

# Masthuggskajen Halvö på pålar

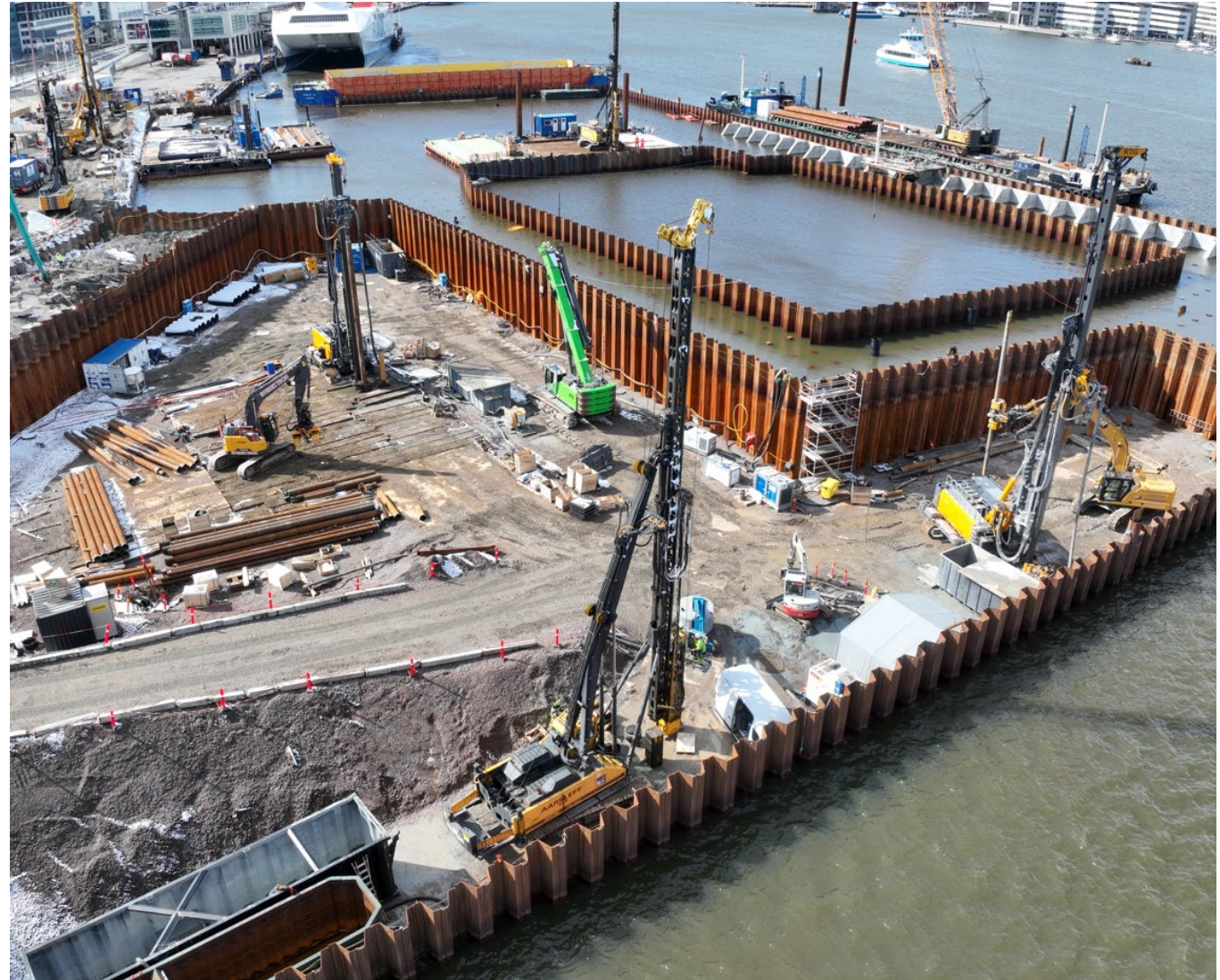
Jack Doran - Aarsleff

Håkan Eriksson - GeoMind



## AGENDA

- Person/Project Introduction
- What Geomind and Aarsleff is delivering in the project.
- What are the risks in project Ground conditions/Global stability
- Change of design, WHY?
- Key Achievements so far in Project
- Focus on drilled Steel piles





## Introduction



## Introducing Masthuggskajen

New peninsula into the Göta Älv.  
Project will include 3 building cores  
with a number of buildings  
Pile deck surrounding the buildings  
and ship crash barrier.

Client – Älvstranden

Design – Part Aarsleff / Part Client

Contract Value – SEK 1,35 Billion  
(117 Million Euros)

Project Handover October 2025





# PÅLDAG 24

pålgrundläggning

## What Aarsleff are Delivering

### H1

- Pile deck on concrete and steel piles
- Ship crash barrier as prefab L-elements on piles.

### H3

- Sheet pile around Pit
- Underwater concrete slab
- Concrete piles

### H4

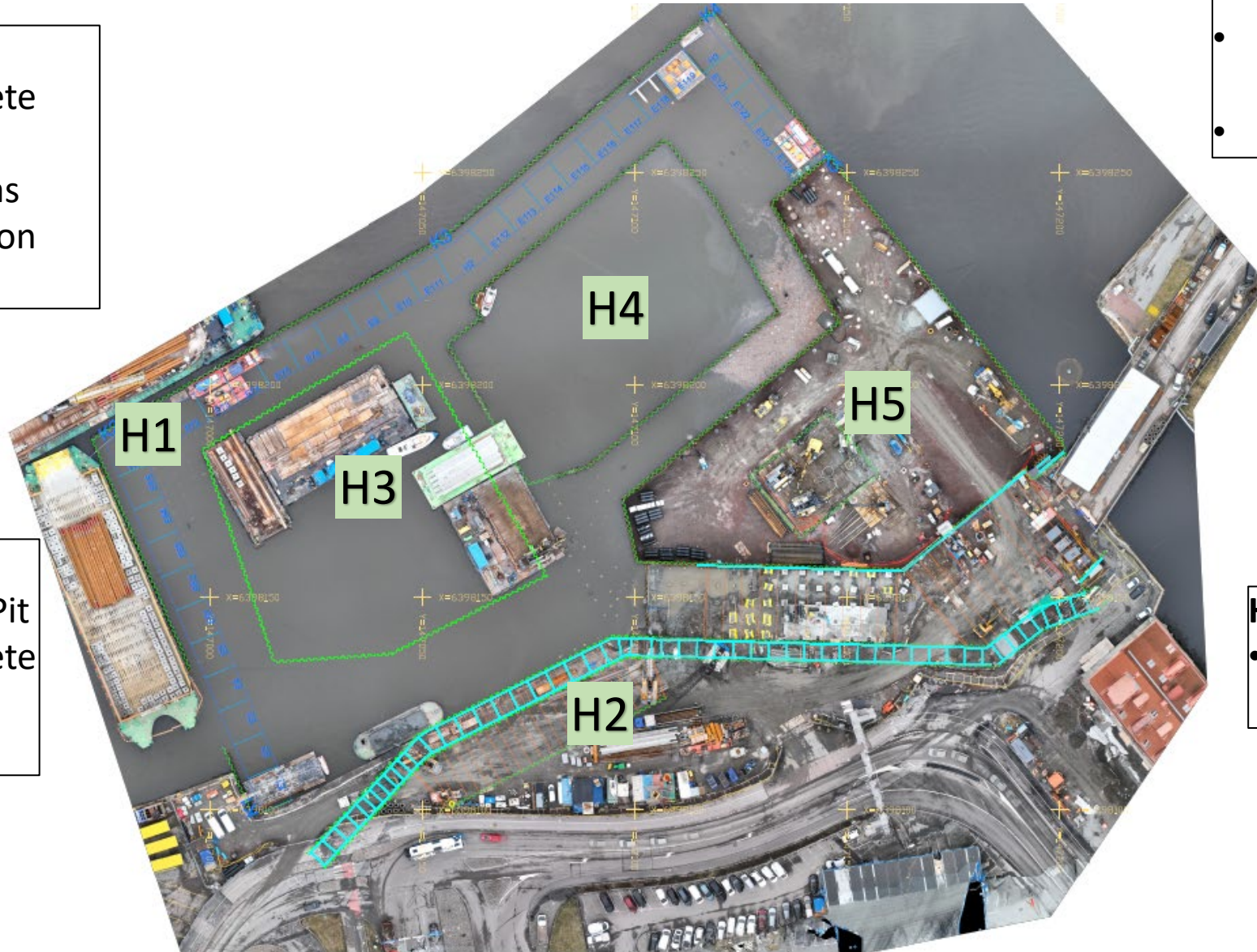
- Sheet pile around Pit
- Underwater concrete slab
- Drilled Steel Piles

### H5

- Sheet pile around Pit
- Underwater concrete slab
- Drilled Steel Piles
- 2 level basement carpark

### H2

- New D1400 Sewage Line on pile deck



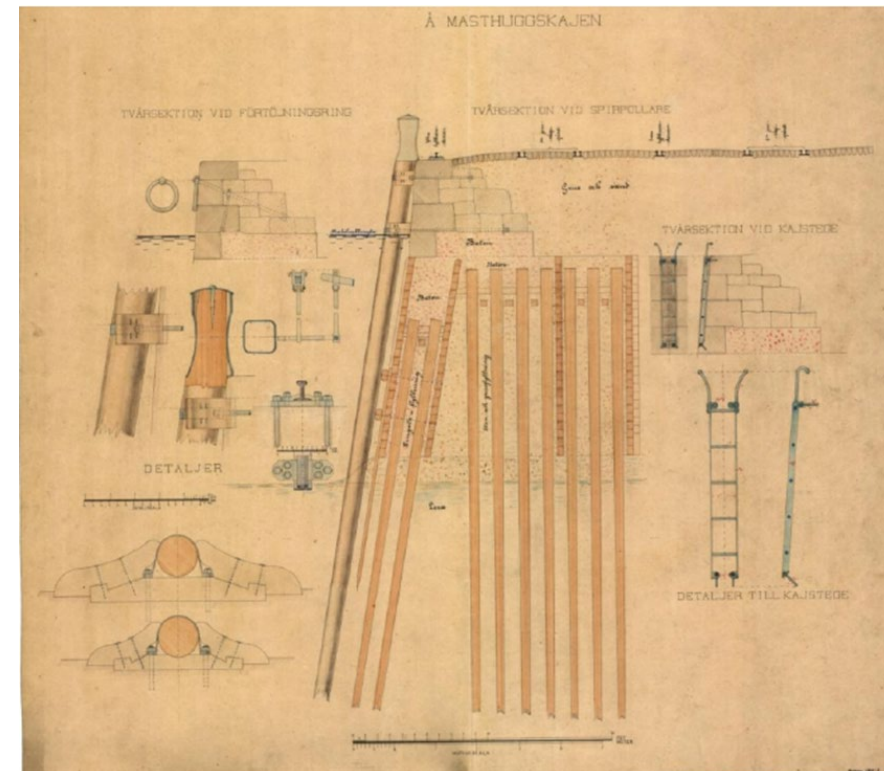


# PÅLDAG 24

pågrundläggning

## What were the risks in the project

- Previous use – Port for the export of iron.
- Construction of dock facilities 200 years ago
- Some archeological finds
- Gothenburg clay – global instability
- Lots of wooden piles 14 piles per Sq m – 20m long
- Ground pollution





# PÅLDAG 24 *pålgrundläggning*

## Achievements so far in the project

### Grumlingspont

211 nos environmental sheet pile around site – Design by Aarsleff – **100%** complete

### Sheet piles around building pits.

650 no sheet piles around H2, H3, H4 and H5 - **80%** complete

### Pile Deck

115no D323 RD steel piles – Average length 40m – Designed by Aarsleff – **100%** complete

818no 400x400 concrete piles – 52m long – **75%** complete

### H5 piling

320no D406 RD steel piles average length 70m – **40%** complete.

### Precast Concrete L-Wall

35no L-Walls - **50%** complete

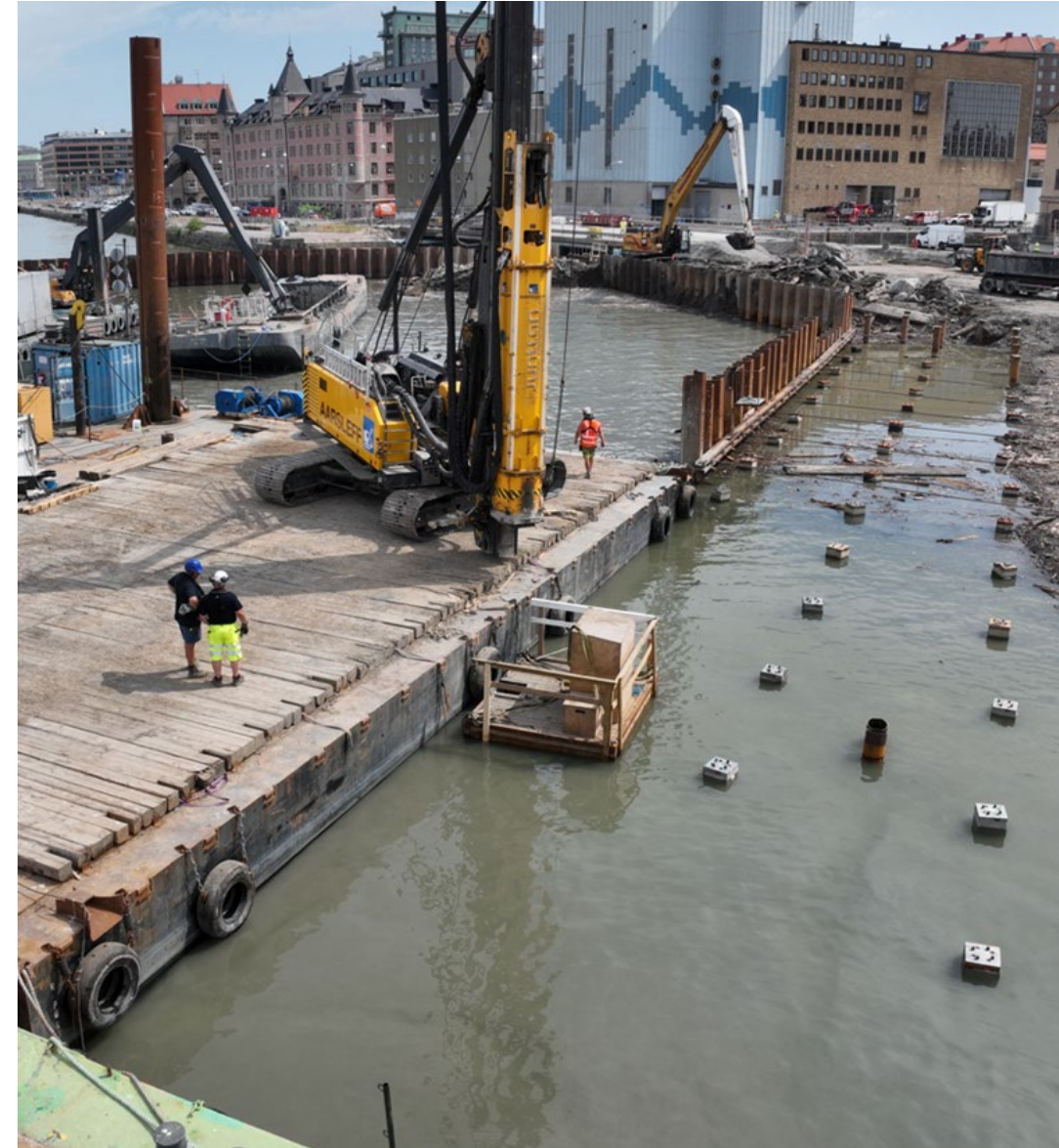
109no 300x300 concrete piles under L-elements – **95%** complete

