

Västlänken: fullskaliga fältförsök

Slitsmurar och KC pelare





Dr.Eng.Tara Wood
Technical Director: Business
Developer Geotechnics/R&D
Ramboll SE Transport

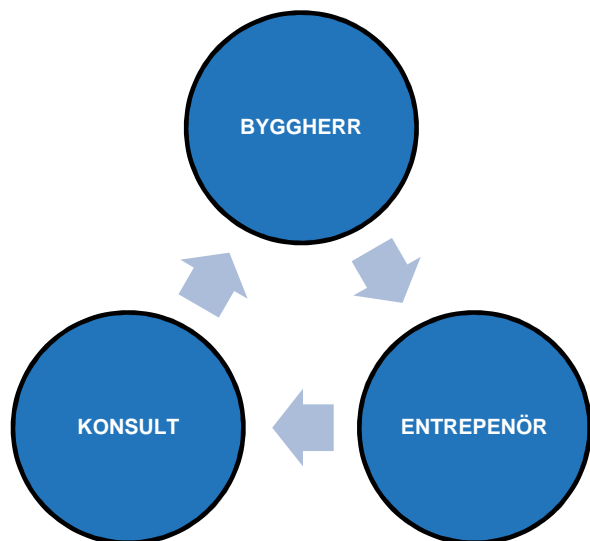


Dr.Eng. Jorge Yannie
Technical Specialist:
Geotechnical Engineering
NCC AB

Västlänken

-järnväg tunnel i Göteborg

- Delad i 5 entreprenader, E01 till E05.
- E01 och E02 är trafikverkets första **ECI** projekt. Dessa är pilot projekt för TrV som planerar för flera ECI projekt i framtiden.
- **Early Contractor Involment (ECI)**: ett samarbete för bästa resultat.



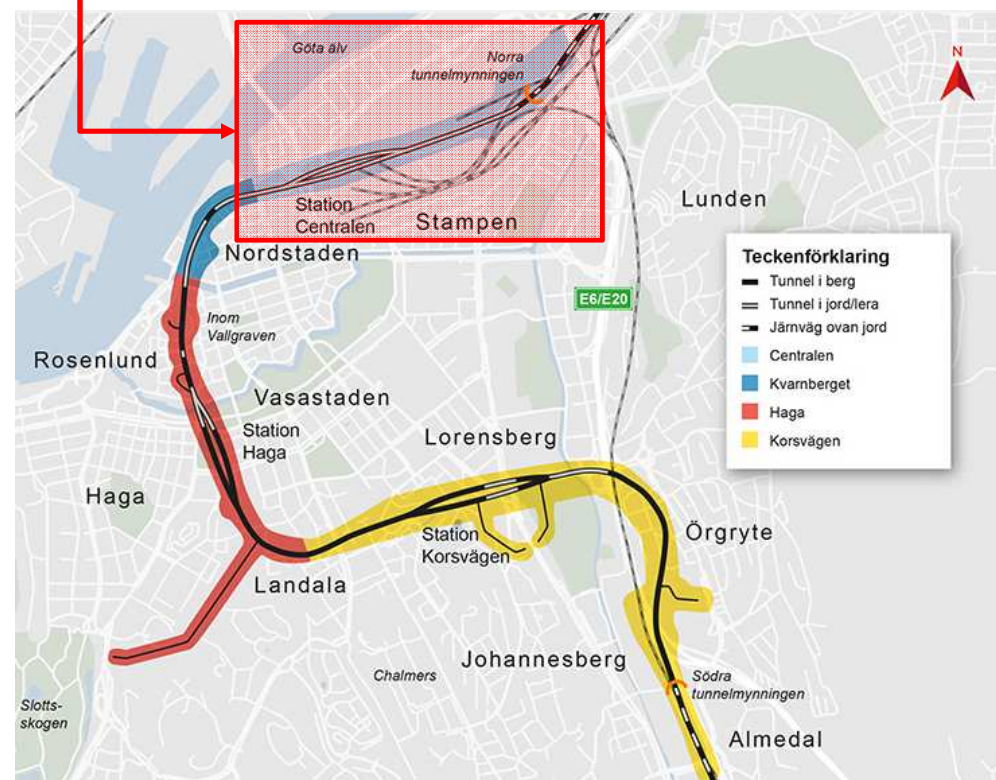
2019-05-16

Påldagen



TREVI COWI TYRÉNS TFIP EITECH

[KANOZI] ARKITEKTER CENTERLÖF & HOLMBERG W&F

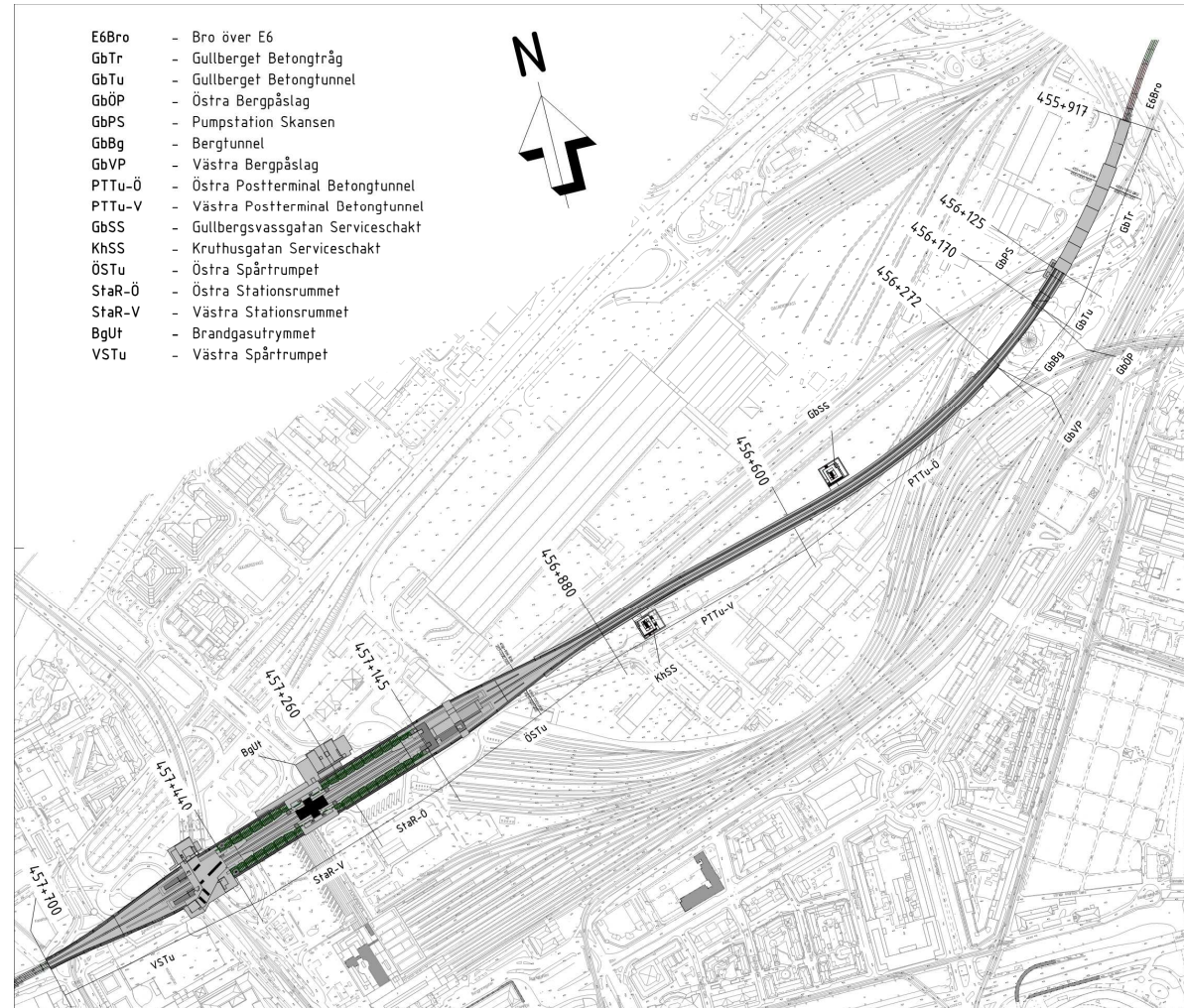


RAMBOLL



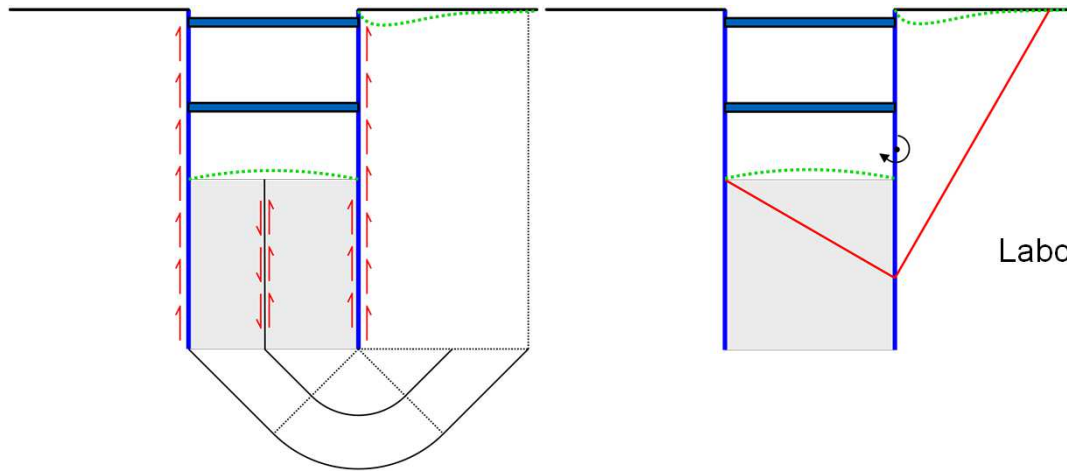
E02 Centralstationen

- Vad innebär?
 - Bro över E6
 - Tråg inklusive pumpstation
 - Bergtunnel inklusive påslag av betong
 - Betongtunnel inklusive serviceschakt
 - Östra trumpeten
 - Stationsutrymmet inklusive uppgångar och ventilation.
 - Västra trumpeten
 - Ledningsomläggningar

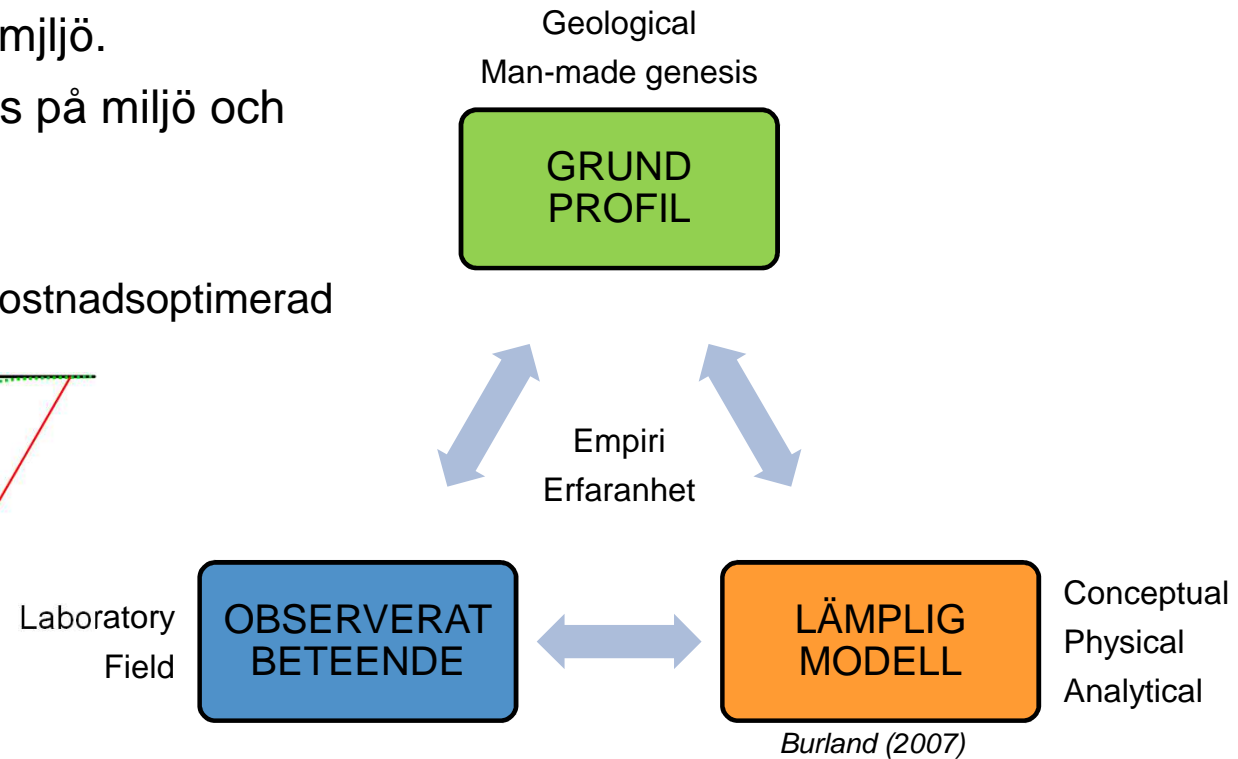


E02 Centralstationen

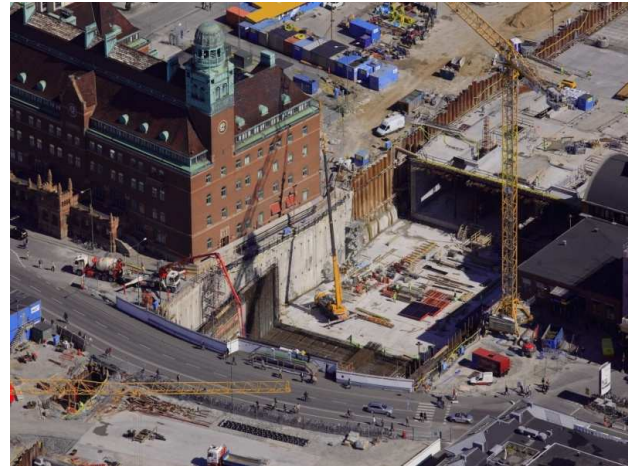
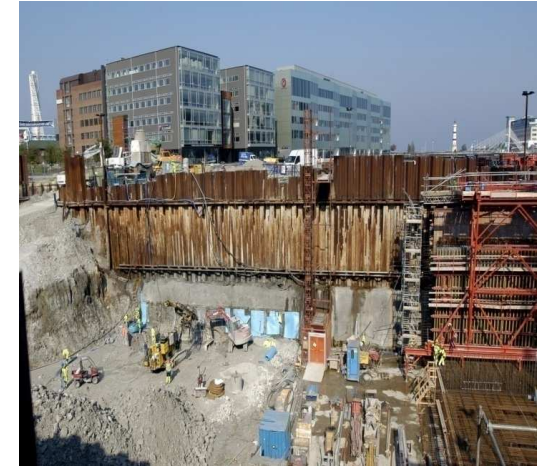
- Djupa och breda schakter i lös lera i stadsmiljö.
- Ny Teknik / användningsområde med fokus på miljö och hållbarhet.
- Beställar KRAV:
 - 1) Robust och flexibel
 - 2) Underhållsvänlig
 - 3) Kostnadsoptimerad



Geotechnical triangle

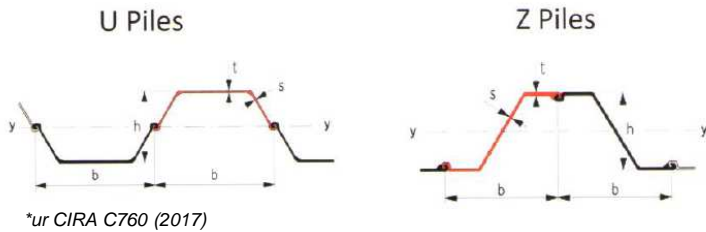


Vilken stödkonstruktion kan vi använda (krav)?

