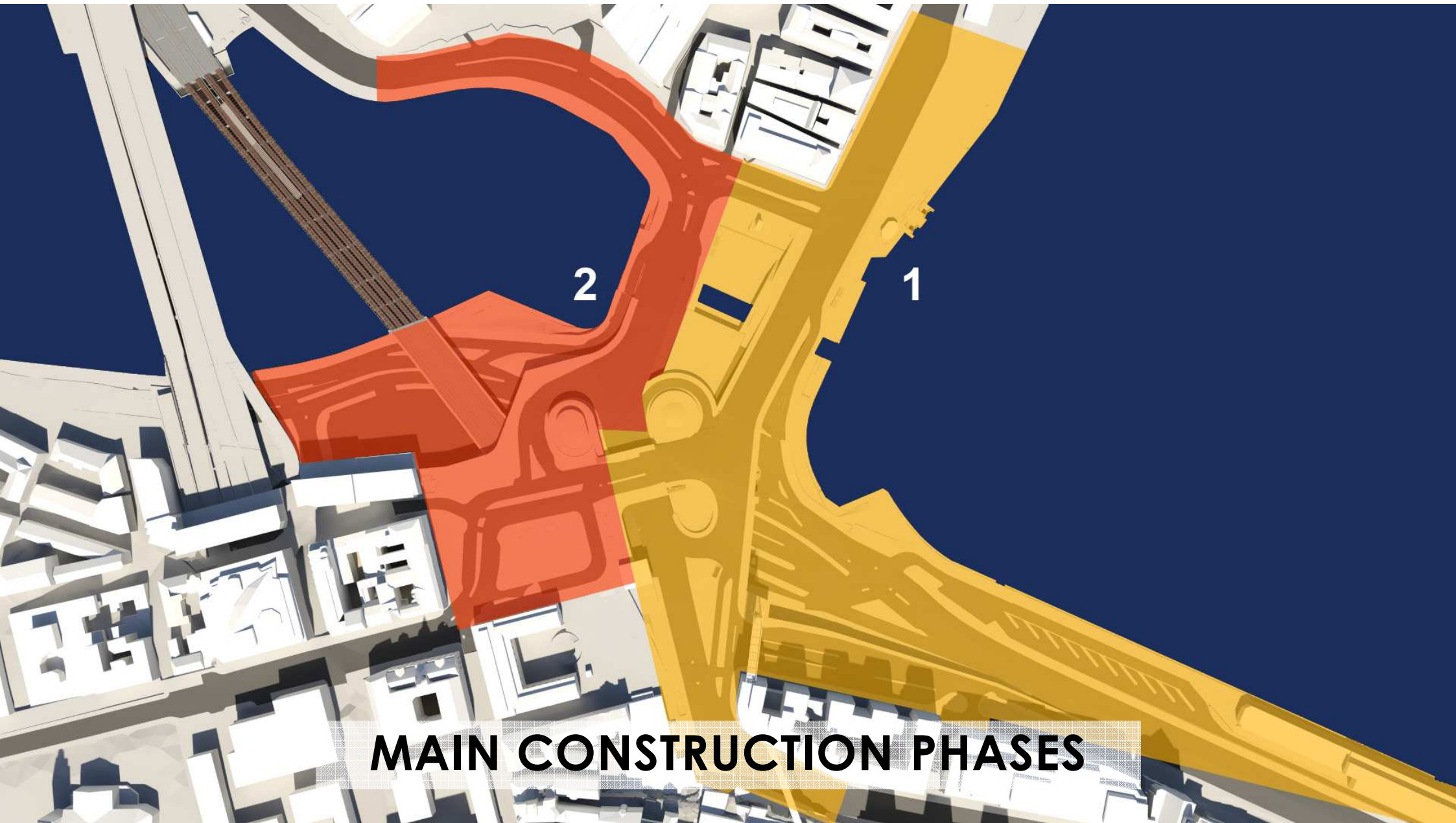


# NYA SLUSSEN I STOCKHOLM - PÅLNING OCH PROVBELASTNINGAR

Gary Axelsson, ELU Konsult



