



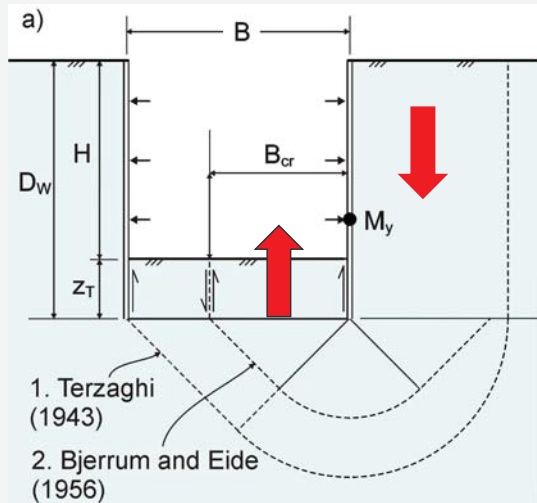
## Kurs Byggegrupsveileder- Stabilitet

Kjell Karlsrud, NGI

### Byggegroper i leire

- Klassisk bunnoppressing innenfor støttevegger
- Tiltak for å øke sikkerhet

## Bunnoppressing-bruddmekansime i leire



$$F = \gamma_M = \frac{N_c \cdot c_{ub} + 2 \cdot c_{uT} \cdot z_T / B_{cr}}{\gamma \cdot H + q - p}$$

$c_{ub}$  = midlere styrke i bruddfigur

$c_{uT}$  = sidefriksjon langs innvendig vegg

NGI

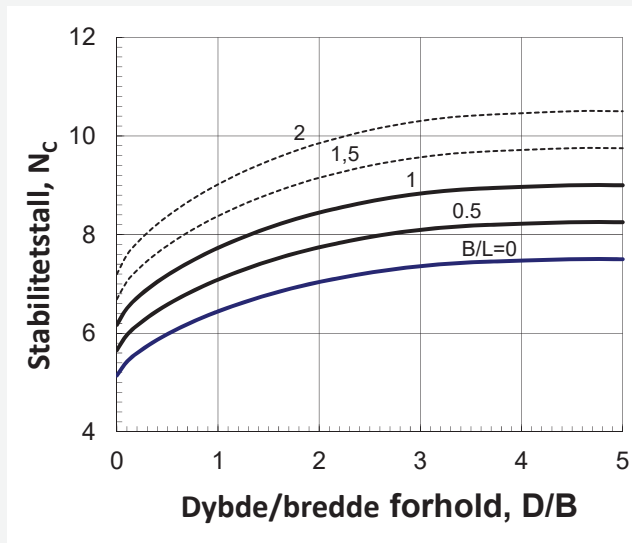
## Valg av styrke $c_{ub}$

- $c_{ub}$  skal representere midlere styrke langs skjærflatene under bunn
- Det vil i praksis si middelvei ned til dybde  $2/3$  av  $B_{cr}$  fra underkant vegg/byggegrøp
- Verdien for  $c_{ub}$  skal ellers representere en midlere verdi av karakteristisk udrenert aktiv, passiv og direkte skjærstyrke, dvs.:

$$c_{ub} = \frac{c_{uC} + c_{uD} + c_{uE}}{3}$$

NGI

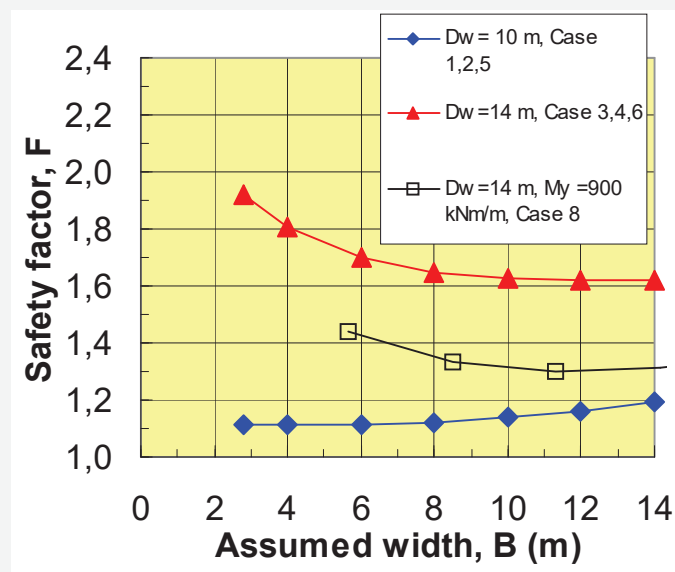
## Stabilitetstallet $N_c$ (NGI Publ.16)



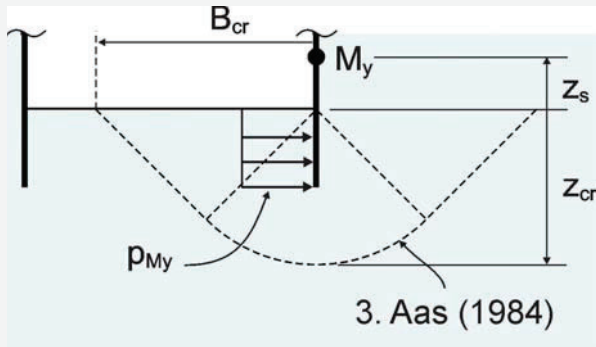
$N_c$  kan beskrives ved kurvetilpasset formel