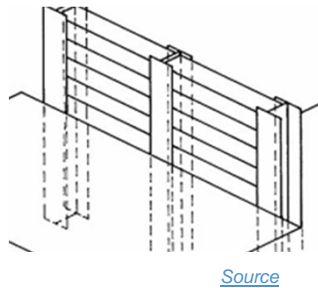


Vilken metod?

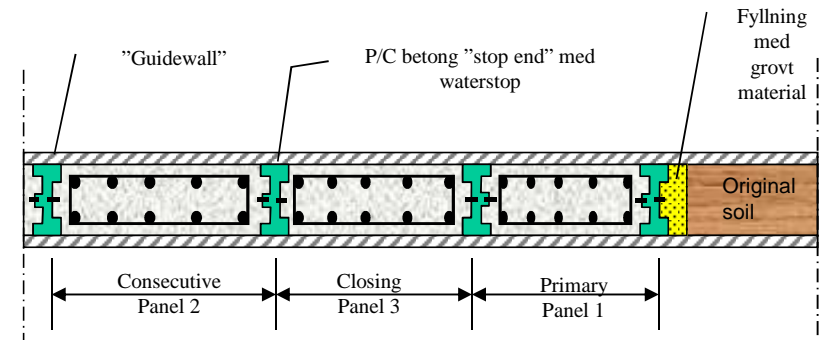
Konventionell stålspons* (vek)



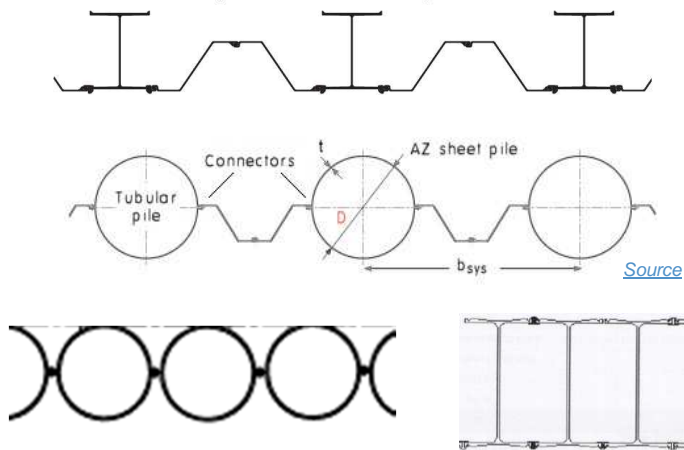
Berlinerspons (vek)



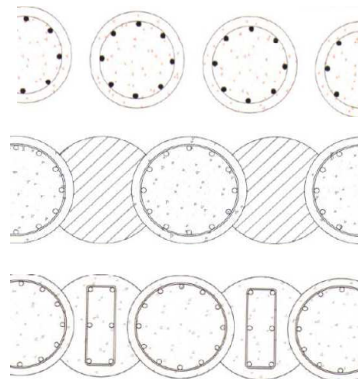
Slitsmur (styv)



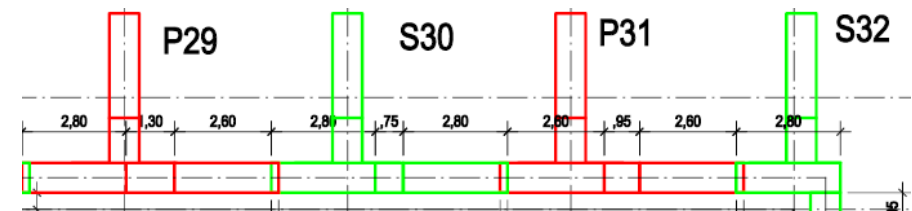
Kombispons, borrar rörspont och balkspont



Grävpålevägg (styv)

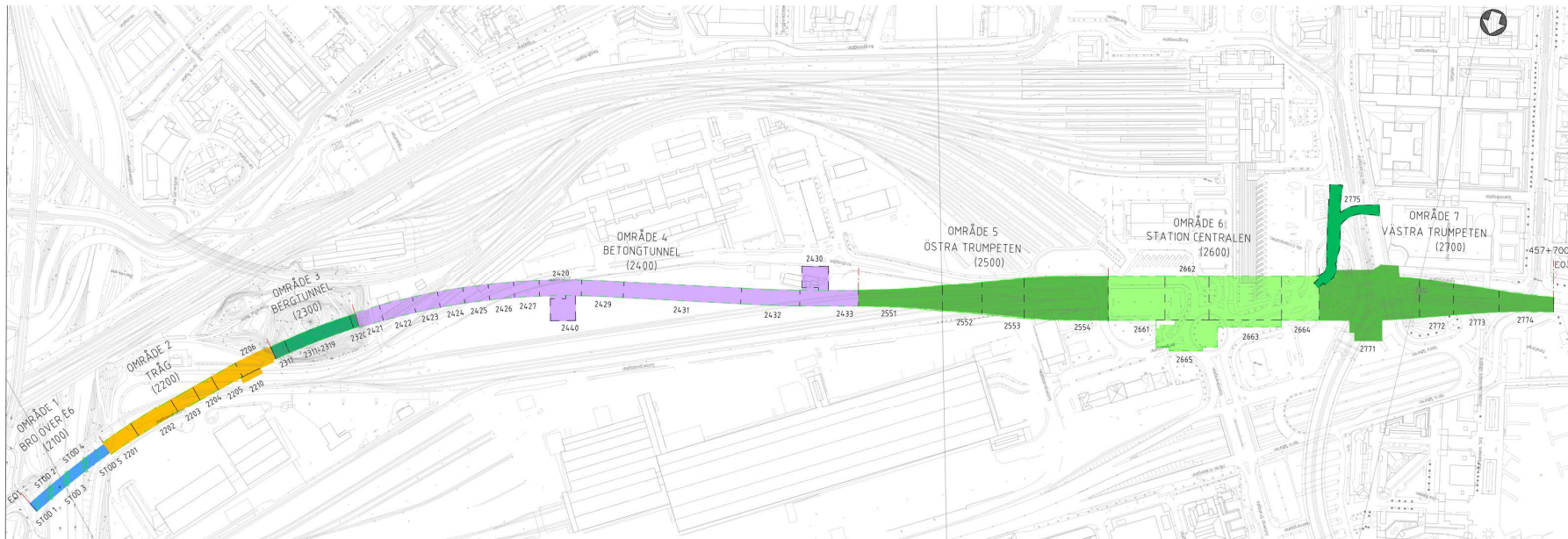


T-panel slitsmur "styv"



E02 Centralstationen

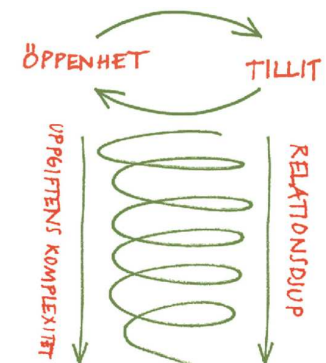
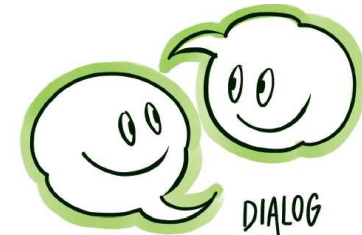
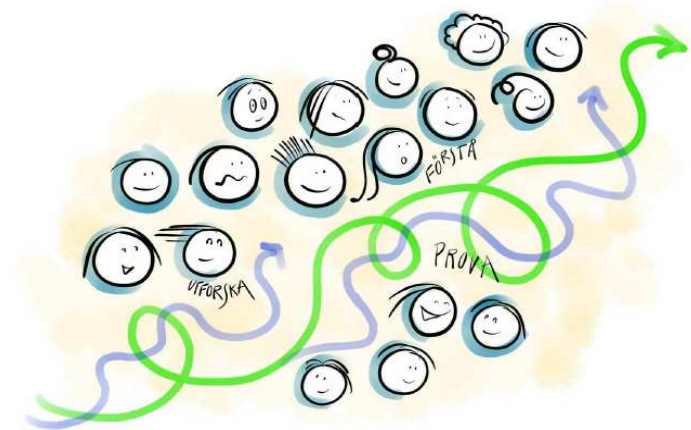
- En lång sträcka i leran.
 - **KC pelare: lila.** Total 85 000 st som motsvarar 1 450 000 m.
 - **Slitsmurar: grön.** Längsgående 36 000 m2 och tvärgående 107 000 m2.



Fullskalig försök i Västlänken E02

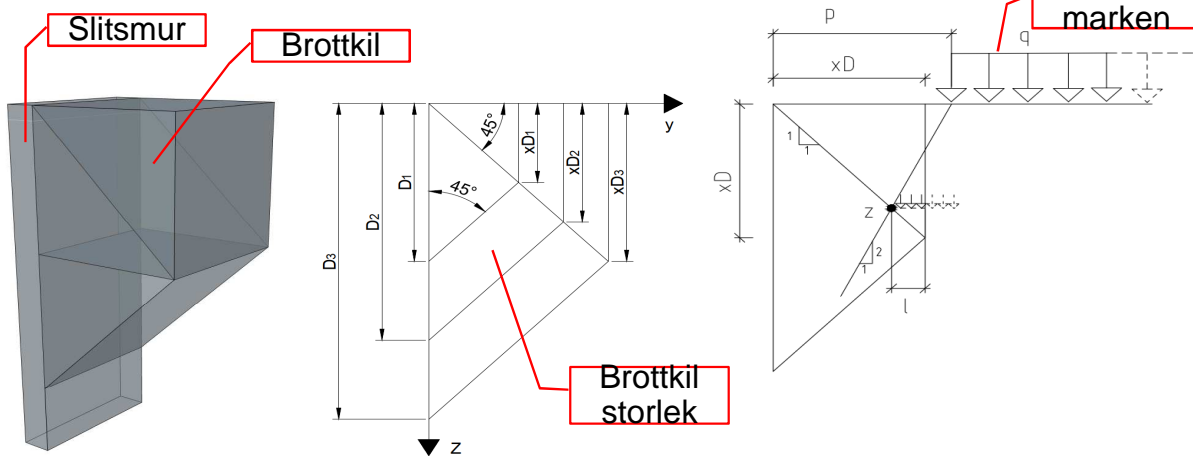
Steg i processen

- Inledande analys – värde i att ”spänna bågen”
- Bakgrunds studier och hitta ”state of art”
- Inledande prov och simuleringar
- Planera försöks detaljer, instrumentering, material, mm
- Budget + risk möjlighets analys = dialog med beställaren
- Utförandet
- Sammanställa och tolka resultat
- Vidare simuleringar för ökad förståelser (bak analys)
- Rapportering, slutsats och rekommendationer
- TAR VARA PÅ DEN NYA KUNSKAP I PRODUKTION



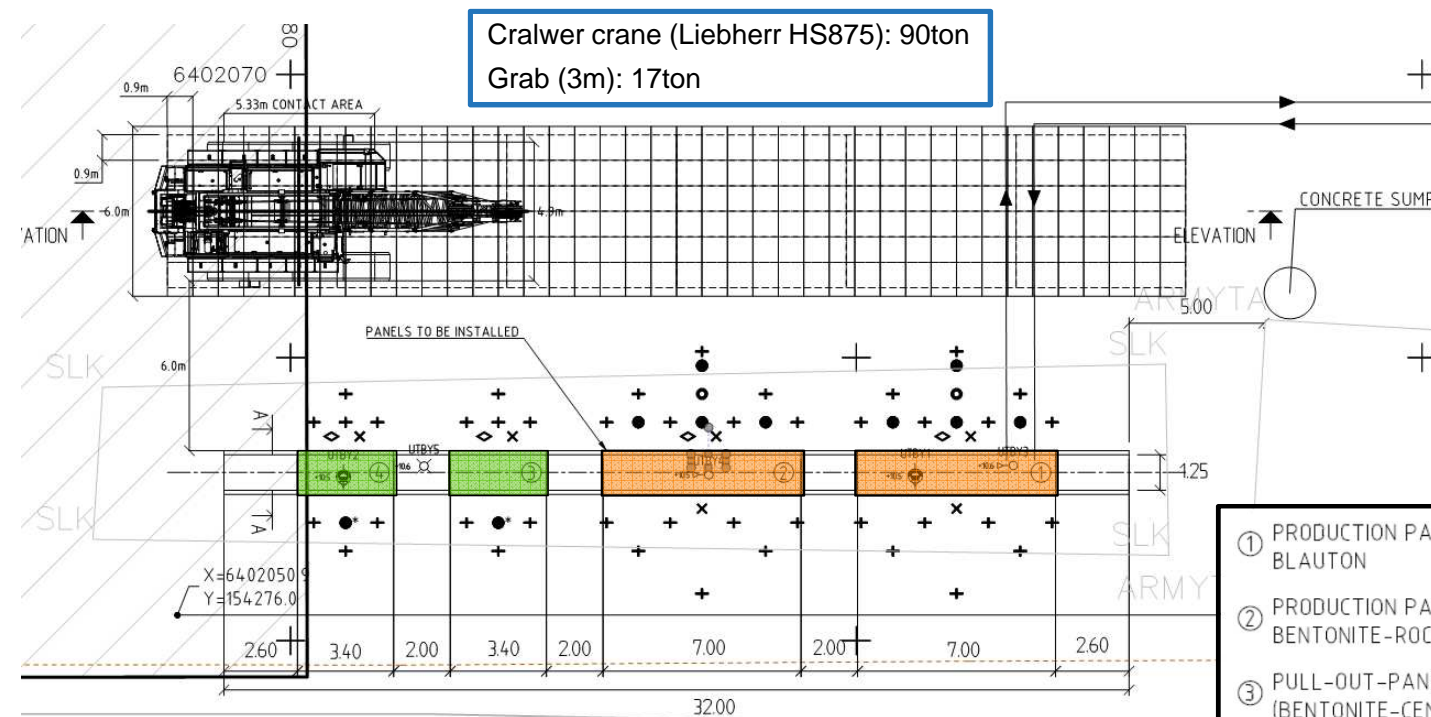
Permanent slitsmurar

- Hur stora paneler kan vi göra?
 - Geo stabilitet
 - Aas metoden (semi empirisk), DIN 4126 och FE modeller (numerical).
 - Geoteknisk bärformåga
- Vad är kritisk för lyckad genomförande
 - Stödvätska
 - Betong (armerings detaljer)
 - Stabilitet

