

# CPTu for geoteknikere

Kristoffer Kåsin

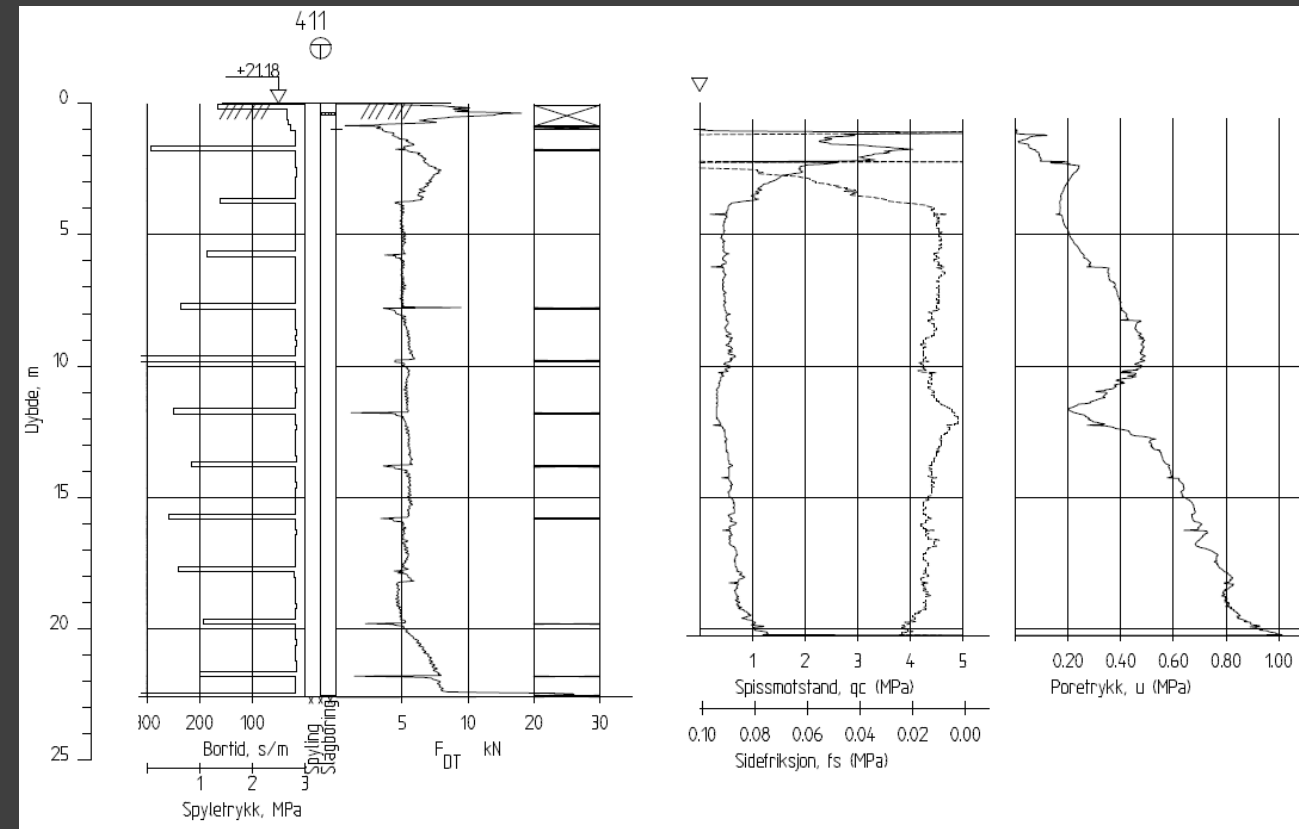
Prosjektleder/geotekniker Entreprenørservice AS

Slides er hentet fra presentasjon av Rolf Sandven, gjenbrukt fordi han gjorde en kjempegod jobb med dette tidligere.



# Innhold

- Hva er CPTu og hvorfor utføre CPTU
- Feilkilder og fallgruver
- Tolking av data blir egen presentasjon senere
- For mer info, presentasjoner fra grunnborings-skolen er mye mer utfyllende enn denne. Disse er tilgjengelig på nett.



# Hva er CPTU

- En in situ metode, sondering hvor målingene gjøres nede i grunnen.
- Sonden presses ned i grunnen med konstant hastighet, 20 mm/s,
- Er enkel å utføre i felt, og kan gjennomføres i de fleste grunnforhold, med mindre det finnes hindringer i grunnen som stein, blokk eller berg.
- Kan utføres med mange forskjellige typer rigger av forskjellig størrelse, fra små rammer i små rom til enorme borerigger/skip.
- Metoden har høy nøyaktighet og stor grad av repeterbarhet om utstyret er i orden og sonderingen utføres korrekt.
- Benyttes stort sett kun digitale sensorer, med minne og ofte trådløs overføring av data.
- Viktigste måleparametere:
  - Penetrert lengde [m], merk at dybde er penetrert lengde og vinkel kombinert.
  - Spissmotstand,  $q_c$  [MPa]
  - Sidefriksjon,  $f_s$  [kPa]
  - Poretrykk,  $u_2$  [kPa] rett over spissen, merk det kan finnes andre målesteder enn  $u_2$ .
  - Temperatur [°C]
  - Helningsvinkel fra vertikal, [°]



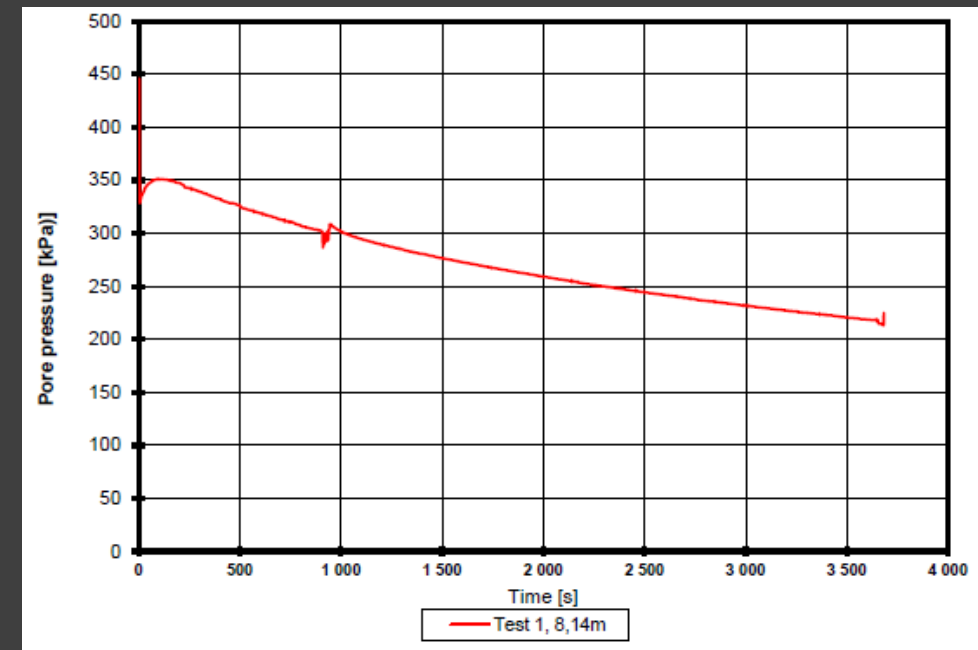
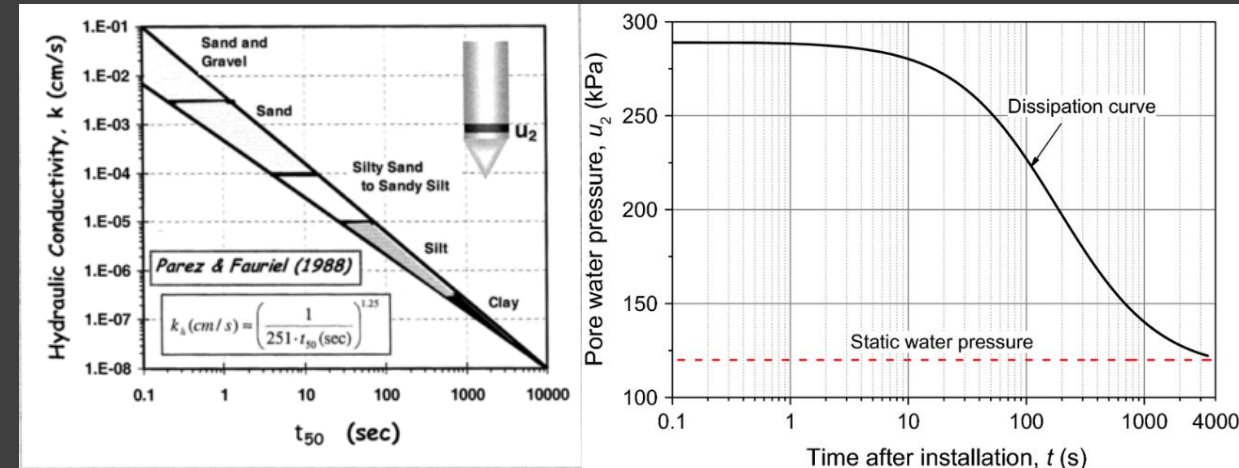
# Hensikt med CPTU