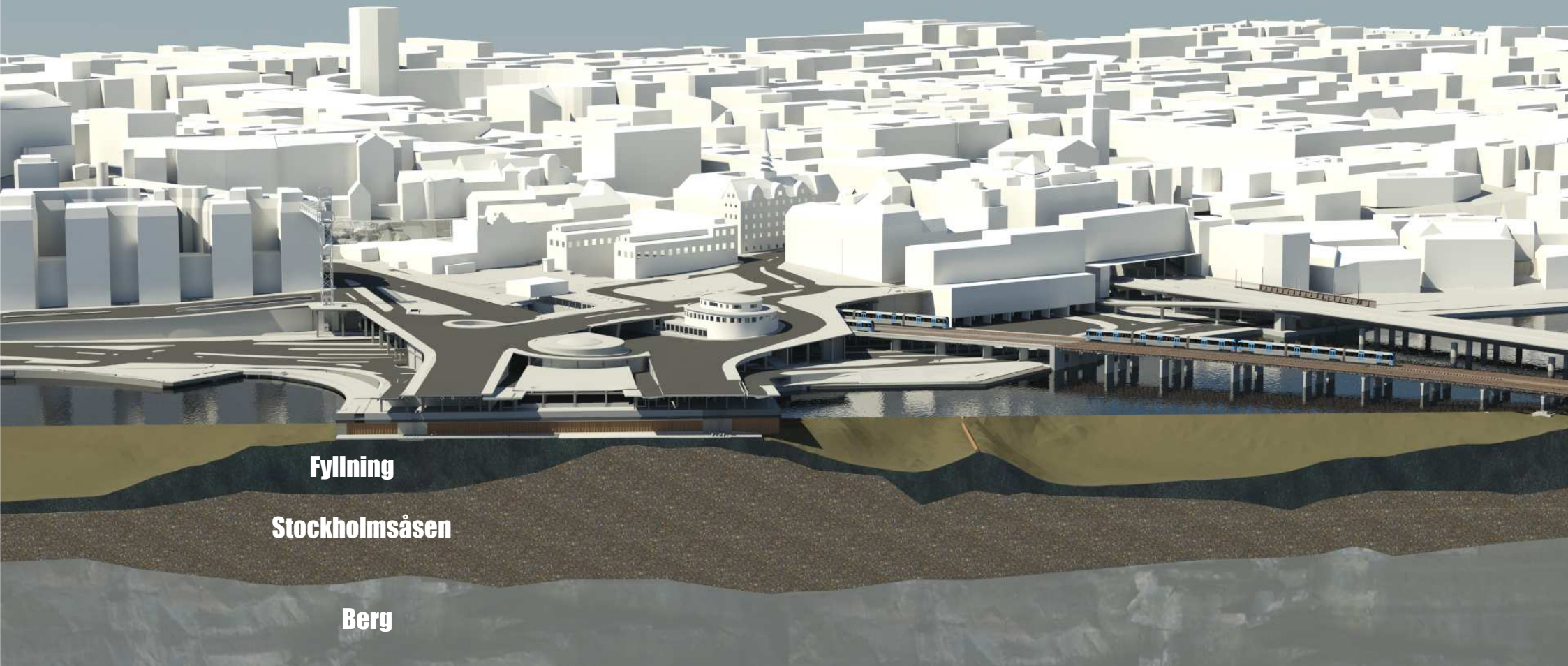


2

1

**MAIN CONSTRUCTION PHASES**

# Sektion genom befintlig anläggning



# Sektion utan fyllning



