

Langtidsmonitering for geotekniske parametre på soil mixing

Case studier fra Skuldelev og Hagfors i Sverige

VINTERMØDE 2019, TEMADAG 1,

Klaus Weber, M.Sc., Seniorprojektleder



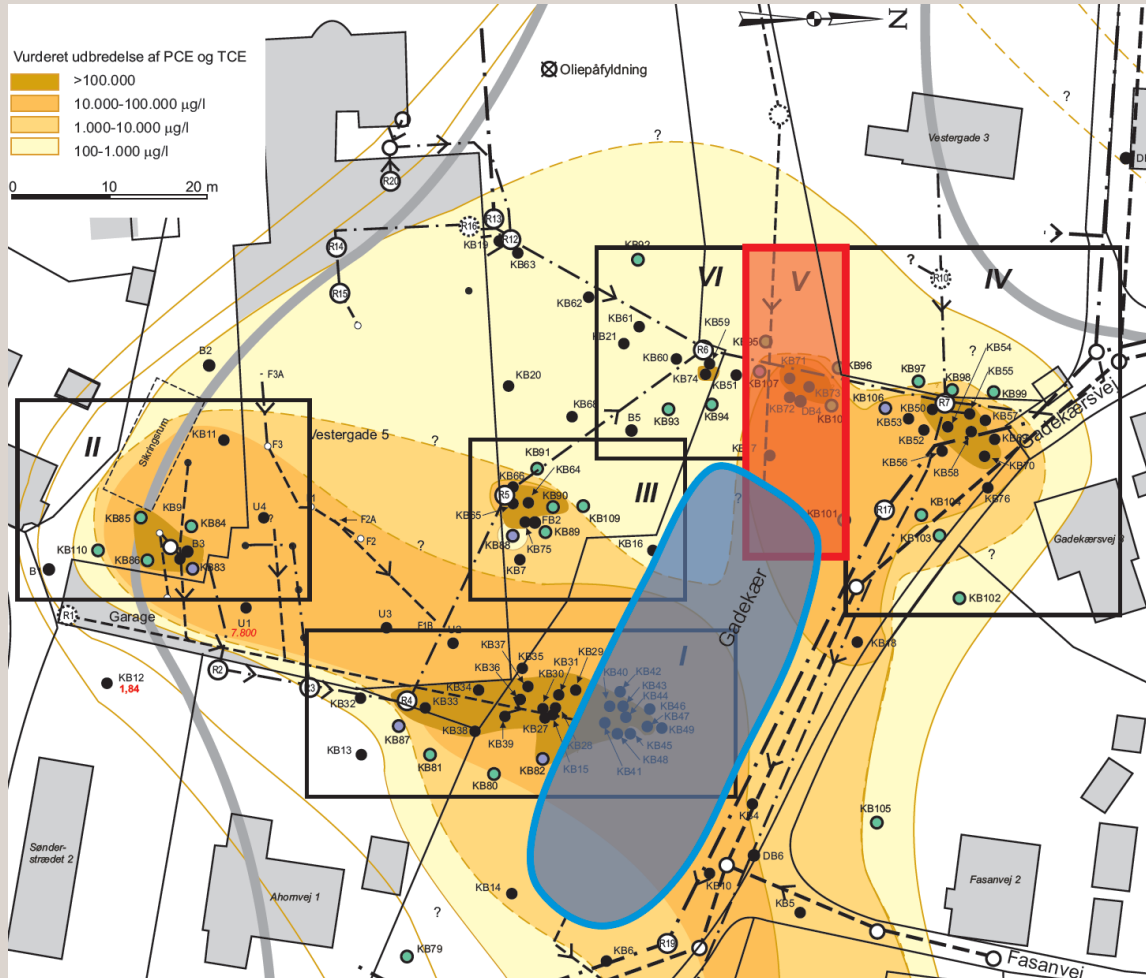
Langtidsmonitoring for geotekniske parametre

Casestudier fra Skuldelev og Hagfors i Sverige

Indhold

- Præsentation af projekter
- Gennemgang af monitoringsresultater i relation til geoteknik
- Vurdering af faktorer af betydning for styrkeudvikling og sætningsegenskaber af den behandlede jord

