

Grunnvann og poretrykksmålinger



Amund Augland
Temadag - Geotekniske parametere, Trondheim 2024

Grunnundersøkelser – generelt

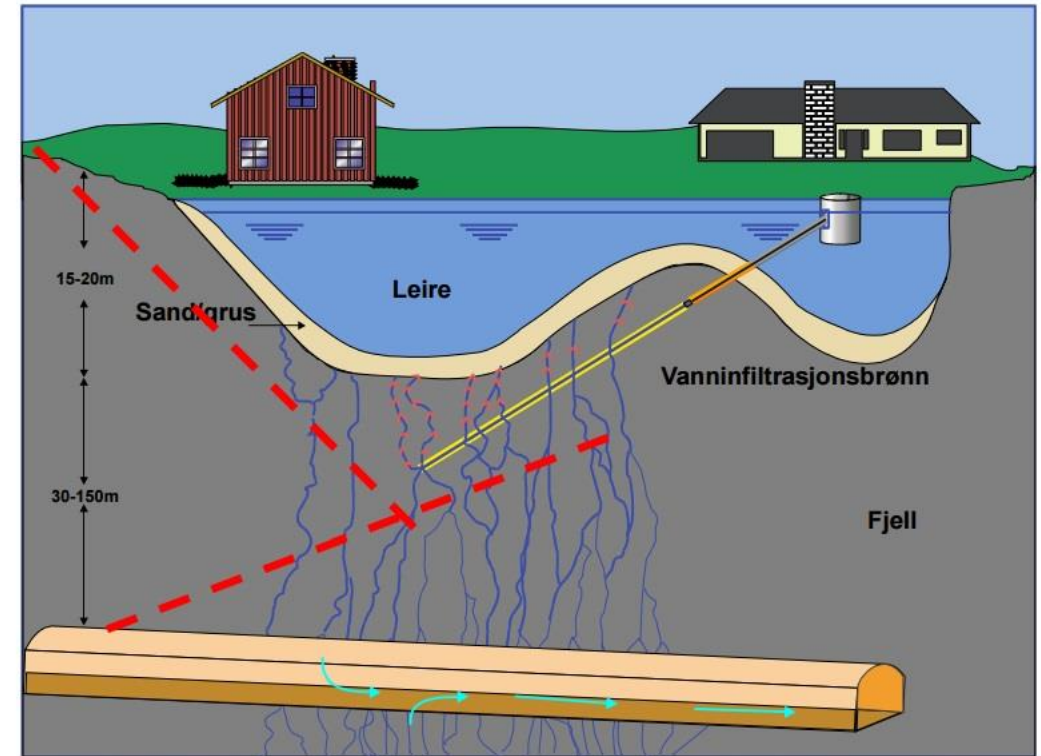
Agenda

- Planlegging av grunnundersøkelser:
 - Det er viktig å sette seg inn i underlag, samle grunnlag og å gjennomføre befaring. Er det for eksempel berg i dagen så trengs ikke boringer? Er det boret tidligere er det kanskje heller ikke behov for samme antall boringer?
 - Hva er formålet med grunnundersøkelsene, hva er problemstillingene i prosjektet, hvilken prosjektfase er det snakk om, osv. (NB: NGF Byggegruppkomiteés miniwebinar 21. mai?)
- Kommunikasjon og dialog mellom bestiller og utførende
 - Gjør det morsommere for alle parter og alle parter får samtidig bedre forutsetninger til å gjøre en god jobb.
- Oppfølging av grunnundersøkelser kan være ressurskrevende, og det må planlegges for dette hos bestiller / rådgiver
 - Når borlaget arbeider etter skiftordning og holder på utover ettermiddagen. Det er vel ikke rimelig at oppdragsgiver skal betale ventetid om boroperatører ikke får nødvendige avklaringer fra geotekniker, fordi vedkommende går hjem kl. 16?

Poretrykk og grunnvann

Agenda

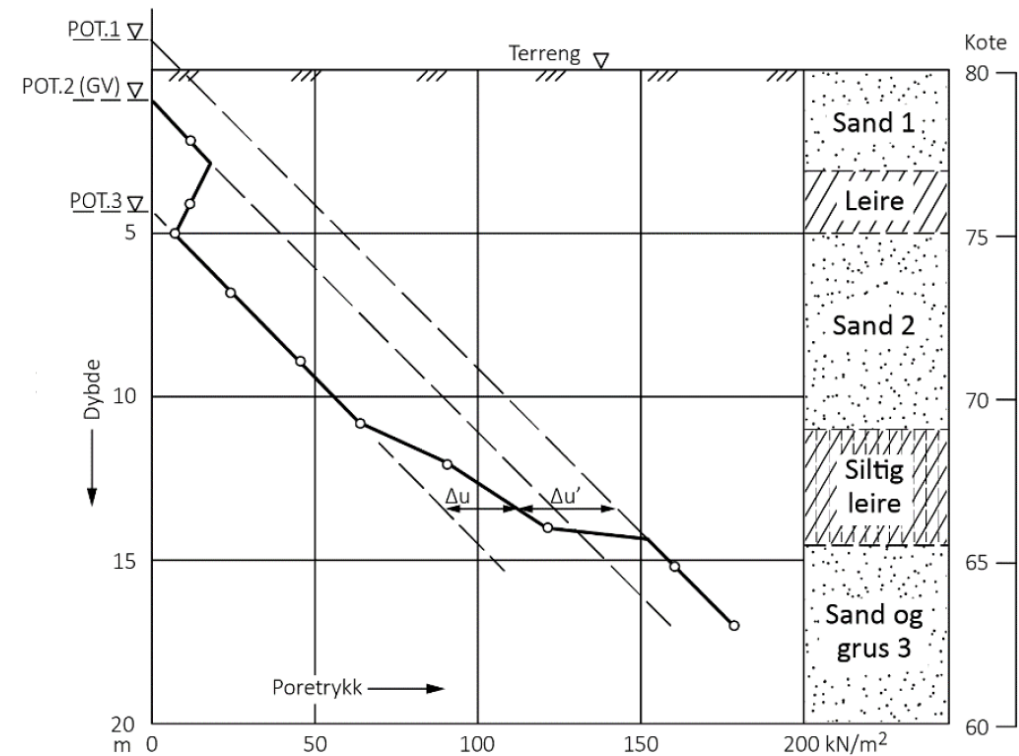
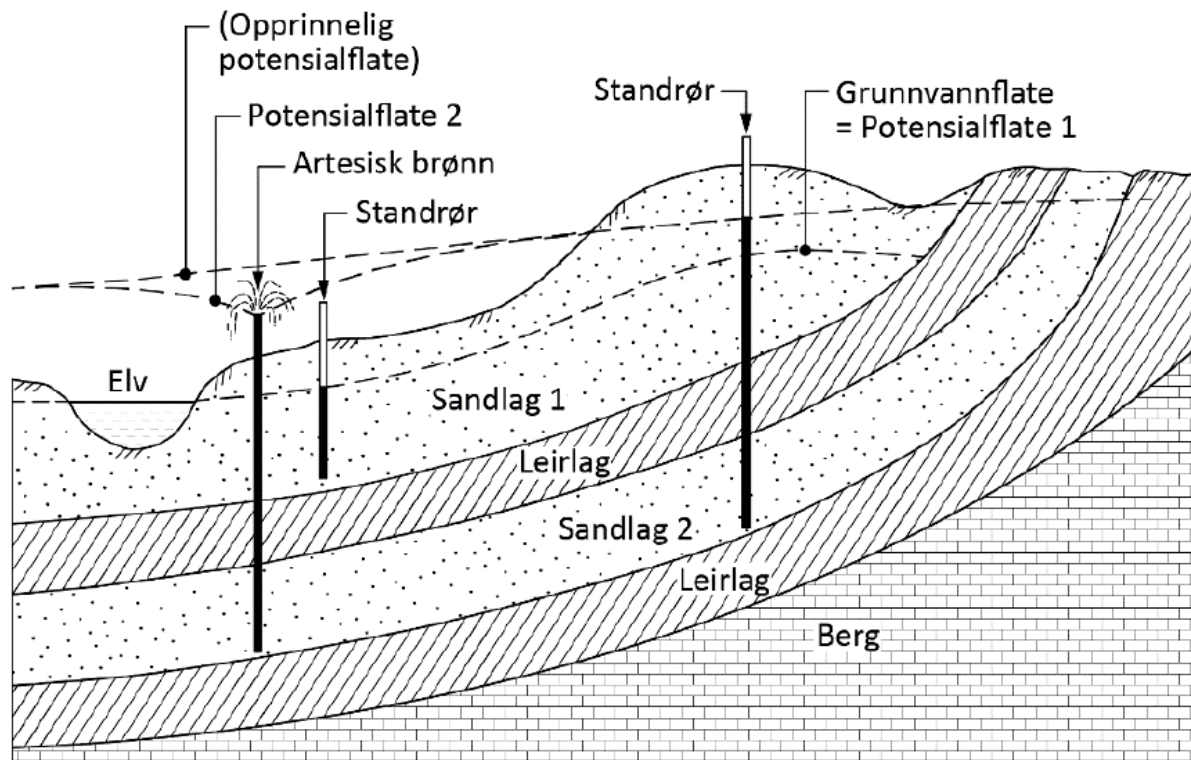
- Bakgrunn – hva er poretrykk og hvorfor måle?
- Relevante problemstillinger
- Gjennomgang av forskjellige typer poretrykksmålere, og hva som skiller de ulike typene fra hverandre
- Installasjon av poretrykksmålere
- Diverse
- For mer info om installasjon og målere: Se presentasjoner fra grunnboringskolen.



Bakgrunn for bruk av poretrykksmålere

Hva er poretrykk?

- Poretrykk er målt vanntrykk i et gitt punkt i grunnen (trykket i porevannet)
- Grunnvannstanden er det nivå i eller under terrengnivå der poretrykket er lik null (og øker fra dette nivået)



Bakgrunn for bruk av poretrykksmålere

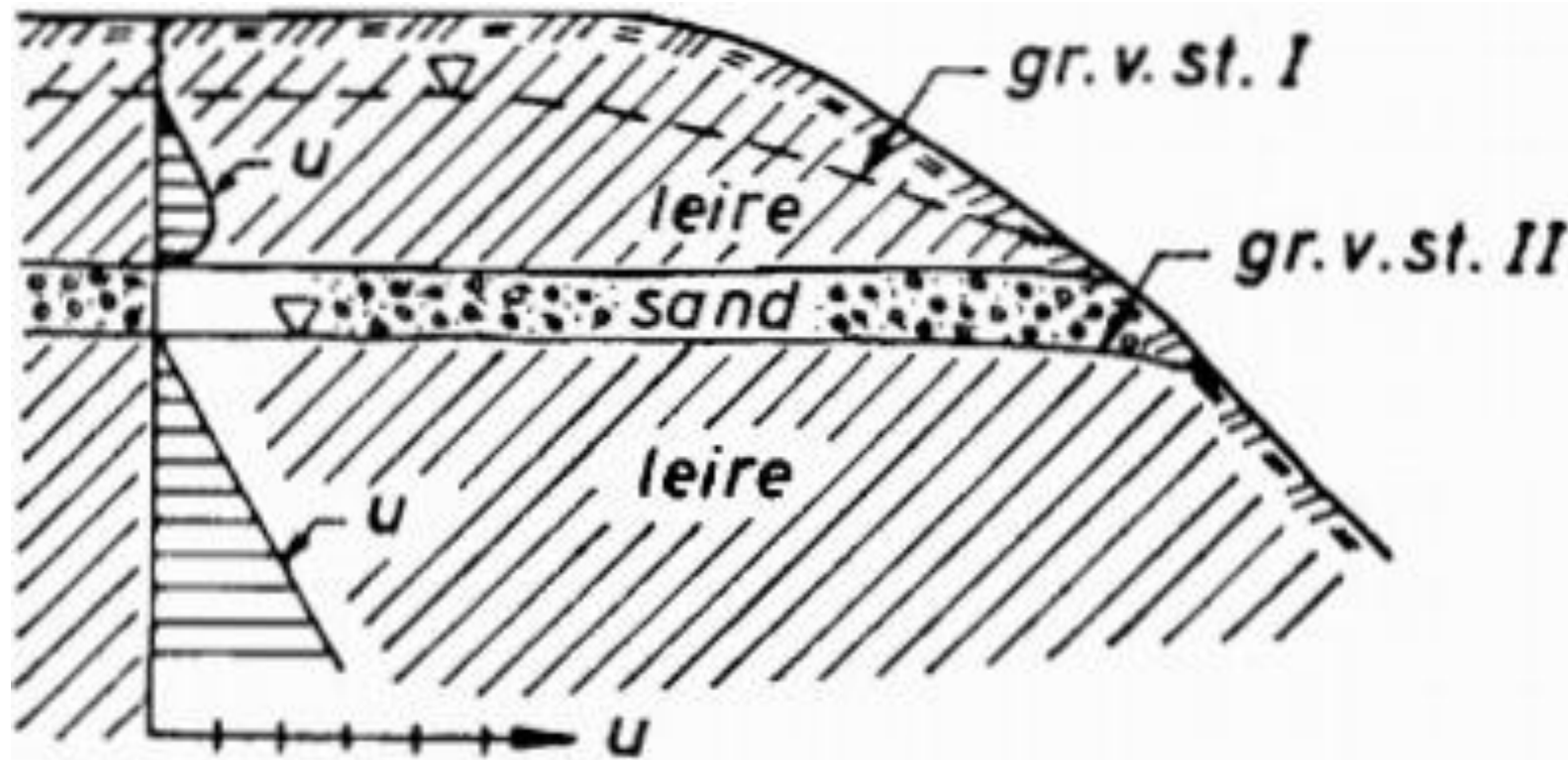
Hva er poretrykk?

- Hydrostatisk trykkfordeling er karakterisert ved at vanntrykket i enhver dybde i et punkt har samme potensialnivå/stigehøyde.
- Med poreovertrykk (Δu) menes den del av poretrykket som overstiger et visst referansetrykk, for eksempel hydrostatisk nivå. Er poretrykket mindre enn referansetrykket, kan differansen betegnes som poreundertrykk.
- Poretrykk og nulltrykknivået har ingen direkte sammenheng med vanninnholdet eller metningsgraden i jordmassen. Ofte er jordmassen vannmettet også i den kapillære sonen over grunnvannstanden.
- Artesiske poretrykksforhold: Når en potensialflate ligger høyere enn terrenget og en eventuell fri vannflate. Dette kan gi et utspring/oppkom hvis det tettende laget punkteres eller eroderes av vannstrømmen.
- For å bestemme poretrykkforholdene i grunnen må man som regel foreta poretrykkmåling i flere dybder og over en viss tidsperiode !

Bakgrunn for bruk av poretrykksmålere

Hva er poretrykk?

- To nivåer for grunnvannstand
- “Hengende poretrykk”



Poretrykksmålere

NGF melding 6

MELDING NR. 11 UTGITT 1982, REVIDERT 1989, 2016


NGF MELDING 6 VEILEDNING FOR MÅLING AV GRUNNVANNSTAND OG PORETRYKK



NORSK GEOTEKNISK FORENING
NORWEGIAN GEOTECHNICAL SOCIETY

1

....og ISO-standard

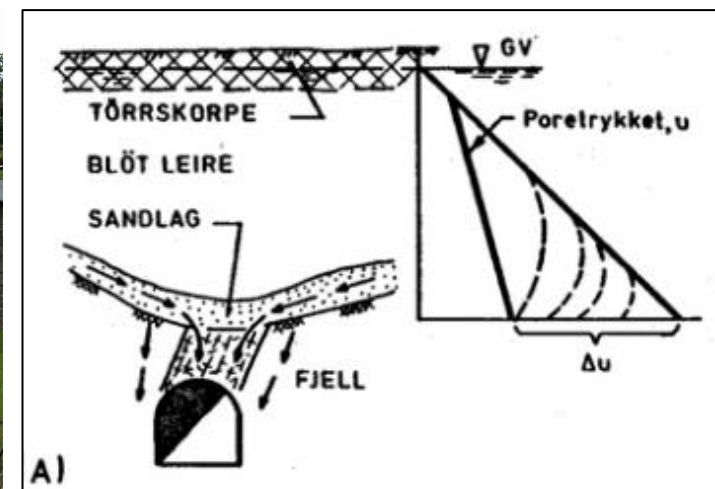
Norsk Standard	NS-EN ISO 18674-4:2020
	Publisert: 2020-07-30 Språk: Engelsk
	Geotekniske felt- og laboratorieundersøkelser Geoteknisk overvåking ved feltinstrumentering
	Del 4: Måling av porevanntrykk Piezometre (ISO 18674-4:2020)
	<i>Geotechnical investigation and testing Geotechnical monitoring by field instrumentation</i>
	<i>Part 4: Measurement of pore water pressure Piezometers (ISO 18674-4:2020)</i>
	Referansenummer: NS-EN ISO 18674-4:2020 (en) © Standard Norge 2020



Bakgrunn for bruk av poretrykksmålere

Hvorfor måler vi poretrykk?

- Stabilitetsforhold
 - Skråninger
 - Byggeprosjekter (pelearbeider)
- Setninger
 - Byggeprosjekter
 - Tunnelbygging
- Tolkning!
 - CPT-tolkning
 - Konsolideringsspenninger i treaks!



Bakgrunn for bruk av poretrykksmålere

Hvorfor måle poretrykk?

