Nya korrelationer för stabiliserad jord

- samband mellan UCS-, triaxial- och seismisk provning

(A2024-9 E- och G-modul av stabiliserad jord)

BIG – Branschsamverkan i grunden
Forskningsprogram för effektiv och säker grundläggning av vägar och järnvägar

Projektgruppen

- David Gaharia, projektledare, LabMind
- Sölve Hov, NTNU/NGI & LabMind
- Per Lindh, TRV:s FOI-handläggare
- Stefan Larsson, KTH

NTNU
Kunnskap for en bedre verden

BIG – Branschsamverkan i grunden
Forskningsprogram för effektiv och säker grundläggning av vägar och järnvägar

KTH
VETENSKAP
OCH KONST

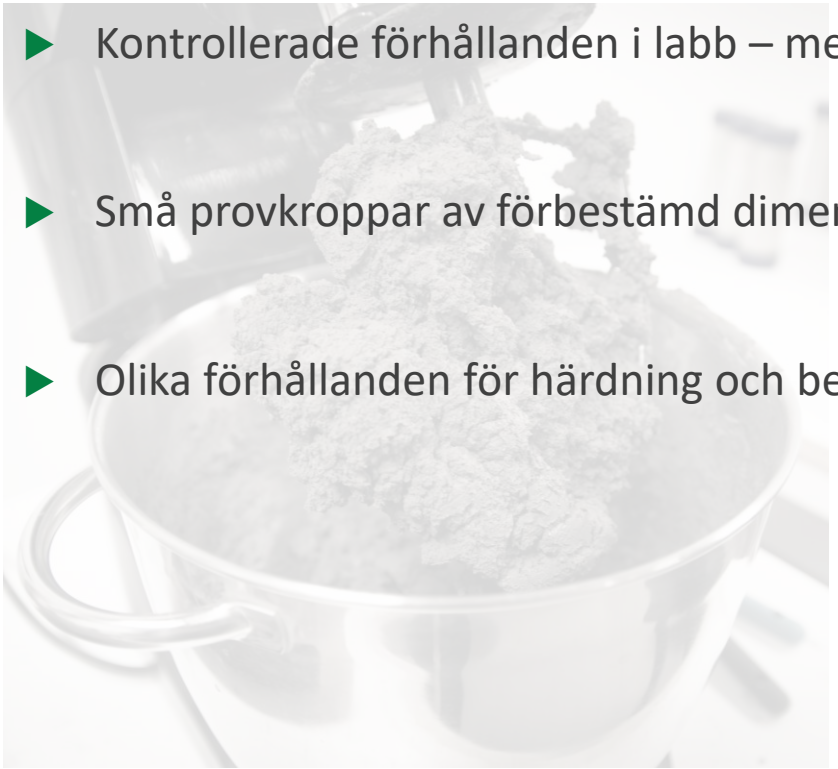
Frågeställning & nytta

- Kan vi få ut mer information från de analyser vi redan gör på stabiliserad jord?
- Vad kan labb säga om fält?
- Om vi kan få ut mer information från våra analyser kan våra lösningar bli mer optimerade.



Labb vs fält

- Kontrollerade förhållanden i labb – mer jämn inblandning
- Små provkroppar av förbestämd dimension – heterogena pelare?
- Olika förhållanden för härdning och belastning



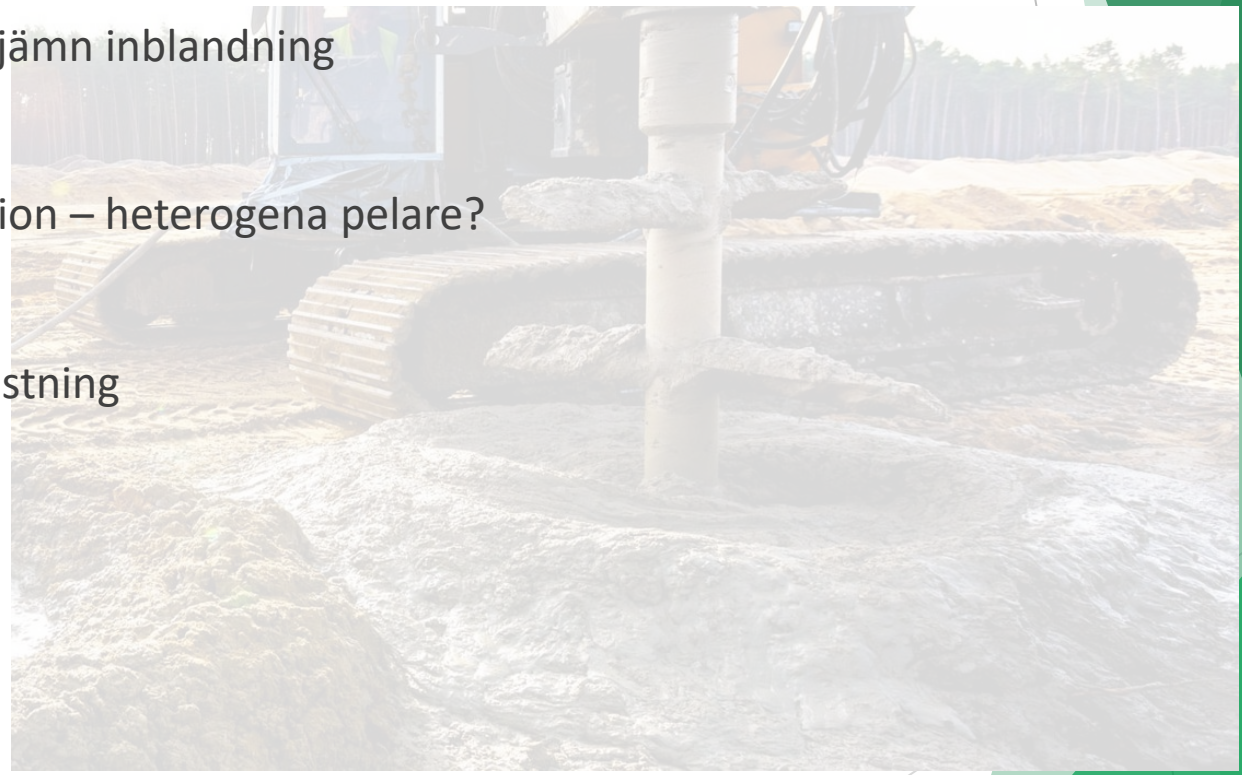
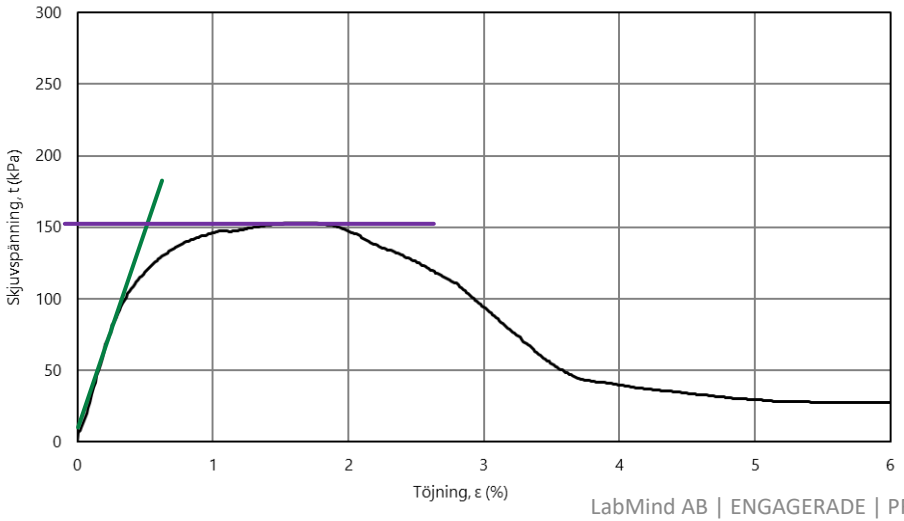


Bild: Wide Horizon Company

Tar vi reda på rätt saker?