- Detaljert kartlegging av grunnforholdene
- Tolkning av jordartenes mekaniske egenskaper og tilsynelatende oppførsel.
- Herunder viktig informasjon i geotekniske problemstillinger
  - Nøyaktig lagdeling
  - Type jordart
  - Beliggenhet av grunnvannstanden
  - Bestemmelse, in situ, av skjærfasthet, deformasjonsparametere og konsolideringsparametere
  - Annet, som ledningsevne, gravbarhet.....



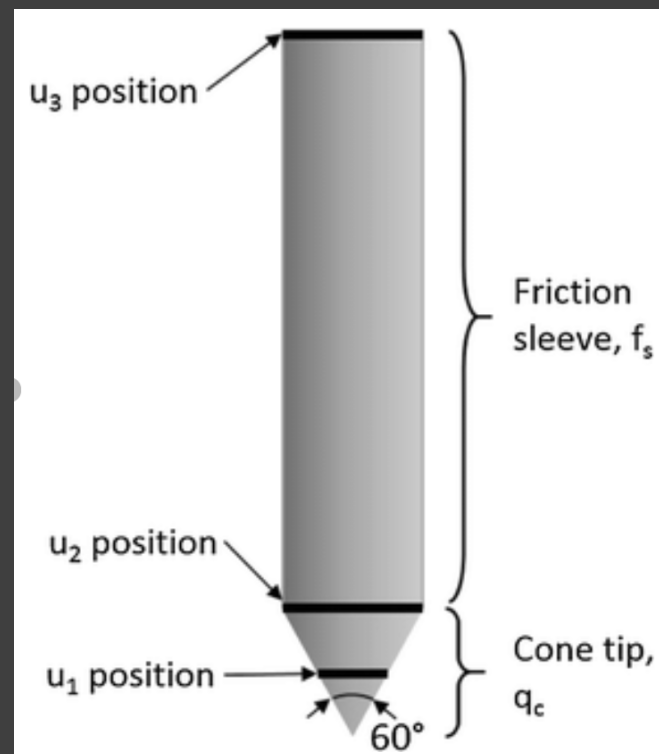
# Dissipasjonsforsøk

- Kan raskt dokumentere grunnvannstand og poretrykk mot dybden ved å stoppe sonden og logge poretrykket mot tid.
- Kan nesten gratis, kun noe riggtid, generere et poretrykksprofil med dybden ved å stoppe i lag med noe høyere permeabilitet.
- Metoden er alt for lite brukt i friksjonsjord og kan gi nyttige data også i leire.
- Ofte vanlig å stoppe ved dissipering av 50 % av poreovertrykk over in situ trykk(om dette er kjent....).
- Priscilla Paniagua på NGI vil kunne gi mye info om tester i f.eks slit
- Kan være utfordringer i bløt leire, og om det er forstyrrelser.
  - Eksempelet har tap av trykk fra start på grunn av liten bevegelse i strengen når sonderingen ble stoppet.
  - Tog kjørte forbi ved 950 sekunder ut i testen.



# Kjente tilleggsensorer/moduler

1. Vinkel/inklinasjon
2. Temperatur
3. Resistivitet
4. Geofoner/Akselerometre for Vs
5. Hydraulic profiling tool (måling av K-verdi)
6. Andre typer sensorer som finnes:
  - Magnetometermodul
  - Vingebor spiss
  - Ultrafiolett industert fluorescens modul (detektering av hydrocarboner)
  - Gamma strålings detektor modul
  - Videomodul

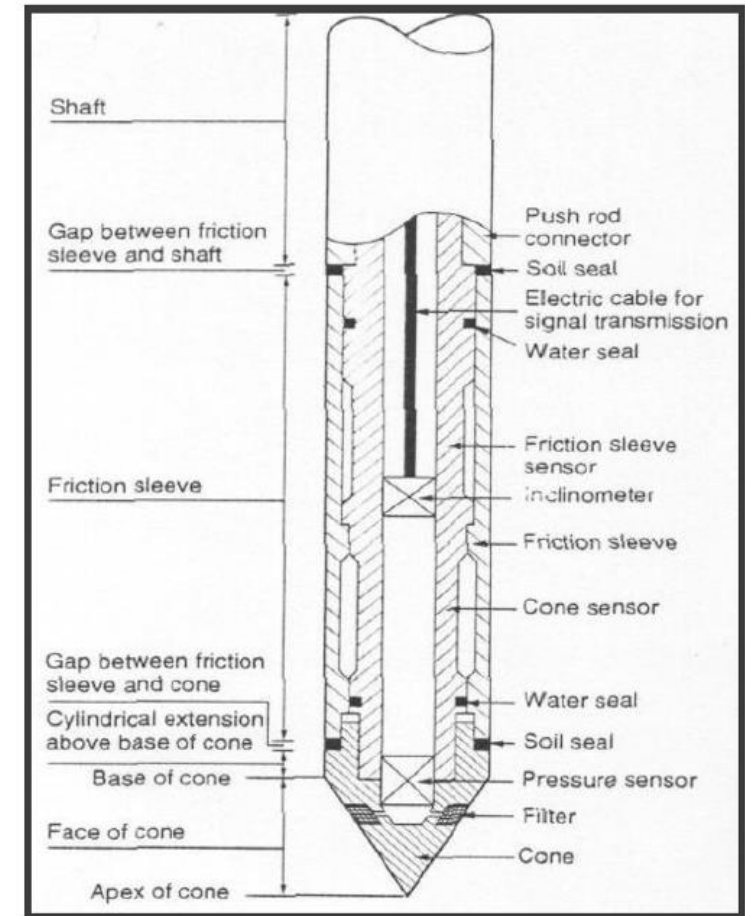
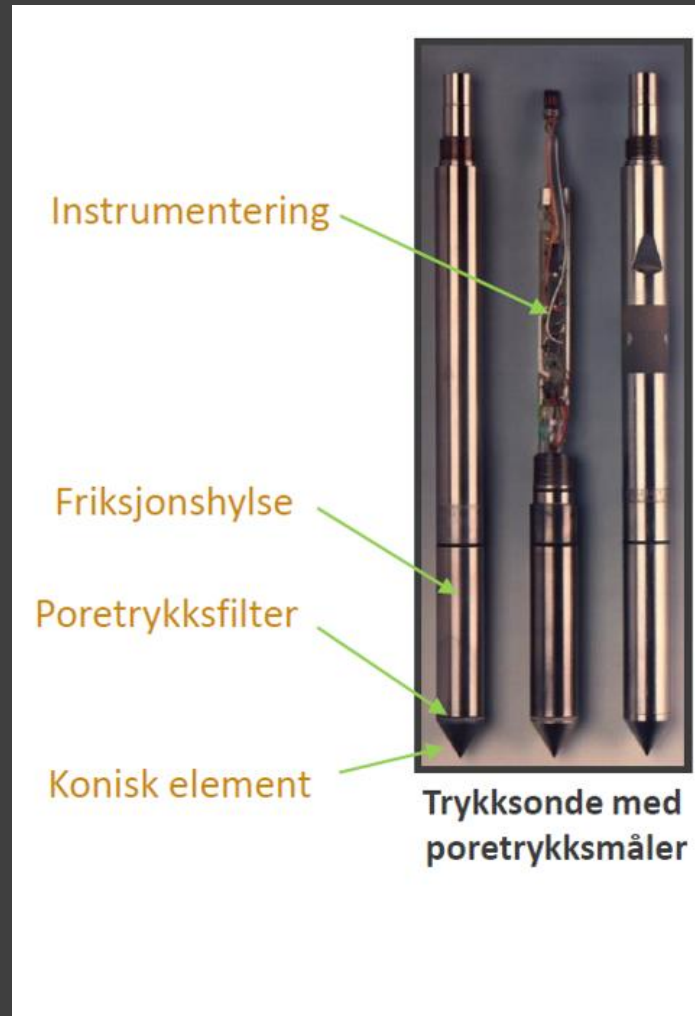