- Varsko: Poretrykksenkning fra energibrønner

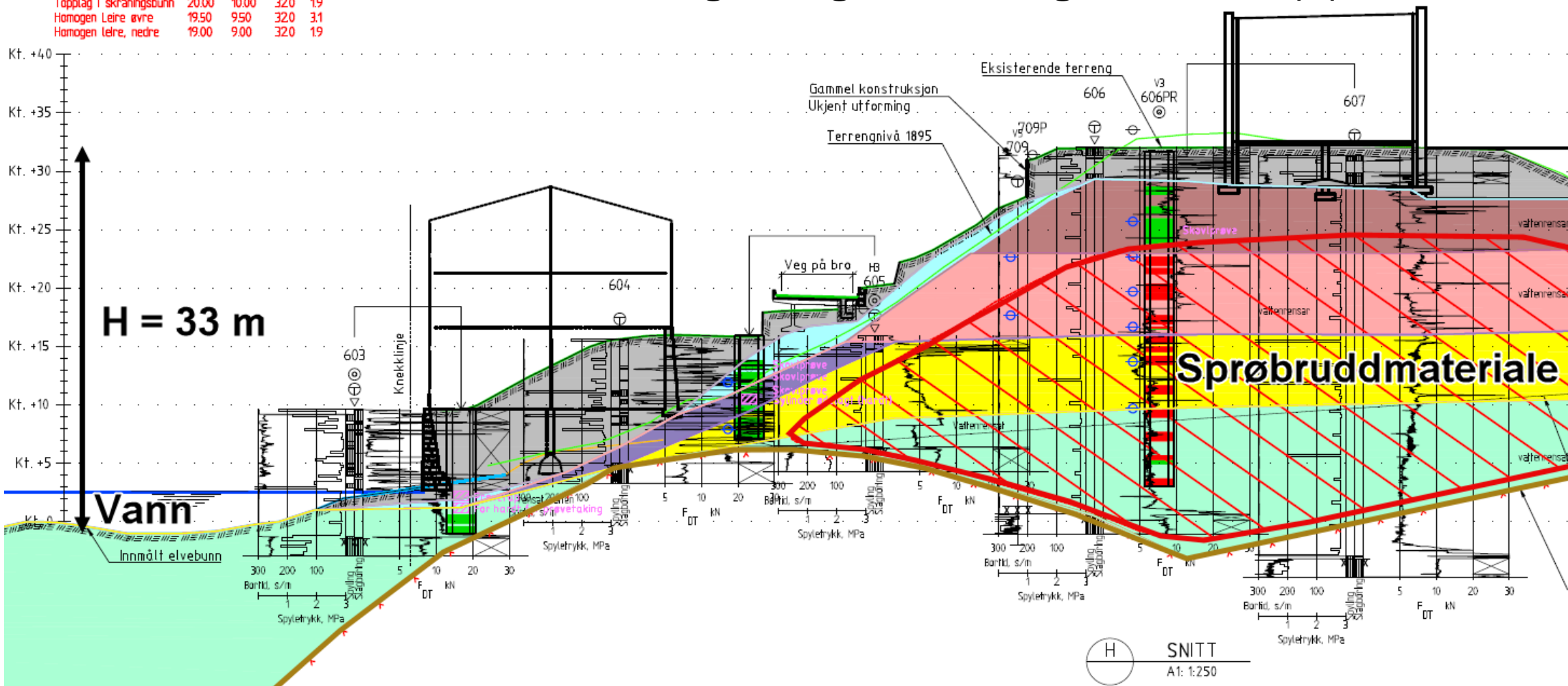


Poretrykk i stabilitetsberegninger

Eksempel

Material	Un.Weight	Sub.Weight	Fi	C'	C	Aa	Ad	Ap
Topplag gode fyllmasser	20.00	10.00	38.0	11.7				
Gamle fyllmasser	19.00	9.00	33.0	6.5				
Moreneleire, topp	22.20	12.20	33.0	6.5				
Moreneleire, midt	21.50	11.50	32.0	6.0				
Topplag i skråningsbunn	20.00	10.00	32.0	19				
Homogen Leire øvre	19.50	9.50	32.0	3.1				
Homogen leire, nedre	19.00	9.00	32.0	19				

Snitt med lagdeling – skråningsstabilitet (F) ?

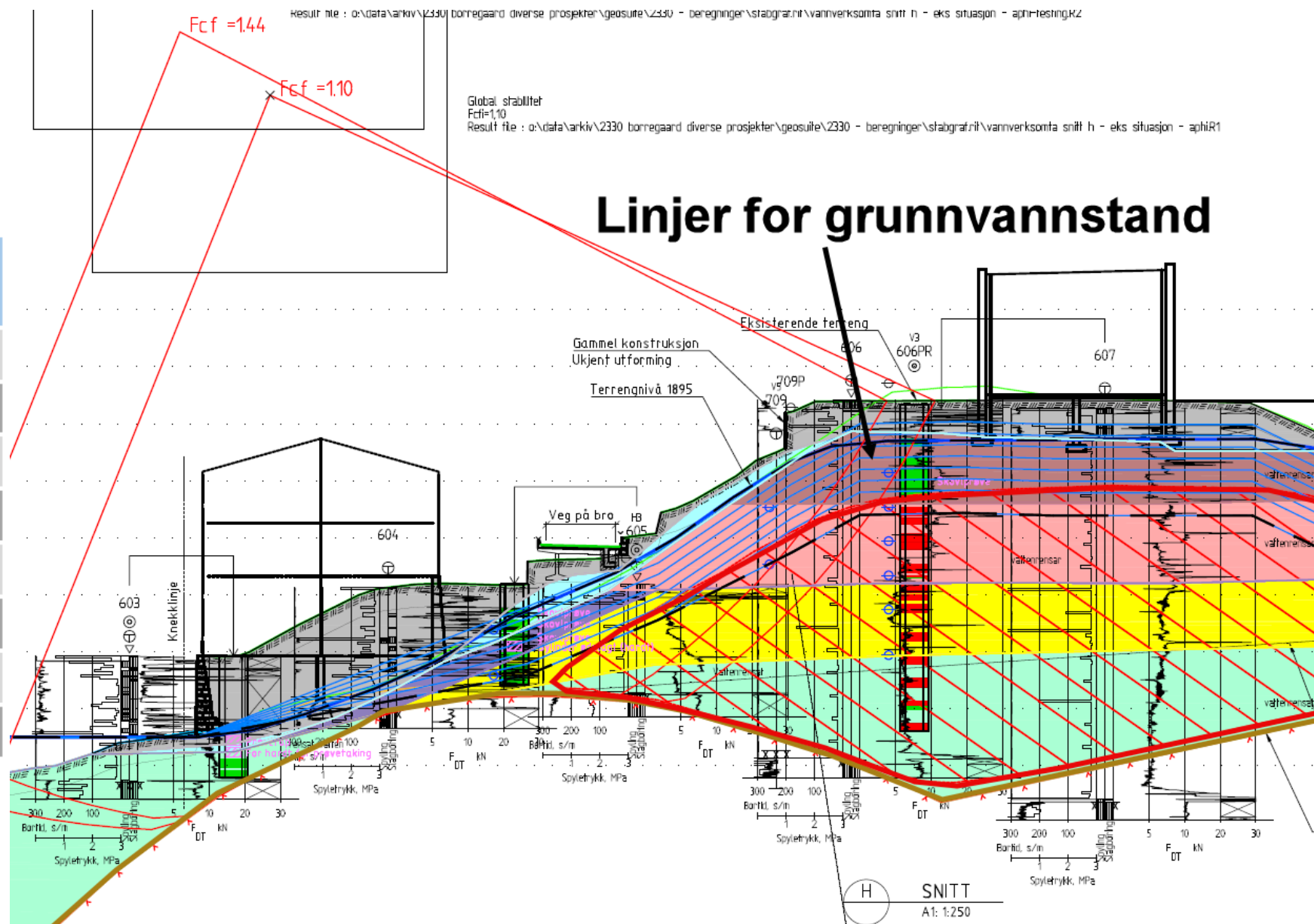


Poretrykk i stabilitetsberegninger

Eksempel

Beregnet skråningsstabilitet ved hydrostatisk poretrykk

Grunnvann i 2 m dybde	$F_{c\phi} = 1,04$
Grunnvann i 3 m dybde	$F_{c\phi} = 1,11$
Grunnvann i 4 m dybde	$F_{c\phi} = 1,17$
Grunnvann i 5 m dybde	$F_{c\phi} = 1,23$
Grunnvann i 6 m dybde	$F_{c\phi} = 1,30$
Grunnvann i 7 m dybde	$F_{c\phi} = 1,35$
Grunnvann i 8 m dybde	$F_{c\phi} = 1,40$
Grunnvann i 10 m dybde	$F_{c\phi} = 1,44$



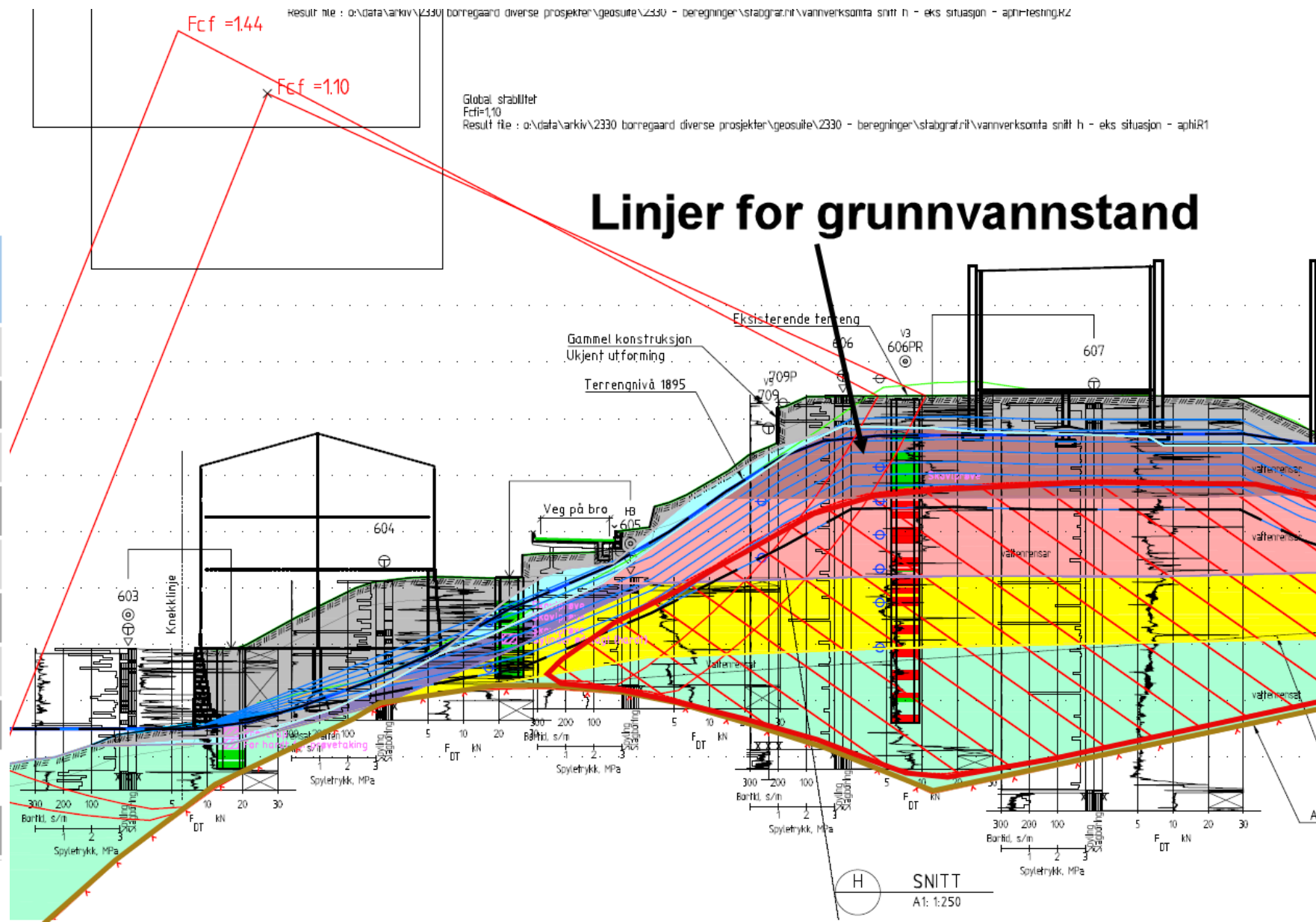
Poretrykk i stabilitetsberegninger

Eksempel

Beregnet skråningsstabilitet ved hydrostatisk poretrykk

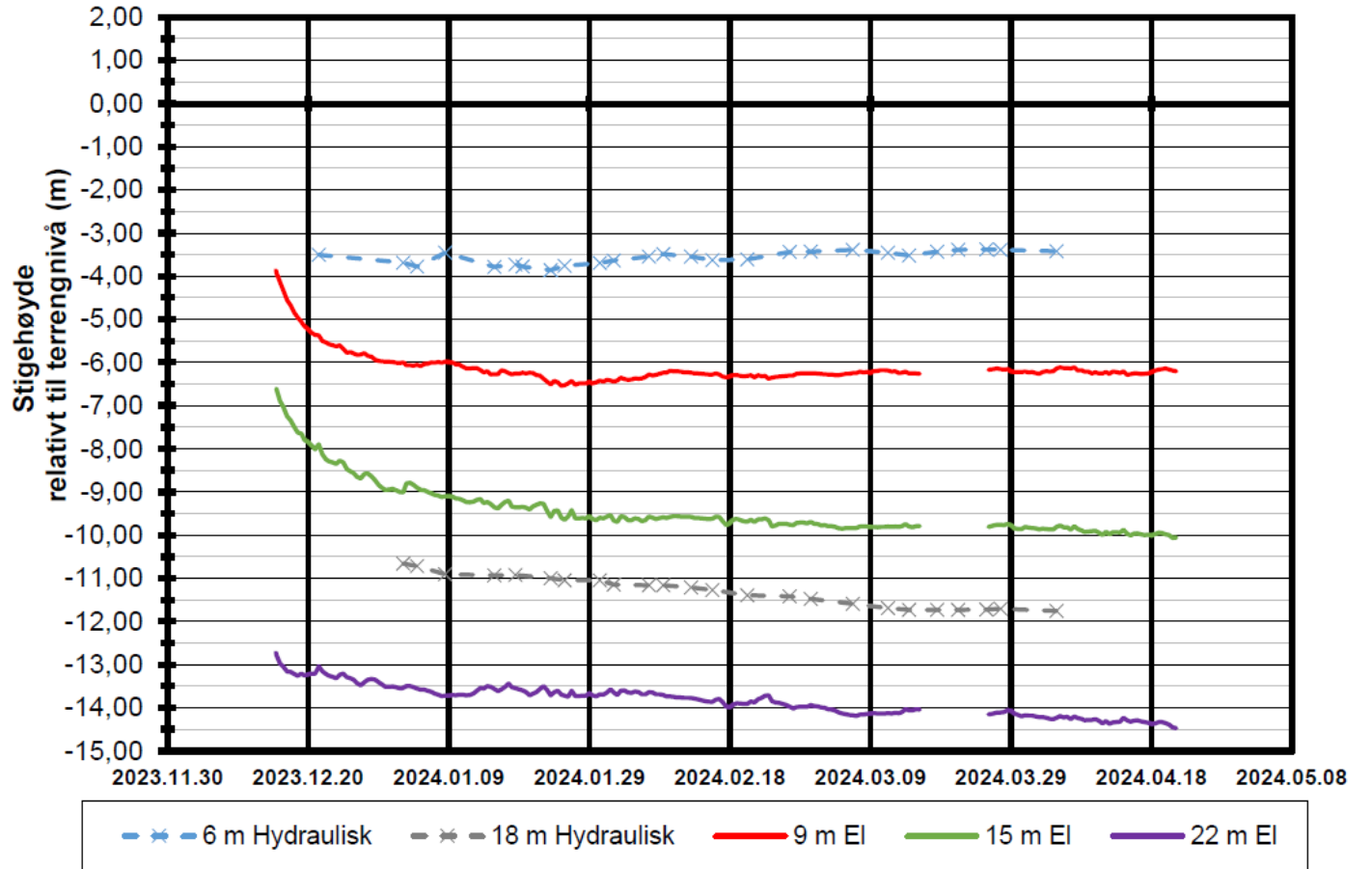
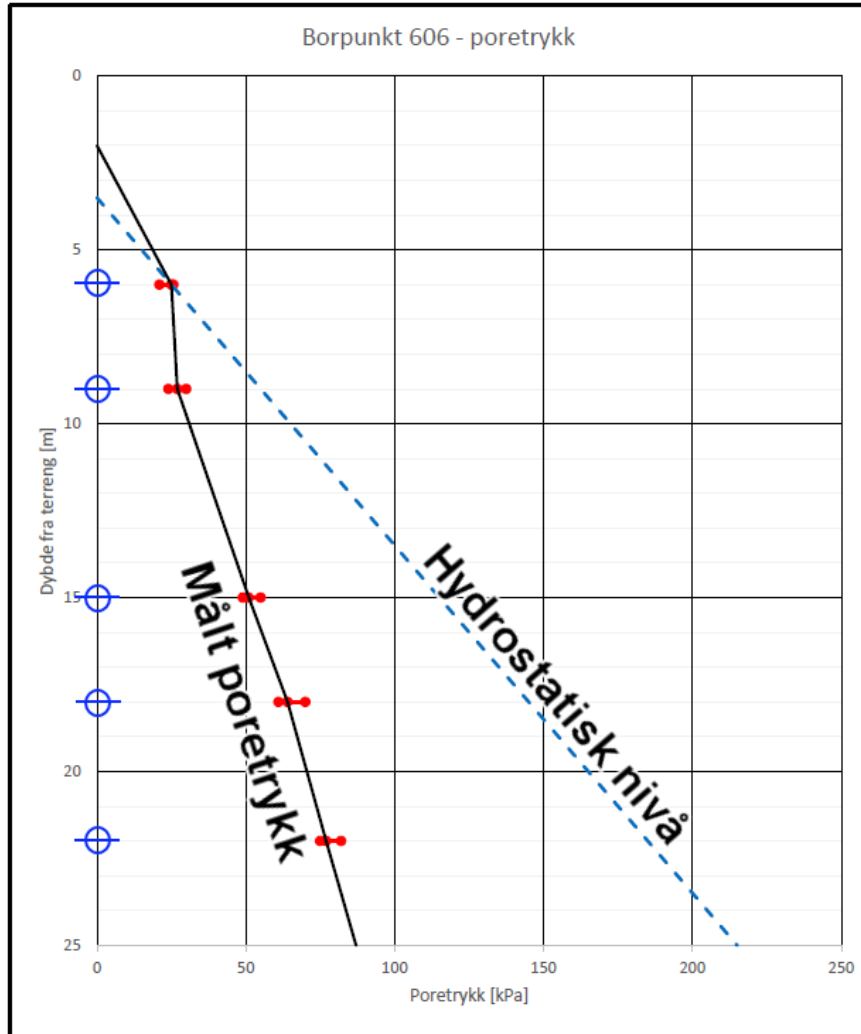
Grunnvann i 2 m dybde	$F_{c\phi} = 1,04$
Grunnvann i 3 m dybde	$F_{c\phi} = 1,11$
Grunnvann i 4 m dybde	$F_{c\phi} = 1,17$
Grunnvann i 5 m dybde	$F_{c\phi} = 1,23$
Grunnvann i 6 m dybde	$F_{c\phi} = 1,30$
Grunnvann i 7 m dybde	$F_{c\phi} = 1,35$
Grunnvann i 8 m dybde	$F_{c\phi} = 1,40$
Grunnvann i 10 m dybde	$F_{c\phi} = 1,44$