## Det må søkes etter kritisk bredde



## Tilfelle med "myk" vegg (basert G.Aas, 1984)

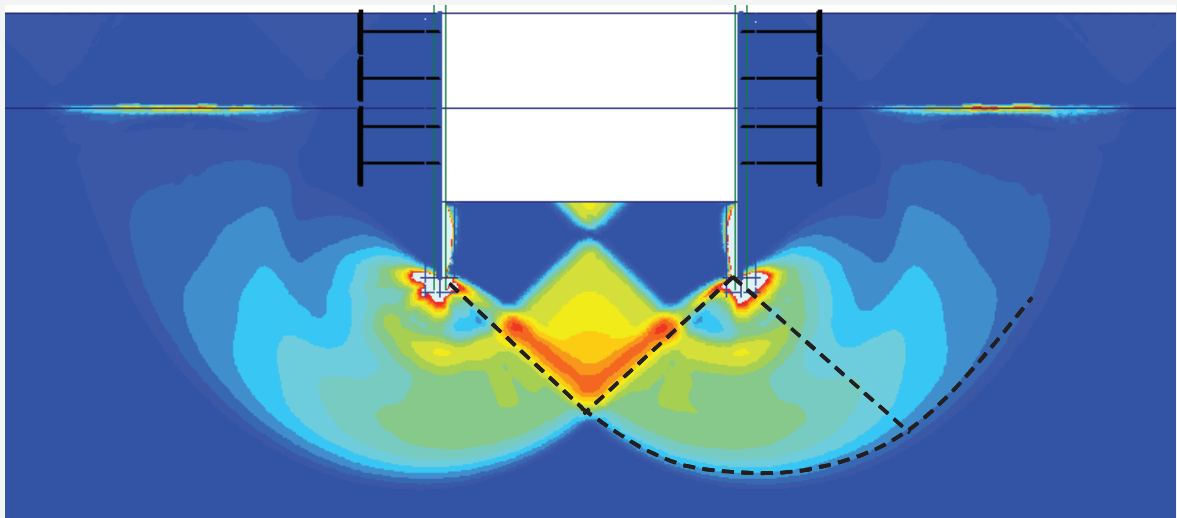


$$F = \gamma_M = \frac{0.94 \cdot N_c \cdot c_{ub}}{\gamma \cdot H + q - p_{My} \cdot z_T / z_{cr}}$$

$$p_{My} = \frac{M_Y - \sigma_{ha} \cdot z_S^2}{z_T^2 + 2 \cdot z_S \cdot z_T}$$

## Bruddmekanismen har vært bekreftet ved PLAXIS beregninger

(eksempelet er Karlsrud & Andresen, 2008, for byggegrøp med på H=10 m, B=16 m)



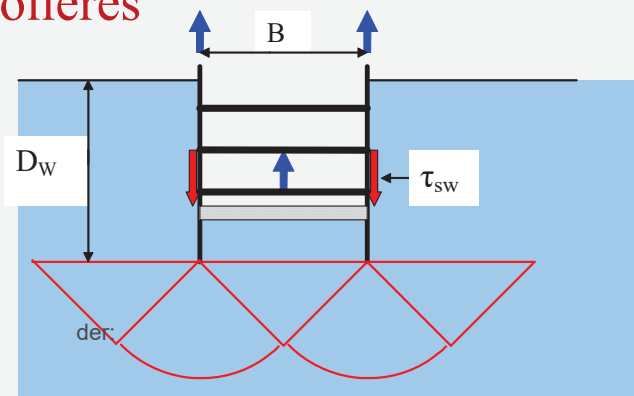
## Sikkerhet fra PLAXIS 2D og 3D viser meget god overenstemmelse med analytisk løsning

(Etter Karlsrud & Andresen, 2008)

Case	B (m)	L (m)	B/L	PLX	Analytisk
4	16	$\infty$	0	1.63	1.63
4-1	16	32	0.5	1.80	1.78
4-2	16	16	1	1.99	1.95



## Sikkerhet mot oppløft av helekonstruksjonen må også kontrolleres



$$F = \gamma_M = \frac{N_c \cdot c_{ub} + 2 \cdot \tau_{sw} \cdot D_w \cdot \frac{L+B}{B \cdot L}}{\gamma \cdot H + q - p}$$

$\tau_{sw}$  midlere karakteristisk utvendige sidefriksjon over spuntveggenes høyde

$D_w$  dybde av spuntfot under terreng



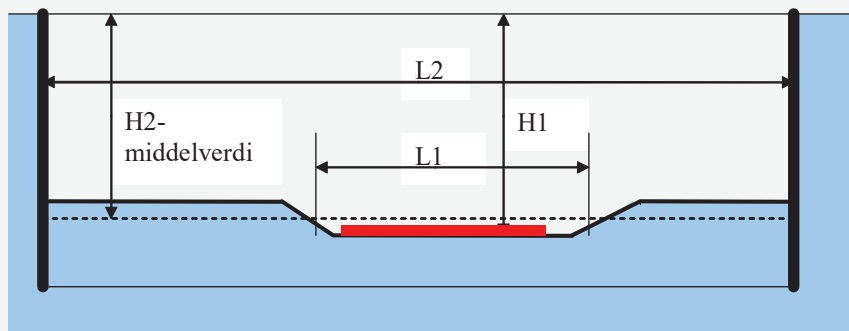
## Tiltak for å øke sikkerhet

- ↗ Seksjonsvis graving-støp underbetong/bunnplate/re-belastning?
- ↗ Dyp støttevegg med høy momentkapasitet
- ↗ Utgraving og støp bunnplate under vann
- ↗ Tverrvegger av betong under traubunn
  - Slissevegger
  - Jet-injiserte vegger
- ↗ Grunnforsterking med KS-massivt eller i ribber