Soilmixing med ZVI-clay i kildeområde V



Storformatboring i dimension $\varnothing 1,5$ m

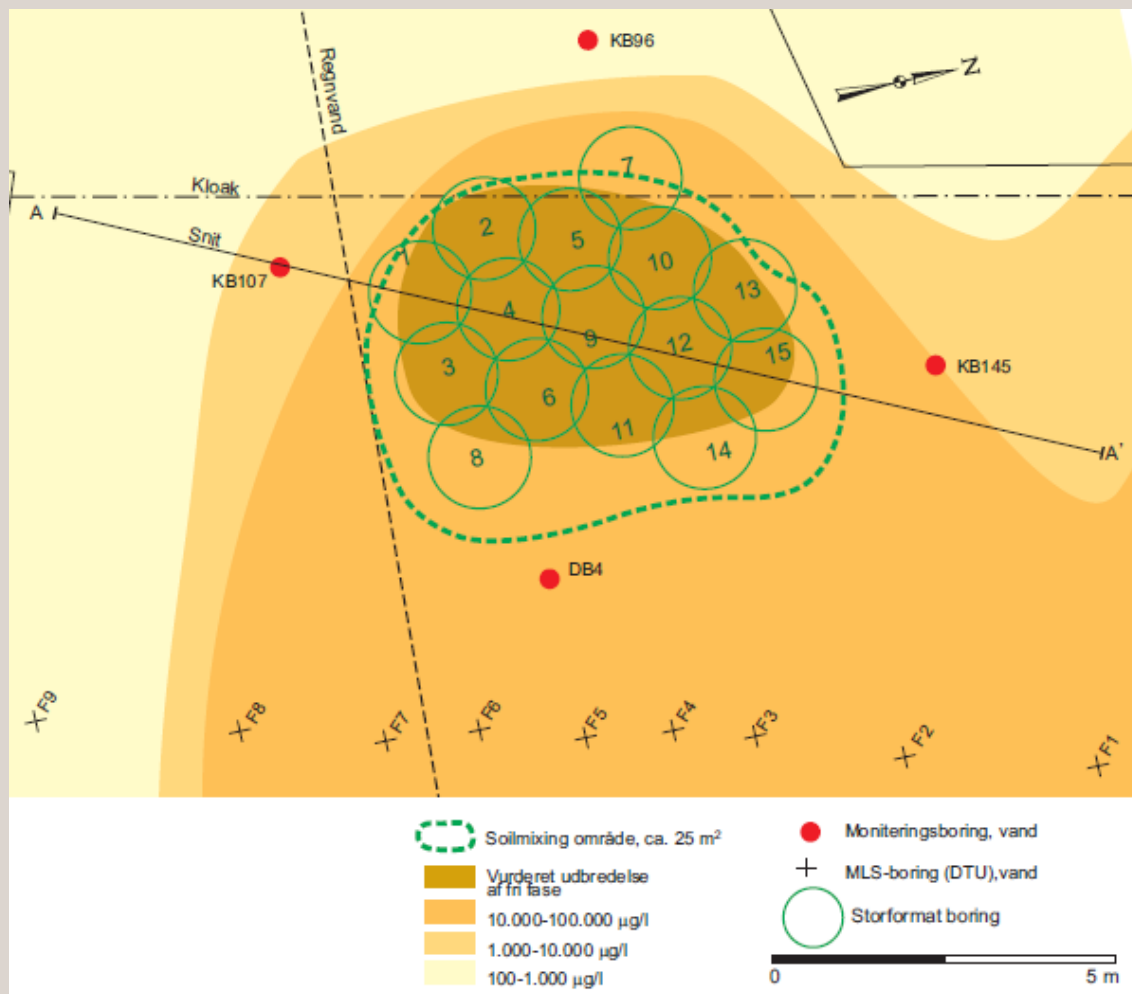


Dosering af ZVI



Skuldelev

Placering af storformatboringer

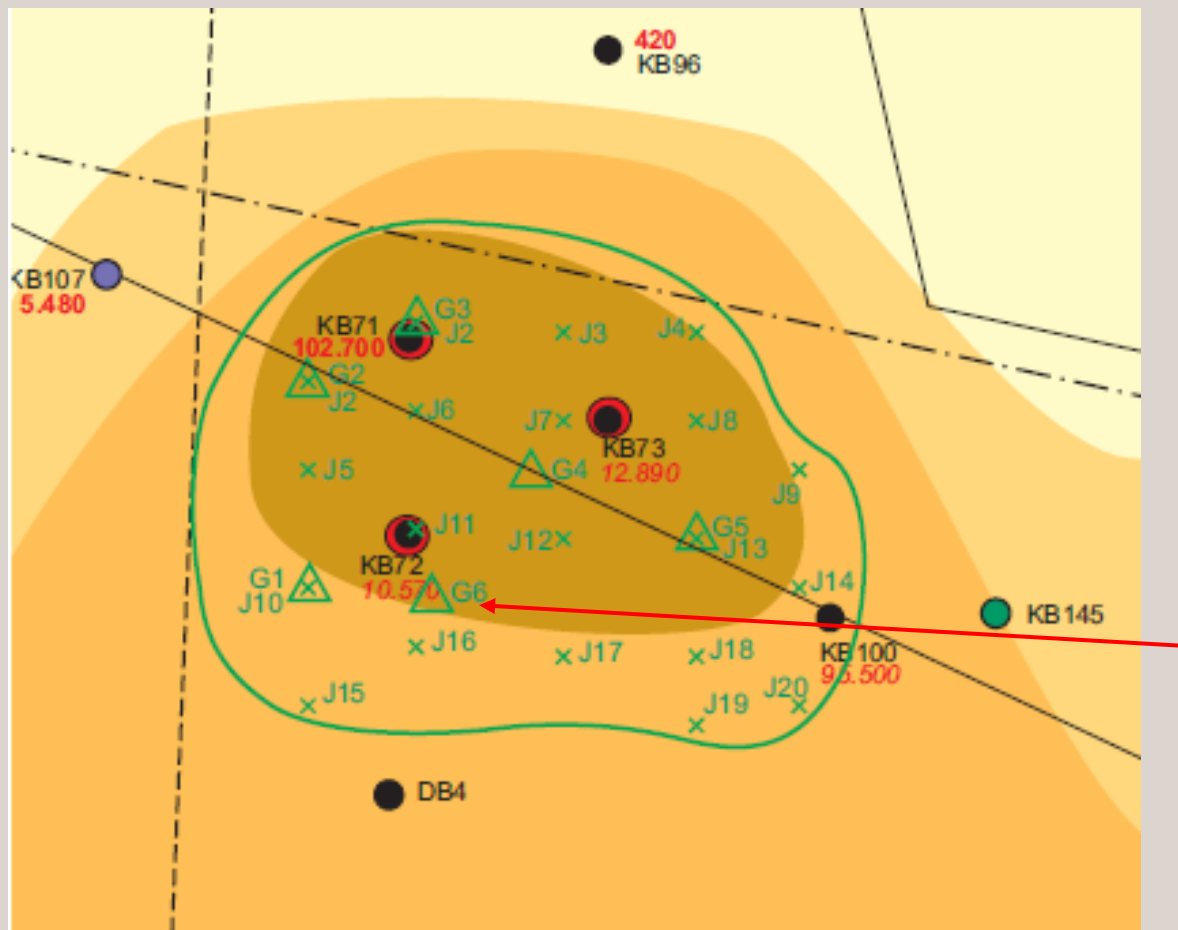


Behandlet areal på ca. 25 m²



Skuldelev

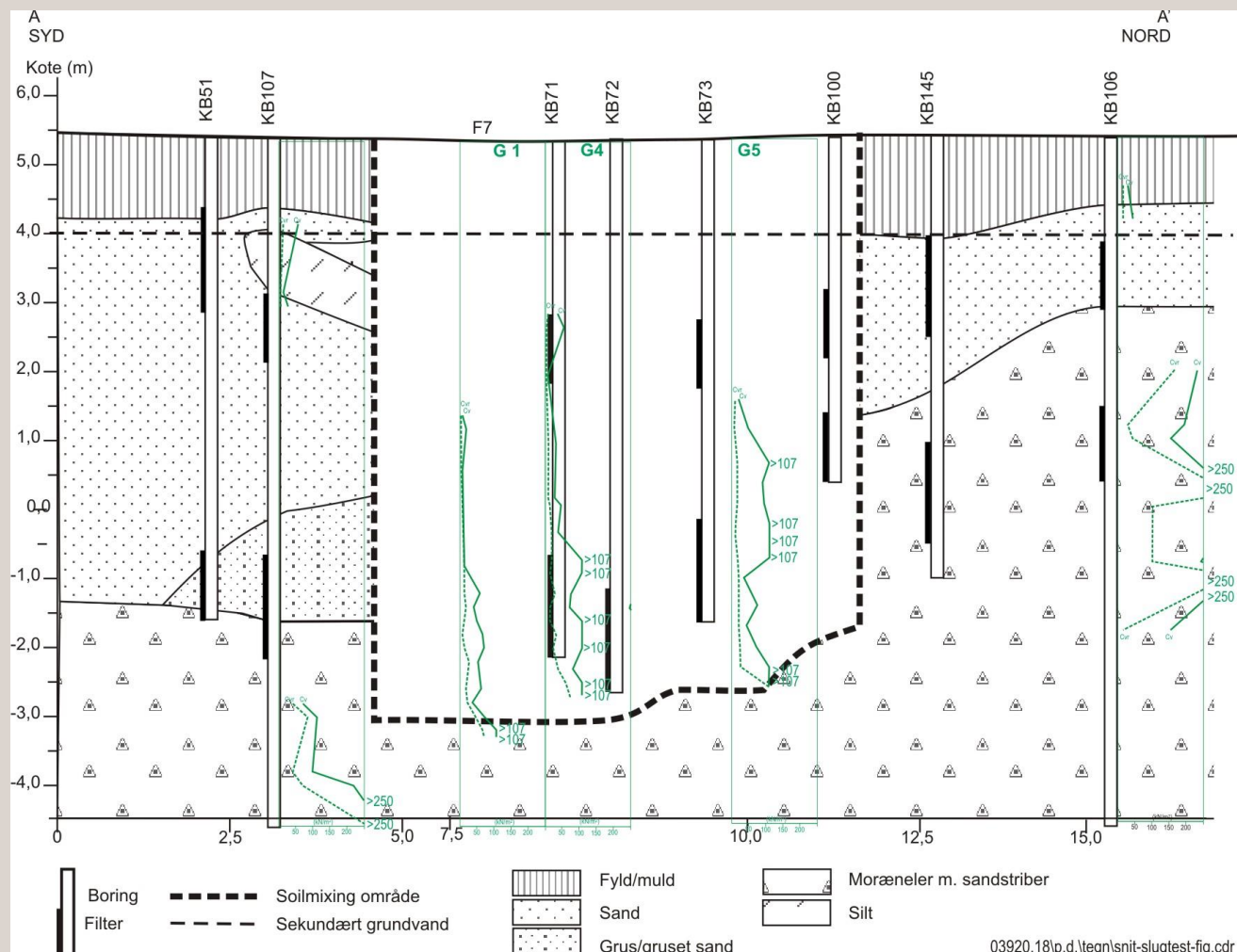
Efterkontrol; jordprøver og geoteknik



Geotekniske forsøg i 6 punkter (G1-G6)

Skuldelev

Styrkeforhold kort tid efter soilmixing



Geologisk profil af det behandlede område.

Soilmixing til ca. 8 m u.t.

Geotekniske vingestyrker målt 10 uger efter behandlingen.