Målt grunnvannstand $F_{c\phi} = 1,10$



Poretrykk i stabilitetsberegninger

Eksempel



Poretrykk i stabilitetsberegninger

Eksempel

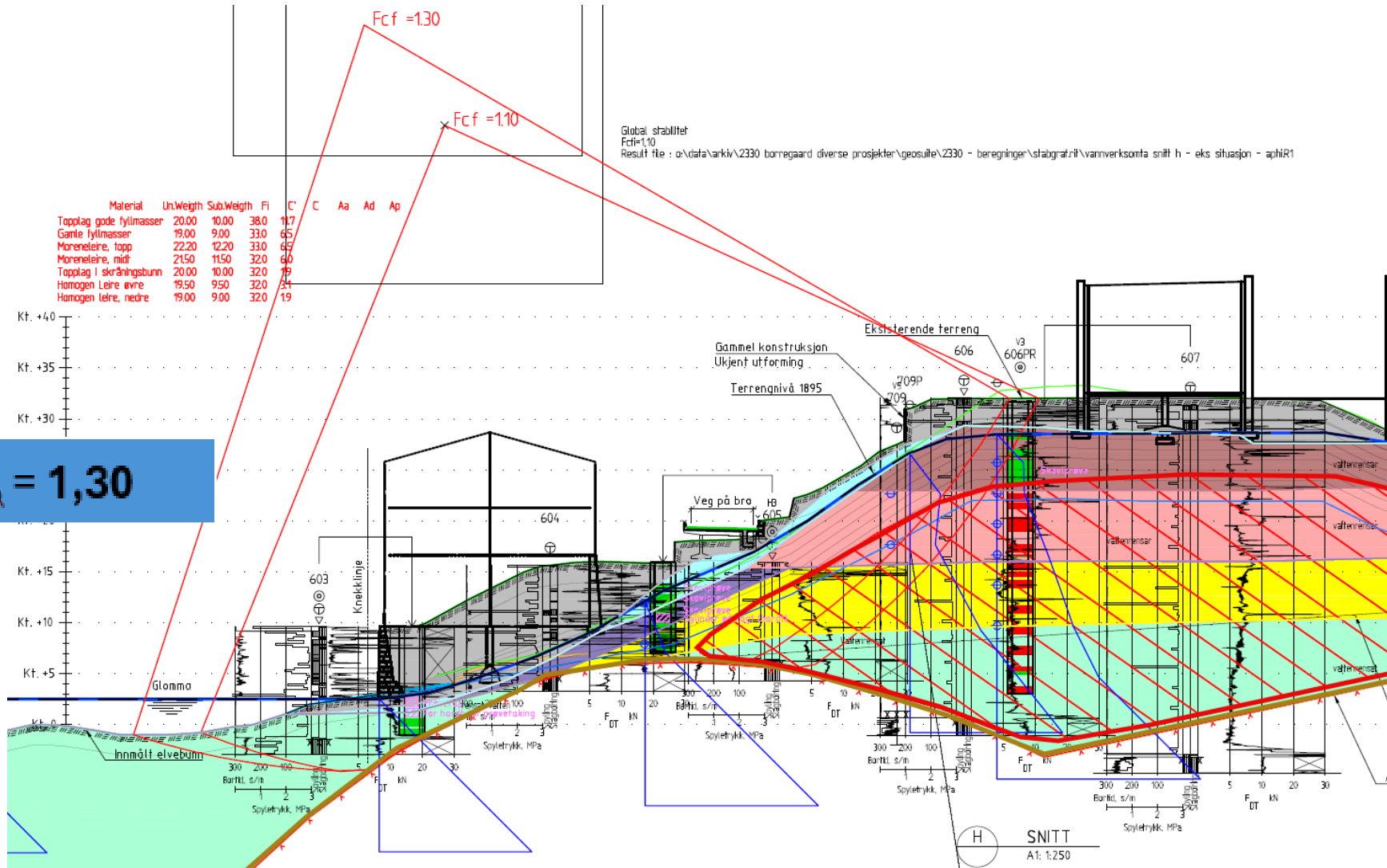
~~Beregnet skråningsstabilitet ved hydrostatisk poretrykk~~

Grunnvann i 2 m dybde	$F_{c\phi} = 1,04$
Grunnvann i 3 m dybde	$F_{c\phi} = 1,11$
Grunnvann i 4 m dybde	$F_{c\phi} = 1,17$
Grunnvann i 5 m dybde	$F_{c\phi} = 1,23$

~~Reelt poretrykk~~

Grunnvann i 7 m dybde	$F_{c\phi} = 1,35$
Grunnvann i 8 m dybde	$F_{c\phi} = 1,40$
Grunnvann i 10 m dybde	$F_{c\phi} = 1,44$
Målt grunnvannstand	$F_{c\phi} = 1,10$

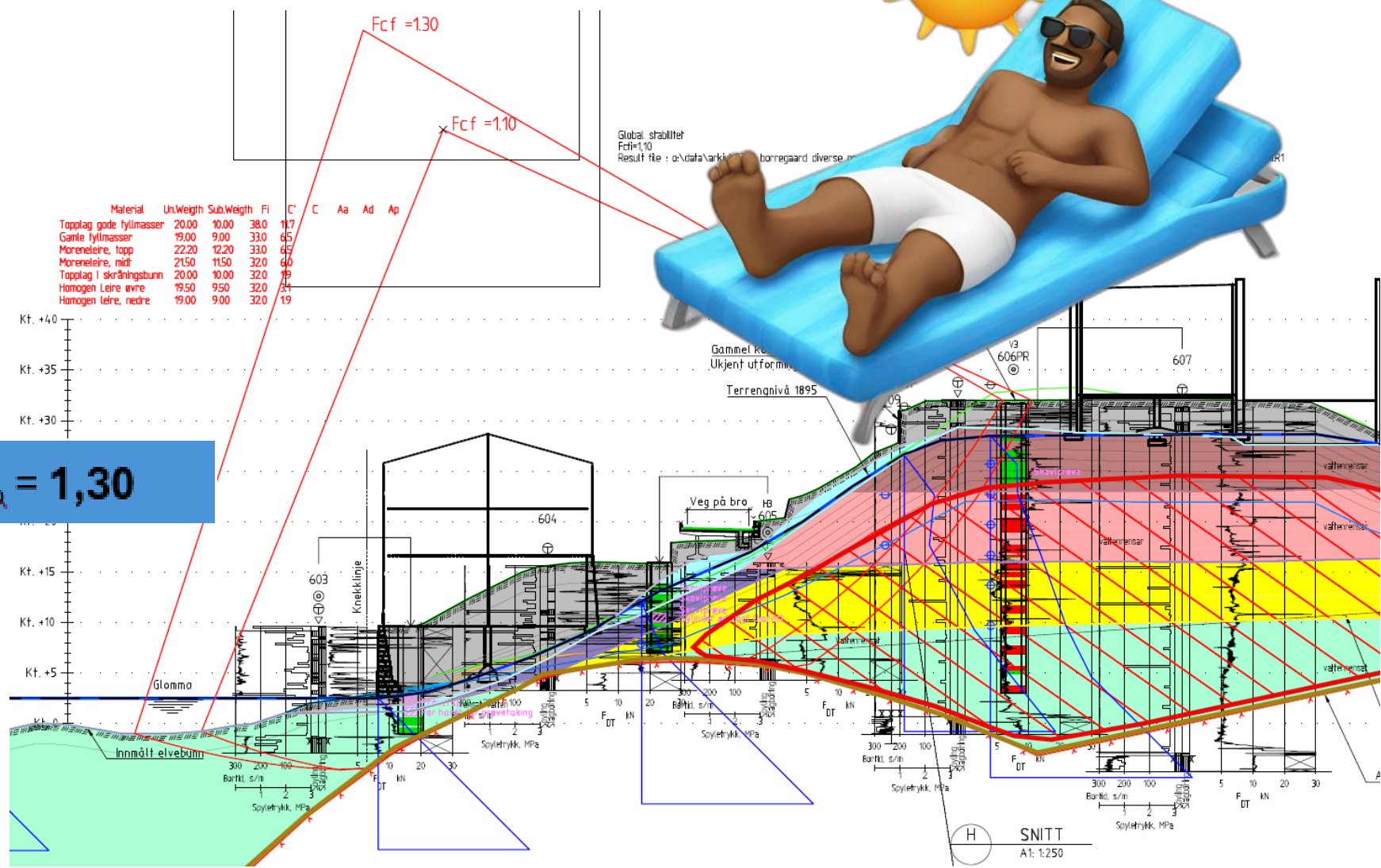
$F_{c\phi} = 1,30$



Poretrykk i stabilitetsberegninger

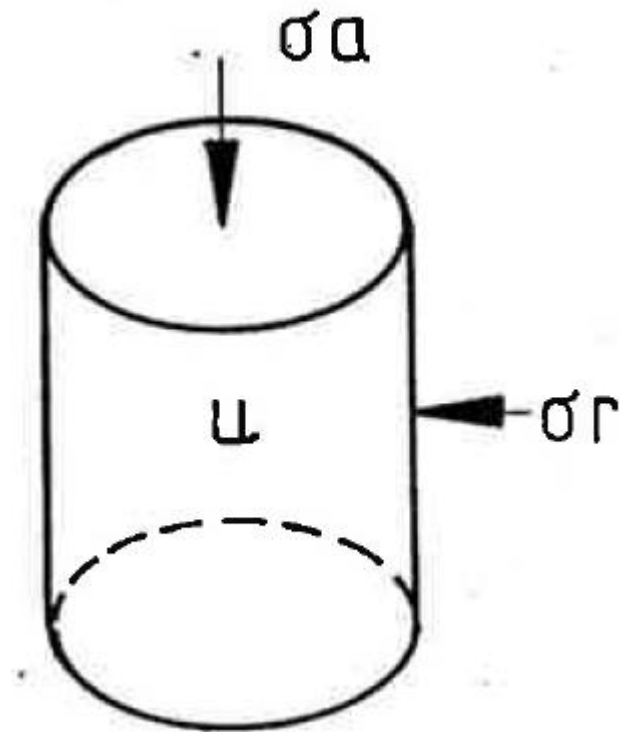
Eksempel

Beregnet skråningsstabilitet ved hydrostatisk poretrykk	
Grunnvann i 2 m dybde	$F_{c\phi} = 1,04$
Grunnvann i 3 m dybde	$F_{c\phi} = 1,11$
Grunnvann i 4 m dybde	$F_{c\phi} = 1,17$
Grunnvann i 5 m dybde	$F_{c\phi} = 1,23$
Reelt poretrykk	
Grunnvann i 7 m dybde	$F_{c\phi} = 1,35$
Grunnvann i 8 m dybde	$F_{c\phi} = 1,40$
Grunnvann i 10 m dybde	$F_{c\phi} = 1,44$
Malt grunnvannstand	$F_{c\phi} = 1,10$



Konsolideringsspenninger i treaksialforsøk

Effekt av poretrykk

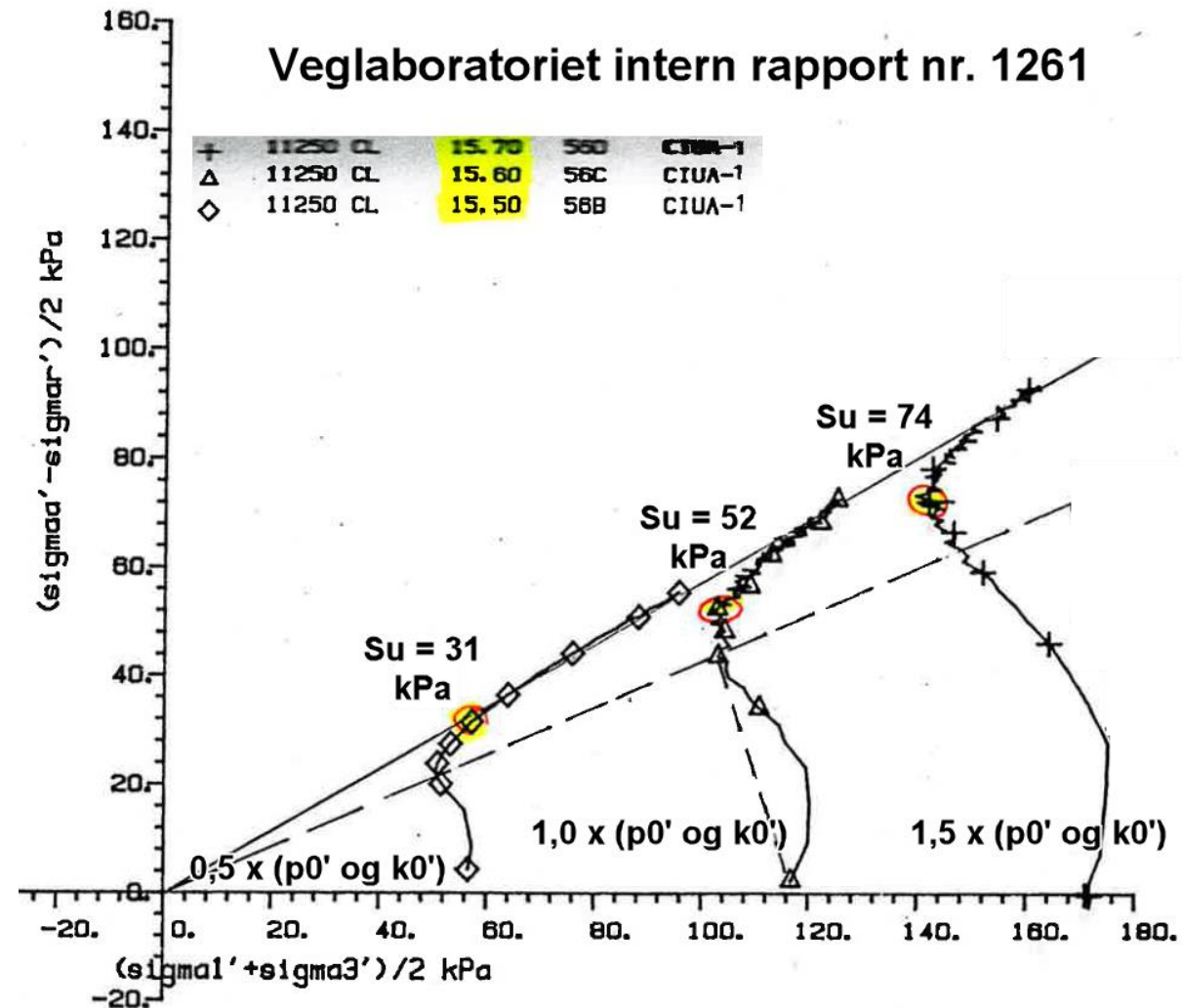
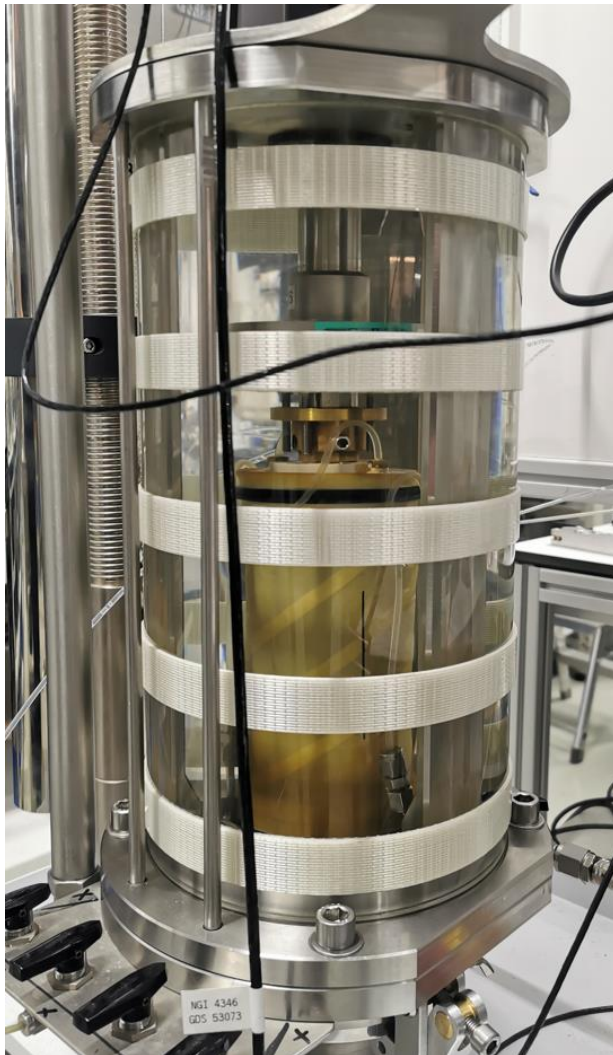


Input \rightarrow output ...