AP Van den Berg Magneto og Vingebor spiss over og under



# CPTU oppbygging

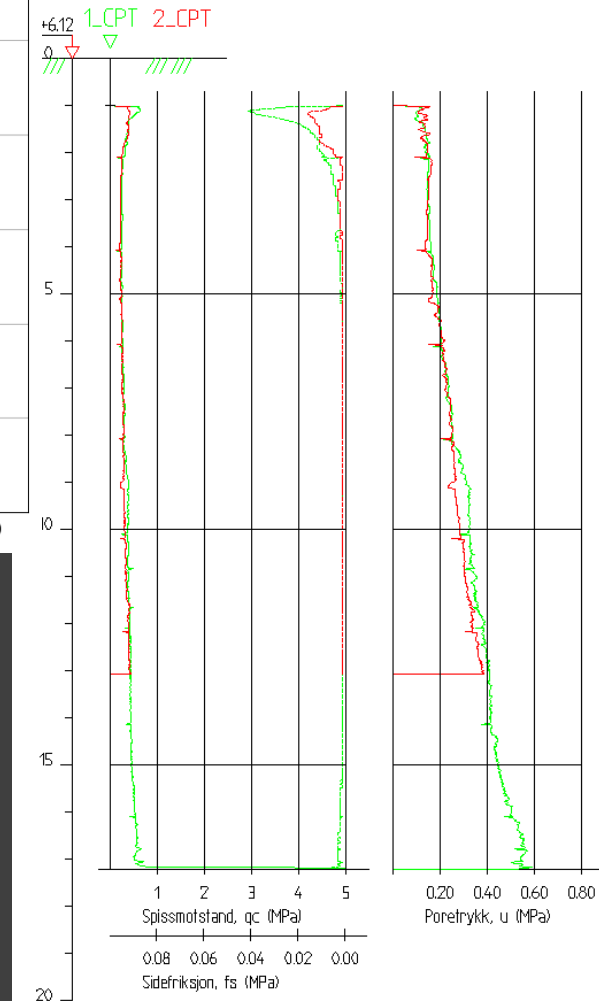
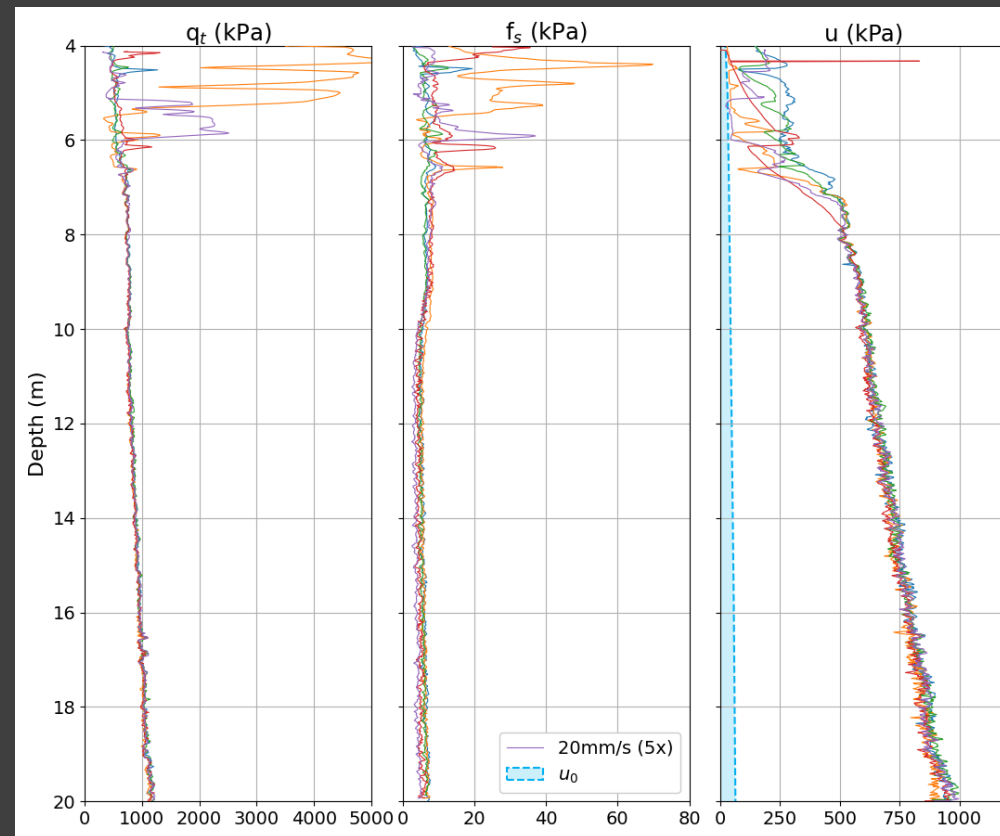
- Sonden består av sensorer, mekaniske overføringer og elektronikk for signalkonvertering.
- Tiltak for å redusere friksjon langs stengene anbefales, friksjonsring, spyling med vann eller polymer/mud.
- Sonden kan bruke alle typer stenger, spesielt om det er for trådløs overføring eller minne. Har brukt følgende for å presse CPT:
  - CPT stenger, Ø36 mm for bruk med kabel
  - Totalsonderingsstenger, uten kabel
  - Dreietrykksonderingstenger
  - Brønnboringstenger
  - Casing 142 mm



Snitt gjennom trykksonde

# Repeterbarhet

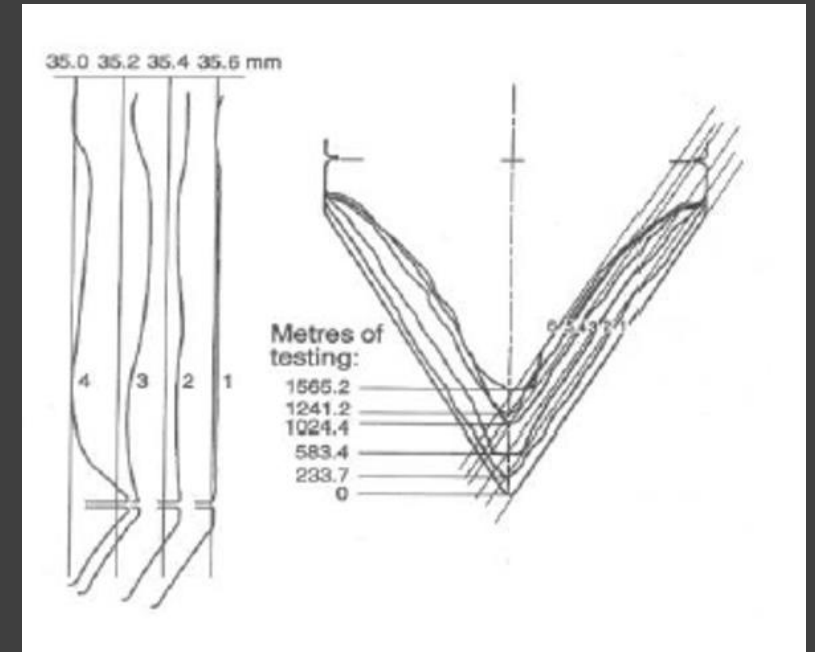
- CPTu sonderinger bør være svært repeterbare hvis testen utføres korrekt og med stabile sonder. Endringer i verdier vil da være knyttet til endringer i jorden.
- MERK at ved akustisk overføring av data så kan det være noe redusert oppløsning i dataene. Husk å etterspørre minnefilen fra sonden, den kan gi ekstra detaljer.
- Første eksempel Tiller – Flotten, NGTS testsite.
  - Tegn til mindre siltlag inne i leiren
- Andre eksempel: Onsøy, NGTS testsite
  - To sonderinger, i rødt og grønt, gjort nær hverandre på testfelt på Onsøy utenfor Fredrikstad.
  - Dataene er ekstremt nær hverandre ofte samme numeriske verdi.
  - Den eneste forskjellen er fastheten i toppen, som er mer variabel, dybden til berg, høydeforskjell innenfor noen desimeter.