- Standard för labb är enaxligt tryckförsök.

- Modul E_{50} och skjuvhållfasthet c_u





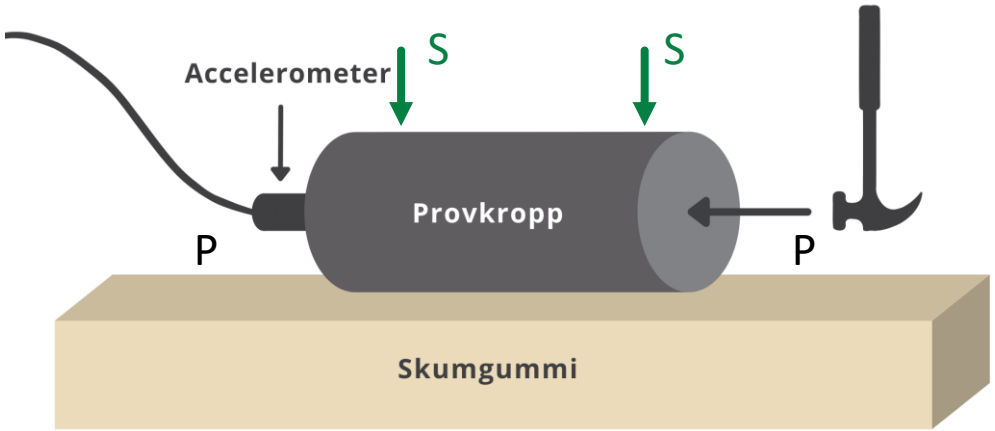
Tar vi reda på rätt saker?

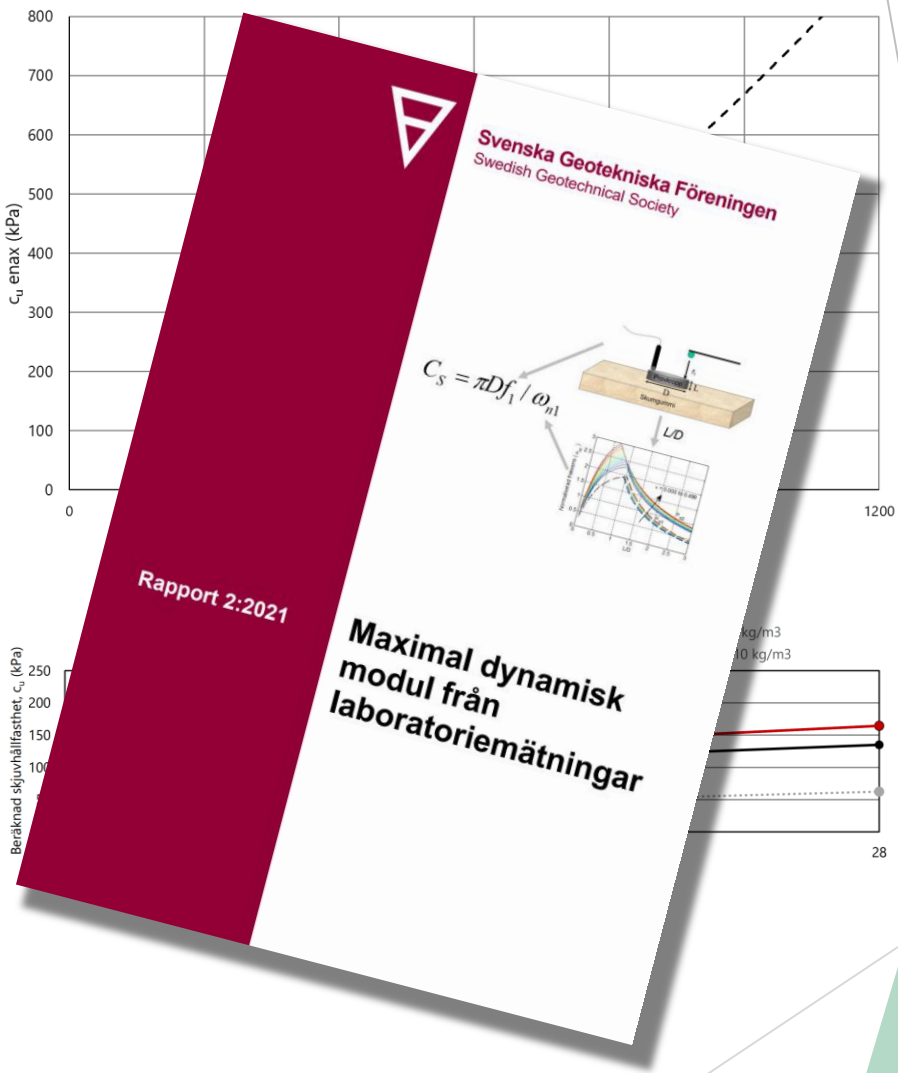
- Standard för labb är enaxligt tryckförsök.
- Modul E_{50} och skjuvhållfasthet c_u
- Vi missar t.ex. effekter av omlagringstryckets betydelse.
  → Triaxialförsök.
- Hur påverkar tryckförsökets hastighet? Bindemedel?



Seismiska mätningar

- P- och s-vågshastighet kan bestämmas genom resonansfrekvensmätning.
- Genom att följa ett prov över tid får vi se hur härdningen utvecklas.