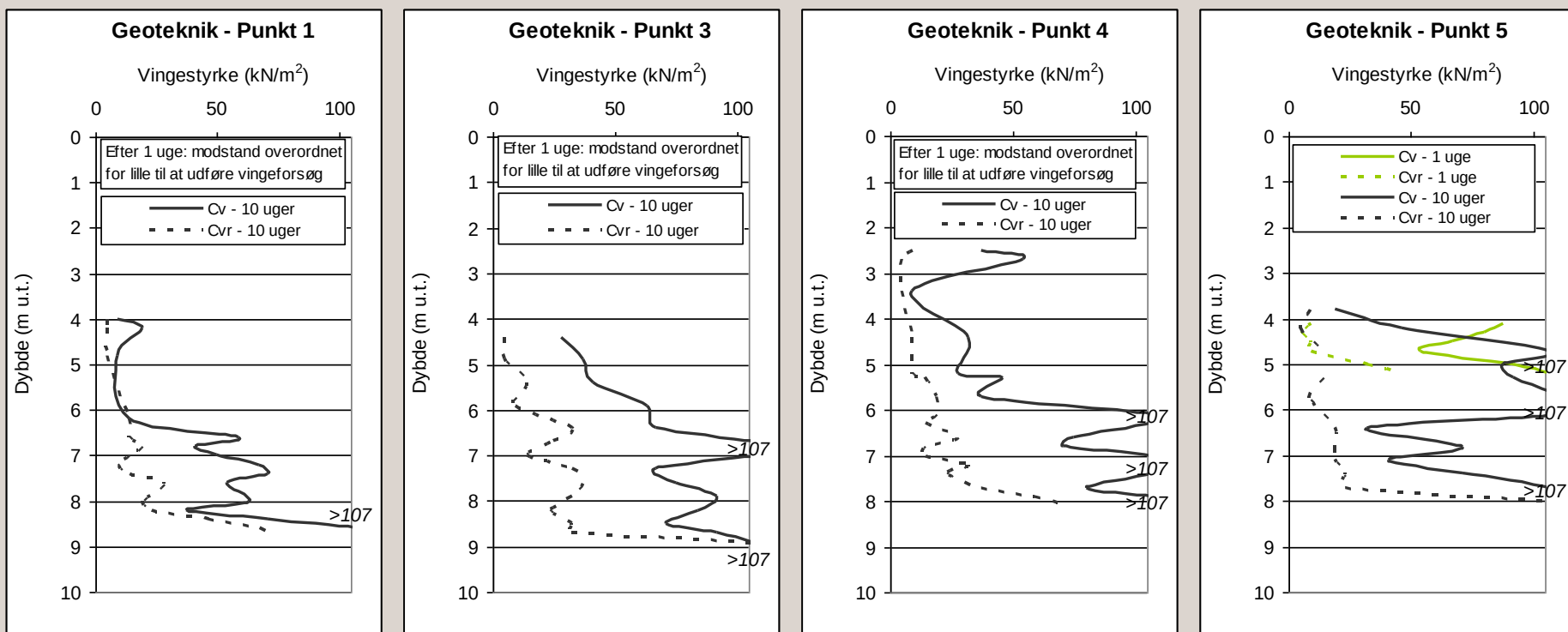
Skuldelev

Gennemførte kontrolmålinger af styreudvikling

Runde	Dato	Tid siden opblanding
1. runde	18.12.2008	8 dage
2. runde	18.02.2009	3 måneder
3. runde	16.06.2009	6 måneder
4. runde	14.12.2009	12 måneder
5. runde	25.05.2010	18 måneder
6. runde	08.11.2010	23 måneder

Vingestyrker efter 10 uger

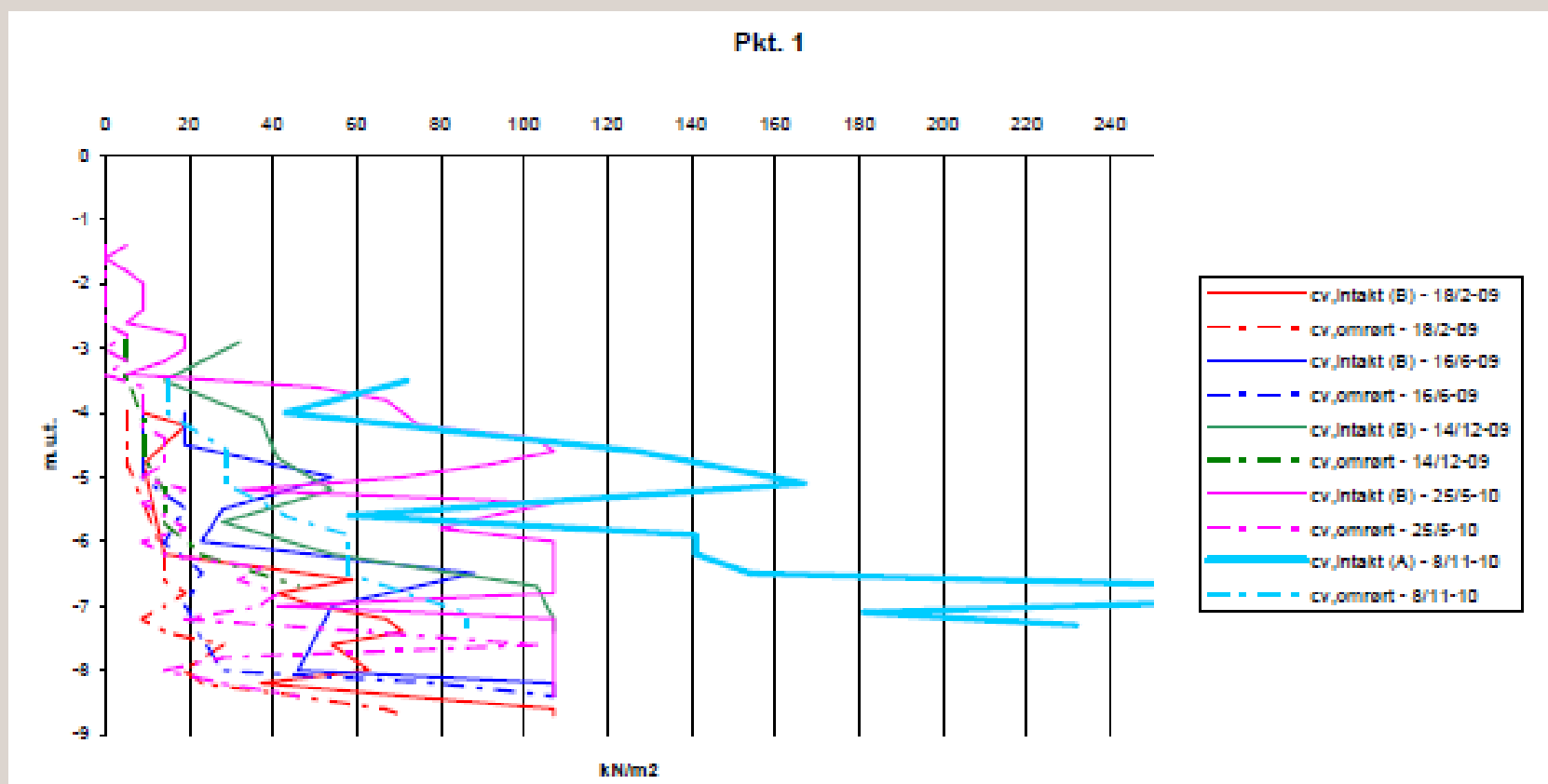
Sammenstilling af vingestyrker C_v og C_{vr} fra punkt 1, 3, 4 og 5.



Senglaciale og glaciale aflejringer regnes normalt som bæredygtige for lettere byggeri ved en udrænet forskydningsstyrke på mindst 40 – 50 kN/m^2