280no double 610mm diameter Steel piles – **45%** complete

### Precast Pilecaps/Deckelements

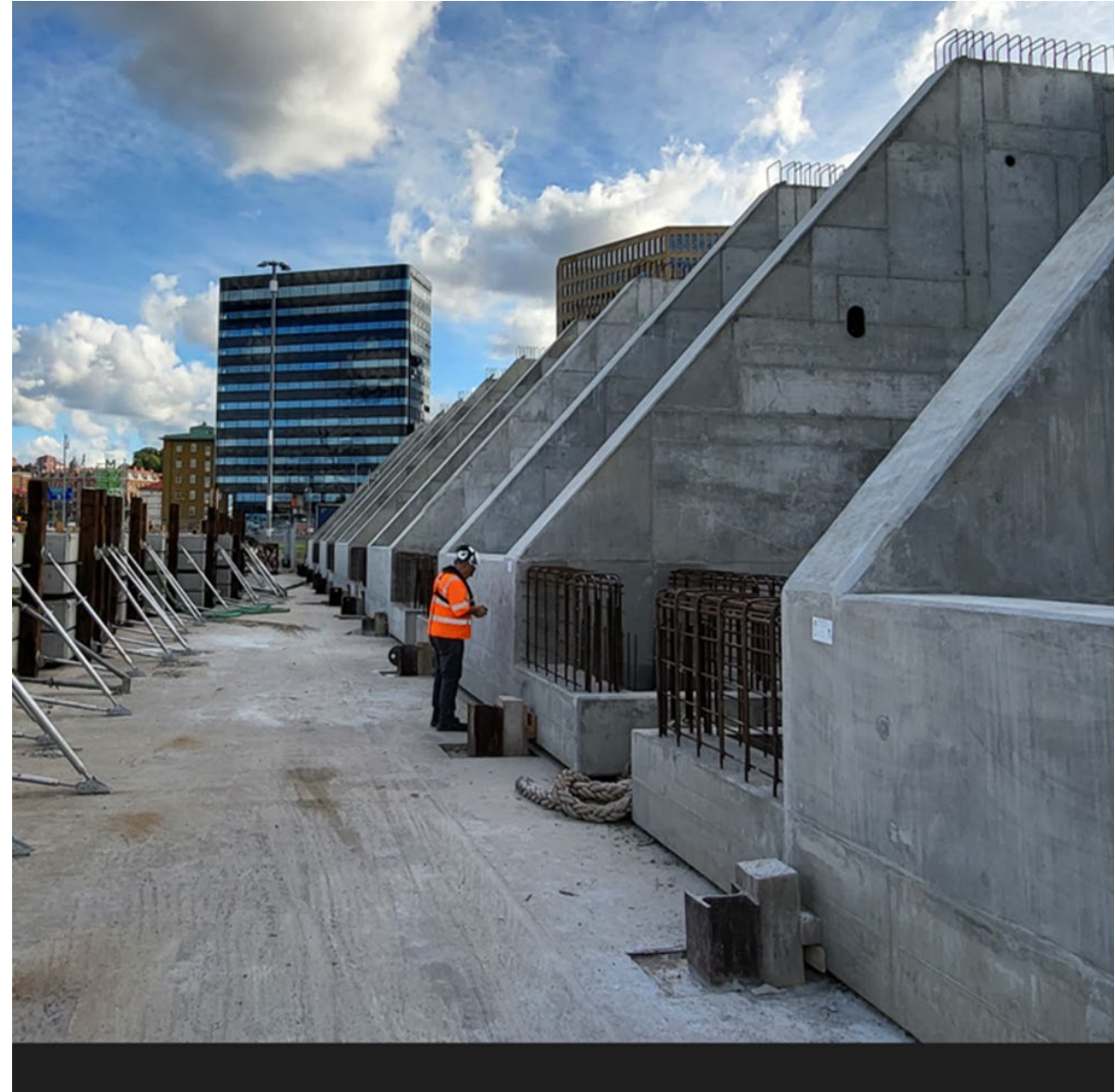
Pilecaps 91no installed – **10%** complete

Deckelements 52no installed – **10%** complete



## H1: L - element

- Aarsleff manufactured 35nr L-elements in Poland
- Shipped to Sweden
- Each element over 7m high and weigh 200T
- Drive free hanging 610mm diameter steel piles through element





# PÅLDAG 24

*pålgrundläggning*

## H1: Installing L-elements with Lodbrok Crane



Stig Weis





## H3 – Building Pit

- 151nr Sheet piles – **Aarsleff Design**
- 128nr Concrete Piles – **Client Design**
- 18nr Driven Steel Piles – **Client Design**
- Underwater concrete slab
- Dewatering Pit
- Significant Design change from tender





## H4 – Building Pit

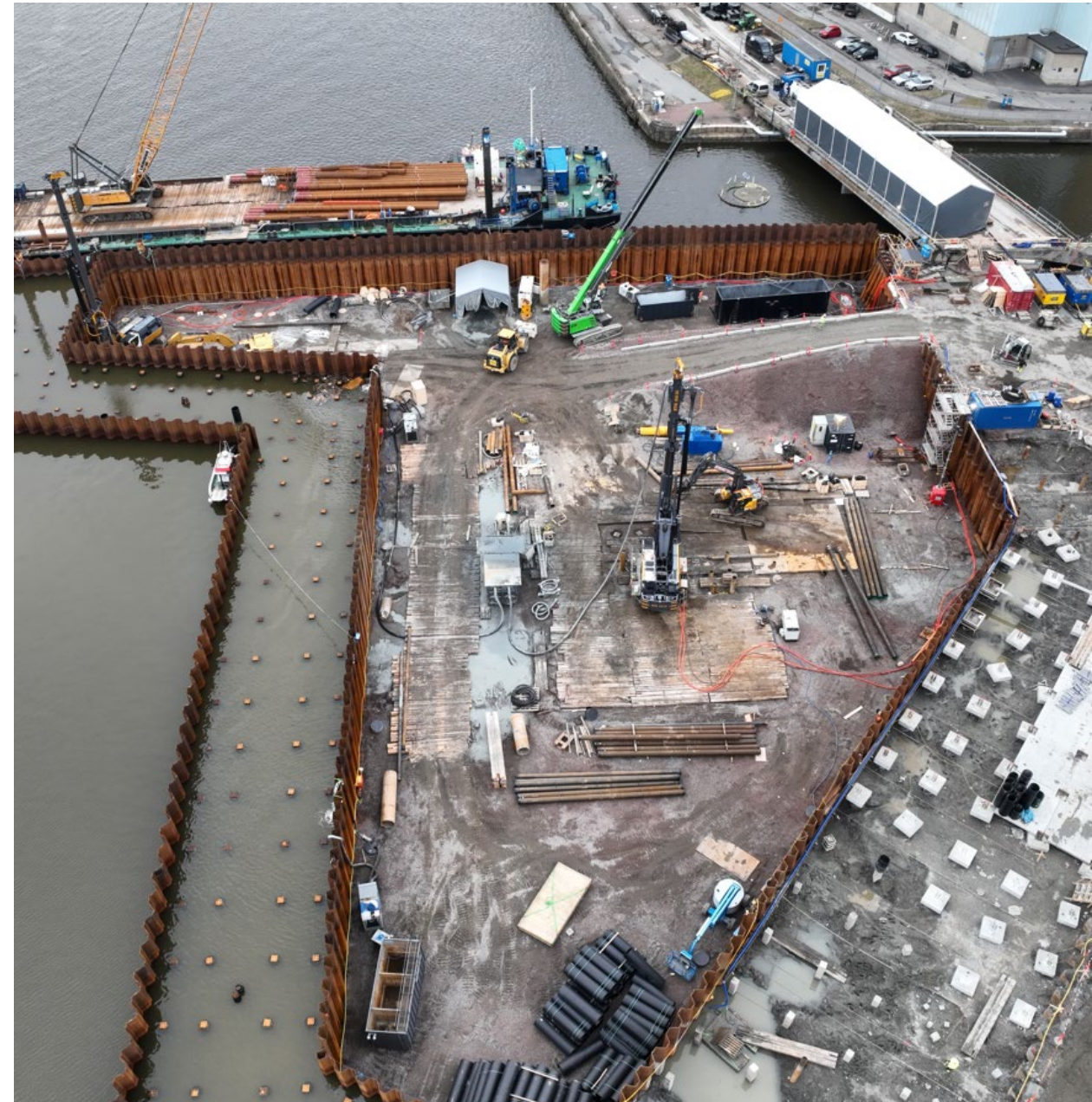
- 146no Sheet piles – **Aarsleff Design**
- 89no 406mm RD steel piles – Length +80m
- 39no 323mm RD steel piles – Length +80m
- **Piles Client Design**
- Underwater concrete slab
- Dewatering





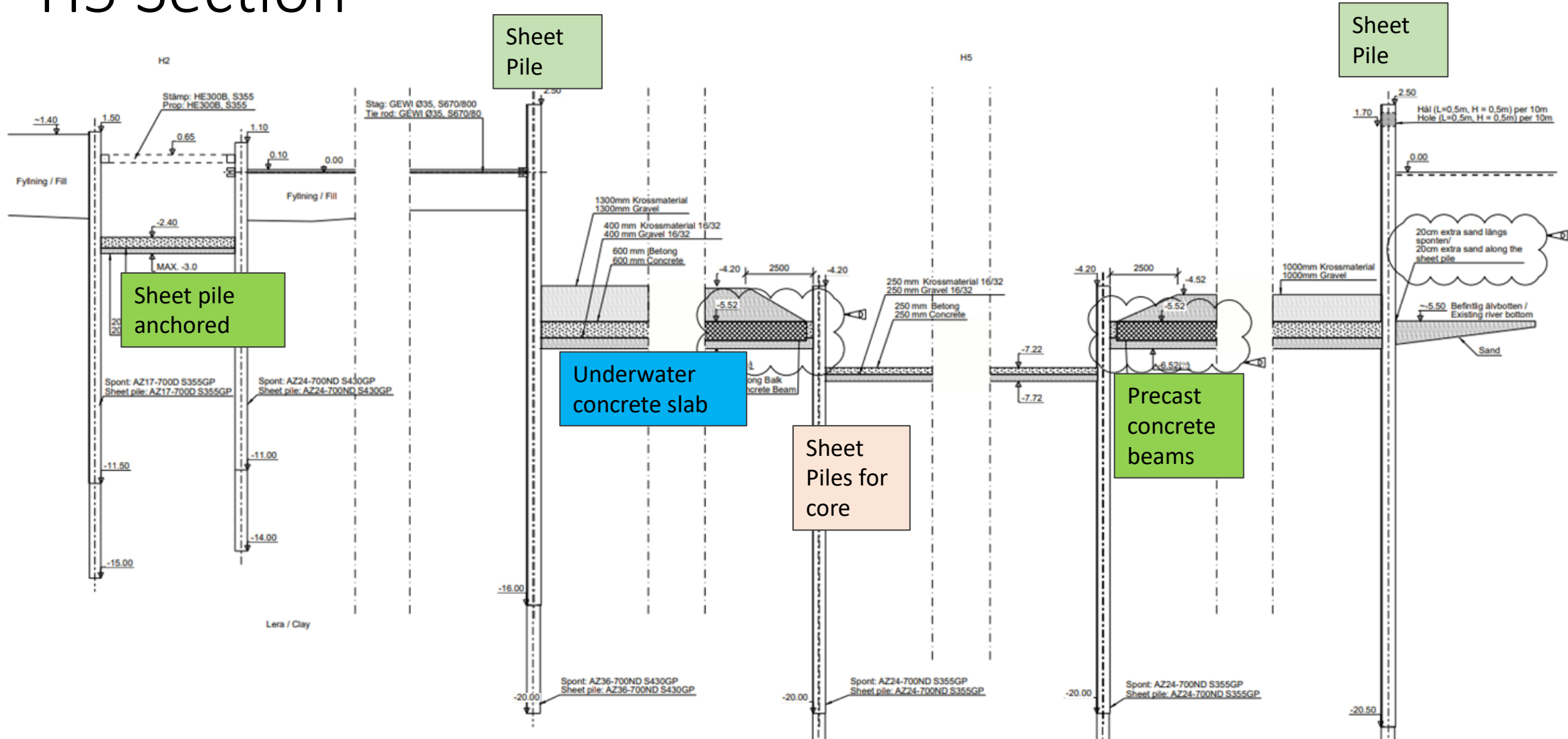
## H5 – Building Pit

- 238no Sheet piles around Pit – **Aarsleff Design**
- 60no Sheet piles inside Pit – **Aarsleff Design**
- 298no 406mm Drilled steel piles – 60m Long
- ***Significant redesign of piles, change for Aarsleff***
- Significant works to stop movements during construction
- Underwater concrete slab 4500m<sup>2</sup>/3000m<sup>3</sup>
- Aarsleff is constructing and casting 2 level carpark underneath the waterlevel in H5.
- Critical Path for Project