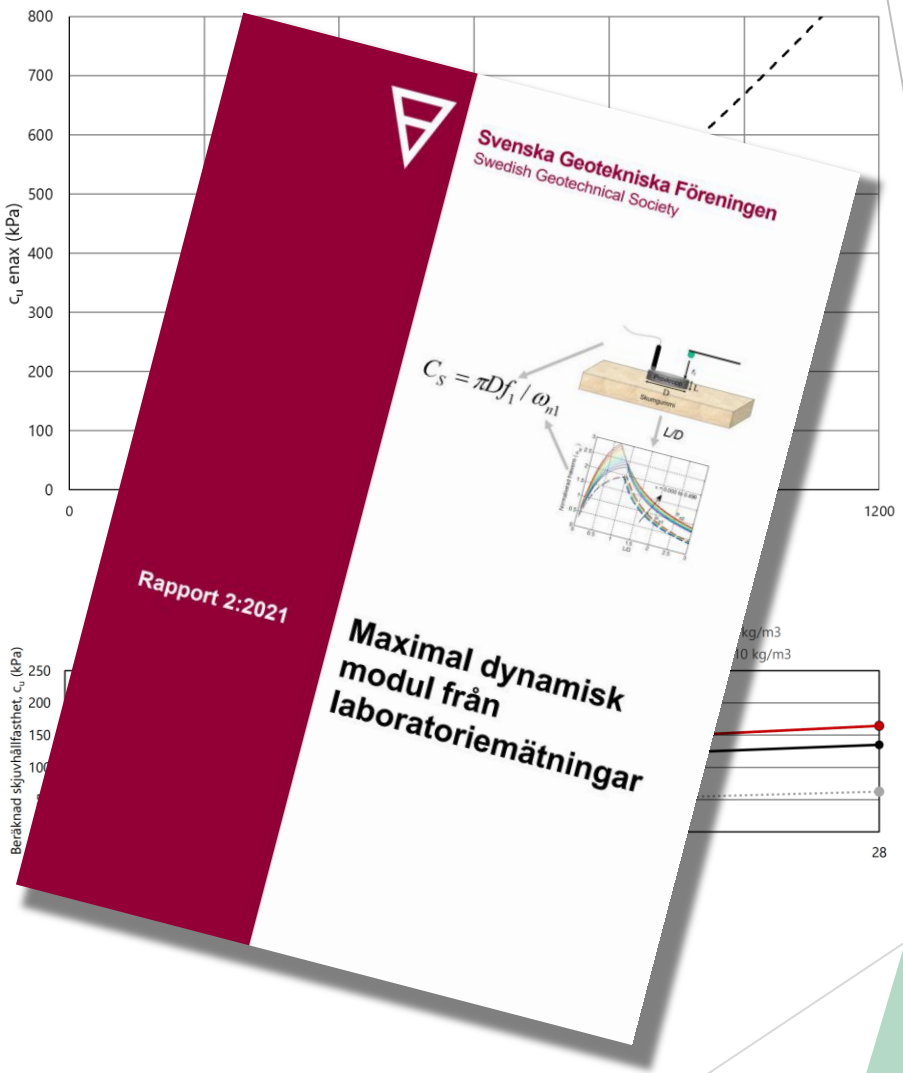
Seismiska mätningar

- P- och s-vågshastighet kan bestämmas genom resonansfrekvensmätning.
- Genom att följa ett prov över tid får vi se hur härdningen utvecklas.

$$E_0 = \rho \cdot v_p^2$$

$$G_0 = \rho \cdot v_s^2$$

- Dynamiska moduler, mikroskopisk deformation.



Hypotes

- Vi kanske inte kan använda E_{50} eller c_u från labb direkt för fält, men det kanske går att hitta en kvantitet baserad på kvoter eller korrelationer som är samma?

$$\frac{E_{0,labb}}{E_{50,labb}} \propto \frac{E_{0,fält}}{E_{50,fält}} \quad ?$$

Jord och bindemedel

- Grå siltig varvig LERA med inslag av sand från Sollentuna. (Tack Peab!)
- Fem olika bindemedel
  - K/C 50/50
  - Cement/CKD 50/50 (multicem)
  - Pappersaska från Norge
  - Supersulfatcement (SSC)
  - LTH-mix
- Olika bindemedel kan ge svar på om korrelationerna är beroende av bindemedeltyp.



Val av analyser

Del 1

- Enaxliga tryckförsök – E_{50}
- Resonansfrekvensmätning – E_0



Val av analyser

Del 1

- Enaxliga tryckförsök – E_{50}
- Resonansfrekvensmätning – E_0

Del 2

- Triaxialförsök – E_{50}
- Direkta skjuvförsök – G_{50}
- Resonansfrekventsmätning – E_0 & G_0
- Böjelementmätning – E_0 & G_0



Val av analyser

Del 1

- Enaxliga tryckförsök – E_{50}
- Resonansfrekvensmätning – E_0

Del 2

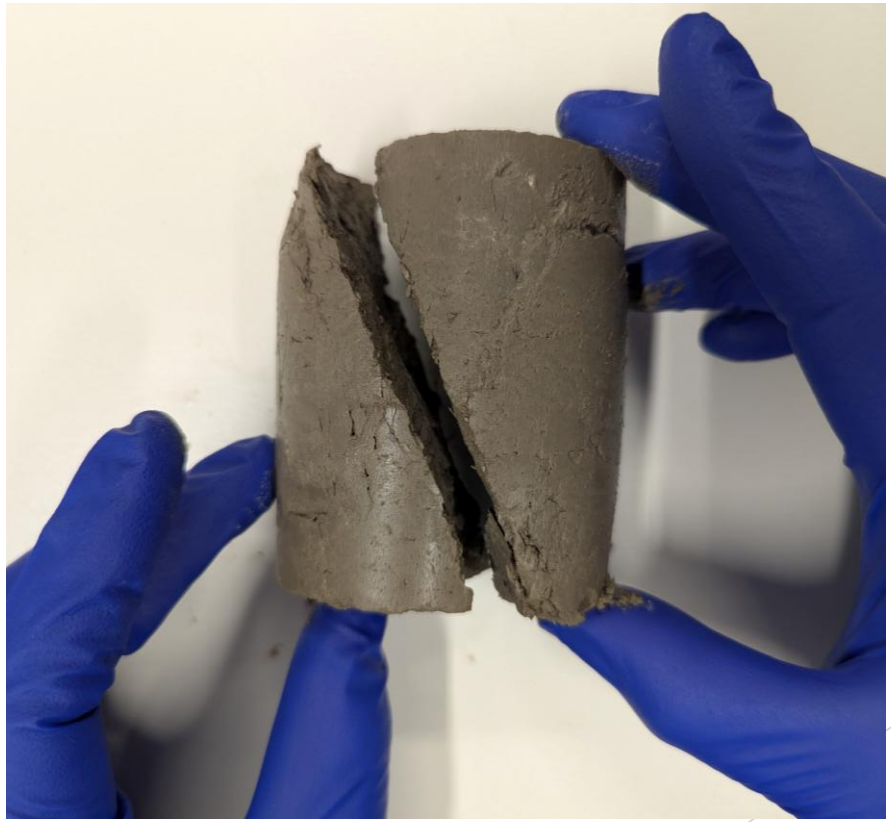
- Triaxialförsök – E_{50}
- Direkta skjuvförsök – G_{50}
- Resonansfrekventsmätning – E_0 & G_0
- Böjelementmätning – E_0 & G_0

- (Skjuvstansförsök)
- Totalt 99 provkroppar + referensprover



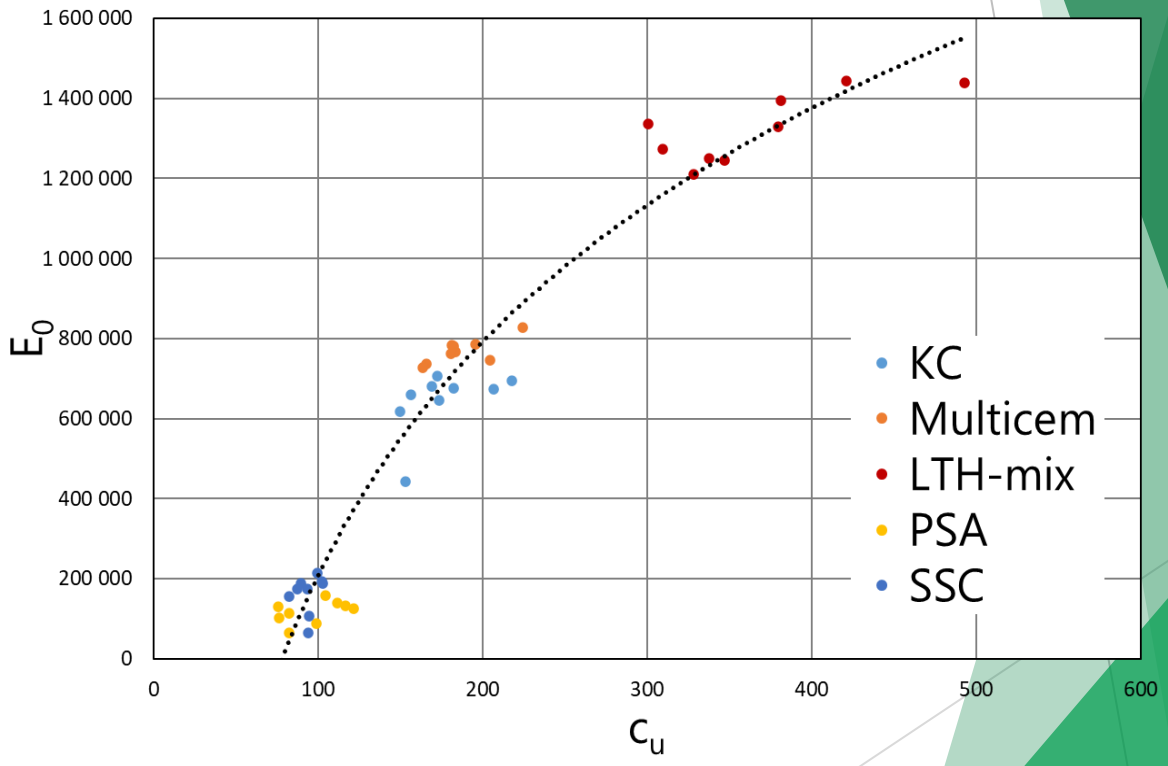
Hastighetsvariationer

- 9 provkroppar per bindemedel.
- Replikat av 3 testas med enaxligt tryckförsök vid olika hastigheter:
  - Standard.
  - 1/10 av standard.
  - x10 av standard.