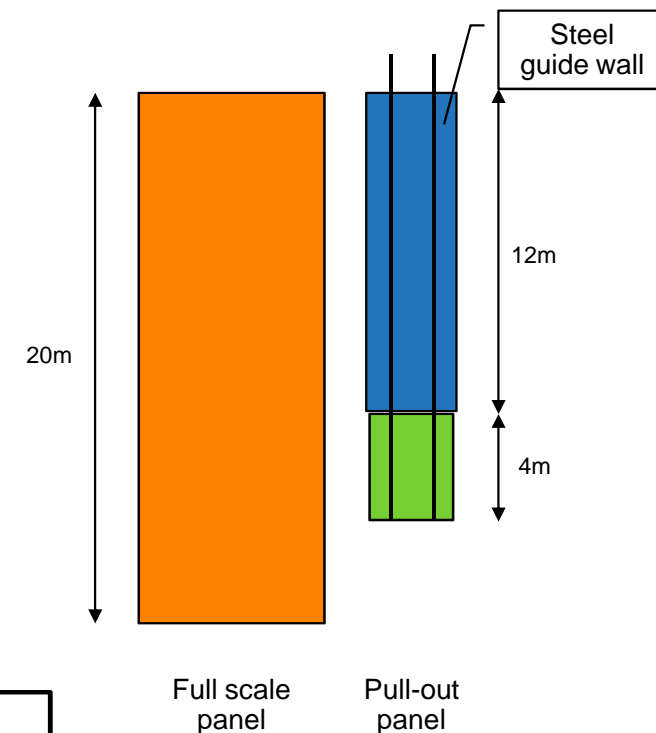


Slitsmurar

- Utby fältförsök

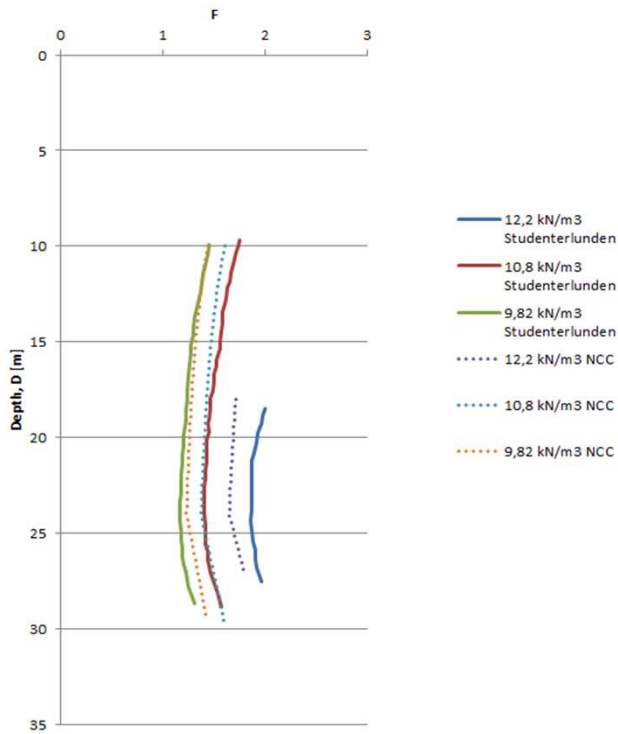


- ① PRODUCTION PANEL
BLAUTON
- ② PRODUCTION PANEL
BENTONITE-ROCK DUST
- ③ PULL-OUT-PANEL
(BENTONITE-CEMENT)
- ④ PULL-OUT-PANEL
(BENTONITE-ROCK DUST)
(BLAUTON)

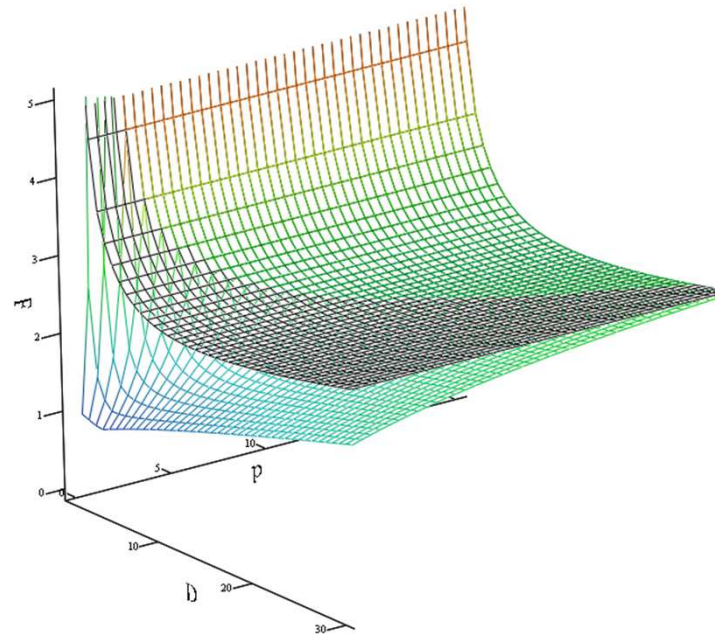


Verifiering och känslighets analyser är viktigt

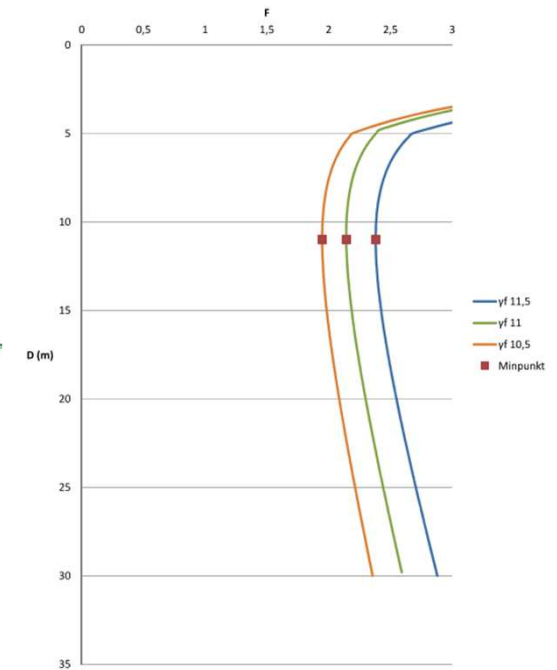
Safety factor F, Studenterlunden comparison with different fluids



Comparison of safety factors with/without load at L=7, slurry=11kN/m³

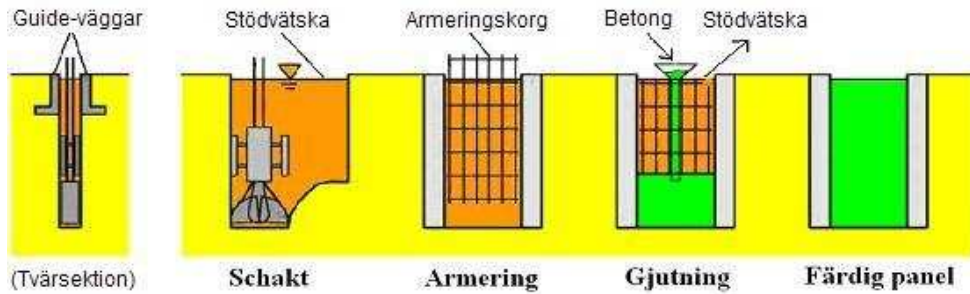


q=0 (kPa)



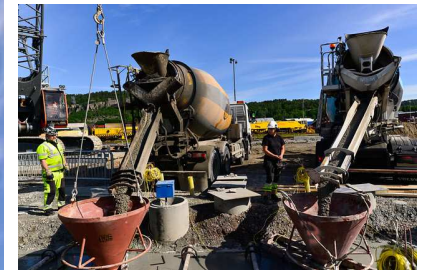
Slitsmurar

- arbetsmoment



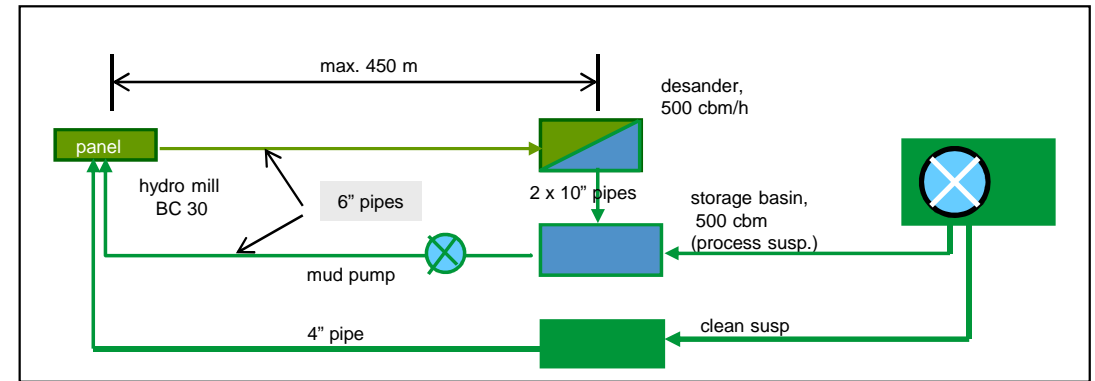
bite1 bite3 bite2

Schakt sker normalt i 1, 2 eller 3 steg (bites) beroende på panelstorlek.



Slitsmurar

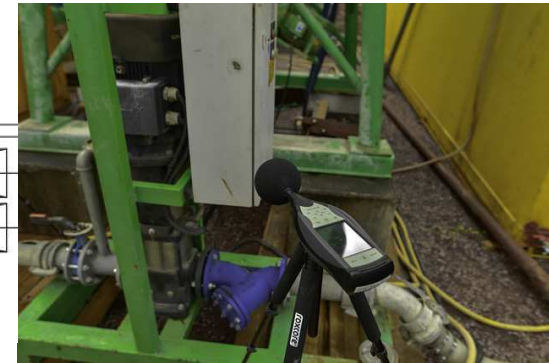
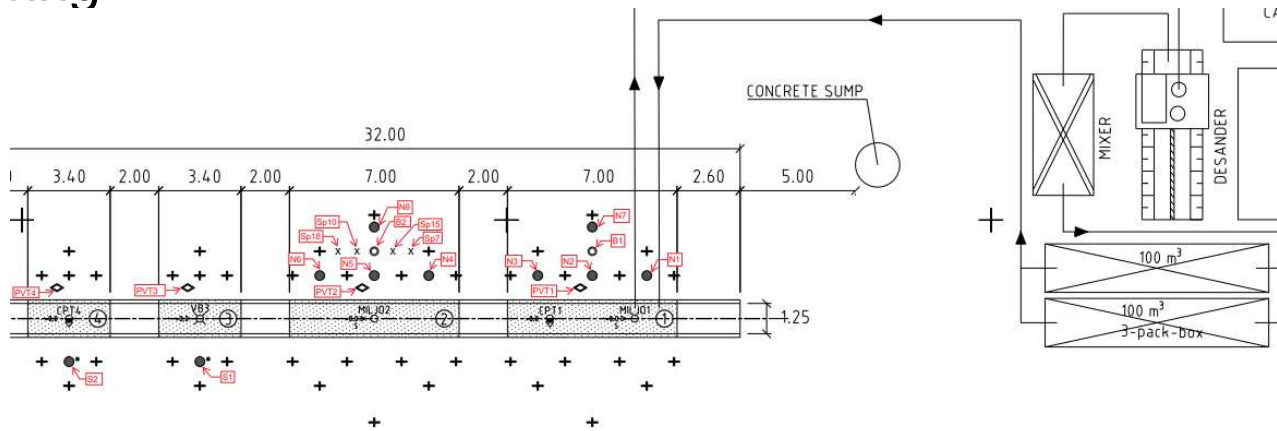
- stödvätska (bentonite slurry)



