

CPTU-målinger under lupen

Detektering og korreksjon av tynne lag

Hallvard Berner Hammer

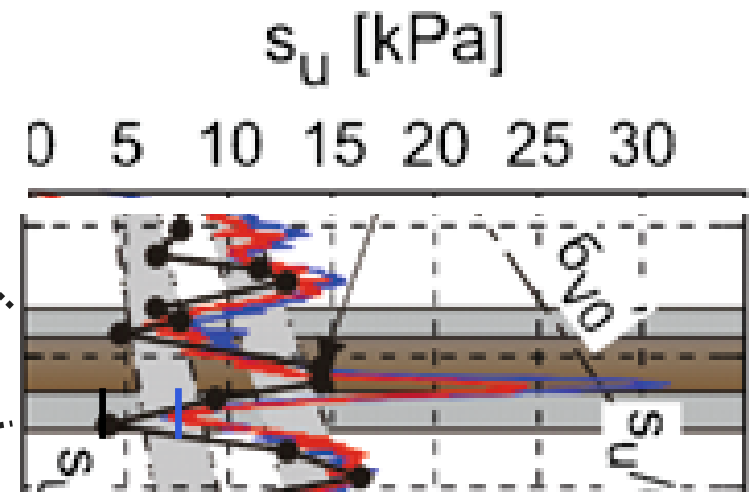
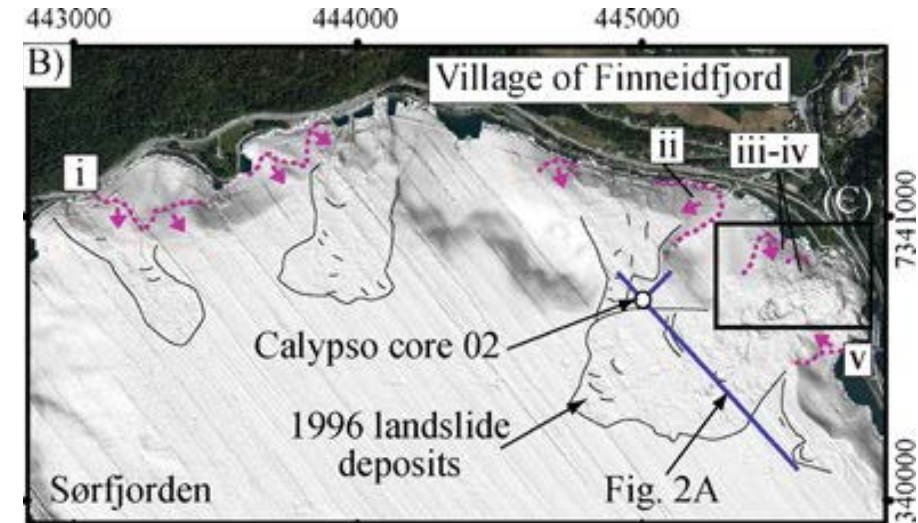
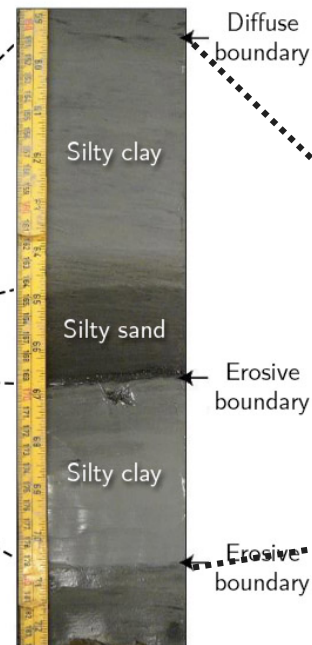
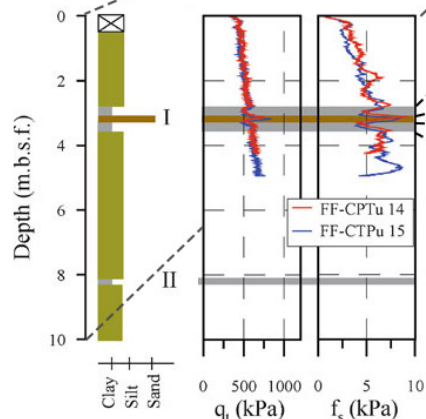
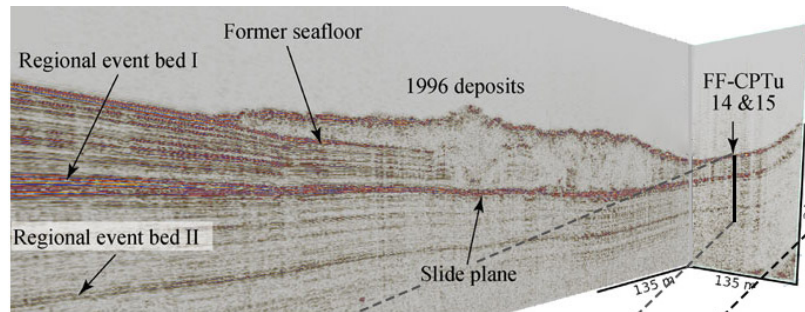
Dr.techn. Olav Olsen

NGF-stipendiat 2021

«Når telen går» 21.03.23

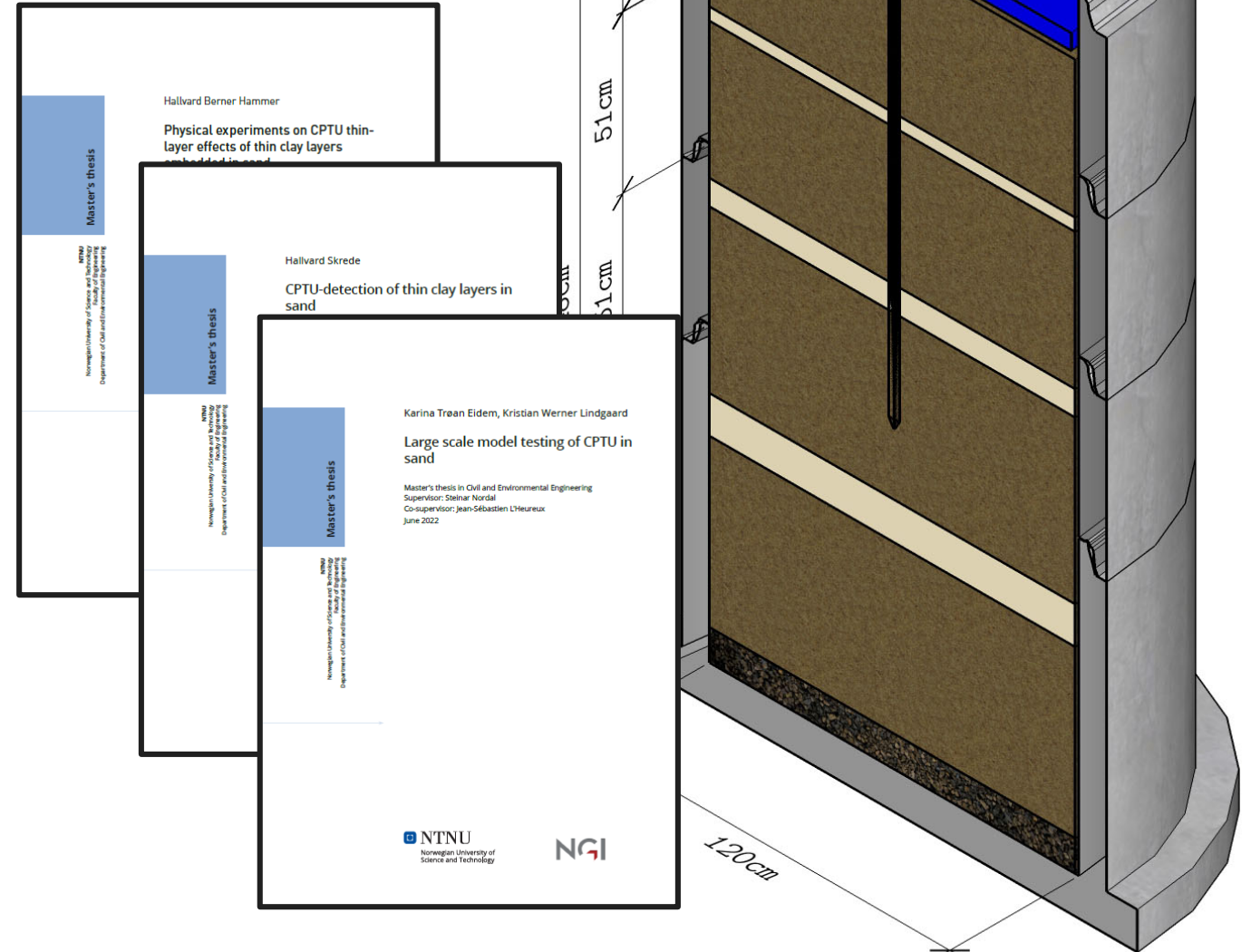
Tynne lag, store konsekvenser

- ▶ Finneidfjord, 1996:
 - ▶ 1 million kubikkmeter
 - ▶ 4 menneskeliv
 - ▶ Brudd gjennom ~10 cm svakt leirelag
- ▶ Overestimering
- ▶ Mangel på måter å korrigere CPTU-målinger i tynne lag



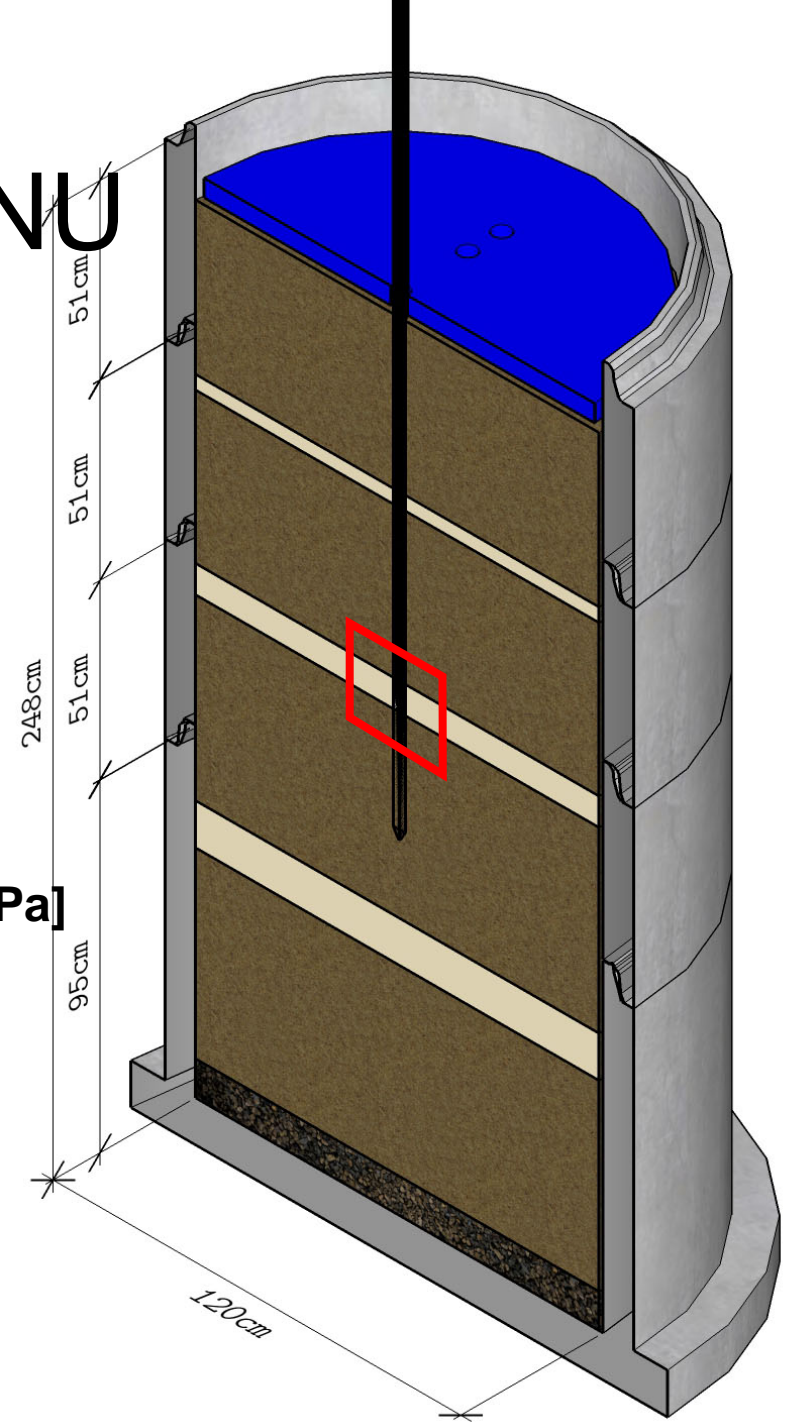
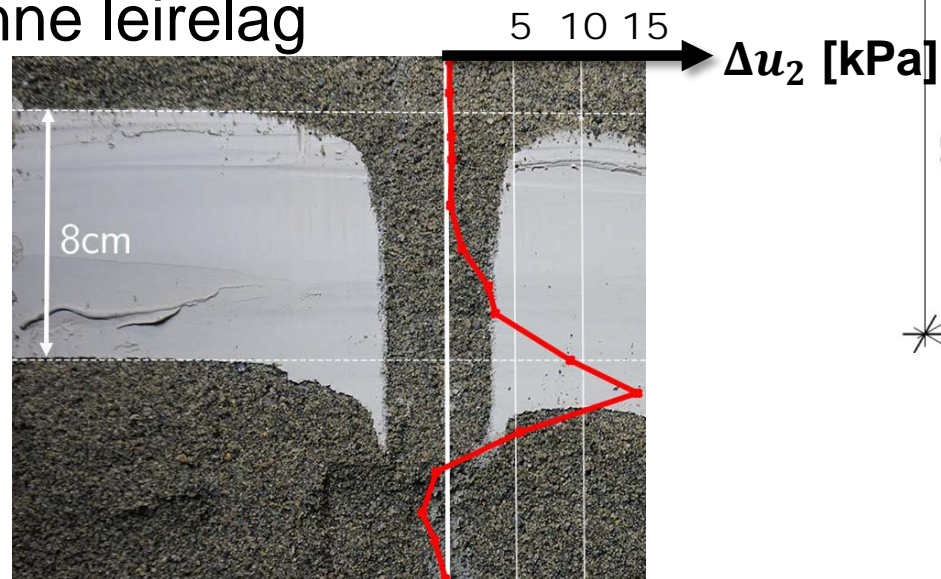
Fysiske storskalaforsøk ved NTNU

