

# Tätridå under dammar- design, utförande och kontroll

Håkan Stille

2017-10-10

SwedCOLD

# Tätridån är en viktig del för dammens funktion

- Minskar läckaget
- Minskar upptrycket och därmed förbättrar dammens stabilitet
- Minskar hastigheten på det strömmande vattnet och minskar därmed risken för kontakterosion
- Minskar hastigheten på det strömmande vattnet och minskar därmed risken för erosion av fyllnadsmaterial i bergets sprickor, vilket kan leda till sättningsskador, ökande läckage och högre upptryck samt lägre sprickhållfastheter.

# Internationell praxis

## Houlsbys diagram

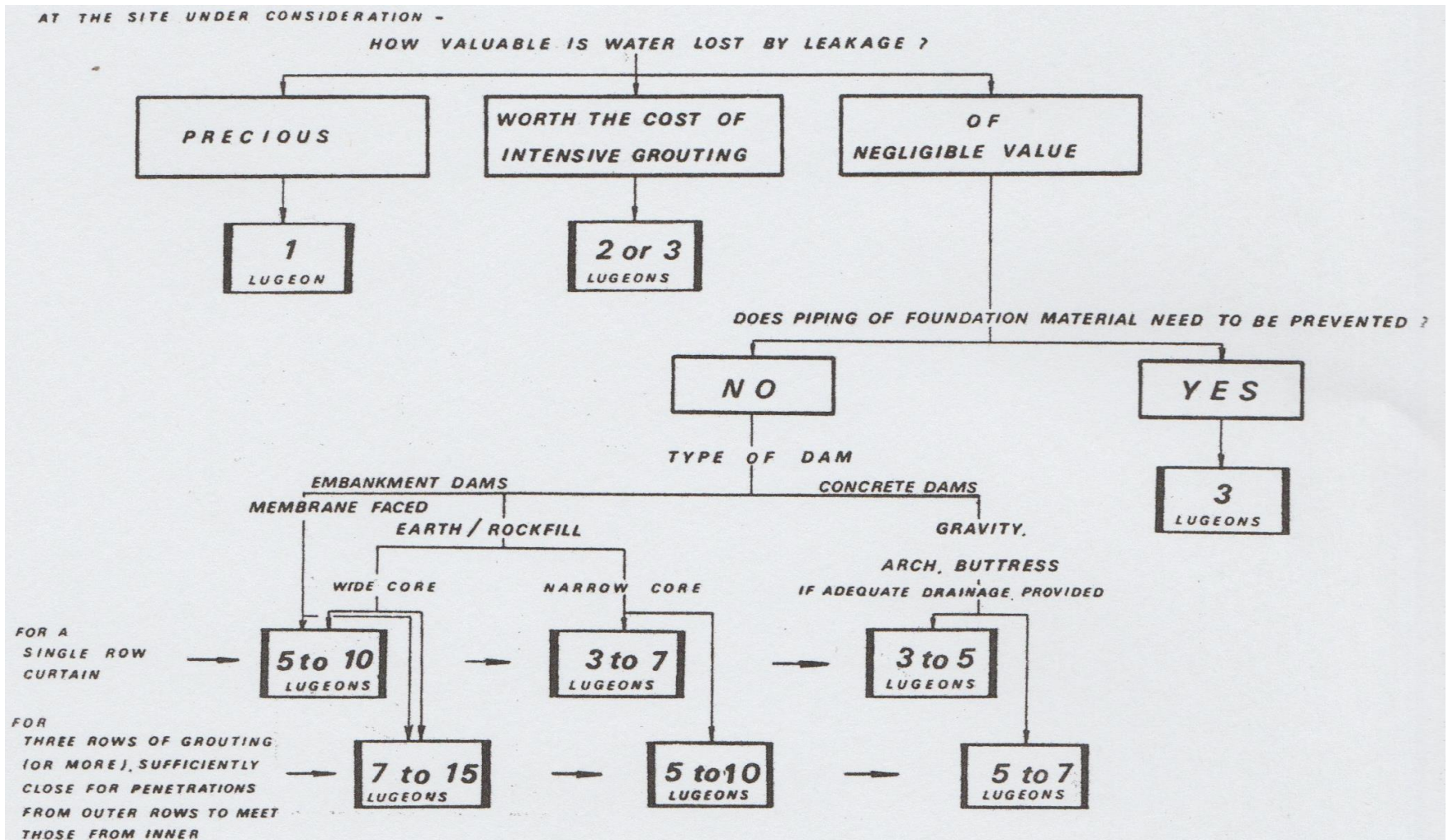
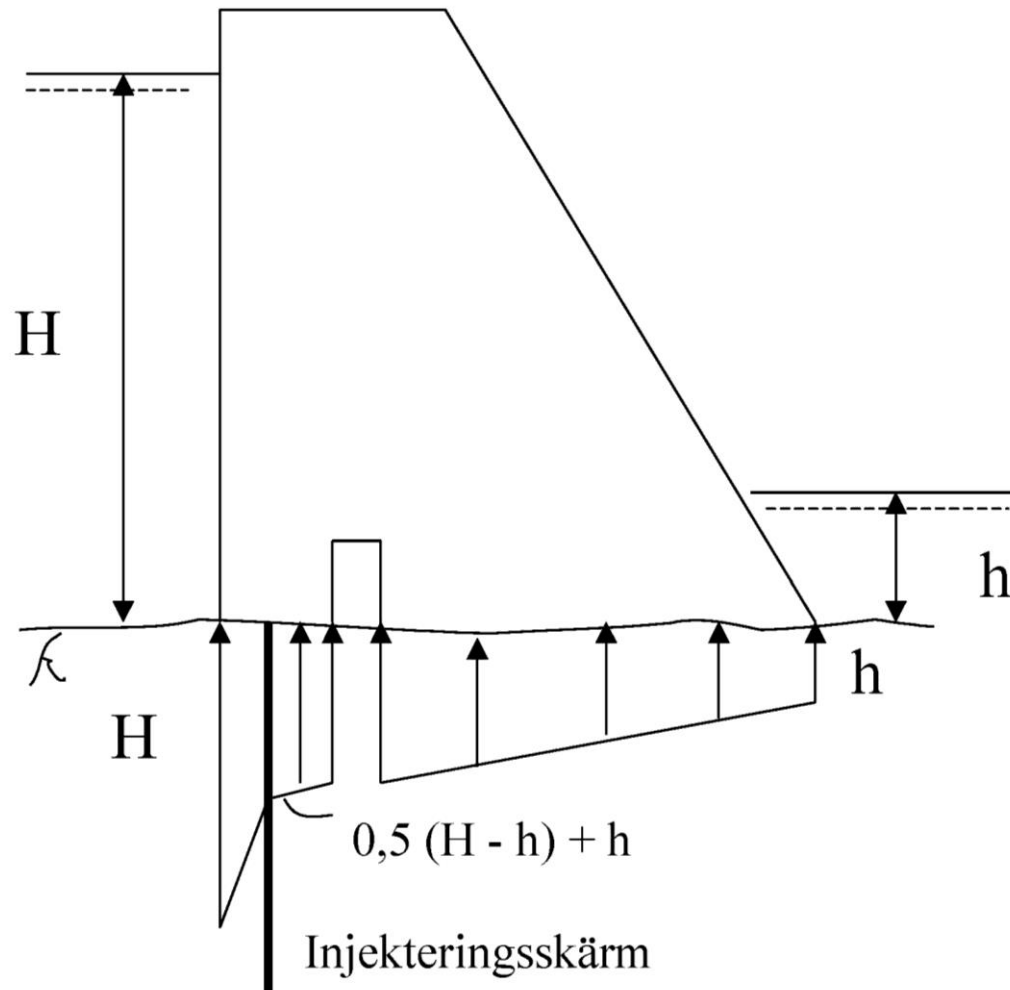