Slitsmurar

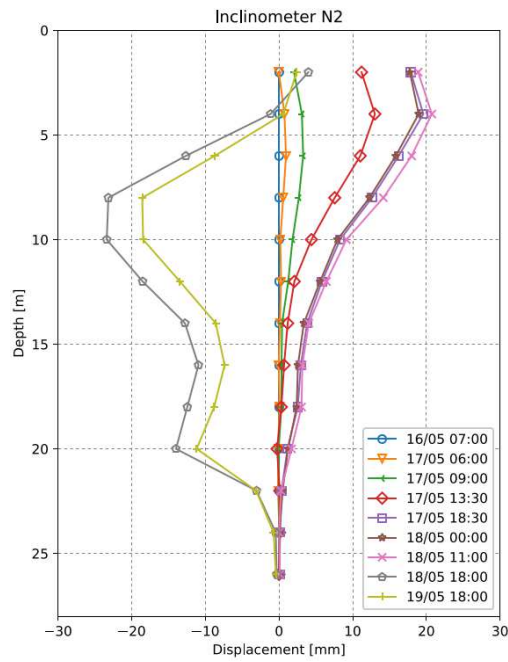
- instrumentering

- Inklinometer
- Porttryck
- Jordtryck
- Markpegglar
- Lastcell



Slitsmurar

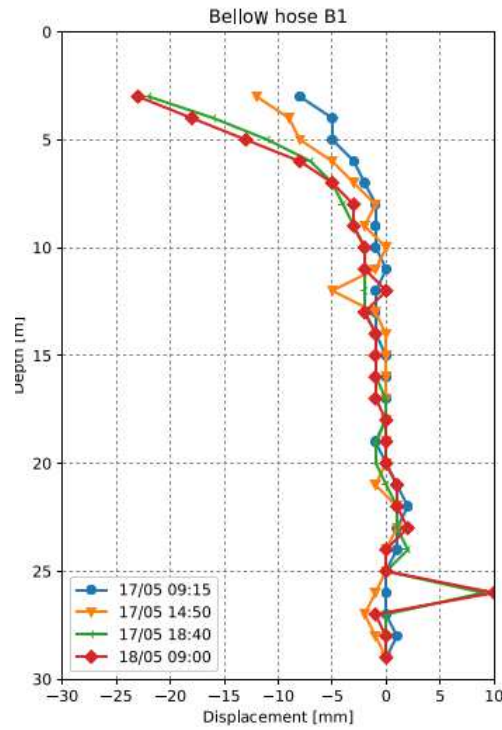
- mätningar



Panel #1

Gjutning ← (negativ)

Schakt → (positiv)



(a) Panel #1

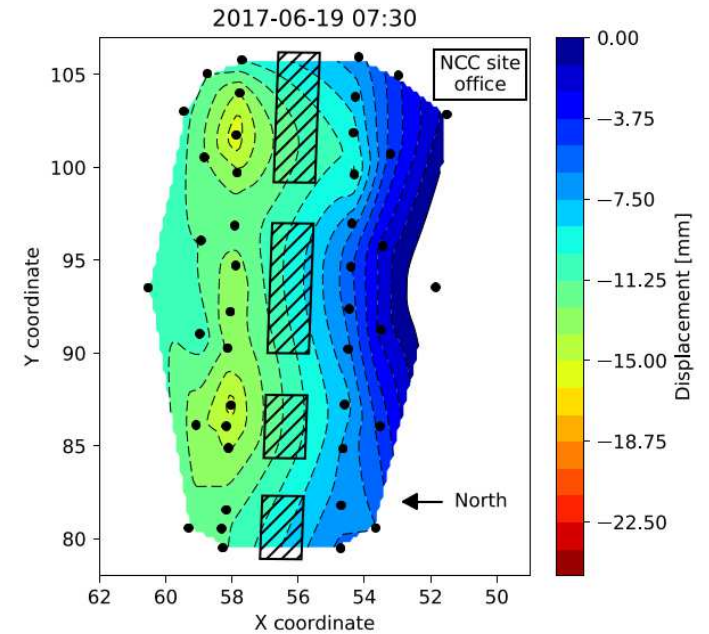
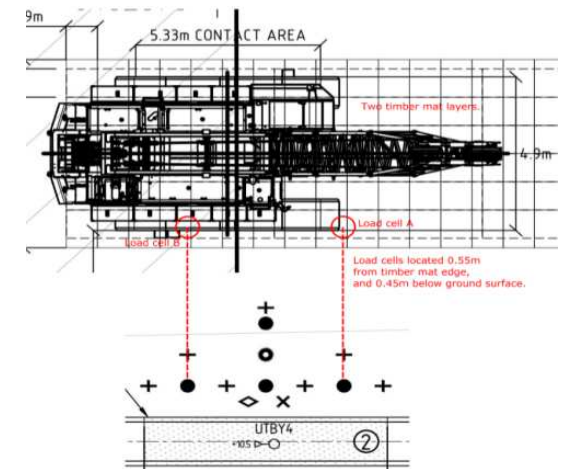
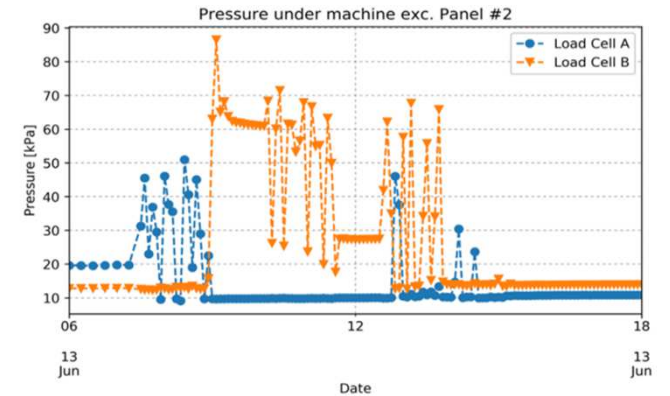
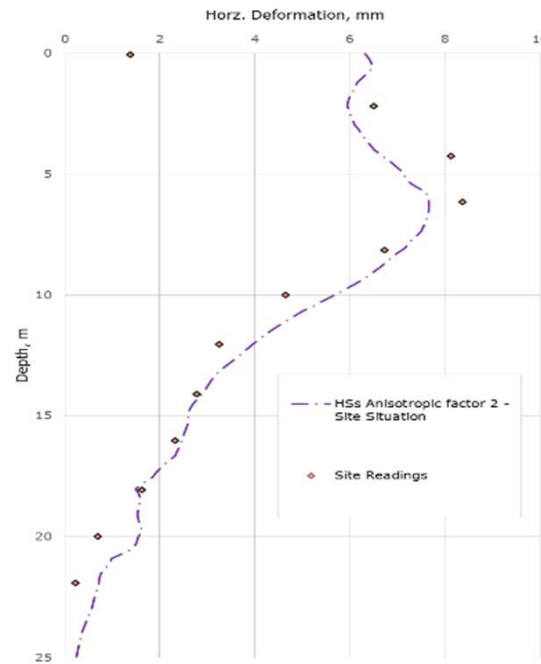
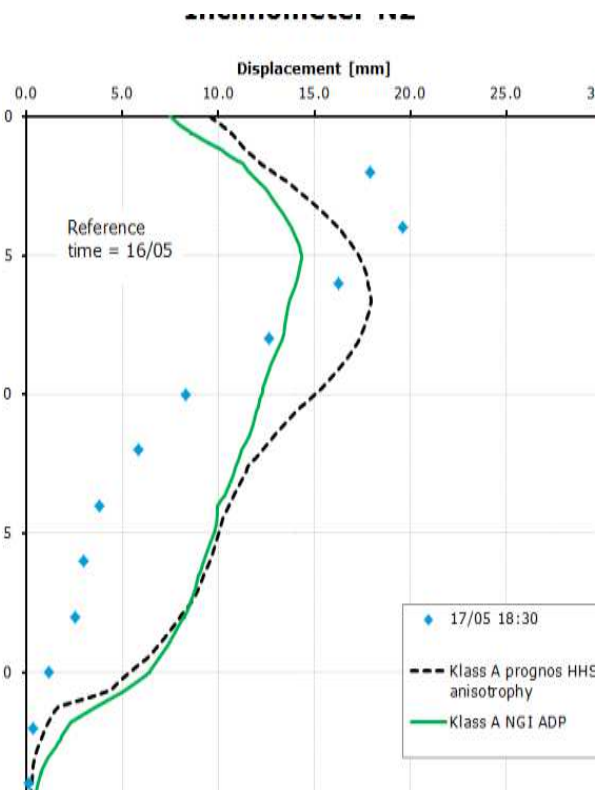
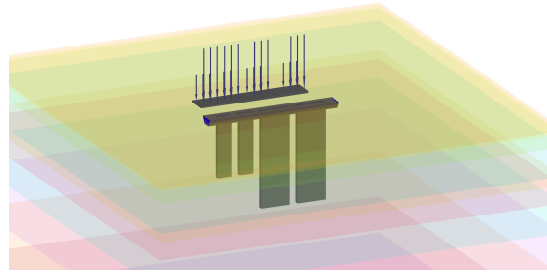


Figure 5.3: Surface settlement after all panels completed.

FULLSKALIG VERIFIERING AV BETEENDE VID SCHAKT



Slitsmurar

- mätningar

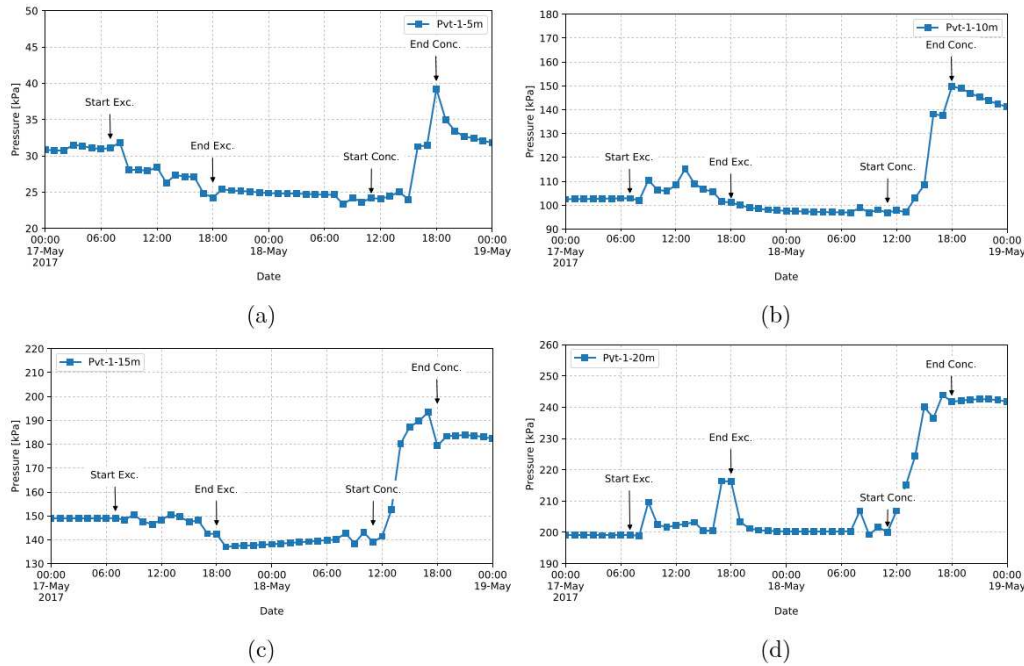


Figure 2.1: Pore water pressure for panel #1 during excavation and concreting.

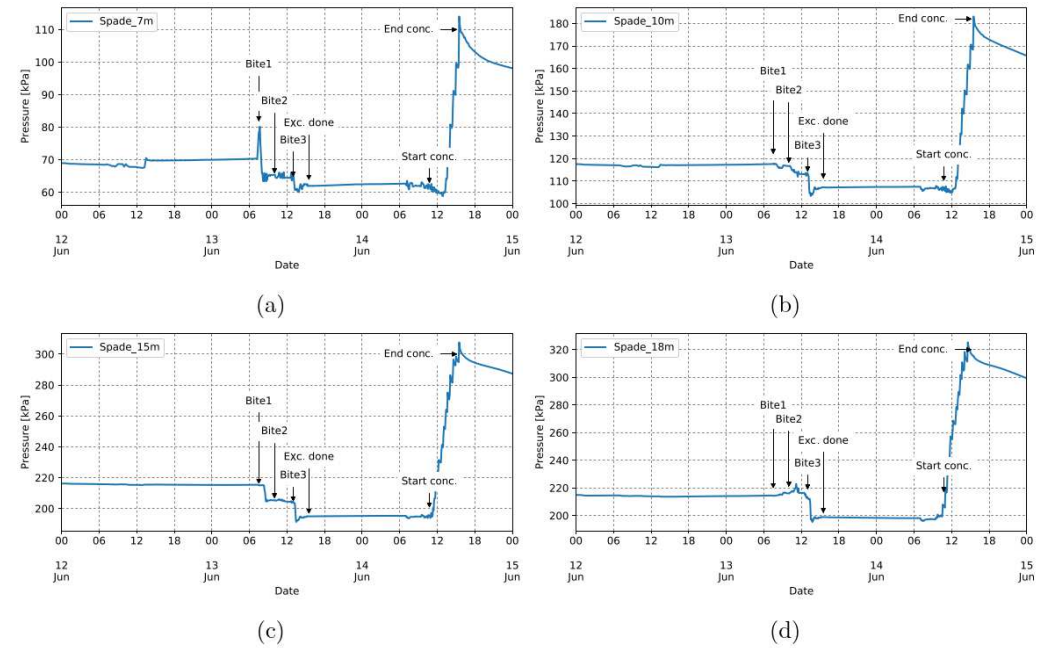
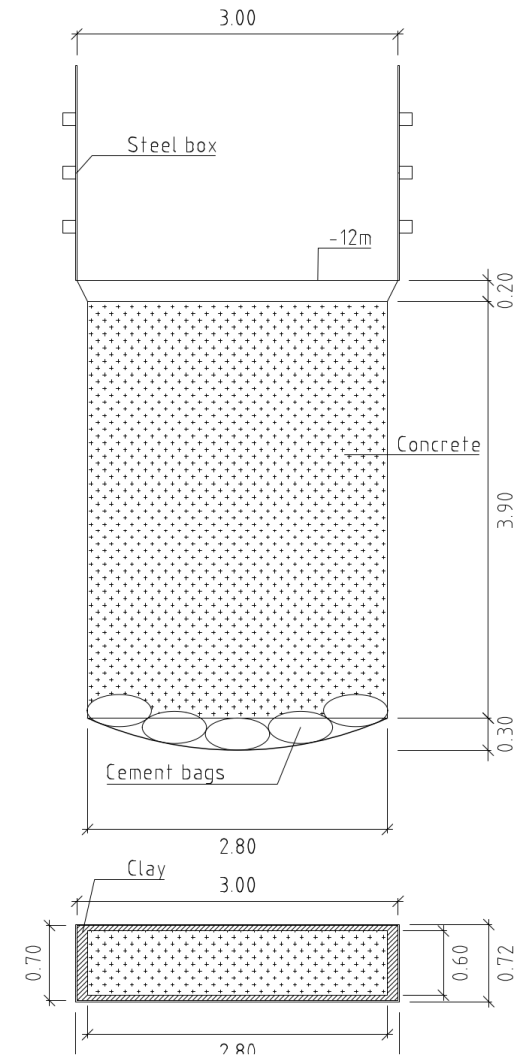


Figure 4.4: Total pressure from spade cell 2 meters away from panel #2 during the second excavation attempt.