Shit in \rightarrow shit out ...?

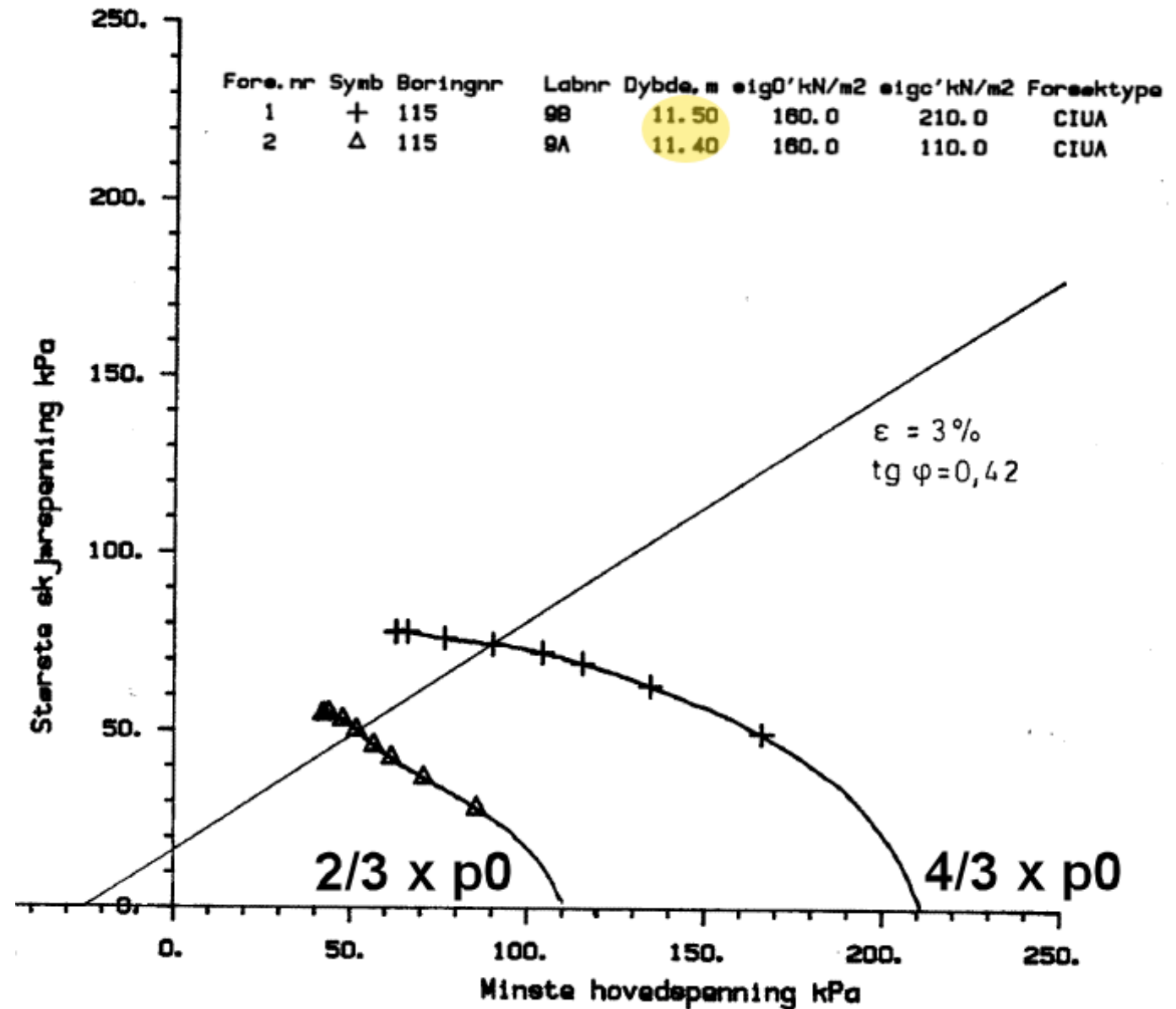
Konsolideringsspenninger i treaksialforsøk

Effekt av poretrykk



Konsolideringsspenninger i treaksialforsøk

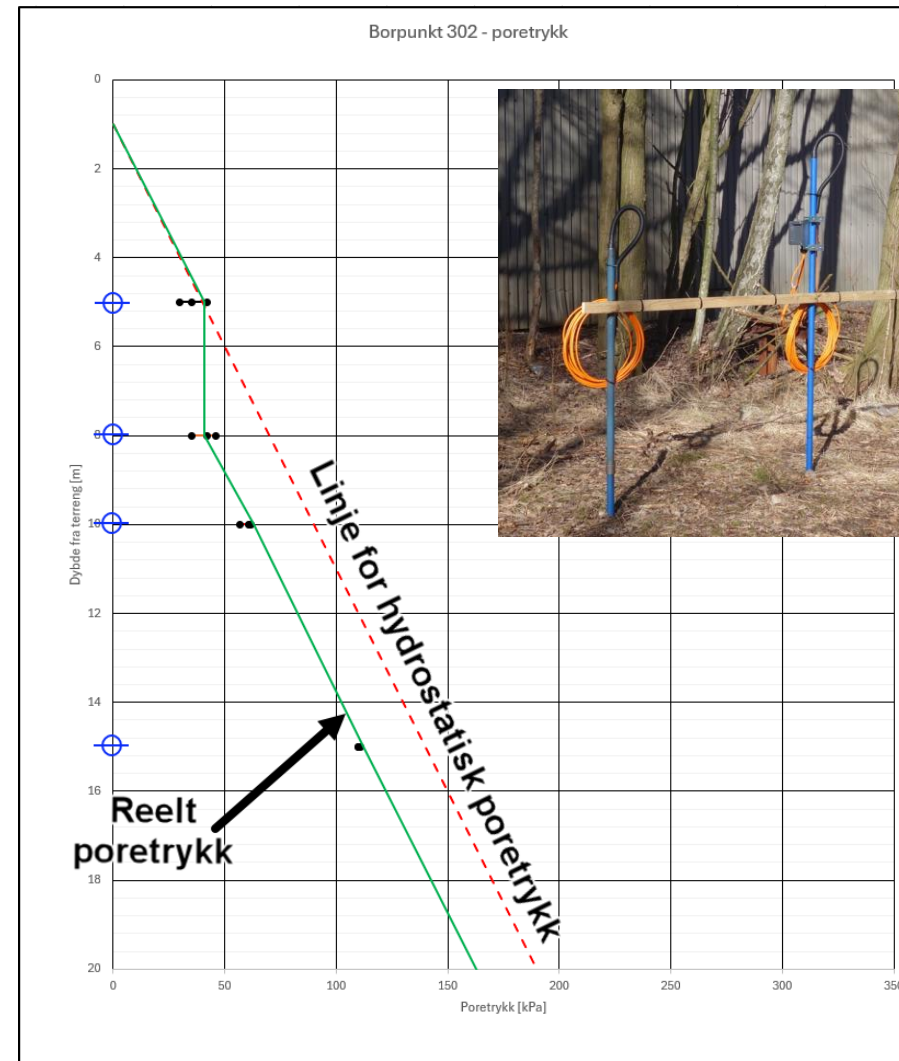
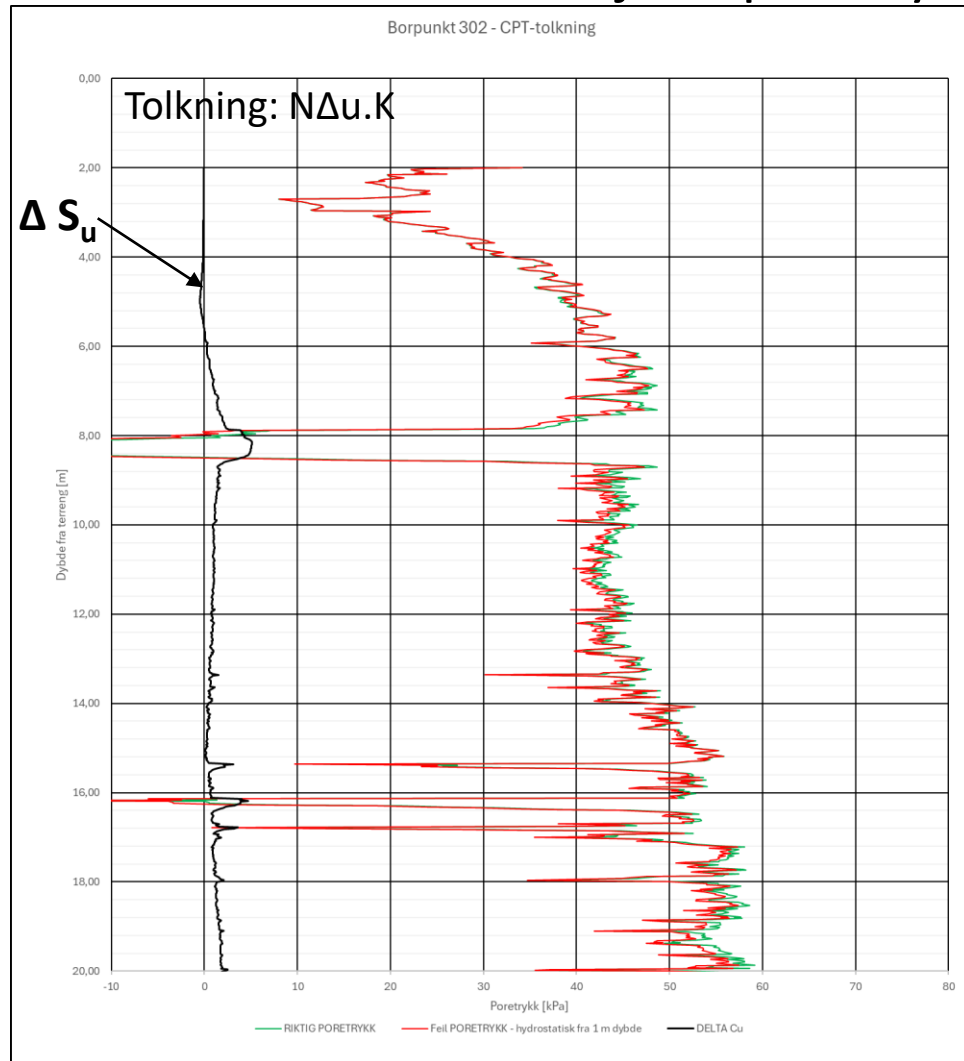
Effekt av poretrykk



Tolkning av CPT-sonderinger

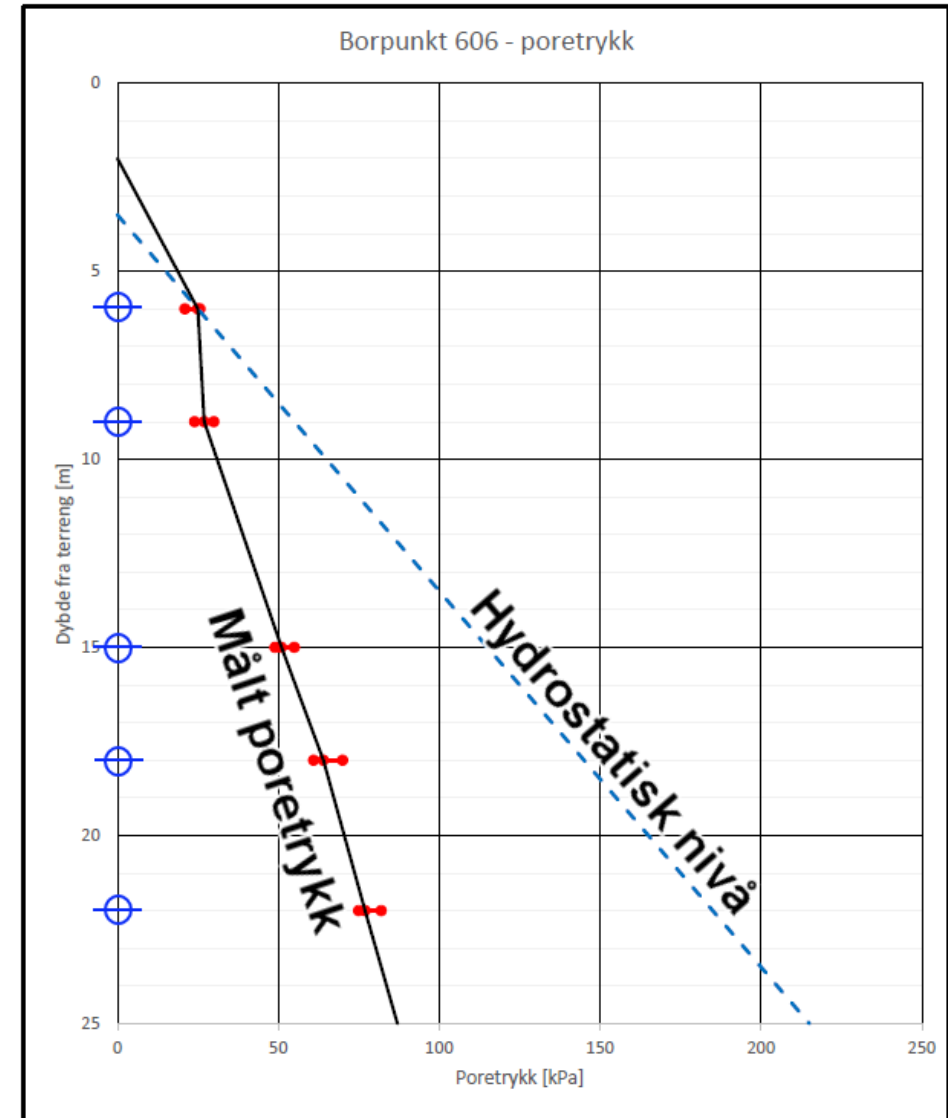
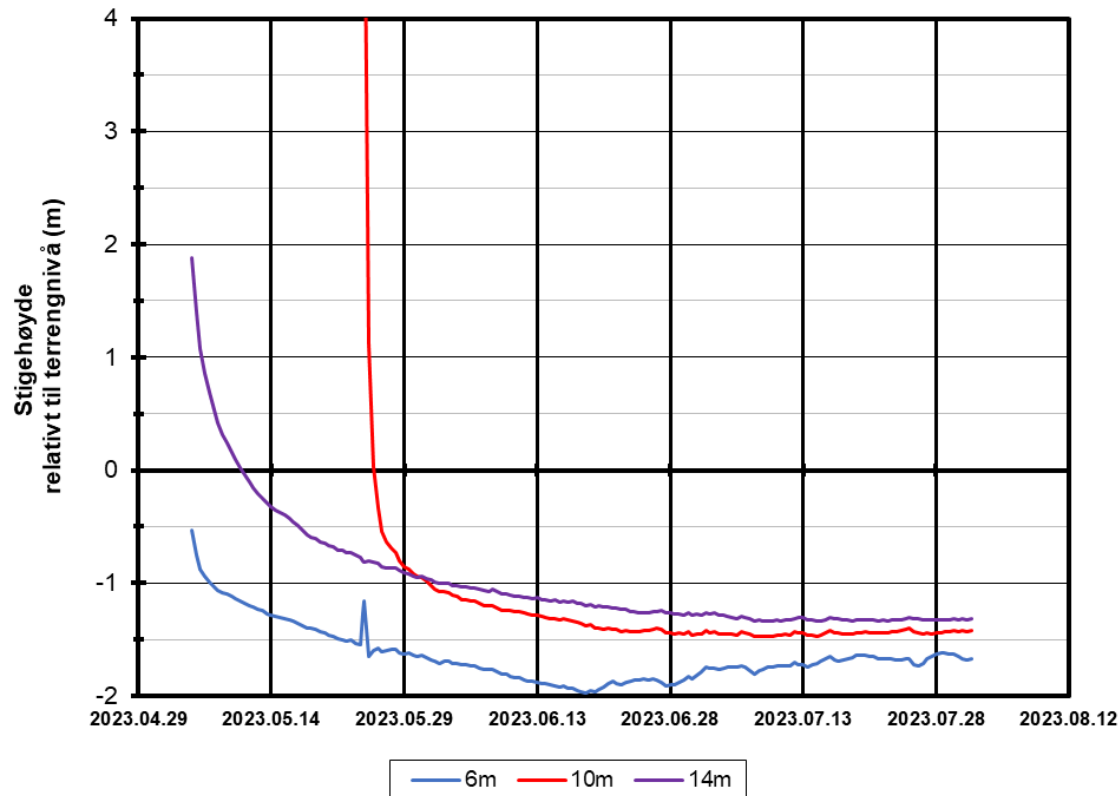
Effekt av poretrykk

Tolket CPT med variasjon i poretrykk



Poretrykk

- Poretrykk er ikke alltid hydrostatisk (sjelden?)
- Poretrykksmålere kan ha noe innstillingstid
- **Poretrykket i grunnen kan normalt ikke vurderes fra enkeltavlesninger i en dybde!**



