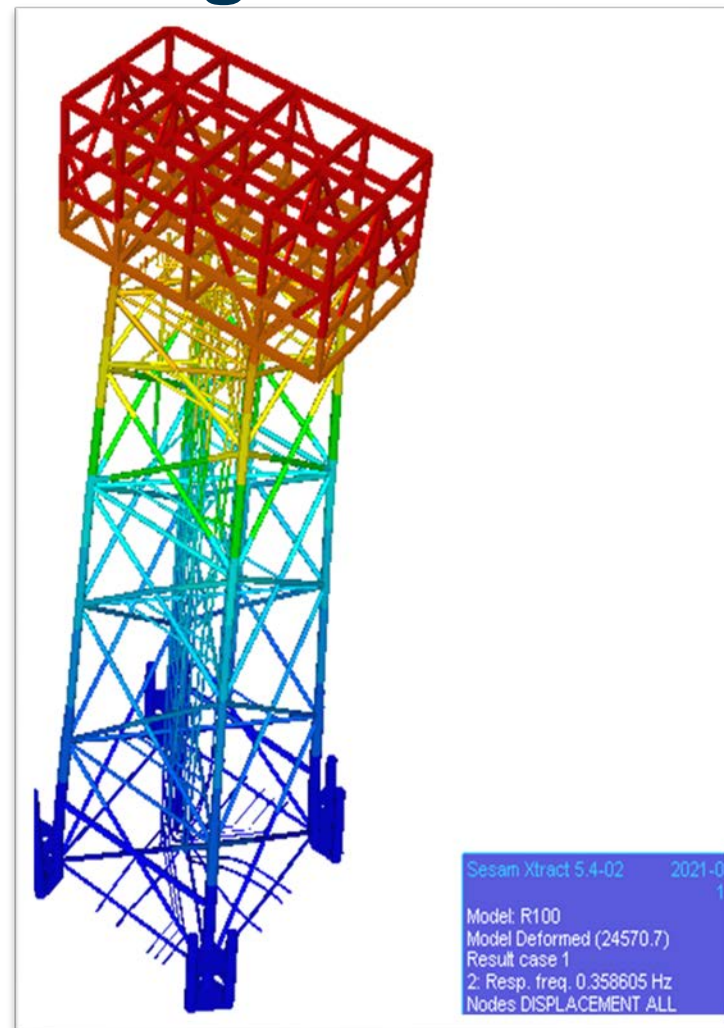
Teknologin er kjent men og bruke det for og gi status på grout forbindelsen er ny.

Metoden oppdager feil ved å identifisere endringer ved å sammenligne den målte responsen fra akselerometre med normal oppførsel.

Kommentar

Denne metoden vil, når den er konfigurert riktig:

- Oppdage en fullstendig degradert grout forbindelse
- Men svært utfordrende å oppdage delvis skadet grout forbindelse



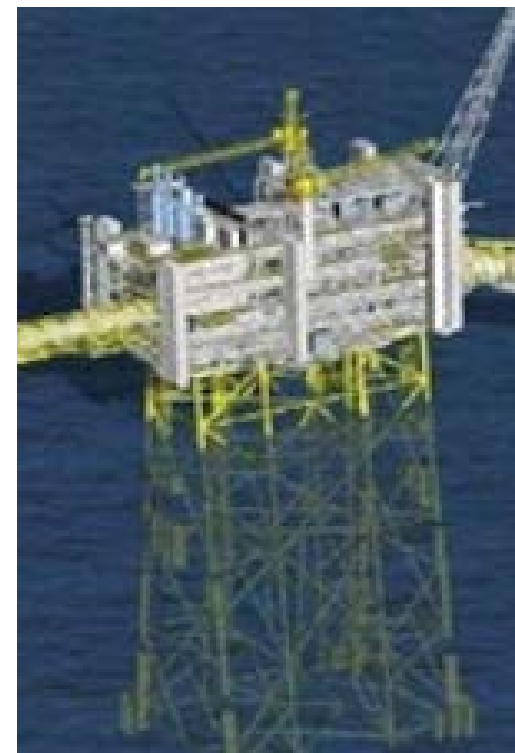
# Instrumentering – Topside Forskyvning

Ved bruk av akselerometre og algoritmer eller andre forskyvningssensorer kan forskyvningene på en topside beregnes og overvåkes i sanntid.