# Utfordringer med CPTU sonderinger

- Tap av metting underveis i sonderingen.
- Feil med metting av filtersystem
- Nullpunktsdrift/nullavvik
- Feil kalibreringsfaktorer når sonden tas i bruk.
- Temperaturskift underveis i sonderingen
- Kryssing av tidligere borehull i grunnen
- For tidlig stopp av sondering, manglende matekraft
- Geometri som følge av slitasje

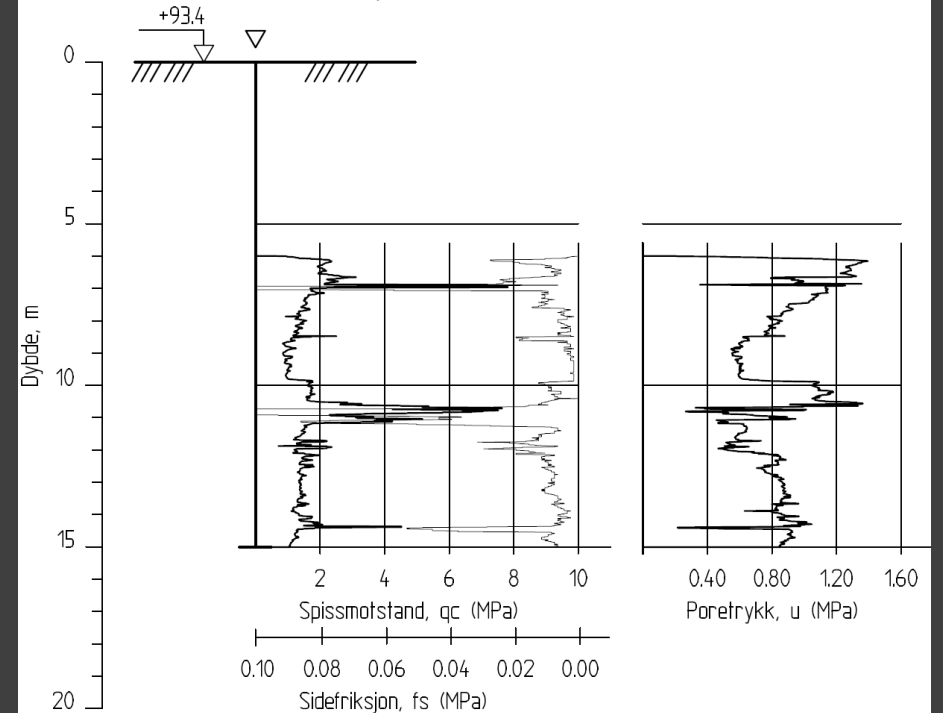
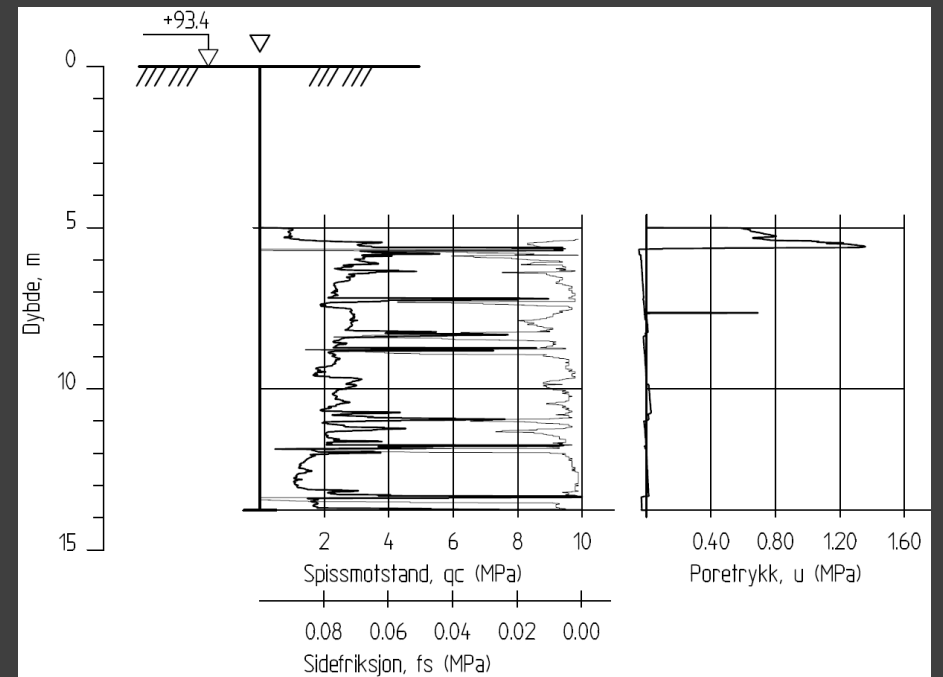


# Tap av metting

Et lag på ca 5,5 m har svært dilaterende oppførsel. Sannsynligvis så har sonden truffen en stein som lager en kavitet når sonden presses forbi.

Dette negative trykket suger ut væsken i sondens filtersystem. Væsken kommer ikke tilbake før sonden har kommet til bunnen av løsmassene.

Første sondering utfør med porøst filter, skiftet til spaltefilter på den nede sonderingen.



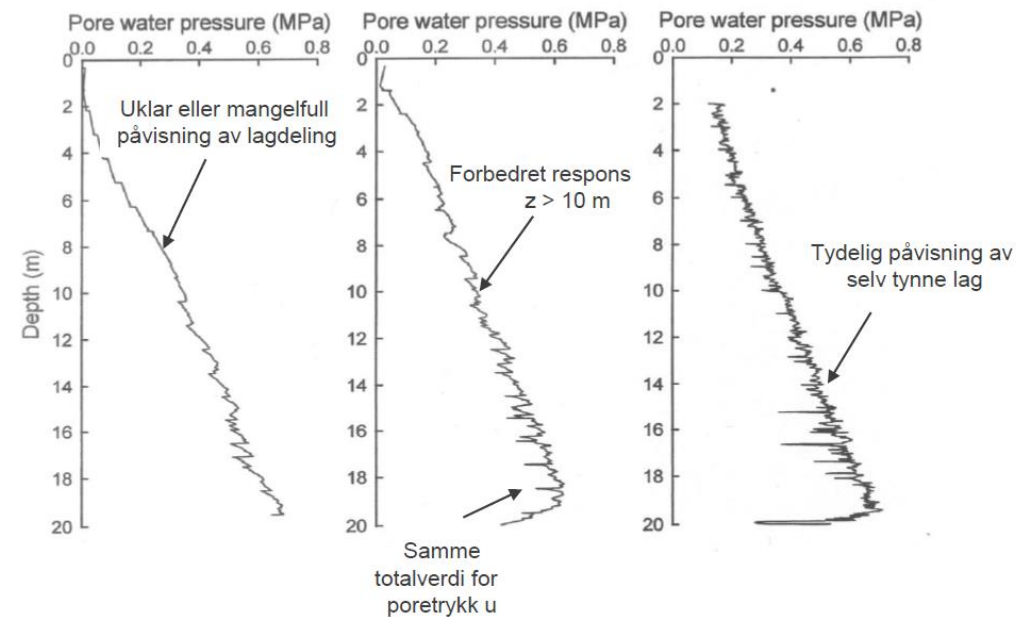
# Metting av filtersystem

- Filter må være fullstendig mettet med væske for å overføre trykket korrekt.
- Luftbobler i poretrykkfilter er kompressible og vil føre til at målt trykk ikke blir korrekt.
- Kurvene blir glattet og vil være lavere enn det reelle trykket på utsiden av filteret.
- Sonderinger som har dårlig metting av poretrykket må gjøres på nytt, siden verdiene på spissmotstanden også blir påvirket til en viss grad av poretrykksmålingen.