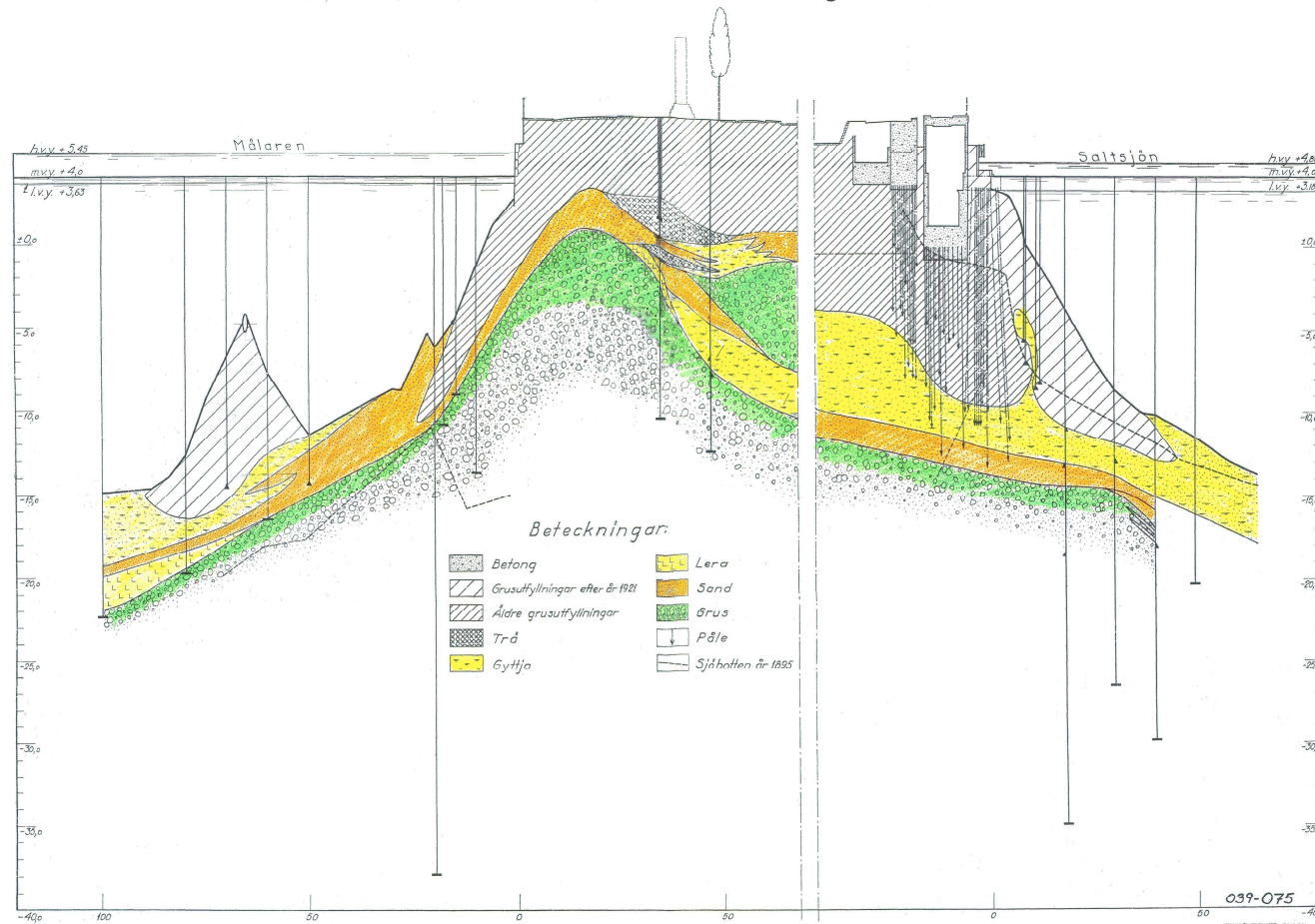
Stockholmsåsen

Berg

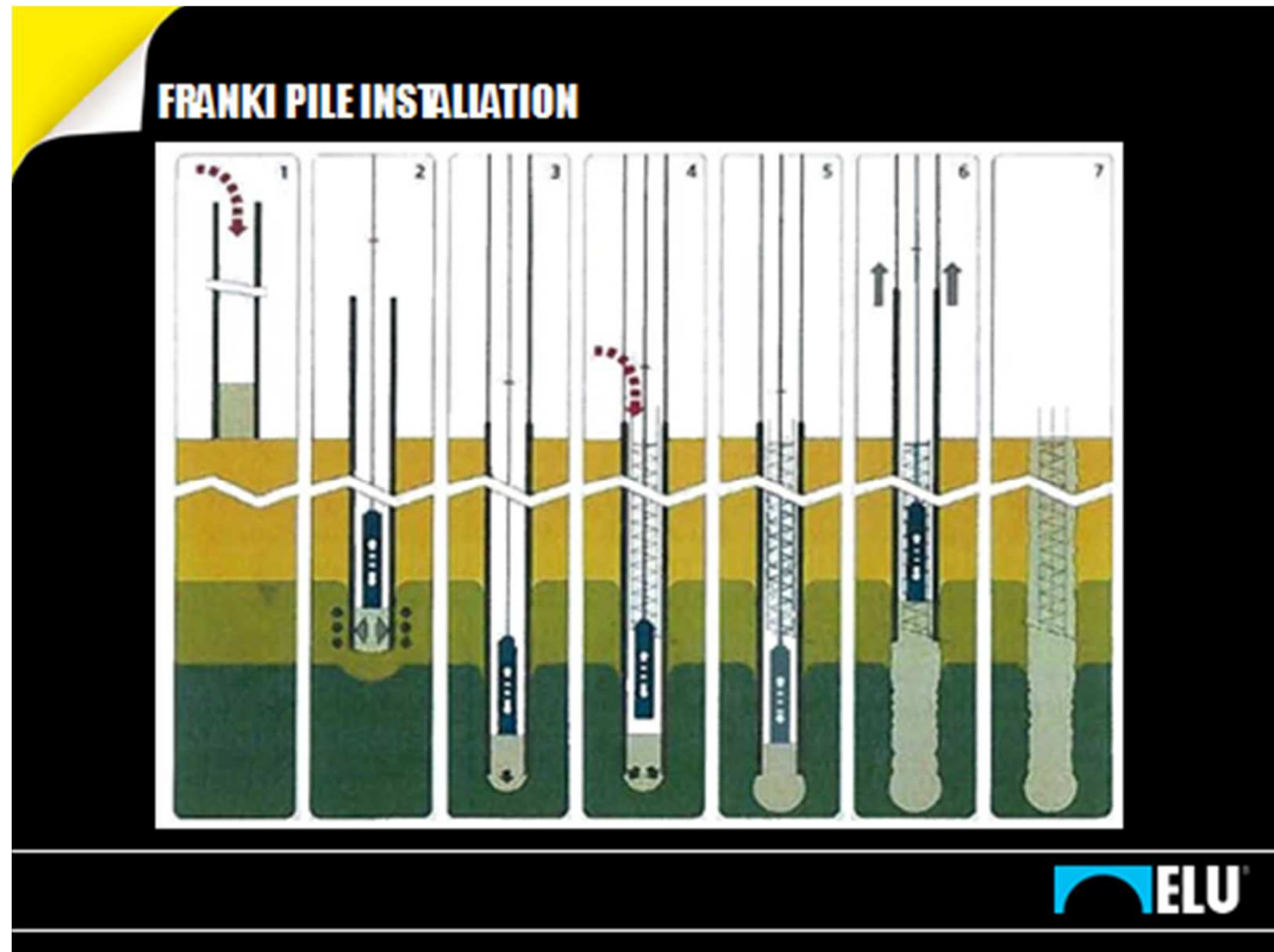
**Frankipålar som "hänger" i fyllningen**