- ▶ Veiledere:
 - ▶ Steinar Nordal (NTNU)
 - ▶ Jean-Sebastien L'Heureux (NGI)
- ▶ Masteroppgaver:
 - ▶ Hallvard Hammer 2020
 - ▶ Hallvard Skrede 2021
 - ▶ Karina Eidem & Kristian Lindgaard 2022



Fysiske storskalaforsøk ved NTNU

- ▶ Leirelag med tykkelse 2 - 30 cm
- ▶ Spissmotstand (q_t) egnet for tolkning i tynne lag
- ▶ Poreovertrykk (Δu_2) gir ikke helt tydelig identifikasjon av tynne leirelag

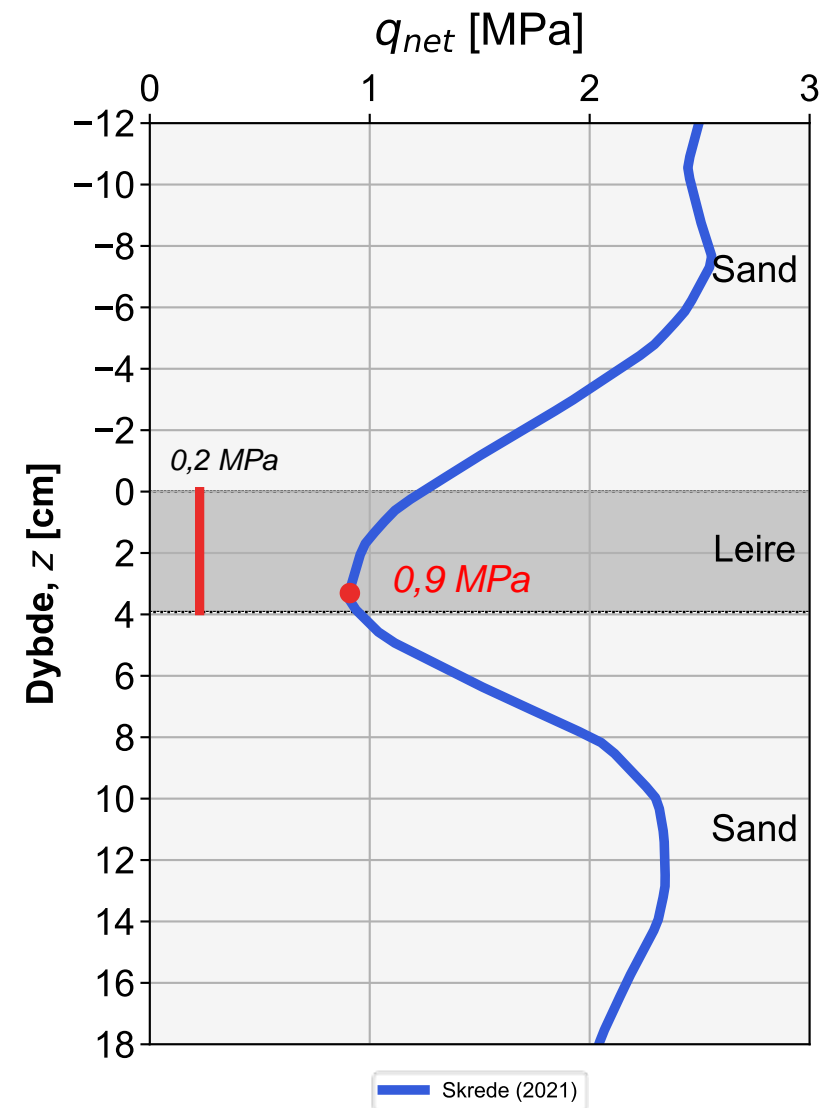
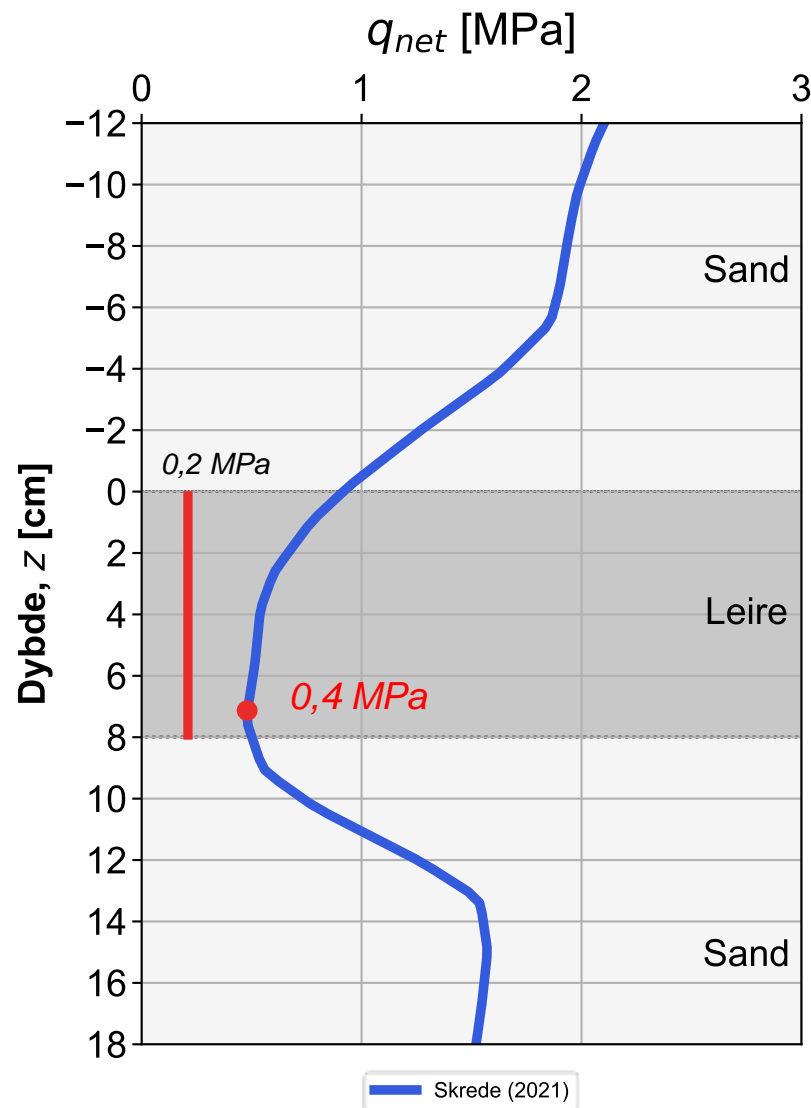


Spissmotstand i tynne lag

- ▶ Laggrenser?
- ▶ Korreksjon?

$$(q_{net} = q_t - \sigma_v)$$

— Karakteristisk spissmotstand



NGF-stipendet 2021

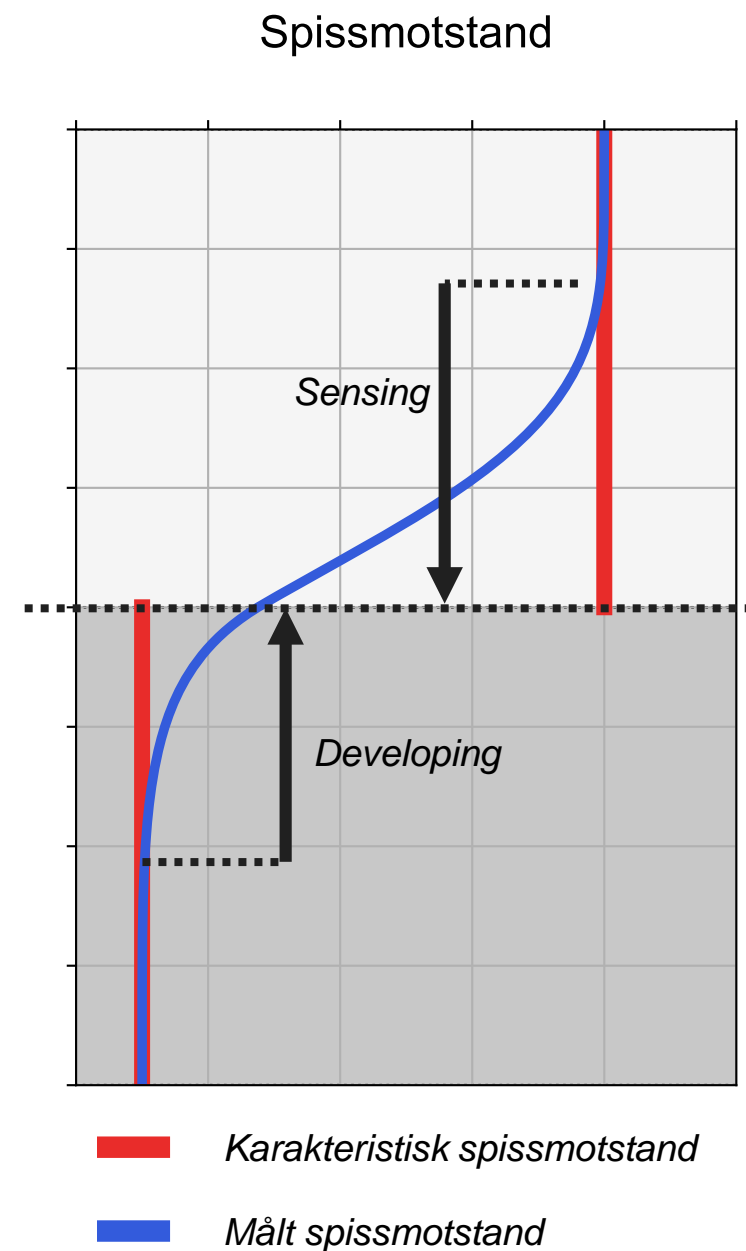
På grunnlag av fysiske forsøk, utvikle:

1. metode for å **detektere laggrenser**
2. en modell som **estimerer målt spissmotstand**
3. prosedyre som **korrigerer målt spissmotstand**