multiconsult.no

## Trykksondering med poretrykksmåling (CPTU) Forberedelse, utførelse og kontroll

### Metting av poretrykksmålere



Dårlig metning

God metning



Tidligere anvendt  
mettemetode

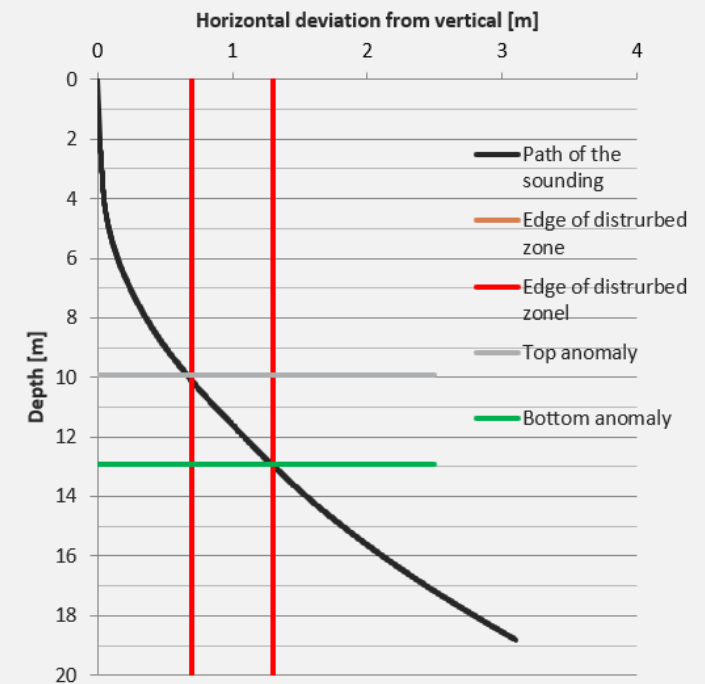
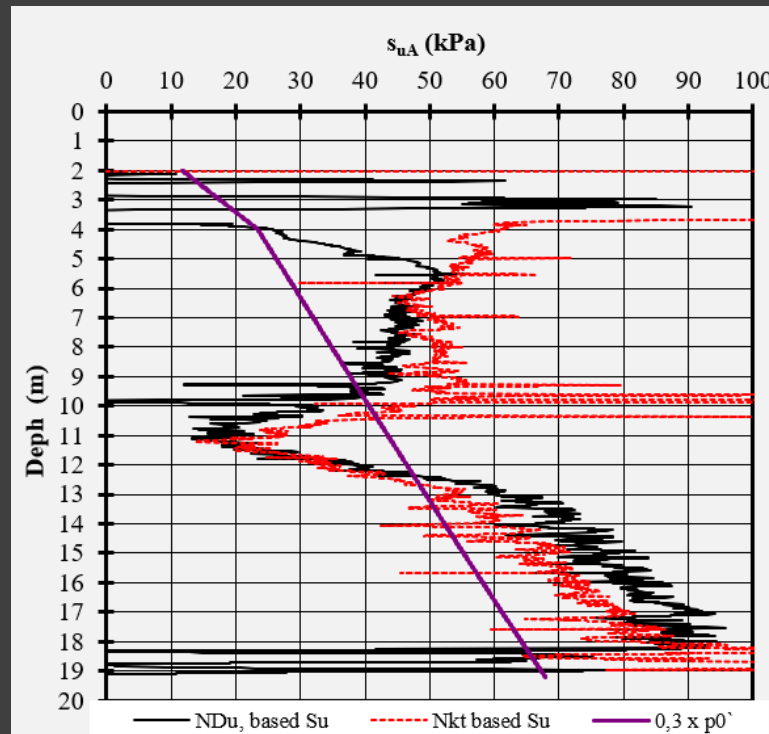
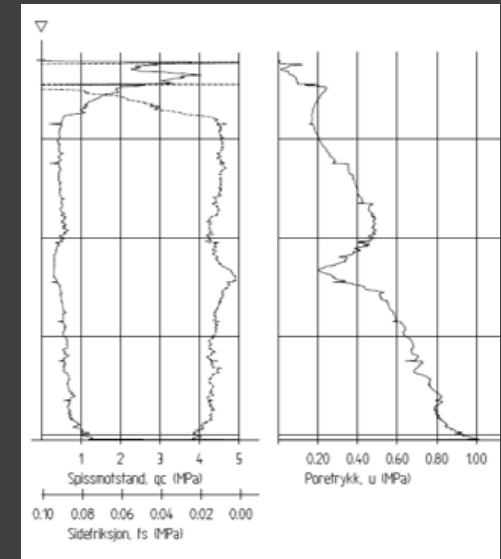
# Filtersystemet

- For måling av poretrykk så er det viktig at systemet er fullstendig mettet med væske for å overføre endringer i trykket på utsiden av sonden inn til trykksensoren.
- Trykket går gjennom et filter som kan være laget på en av to metoder:
  - Et tradisjonelt filter med porer, f.eks av sintret bronse, HDPE eller annet materiale mettet med en væske
  - En tynn spalte som er fylt med fett/seig væske
- Spaltefilter kan ha en fordel ved dilaterende jord som generer sug, da fett er stivere/seigere og blir ikke like lett sugd ut.
- Spaltefilter kan være lettere å mette i felt.
- Ferdigmatte porøse filter fungerer svært godt, og kan gi bedre respons i noen jordarter – siltig leire som eksempel.
- Anbefaler ikke bruk av vakuumblokke eller forsøk på å mette porøse filter i felt.



# Kryssing av borehull

- Kryssing av tidligere sonderinger i grunnen skjer fra tid til annen.
- Dette på grunn av vertikalavvik i sonderingene.
- Fallende motstand på alle sensorer og verdier som er under teoretisk minimum, for eksempel sammenlignet med SHANSEP eller  $0,3 \times p_0'$  indikerer dette.
- Lite realistisk at vi har skjærstyrke i jorden som er mye lavere enn  $0,3 \times p_0'$ .
- Vurder resultatene, sjekk om de er rimelige før de bruke ukritisk inn i tolkning.
  - Dette gjelder egentlig alt, også resultater fra treaks/DSS også.



# Krav til nøyaktighet

- Tabellen til høyre er i NGF melding 5.
- Sondens egenskaper(unøyaktigheter) og nullpunktavvik er slått sammen i dagens NGF melding.
- Merk at kravene har både en fast verdi og en prosentverdi, tolkes som den høyeste verdien som er påtruffet i en sondering.
- Melding 5 skal revideres, ISO standarden som den bygger på er fornyet.
- Kravene til sonde og kravene til utførelse er delt i to.
- Nye klasser, klasse 0 er opprettet for begge kategorier. Disse er strengere enn dagens klasse 1. Vurder nødvendigheten av kravene opp mot bruk.
- Tips for å unngå høye avvik, der det er viktig å unngå større avvik, gjør sonderingen kun i det bløte.
- Forbore i faste lag som tørrskorpe, stoppe før faste lag, og gjør sonderingen stegvis nedover. Faste lag kan ofte gi mer belastning på sonden. Samme med temperatur.