### H5 Section





## Movement Controls

- Daily Monitoring Regime of Surrounding buildings
- Detailed 4D modelling by Aarsleff
- Dynamic support of close structures
- Movements during dewatering as expected





## Usual method for Installing Steel piles in Gothenberg

- Compressed Air and water
- Standard rods, air through middle, mud through outside
- Mud can be collected and settle

### Advantages

- Simple to maintain
- 2 man crew for drilling

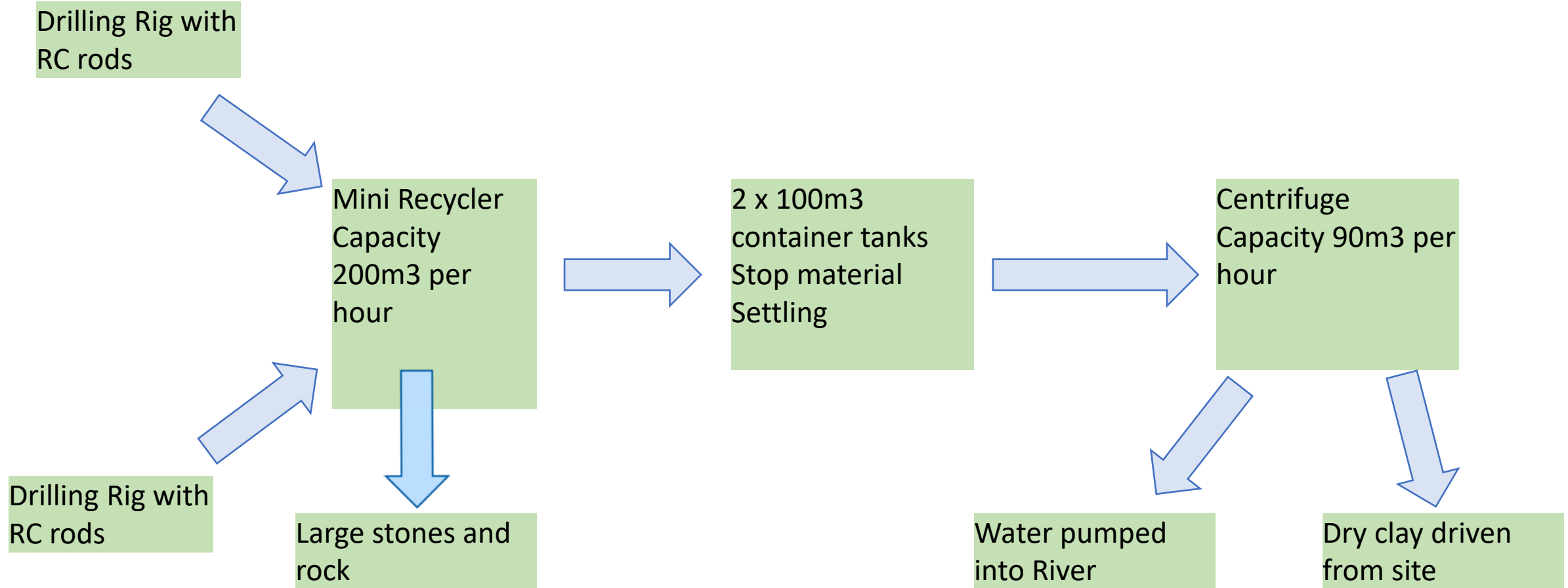
### Disadvantages

- Very messy
- Needs space to be able to collect and dry out mud



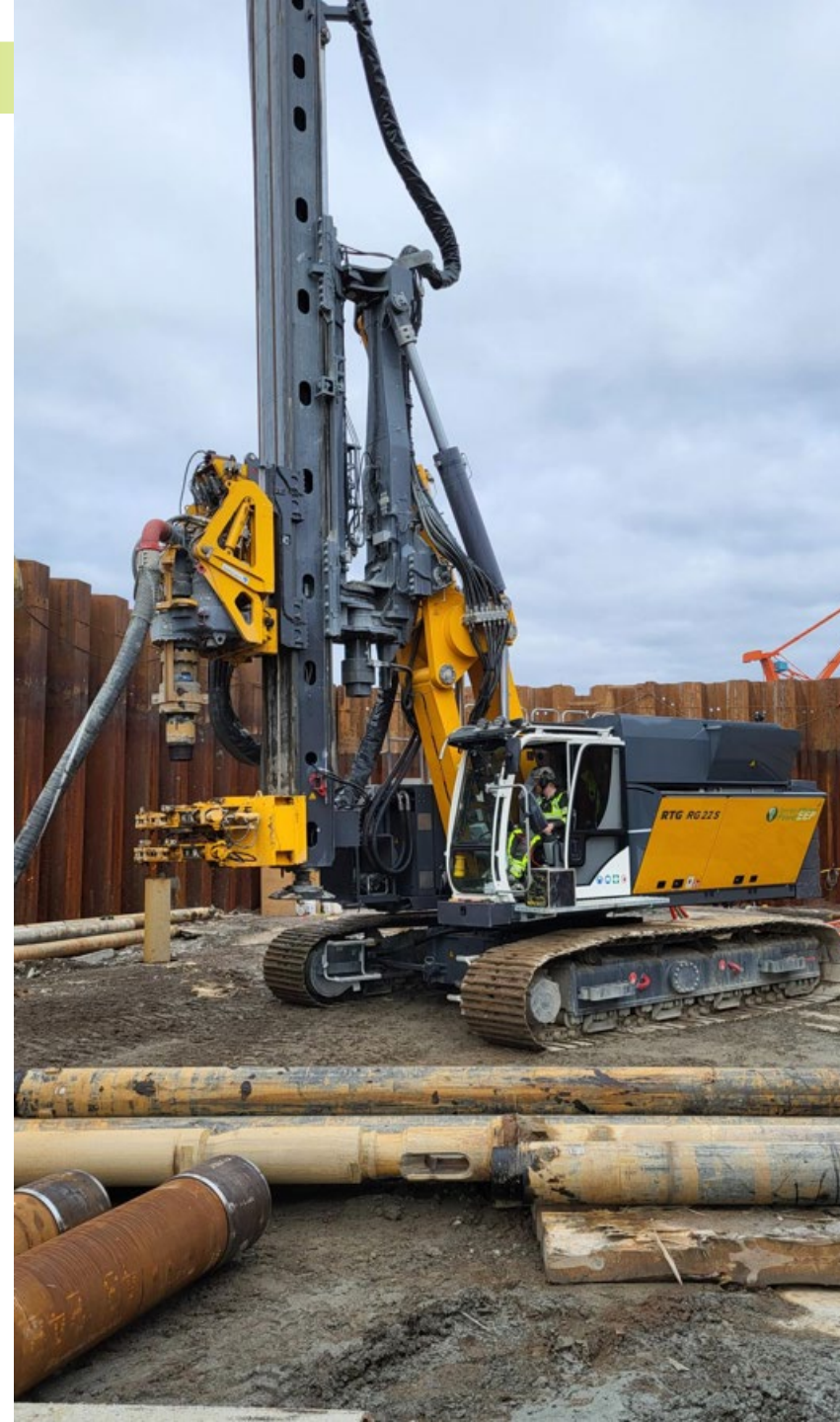


## Drilling + Mud Handling Concept



## Drilling Rigs

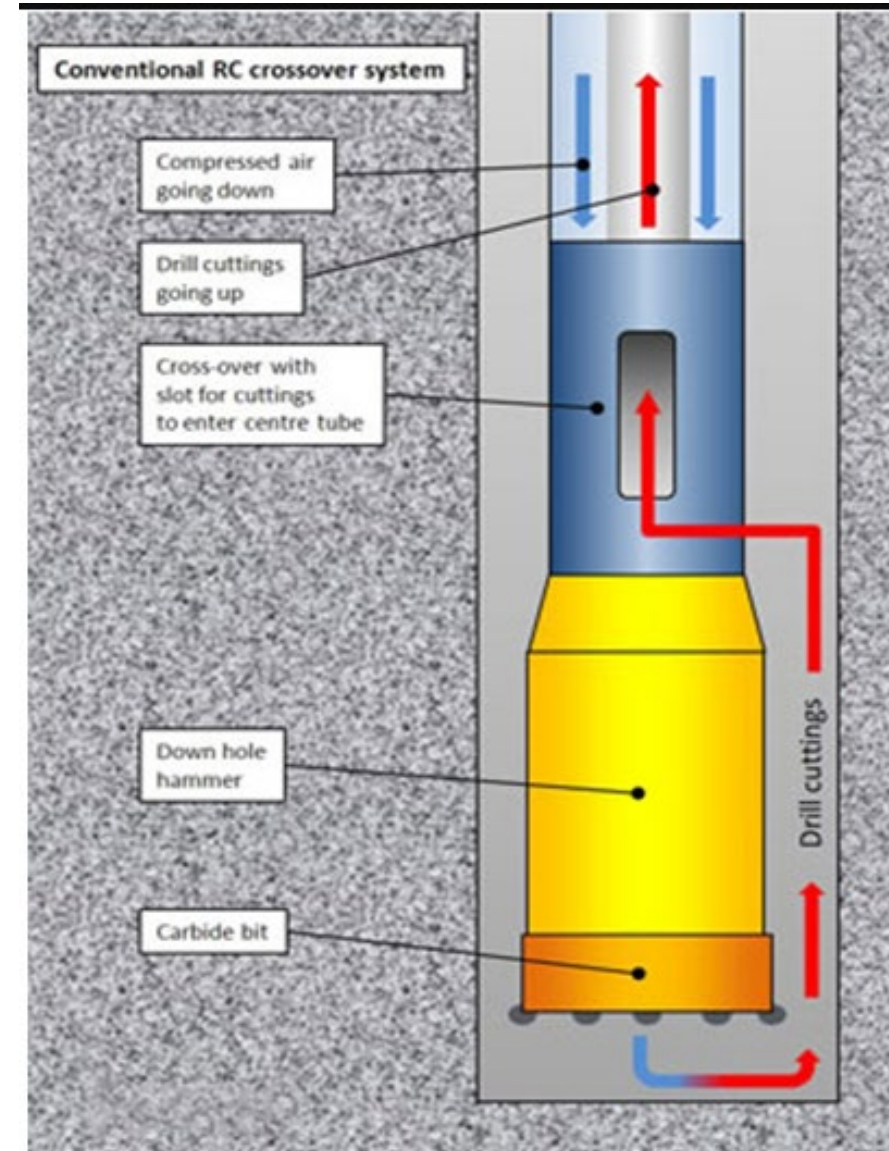
- 2nr Drilling rigs
- Rented from Bauer for project
- RM20 and RG 22
- Versatile rigs that can be fitted for different techniques
- Brand new rigs for project





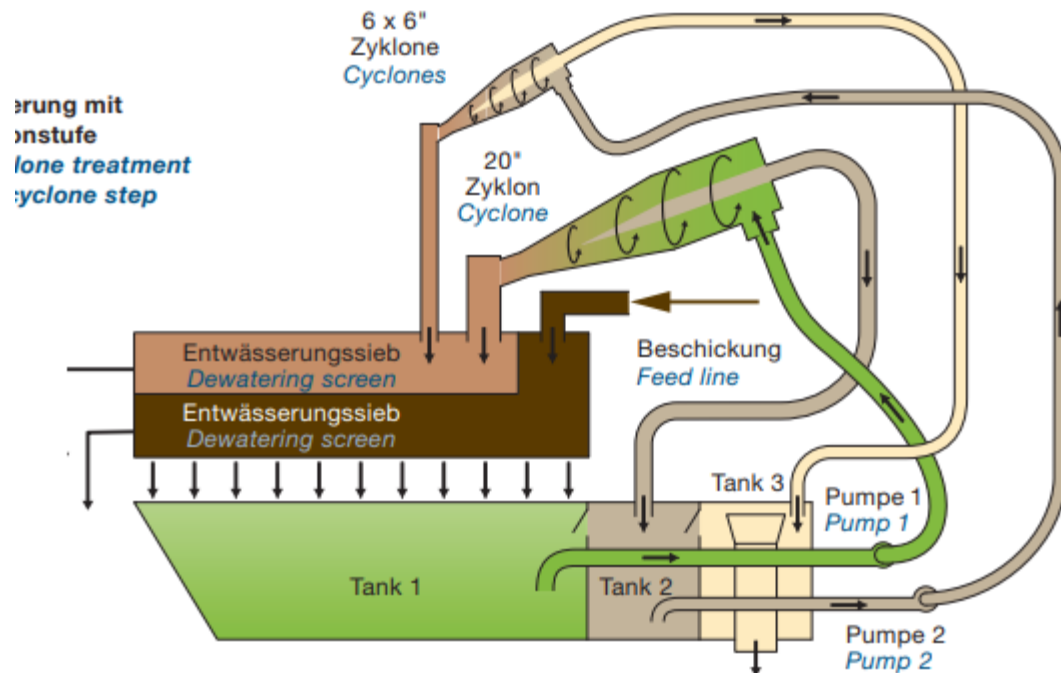
## Reverse Circulation System

- RC system captures mud within rod
- Allows mud to be handled in closed system
- Retro fitted onto the head of the Bauer rigs
- Need to create seal at base of pile