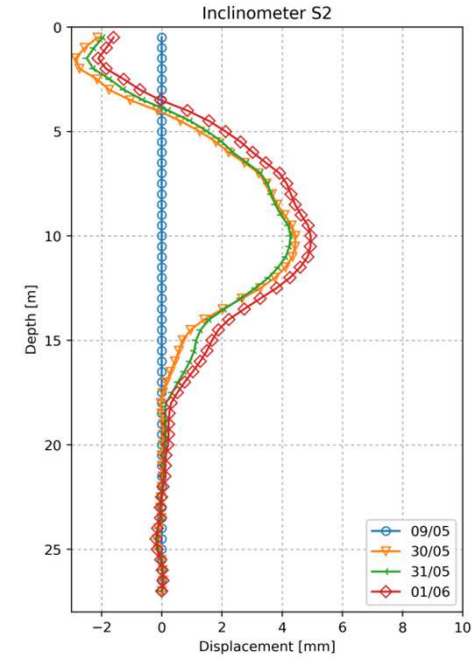
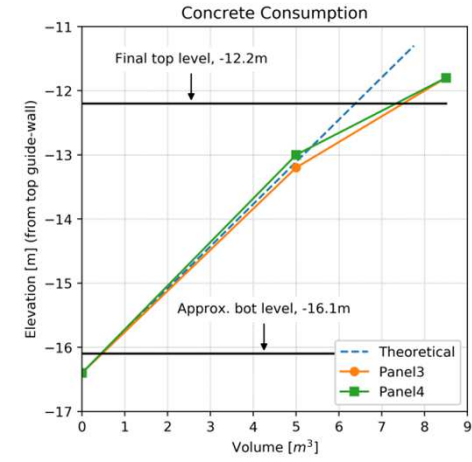
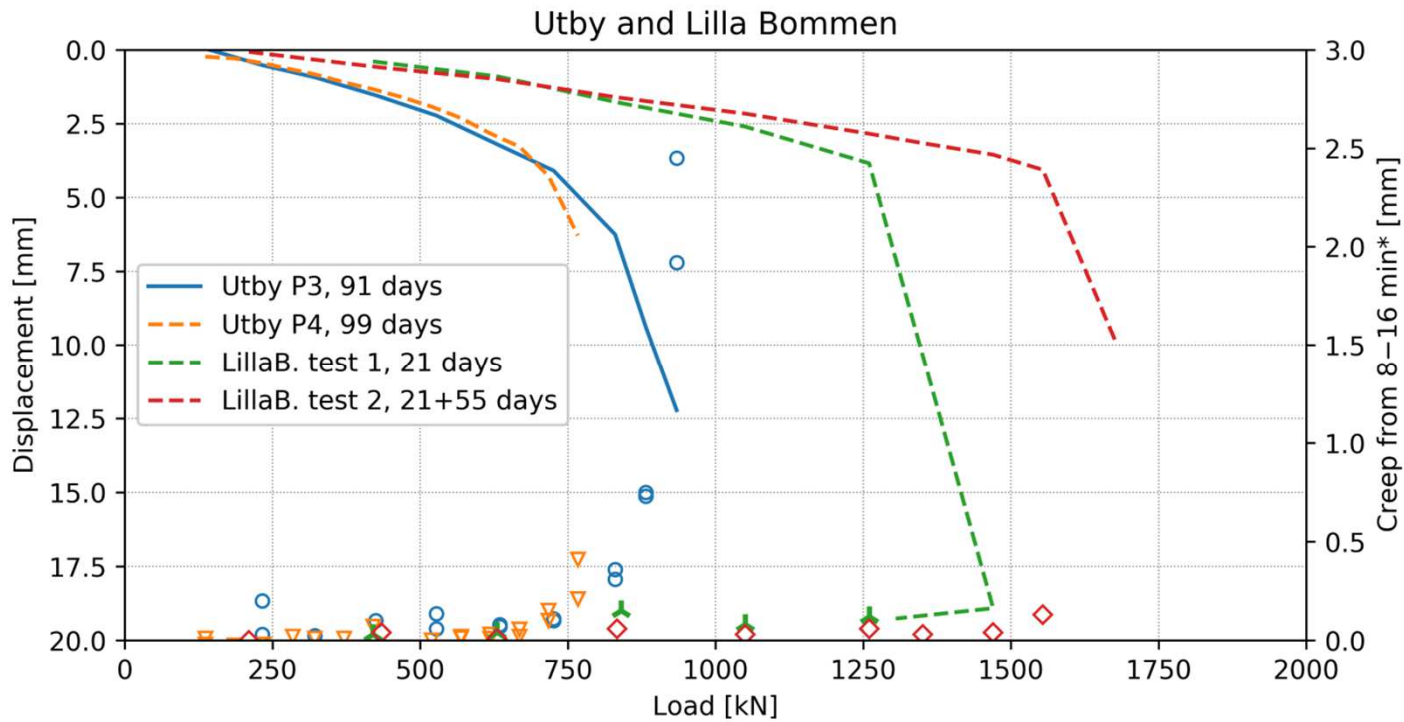
Slitsmurar

- dragförsök

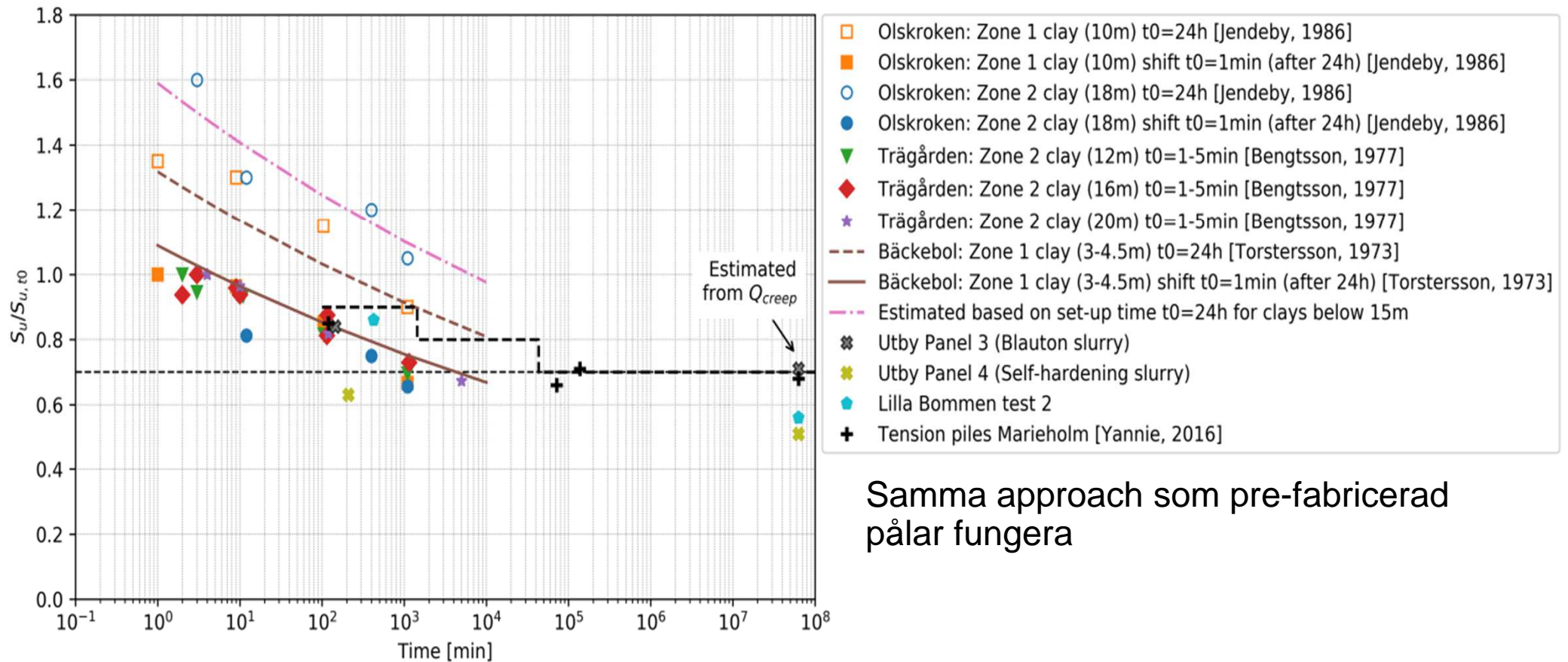


Slitsmurar

- Pull-out försök



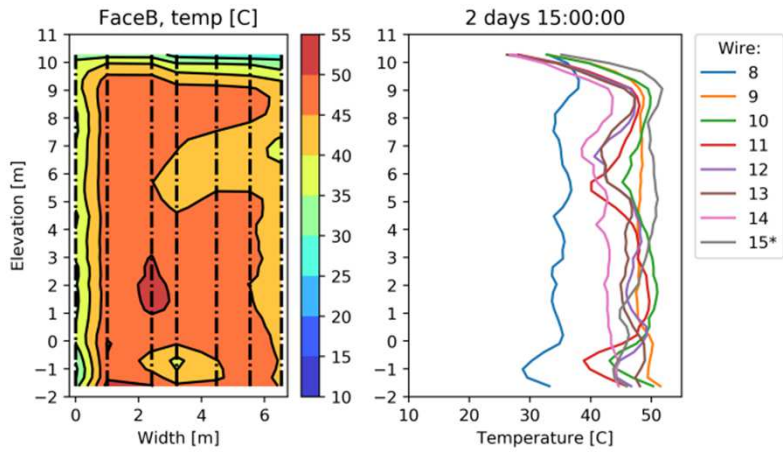
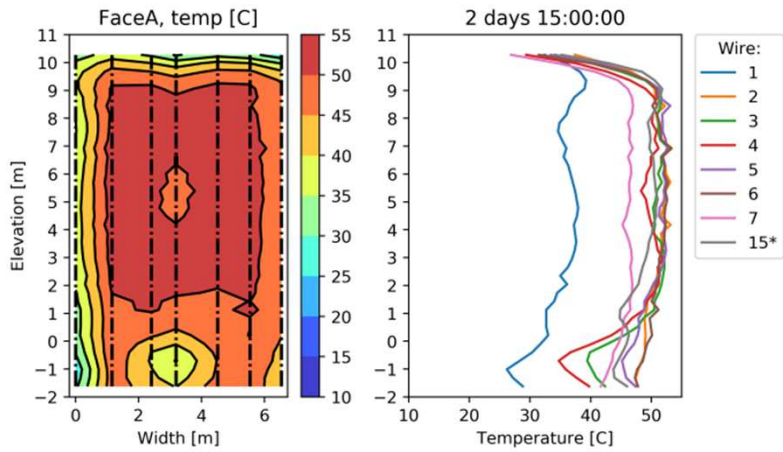
Vertikalt bärformoga: tvärvägg



Samma approach som pre-fabricerad pålar fungera

Slitsmurar

- kvalitetskontroll



Slitsmurar

- lärdomar



- 7m paneler är stabil men kräver omsorg (minimera vibrationer i omgivningen, laster i omgivningen, "ryckning" av pålkran etc.).
- Stödvätska med Blautau var bäst (mest stabil och gjut egenskaper). Självhärdande bentonit inte bra för gjutning och sämre hållfasthet än leran.
- Sällsynt insyn i hur rörelser och spänningar sprider sig i marken, driver utveckling i Svergie men också internationellt.
- Känslighetsanalyser tillsammans med relevant mätdata fördjupa förstörelsen för tekniken.
- Klass A FEM prognos med verifierad modeller (lab och fullskala) fungerade mycket bra.
- Enklare Aas metoden fungera utmärkt för bedömning av stabilitet och identifiering av kritisk produktions aspekter.
- DIN 4126 ej lämplig i lös lera!
- Geoteknisk bärformåga kan hanteras som vanligt.
- **Helheten är viktigt om det ska blir "rätt" i verkligheten samt ägandet av övergripande ansvar.**

KC i passivzon

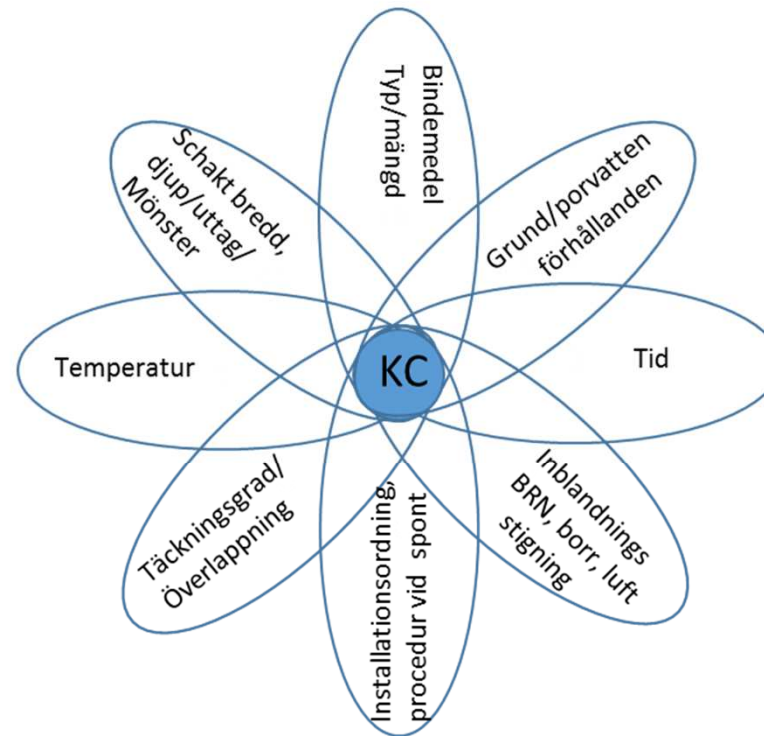
- viktiga aspekter och fördelar

• Jord

- Minimera omgivningspåverkan vid schakt.
- Ökad stabilitet mot brott, mindre hävning och sättningar i schaktbotten.
- Stabilisera schaktmassor (minimera risk i produktion).
- Minimera produktions tid och kostnader.