Resultat hastighetsvariationer

- Töjningshastigheten påverkar c_u något:
  - Lägre hastighet ger ca 5-10% lägre c_u.
  - Högre hastighet ger 10-25% högre c_u.
  - Bindemedelsberoende!
    K/C påverkas mer än Multicem.
- E_{50} påverkas försumbart oavsett bindemedel.

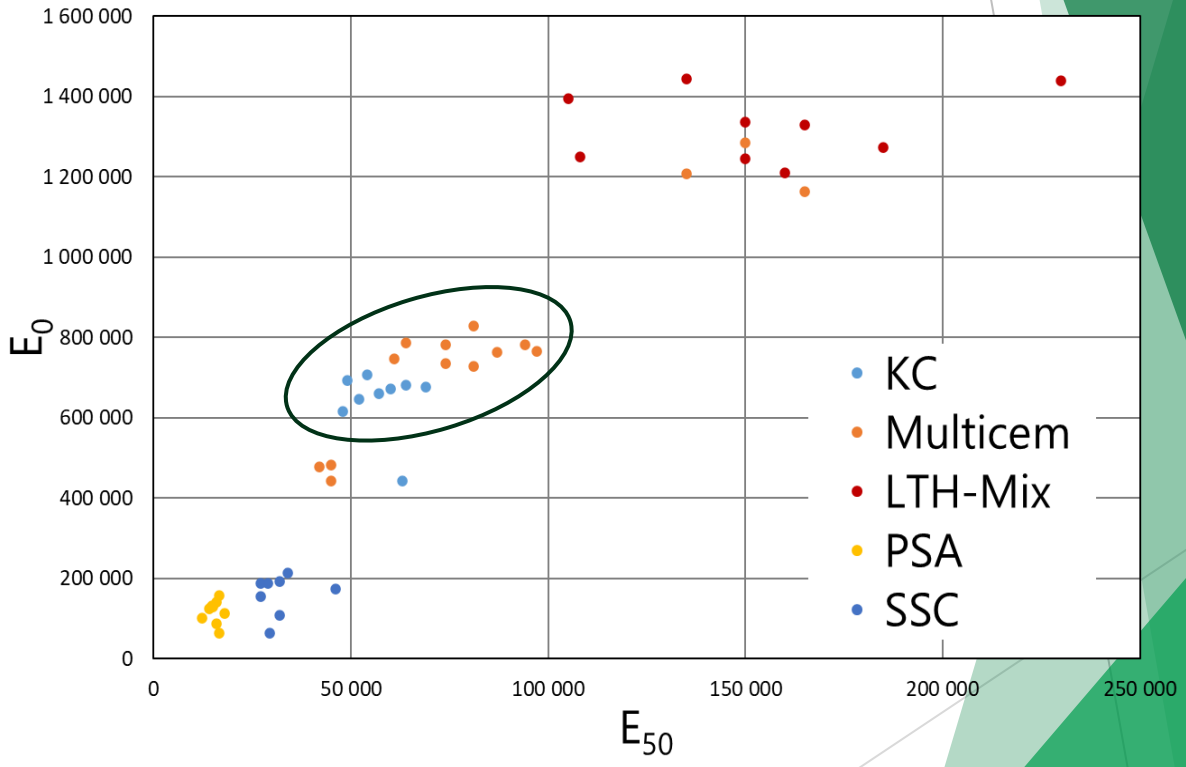


Resultat bindemedel

- Val av bindemedel påverkar kvoten E_0/E_{50}.

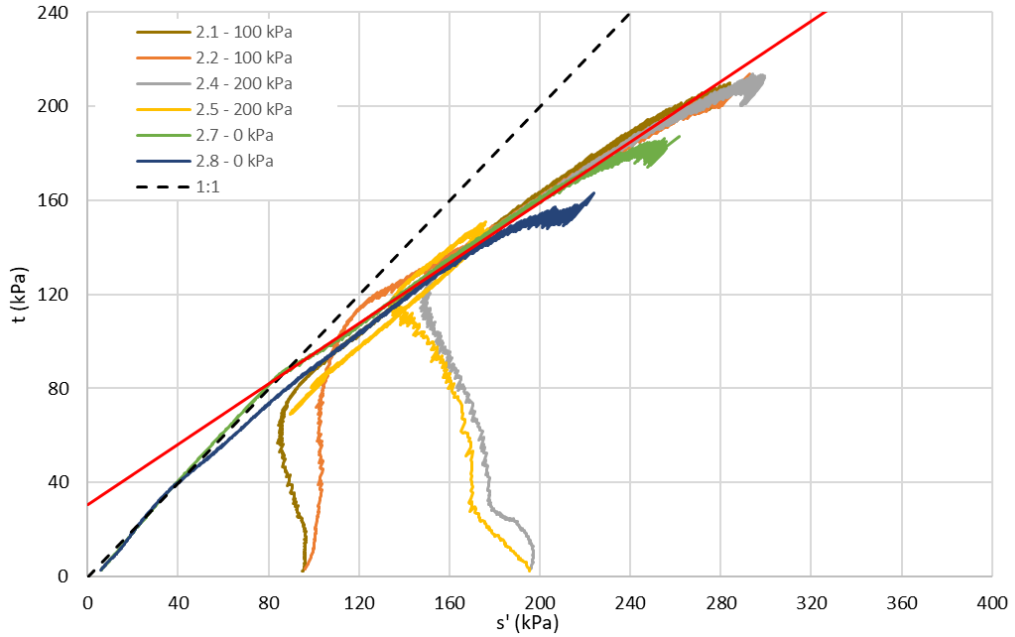
Bindemedel	Kvot
Multicem	9.7
SSC	5.9
K+C	11.2
PSA	7.7
LTH	9.1

- KC och Multicem i ett kluster.