## Mini Recycler

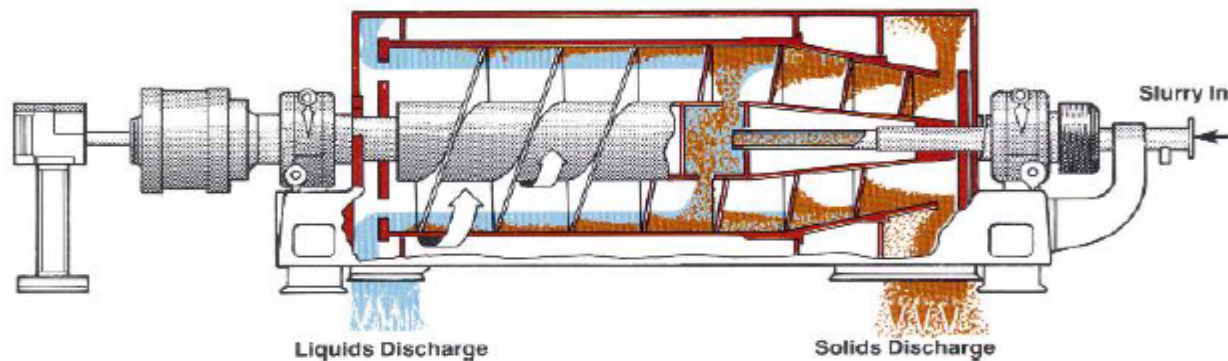
- Mud is collected from rig and goes to mini recycler via 6 inch pipes
- Mud is passed through two screens (coarse and fine)
- Through cyclones to that separate particles through centrifugal force
- Filters up to 20 microns
- New recycler has capacity up to 200m<sup>3</sup> per hour



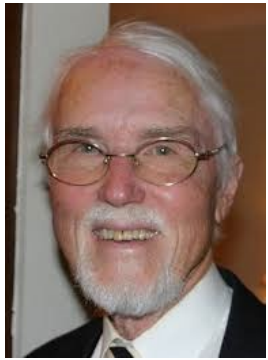


## Centrifuge

- Fine Mud is pumped from mini recycler to 2 pcs 100m<sup>3</sup> buffer containers
- Mud is then pumped to centrifuge system
- Centrifuge used centrifugal force to separate fine clay particles with water
- Operates at 2000 G Force
- Centrifuge has a mud capacity of 90m<sup>3</sup> per hour



## Influensers





# Gråmulen, halvsur .....

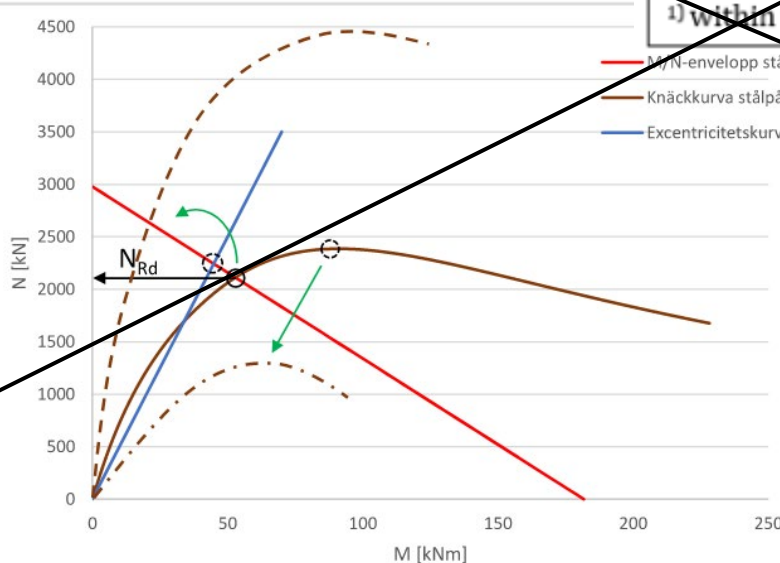
$$P = \frac{\pi^2 \cdot EI}{l^2} \cdot \frac{y_0}{\delta_0 + y_0} + k \cdot d \cdot y_0 \cdot \frac{l^2}{\pi^2} \cdot \frac{1}{\delta_0 + y_0} = \frac{y_0}{\delta_0 + y_0} \cdot \left[ \frac{\pi^2 \cdot \pi^2 \cdot EI}{\pi^2 \cdot l^2} + \frac{k \cdot l^2 \cdot l^2}{\pi^2 \cdot l^2} \right]$$

Break out  $\frac{y_0}{\delta_0 + y_0}$ , gives  $P_k = \frac{\pi^2 \cdot \pi^2 \cdot EI}{\pi^2 \cdot l^2} + \frac{k \cdot d \cdot l^2 \cdot l^2}{\pi^2 \cdot l^2}$  and replace  $l$  with  $l_k = \pi \cdot \sqrt[4]{\frac{EI}{k \cdot d}}$

$$P_k = \frac{\pi^2 \cdot \pi^2 \cdot EI}{\pi^2 \cdot \left( \pi \cdot \sqrt[4]{\frac{EI}{k \cdot d}} \right)^2} + \frac{k \cdot d \cdot \left( \pi \cdot \sqrt[4]{\frac{EI}{k \cdot d}} \right)^4}{\pi^2 \cdot \left( \pi \cdot \sqrt[4]{\frac{EI}{k \cdot d}} \right)^2} = \frac{\pi^4 \cdot EI}{\pi^4 \cdot \sqrt{\frac{EI}{k \cdot d \cdot d}}} + \frac{k \cdot d \cdot \pi^4 \cdot \frac{EI}{k \cdot d}}{\pi^4 \cdot \sqrt{\frac{EI}{k \cdot d}}} = \frac{2 \cdot EI}{\sqrt{\frac{EI}{k}}}$$

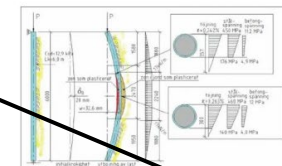
$$P_k^2 = \frac{2^2 \cdot EI^2}{\frac{EI}{k \cdot d}} = 4 \cdot EI \cdot k \cdot d$$

$$P = P_k \cdot \frac{y_0}{\delta_0 + y_0} = 2 \cdot \dots$$

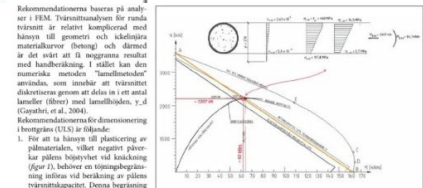


Pile type	no joints	one joint <sup>1)</sup>
bored (drilled) steel and composite steel-concrete piles	$l_{kd}/400$	$l_{kd}/200$
driven steel and composite steel-concrete piles	$l_{kd}/300$	$l_{kd}/150$
precast concrete piles	$l_{kd}/300$	$l_{kd}/150$
cast in situ concrete piles	$l_{kd}/150$	$l_{kd}/150$
timber piles	$l_{kd}/100$	$l_{kd}/150$

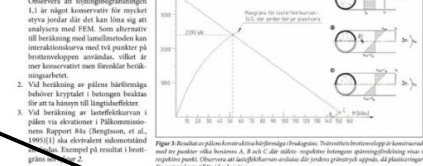
Samverkanspålar av stål och betong  
Ny rapport nr 108 från Pålkommissionen är på väg att lanseras under våren 2024



Samverkanspålarna ska utformas som en enhetlig samverande konstruktion. Detta innebär att de ska utformas som en enda konstruktion och inte som två separata konstruktioner som ska samverka. Detta innebär att de ska utformas som en enda konstruktion och inte som två separata konstruktioner som ska samverka.



Figur 2 Resultat av en pilas komposita bärförhållande och påverkan på dimensioneringen. Övergripande resultat av en pilas komposita bärförhållande och påverkan på dimensioneringen. Övergripande resultat av en pilas komposita bärförhållande och påverkan på dimensioneringen.



Figur 3 Resultat av en pilas komposita bärförhållande och påverkan på dimensioneringen. Övergripande resultat av en pilas komposita bärförhållande och påverkan på dimensioneringen. Övergripande resultat av en pilas komposita bärförhållande och påverkan på dimensioneringen.

NCC Company Open - Public

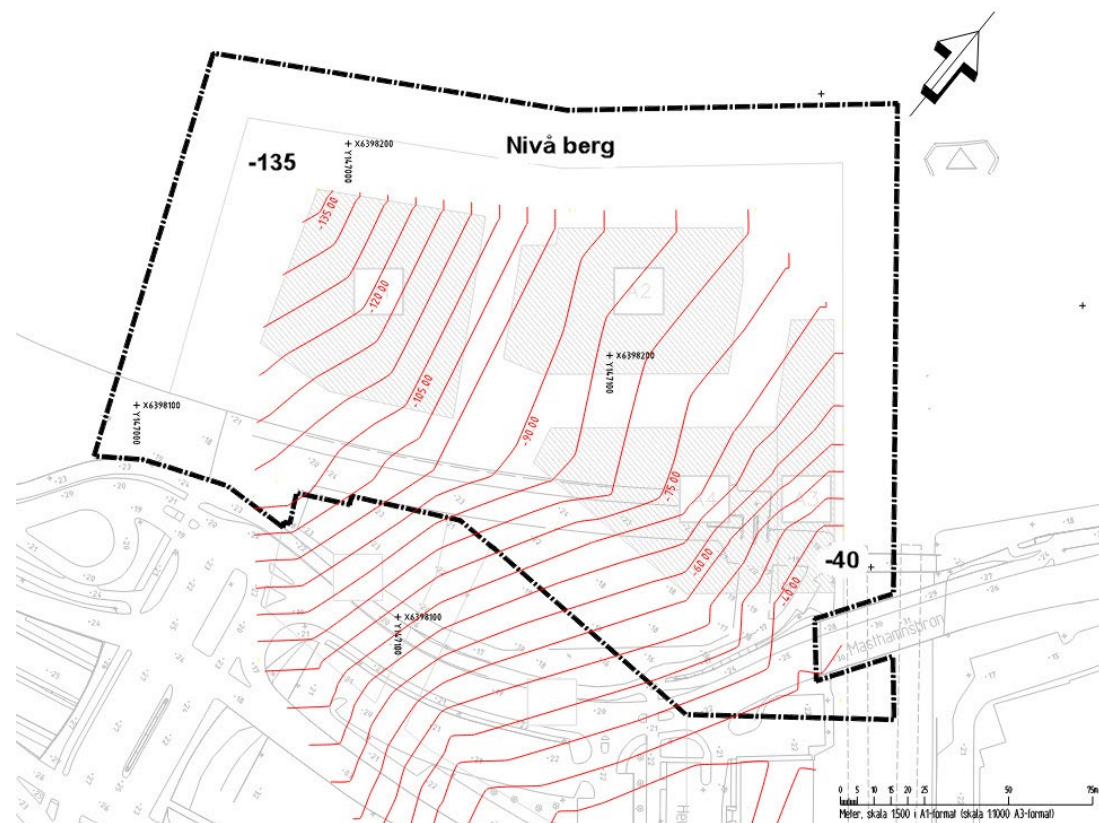
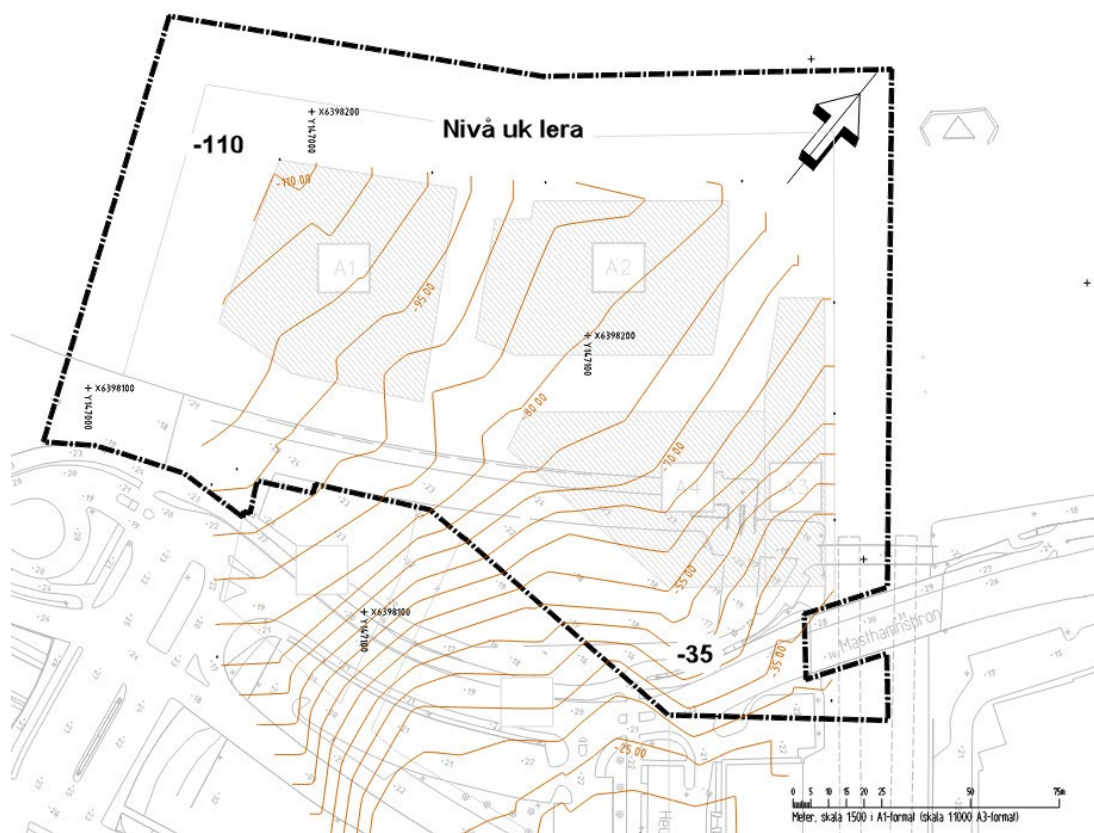
Samverkanspålarna ska utformas som en enhetlig samverande konstruktion. Detta innebär att de ska utformas som en enda konstruktion och inte som två separata konstruktioner som ska samverka. Detta innebär att de ska utformas som en enda konstruktion och inte som två separata konstruktioner som ska samverka.

Samverkanspålarna ska utformas som en enhetlig samverande konstruktion. Detta innebär att de ska utformas som en enda konstruktion och inte som två separata konstruktioner som ska samverka. Detta innebär att de ska utformas som en enda konstruktion och inte som två separata konstruktioner som ska samverka.