Teknologin og beregne forskyvning på en topside er kjent men og bruke det for og gi status på grout forbindelsen er ny.

Kommentar

- Vil kunne oppdage en fullstendig degradert grout forbindelse
- Svært utfordrende å oppdage delvis skadet grout forbindelse



# Instrumentering – Skade Detektering

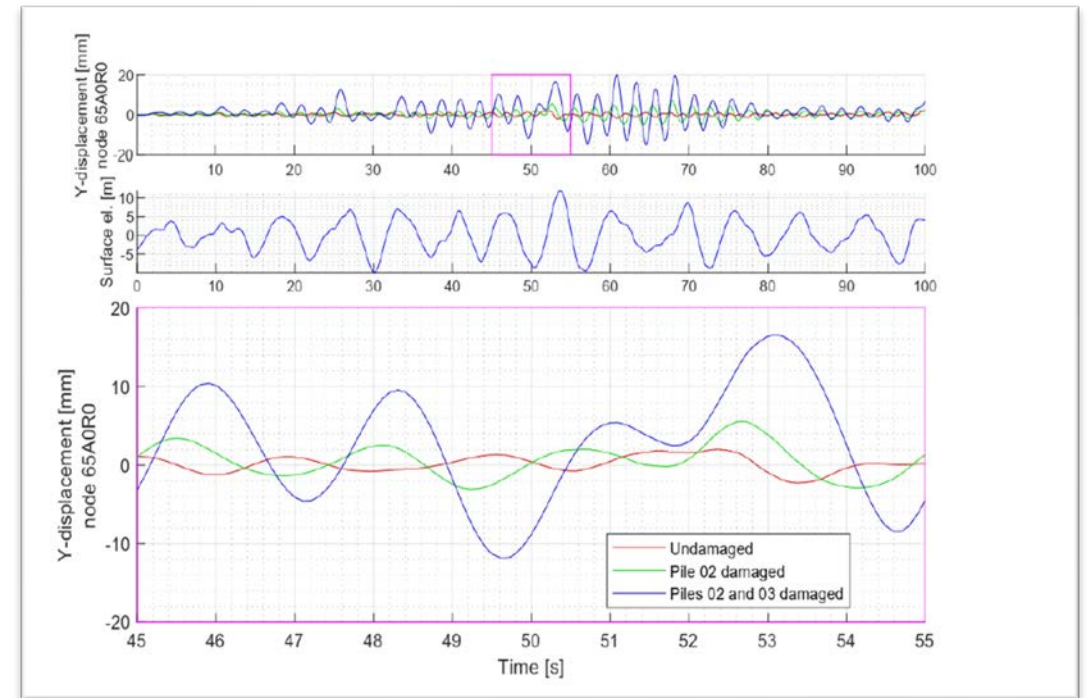
Skade detektering bruker sensorer og algoritmer for oppdage avvik fra normal oppførsel.

Metoder for å oppdage skader varierer fra enkle algoritmer, for eksempel forskjellige typer avviksanalyser (f.eks. Mahalanobis, andre) til mer avanserte metoder basert på algoritmer for maskinlæring og kunstig intelligens (AI).

Kommentar

Konsept

Metodene er kjente og skulle kunna brukes.  
Utfordringen er å ha tilgjengelig opplæringssett med data for en degradert grout forbindelse.