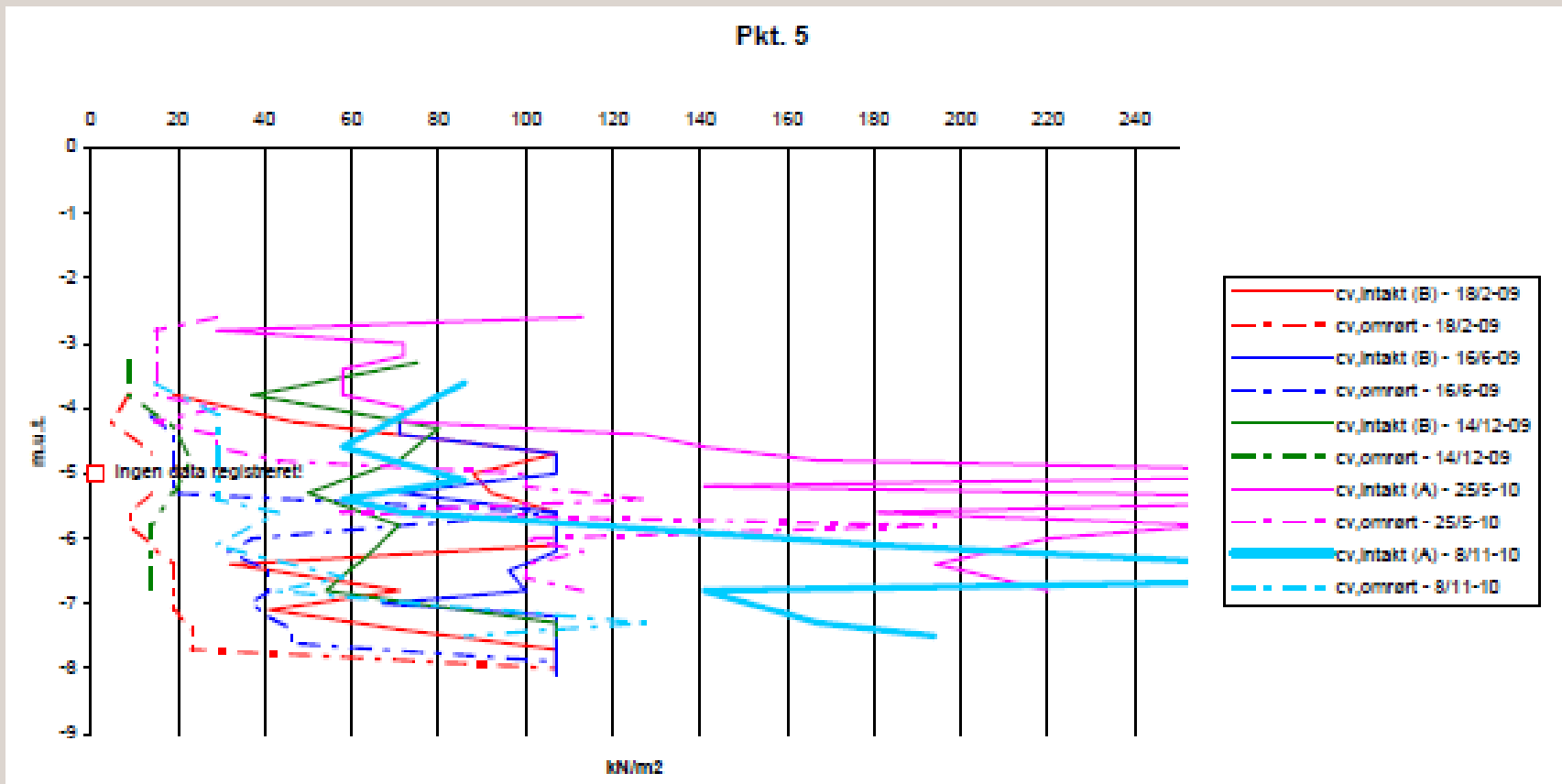
Tidsserie for vingestyrker over 2 år

Tidsserie for udviklingen i vingestyrker C_v og C_{vr} ved punkt 1

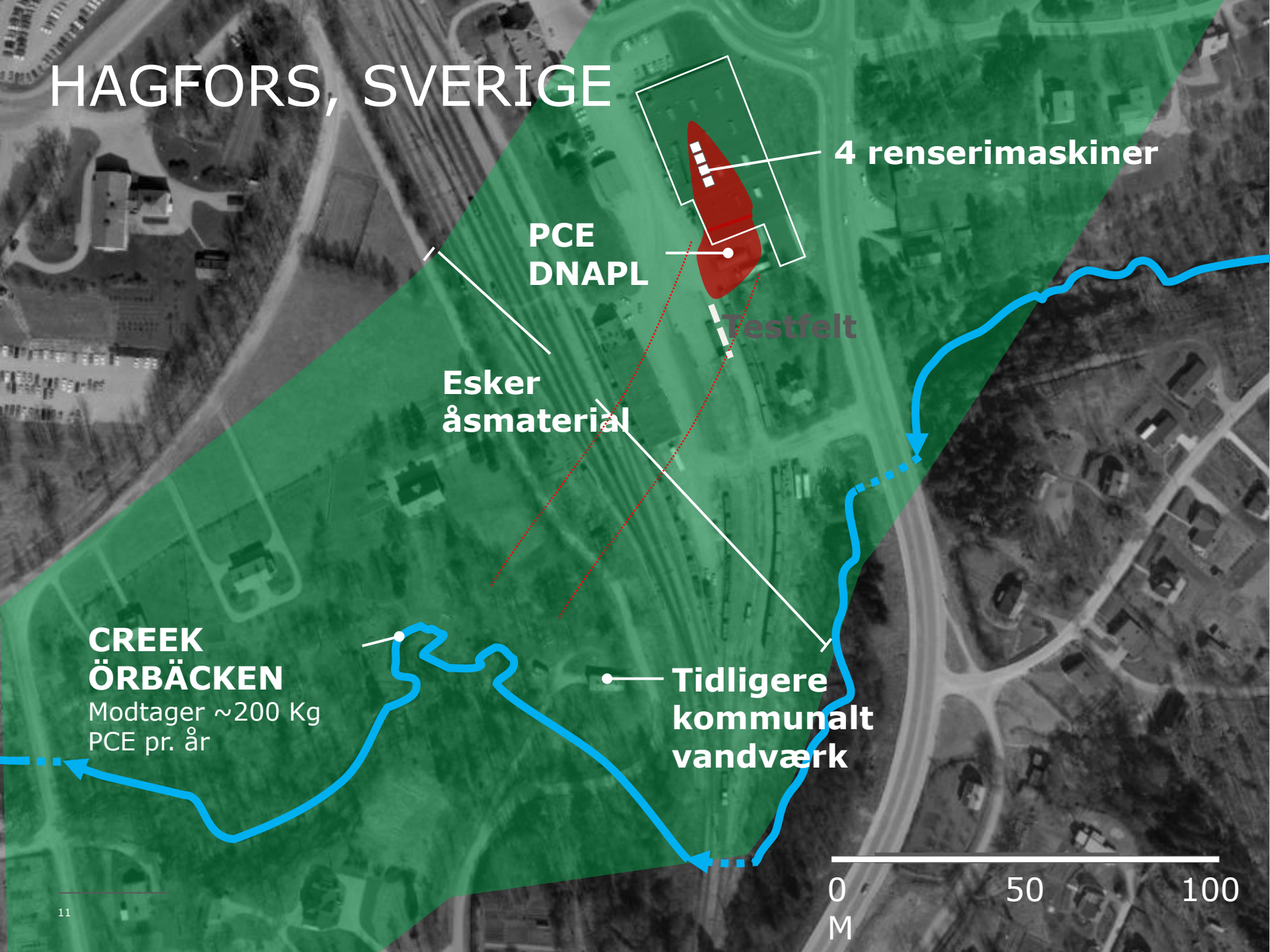


Tidsserie for vingestyrker over 2 år

Tidsserie for udviklingen i vingestyrker C_v og C_{vr} ved punkt 5

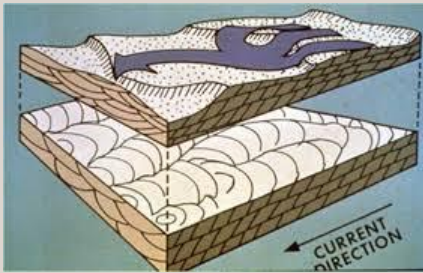


HAGFORS, SVERIGE



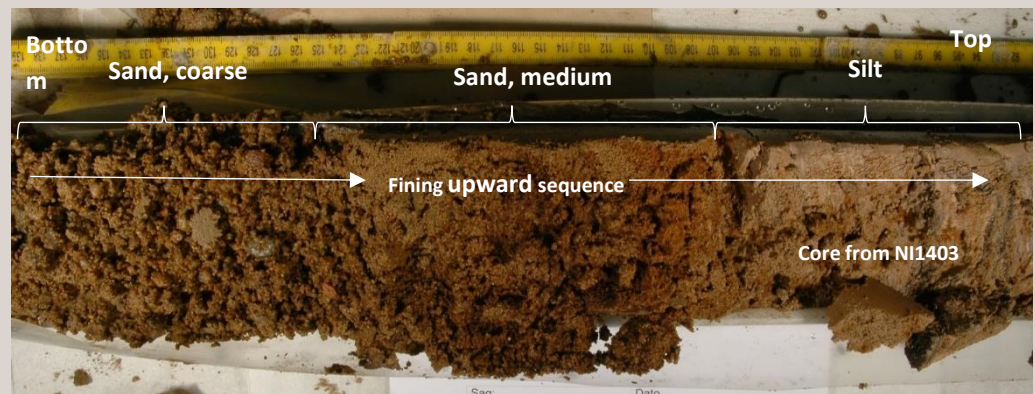
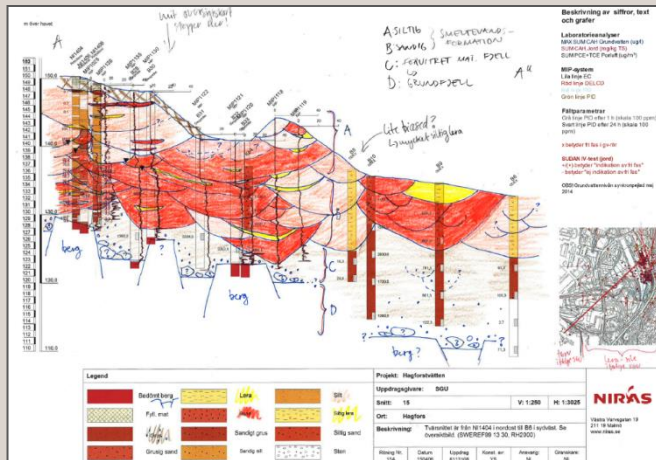
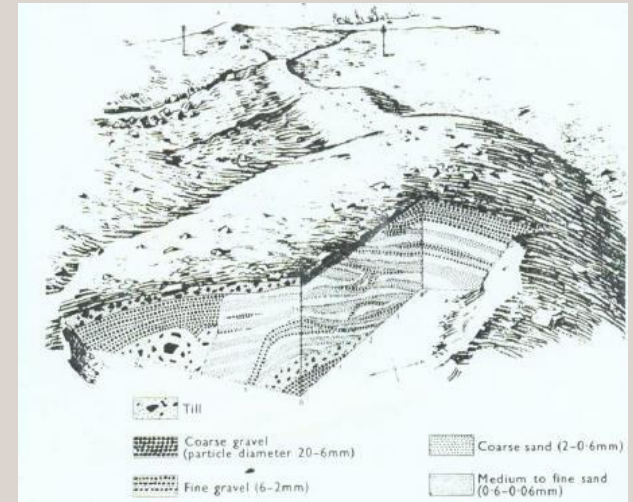
Hagfors, Sverige