Samverkanspålarna ska utformas som en enhetlig samverande konstruktion. Detta innebär att de ska utformas som en enda konstruktion och inte som två separata konstruktioner som ska samverka. Detta innebär att de ska utformas som en enda konstruktion och inte som två separata konstruktioner som ska samverka.

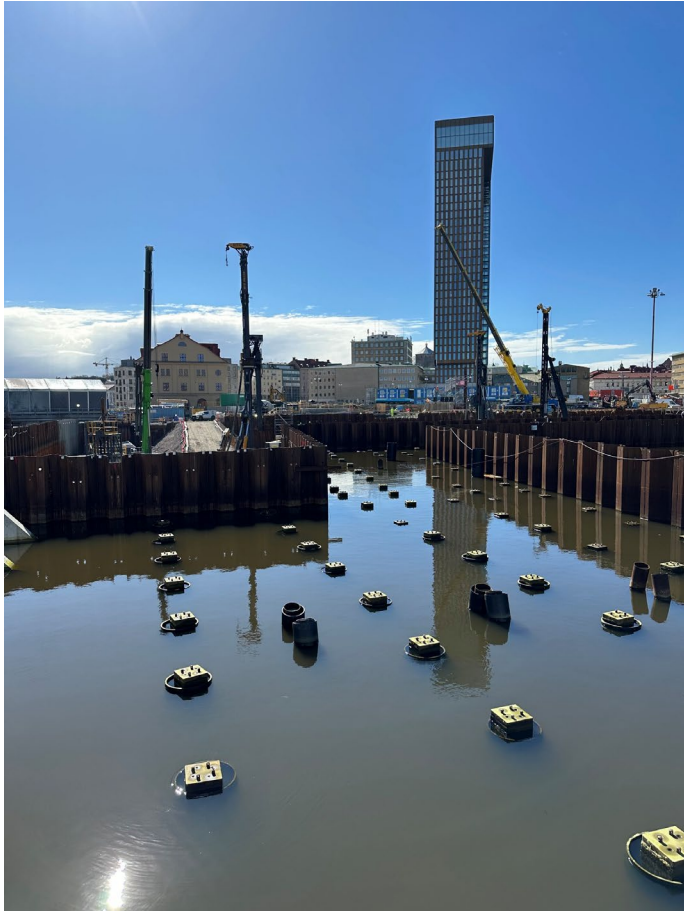
Samverkanspålarna ska utformas som en enhetlig samverande konstruktion. Detta innebär att de ska utformas som en enda konstruktion och inte som två separata konstruktioner som ska samverka. Detta innebär att de ska utformas som en enda konstruktion och inte som två separata konstruktioner som ska samverka.

## Nivåer för lera & berg





## Vilka utmaningar förväntade vi oss?

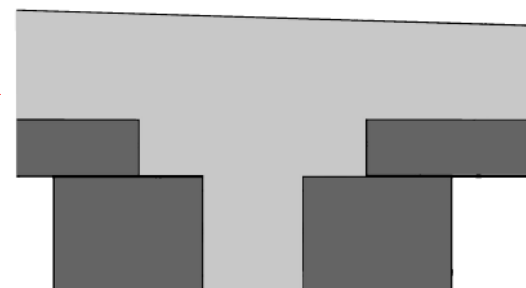
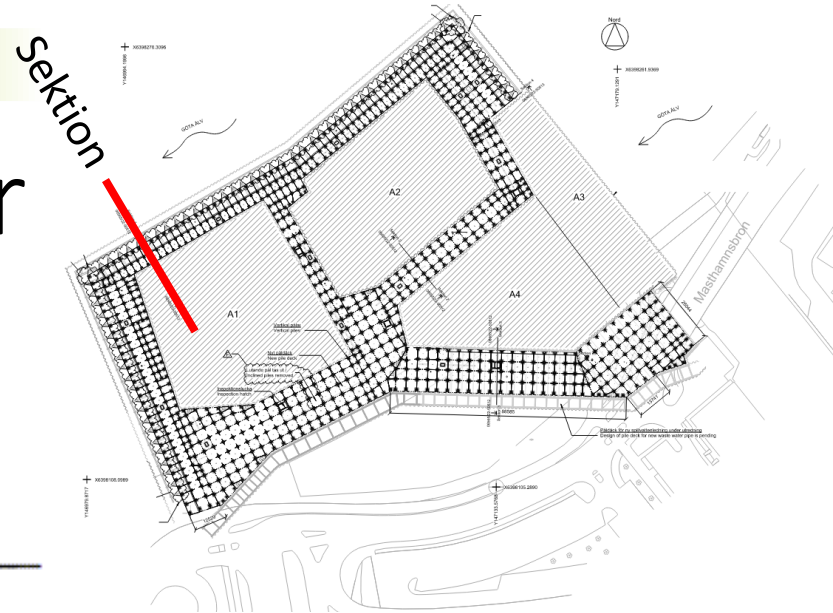
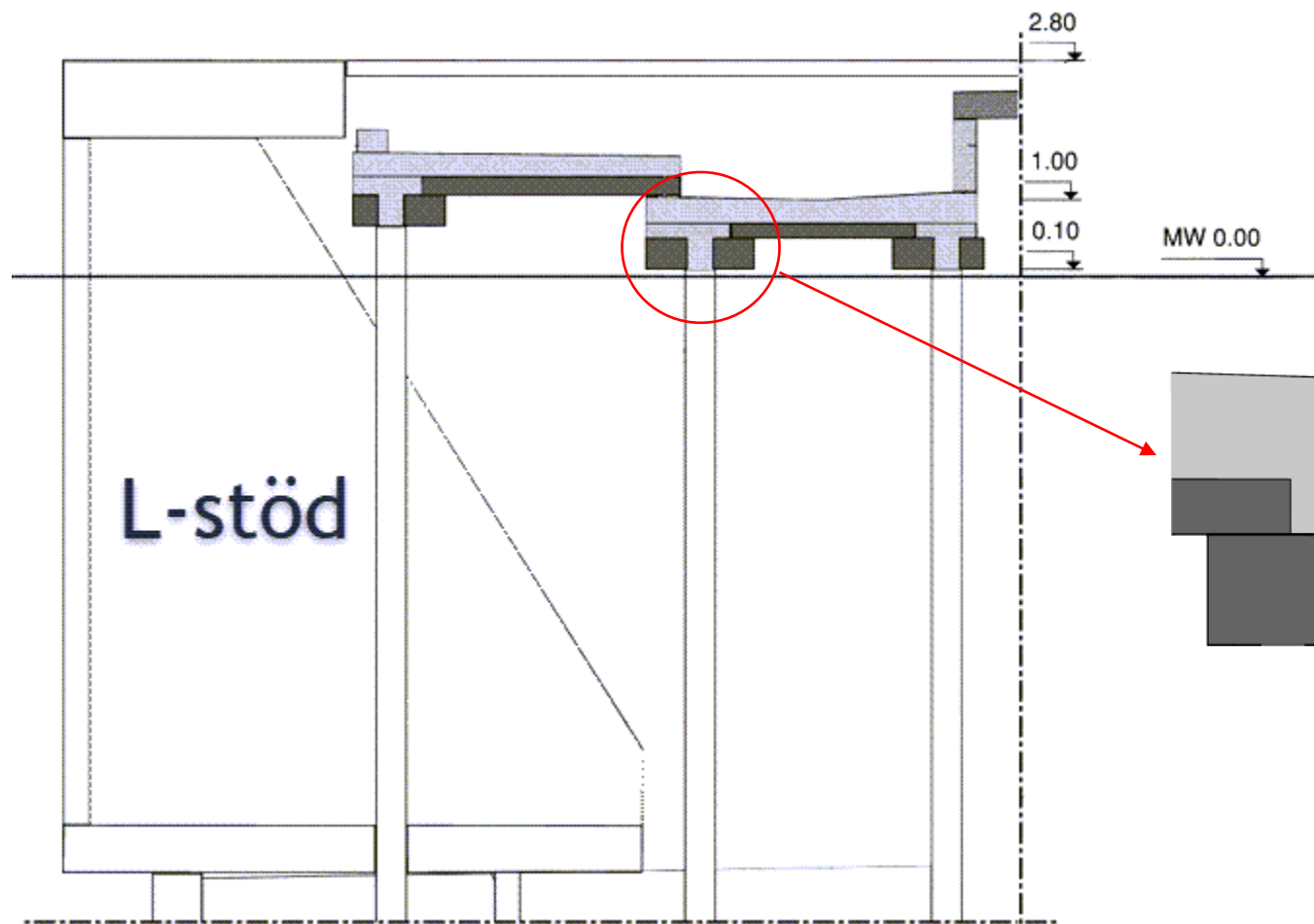


- Tekniska utmaningar
  - Byggskede pålar/plattor
  - Massundanträngning
  - Stabilitet
  - Hinder i mark
- Praktiska utmaningar
  - Logistik
  - Samverkan parter
  - Arbetsmiljö, säkerhet

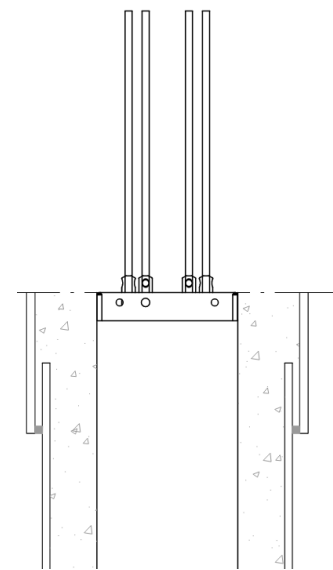
# PÅLDAG 24

pågrundläggning

## Påldäck H1 – Vertikala pålar



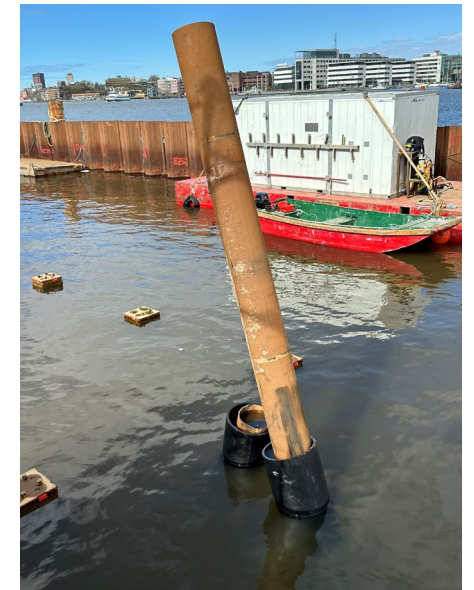
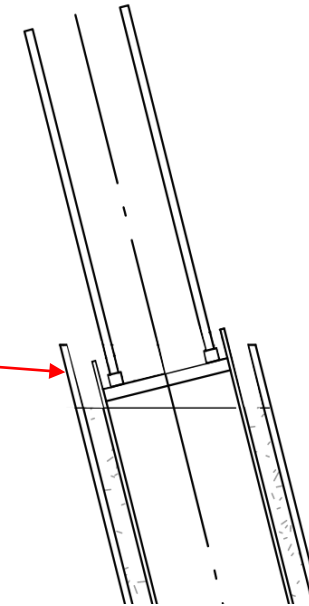
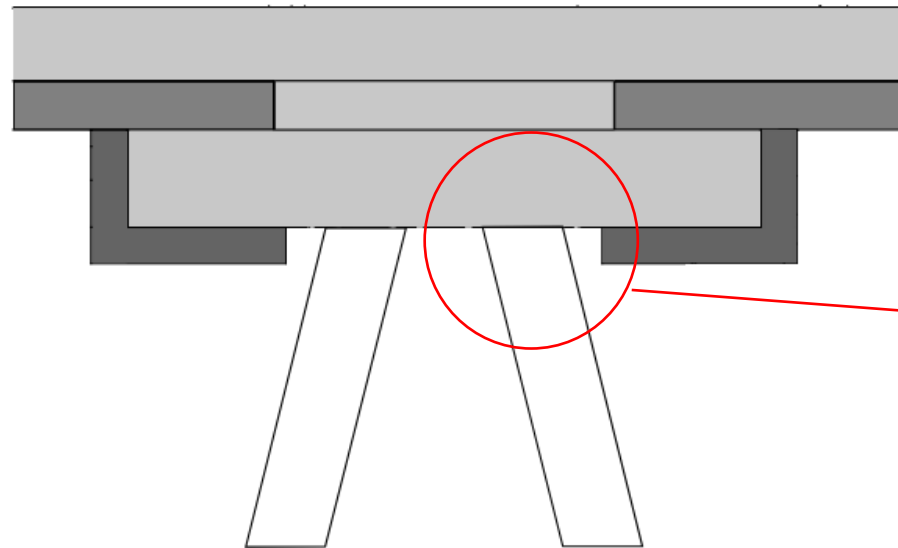
■ PREFAB  
■ IN-SITU





## Påldäck H1 – Lutande pålar

- Stålrörspålar parvis – transversella krafter
  - Trafiklaster
  - Jordrörelser
- Områden med liten sättning => lågt  $\Delta M$



# PÅLDAG 24

pågrundläggning


## Påldäck H1

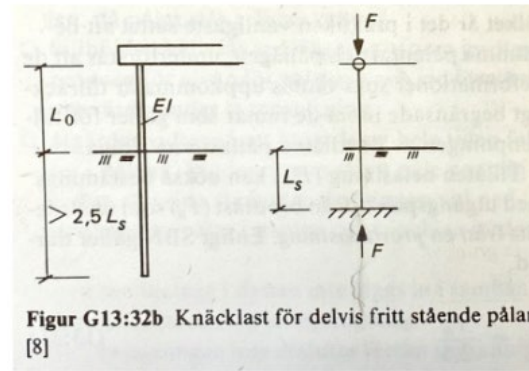
- Byggskede (A)