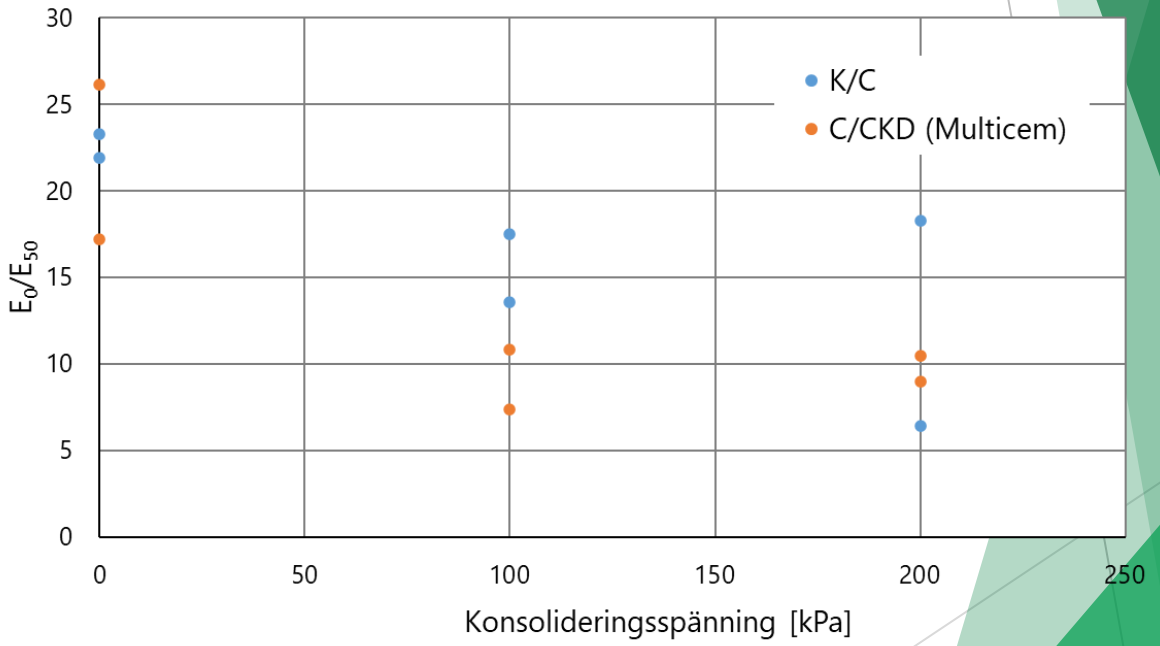
Omlagringstryckets påverkan

- KC samt Multicem valdes ut för vidare analyser – triaxial och DS.
- Olika konsolideringsspänningar:
  - 0 kPa
  - 100 kPa
  - 200 kPa
    2 replikat per serie.
- Seismiska mätningar före installation.



Omlagringstryckets påverkan

- Kvoten E_0/E_{50} verkar gå ner när konsolideringstrycket ökar.
- (Böjelementmätningarna instämmer).
- Stor spridning i E50 för triaxialförsöken kombinerat med få datapunkter gör det svårt att dra definitiva slutsatser.



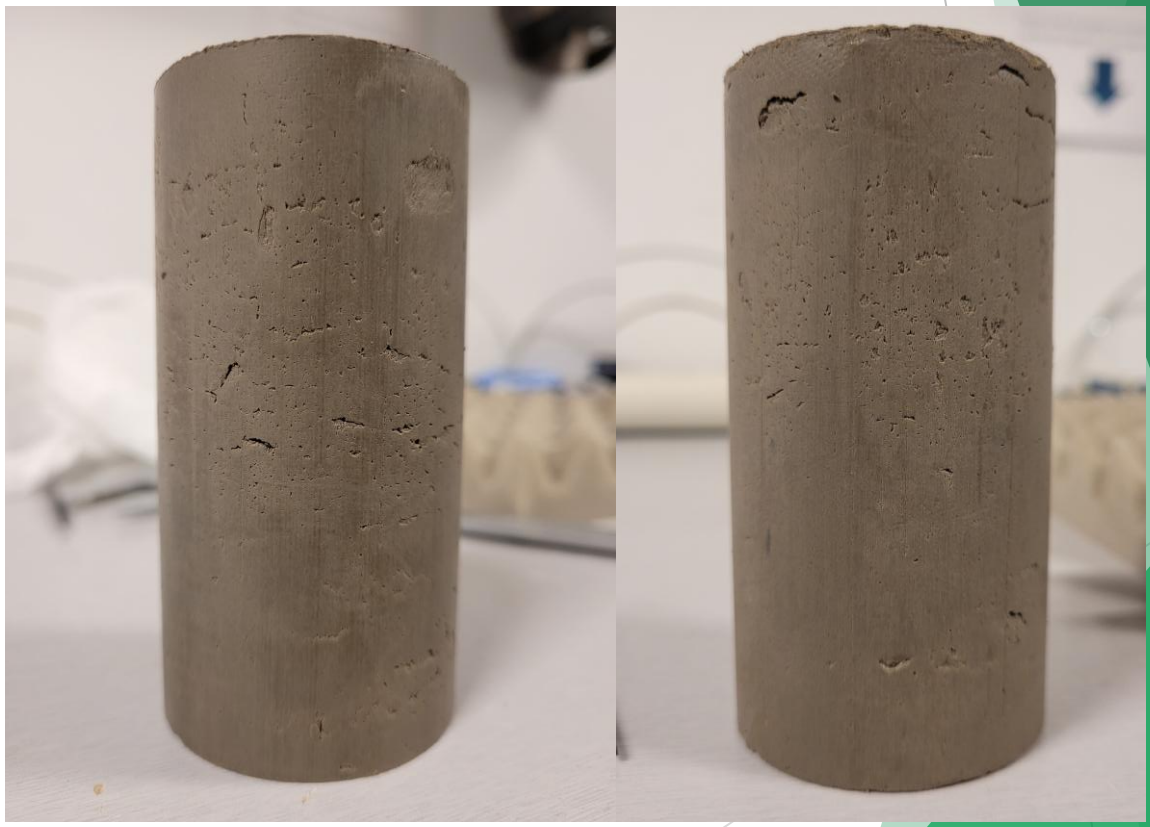
Osäkerheter i E_{50}

- Liten spridning i c_u mellan triax och UCS:

  8% resp. 6% variationskoefficient.

- Större spridning på E_{50} från triaxialförsök än enax, mer svårtolkat!

  33% resp. 14% variationskoefficient.



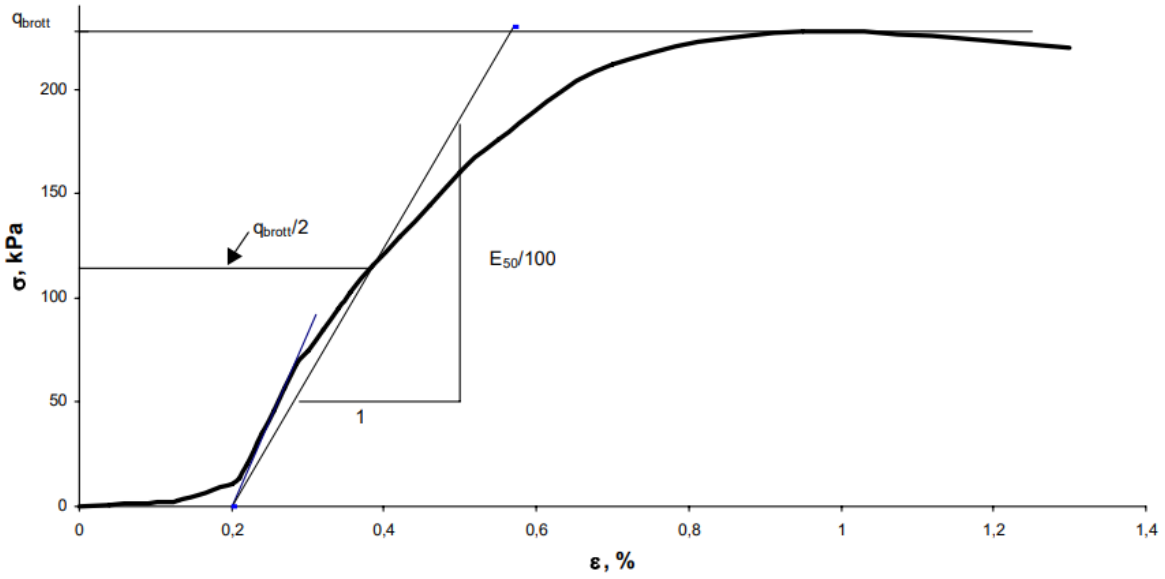
Osäkerheter i E_{50}

- Liten spridning i c_u mellan triax och UCS:

  8% resp. 6% variationskoefficient.