Konceptuel geologisk model for ås



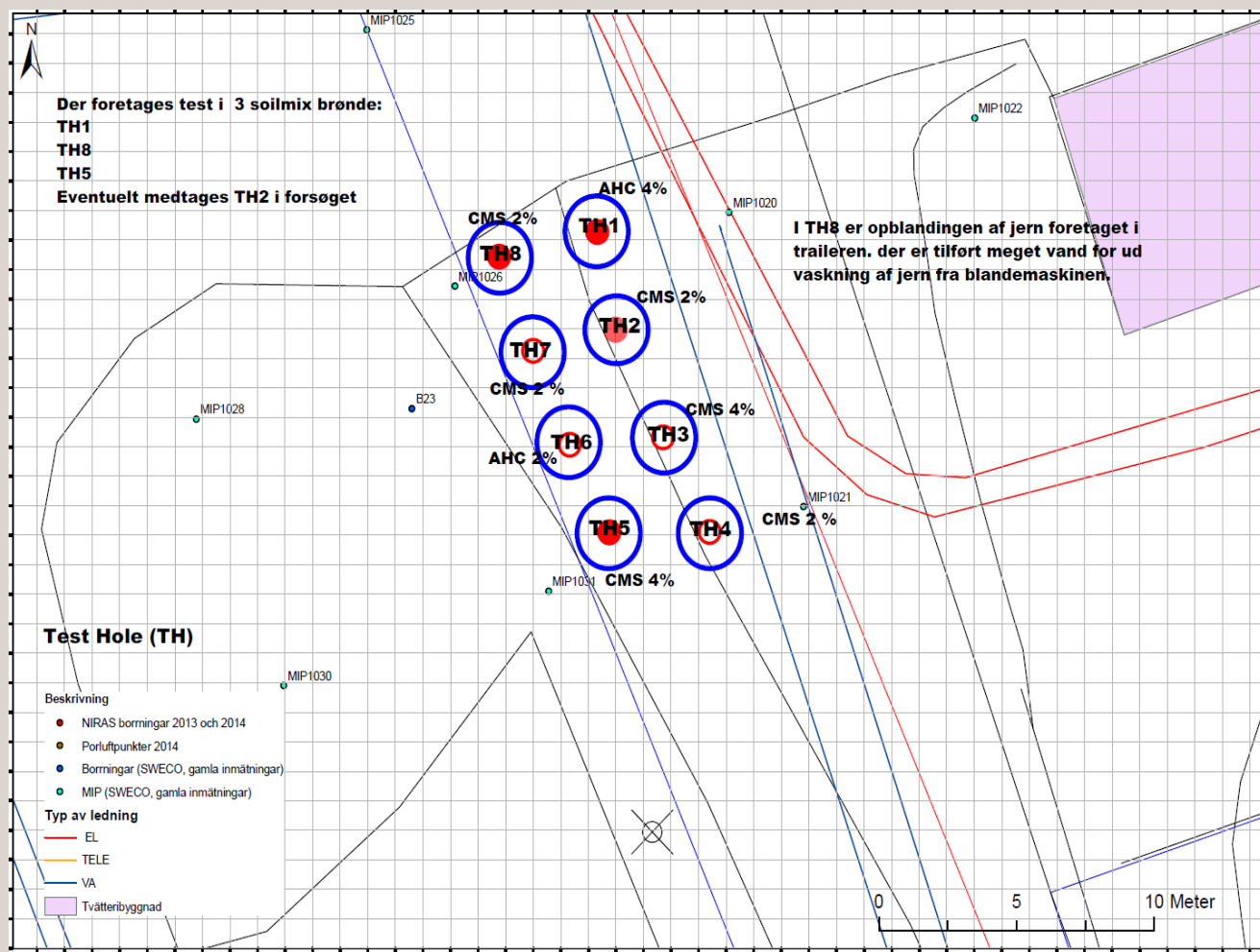
Åsen er aflejret i gletschertunnel og består af vekslende aflejringer af smeltevandssedimenter i trugformet skrålejrning i stor skala.

Lejringsformen indikerer strømretningen.



Hagfors, Sverige

Soilmixing med ZVI-clay i 8 testhuller



Soilmix
boring i
ø80cm til
ca. 15 m's
dybde

Hagfors, Sverige

Soilmixing pilotforsøg udført i december 2014



Test af:

- 2 forskellige mixerhoveder
- 2 forskellige jerntyper fra Höganäs: AHC og CMS,
- Forskellig jernmængde: 2% og 4%



Hagfors, Sverige

Efterkontrol udført i maj 2015 – efter 6 mdr.



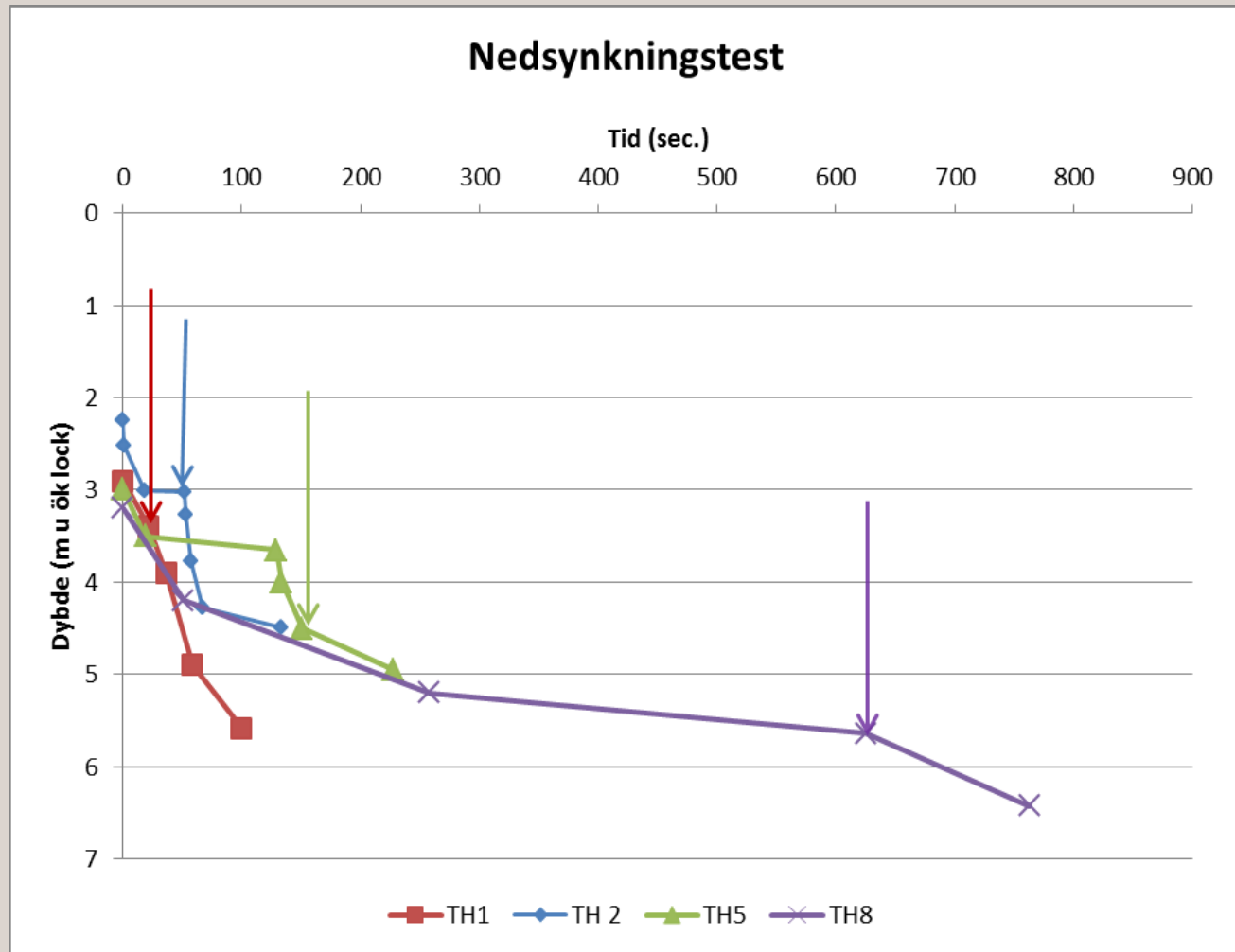
Soilmixing er gennemført fra bunden af 2 m dybe $\varnothing 3,0$ m brønde.