Komplett resultat presenteres i rapport

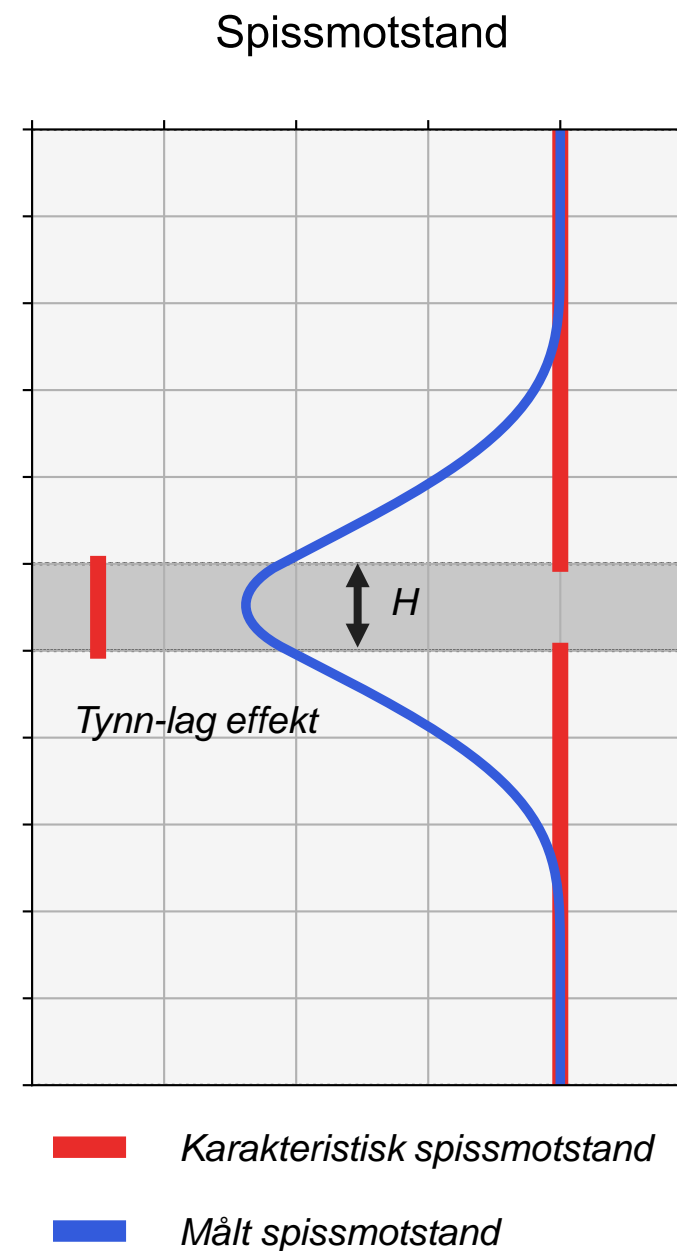
Spissmotstand i lagdelt jord

- ▶ *Karakteristisk* spissmotstand reflekterer kun materialet ved spissen
 - ▶ Brukes til parametertolkning
- ▶ *Sensing*: avstand før laggrense
- ▶ *Developing*: avstand etter laggrense



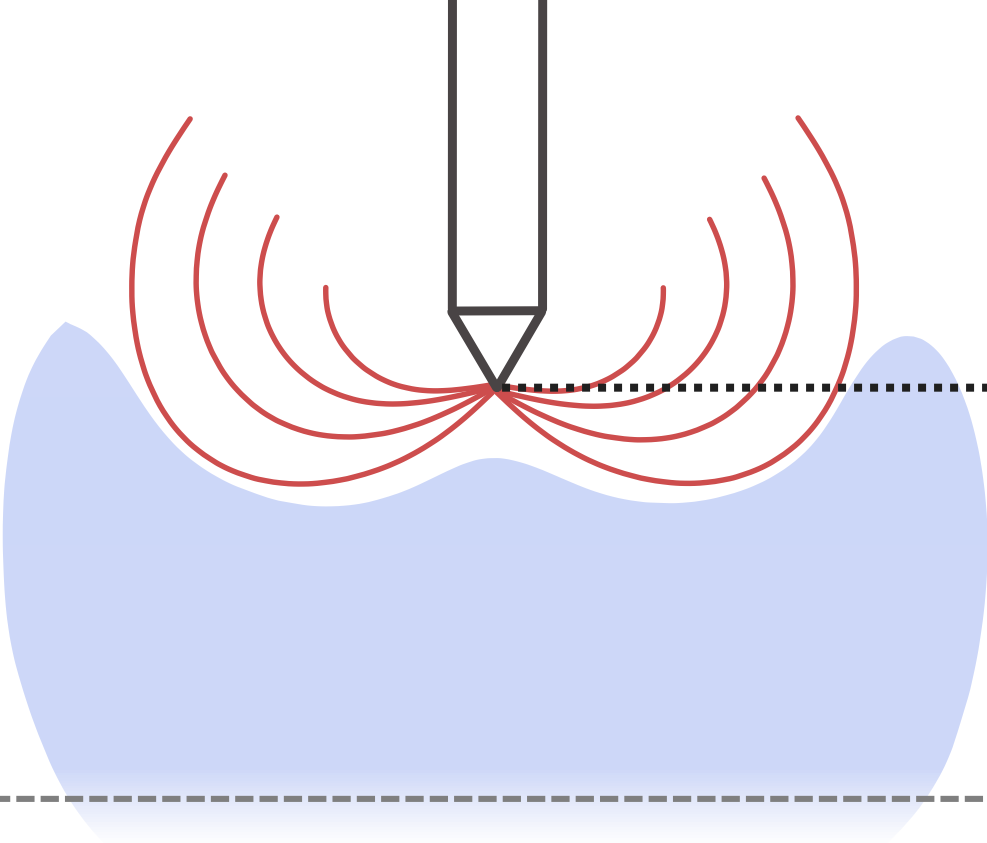
Spissmotstand i tynne lag

- ▶ Lagtykkelse (H) mindre enn og *sensing-* og *developing-*lengder
- ▶ Typisk 20 - 25 cm



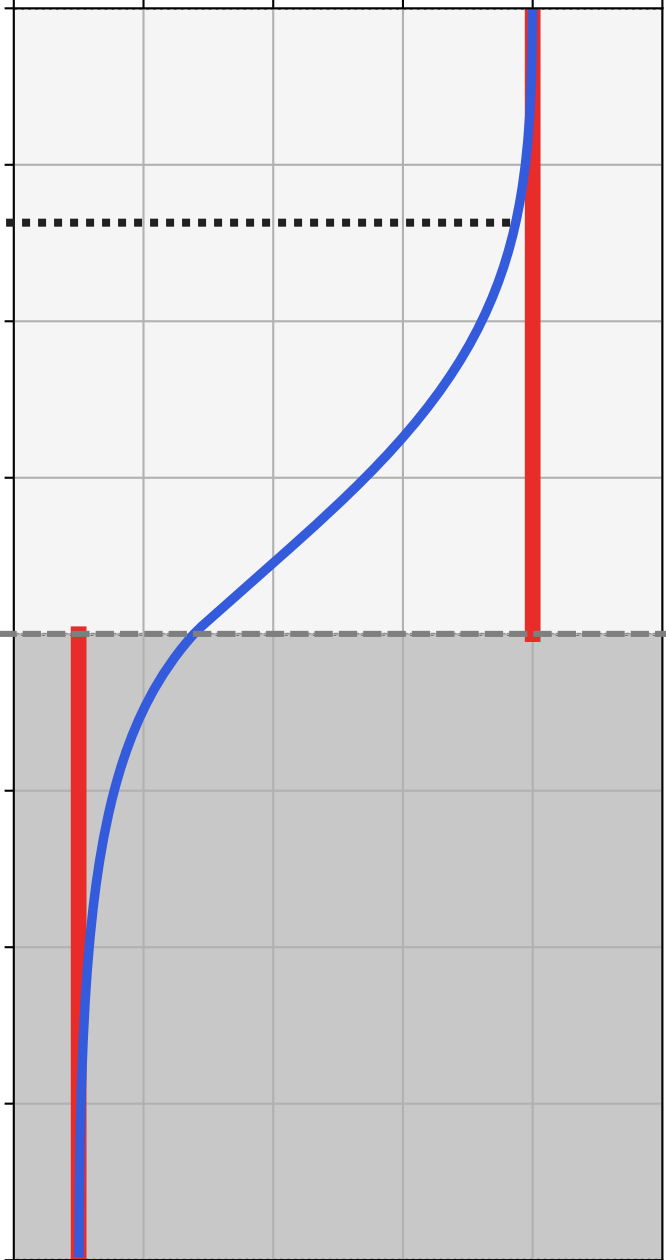
Spissmotstand

Sensing



Laggrense

Svakere materiale gir etter

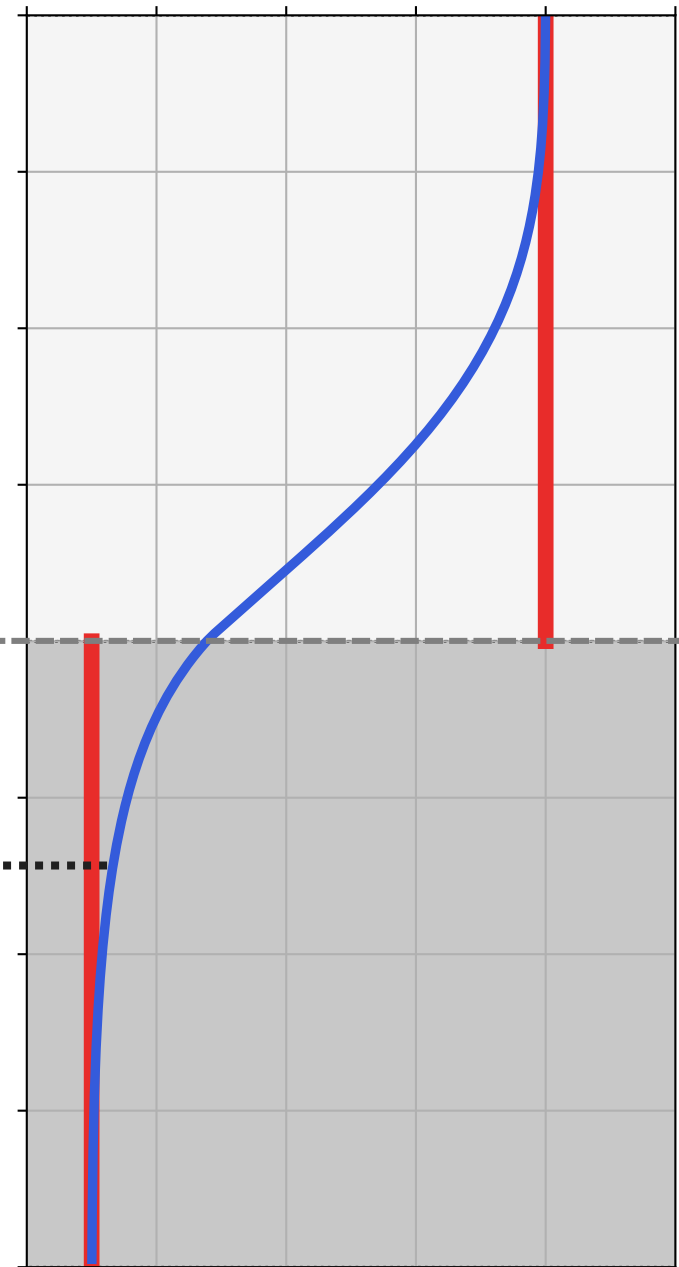
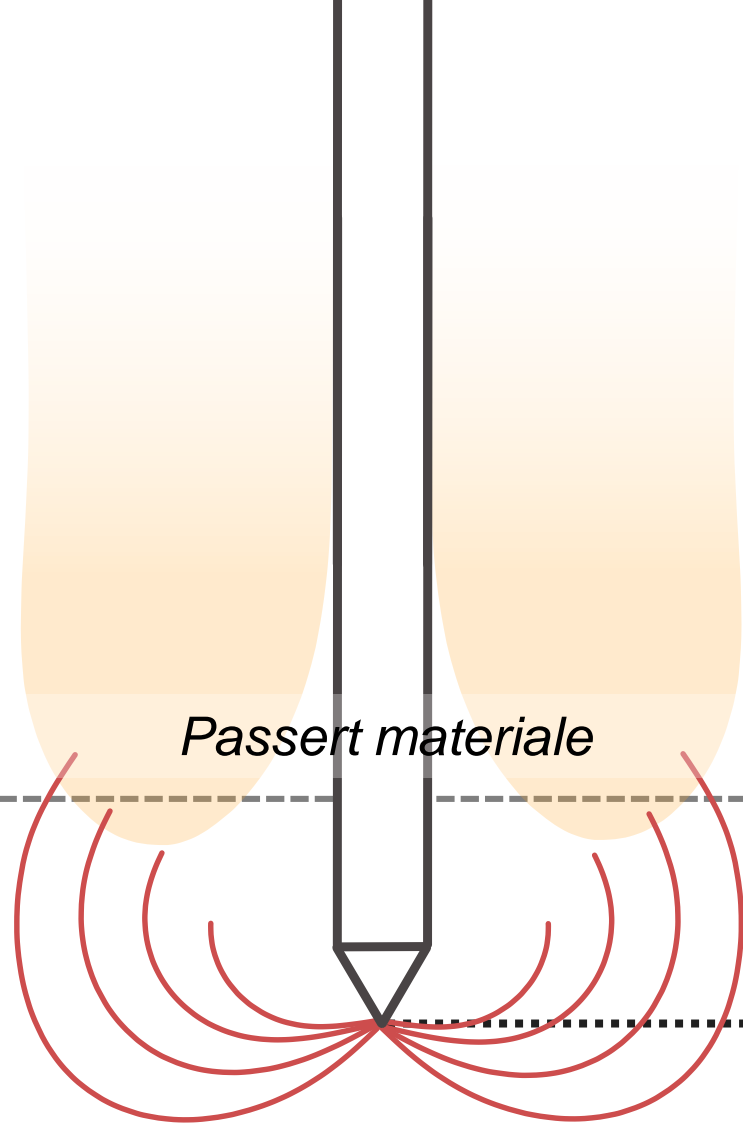