- Större spridning på E_{50} från triaxialförsök än enax, mer svårtolkat!

  33% resp. 14% variationskoefficient.



Figur 3.1. Utvärdering av E_{50} ur ett enaxligt tryckförsök med beaktande av ändyteeffekter.

Bild: SD rapport 17

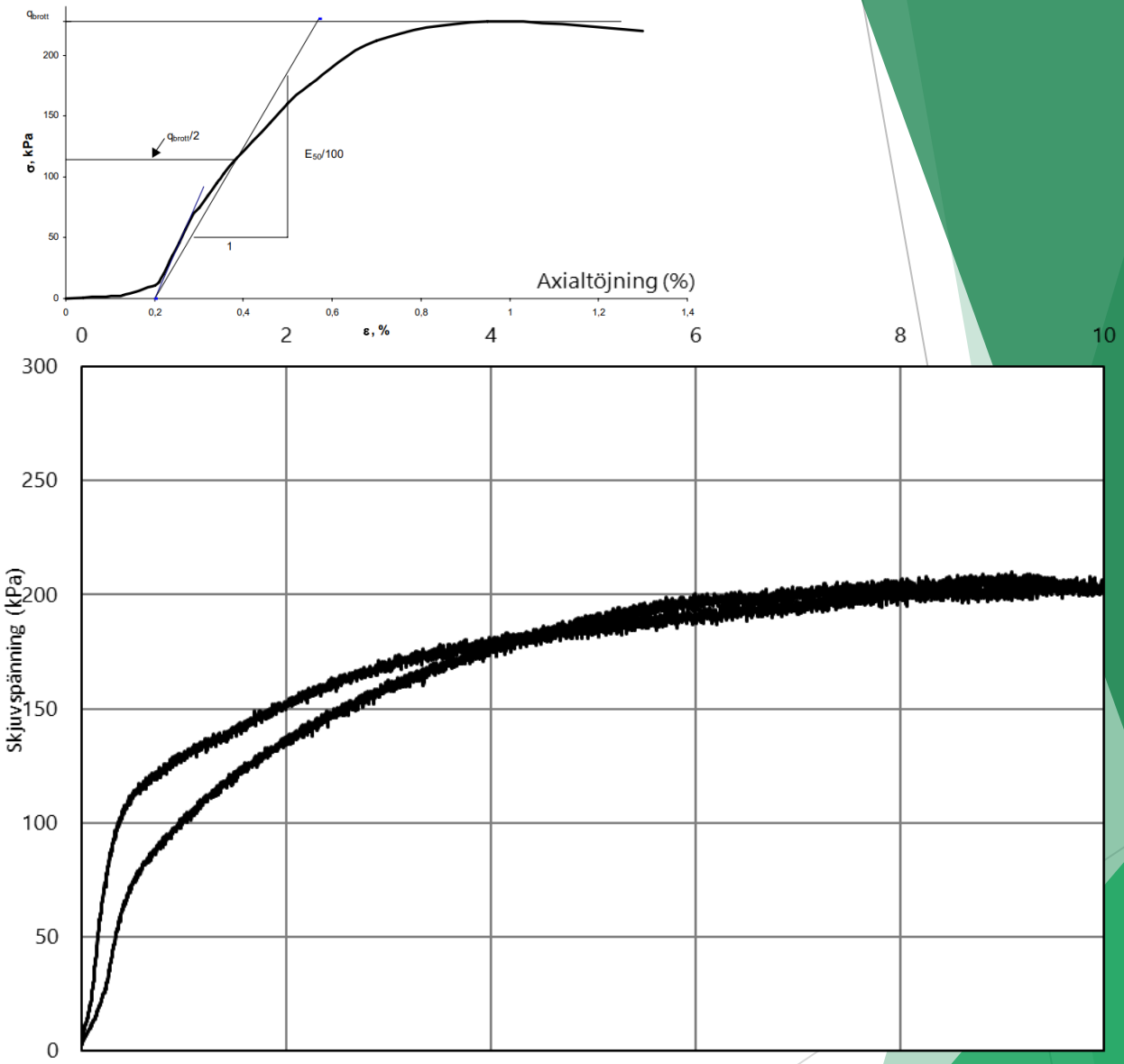
Osäkerheter i E_{50}

- Liten spridning i c_u mellan triax och UCS:

  8% resp. 6% variationskoefficient.

- Större spridning på E_{50} från triaxialförsök än enax, mer svårtolkat!

  33% resp. 14% variationskoefficient.



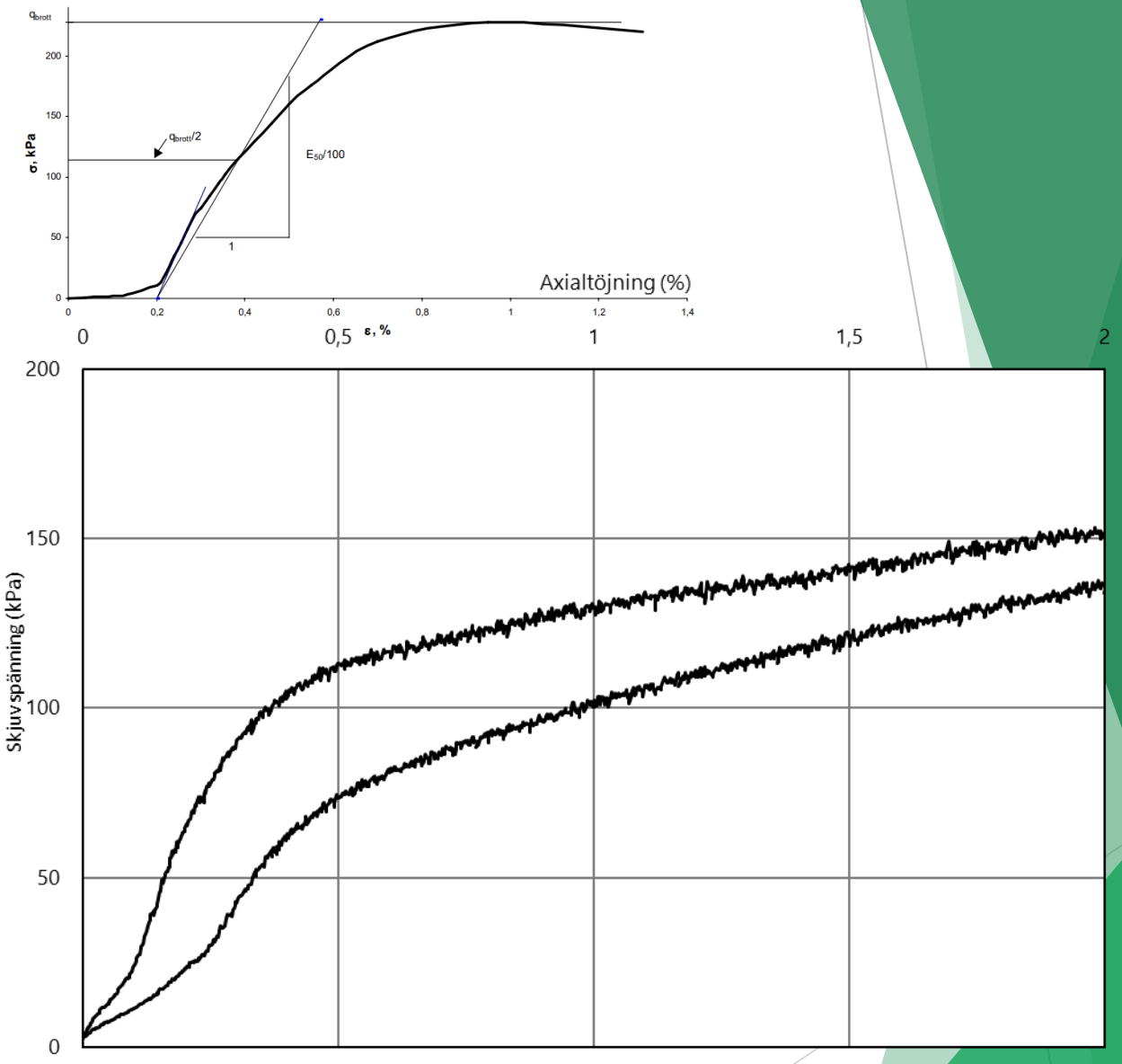
Resultat

- Liten spridning i c_u mellan triax och UCS:

  8% resp. 6% variationskoefficient.