Bemærk vandmættede forhold.

Udtagning af kerneprøver via lem i låg fra 3,5-4,5 m og 6,0-7,0 m under terræn

Hagfors, Sverige

Simple belastningsforsøg – efter 6 mdr.

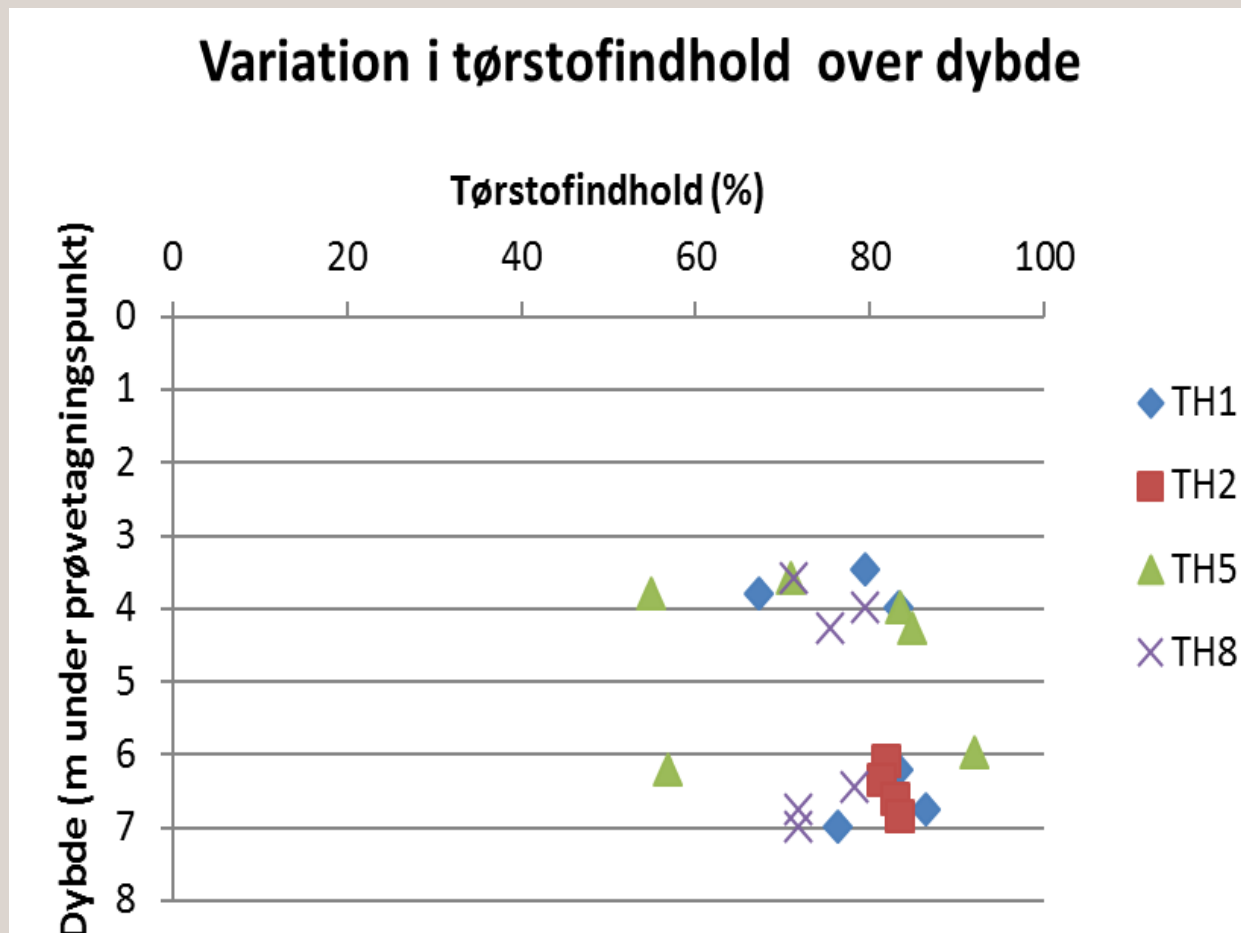


Gennemførelse af simple nedsynknings-tests med rør med fast diameter og 2 belastningstrin:

Ved pil øges belastning fra 8 til 17 kg.

Hagfors, Sverige

Tørstofandel målt på kerneprøver – efter 6 mdr.



Tendens til lidt højere tørstofindhold i større dybde.

Tørstofindhold modsvarer vandindhold af størrelsen 20–30% i slurrien.

Hagfors, Sverige

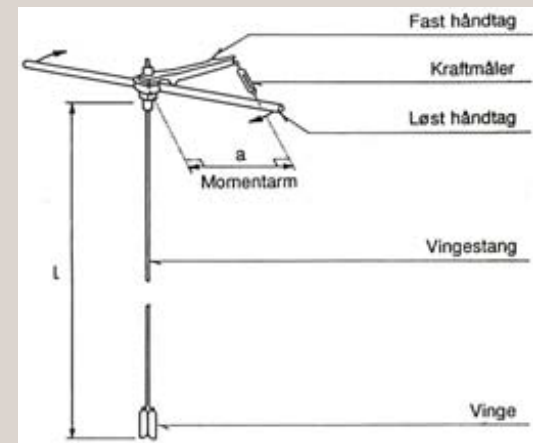
Efterkontrol udført i november 2017 – efter 3 år



CPT forsøg:

- Vid nedpresning af en sonde registreres spids- og kappemodstand samt jordens porevandstryk kontinuerligt med dybden. Spidsmodstanden [kN/m^2] er et udtryk for jordens styrke.
- Giver stor datatæthed.
- Internationalt kendt standardmetode.

- CPT-försök (Cone Penetration Test)
- Vingeforsøg (Field Vane Test)



Vingeforsøg:

Standardvinge vrides under måling af jordens brudstyrke.

Herved måles vingestyrke c_v [kN/m^2], som er et udtryk for jordens udrænedede forskydningsstyrke.