Spissmotstand

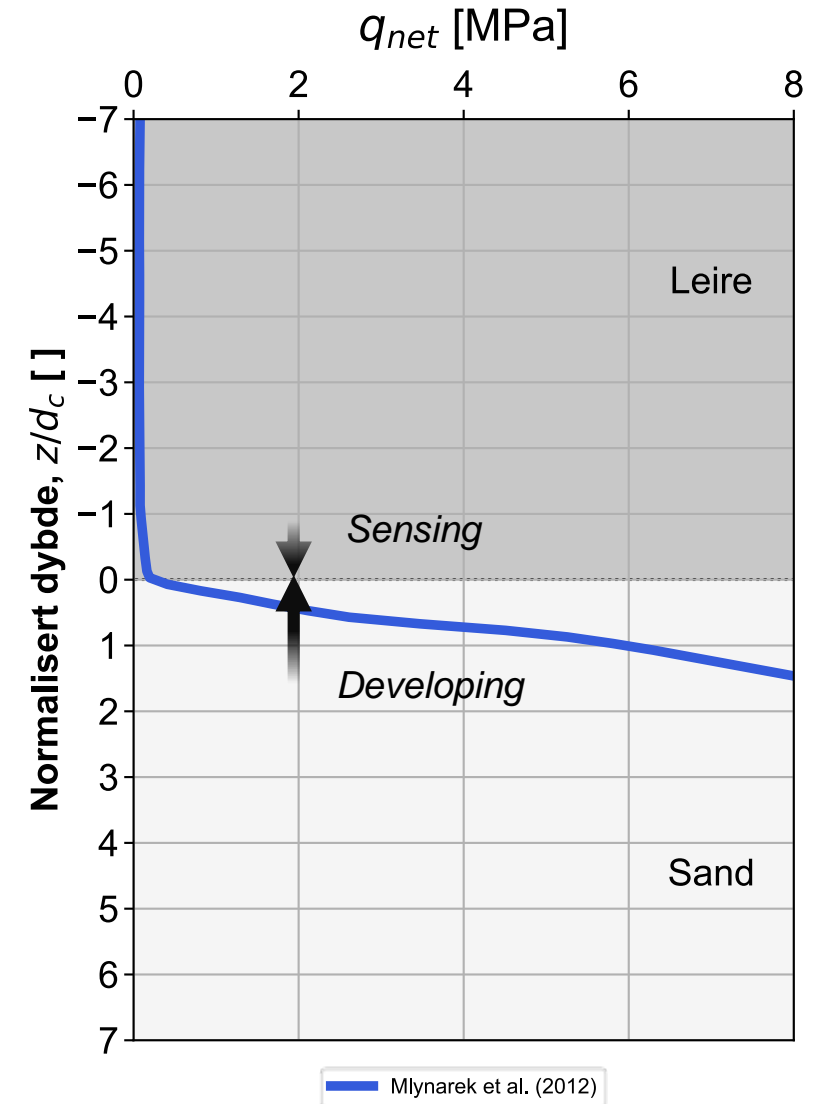
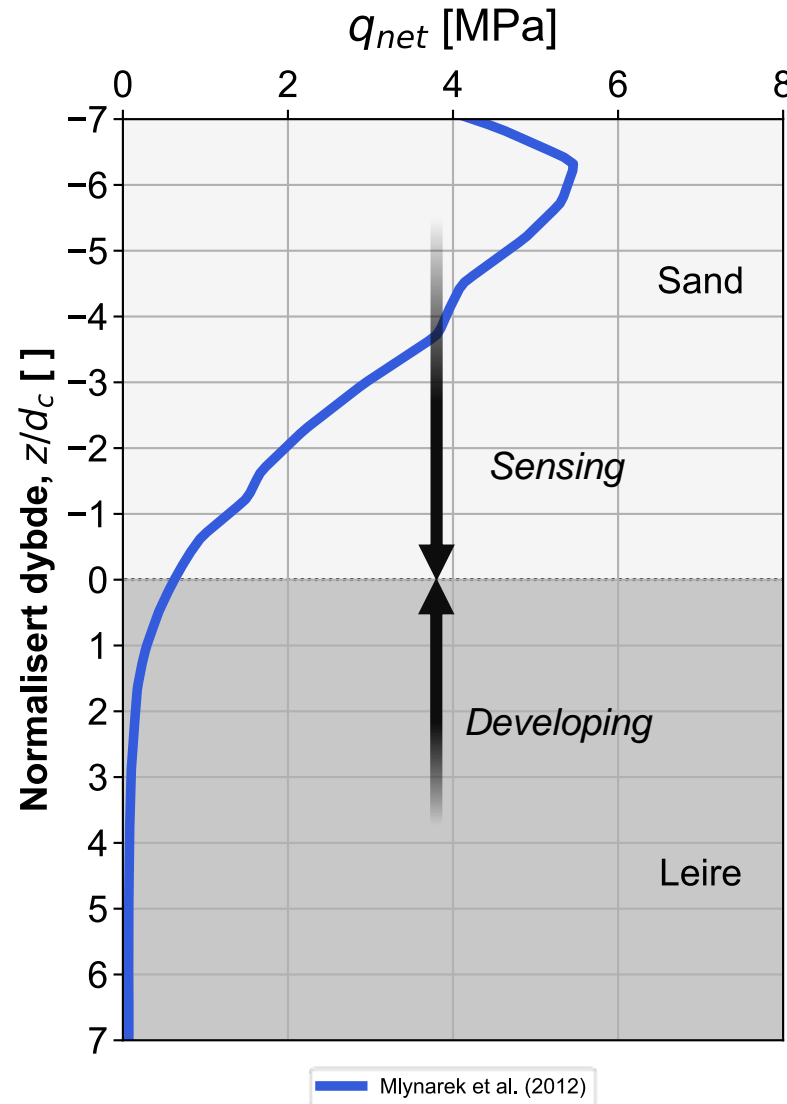
Developing

Laggrense

Passert materiale



Sensing- og developing-lengder fra forsøk

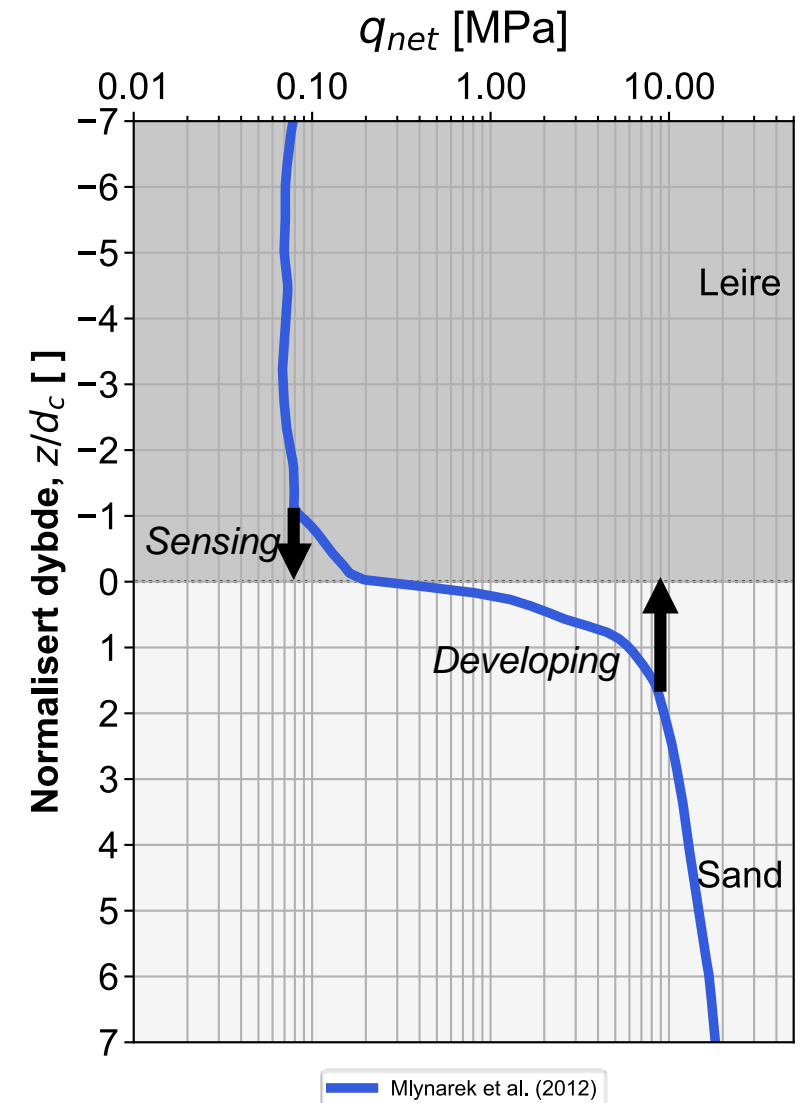
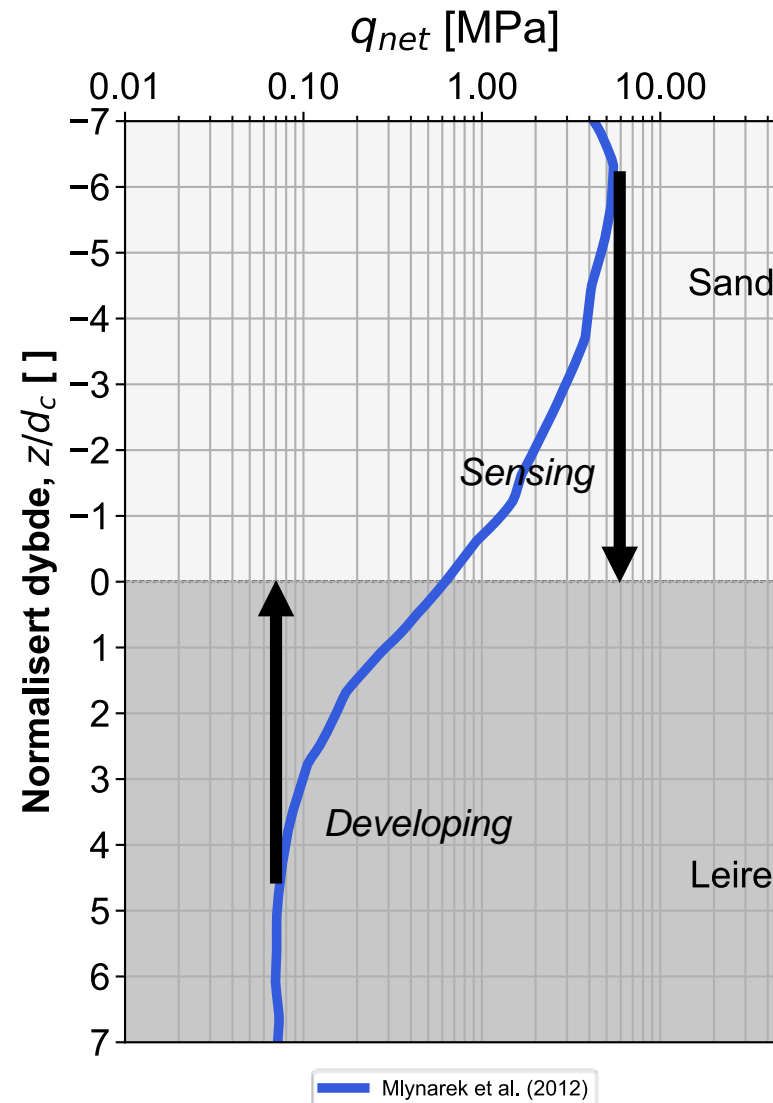