Anvendelses-klasse	Forsøks-type	Målestørrelse	Tillatt minimums-nøyaktighet <sup>a</sup>	Maksimum avstand mellom målinger	Bruk	
					Profil <sup>b</sup>	Tolkning <sup>c</sup>
1	TE2	Spissmotstand Sidefriksjon Poretrykk Helning Nedtrengingslengde <sup>e</sup>	35 kPa eller 5% 5 kPa eller 10% 10 kPa eller 2% 2° 0.1 m eller 1%	20 mm	A	GH
2	TE1 TE2	Spissmotstand Sidefriksjon Poretrykk <sup>d</sup> Helning Nedtrengingslengde	100 kPa eller 5% 15 kPa eller 15% 25 kPa eller 3% 2° 0.1 m eller 1%	20 mm	A	GH*
					B	GH
					C	GH
					D	GH
3	TE1 TE2	Spissmotstand Sidefriksjon Poretrykk <sup>d</sup> Helning Nedtrengingslengde	200 kPa eller 5% 25 kPa eller 15% 50 kPa eller 5% 5° 0.2 m eller 2%	50 mm	A	G
					B	GH*
					C	GH
					D	GH
4	TE1	Spissmotstand Sidefriksjon Nedtrengingslengde	500 kPa eller 5% 50 kPa eller 20% 0.2 m eller 2%	50 mm	A	G*
					B	G*
					C	G*
					D	G*

- A Homogen jord med meget bløt til fast leire og silt (typisk  $q_c < 3$  MPa)
- B Lagdelt jord med bløt til fast leire (typisk  $q_c \leq 3$  MPa) og middels fast sand (typisk  $5 \text{ MPa} \leq q_c < 10$  MPa)
- C Lagdelt jord med fast leire (typisk  $1,5 \text{ MPa} \leq q_c < 3$  MPa) og meget fast sand (typisk  $q_c > 20$  MPa)
- D Meget fast til hard leire (typically  $q_c \geq 3$  MPa) og meget fast, grov jord ( $q_c \geq 20$  MPa)

# Nullavvik/nulldrift, hvor finnes disse:

```
D=19.550, QC=3.8560, FS=13.7, U=102.8, TA=21.41, O=7.8, B=21, A=0.00, %4090283
D=19.560, QC=2.5513, FS=14.2, U=125.1, TA=21.44, O=7.8, B=21, A=0.00, %4091032
D=19.570, QC=2.5513, FS=14.2, U=149.6, TA=21.44, O=7.8, B=20, A=0.00, %4091407
D=19.580, QC=2.3658, FS=14.2, U=149.6, TA=21.54, O=7.8, B=20, A=0.00, %4091843
D=19.590, QC=2.3658, FS=26.5, U=182.7, TA=21.54, O=7.8, B=20, A=0.00, %4092218, NA=-0.0034, NB=0.0, NC=-0.7, F=15, K=90
#$
0:
1:
2:
```

- Sonden startes og nullpunkt defineres.
  - Kan være i atmosfære
  - Kan være ved sjøbunn.
- Sondringen utføres, og ny avlesing gjøres for å finne endringen i nullpunkt.
  - VIKTIG at det er samme referanse. Starter en i atmosfære så avsluttes det i atmosfære. Samme med sjøbunn.
- Fint med rengjøring av sonden før nulling etter sondering. Ønskelig med samme temperatur også.
- Oppgitt som en differanse i rådatafilene, se eksempler på filer ved siden av. Eller så står verdiene som er målt direkte i header.
- Følg med på nullverdiene over flere sonderinger. De bør oscillere rundt en fast verdi.
- Store permanente endringer, offset, tyder på en skade på sonden.
- Dette er en viktig parameter å kjenne til og ha et forhold til. Tenk over når evt et avvik oppstår underveis. Er det et avvik kommet som følge at sonden er kjørt inn i morene?

```
,K=90,NA=0.106,NB=-2.1,NC=-6.799
```

```
,HT=119.6 11542.0 172.3 112.8 11648.0 170.2,
```

## Nyere Geotech sonder (firesifret sondenummer):

- NA (MPa) – Spissmotstand
- NB (kPa) – Sidefriksjon
- NB (kPa) – Poretrykk

## ENVI sonde med G1 loggesystem (fem sifret sondenummer):

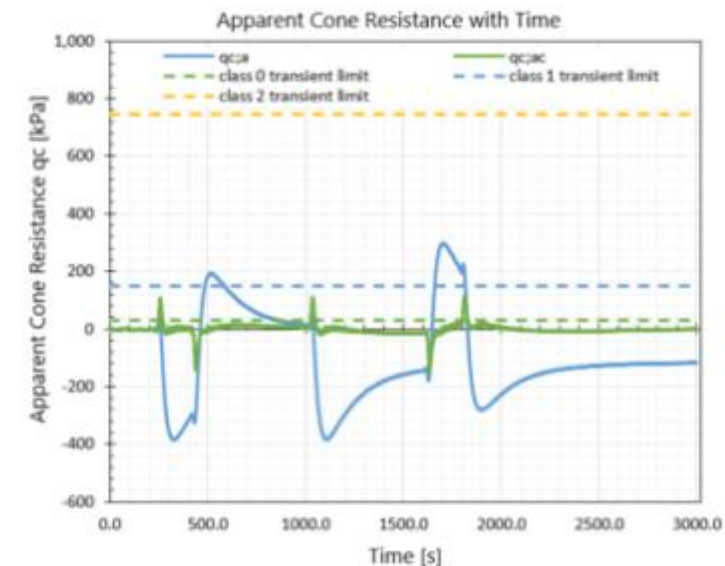
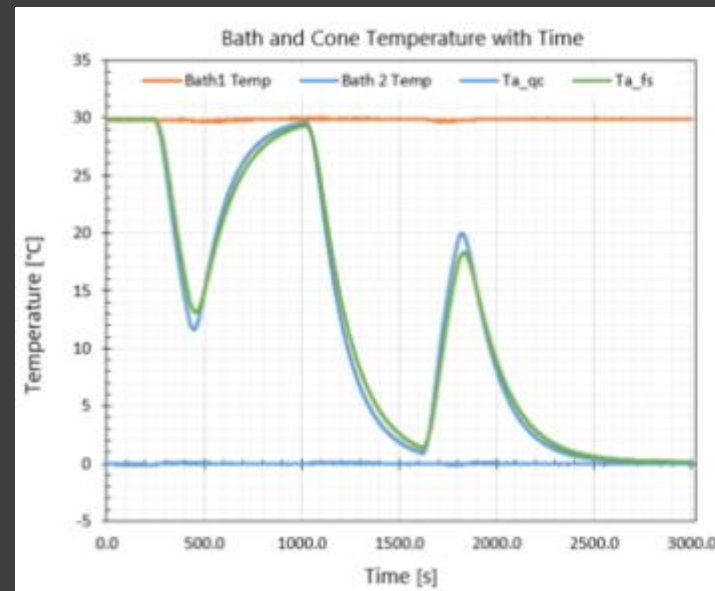
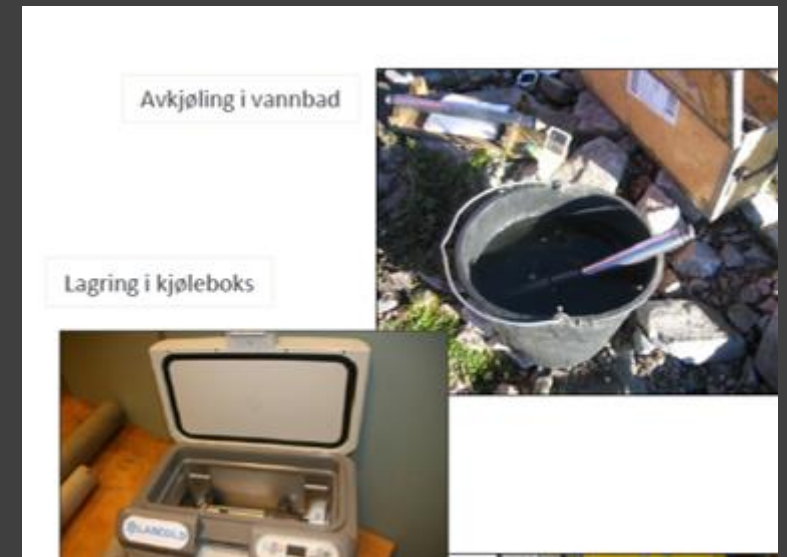
- NA (MPa) – Spissmotstand
- NB (kPa) – Sidefriksjon
- NB (kPa) – Poretrykk
- HT (Poretrykk før, spiss før, friksjon før, poretrykk etter, spiss etter, friksjon etter)

## ENVI sonde med DMON loggesystem (fem sifret sondenummer):

- HT (Poretrykk før, spiss før, friksjon før, poretrykk etter, spiss etter, friksjon etter)

# Årskak til avvik: temperatureffekter

- Stor endring i temperatur underveis i sonderingen kan føre til store avvik i målinger
- Det samme gjelder om det er store temperaturgradienter i selve sonden.
- Sonder kan bli svært varme om de presses gjennom sand, spesielt om det er umettet jord.
- Sondene bør være temperert til jordens temperatur ved start sondering. F.eks i en bøtte med vann som har nær 6 – 7 grader temperatur.
- Data fra Lankelma sin kalibrering av sonde er vist for temperatureffekt på deres sonder.
- Grafen til høyre viser tilsynelatende spissmotstand før og etter korreksjon for temperatureffekt. Skulle vært null hele veien, men gradientene er vanskelig å kompensere for.