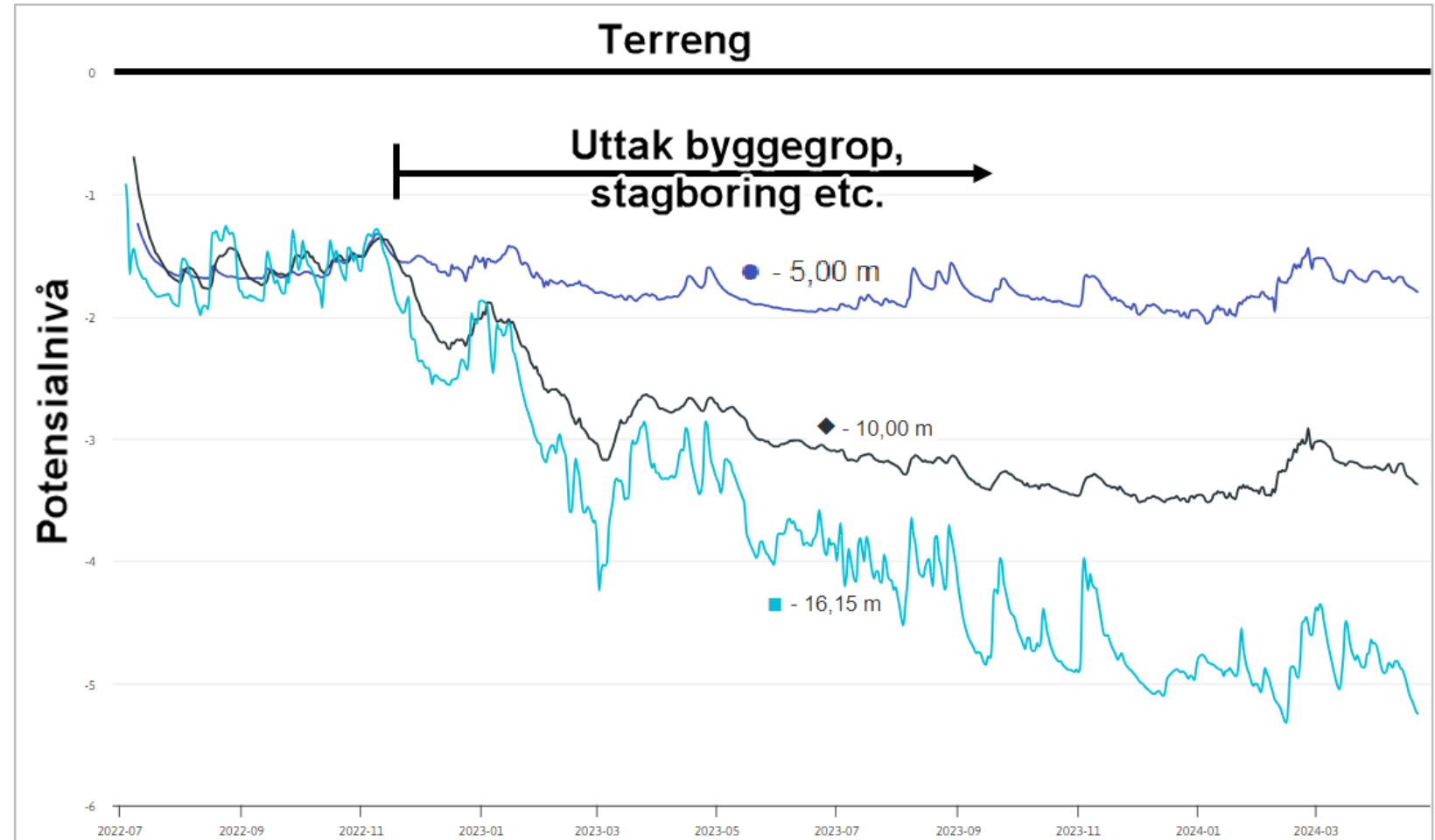
Poretrykk ved oppfølging av byggearbeider

Poretrykksfall og setninger?

- Byggeprosjekter
- Tunnelbygging

Poretrykksoppbygning?

- Peleramming
- Grunnforsterkning
- Fylling



Poretrykk ved oppfølging av byggearbeider – og stabilitetsberegninger

Påvirkning fra ramming av peler (poreovertrykk)



Poretrykksoppbygning?

- Peleramming
- Grunnforsterkning
- Fylling

Poreovertrykk fra peleramming kan beregnes og hensyntas i stabilitetsberegning.

- Bør også måles for verifikasjon i byggefasen!

Poretrykksmålere

Hvilke typer utstyr og målere brukes

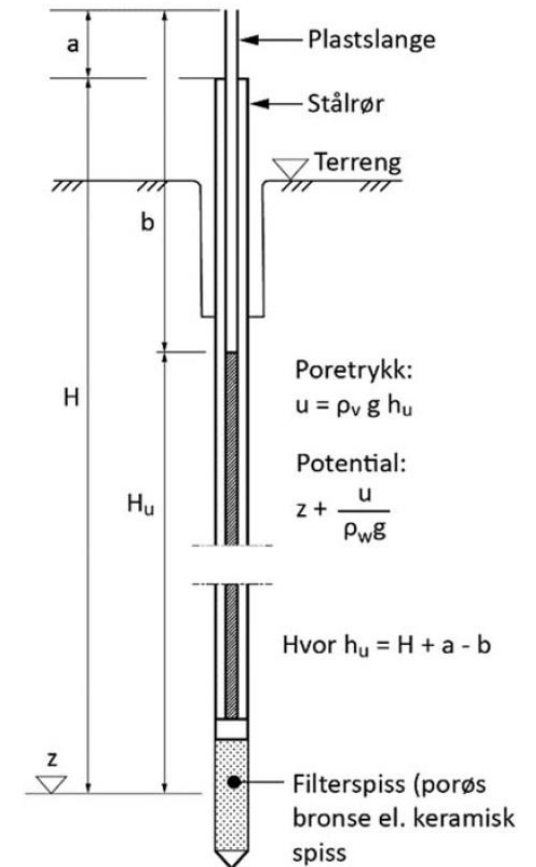
- Åpen hydraulisk poretrykksmåler
- Elektrisk
 - Svingende streng
 - Streklapp
- Standrør/vannstandrør
- (Miljøbrønn)
- (Bergbrønn)



Poretrykksmålere

Hydraulisk poretrykksmåler

- En filterspiss typisk bestående av perforert metall. Plastslange festet til spissen.
- Vannstanden i plastrøret har en stighøyde tilsvarende det potensialet eller trykket som måles ved filteret
- Slange med liten diameter for raskere respons



Poretrykksmålere

Hydraulisk poretrykksmåler

- Tradisjonell og velfungerende
- Avleses manuelt på plassen
- Får ikke kontinuerlige målinger på samme måten som elektriske målere kan gi
- Treg respons i fete leirer pga mye vann som må strømme.
- Frostsikring er nødvendig ved høyt poretrykk (ca 2 m under terreng)



Poretrykksmålere

Elektrisk poretrykksmåler – Svingende streng



- Perforert filter som slipper vann gjennom og inn til målesystemet
- Svingende streng-basert målesystem
- Rask respons
- Ikke behov for frostsikring ved installasjon i frostfri dybde
- Maksgrense for sensoren?

Poretrykksmålere

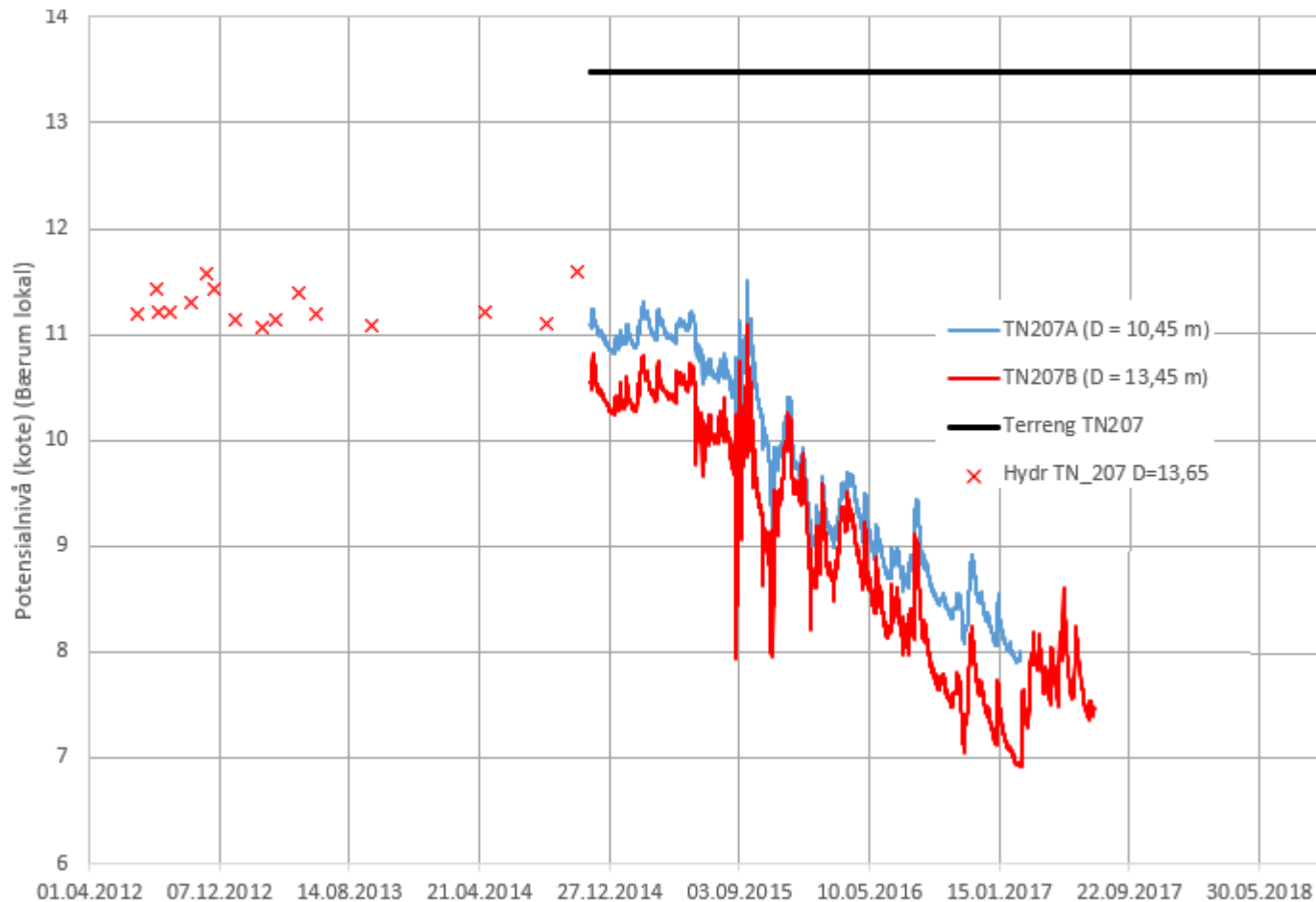
Elektrisk poretrykksmåler – Svingende streng



- Leses av med instrument i felt
- Kan monteres med skap for lokal logging, eller sanntidsovervåking / fjernavlesning
- Ikke behov for frostsikring ved installasjon i frostfri dybde
- Velg produsent som leverer robuste målere (Geokon og Geosense?)

Poretrykksmålere

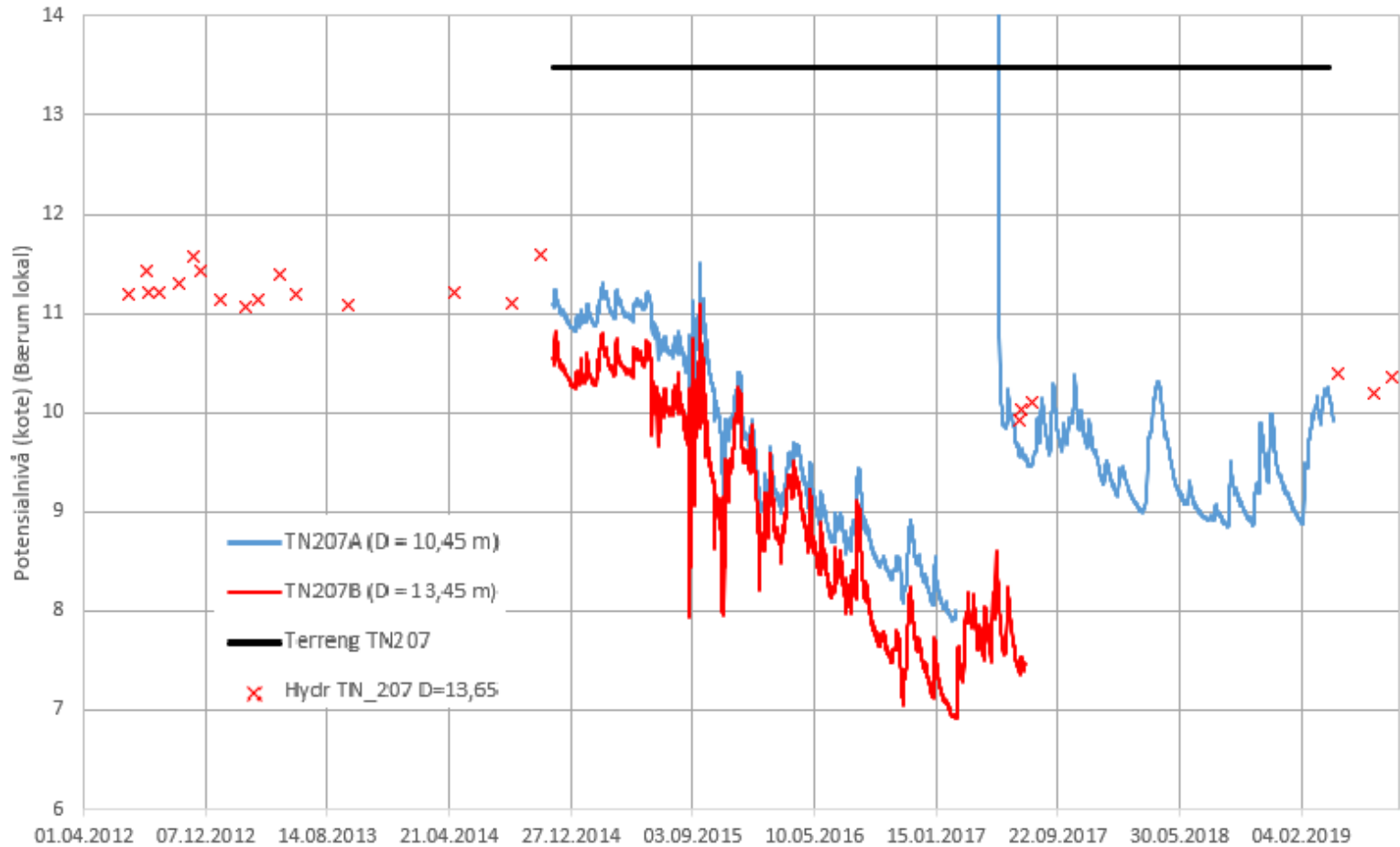
Elektrisk poretrykksmåler – Svingende streng



- Måler: Geonor M603-4
- 10,45 m: Defekt etter 26 måneder
- 13,45 m: Ødelagt – påkjørsel (32 mnd)

Poretrykkmålere

Elektrisk poretrykkmåler – Svingende streng



- Måler: Geonor M603-4
- 10,45 m: Defekt etter 26 måneder
- 13,45 m: Ødelagt – påkjørsel (32 mnd)
- 13,45 m: Nullpunktsdrift på 15 kPa (kontrollert i laboratorium etter opptrekk)

Poretrykksmålere

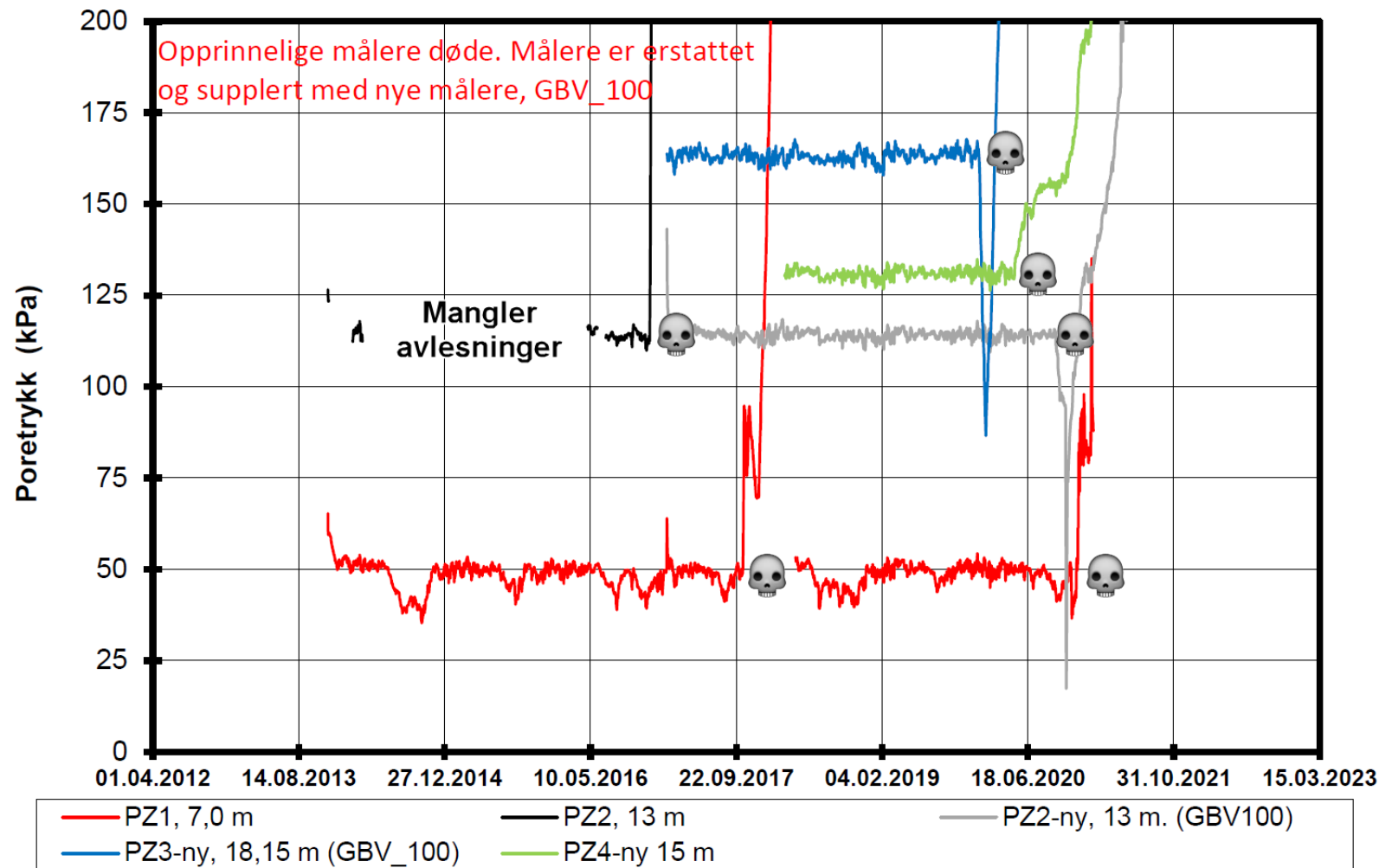
Elektrisk poretrykksmåler – Strekkklappbasert



- Perforert filter som slipper vann gjennom og inn til målesystemet
- Strekkklapp-basert målesystem
- Rask respons
- Innebygd minne (fordel!)
- Ikke behov for frostsikring ved installasjon i frostfri dybde
- Maksgrense for sensoren?
- Begrenset robusthet og levetid...