- Pålar utan horisontellt stöd i påltopp
- Laster: Pålplattor och däckelement

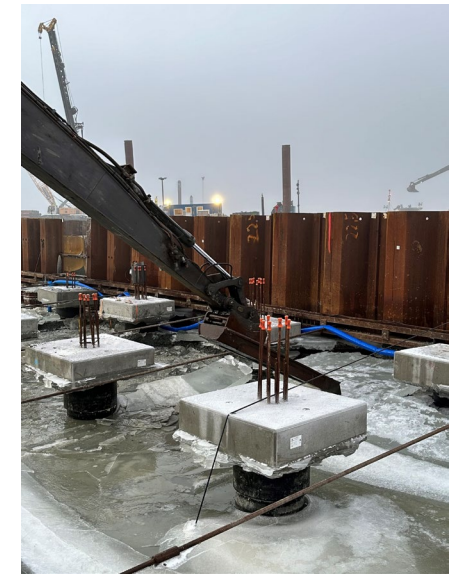
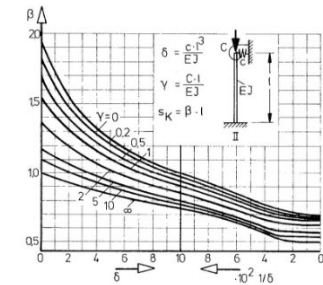
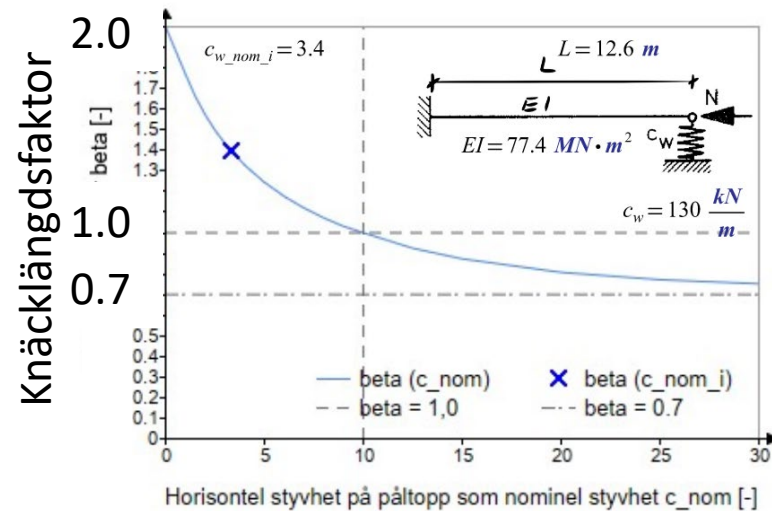
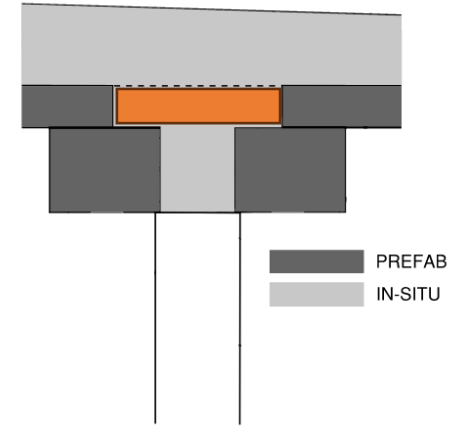
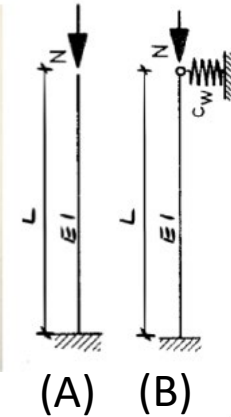


- Byggskede (B)

- Pålar med horisontellt stöd i påltopp
  - Stöd genom in-situ gjutning av ursparning i däckelement.
- 
- Laster: In-situ gjutning på däckelement eller uppställning av mobilkran.



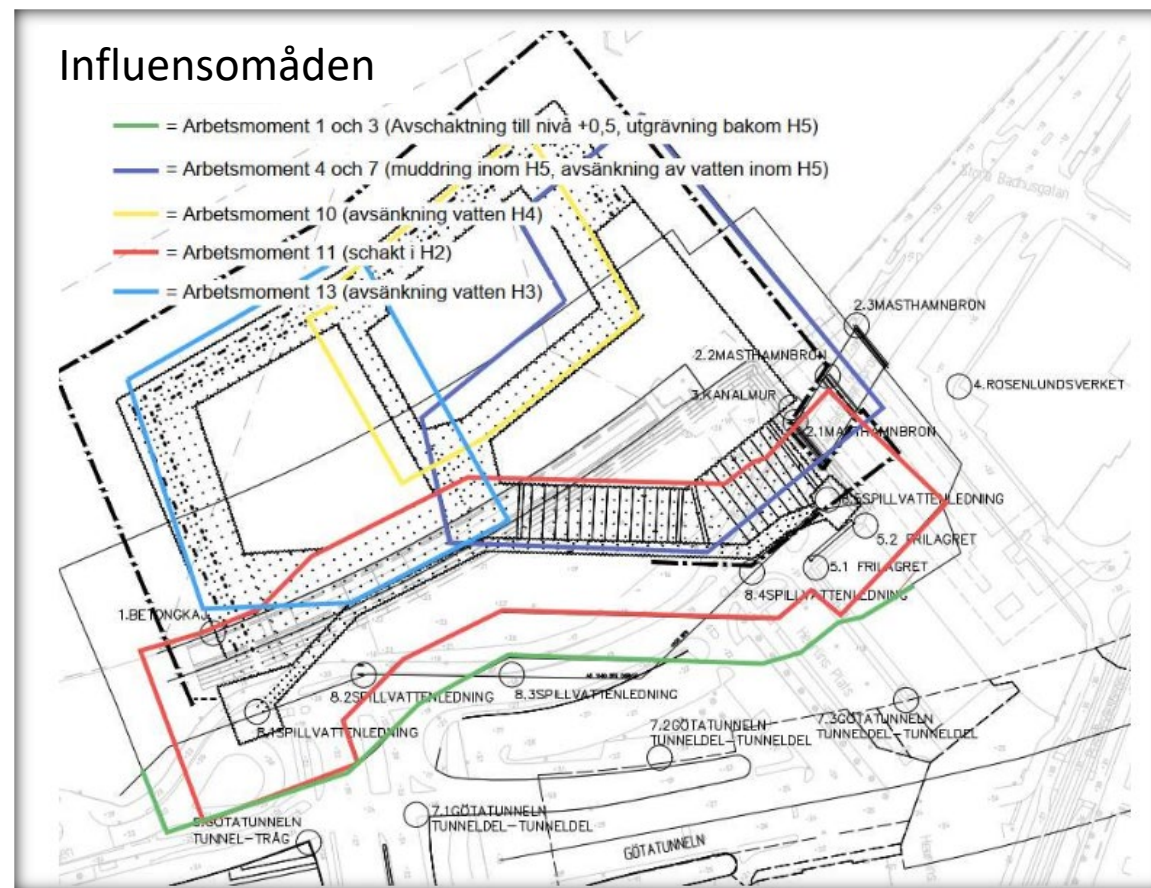
Figur G13:32b Knäcklast för delvis fritt stående pålar [8]





## Förväntade rörelser - Prognos

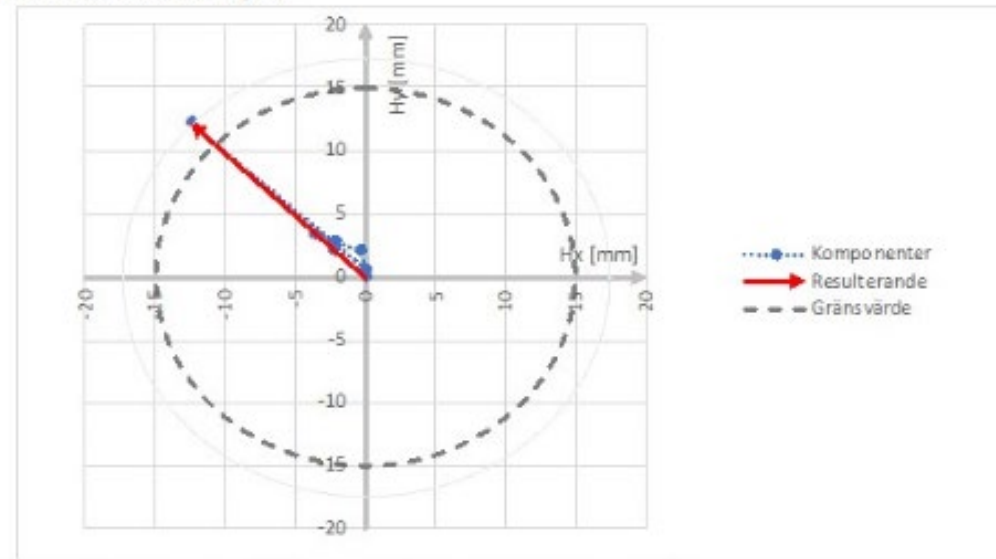
Arbetsmoment	Tillhör
1. Avschaktning till nivå +0,5 i H1-1, H1-8 och H1-9	Bilaga 3
2. Installation betongpålar i H1-4 (alla)	Bilaga 1
3. Utgrävning bakom spont H5	Bilaga 3
4. Muddring resterande del av H5	Bilaga 2
5. Installation betongpålar i H1-1 och H1-3	Bilaga 1
6. Installation av betongpålar i H5, pålar i H4 och stålplålar till L-element i H1-4	Bilaga 1
7. Avsänkning av vatten i H5	Bilaga 2
8. Installation betongpålar i H1-2	Bilaga 1
9. Installation pålar till L-element i H1-6, H1-7 och H1-9 och installation av pålar i H2	Bilaga 1
10. Avsänkning av vatten i H4	Bilaga 2
11. Schakt i spont H2	Bilaga 2
12. Installation betongpålar i H1-5, H1-6, H1-7, H1-8 och H1-9	Bilaga 1
13. Avsänkning av vatten i H3	Bilaga 2
14. Installation av pålar i H3	Bilaga 1



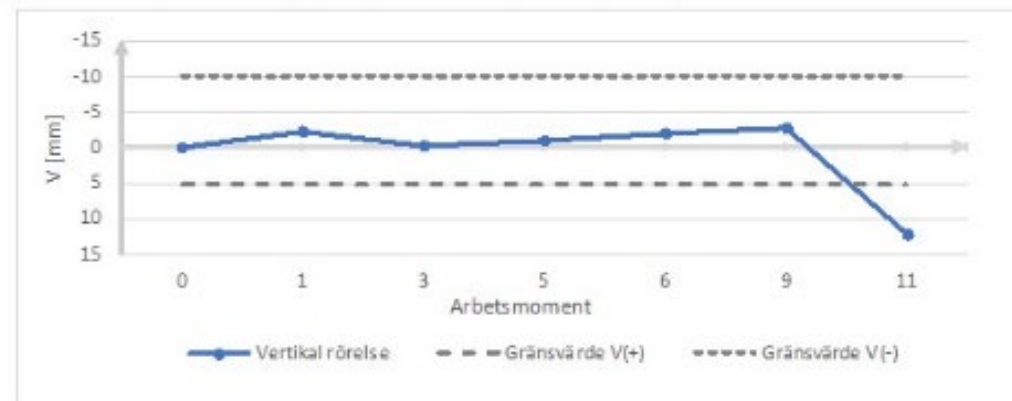
## Förväntade rörelser - Prognos



Horisontella rörelser i plan

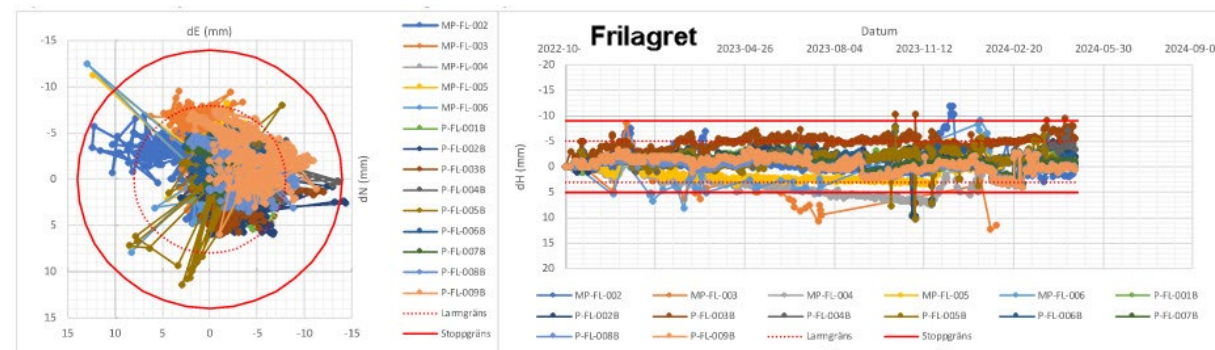
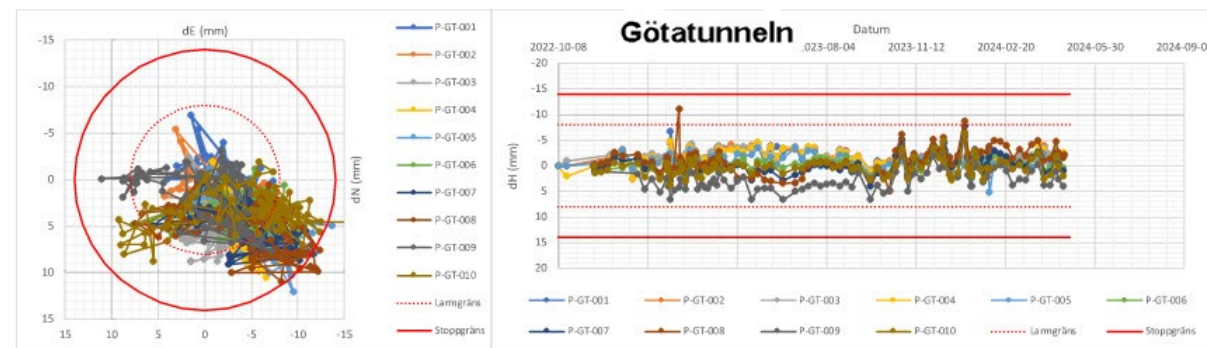