Normalisert på diameter
(standard sonde $d_c = 3,57$ cm)

Sensing- og developing-lengder fra forsøk

- ▶ Sand: størst sensing
- ▶ Leire: størst developing

Normalisert på diameter
(standard sonde $d_c = 3,57 \text{ cm}$)

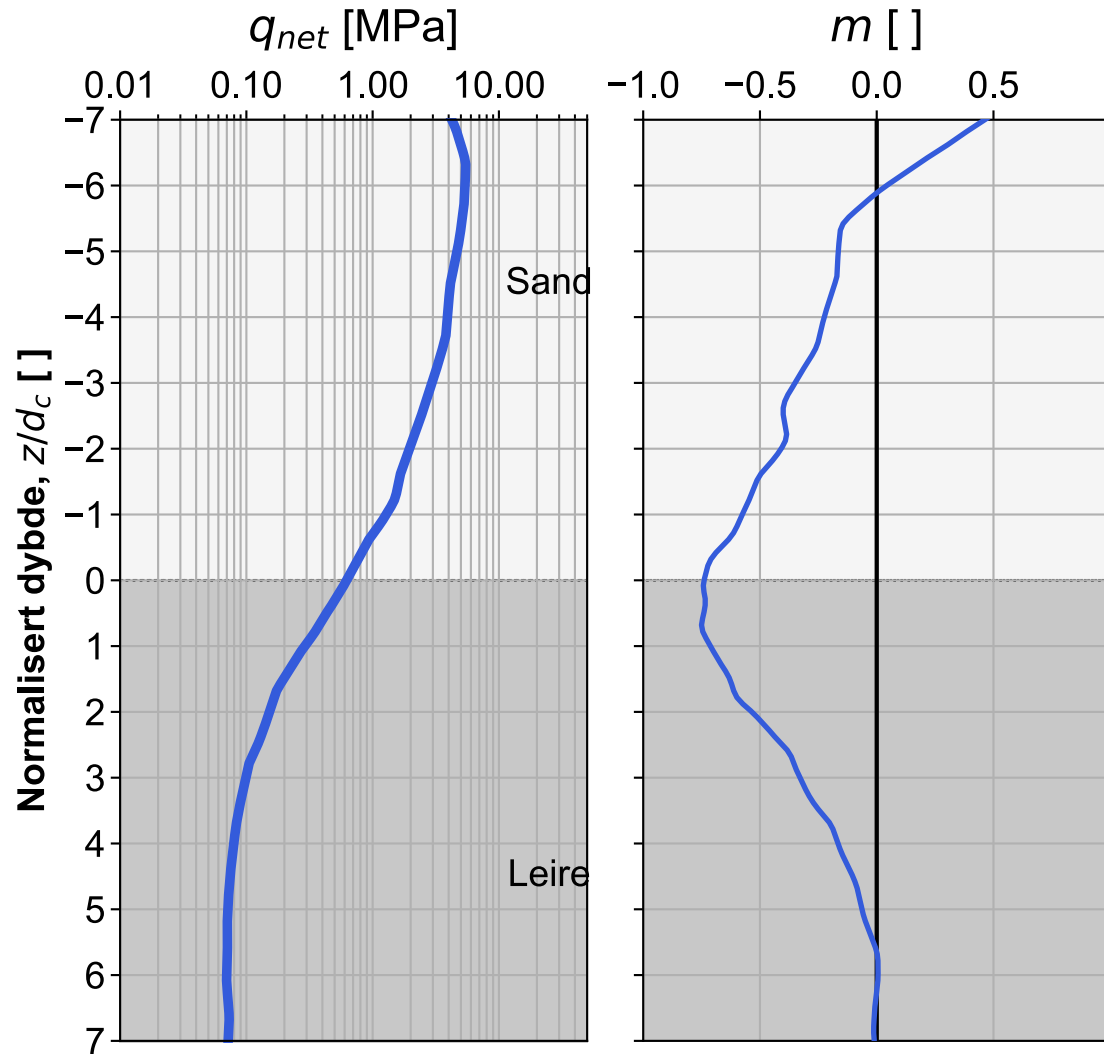


Oppsummering av funn så langt

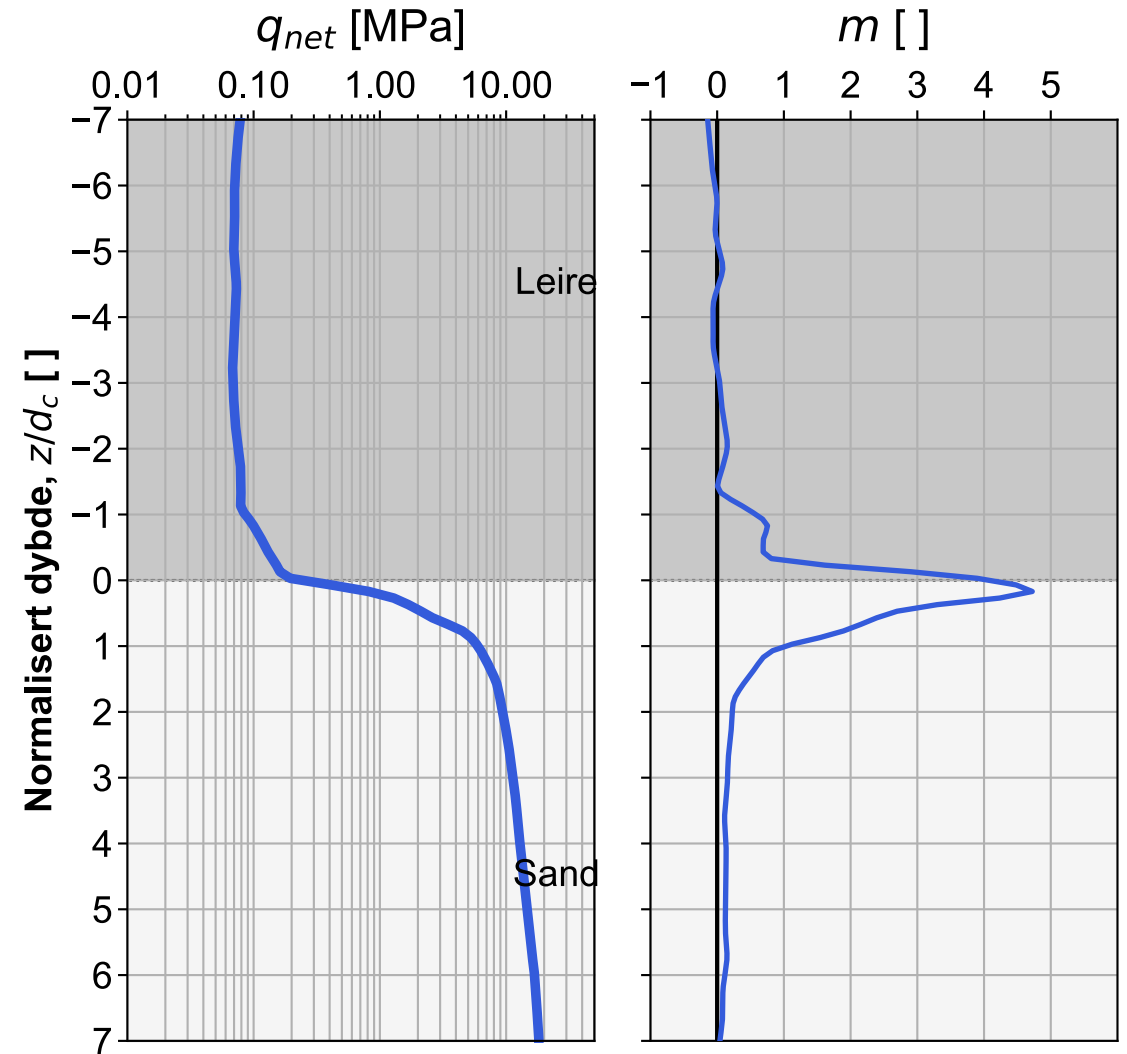
1. Målt spissmotstand virker å være mest påvirket av materialet
 - ▶ foran spissen for sand
 - ▶ bak spissen for leire

Laggrensener

$$m = \frac{\Delta(\ln(q_{net}))}{\Delta z/d_c}$$



Mlynarek et al. (2012)



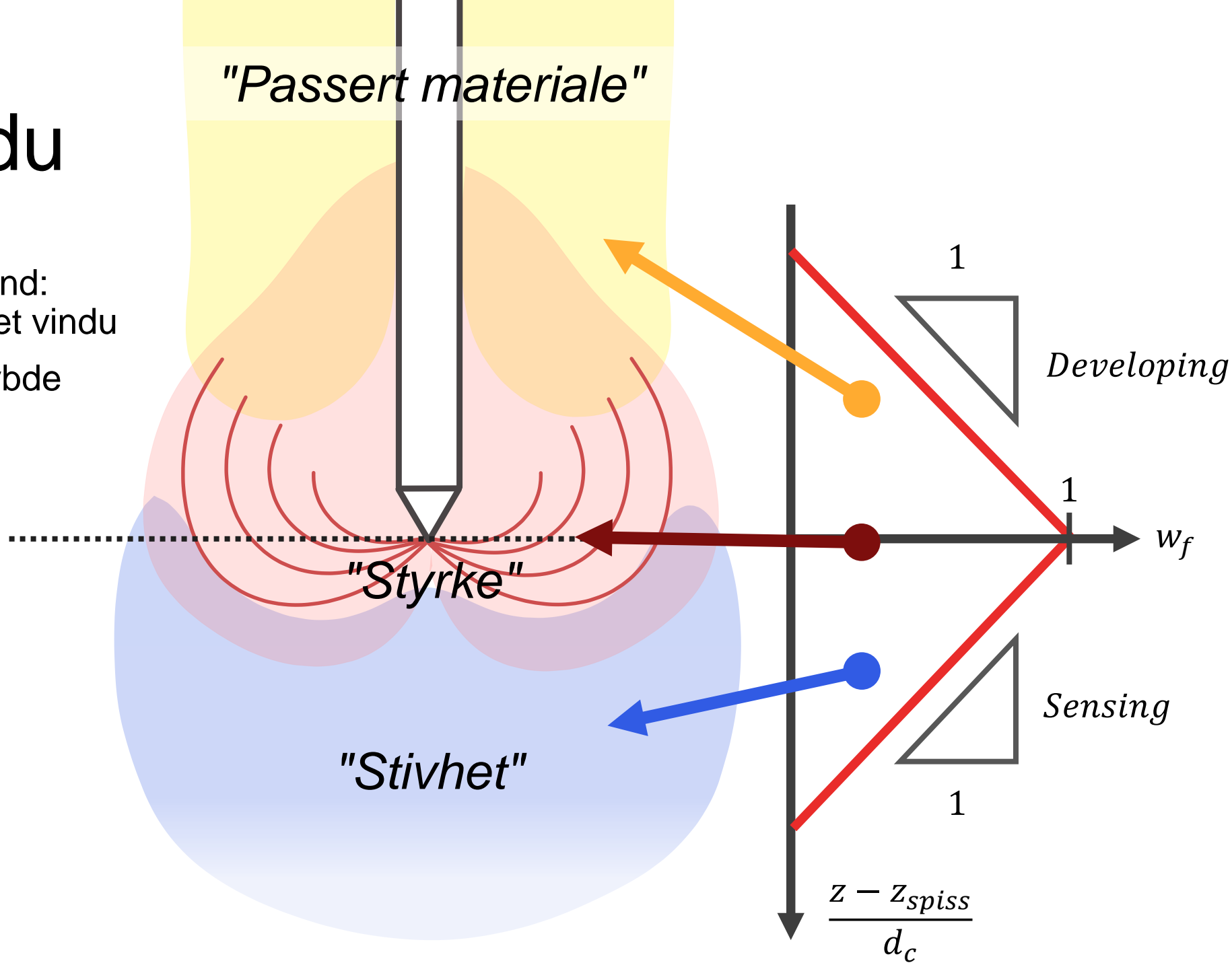
Mlynarek et al. (2012)