Poretrykkmålere

Elektrisk poretrykkmåler – Streklappbasert



Eksempel på defekte poretrykkmålere (sflg. Korrosjon)

Erfaringstall fra prosjekt med 171 stk målere:

Status september 2022:

- Laveste "levealder": 6 mnd
- 11 % døde av hærverk, brøytebil etc
- 39 % defekte (snittalder på 3,7 år)
- 50 % "i live", med snittalder 4,5 år

Forventet levealder (ekskl. hærverk etc)

- 2 år: 97 % av målerne lever
- 3 år: 92 % av målerne lever
- 4 år: 74 % av målerne lever

Poretrykksmålere

Vannstandsør

- En lengre perforert filterspiss
- Samme prinsipp som hydraulisk poretrykksmåler, men uten slange
- Vannstanden i røret har en stighøyde tilsvarende det potensialet eller trykket som måles ved filteret
- For bruk i permeable lag, for prøvepumping eller for vannprøver
- Avleses manuelt på plassen



Poretrykksmålere

Vannstandsør



Poretrykksmålere

Miljøbrønn

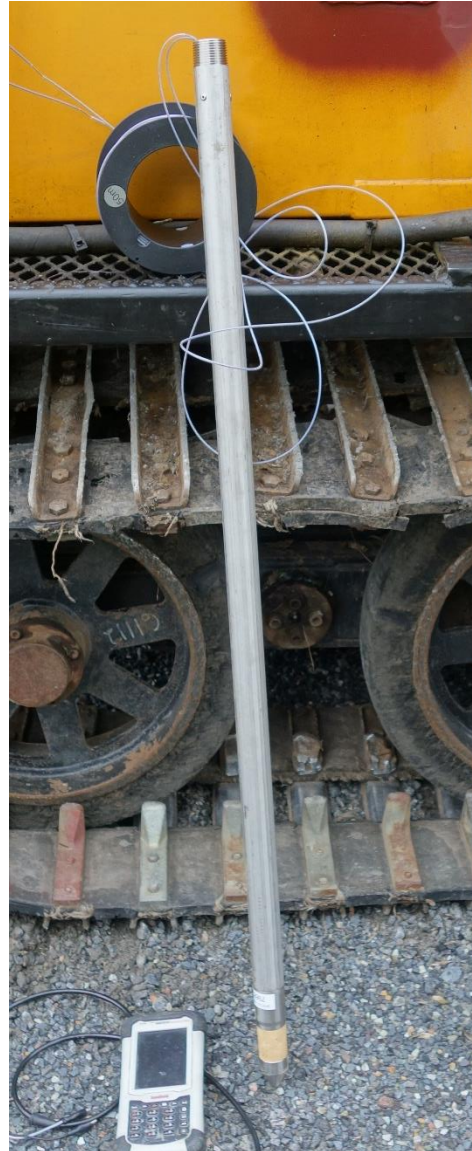
- Perforert filterrør
- For prøvepumping, vannprøver eller lignende



Poretrykksmålere

Valg av måleutstyr

- Hvilken måler skal man velge?
 - Avhengig av problemstilling og krav til responstid
 - Grunnforhold
 - Velg leverandør og produkt basert på krav til levetid

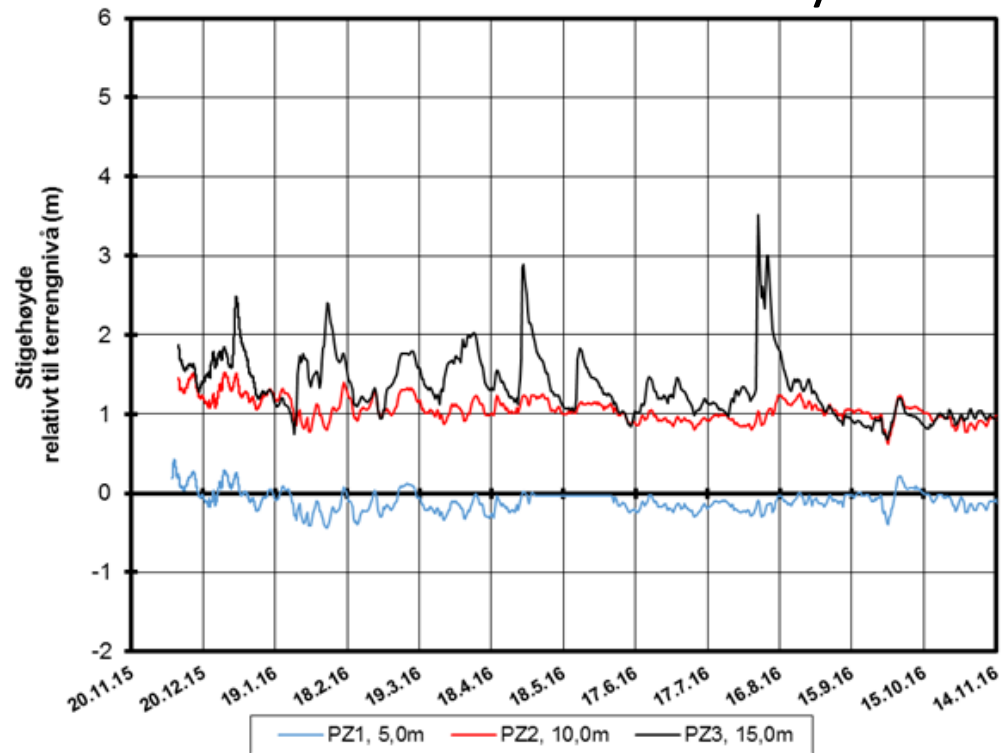


Poretrykksmålere

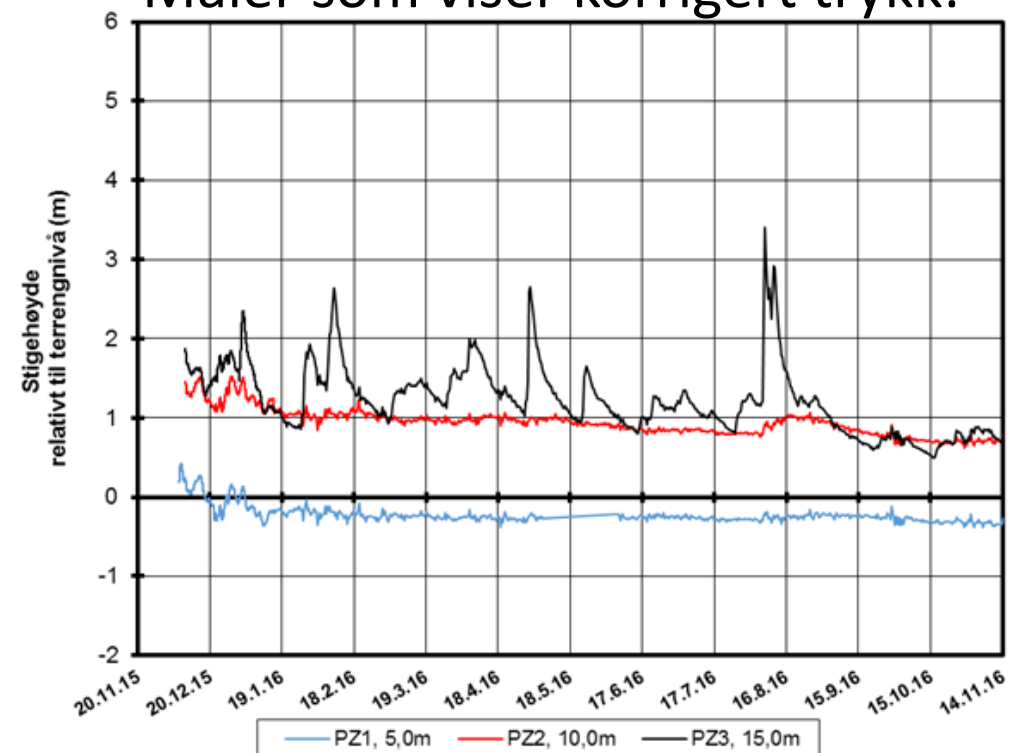
Diverse – påvirkning fra atmosfæriske svingninger

- Tilnærmet alle elektriske poretrykksmålere viser absolutt poretrykk, og responderer derfor på svingninger i atmosfærisk trykk.
- Variasjonen er normalt på inntil +/- 2-3 kPa (20-30 cm), sflg. høytrykk og lavtrykk

Måler som viser absoluttrykk:



Måler som viser korrigert trykk:

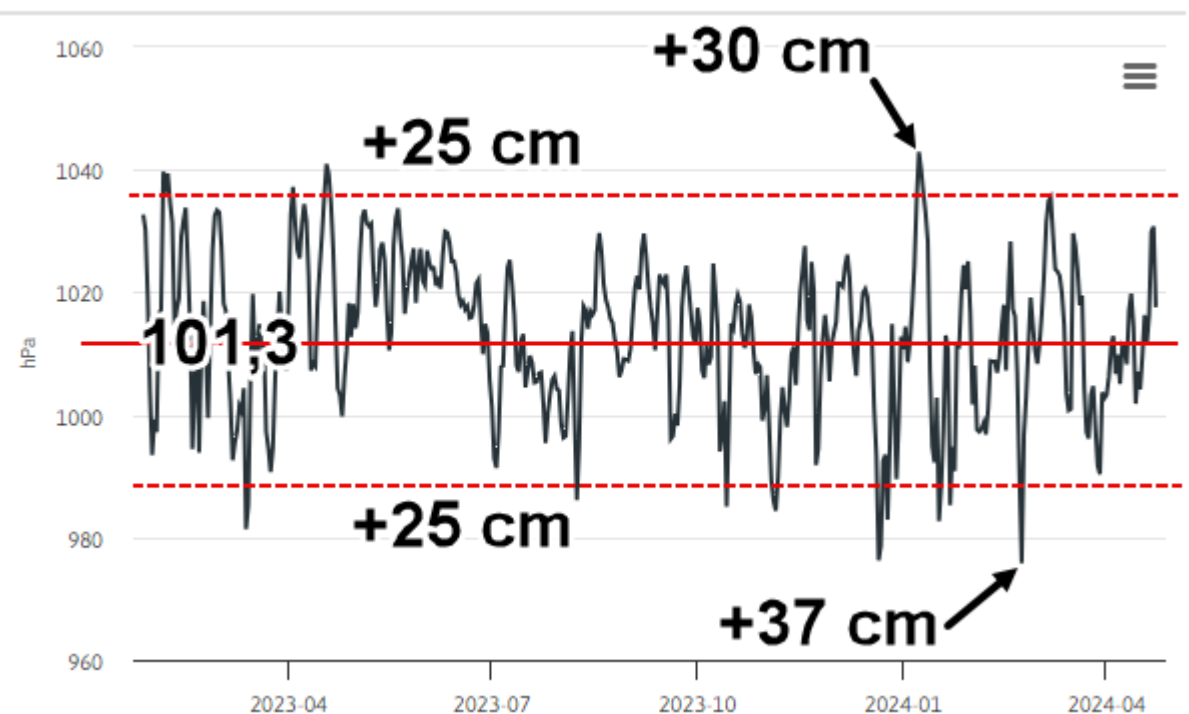


Poretrykksmålere

Diverse – påvirkning fra atmosfæriske svingninger

- Tilnærmet alle elektriske poretrykksmålere viser absolutt poretrykk, og responderer derfor på svingninger i atmosfærisk trykk.
- Variasjonen er normalt på inntil +/- 2-3 kPa (20-30 cm), sflg. høytrykk og lavtrykk
- Varierende atmosfæretrykk (barometerstand) påvirker ikke avlest poretrykk i åpne systemer, det vil si hydrauliske målere samt elektriske svingende streng målere som er laget for nullpunktskontroll etter nedpressing
- Lukkede målesystemer, inkludert elektriske strekkappbaserte målere og elektriske svingende streng målere som ikke er laget for nullpunktskontroll etter nedpressing, vil påvirkes av varierende atmosfæretrykk.
- Det kan også være aktuelt å gjøre korrigeringer av lufttrykket avhengig av stedshøyde og eventuell høydeforskjell mellom meteorologisk målestasjon og plassering av poretrykksmåler. En høydeforskjell på 100 m tilsier en endring i lufttrykk på 1,2 kPa, altså 12 cm vannsøyle.

Cowi logger 62 - CBU_002



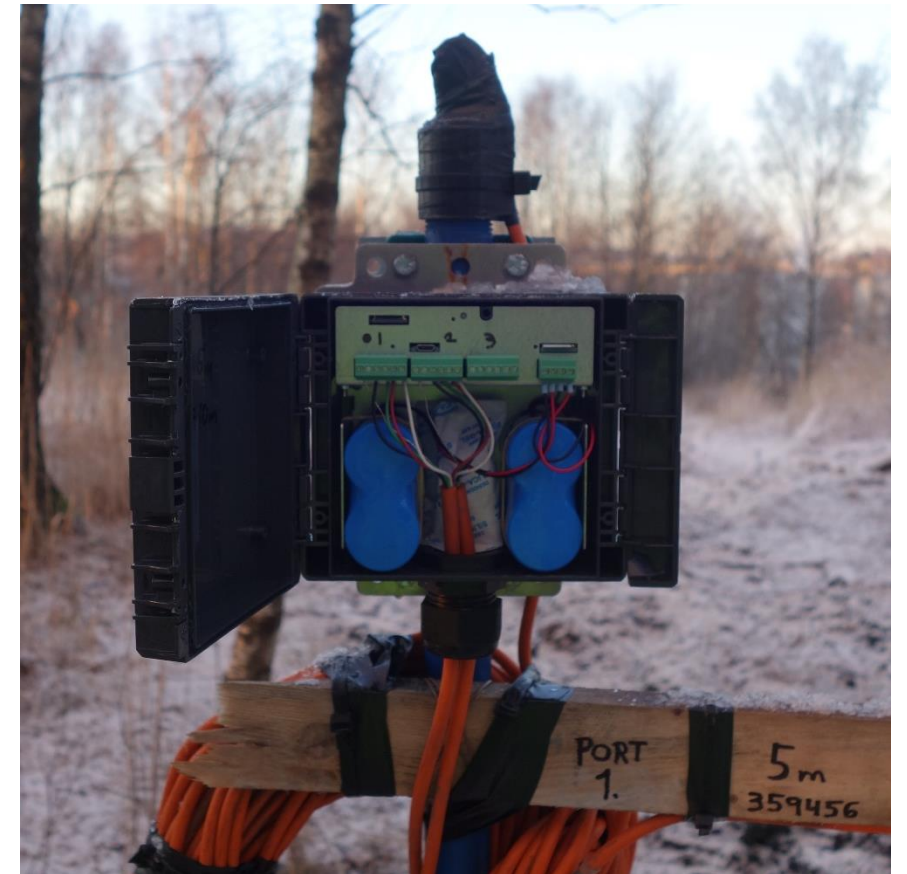
Poretrykksmålere

Sanntidsovervåking av poretrykk (fjernavlesing)



Poretrykksmålere

Sanntidsovervåking av poretrykk (fjernavlesing)



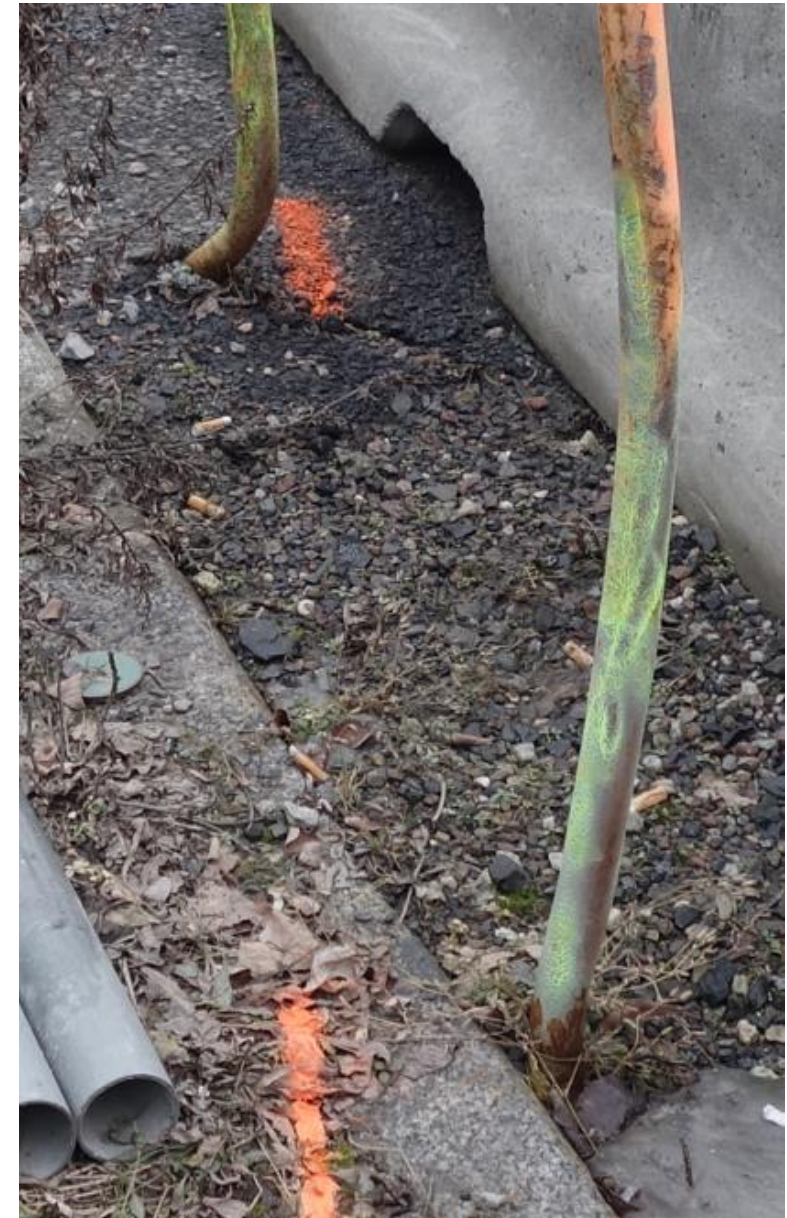
Installasjon av poretrykksmålere



- Forarbeider
- Er forholdene kjente?
- Borlogg!
- Kontroll av måler før og etter
- Forboring
- Vannmetting av filter
- Poretrykksutjevning ved nedpressing av elektriske målere?