• Anläggning

- Minimera konstruktionslaster i spont/stämp.
- Optimering av botten plattan m.h.t byggskede och permanentskede.



Figur 1 Aspekter som påverkar egenskaper och funktion av kalkpelare förstärkning vid användning med stödkonstruktioner i passiv zon.

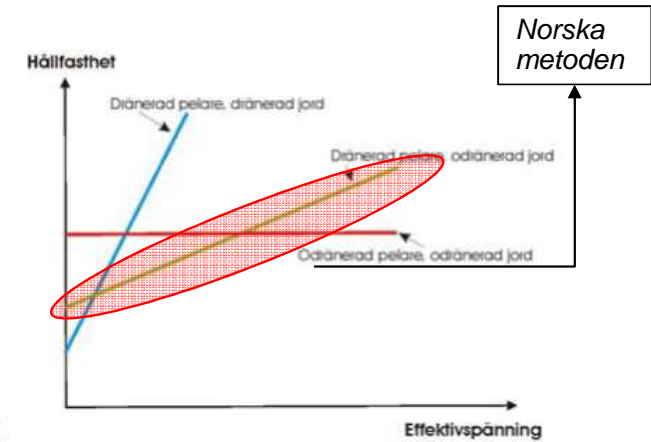
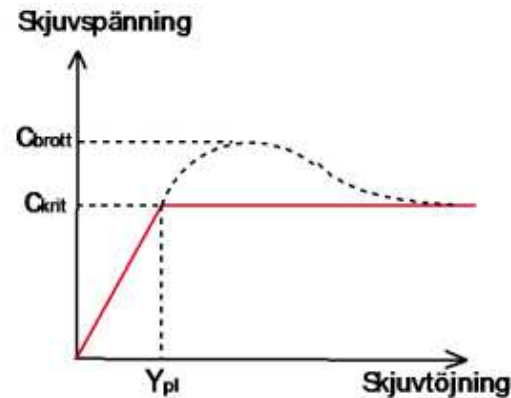
KC i passivzon

- nuvarande praxis och erfarenheter

- TKGeo rekommendationer är för vägbankar och järnvägsbankar (bygger på SGI-Rapport 17).
- Dränerad förhållande blir dimensionerande, särskild för de låga effektiva spänningarna vid schaktbotten om TKGeo följs.

• Viktiga frågor:

- kohesion (cement bindning)?
- friktions vinkel KC materialet?
- dränerad eller odränerad?
- homogenitet och kontinuitet i skivor/pelare?



13.1.2.1.2 Dränerad hållfasthet

Den karakteristiska dränerade skjuvhållfastheten, τ_{frik} , ska bestämmas enligt:

$$\tau_{frik} = c' + \sigma' \tan \phi'$$

13.1-2

Den bindemedelsförstärkta jordens kohesionsandel, c' , ska antas vara:

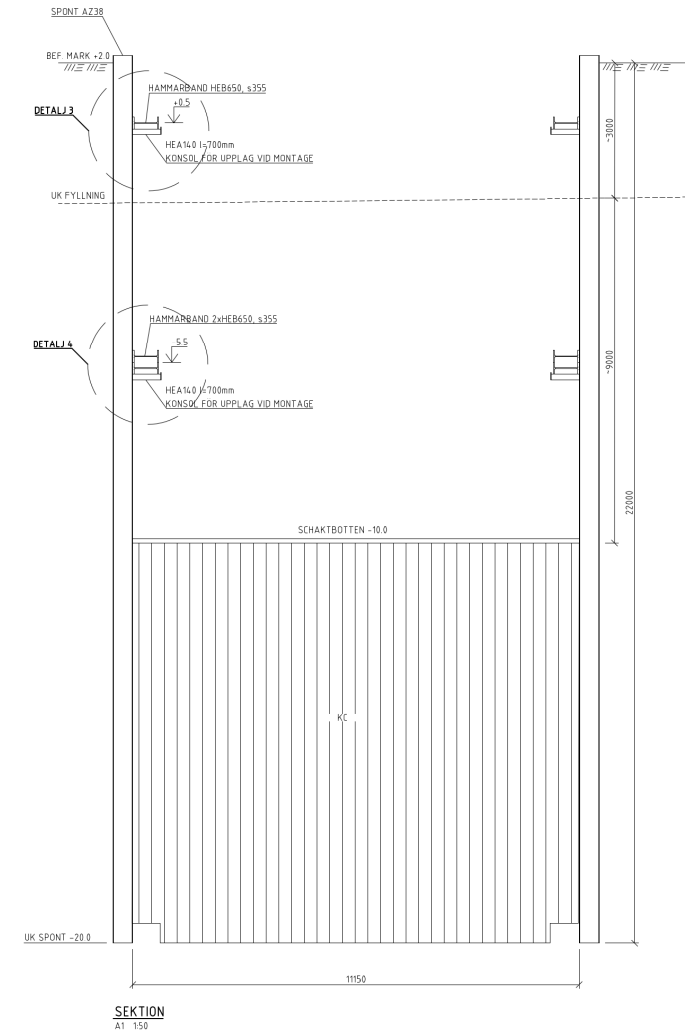
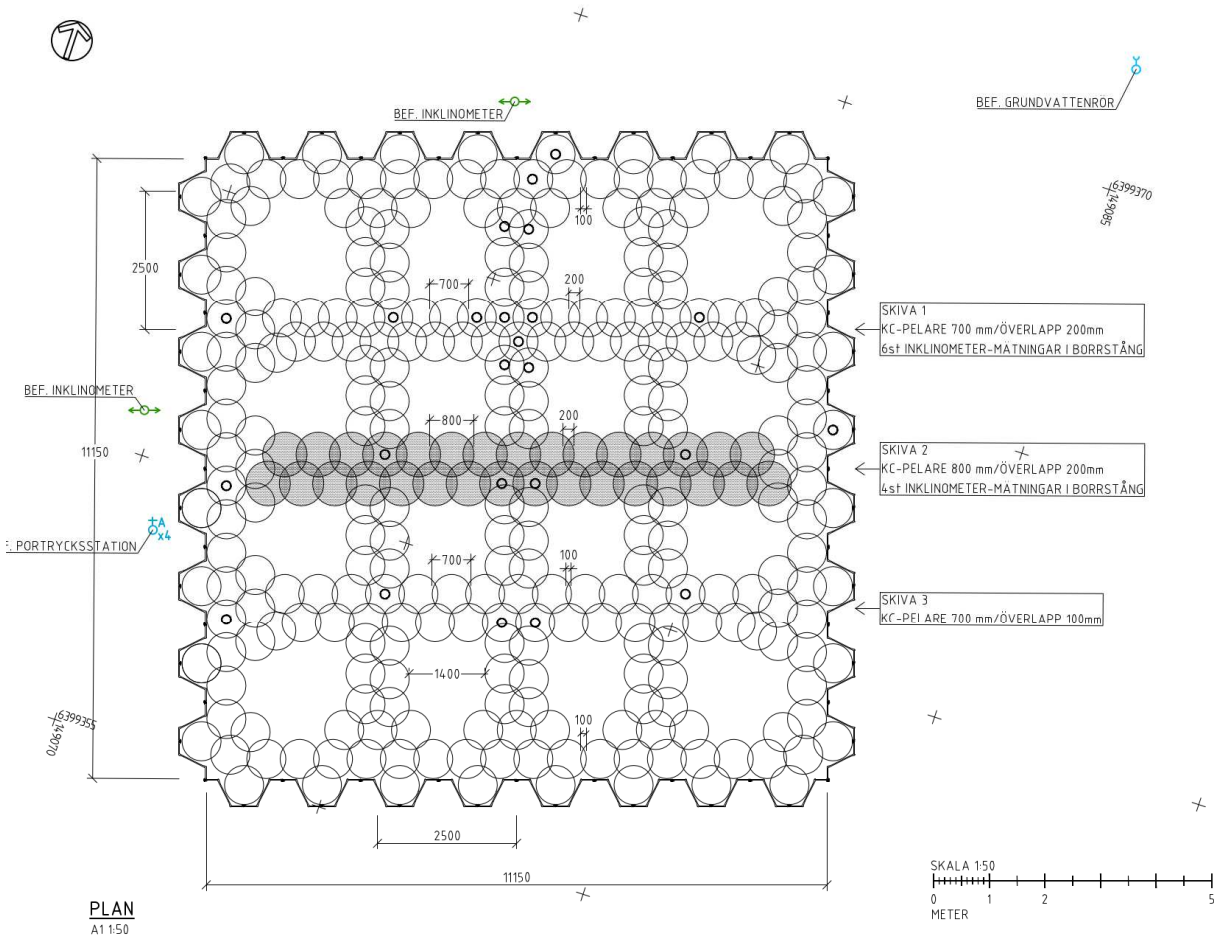
- 0,40 c_{krit} i aktivzonen
- 0,15 c_{krit} i direkt skjuvzon
- 0 i passivzonen

Den bindemedelsförstärkta jordens friktionsvinkel, ϕ' , ska oberoende av bindemedel sättas till:

- 32° då jorden utgörs av lera eller torv
- 29° då jorden utgörs av gytta
- 35° då jorden utgörs av silt.

KC i passivzon

- fältförsök



PLAN
A1 1:50

KC i passivzon

- fältförsök instrumentering

Skjuvhållfasthet

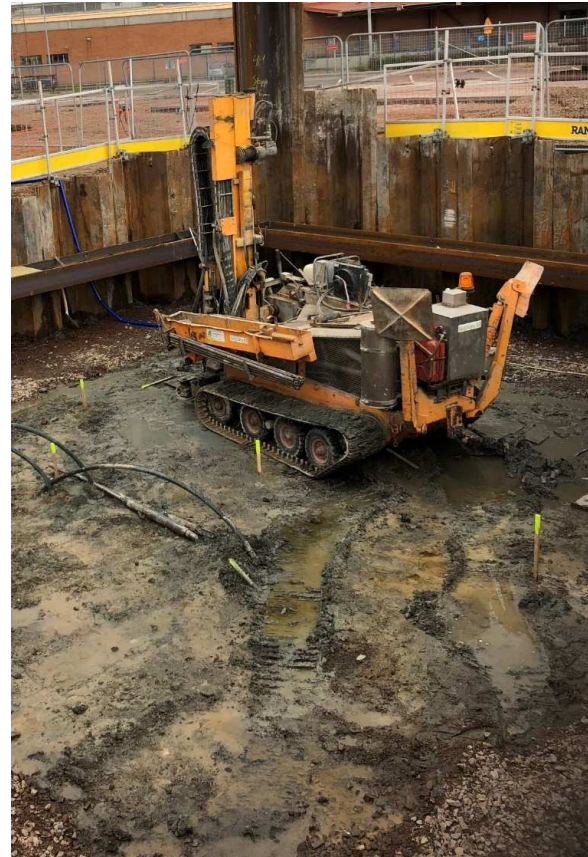
- FKPS
- FOPS
- CPTu
- Plattbelastning

In-situ förhållande

- Jordtryck
- Portryck
- Lastceller
- Temperatur

Rörelse

- Inklinometer vid spont och i KC pelarna



KC i passivzon

- installation

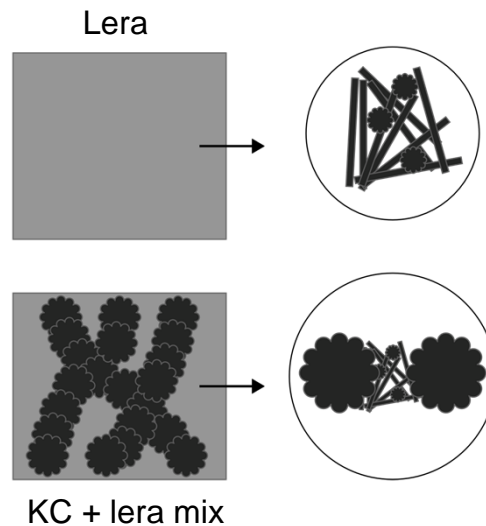
- Olika blandningsverktyg, stigning, varv, diameter.
- Massundanträngning:
 - Hävning
 - Horisontell
- Stora krater på grund av lufttryck.



KC i passivzon

- material egenskaper

- Styvare och starkare relativt ursprunglig lera
- Icke vattenmättat material, lågt excess portryckt vid skjuvning
- Båda softening och dilatation vid olika pseudo OCR
- Levande material, elasticitet/skjuvhållfas het ändrar med tiden



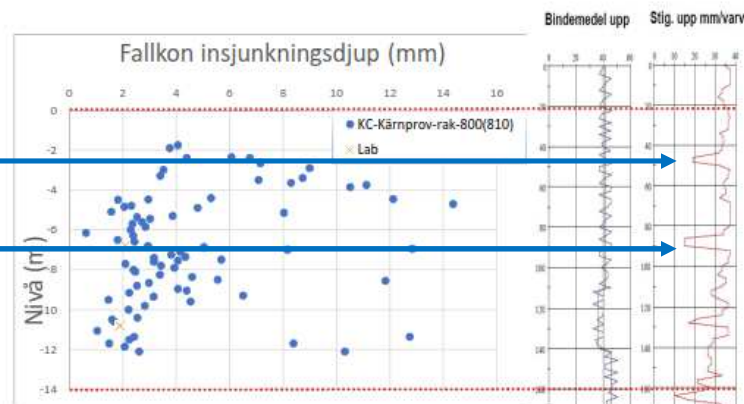
KC i passivzon

- produktions uppföljning



Samband med sämre KC:

- installation detaljer viktig för lokalt variation.
- områden även där installation var svårare är kopplad till sedimentär geologi.



Figur 7: Insjunksdjup för fallkon försök utförda på kärna rak-800(810). Eftersökt inblandningsmängd 80kg/m³ för hela pelaren. Till höger återfinns installationsprotokoll för urkärnad pelare. Installation av KC-pelare utfördes från marknivå +2 vilket resulterar i ett förskjutning av nivå/djup.

Tabell 5. Sammanfattning av kategorisering av material för kärna rak-800(810).