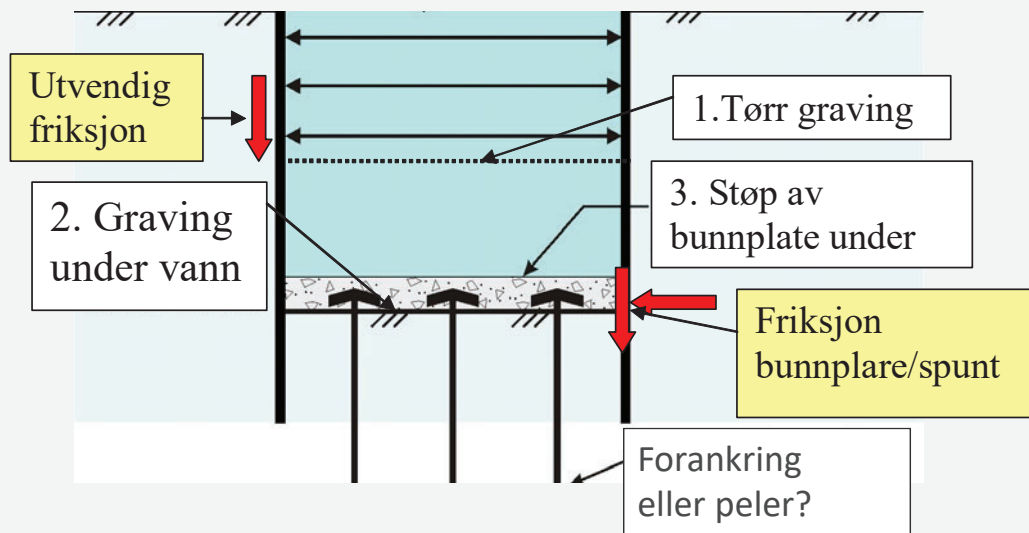


## Seksjonsvis graving

- ↗ Økt sikkerhet gjennom økt  $N_c$  verdi (opptil ca. 20% økning  $\gamma_m$  mulig)
- ↗ Områdene til hver side for seksjonen som graves må ha  $\gamma_m > 1,4$
- ↗ Det må også kontrolleres at midlere  $\gamma_m > 1,4$
- ↗ Seksjon som støpes/re-belastes må også ha  $\gamma_m > 1,4$