# GEOTEKNISKA FÖRUTSÄTTNINGAR

*Schematiserad sektion genom Slussområdet*



# Frankipålen = slagen insitu-gjuten betongpåle



# FRANKI-PÅLEN PROVBELASTAS





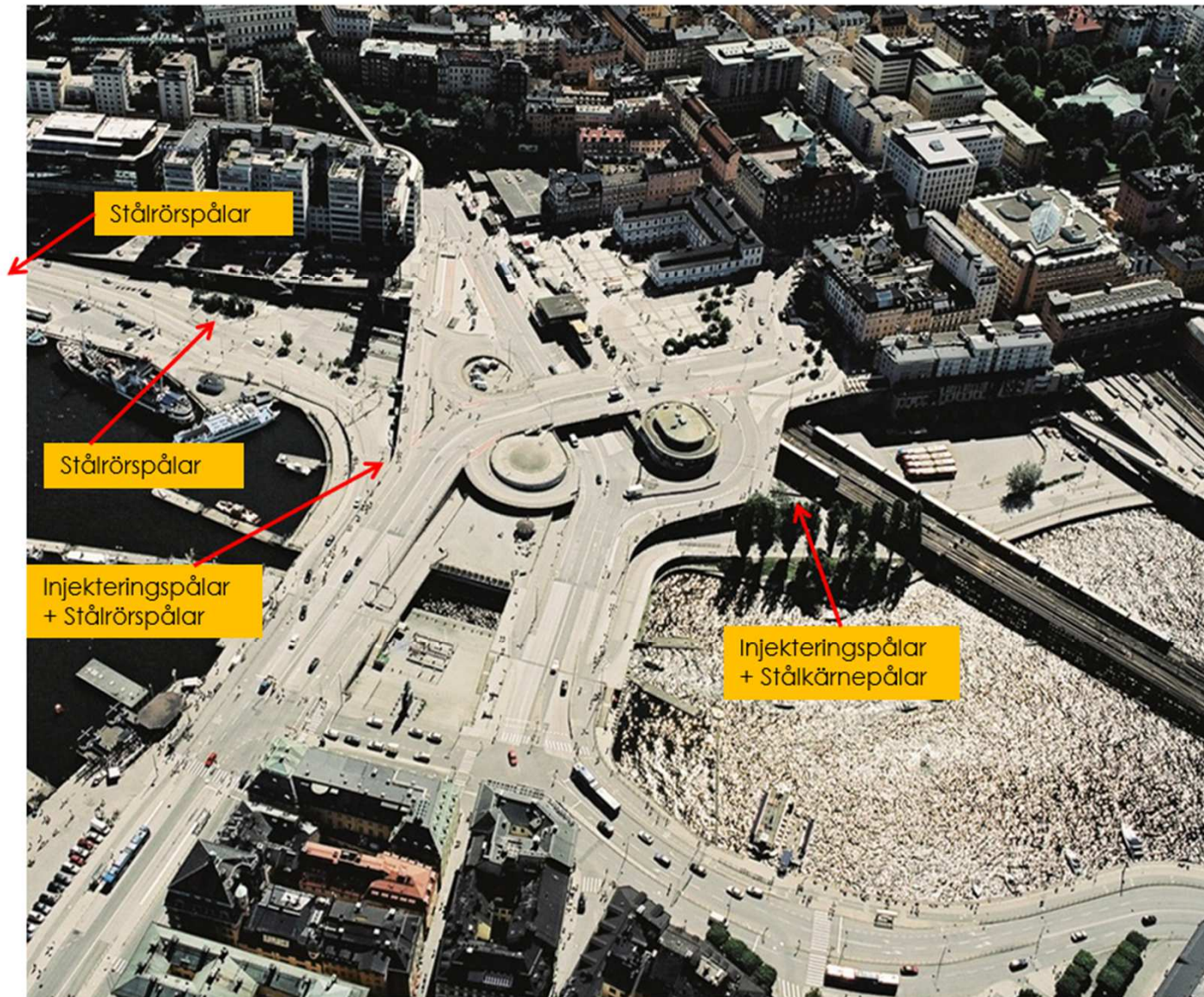
# PROBLEMSTÄLLNINGAR GRUNDLÄGGNING

- + Fyllningslager med svårigenomträngliga hinder, t ex av trä och järn.
- + Stora pågående sättningar i fyllningen och gyttjelagret.
  - + Detta påverkar speciellt lutande pålar.
  - + Medför betydande negativ mantelfriktion.
- + Områden med mycket hög permeabilitet hos åsmaterialet.
  - + Påverkar in-situ tillverkade pålar (injekteringspålar och grävpålar).
- + Mycket löst lagrat åsmaterial.
  - + Packningsbenäget material som kräver mycket skonsam installation.
- + Stort djup till berg och ett åsmaterial som kan ge mycket lågt mantelmotstånd (rullgrus).
- + Mycket dåligt berg kan ställvis förväntas.
  - + Problem för spetsburna pålar i berg.

## VAL AV PÅLTYP

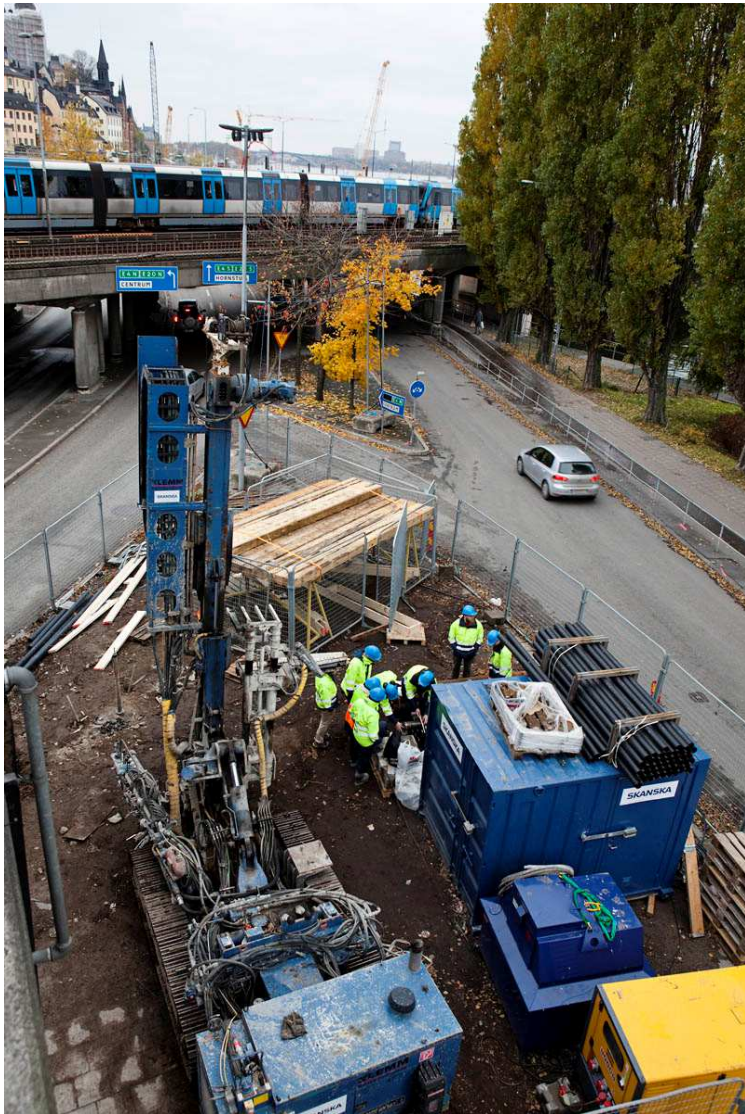
- + Slagen eller **borrad** (luft eller **vattendriven**)
- + Mantelburen eller **spetsburen**
- + Möjliga påltyper:
  - + Stålkärnepåle, spetsburen eller mantelburen i berg
  - + Injekterad mantelburen påle
  - + Grävpåle mantelburen (borrad in-situ gjuten påle)
  - + **Stålrörspåle, spetsburen**