Installasjon av poretrykksmålere

Kabelpåvisning og forarbeider



Installasjon av poretrykksmålere

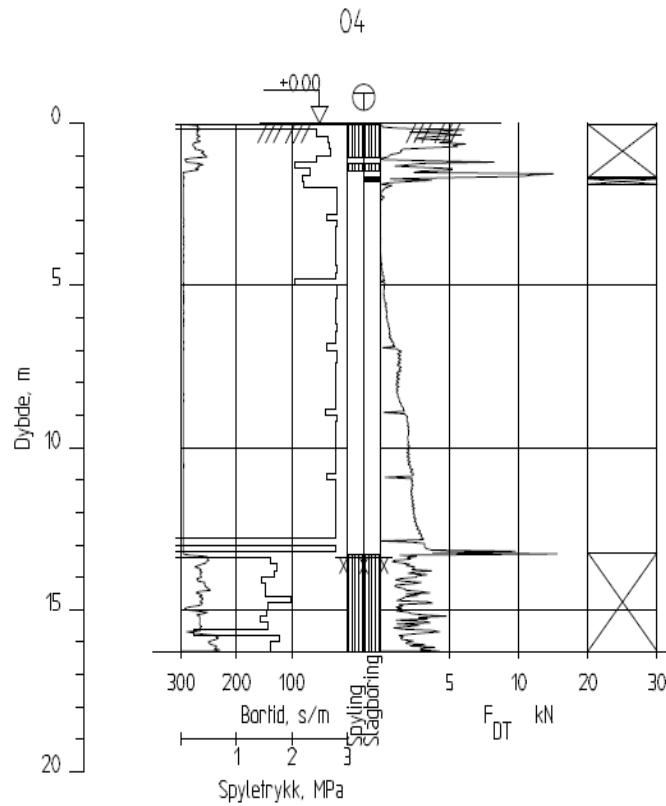
Forboring

- Forboring gjennom tørrskorpe og fyllmasser
- Brukes normalt totalsonderingskrone eller eventuelt naver/auger
- Ikke forbore mer enn nødvendig
- Eventuell forboring avsluttes ALLTID over installasjonsnivå (normalt min. 3 m)
- Det skal ikke brukes adapter for trekking av forlengelsesstenger

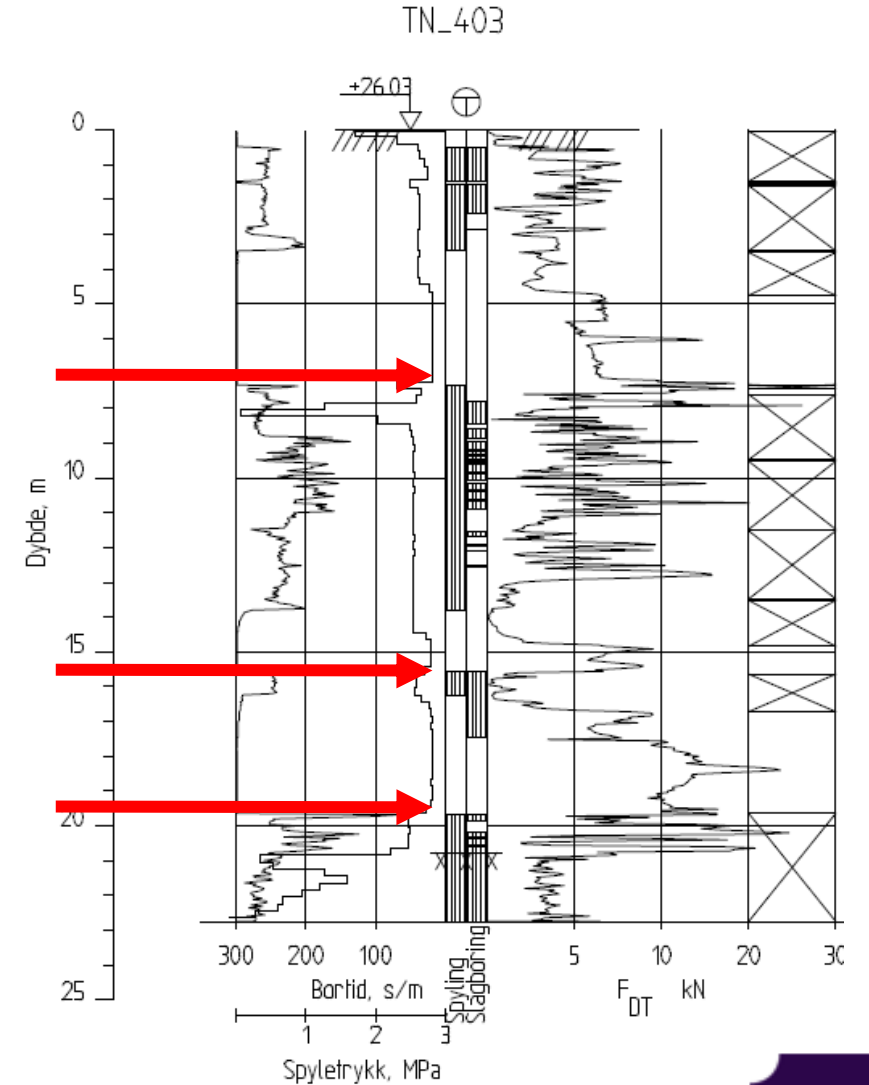


Installasjon av poretrykkmålere

Forboring



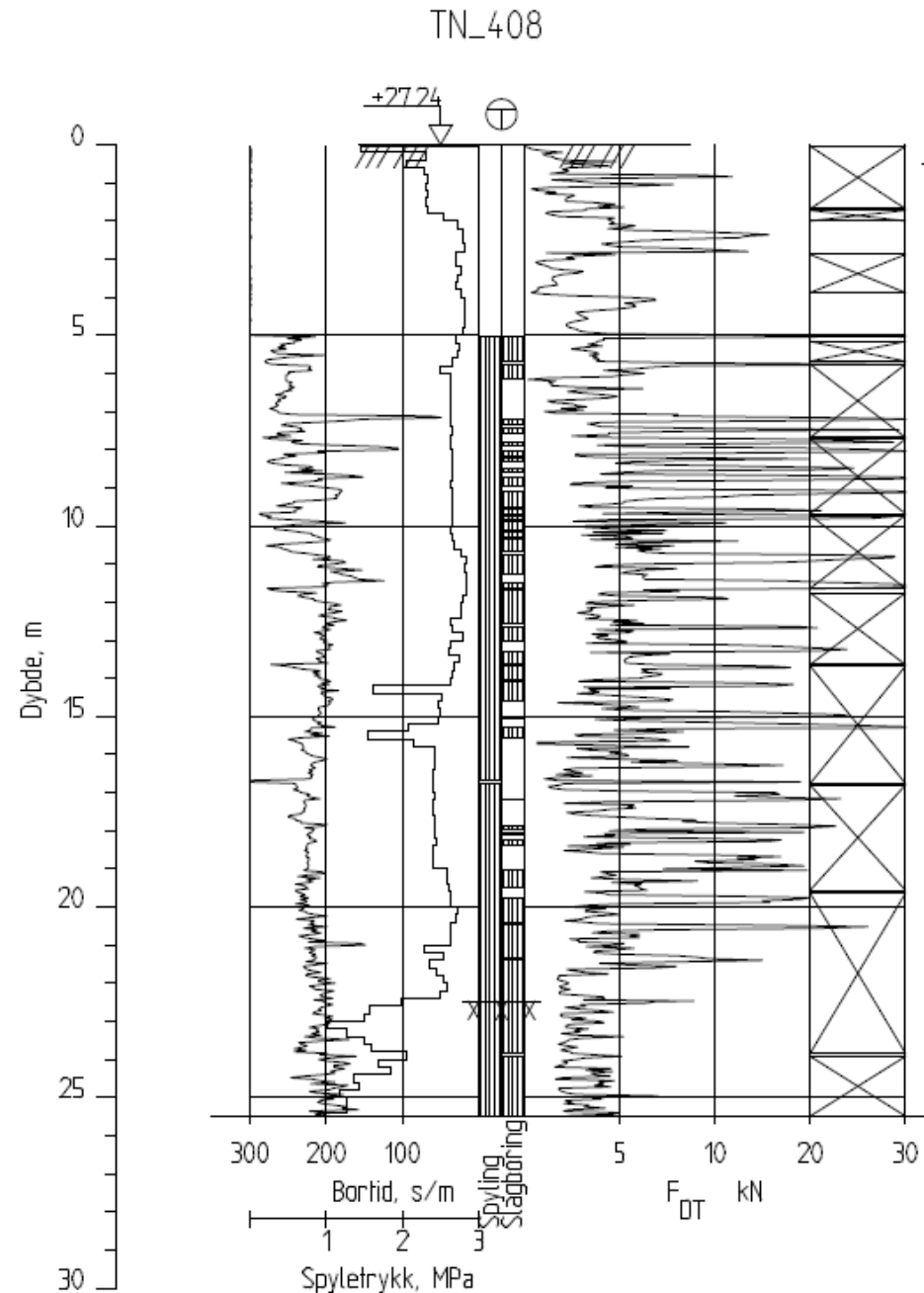
- Behov for og bruk av forboring?
 - Nødvendig i grove masser, men så lite forboring som mulig!
- Finne egnede dybder å installere måleren



Installasjon av poretrykksmålere

Forboring

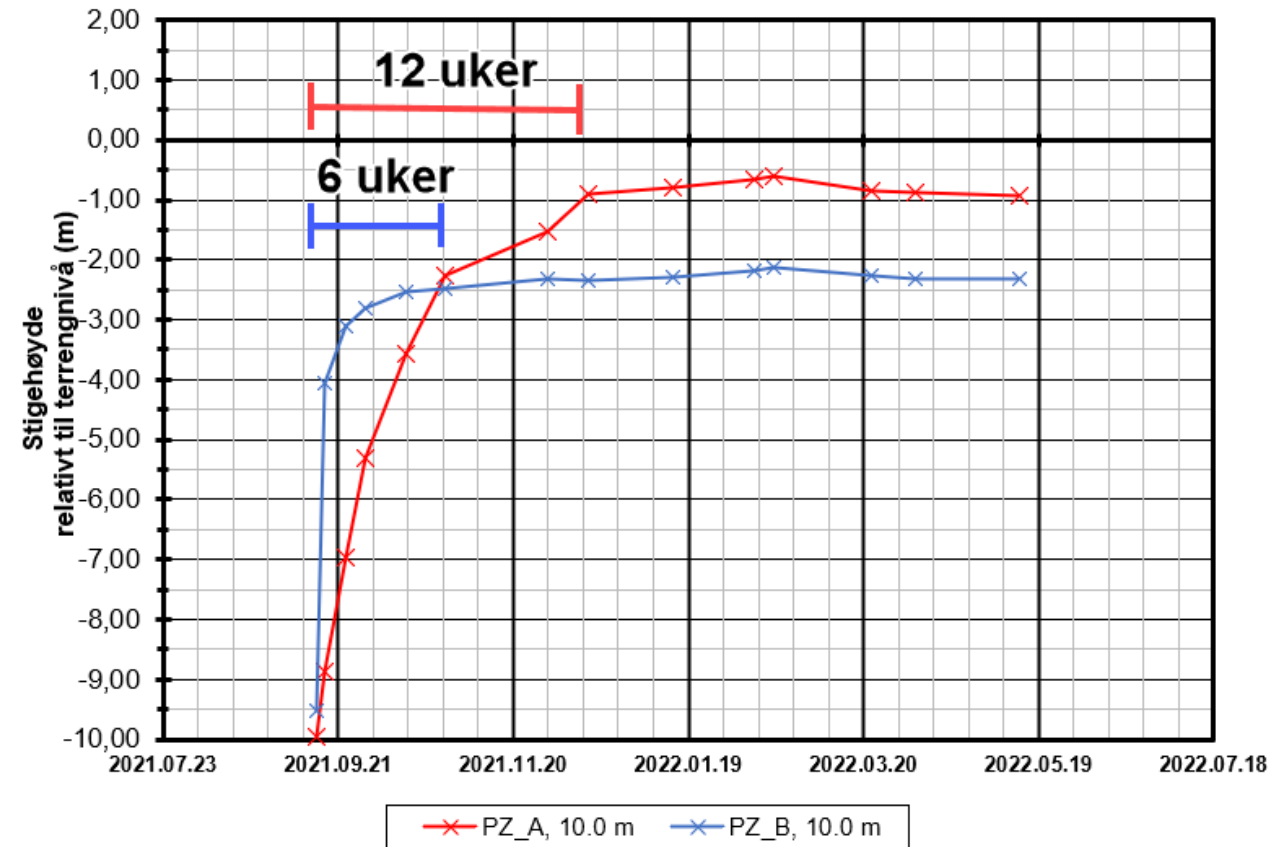
- Så hva her?
- Ring bestiller! 😊
- Langt og dyrt svar: “Grout in-place piezometer”. Bor ned foringsrør. Målere støpes inn i slurry av sement og bentonitt. Foringsrør trekkes, slik at målere står igjen i bakken – omstøpt. Se Kåsin/Sandene fra NGM 2016. Alternativ løsning er «Casagrandes piezometer», se figur 8 i NGF-meldingen.



Installasjon av poretrykksmålere

Metting av filter

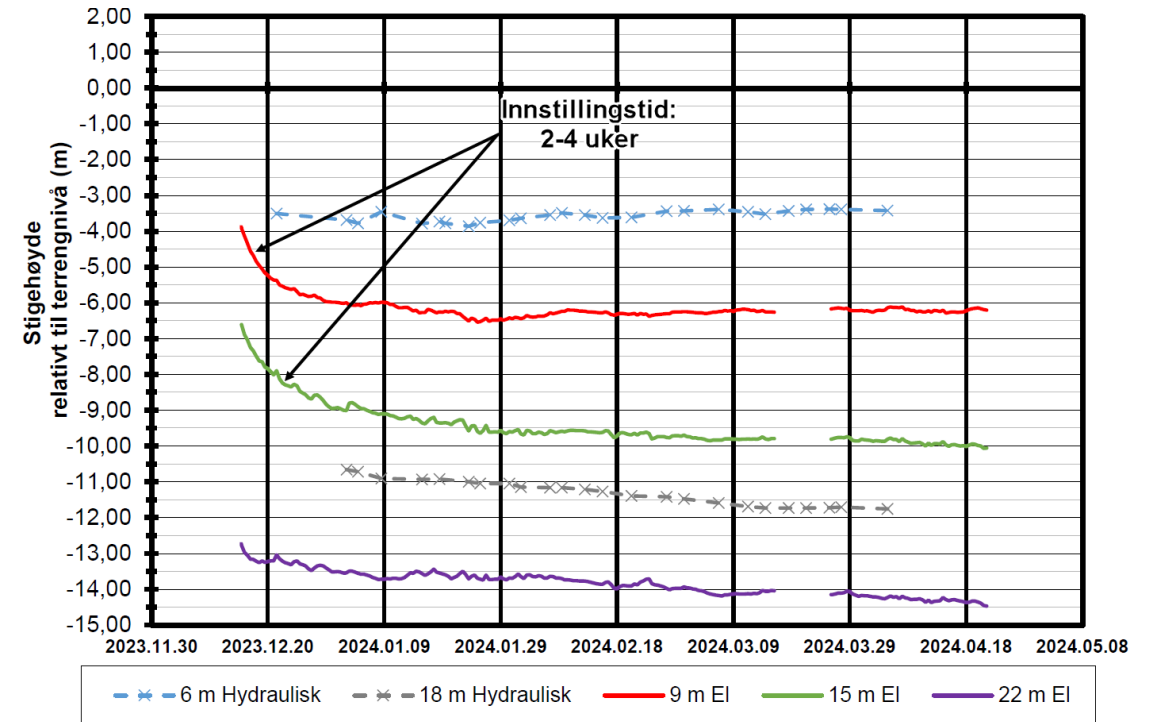
- Redusere innstillingstiden
- Forbedrer responstiden
- Hydraulisk:
 - Bøtte med vann og bøttesprøyte
- Elektrisk:
 - Fylles med vann
 - Trakt med vann
 - (noen er forhåndsmettet – feks Geosense)