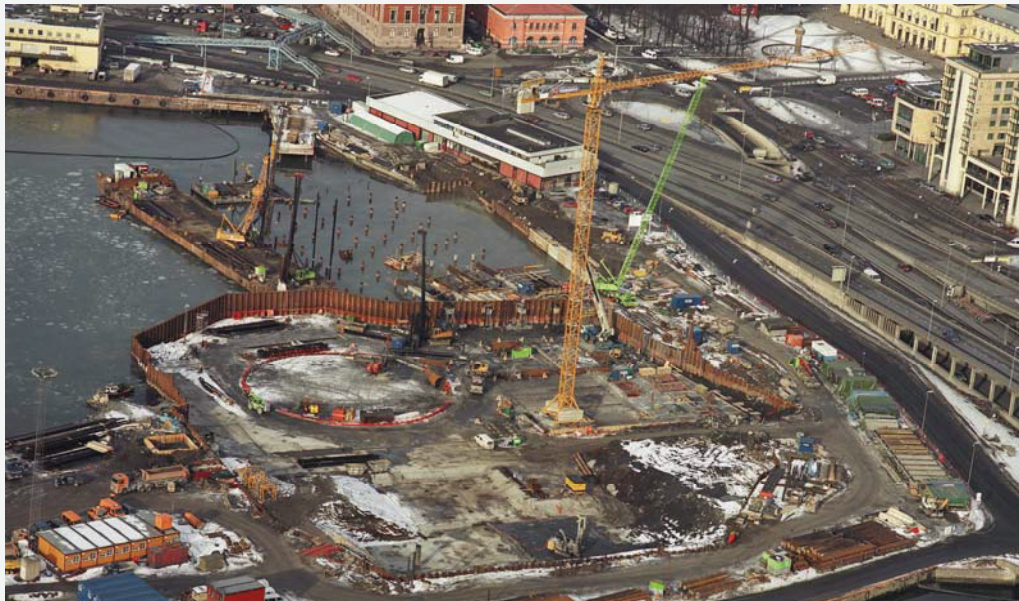


## Prinsipp for graving under vann



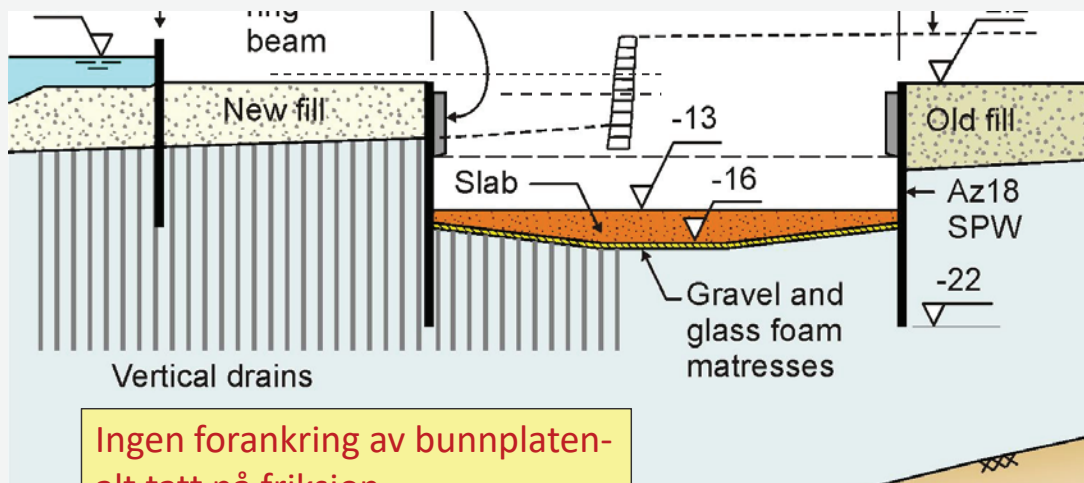
NGI

## Eksempel fra dyp kjeller for Operaen



NGI

## Snitt sylindrisk spuntgrop Operaen (Etter Karlsrud, 2008)



NGI

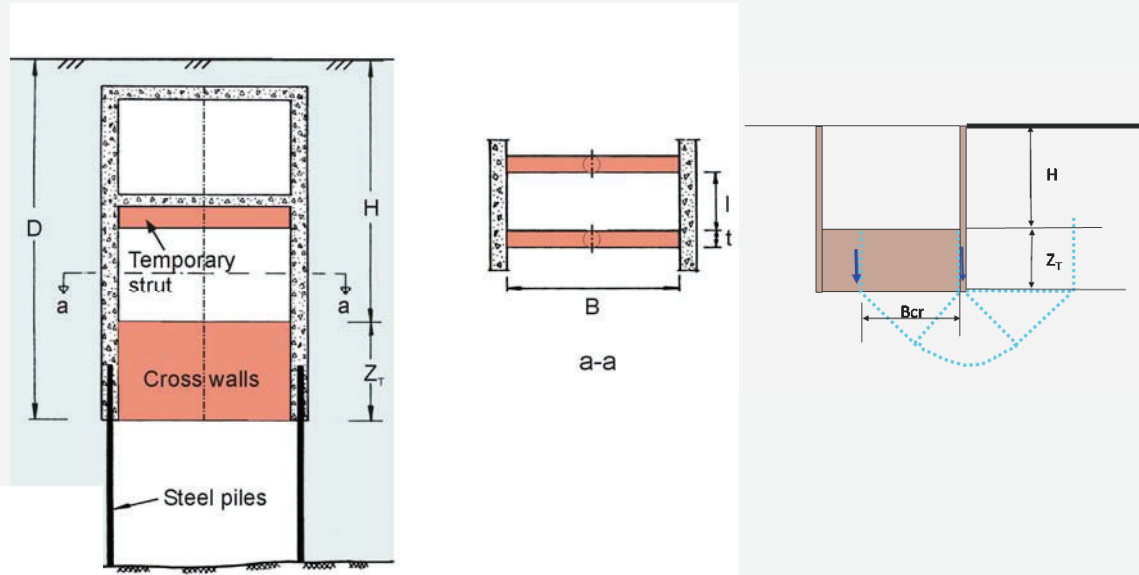
## Ferdig utgravet Operaen



NGI



## Slissevegg-Tverrvegg (ST) konseptet først anvendt i Studenterlunden (Etter Eide et al, 1973)



NGI

## Beregning av sikkerhet for ST konseptet

$$F = \gamma_M = \frac{N_c \cdot c_{ub} + N_{sf} \cdot c_{uw} + N_t \cdot c_{ut}}{\gamma \cdot H + q}$$

$$N_{sf} = \text{bidrag fra sidefriksjon} = \frac{2 \cdot (B+l) \cdot z_T}{B \cdot (l+t)}$$

$$N_t = \text{bidrag fra spissmotstand} = \frac{7.5 \cdot B}{B \cdot (l+t)}$$

NGI

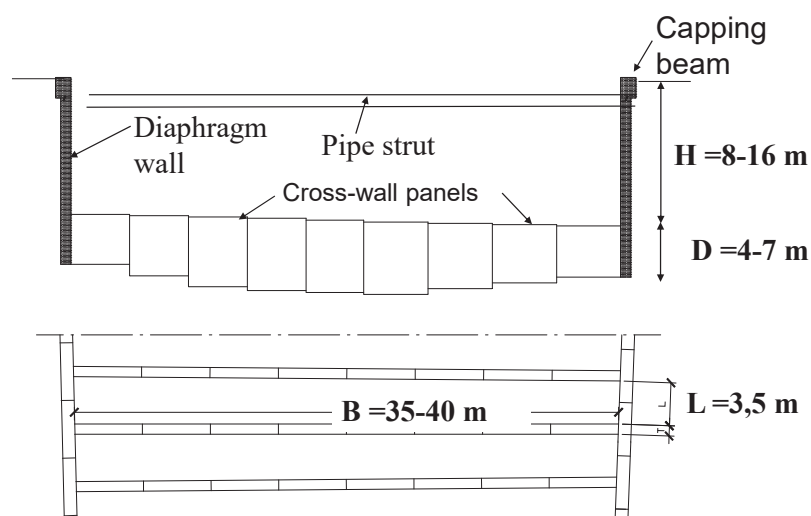
Det må også kontrolleres for brudd gjennom en enkelt åpning

$$F = \gamma_M = \frac{N_c \cdot c_{ub} + N_{sf} \cdot c_{uw}}{\gamma \cdot H + q}$$