# FEM STÖRRE PROVPÅLNINGAR

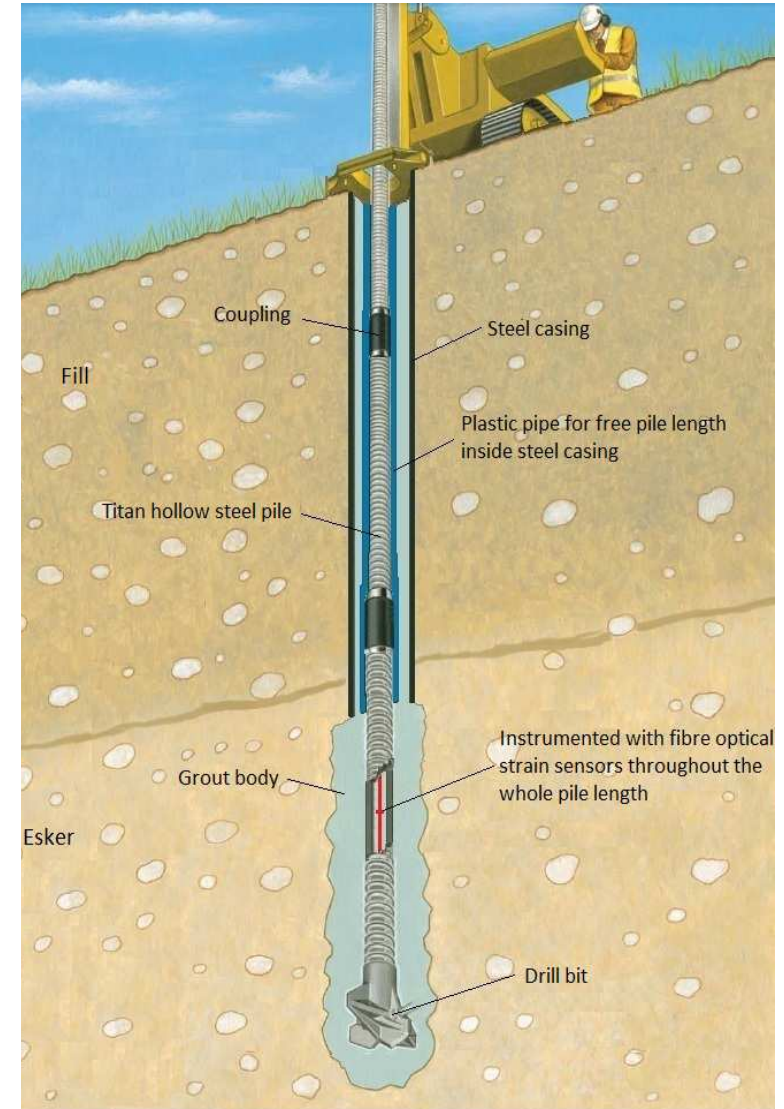


# Dynamiska och statiska provbelastningar inomhus

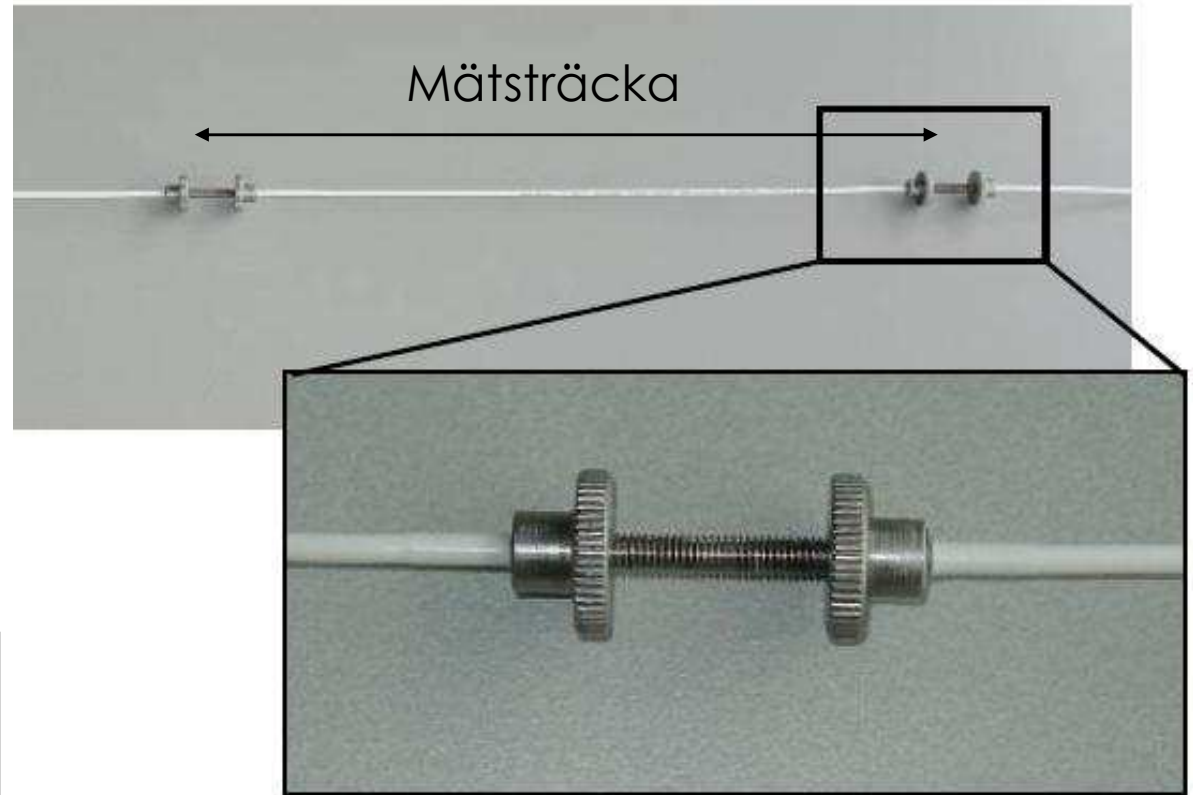
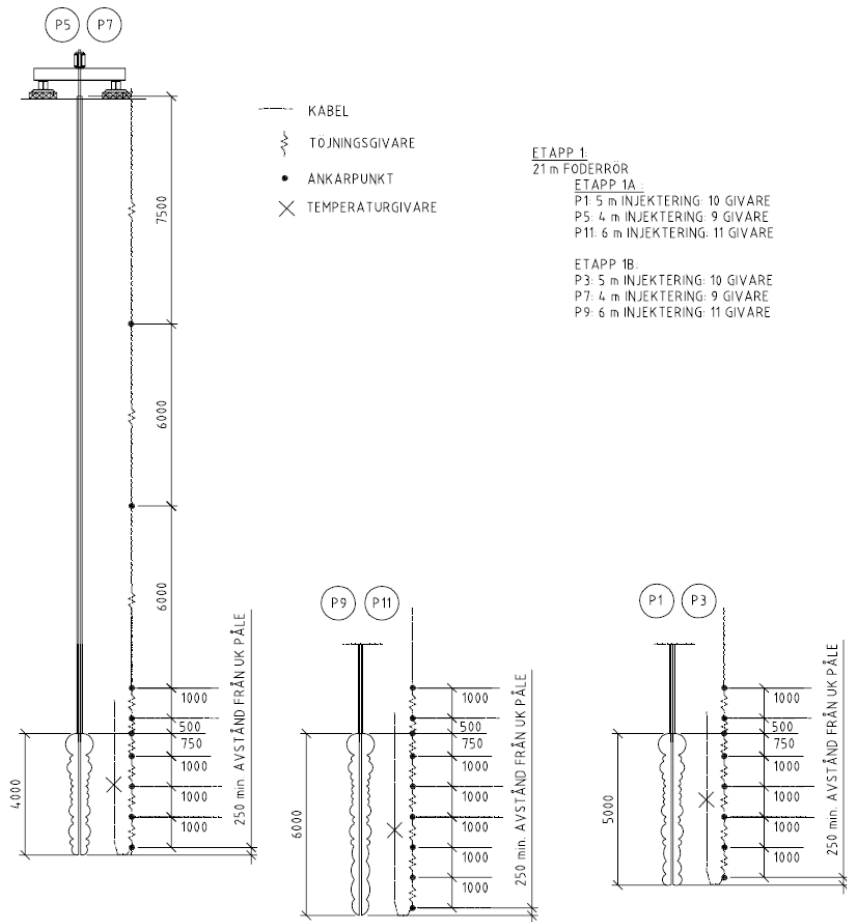