- Större spridning på E_{50} från triaxialförsök än enax, mer svårtolkat!

  33% resp. 14% variationskoefficient.



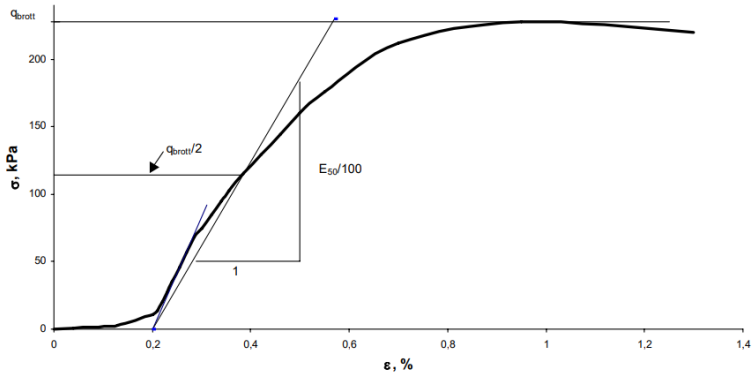
Osäkerheter i E_{50}

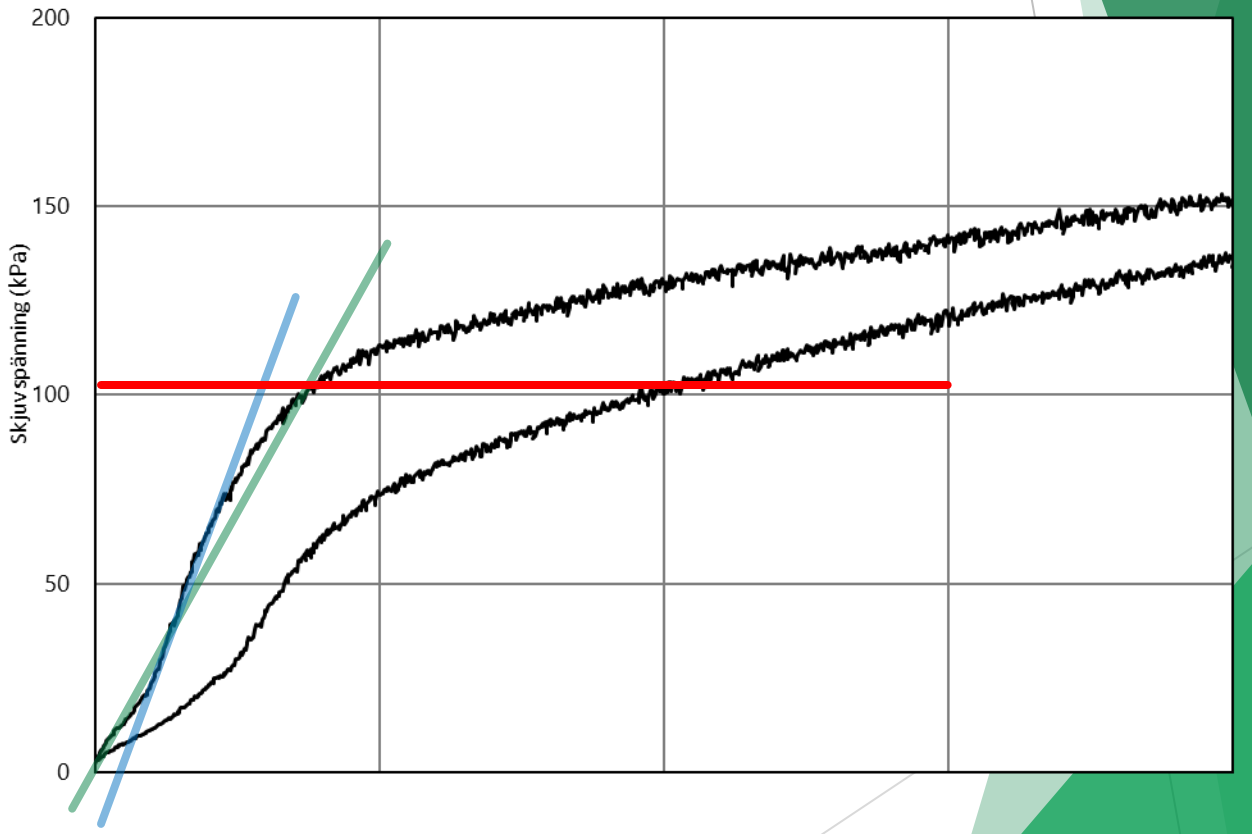
- Liten spridning i c_u mellan triax och UCS:

  8% resp. 6% variationskoefficient.

- Större spridning på E_{50} från triaxialförsök än enax, mer svårtolkat!

  33% resp. 14% variationskoefficient.