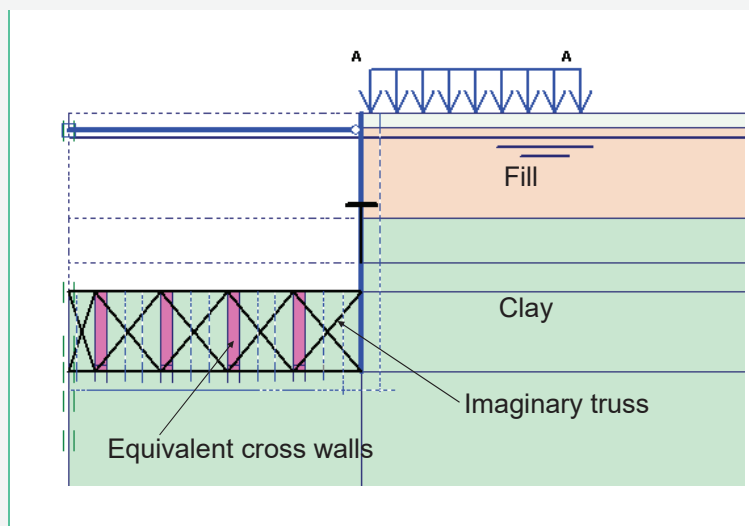
$$N_{sf} = \text{bidrag fra sidefriksjon} = \frac{2 \cdot (B+l) \cdot z_T}{B \cdot l}$$

## Eksempel på slissevegg løsning vegttunnel Gøteborg

(etter Karlsrud et al, 2005)

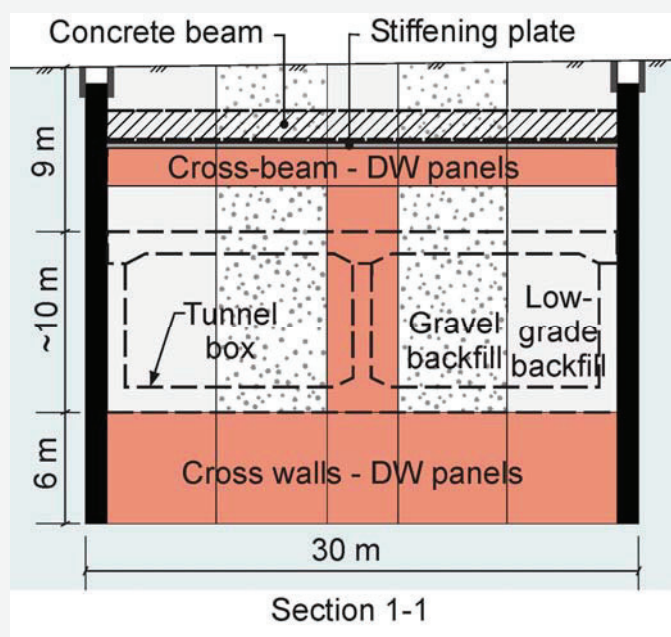


## Ekvivalent 2D FEM modell viste seg å gi meget gode resultater (Etter Karlsrud & Andresen, 2008)



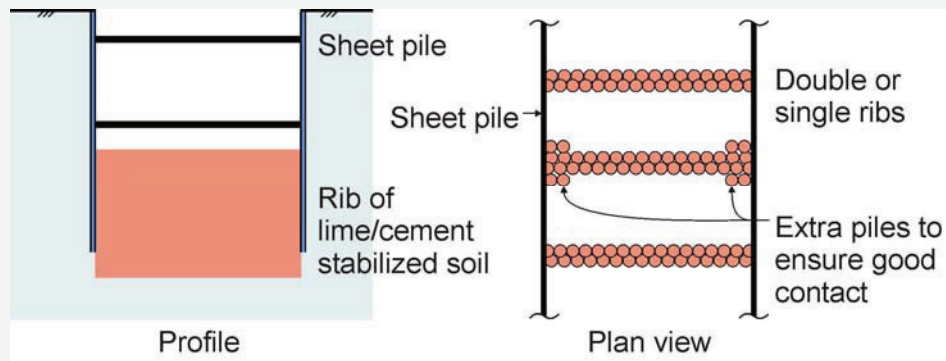
NGI

## Slissevegg løsning Sørenga (etter Karlsrud, 2007)



NGI

Kalk/semest stabilisering er meget ofte anvendt som stabiliserende tiltak- generelt gode erfaringer