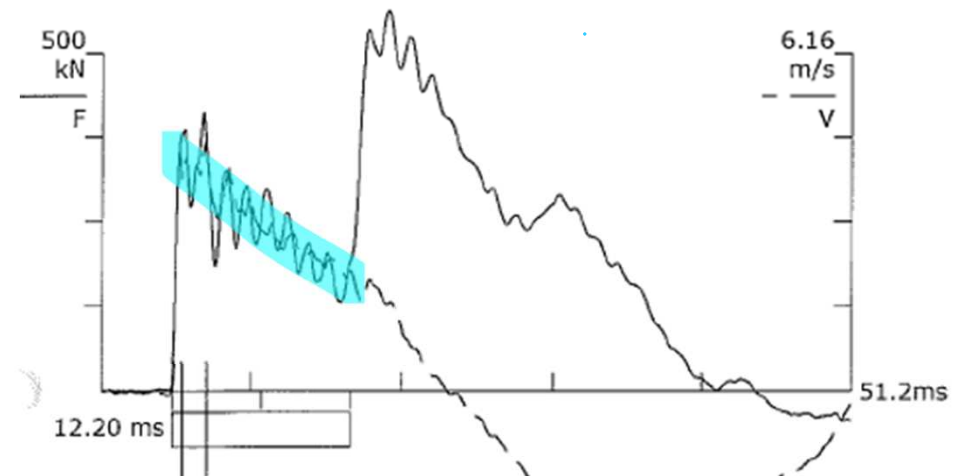
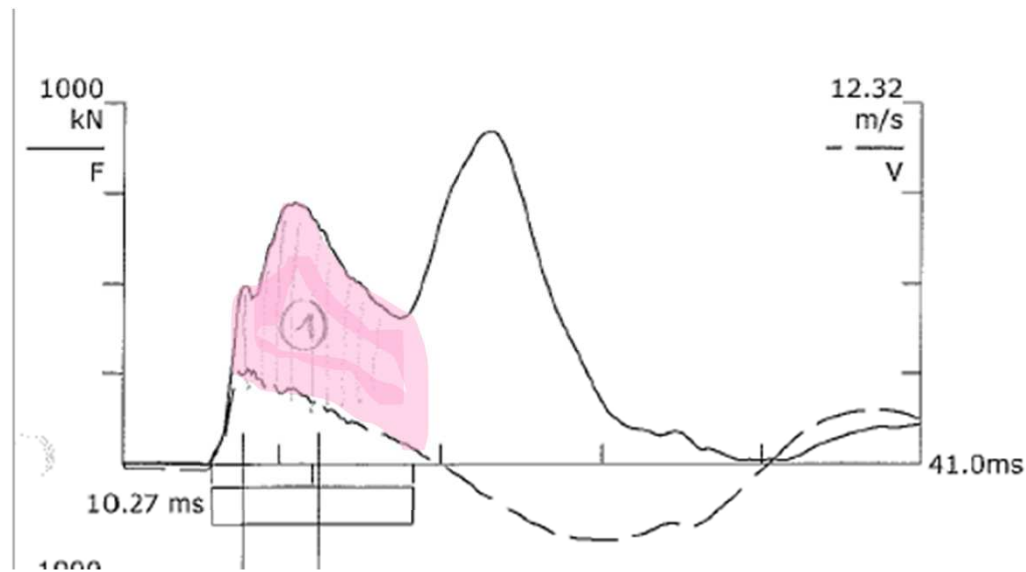
# Provpålningar på instrumenterade mantelburna borrade injekteringspålar i åsen, både statiska och dynamiska



# FIBEROPTISKA-TÖJNINGSGIVARE



# STÖTVÅGSMÄTNING PLASTRÖR / URBORRAT



# SAMMANFATTNING INJEKTERINGSPÅLAR

- ✦ Injekteringsbruk kan tränga upp längs utsida foderrör.
- ✦ Plaströr för fri längd i foderrör fungerar inte. Urborring eller urspolning krävs.
- ✦ Töjningsgivare ger värdefull info att utvärdera vilken last som belastar förankringskroppen
- ✦ samt för att bättre kunna utvärdera om jordbrott har erhållits
- ✦ Resultat från stötvågsmätningar av urborrade pålar gav lovande resultat.
- ✦ Dock risk att förankringskroppen slås sönder om höga laster ska verifieras.