Oppsummering av funn så langt

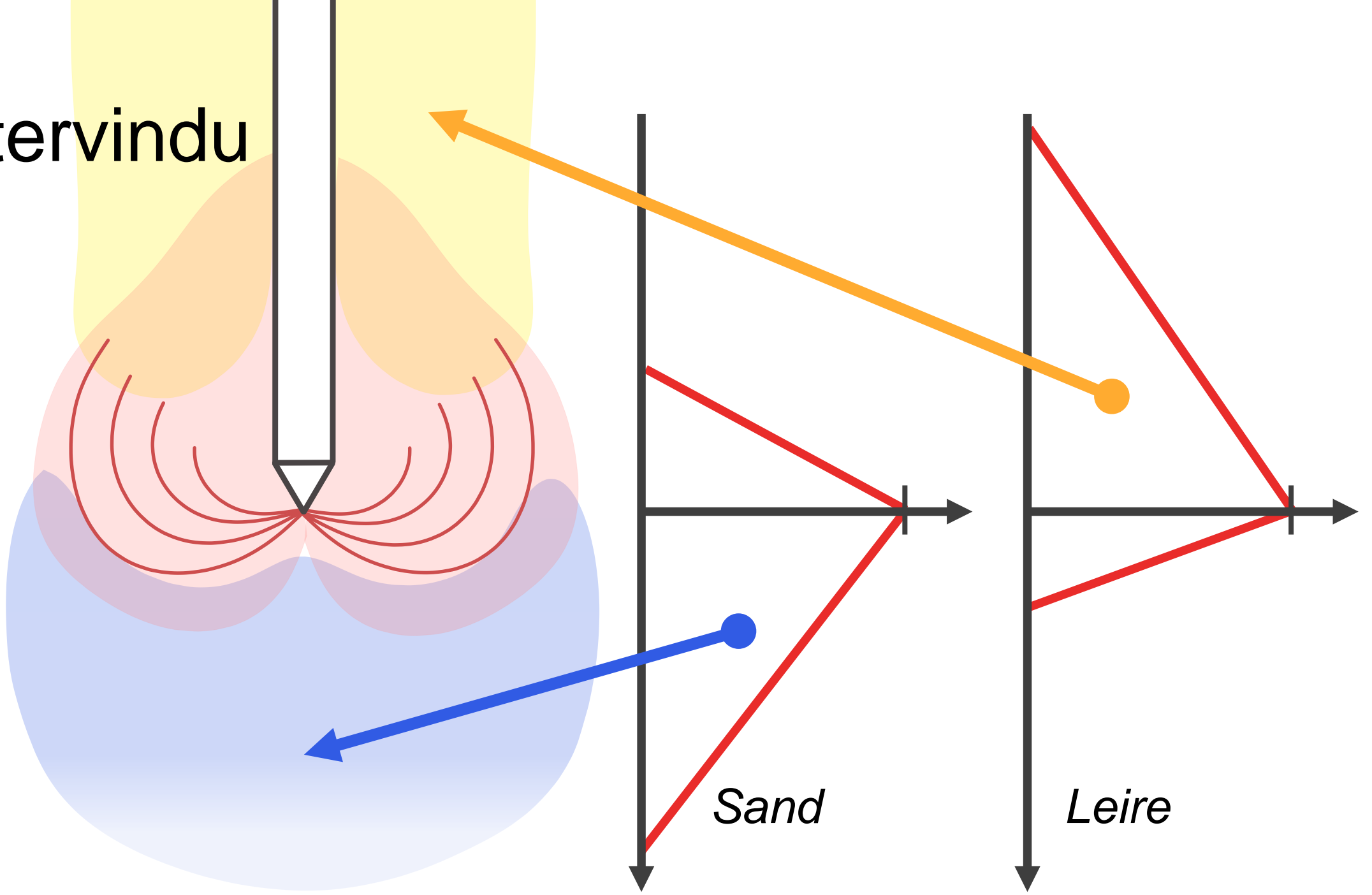
1. Målt spissmotstand virker å være mest påvirket av materialet
 - ▶ foran spissen for sand
 - ▶ bak spissen for leire
2. Derivert av logaritmisk spissmotstand (m) kan benyttes til å detektere laggrenser

Filtervindu

- ▶ Målt spissmotstand: vektet snitt over et vindu
- ▶ Vindu for hver dybde



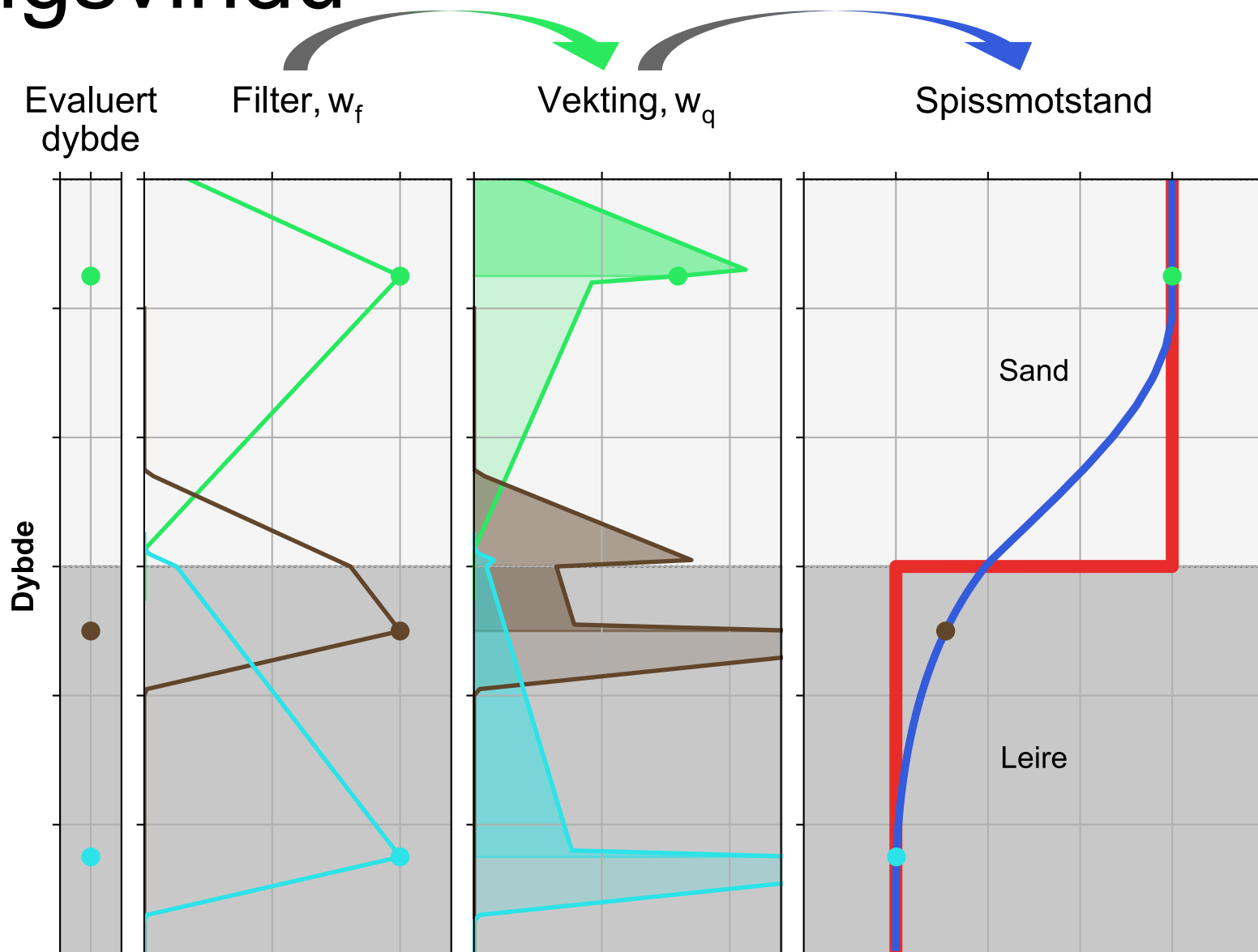
Filtervindu



Sand

Leire

Vektingsvindu



Oppsummering av funn så langt

1. Målt spissmotstand virker å være mest påvirket av materialet
 - ▶ foran spissen for sand
 - ▶ bak spissen for leire
2. Derivert av logaritmisk spissmotstand (m) kan benyttes til å detektere laggrenser
3. Et vektingsvindu kan estimere målt spissmotstand

Oppsummering av funn så langt

1. Målt spissmotstand virker å være mest påvirket av materialet
 - ▶ foran spissen for sand
 - ▶ bak spissen for leire
2. Derivert av logaritmisk spissmotstand (m) kan benyttes til å detektere laggrenser
3. Et vektingsvindu kan estimere målt spissmotstand

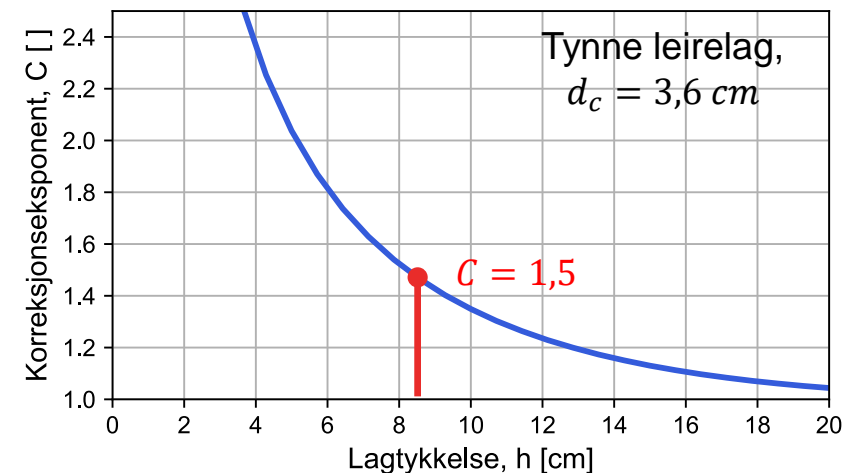
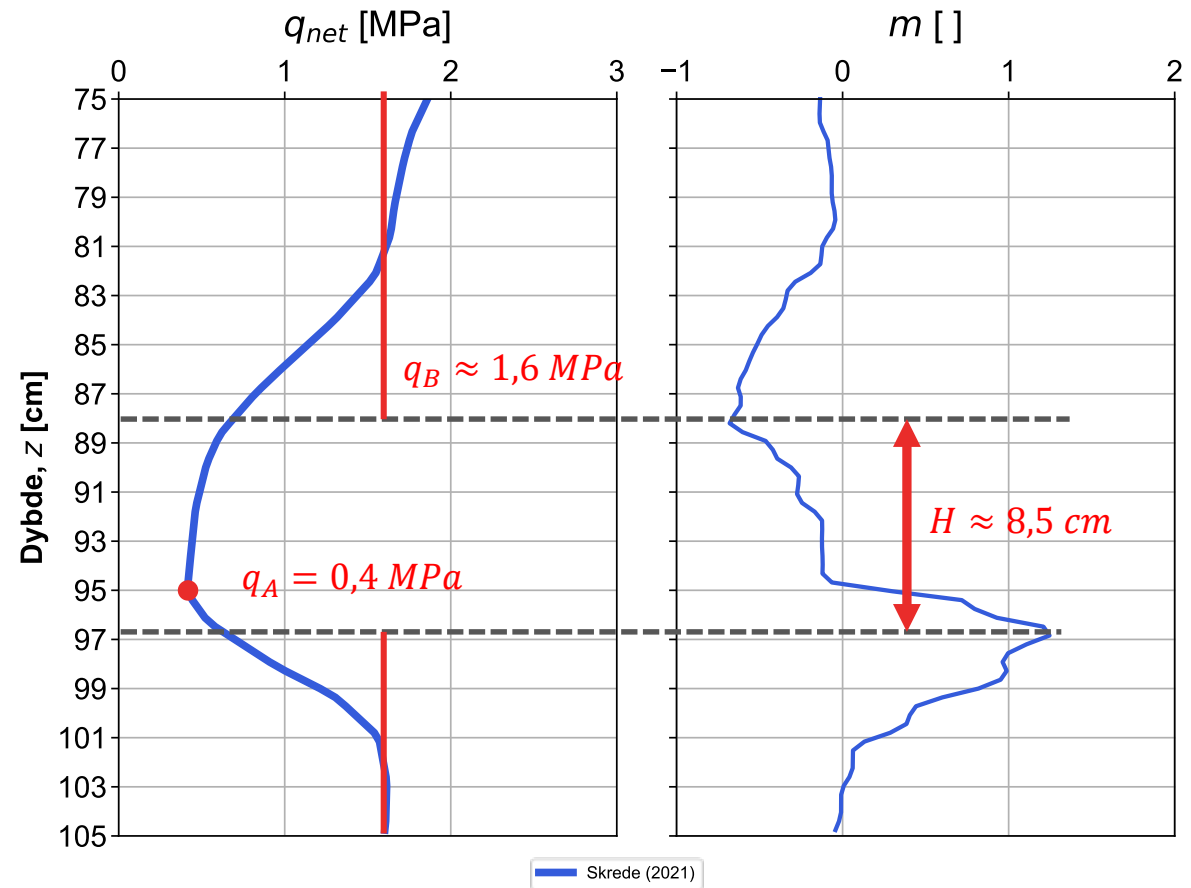
Manuell korreksjon