Vertikala rörelser över tid (Positiv definierad för rörelse neråt)

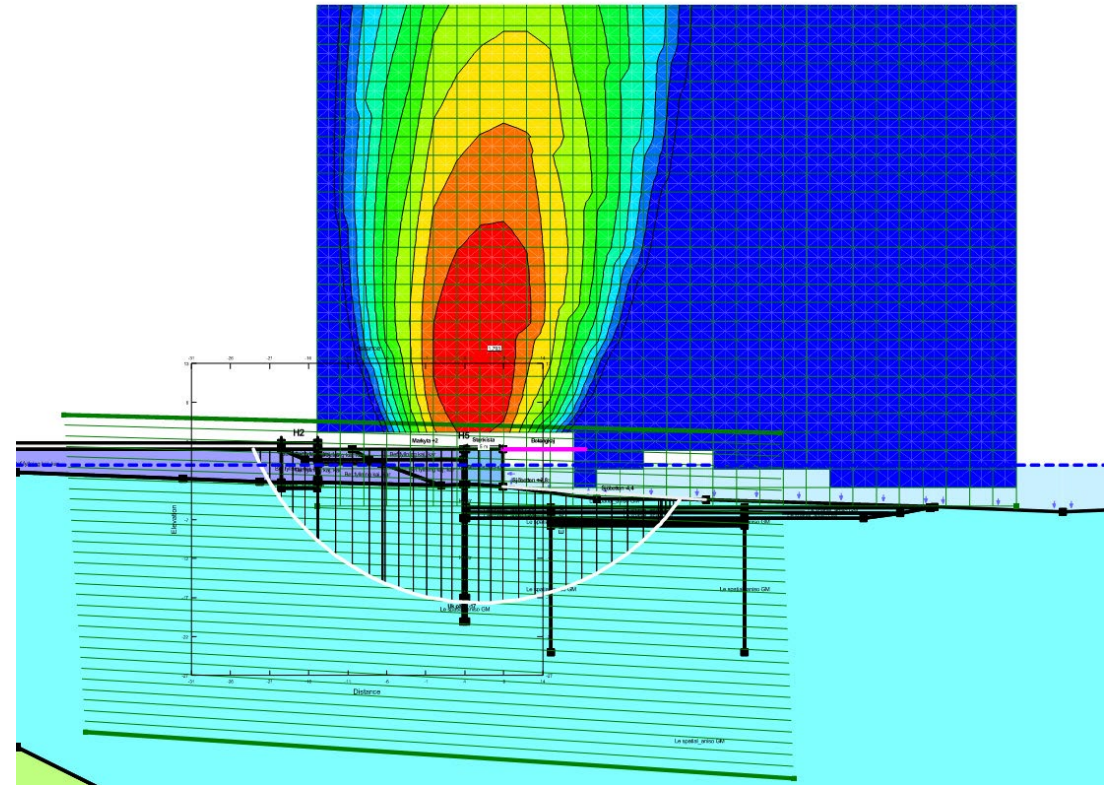
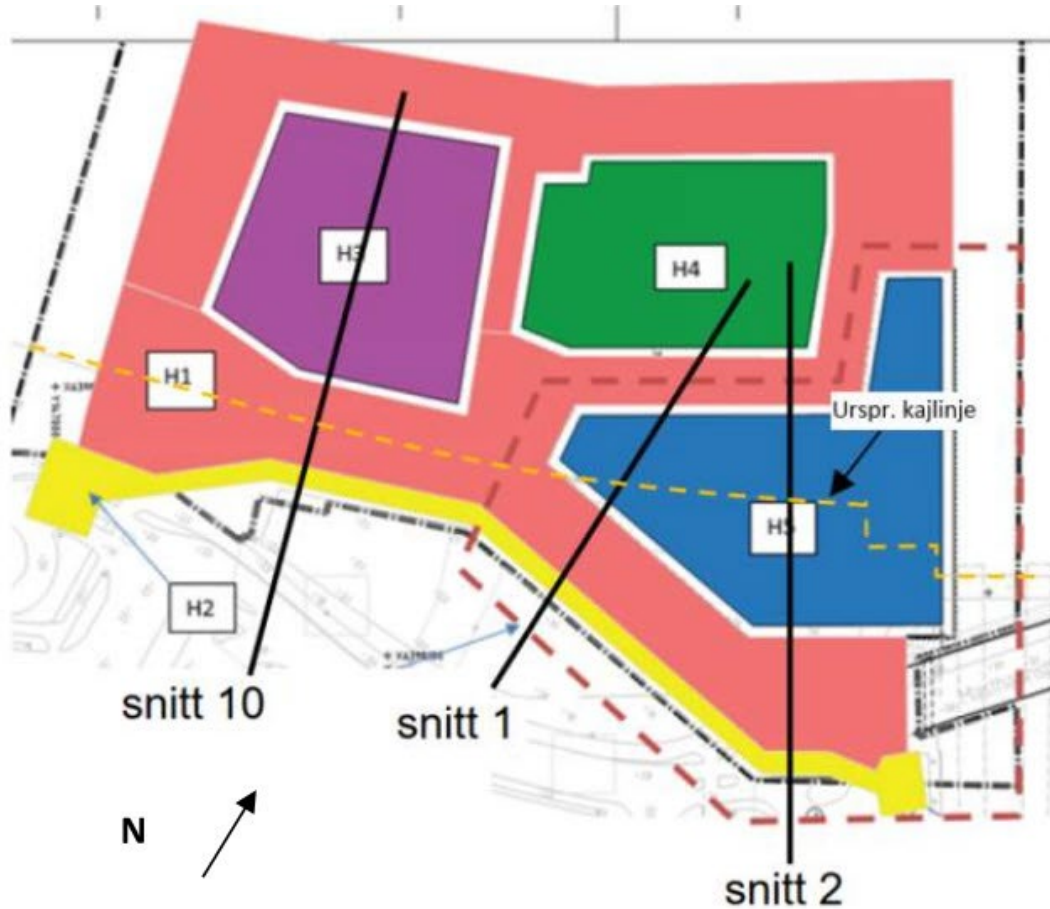




# Rörelser - veckorapport



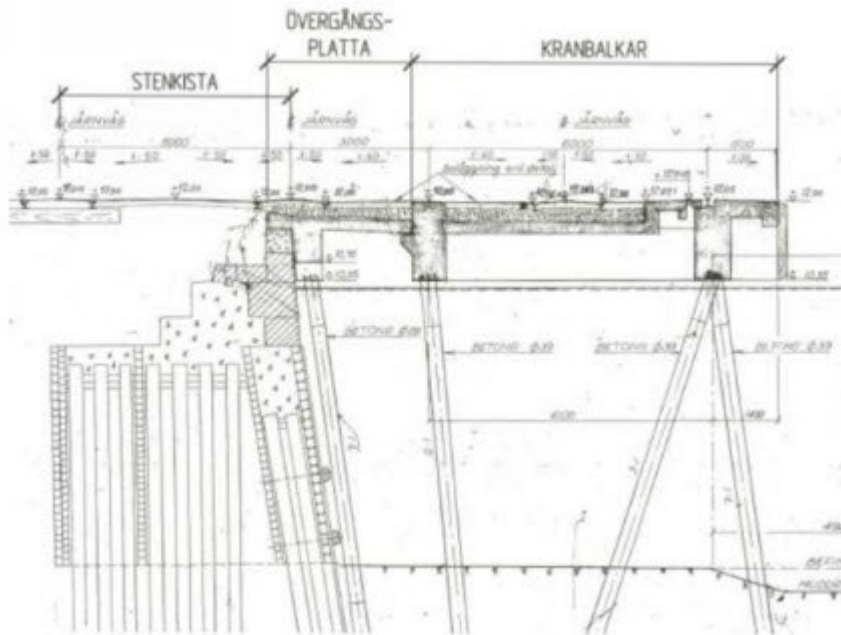
## Stabilitet - sektioner



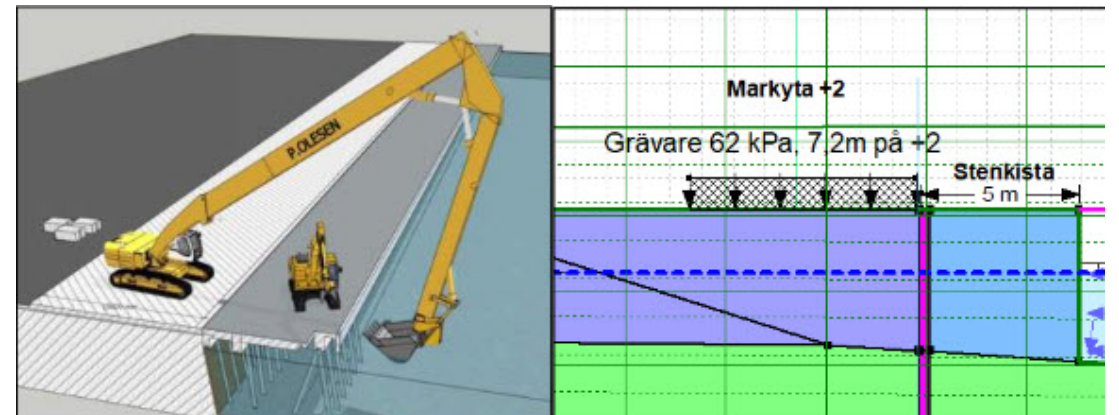


## Lokal stabilitet

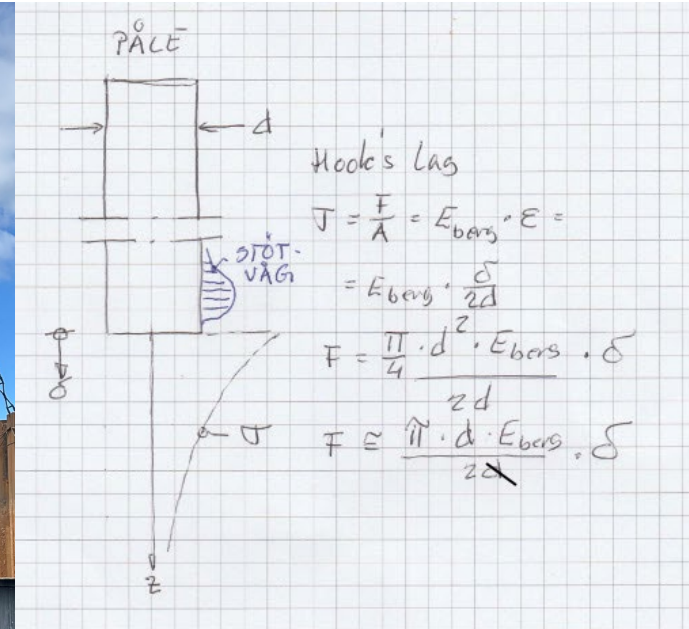
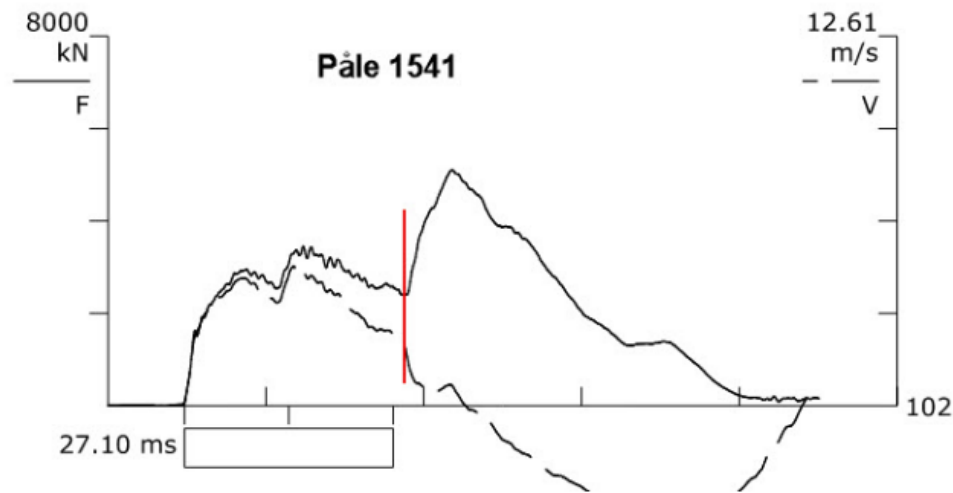
Kaj – etappvis påbyggnader