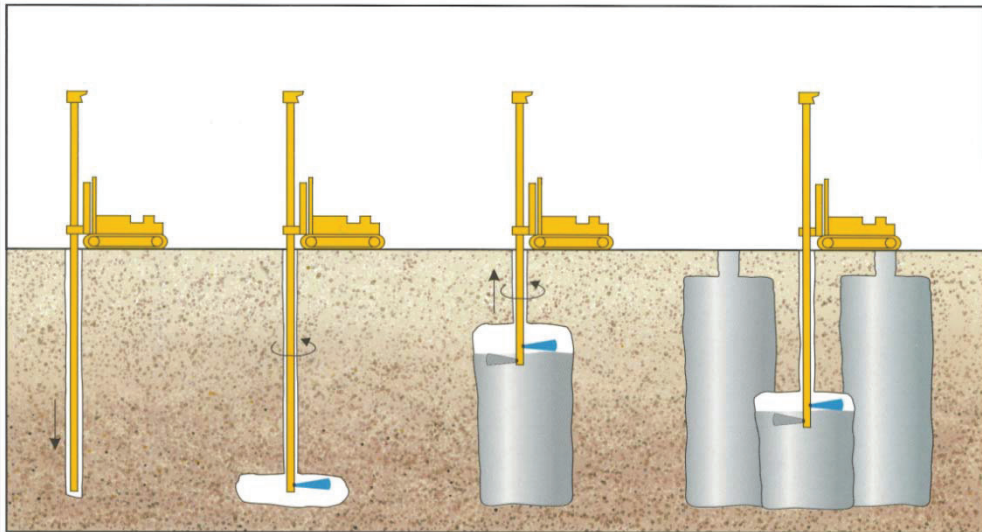
NGI

Eksempel på KS-stabiliserte ribber



NGI

## Jet-injisering kan også fungere meget godt som ribber under traubunn



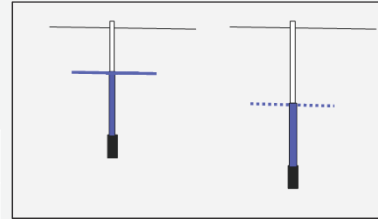
## Byggegrøper i friksjonsjord- hydraulisk stabilitet

- ↗ Hydraulisk grunnbrudd
- ↗ Hydraulisk oppløft
- ↗ Tiltak for å bedre stabilitet

## Definisjon av trykkpotensialet

$$H_{tot} = \frac{u}{\gamma_w} + z$$

u=	poretrykk i kPa i det gitte punktet
z=	kotenivå punktet befinner seg (eventuelt relativ høyde i forhold til en referansehøyde)



## Hydraulisk grunnbrudd inntreffer når:

$$i \cdot \gamma_w \geq \gamma'$$

i = Strømningsgradienten definert ved:

$$i = \Delta H / \Delta z$$

$\Delta H$  = Potensialfall i meter vannsøyle  
over høyden  $\Delta z$

$\gamma_w$  = Romvekt av vann

$\gamma'$  = Neddykket romvekt av jord

## Konsekvenser av for stor strømningsgradient

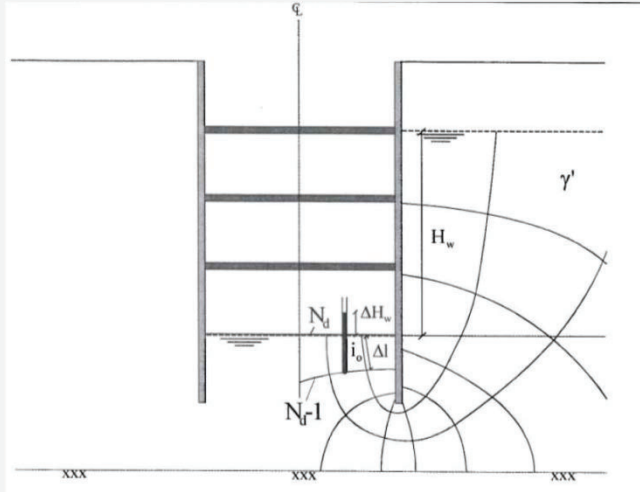
1. Null effektivspenning  
Støtteveggen mister passivt mothold  
**«Gyngebunn» oppstår**
2. Grunnvannserosjon eller "piping"  
Videre utvikling sterkt avhengig av lagdeling



## Eksempel på kjebler skapt av grunnvannserosjon



## Strømnett for homogen jord



Trykkpotensialet i et punkt

$$H_{tot} = \frac{u}{\gamma_w} + z$$

u poretrykk i kPa i det gitte punktet

z kotenivå punktet befinner seg

## Krav til sikkerhet mot grunnvannserosjon

Krav til maksimal utløpsgradient er

$$i_o < i_c / \gamma_{G;dst} = \gamma' / \gamma_{G;dst} \cdot \gamma_w$$

Anbefalt:

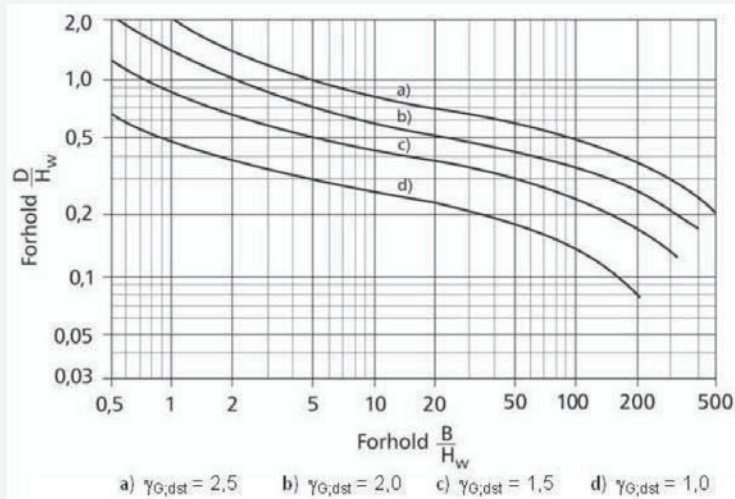
Homogen grus og grov sand:  $\gamma_{G;dst} > 1,35/1,5$