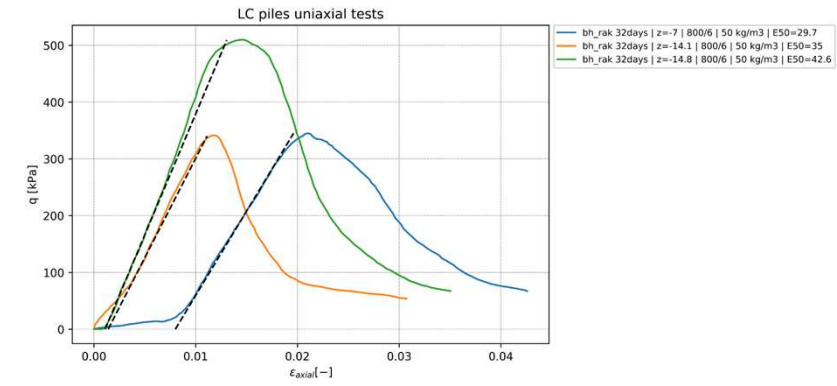
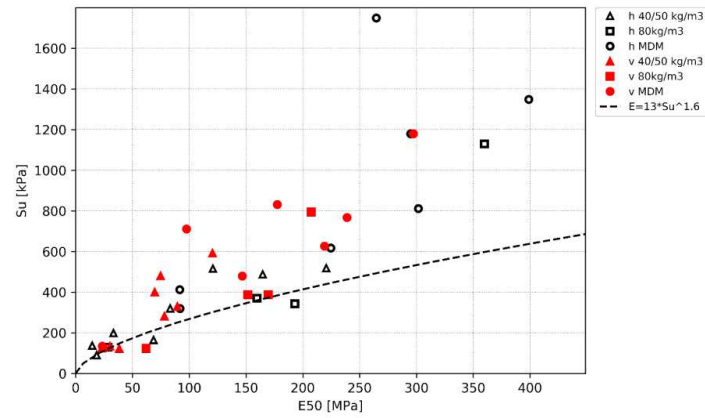
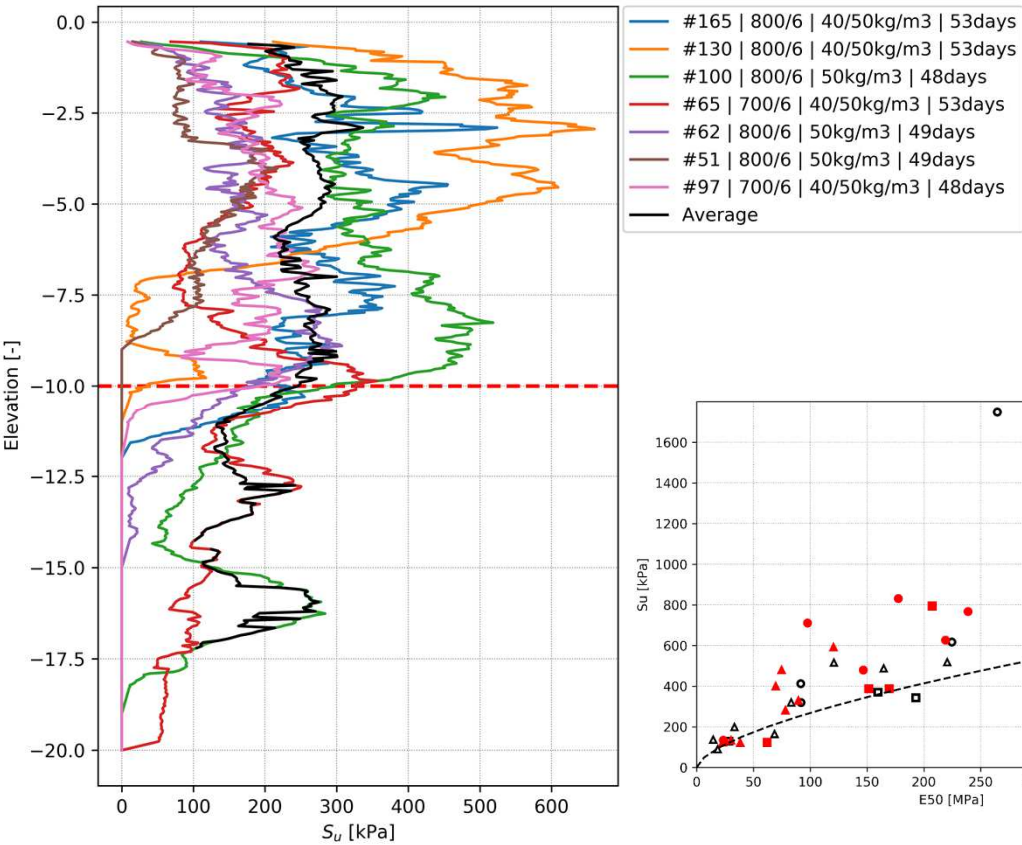
Beskrivning av kategori	Kategorisering av kärna	
	Kategori	Antal löpmeter
p Homogen KC-pelare	p	0,5
lp KC-pelare med mindre inslag av mjukare/leriga partier	lp	7,5
llp KC-pelare med inslag av mjuka partier	llp	2,5
pl Lera med betydande del KC-inslag	pl	0,5
i Lera med liten/ingen del KC-inslag	i	0

Nivå	Upptag/Thymol	Fallkon nedsänkingsdjup [mm]	Material	Mängd kg/m ³	E50 /su (UCS) MPa/kPa	Installationsprotokoll och allmänna noteringar
-3,2				40*		207 ca (-1,5: -3,3) Bindemedel upp Stig. upp mm/varv
-4,2				40*		
-4,2				40*		198 ca (-3,1: -5) Bindemedel upp Stig. upp mm/varv
-5,1				40*		
-5,1				40*		186 (-4,8: -6,5) Bindemedel upp Stig. upp mm/varv
-6,0				40*		
Borrhål		20g-700	Tillv.	2018-07-15	Verktyg	6 vingars pinnborr
Pelare		207, 198, 186	Upptagning	2018-08-16	Diameter	700 mm
Bindemedel		40/50 kg/m ³			Rotation	200 v/min
Mängd		KC50/50			Stigning	34/20 mm/v
(* =Riktvärde)					BRN	150/250

KC i passivzon

- lab- och fältförsök

FKPS inside



KC i passivzon

- lab- och fältförsök

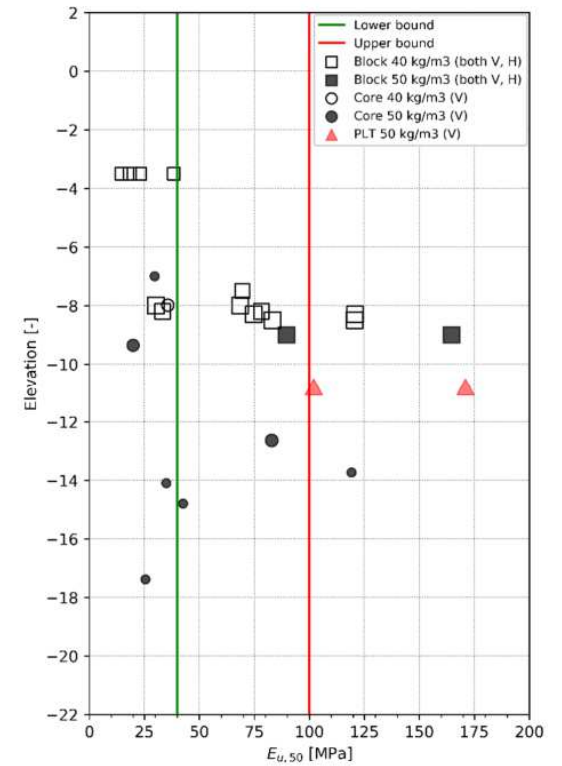
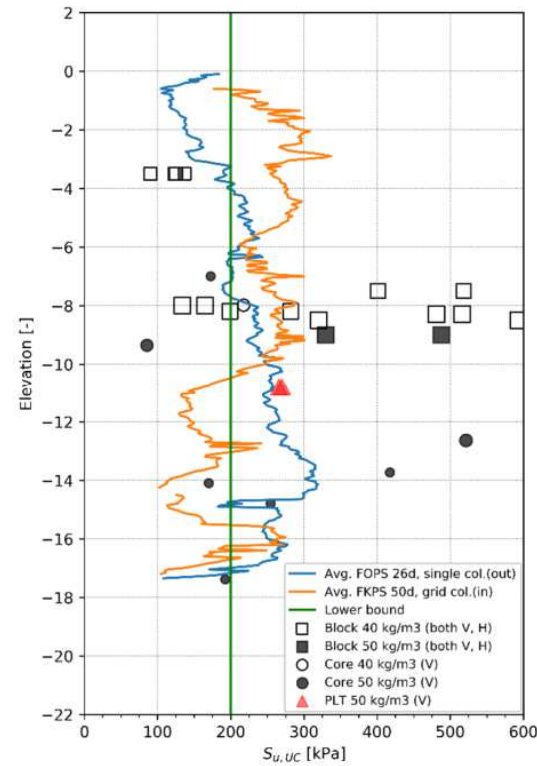
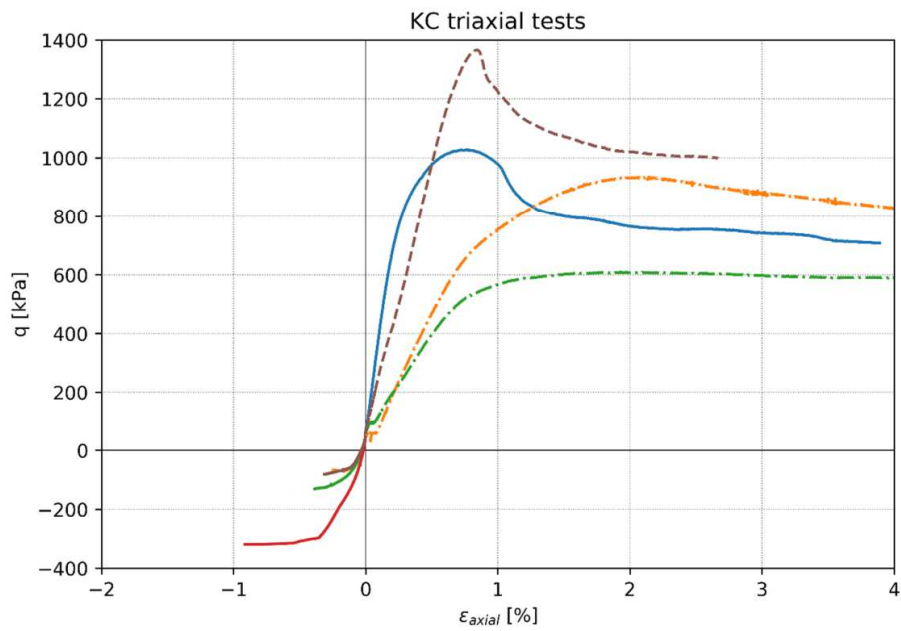
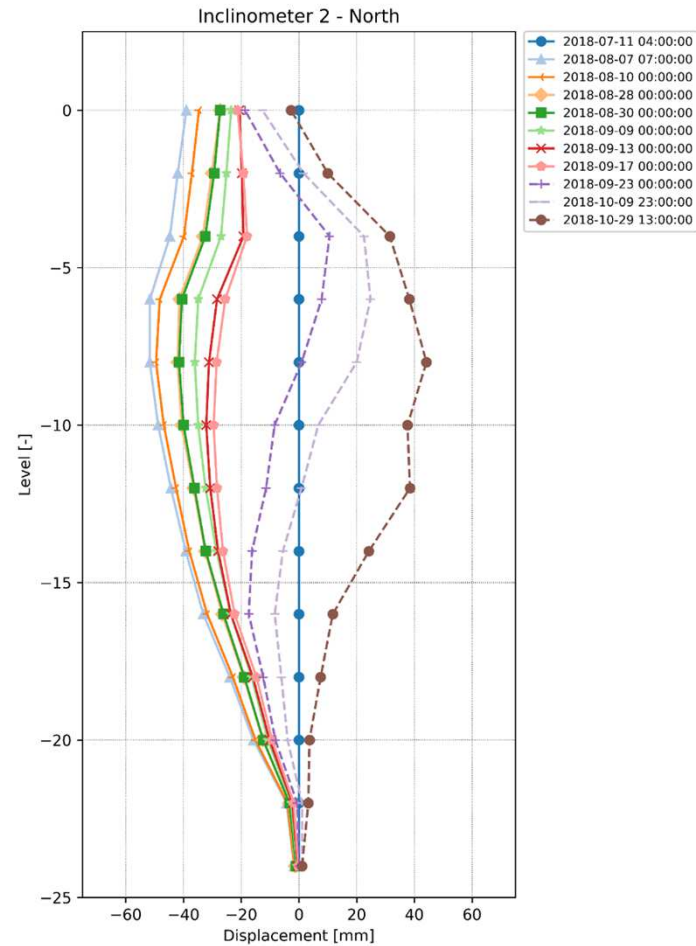
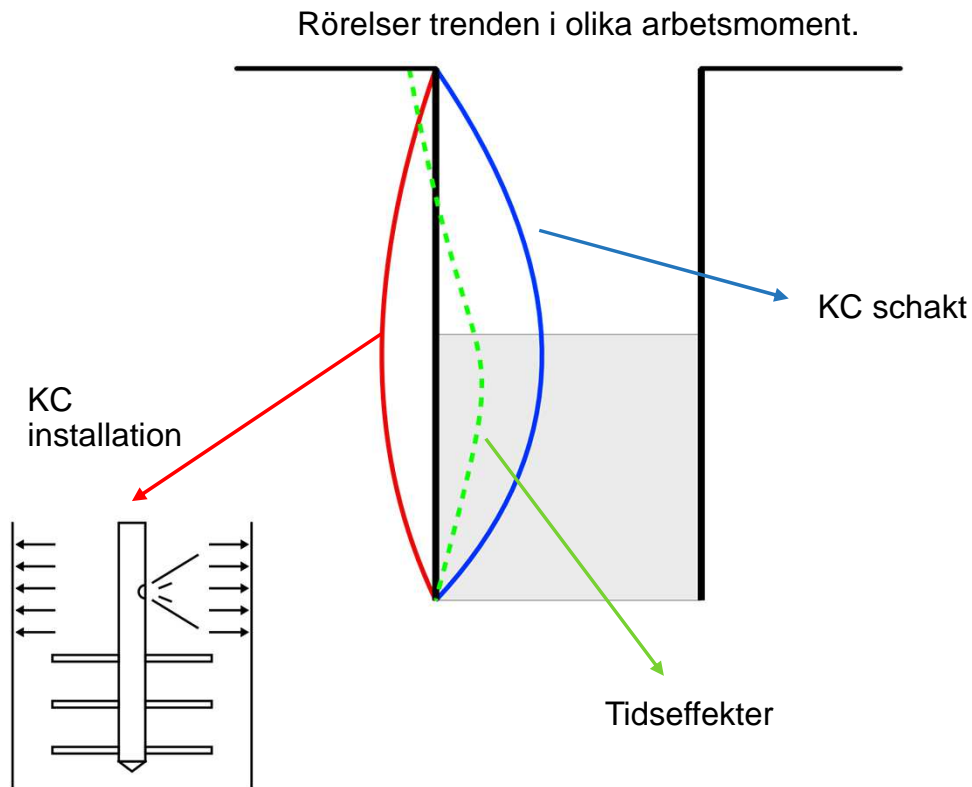


Figure 7. Results from FOPS, FKPS and UCS from field samples as function of depth (marker size represents curing time, larger = older).