# OLIKA TYPER AV PROVNINGAR MED BORRADE STÅLRÖRSPÅLAR

## + Dynamiska provbelastningar:

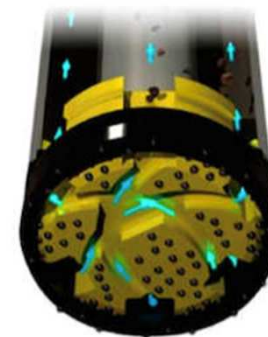
- + Hur mycket stor bärförmåga kan verifieras mht stål och hejare
- + Spetsmotstånd i krosszonen
- + Hur stort är mantelmotståndet och hur mycket ökar det med tiden

## + Funktionstester:

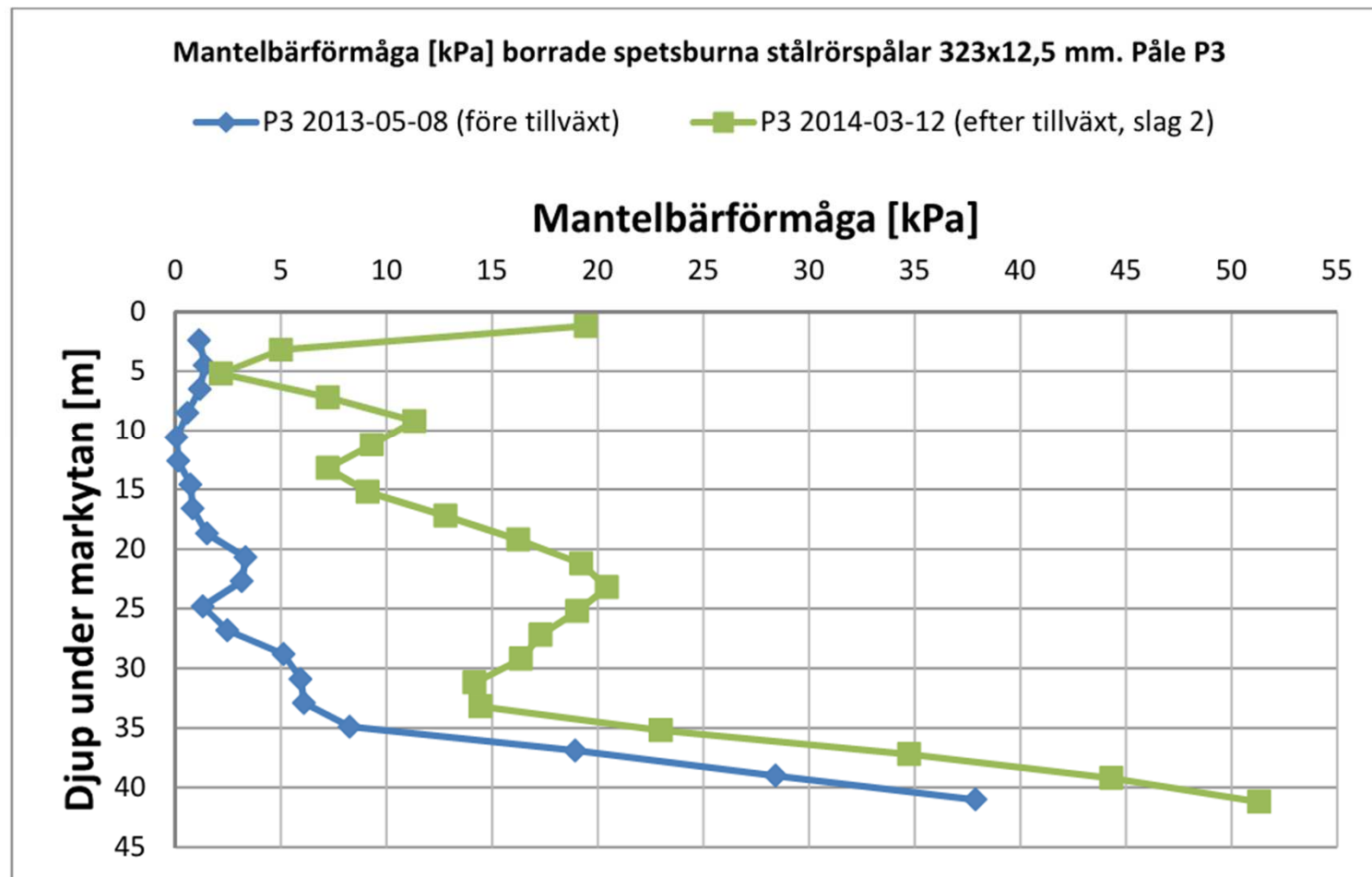
- + Olika bormetod (luft/vatten) och hur stor omgivningspåverkan de ger
- + Test av nya typer av borkronor, bl a
  - + För borrar genom trä, järn
  - + ELEMEX (luftdriven sänkborrhämmare)