# Instrumentering – Instrumentering Pile-Sleeve

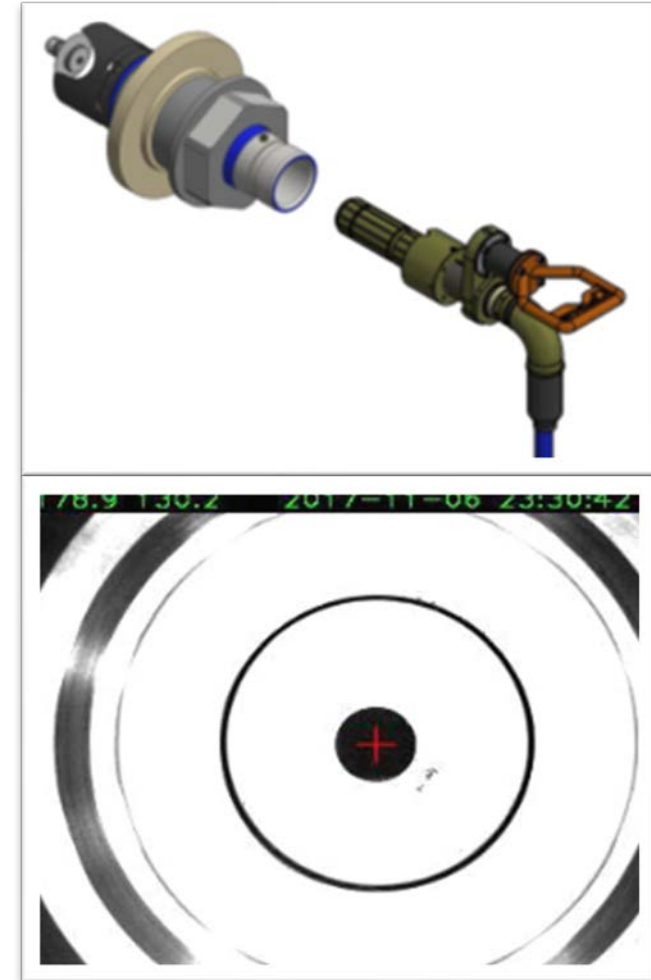
En mulig metode for å oppdage degradert grout er å måle forskyvningene mellom pile og sleeve.

Et hull bores gjennom pile og grout til sleeve. Et sensorsystem som måler den relative bevegelsen mellom pile og sleeve er installert i hullet.

Metoden har vart brukt i några år.

Kommentar

- Metoden krever att strukturanalyse med relevant jakkekonfigurasjon og med relevant værforhold må utføres som gir kriterier for den målte forskyvningen
- Vil kunne oppdage en fullstendig degradert grout forbindelse
- Vil kunne oppdage delvis skadet grout forbindelse



# Sammendrag

Degradering av grout starter nedenfra.

På grunn av den komplekse strukturen til grout forbindelse og den vanskelige tilgangen, har bare tre inspeksjonsmetoder blitt brakt frem:

- Visuell inspeksjon
  - Feltprøvd
  - Detektiv
- Kjerneprøver
  - Feltprøvd
  - Predektiv – flere prøver
- Mekanisk Resonans Teknikk, Interface Wave Method
  - Konseptfas
  - Detektiv

Inspection	Unproven Concept	Proven Concept	Validated Concept	Prototype Tested	Environment Tested	System Tested	System Installed	Field Proven
Visual inspection								D
Retrieving core sample								P
Mechanical resonance technique, Interface Wave Method		D						

# Sammendrag

Fire instrumenteringsmetoder har blitt brakt frem:

- Egenfrekvens / Egenmod
  - Feltprøvd
  - Detektiv
- Topside Forskyvning
  - Feltprøvd
  - Detektiv
- Skade Detektering
  - Konseptfas
  - Predektiv
- Instrumentering Pile-Sleeve
  - Feltprøvd
  - Predektiv

Instrumentation	Unproven Concept	Proven Concept	Validated Concept	Prototype Tested	Environment Tested	System Tested	System Installed	Field Proven
Frequency / Mode								D
Displacement								D
Damage detection		P			D			
Instrumentation pile/sleeve								P

# FROM knowledge to value

FORCE TECHNOLOGY NORWAY

[www.forcetechnology.com/no](http://www.forcetechnology.com/no)