Forslag til korreksjonsfaktor fra filterprosedyre

1. Bestem lagtykkelse (H) fra m
2. Finn q_A og q_B
3. Les av verdi for C i plot
4. Regn ut:

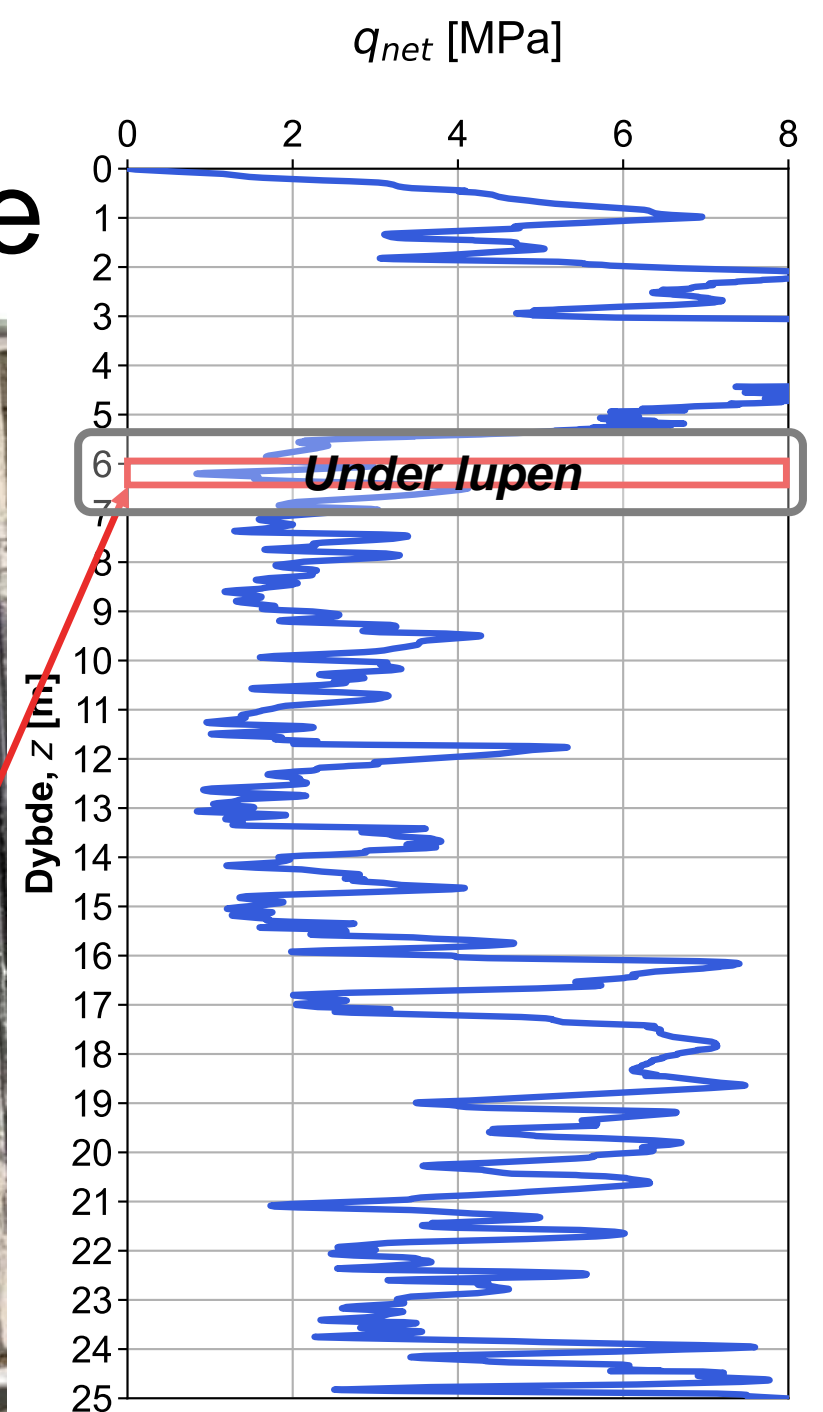
$$q_{tynn} = \left(\frac{q_A}{q_B} \right)^c \cdot q_B$$

$$q_{tynn} = \left(\frac{0,4}{1,6} \right)^{1,5} \cdot 1,6 \text{ MPa} = 0,2 \text{ MPa}$$

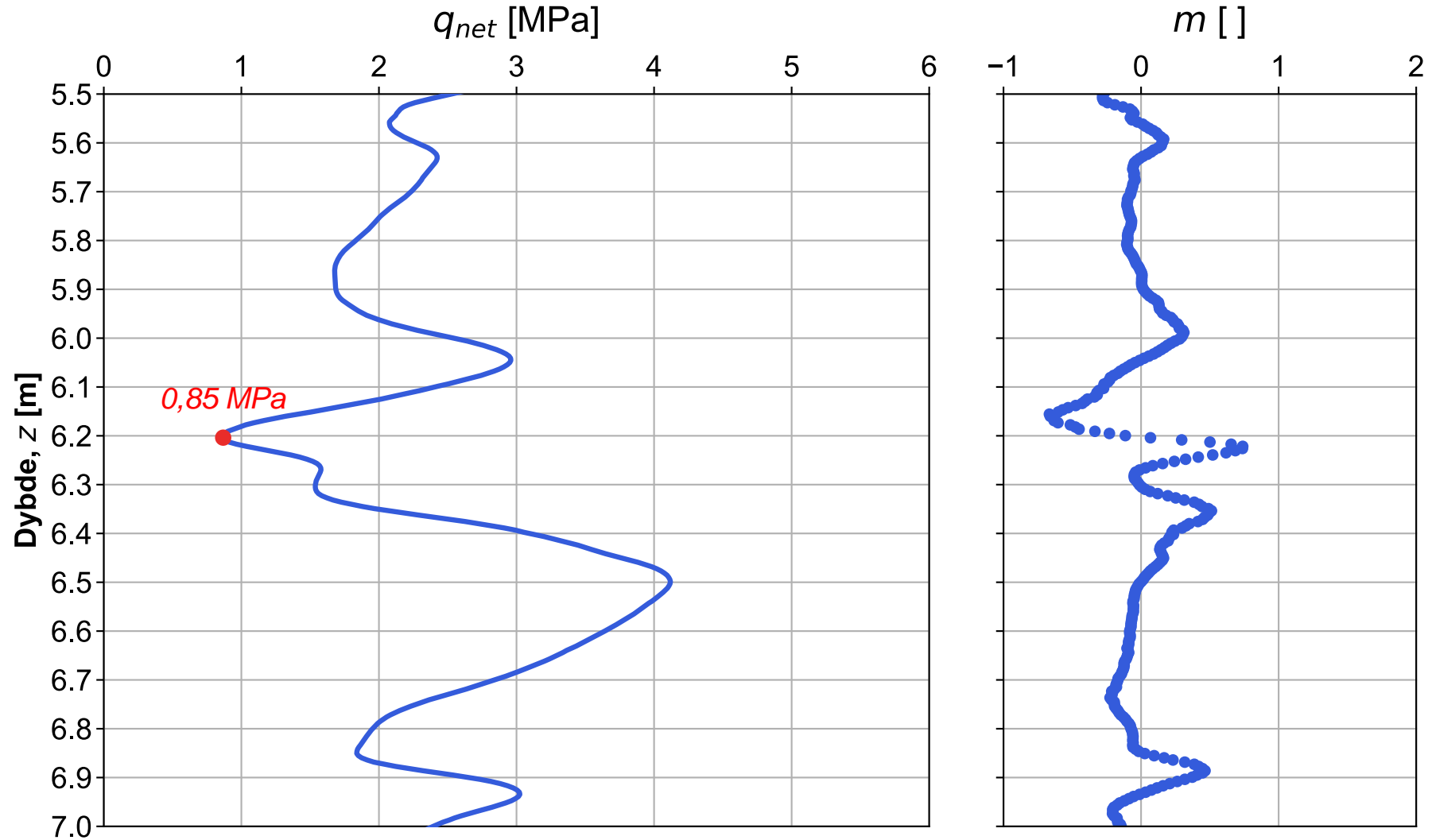


Automatisk korreksjon - case

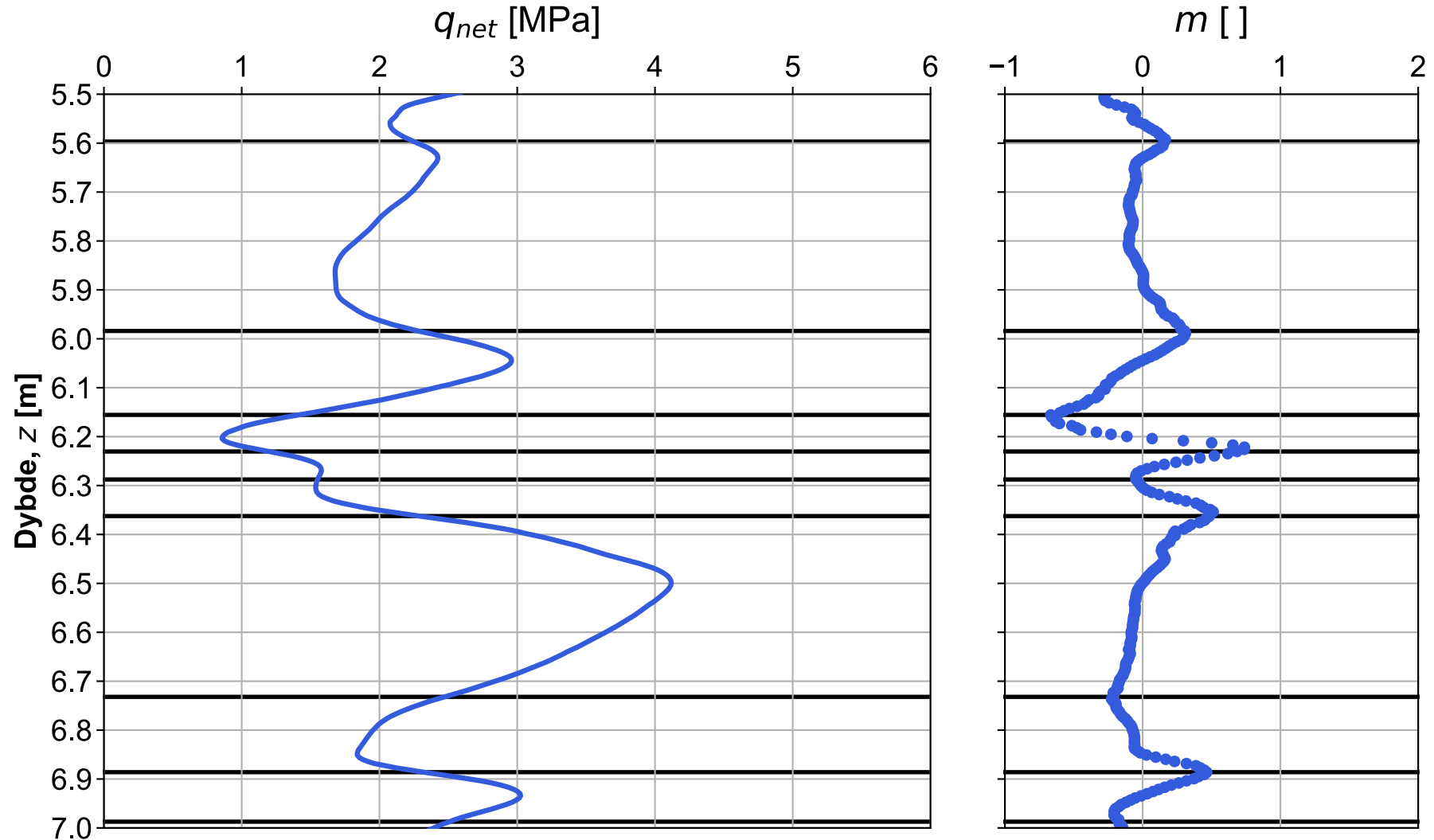
- ▶ NGTS Øysand (Trondheim)
 - ▶ OYSC21 ($d_c = 4,41 \text{ cm}$)
- ▶ Estimat av q_{net}
 - ▶ 7 m eroderte masser: $OCR \approx 2$
 - ▶ Antar:
 - ▶ $N_{kt} = 9$
 - ▶ $\frac{s_{u;NC}}{\sigma'_v} = 0,3$
 - ▶ $m = 0,6$
 - ▶ $q_{net} = N_{kt} \cdot \frac{s_{u;NC}}{\sigma'_v} \cdot OCR^m \cdot \sigma'_v = 0,31 \text{ MPa}$