Hagfors, Sverige

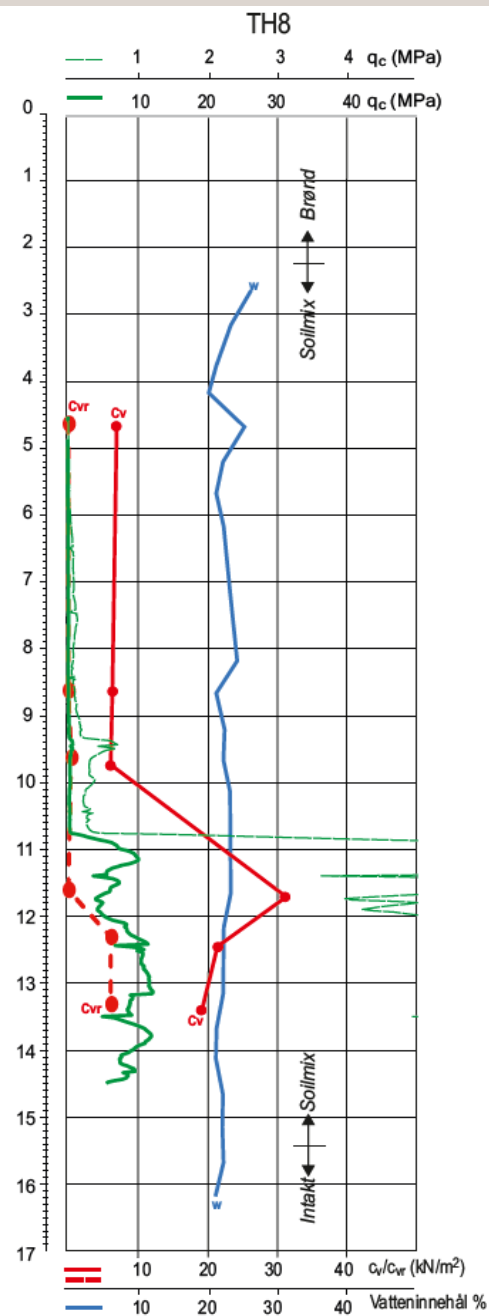
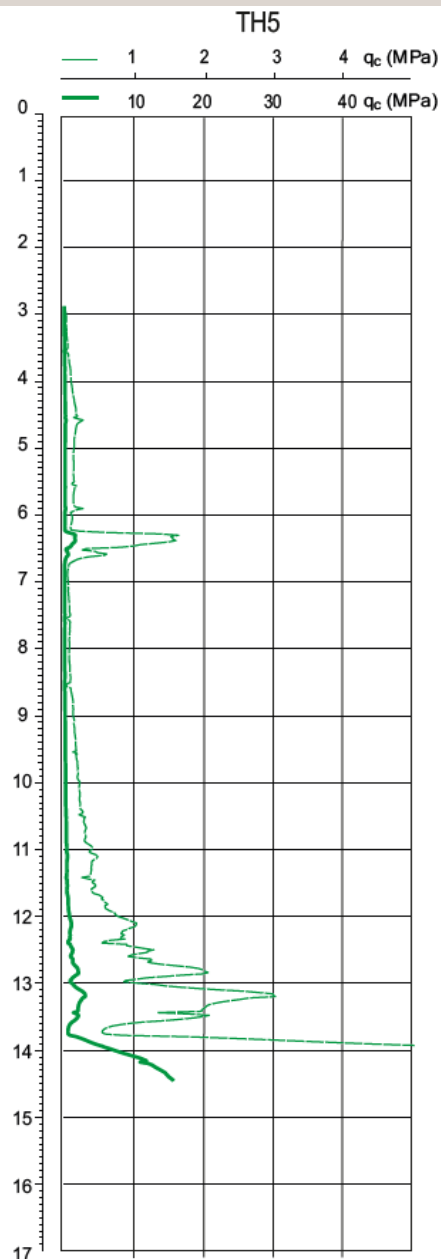
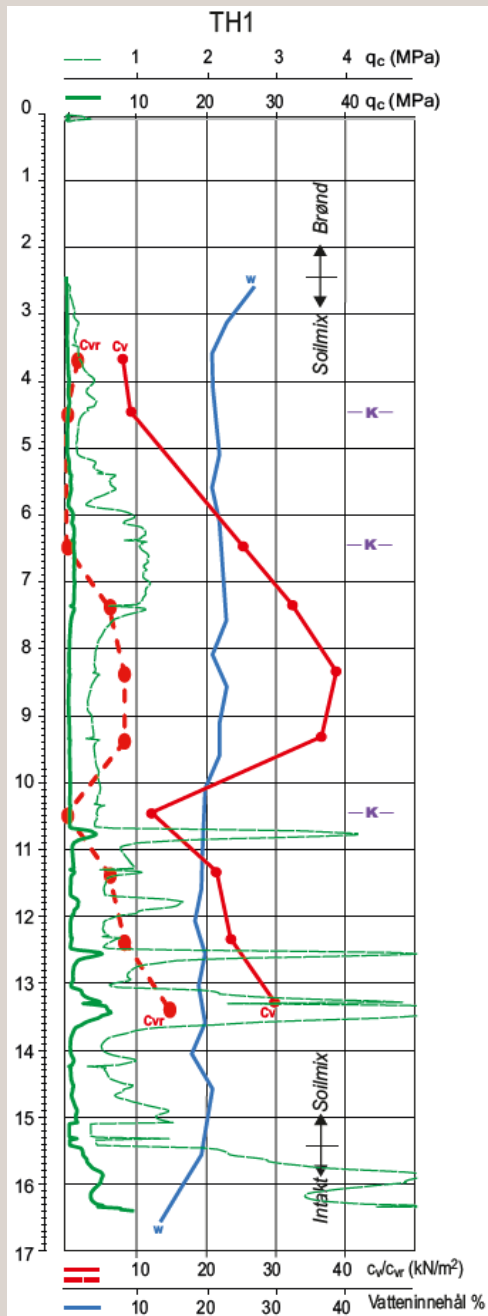
Styrkemålinger

- efter 3 år

Sammenstilling af:

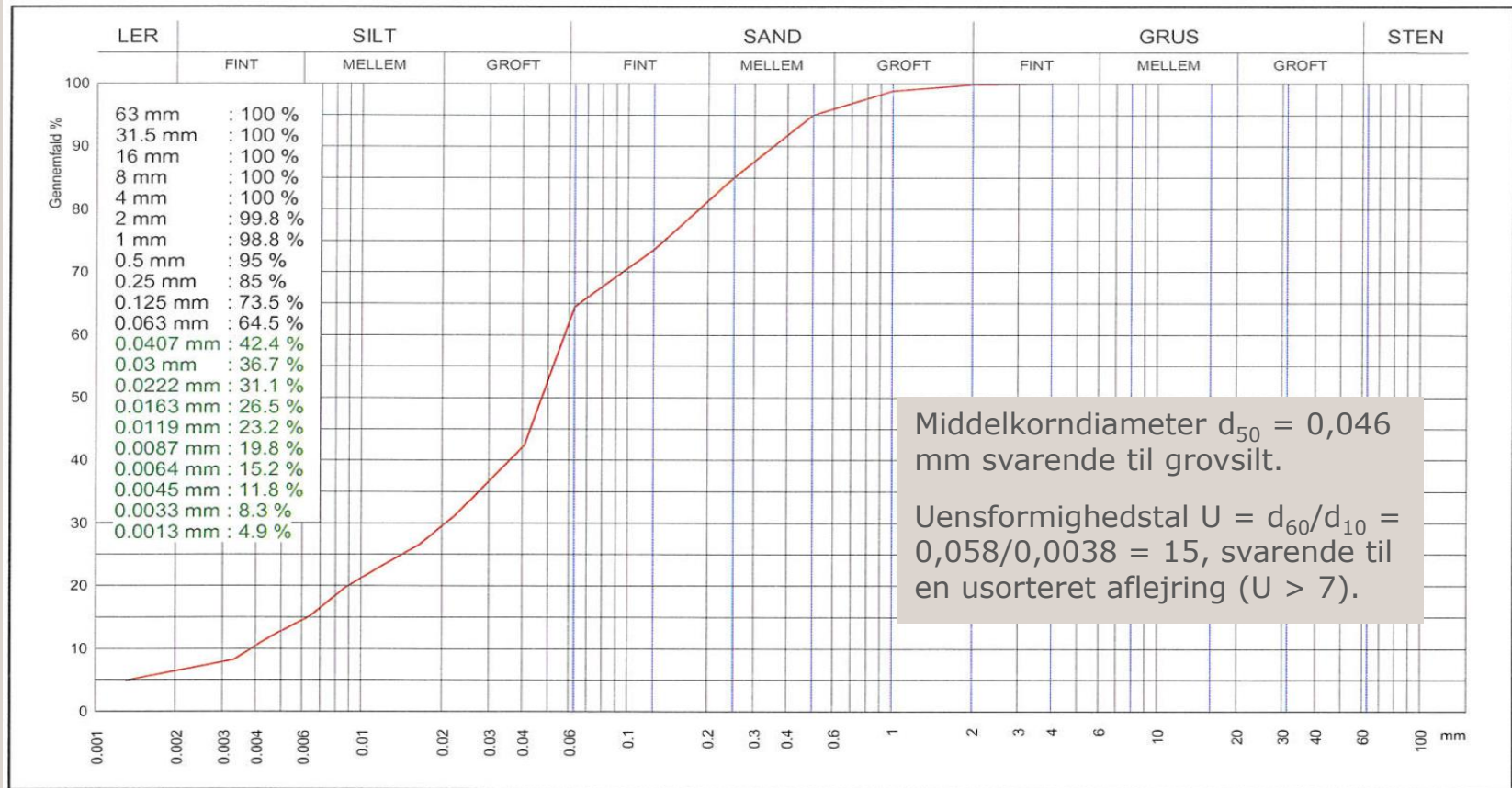
- Spidsmodstand q_c fra CPT-forsøg,
- Vingestyrker C_v og C_{vr} samt
- Vandindhold w