# Temperatur

Stort i sett inkludert i alle sonder

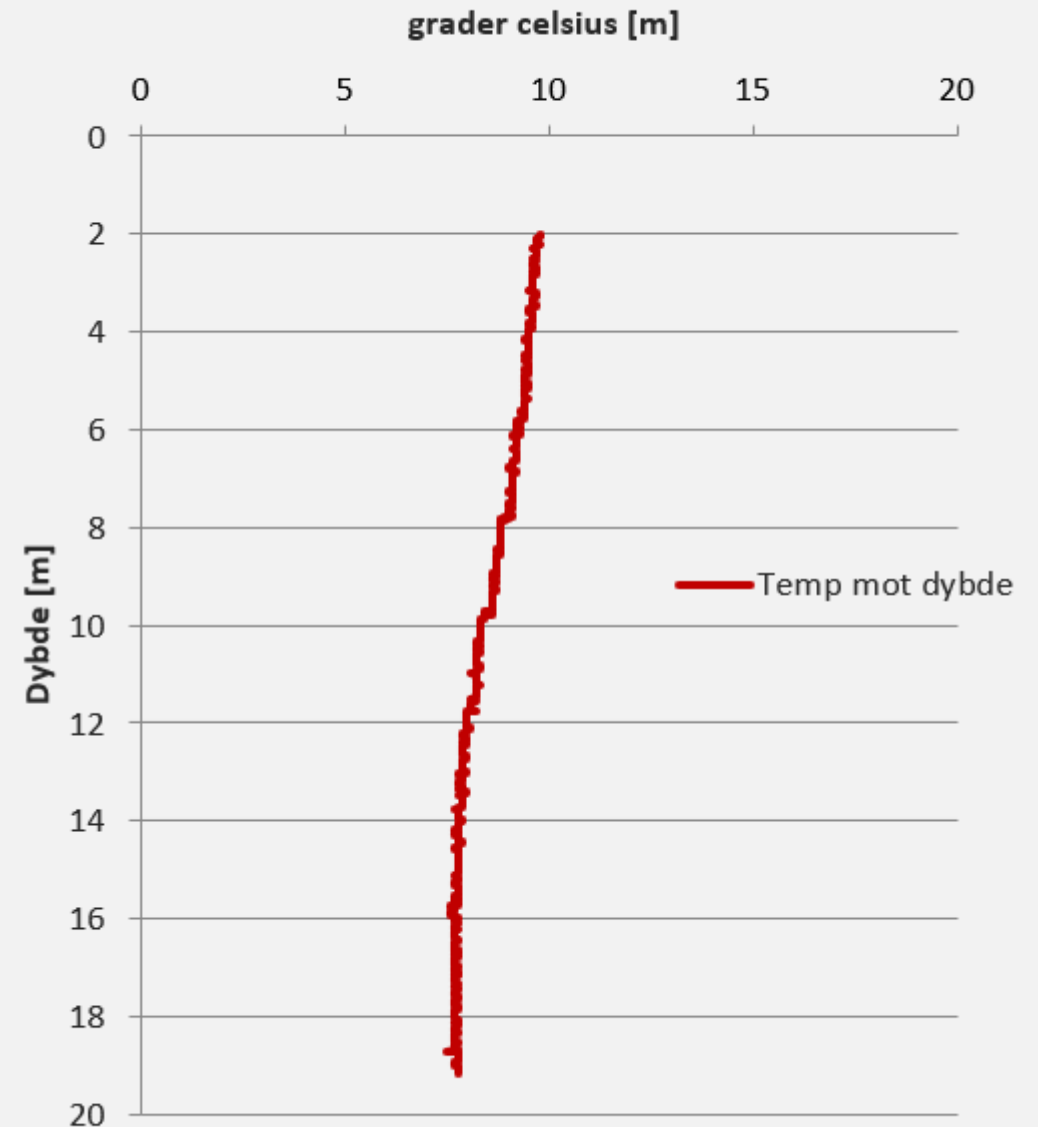
Brukes sjelden til så mye. En kontrollparameter, store sprang i verdiene kan tyde på en sonde som ikke har vært temperaturstabil ved oppstart av sonderingen.

Kan dokumentere store temperaturgradienter i sonden, dersom dette er tilfellet. Kan bli svært varmt ved sondering i fast sand.

Detektering av frost er mulig

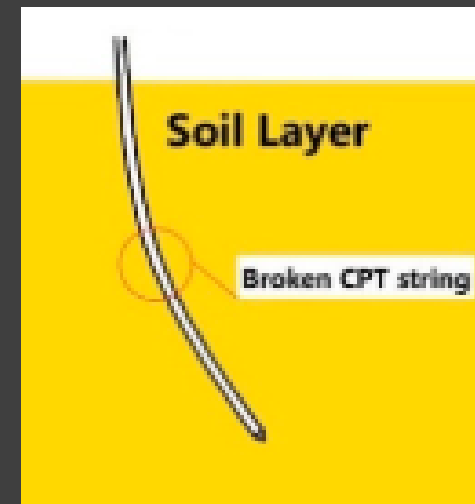
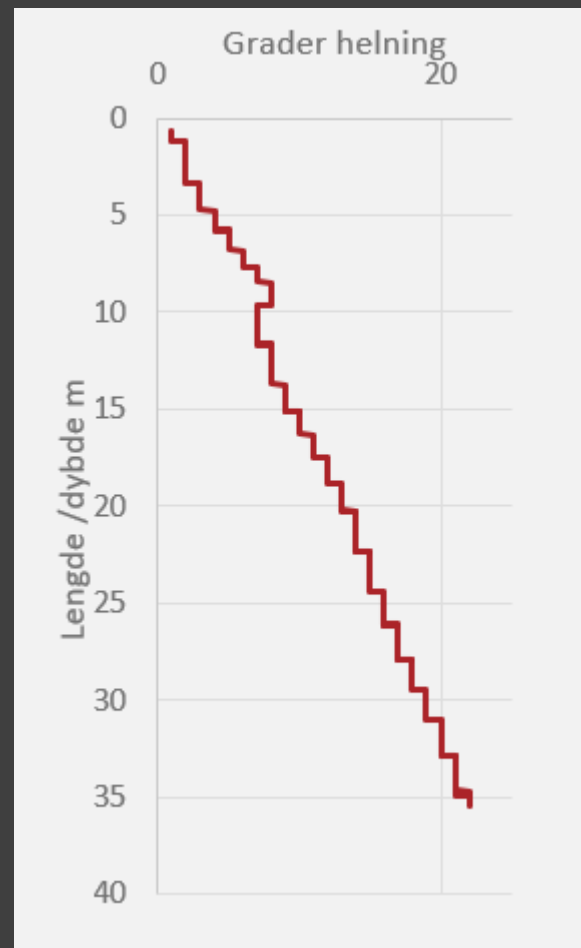
Jord i Norge har temp rundt 5 - 10 grader

## Målt temperature fra CPTU



# Inclinasjonsmåling/Vinkelmåling

- Kan brukes til å følge banen til sonden.
- Noen sonder har to sensorer, som startes i mot en gitt himmelretning.
- Krav til å måle vinklen, men kravet er at sensoren skal ha bedre nøyaktighet enn 2 grader, ikke krav om at vertikaliteten skal være bedre enn 2 grader.
- Standarden sier at det skal stoppes på 15 grader, men dette er skrevet inn for å hindre skader på utstyret. Det går ofte bra å gå til større vinkler, så lenge det ikke er brå endringer. 25 grader har gått helt fint, så lenge det er dypt nede.
- Viktig å korrigere for helning på dybde, på sonderingen så måles det kun penetrert lengde, ikke dybde. Du må korrigere dette selv med Geotech eller ENVI systemer.