## + Labtester:

- + Belastningsförsök på samverkanspålar



# MANTELMOTSTÅND PÅ LÅNGA BORRADE STÅLRÖRSPÅLAR I ÅSMATERIAL



# EXTREMT LÅGT MANTELMOTSTÅND PÅ STORA DJUP

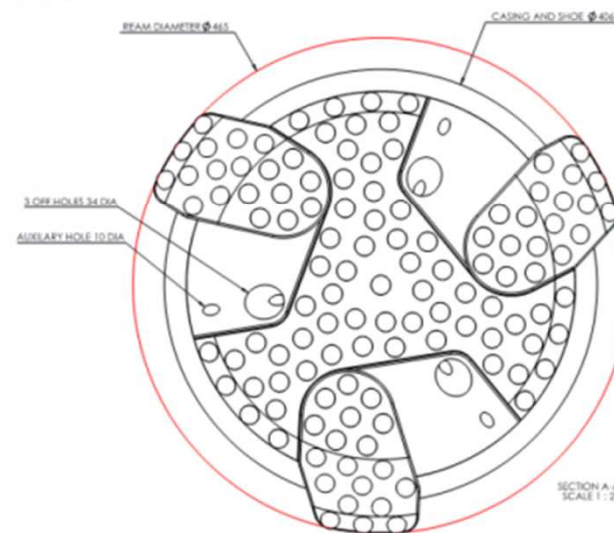
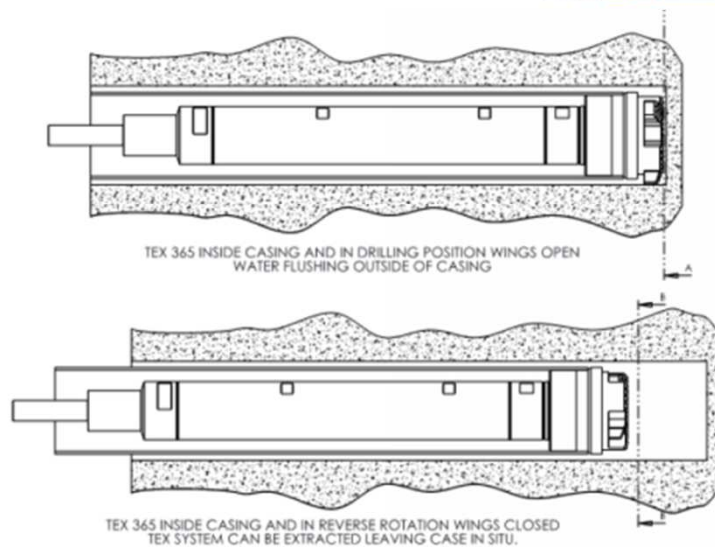
- + Genomsnittligt mantelmotstånd ca 5-10 kPa efter nedslagning och under den första månaden
- + Tillväxt av mantelmotståndet till ca 20-30 kPa efter 10 månader
- + Några slag med hejaren kan "väcka" pålen och mantelmotståndet sjunker kraftigt till ursprungsvärdet
- + Som jämförelse ger ett beräknat värde (API) ett mantelmotstånd på 50 kPa (en vecka efter nedslagning) i mycket löst lagrad sand dvs 5-10 ggr större!!
- + Förklaring 1: åsmaterialet är lösare än mycket löst, sk meta-stabilt
- + Förklaring 2: ensgraderad utan finmaterial och rundade korn
- + Förklaring 3: vattenborrningen har spolat bort finmaterial närmast manteln

# TEST AV OLIKA BORRMETODER/BORRKRONOR

Påle D=508 mm  
Med vattendriven  
hammare



Vattendriven  
sänkborrhammare  
Hanjin D&B  
(sydkorea)  
Pilotkrona med  
utfällbara vingar



# DÅLIGT BERG, KROSSZON

- + Gnejsgranit
- +  $q_U=70$  Mpa
- + Delvis leromvandlad
- + Mycket uppstrucken
- + Lerfyllda sprickor (ev svälllera)



# HANTERING AV DÅLIGT BERG, AKTIV DESIGN

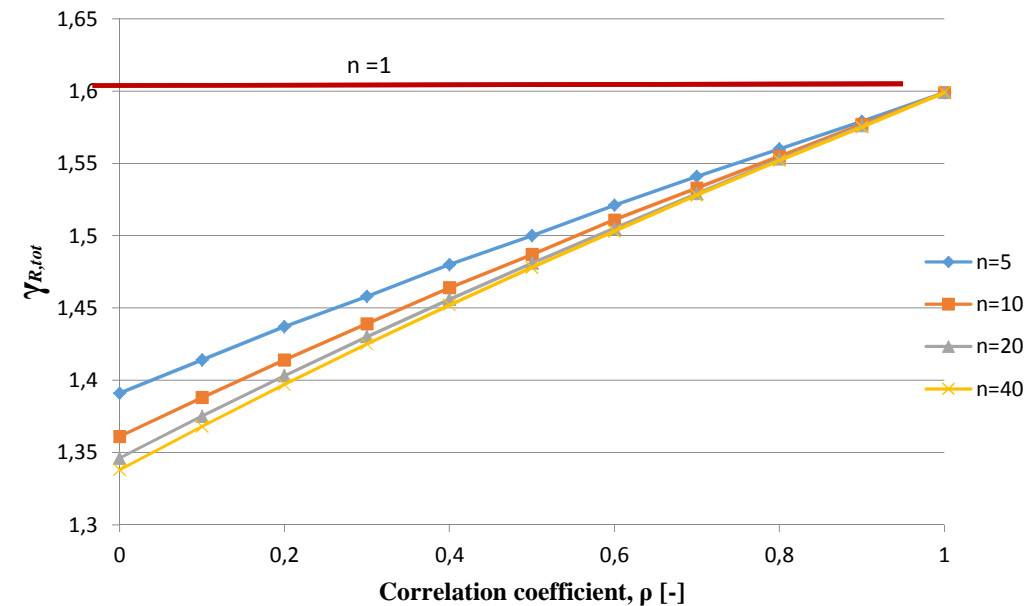
1. Borra vidare tills bra berg nås
2. Provbelasta med betongplugg i botten (större yta mot berg)
3. Beräkna bärförmågan med FEM, baserat på borrhörnorna
4. Injektera berget
5. Borra ned injekterade MAI-stag under spetsen "bergarmering"
6. Mäta fler (samtliga) pålar och sänka säkerhetsfaktorn
7. Ta lägre last och installera extra pålar

# SANNOLIKHETSBASERAD DIMENSIONERING AV PÅLGRUPP

» Den totala osäkerheten:

$$V_R = \sqrt{(V_{R,m}^2 - V_{mf}^2) \left[ \frac{1}{N} + \frac{1}{n^2} \cdot [(n^2 - n)\rho + n] \right] + \frac{V_{mf}^2}{N} + V_{tr}^2}$$

- Pålgruppseffekten för  $n$  antal pålar
- Uppmätt spridning hos bärförmågan  $V_{r,m}$
- Mätfelet,  $V_{mf}$
- Transformationsfelet,  $V_{tr}$
- Korrelationen mellan pålarna,  $\rho$
- Fåtalsprovning  $1/N$



Se mer:

- Exjobb KTH (2014), Andersson J.
- Artikel till NGM (2016) Anderson J., Axelsson G, Beijer A

**FÄRDIG 2025 (KOSTNAD 12,5 MILJARDER)**







TACK FÖR MIG