Homogen fin sand :  $\gamma_{G;dst} > 2-2,5$



## Eksempel på beregnet akseptabel geometri for langstrakt byggegrop i homogen sand

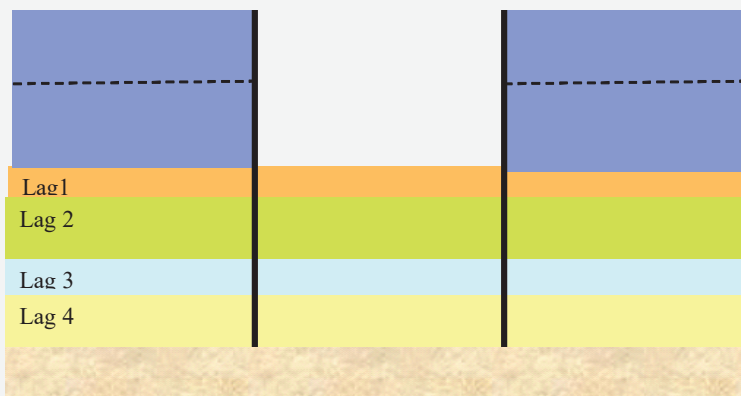
(Etter NGI Publ.16, Janbu et al 1956)



NGI

## Håndtering av lagdelt jord

- Start med enkel håndberegning- idealisert modell
- Transformer strømnett
- Bruk egnet regneprogram



NGI

## Formelgrunnlag lagdelt grunn

For Lag 1:

$$\Delta H_1 = \Delta H_{\text{tot}} / (1 + k_1 z_2 / z_1 k_2 + k_1 z_3 / z_1 k_3 + \dots)$$

For Lag n

$$\Delta H_n = k_1 z_n / z_1 k_n \text{ for de underliggende lag}$$

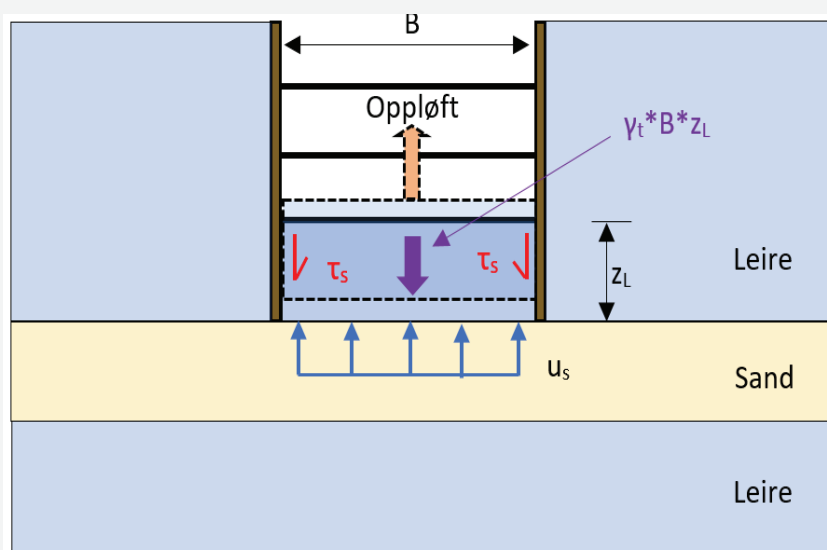
Gradient i det enkelte lag bestemmes ved

$$i_n = \Delta H_n / z_n$$

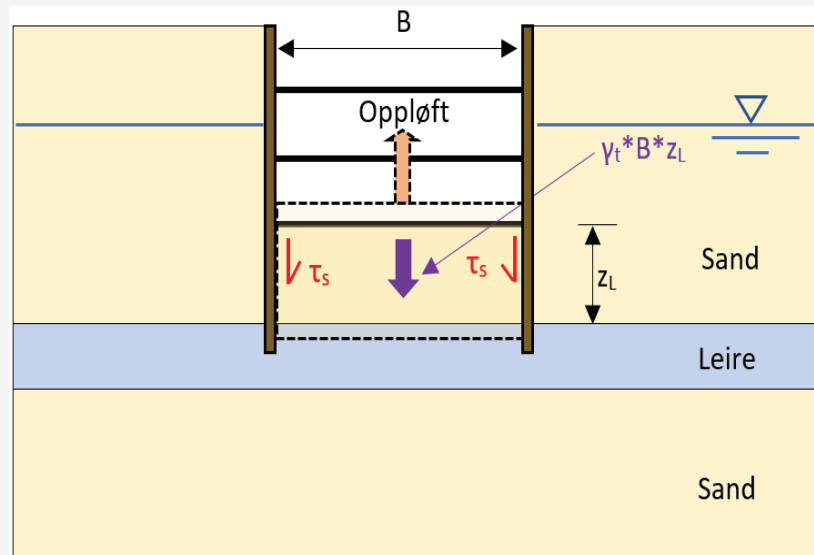
Permeabilitet som øker med dybden under traubunn er spesielt ugunstig