KC i passivzon

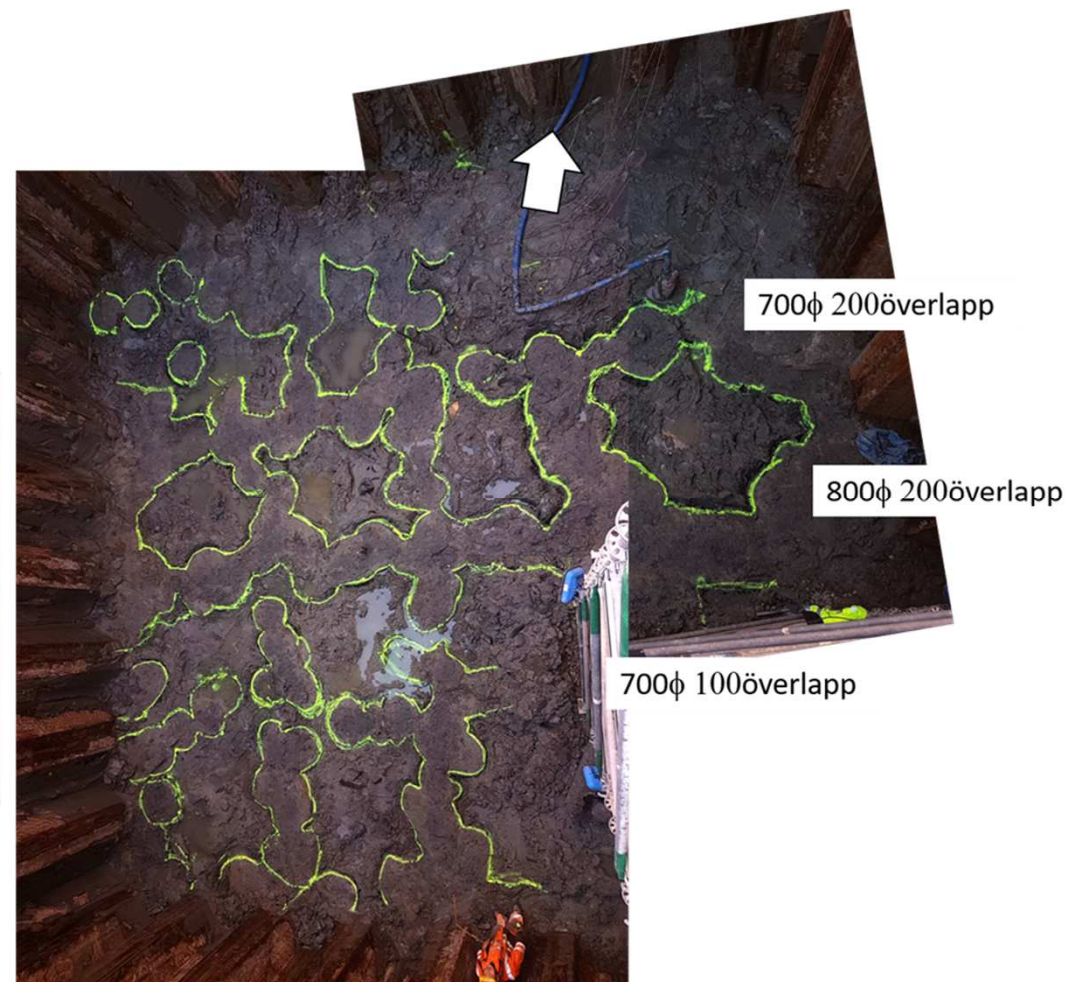
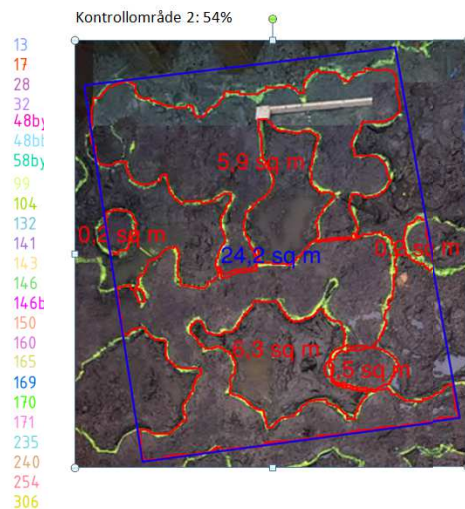
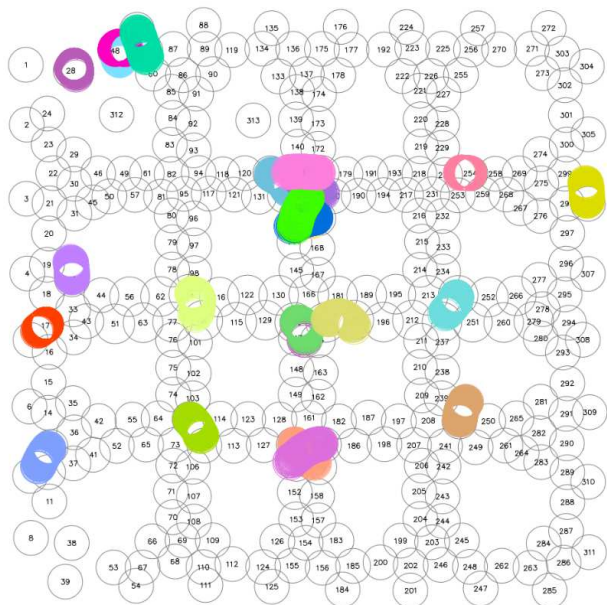
- mätningar



KC i passivzon

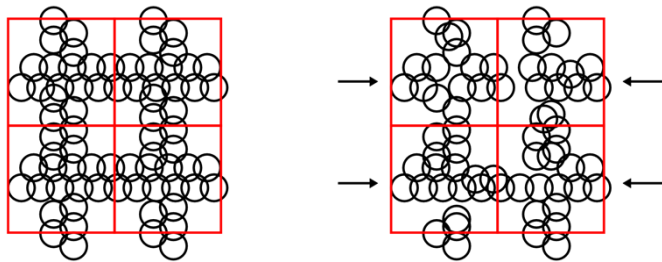
- *kontinuitet i skivor*

- Täckningsgrad och glapps

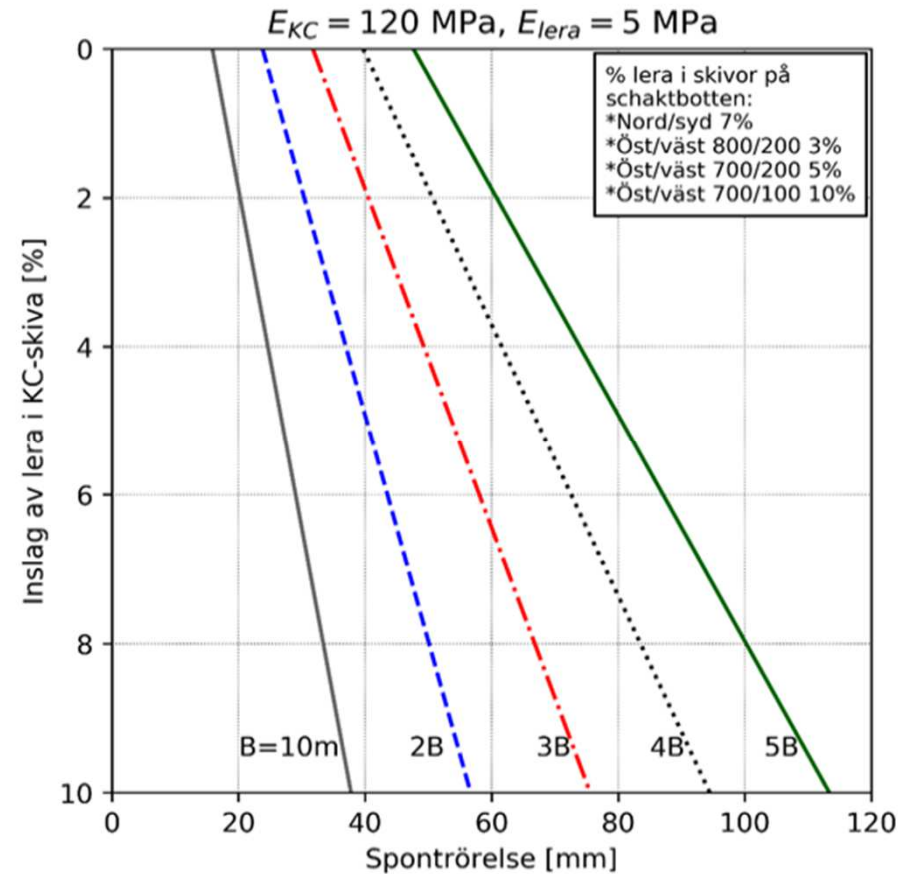


KC i passivzon

- *kontinuitet i skivor*



	Nivå	Rörelser [mm]	Spänning [kPa]	Medel-modul [MPa]
Väst	-12	40	190	55
	-14	45	220	56
Norr	-12	70	190	31
	-14	90	220	28

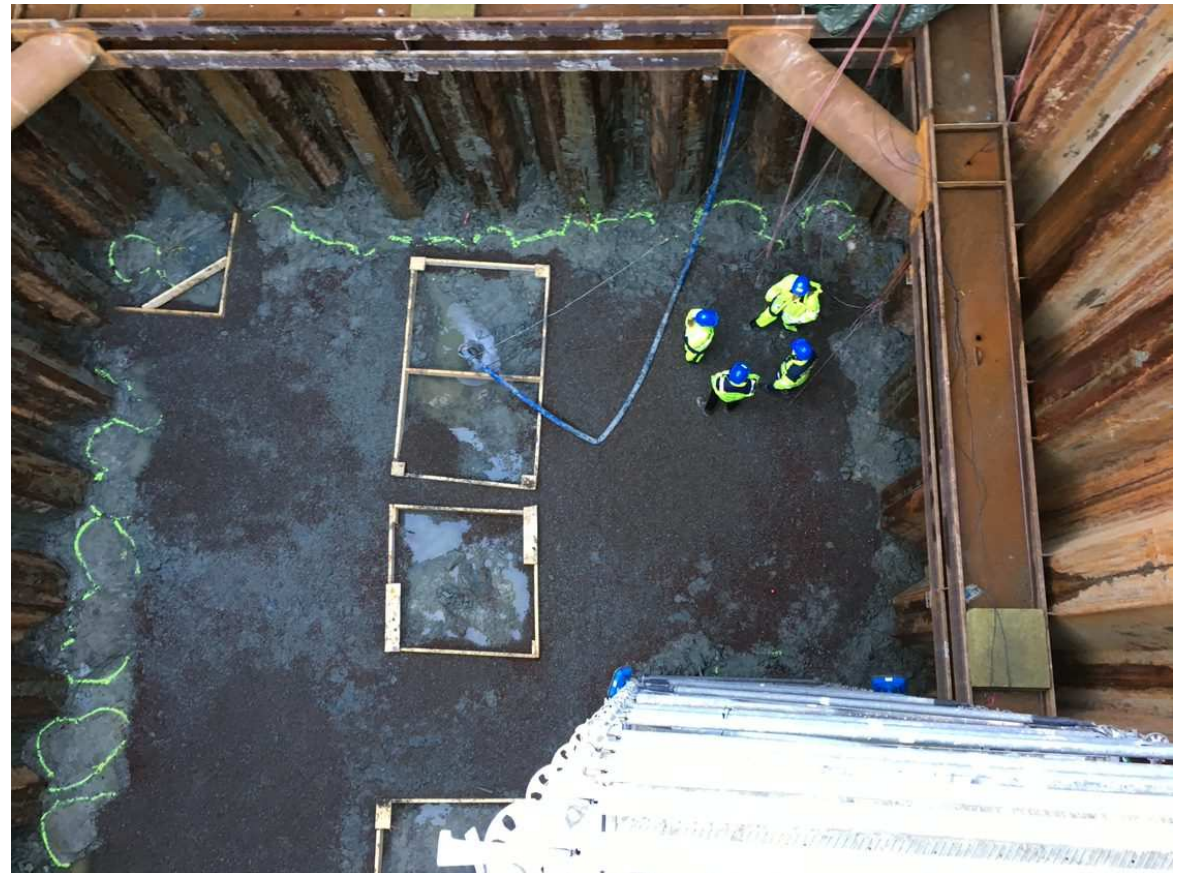


KC i passivzon

- lärdomar

- Många olika faktor påverkar KC egenskaper, t.ex. lera kemi, porvatten kemi, temperatur, spänningar, installationen, vattenmättningsgrad, mm.
- Viktig att kontrollera KC pelare egenskaper i passivzon med fält- och labförsök.
- Gör alltid klass A prognos med analytisk och numerisk beräkningar

KC fältförsök: 13m djup schakt





Tack till alla som gjorde det möjligt!



SMG RSTInstruments HydroResearch MiljöGEO
Labtek Påanalys SGI ATD