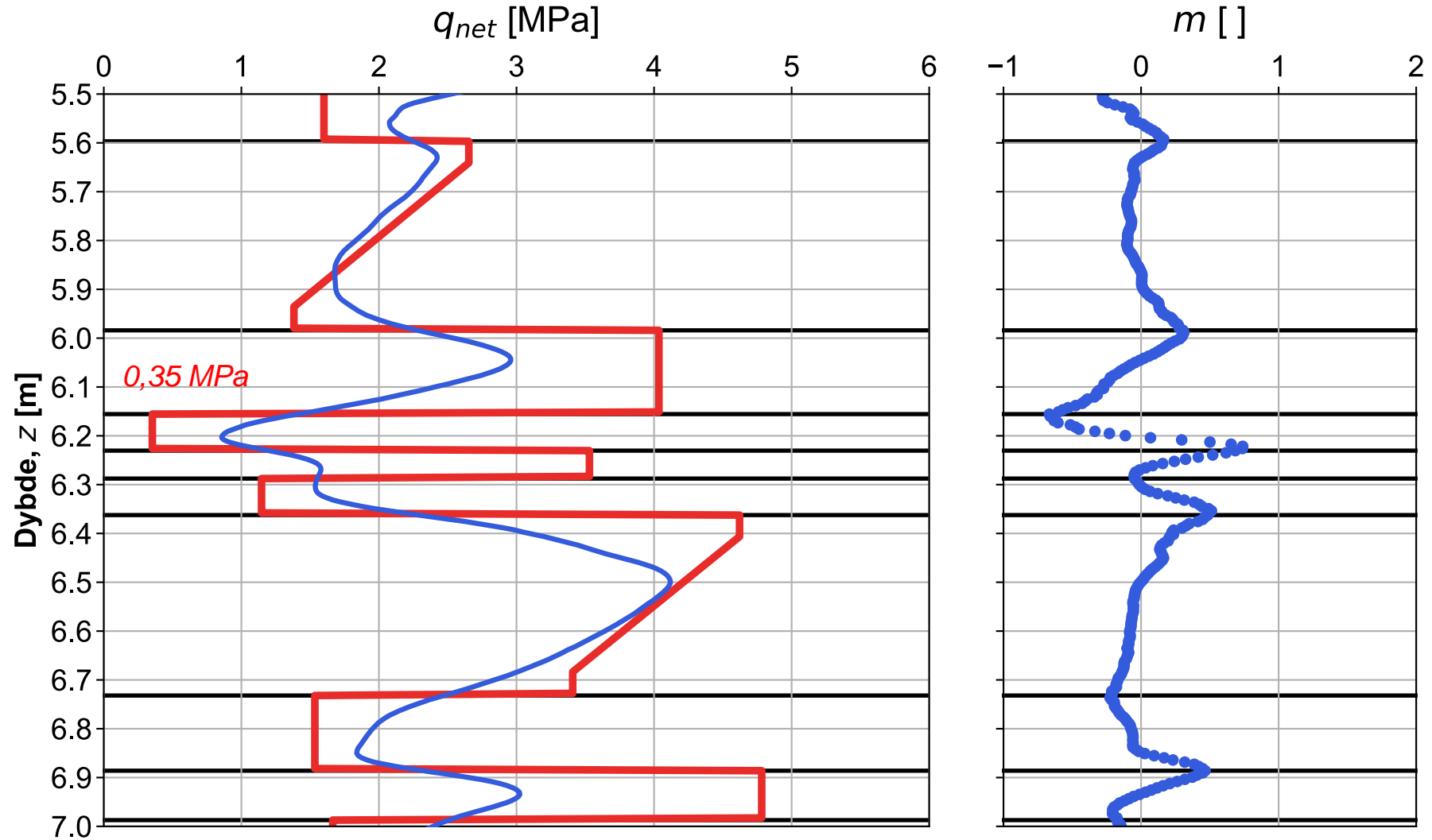
Automatisk korreksjon - case



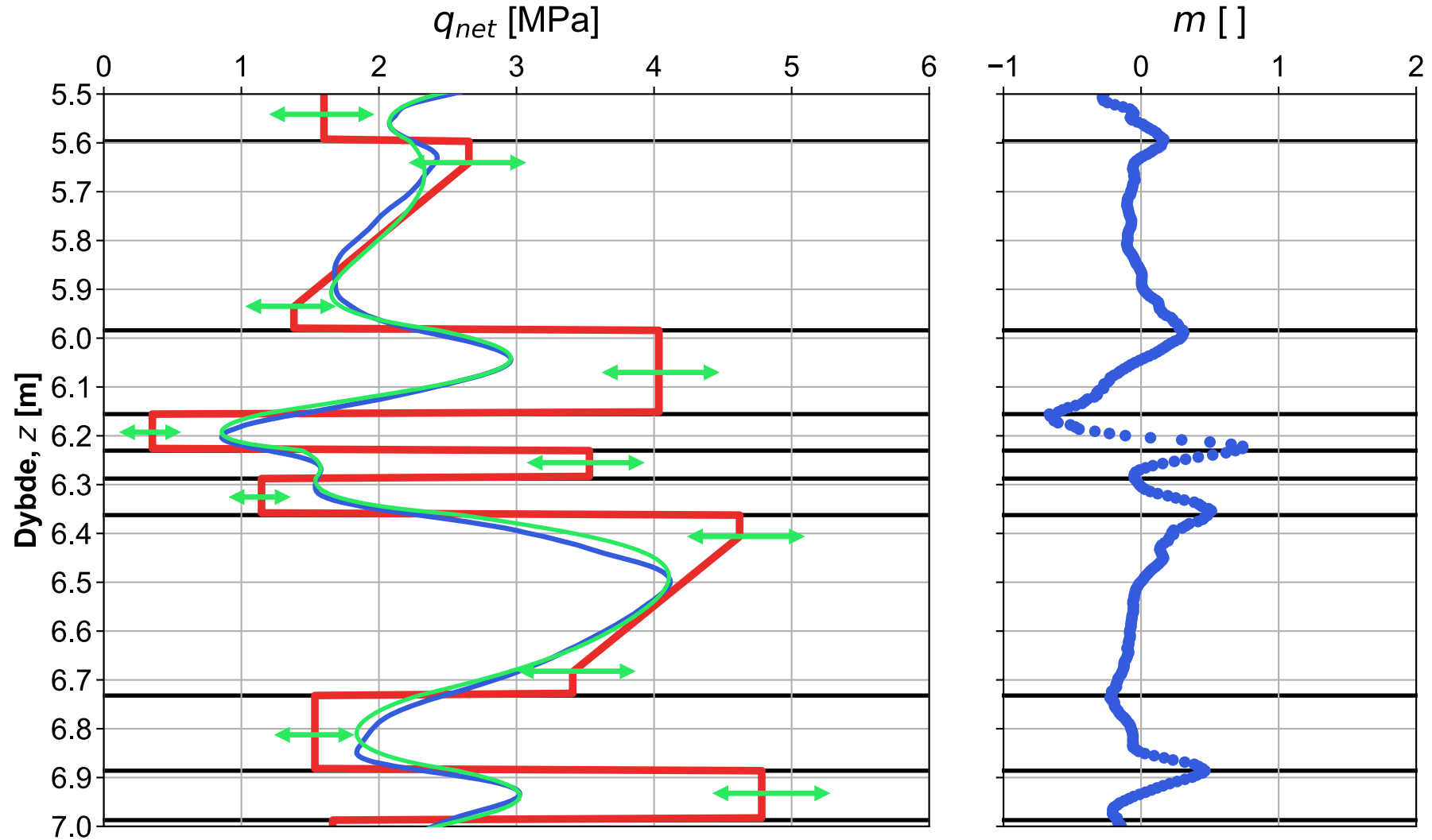
Automatisk korreksjon - case



Automatisk korreksjon - case



Automatisk korreksjon - case



Anbefalinger

- ▶ Utstyr:
 - ▶ Kontroller at sonde har tilstrekkelig målefrekvens (> 1 Hz)
 - ▶ GeoTech NOVA sonder: .log-fil for sondering
 - ▶ Muligheter for utvikling: Høyere målefrekvens er nyttig
- ▶ Behandling av data:
 - ▶ Ekskluderer målinger utenfor akseptabel hastighet (20 ± 5 mm/s)
 - ▶ Særlig viktig ved stangskifte
- ▶ Tynne lag i praksis (e.g. stabilitet):
 - ▶ Korrigjer målinger før tolkning
 - ▶ Er laget sammenhengende?
 - ▶ Vurder geologisk prosess

Referanser

- ▶ Hammer, H.B. 2020. *Physical experiments on CPTU thin-layer effects of thin clay layers embedded in sand* (Master's thesis). Norwegian University of Science and Technology (NTNU). Trondheim, Norway.
- ▶ Hammer, H. B., Nordal, S., L'Heureux, J. S., & Skrede, H. 2022. *Thin-layer detection from the cone resistance rate of change*. In *Cone Penetration Testing 2022* (pp. 438-444). CRC Press.
- ▶ L'Heureux, J.-S., Longva, O., Steiner, A., Hansen, L., Vardy, M. E., Vanneste, M., . . . Forsberg, C. F. 2012. *Identification of weak layers and their role for the stability of slopes at Finneidfjord, northern Norway*. In *Submarine mass movements and their consequences* (pp. 321-330): Springer.
- ▶ Młynarek, Z., Gogolik, S., & Póltorak, J. 2012. *The effect of varied stiffness of soil layers on interpretation of CPTU penetration characteristics*. *Archives of civil and mechanical engineering*, 12(2), 253-264.
- ▶ Skrede, H. 2021 *CPTU-detection of thin clay layers in sand* (Master's thesis). Norwegian University of Science and Technology (NTNU). Trondheim, Norway.
- ▶ Quinteros, S., Gundersen, A., L'Heureux, J. S., Carraro, A. H., & Jardine, R. 2019. *Øysand research site: Geotechnical characterisation of deltaic sandy-silty soils*.

Rapport publiseres mot sommeren
hbh@olavolsen.no



Rapport publiseres mot sommeren
hbh@olavolsen.no

Takk for oppmerksomheten!