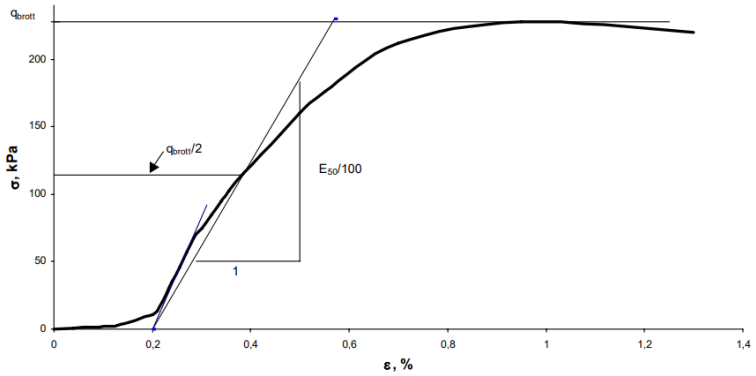
Osäkerheter i E_{50}

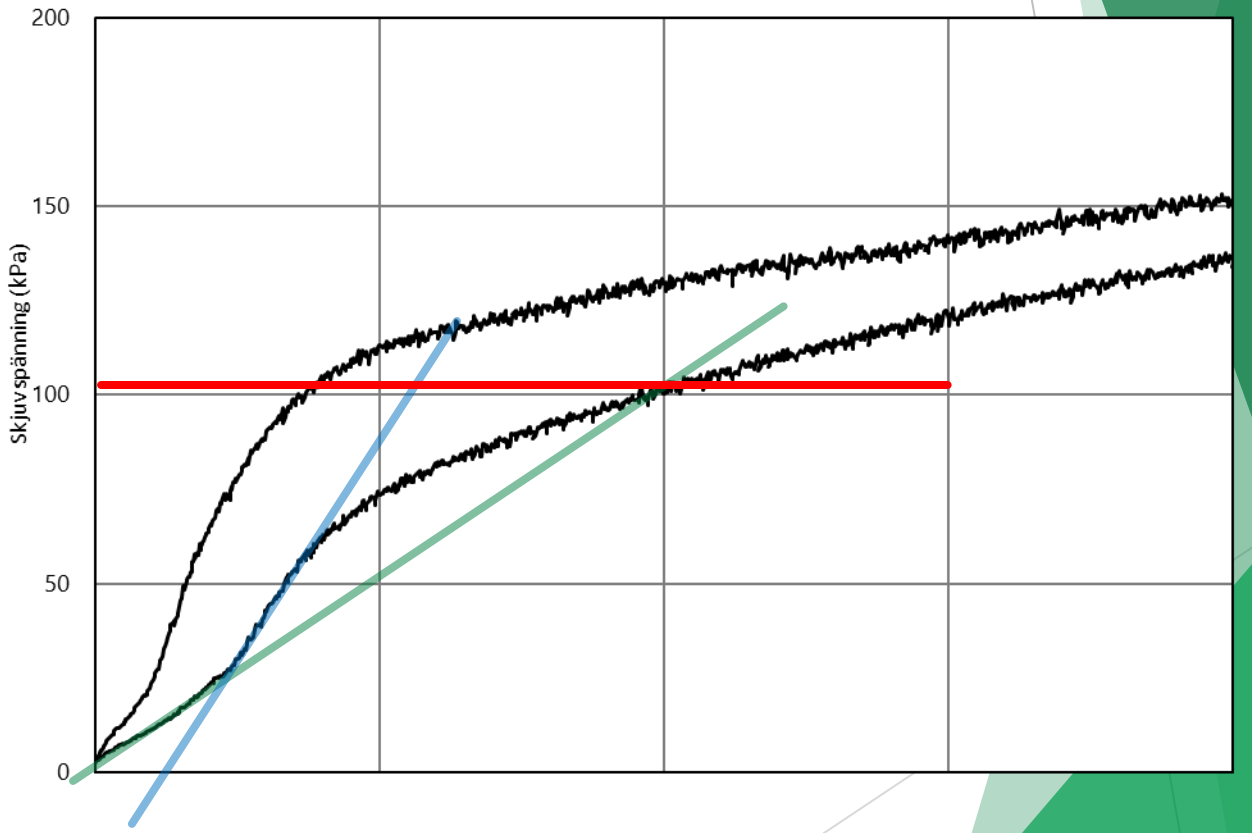
- Liten spridning i c_u mellan triax och UCS:

  8% resp. 6% variationskoefficient.

- Större spridning på E_{50} från triaxialförsök än enax, mer svårtolkat!

  33% resp. 14% variationskoefficient.





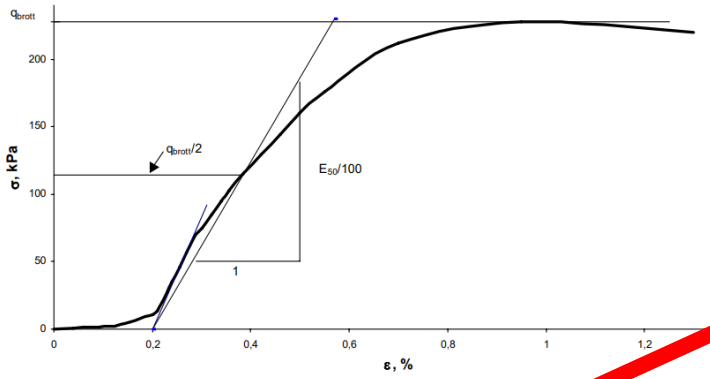
Osäkerheter i E_{50}

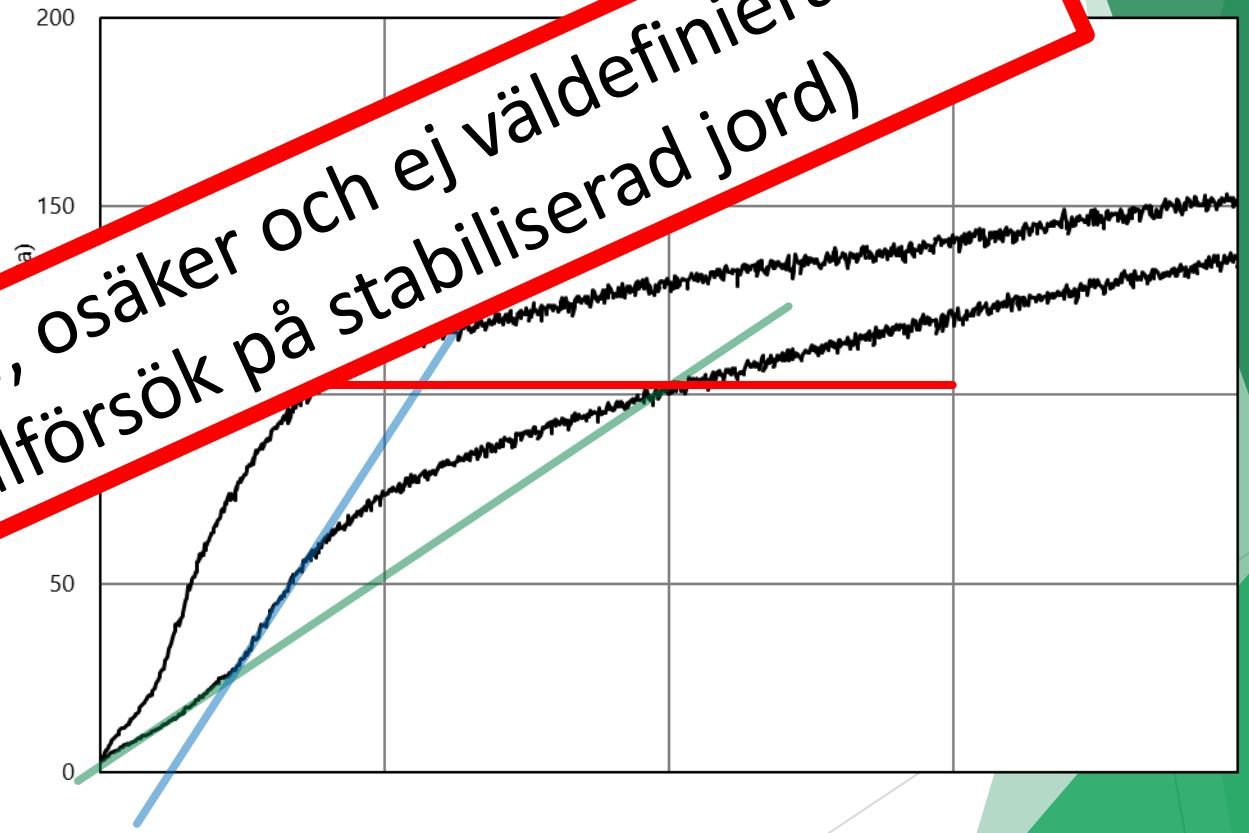
- Liten spridning i c_u mellan triax och UCS:

  8% resp. 6% variationskoefficient.

- Större spridning på E_{50} från
  triaxialförsök än ena

  33% res





E_{50} är subjektiv, osäker och ej väldefinierad!
(För triaxialförsök på stabiliserad jord)

Kvarvarande frågor

- Kommande försök bör lägga ännu mer fokus på triaxialförsök. Större datamängd behövs.
- Konsolidering under tryck?
- Undersöka fältdelen av hypotesen

$$\frac{E_{0,labb}}{E_{50,labb}} \propto \frac{E_{0,fält}}{E_{50,fält}}$$

- Rapport till våren 2026.



Tack!

Hör gärna av er med frågor till
david.gaharia@labmind.se

BIG – Branschsamverkan i grunden
Forskningsprogram för effektiv och säker grundläggning av vägar och järnvägar