Demolering av kajer



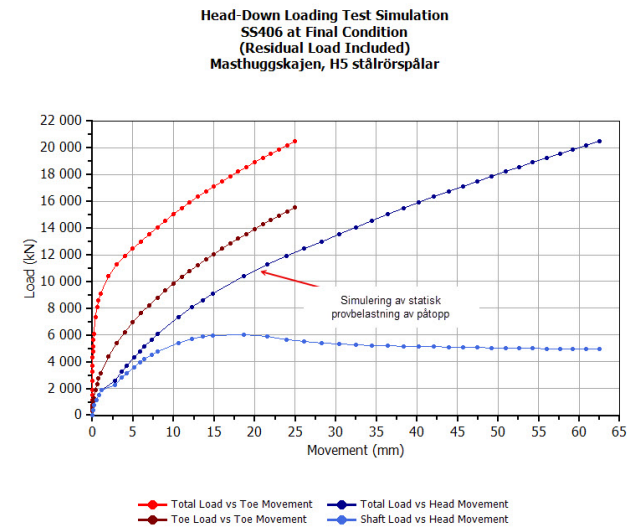
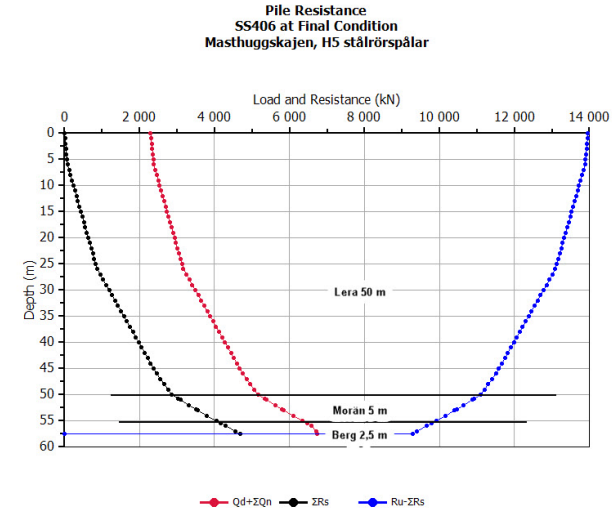
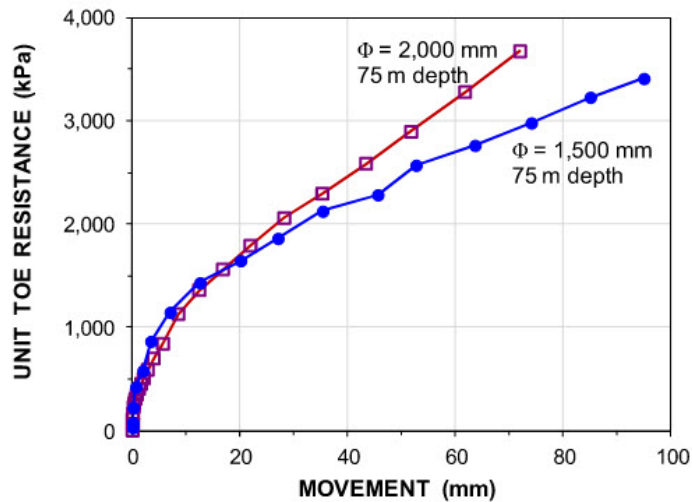
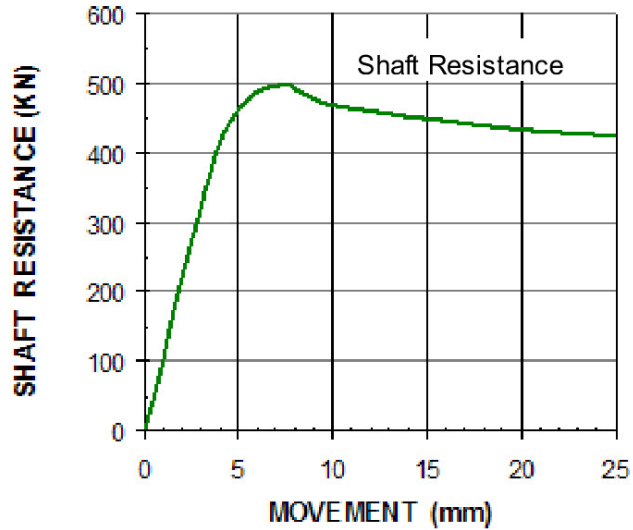
## Mobilisering av geoteknisk bärförmåga?



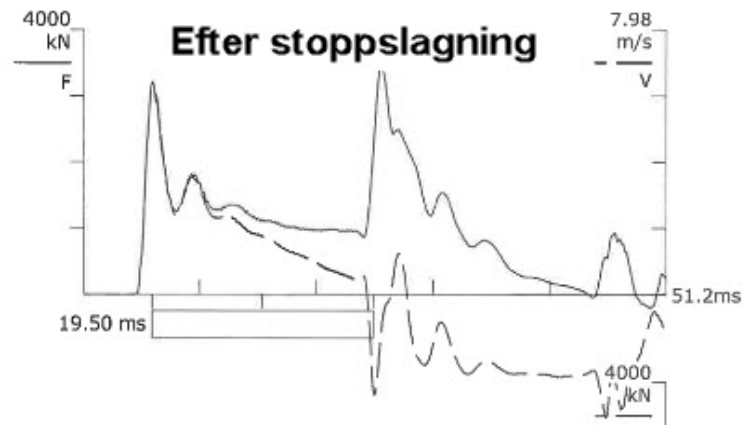
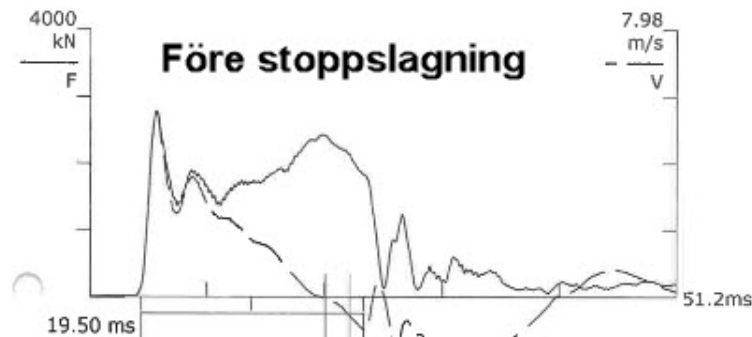
- Vikt 12 ton, h 3m
- $L_p$  50 – 76 m
- D 406\*12,5 mm



## Geoteknisk bärförmåga



### Borrade stålrör - Tillväxt bärförmåga i sand/grus

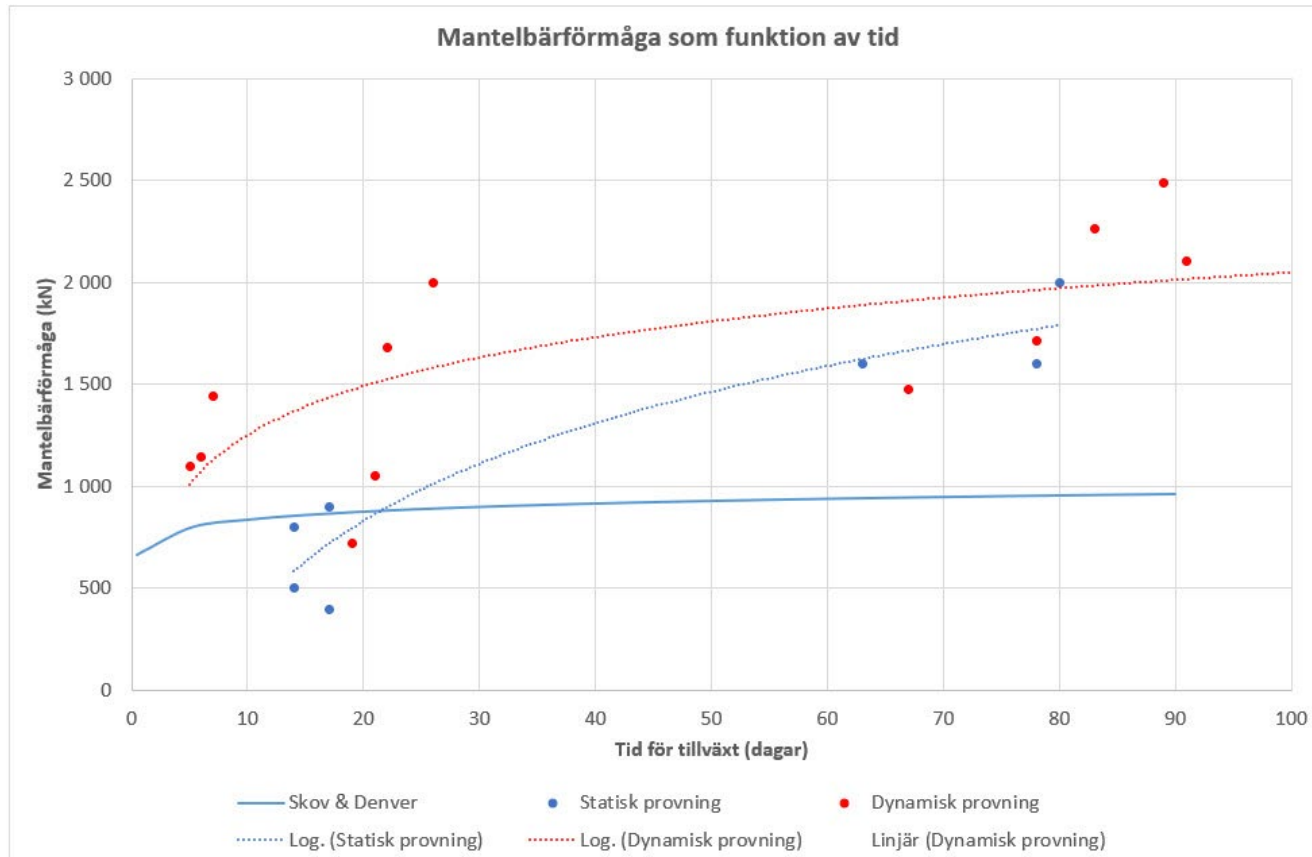


Sjunkn (mm/slag)	Sjunkn (mm/10)	E <sub>max</sub> (kNm)	J <sub>c</sub>	R <sub>max</sub> case (kN)	R <sub>ult</sub> capwap (kN)	R <sub>frik</sub> capwap (kN)
20		>60	0,90	1990	1767	1003
30		>60	"	1124	1548	1092
27		>60	"	1654		
8		>60	"	2148		
	6	>60	0,60	4194		
	≤ 2	>60	0,35	<b>4958</b>	4987	187

- Påle ej stoppslagen
  - 3 månaders tillväxt
  - 70% mantelbär-förmåga, 1 100 kN
- Efter stoppslagning
  - 5% mantelbärförmåga, 190 kN



## Mantelbärförmåga vs tid



## Några iakttagelser

### Byte av teknisk lösning

- H1: Slagna kohesionspålar av betong & borrade stålrörspålar
- H2: Kohesionspålar & spetsburna stålpålar
- H3: Överlappande pålar
  - slagna kohesionspålar av betong från präm
- H4: Överlappande pålar
  - borrade stålrörspålar från uv-betong
- H5: Göteborgsmetoden
  - => borrade stålrörspålar från uv-betong

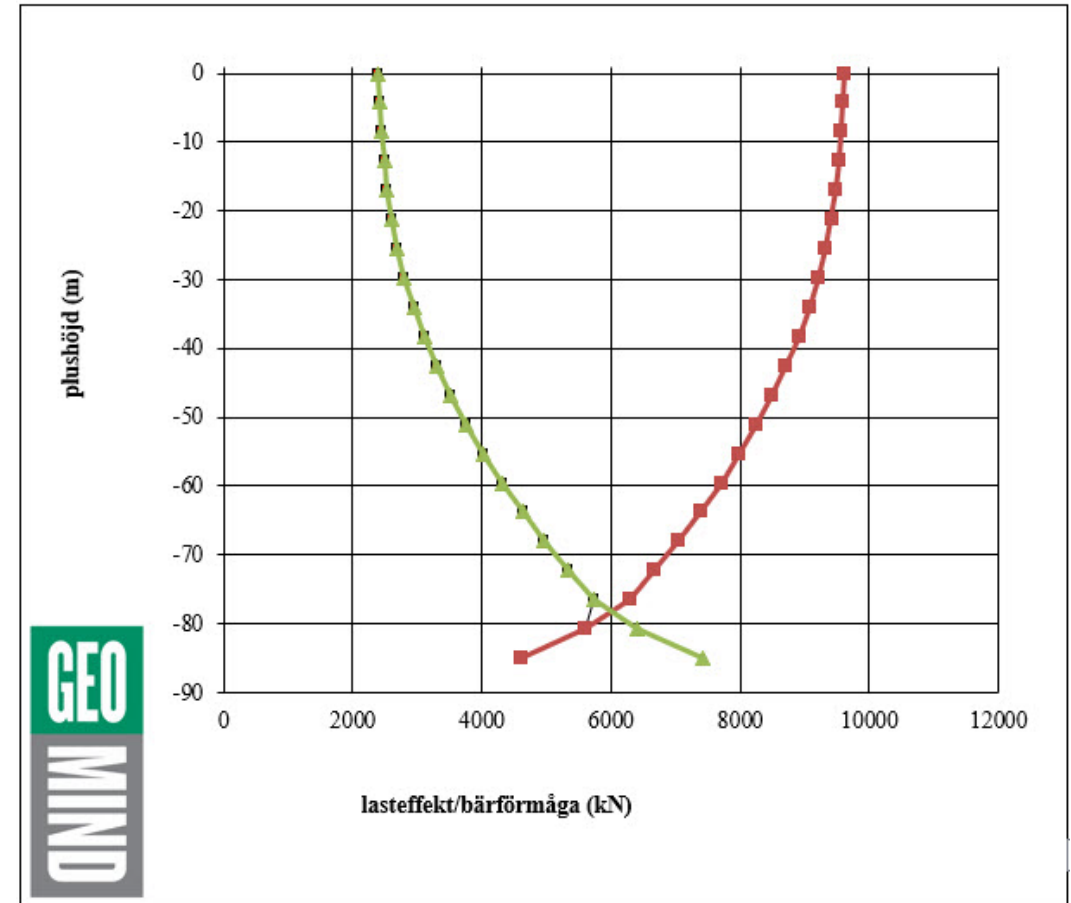
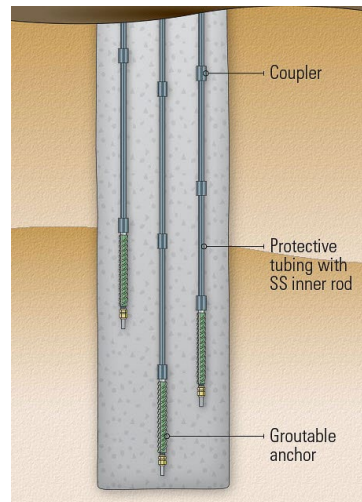
### Påhängslaster

- H1 & H2
  - Göta Älv – inga påhängslaster
  - Söder om kaj: 200 kN ner till 10m u. pap
- H3
  - Dim. laster inkluderar påhängslaster
- H4
  - upp till 5 000 kN
- H5
  - Göta Älv – inga påhängslaster
  - På land – Bitumen & papp



## Hur ska vi räkna? Beter sig leran annorlunda i GBG

- Effekter av installation?
- Stora pålgrupper?
- Hur definieras en pålgrupp?
- Rörelse för att mobilisera  $R_m$
- Kan Tell-tales hjälpa förståelsen?



# PÅLDAG 24

*pålgrundläggning*

## Så kan det bli!



Anian, det känns att  
grunden är stabil