ved forsøg i testhu
TH1, TH5 og TH8



Hagfors, Sverige

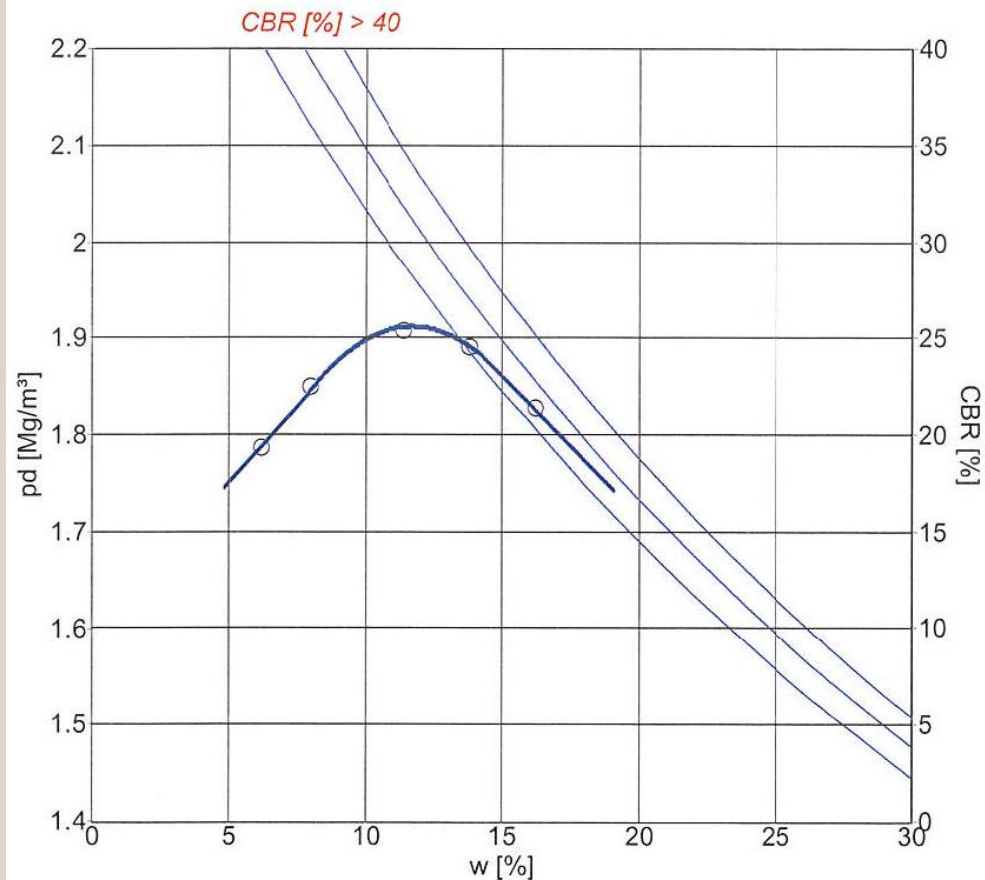
Sigte-slemmeforsøg: Kornstørrelsesfordeling



Slurrien beskrives som; SILT, groft, usorteret, st. sandet, leret

Hagfors, Sverige

Proctorforsøg: Relation mellem densitet og vandindhold

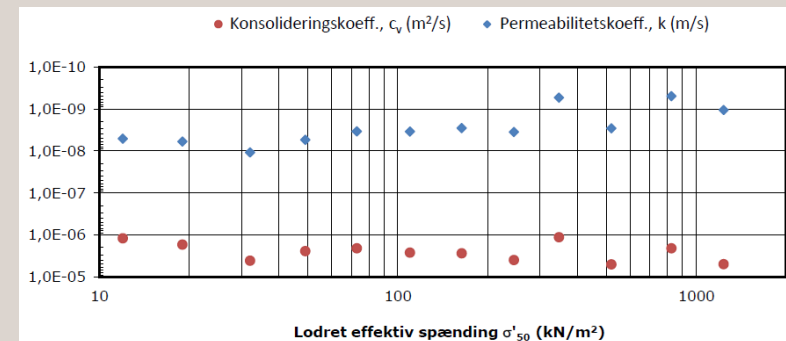
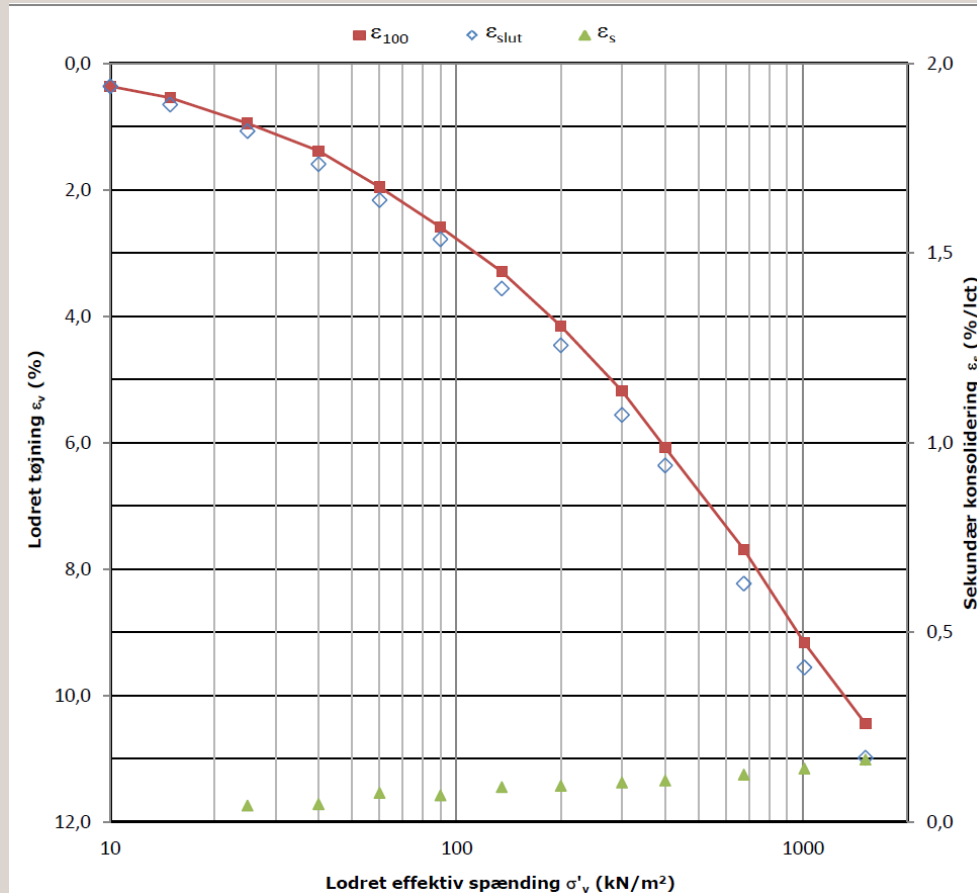


Signaturer			
Form	10 cm	15 cm	
Forsøg	Komprimering		CBR
Proctor	○	◇	□
Modificeret Proctor	●	◆	■
Mætningslinie			m. vandl.
Proctorforsøg			
Indstampning	Proctor		Modificeret Proctor
$\rho_{d,max}$	Mg/m ³	1.91	
w_{opt}	%	11.7	
$\rho_{d,max}$ korr.	Mg/m ³		
w_{opt} korr.	%		
Vibrationsforsøg			
$\rho_{d,max}$	Mg/m ³		
w	%		

Optimalt vandindhold (størst densitet) opnås ved vandindhold $w = 11,7\%$ à $12,5\%$ ($n=3$)

Hagfors, Sverige

Konsolideringsforsøg: Sætningsegenskaber



Permeabilitetskoefficient faldende med stigende spændingsniveau fra ca. 1×10^{-8} til ca. $2 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$.

Lodret deformation som funktion af spændingstilvæksten

Generelt

Faktorer af betydning for styrkeudvikling og sætningsegenskaber af den behandlede jord

Jordart:

- Styrke beror på friktionsforhold (i kornskellet) og kohæsion
- Tilsætning af væsentlige mængder bentonit og jern
- Reduceret kohæsion i finkornede jordarter (Mekanisk destruktion af jordmatrix)
- Eventuel nedsynkning af grus og sten (Separation grundet densitetsforskelle)

Vandindhold:

- Høje vandindhold (Vandtilsætning, infiltration af nedbør og kapillærer kræfter)
- Lav permeabilitet (Jordart, tilsætning af bentonit)
- Begrænsede drænforhold (Længden af drænveje, trykniveau i omgivne formation)

Spændingsniveau:

- Aktuelt overlejringstryk
- Graden af konsolidering (Fra forkonsolideret til normalt konsolideret aflejring, fx forbelastning af overliggende gletscher til nuværende overlejringstryk)

**Tak for
opmærksomheden**

Tak til bygherrerne

- Region Hovedstaden og
- Sveriges Geologiska Undersökning