Installasjon av poretrykksmålere

Metting av filter

- Redusere innstillingstiden
- Forbedrer responstiden
- Hydraulisk:
 - Bøtte med vann og bøttesprøyte
- Elektrisk:
 - Fylles med vann
 - Trakt med vann
 - (noen er forhåndsmettet – Geosense)



Installasjon av poretrykksmålere

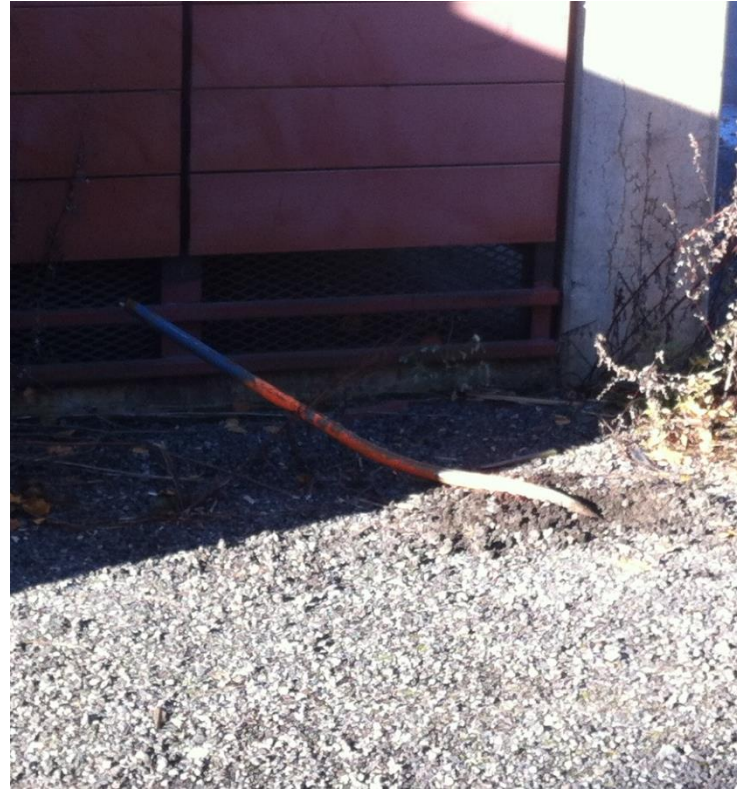
Frostsikring av poretrykksmålere



- Nødvendig for hydrauliske poretrykksmålere med høyt poretrykk (potensialnivå)
- Ikke relevant for elektriske målere
- Pumpes inn i bunn av målerslange med bøttesprøyte eller lignende
- Frostvæske blandes selv og **skal** ha egenvekt så vidt lavere enn vann. Blandingsforhold:
 - 4 deler konsentrert frostvæske
 - 3 deler vann
 - 3 deler rødsprit
- Bruk av konsentrert frostvæske gir 12 % målefeil! (Tyngdetetthet på 1,12).

Poretrykksmålere

Plassering og beskyttelse av poretrykksmålere



- Tenk på plassering!

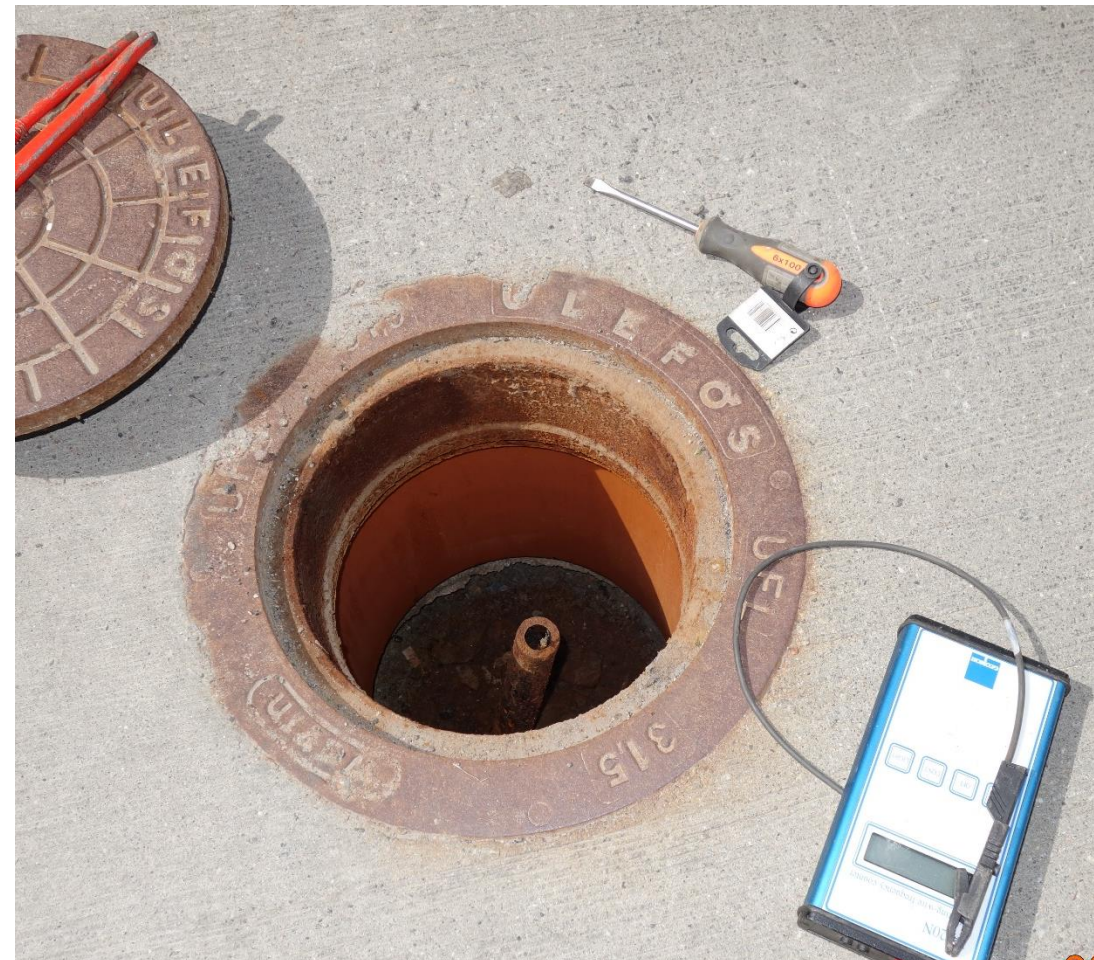
Poretrykksmålere

«Gategutt»



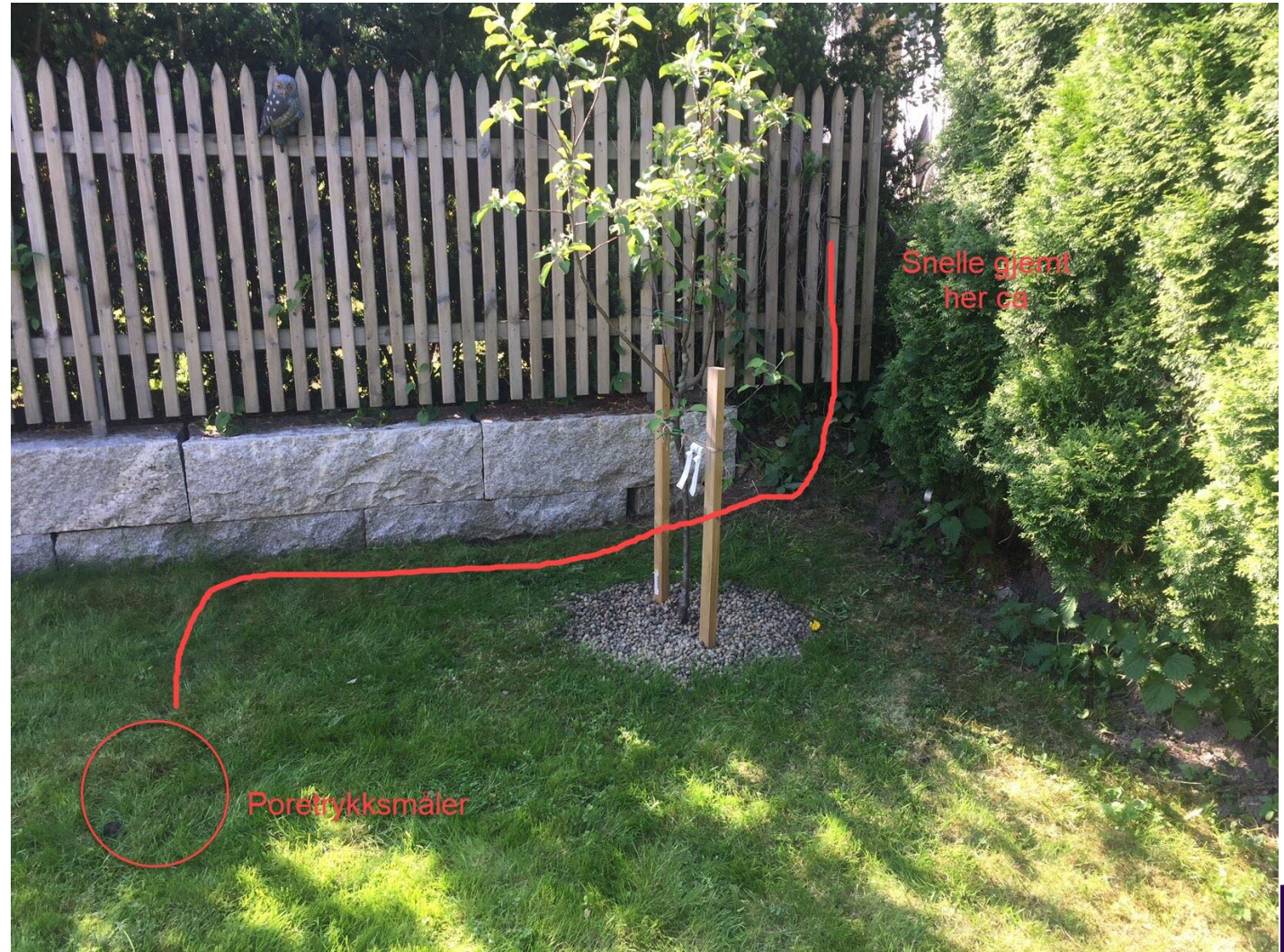
Poretrykksmålere

«kumlukk»



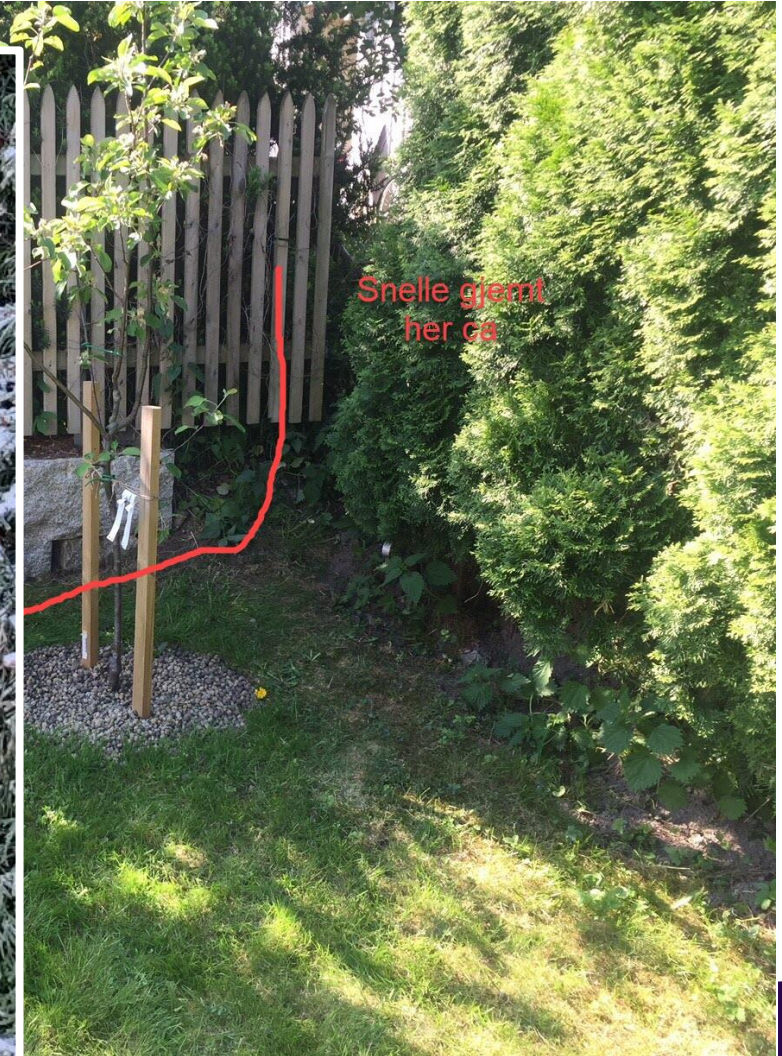
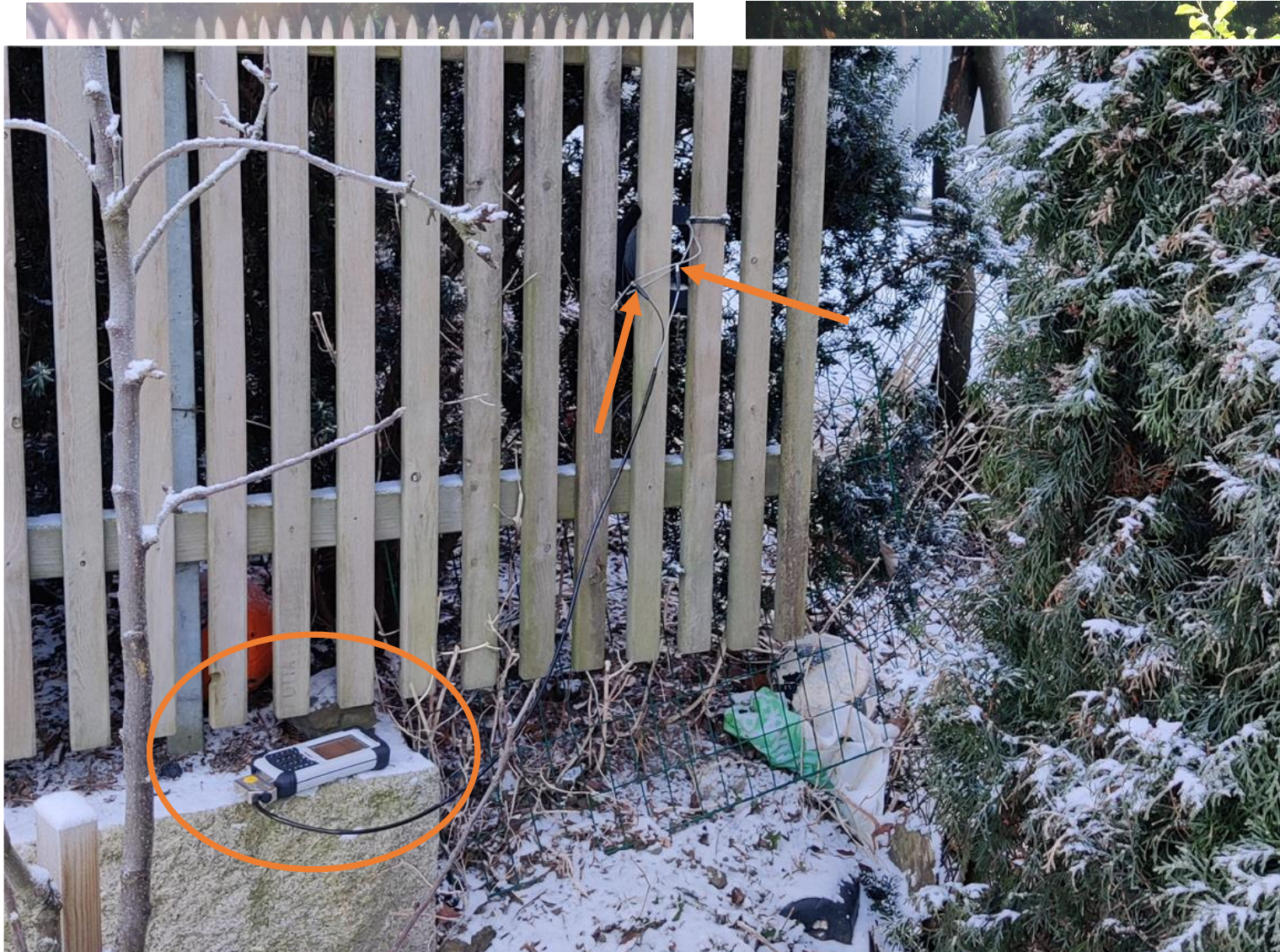
Poretrykksmålere

Poretrykksmålere i hager



Poretrykksmålere

Poretrykksmålere i hager



Poretrykksmålere

Poretrykksmålere industriområde



Poretrykksmålere

Poretrykksmålere i hager



Poretrykksmålere

NGF melding 6

MELDING NR. 11 UTGITT 1982, REVIDERT 1989, 2016


NGF MELDING 6 VEILEDNING FOR MÅLING AV GRUNNVANNSTAND OG PORETRYKK



NORSK GEOTEKNISK FORENING
NORWEGIAN GEOTECHNICAL SOCIETY

1

....og ISO-standard

Norsk Standard	NS-EN ISO 18674-4:2020
	Publisert: 2020-07-30 Språk: Engelsk
	Geotekniske felt- og laboratorieundersøkelser Geoteknisk overvåking ved feltinstrumentering
	Del 4: Måling av porevanntrykk Piezometre (ISO 18674-4:2020)
	<i>Geotechnical investigation and testing Geotechnical monitoring by field instrumentation</i>
	<i>Part 4: Measurement of pore water pressure Piezometers (ISO 18674-4:2020)</i>
	Referansenummer: NS-EN ISO 18674-4:2020 (en) © Standard Norge 2020