# Kalibreringsverdier

- I neste versjon av CPTu standarden så vil det skilles mellom sonden sin klasse og utførelsen. Feilkildene skal ikke legges sammen slik som de gjøres nå.
- Kalibrering gjøres hos produsent og skal gjøres med jevne intervaller og ved mistanke om overbelastning.
- Ny kalibreringsstandard er mye strengere enn den gamle og ny sondeklasse. Mange flere steg, og krav til metode. Bør få ganske like ark.
- Sonden blir kalibrert og kalibreringsverdiene legges inn manuelt i systemet. Disse verdiene representerer overgangen i AD konverteringen. DSV den tar målingene i mV og gjør de over til digitale verdier i kPa/MPa.
- Feil innlegging av verdiene vil skifte data og gjøre datasettet ubrukelig.
- Arket er veldig viktig for geotekniker for å bruke korrekte verdier i tolkning, spesielt area factor, a.
- Se også oppløsning til målingene, svært små steg i moderne sonder.

CALIBRATION CERTIFICATE FOR CPT PROBE 4866		
Probe No	4866	
Date of Calibration	2016-01-27	
Calibrated by	Joakim Tingström.....	
Run No	167	
Test Class:	ISO 1	
Point Resistance		
		Tip Area 10cm <sup>2</sup>
Maximum Load	50	MPa
Range	50	MPa
Scaling Factor	<b>1609</b>	
Resolution	0,4742	kPa
Area factor (a)	0,847	
ERRORS		
Max. Temperature effect when not loaded	18,955	kPa
Temperature range 0 -40 deg. Celsius.		
Local Friction		
		Sleeve Area 150cm <sup>2</sup>
Maximum Load	0,5	MPa
Range	0,5	MPa
Scaling Factor	<b>4079</b>	
Resolution	0,0094	kPa
Area factor (b)	0	
ERRORS		
Max. Temperature effect when not loaded	0,401	kPa
Temperature range 0 -40 deg. Celsius.		
Pore Pressure		
Maximum Load	2	MPa
Range	2	MPa
Scaling Factor	<b>3885</b>	
Resolution	0,0196	kPa
ERRORS		
Max. Temperature effect when not loaded	2,61	kPa
Temperature range 0 -40 deg. Celsius.		
Tilt Angle.		
		Scaling Factor: 0,91
Range	0 - 40	Deg.
<b>Backup memory</b>		
<b>Temperature sensor</b>		
<b>Conductivity probe</b>		

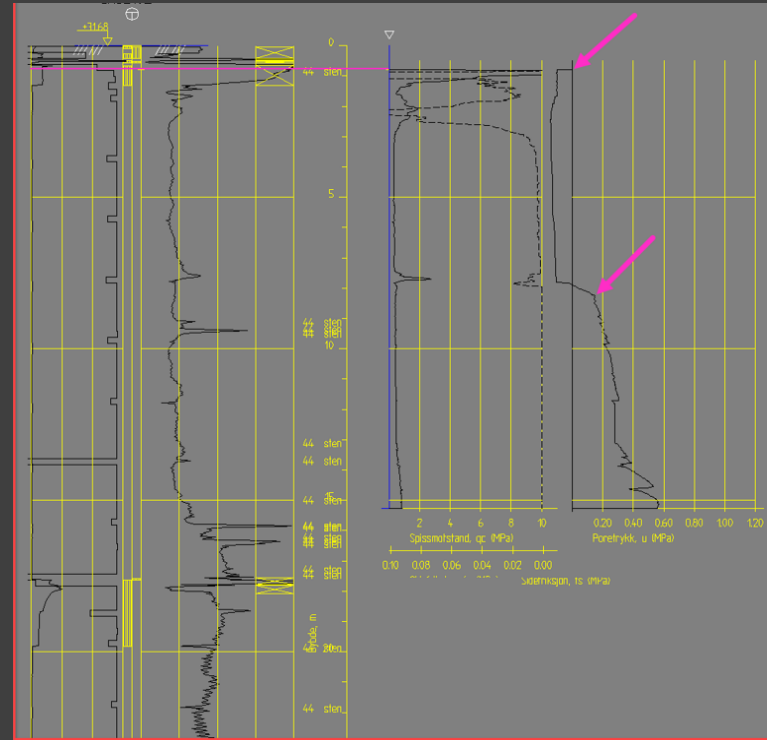
# Hvordan oppnå ønskede data

- CPT sonde går ikke automatisk i stykker om de treffer noe hardt, noen borere tror CPT i hovedsak er for bløt leire.
- De må noen ganger recalibreres, men de er designet til å brukes hardt, spesielt om en kjøper en 100 MPa sonde (10 tonn).
- Sand, grus og til dels morene er helt legitime jordarter å undersøke med CPT, men stein/blokk stopper ofte sonden – også friksjon.
- Det finnes maskiner i Norge som kan presse CPT med over 150 kN.
- Ekstra dybde kan oppnås ved å fjerne så mye som mulig av stangfriksjon. Følgende metoder kan anbefales:
  - Forboring med og evt uten polymer for å stabilisere jorden.
  - Forboring bør gjøres ned til ca 0,5 – 1,5 m mange steder. Gir ofte bedre poretryksrespons om en ikke presser i den fasteste tørrskorpen.
  - Bruk av friksjonsreducerende ring på stangen for å blokke ut hull
  - Bruk av smøring langs strengen
  - Setting av foringsrør

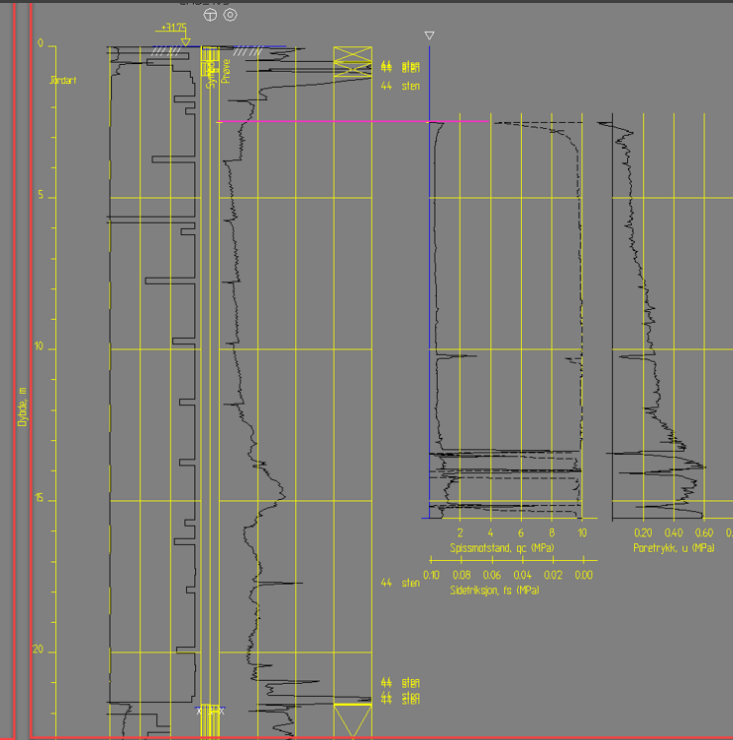


# Geoteknikers viktige oppgaver i fremskaffing av gode data

- Mottakskontroll av CPT, helst umiddelbart etter sondering.
- Plot sonderingen, sjekk om forholdene stemmer med forventet. Hvis ikke, sjekk ut om dataene stemmer.
  - Poretrykk, sjekk at det er god metning.
  - Sjekk at det ikke er store sprag underveis i homogene lag. Sjekk temperatur og helning.
  - Er verdiene rimelige?
  - Er ønsket dybde oppnådd
- Sjekk nulldrift under sonderingen, dette tar noen få sekunder
- Om du ikke har PC eller plotteprogram, få grunnborer til å sende deg bilder av skjermen på riggen som alternativ.
- Det er kjapt og billig å repetere sonderinger mens riggen er på stedet, du som geotekniker må være tilgjengelig når riggen gjør jobben – eller så må du leve med konsekvensene av å ikke følge opp. Kostnader, kjeft og sure miner.
- Eksempel på god mottakskontroll til høyre:



Til venstre: Kun forboret 0,8 m. Fikk sug i fyllmassene som tømte filteret → verdiløs CPT



Til høyre: Forboret gjennom topplag, til ca 2,5 m dybde → god respons på poretrykk!



# SPØRSMÅL?

Bilde fra grunnboringskolen nå sist, hvor både grunnborere og geoteknikere fikk utføre CPT/løfting av borestenger.