## Sikkerhet mot hydraulisk oppløft ved sandlag under spuntfot (ugunstig)



## Sikkerhet mot hydraulisk oppløft ved spuntfot i lokalt tett leirlag (gunstig)



## Tiltak for å bedre hydraulisk stabilitet

- ↗ Vegg ned i tett lag i tilstrekkelig dybde
- ↗ Graving under vann
- ↗ Brønner- reduksjon av vanntrykk
- ↗ Injeksjon/tetting av vannførende lag

## Drenering /brønner

### ➤ Passive avlastningsbrønner

- I finkornig lagdelt grunn (leire/silt/finsand) er PVD effektivt
- Brønner med gruskasting mer aktuelt i renere sandavsetninger. Må installeres før det er oppad rettet strømning i byggegropen

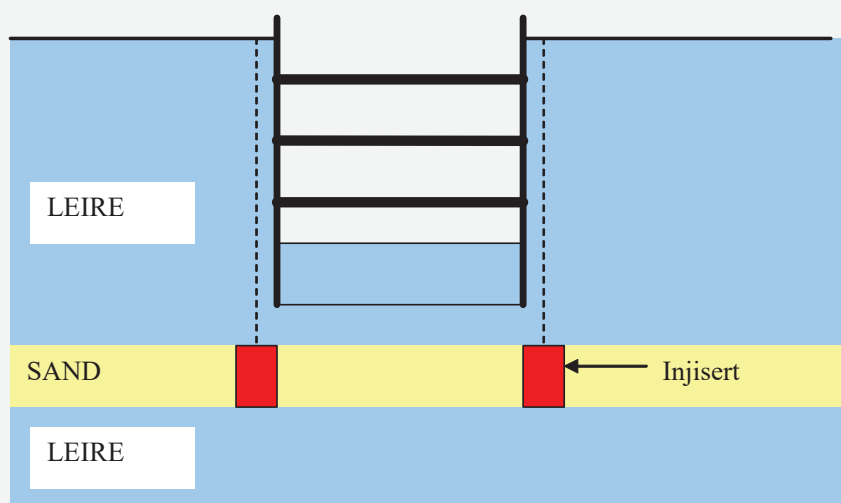
### ➤ Pumpebrønner

- Sugespissanlegg (wellpoints)- godt egnet i fin til mellom sand
- Vanlige pumpebrønner med nedsenket løftepumpe – best egnet mellom til grover sand og grus

Brønner innenfor byggegrop er generelt mest effektive, men utenfor kan også fungere godt, avhengig av grunnforhold/lagdeling

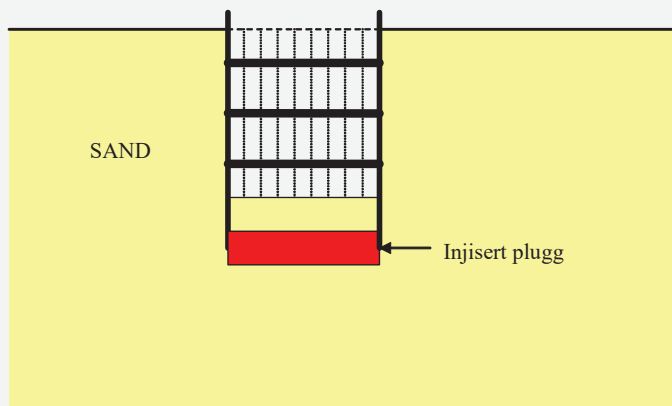


## Avskjærende injeksjon



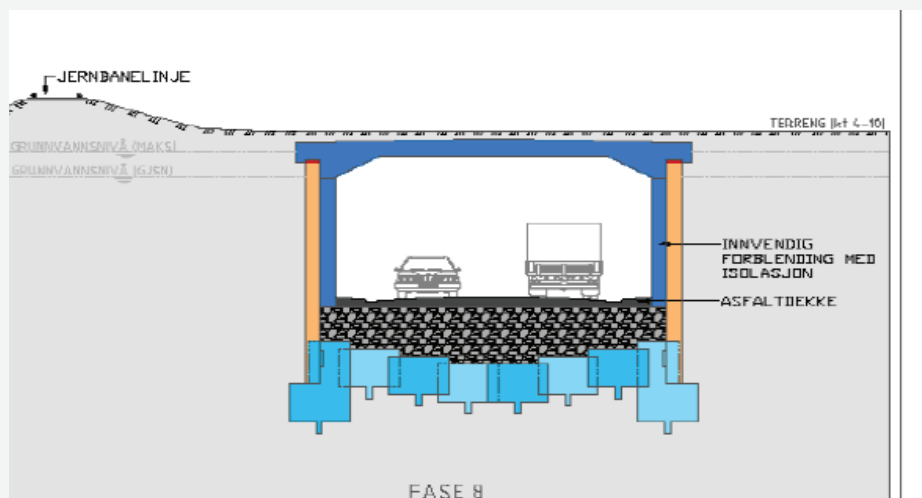
## Injisert plugg

Grov sand/grus: Kjemisk injeksjon  
 Ellers: Jet-injisering (anvendt tunnel Skien)



NGI

## Vellykket eksempel på anvendelse jet-injisert plugg Hovenga tunnelen i Porsgrunn (fra L. Hoksrud, Jetgrunn AS)



NGI