Figure 8.3-3A. Guide to the need for grouting at a dam.

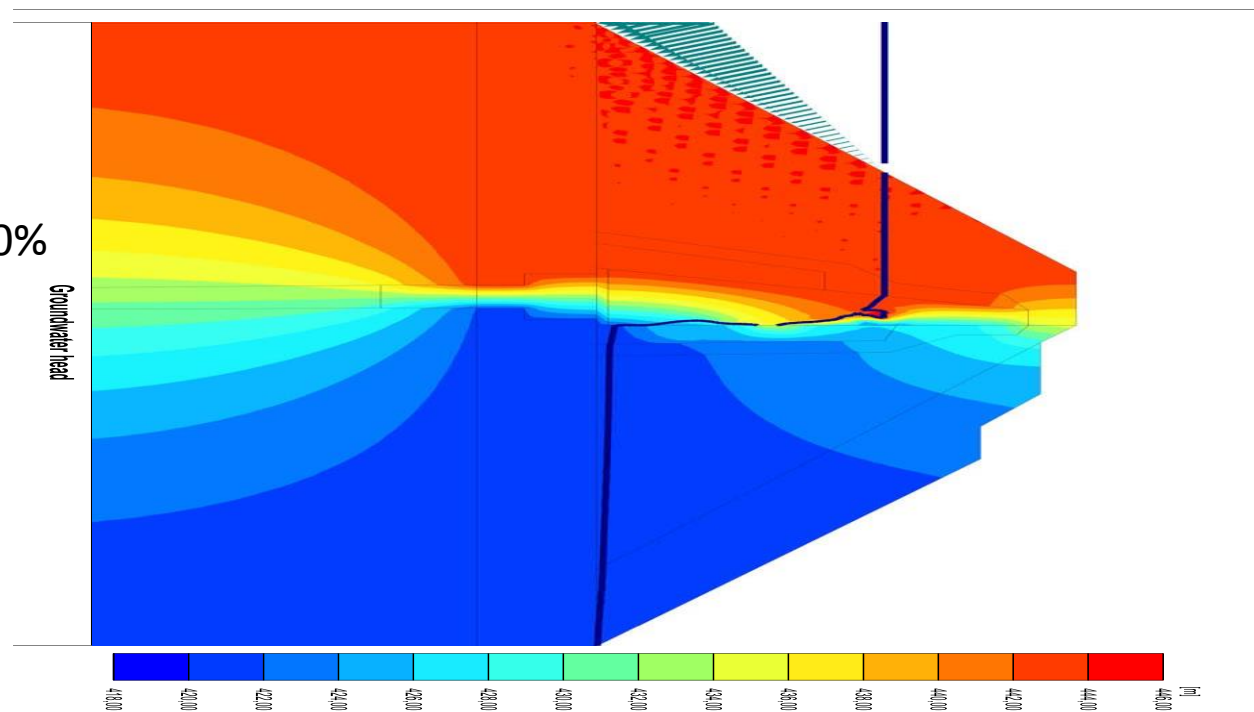
# Ridån påverkar upptrycket



# Gradienten över ridån

- Beräknas som tryckfallet delat med bredden (B) på ridån  
 $i = (0,5H + 1,5h) / B$  upp till  $i = (H - h) / B$

Tryckfallet,  $\Delta H$ , över ridån är ca 50 till 100% av Trycket H.



# Vattenhastigheter

- Högre gradienter ger högre hastigheter
- Medelhastigheten styrs av Darcys lag

$$v = K \cdot i$$

K är berget hydrauliska konduktivitet

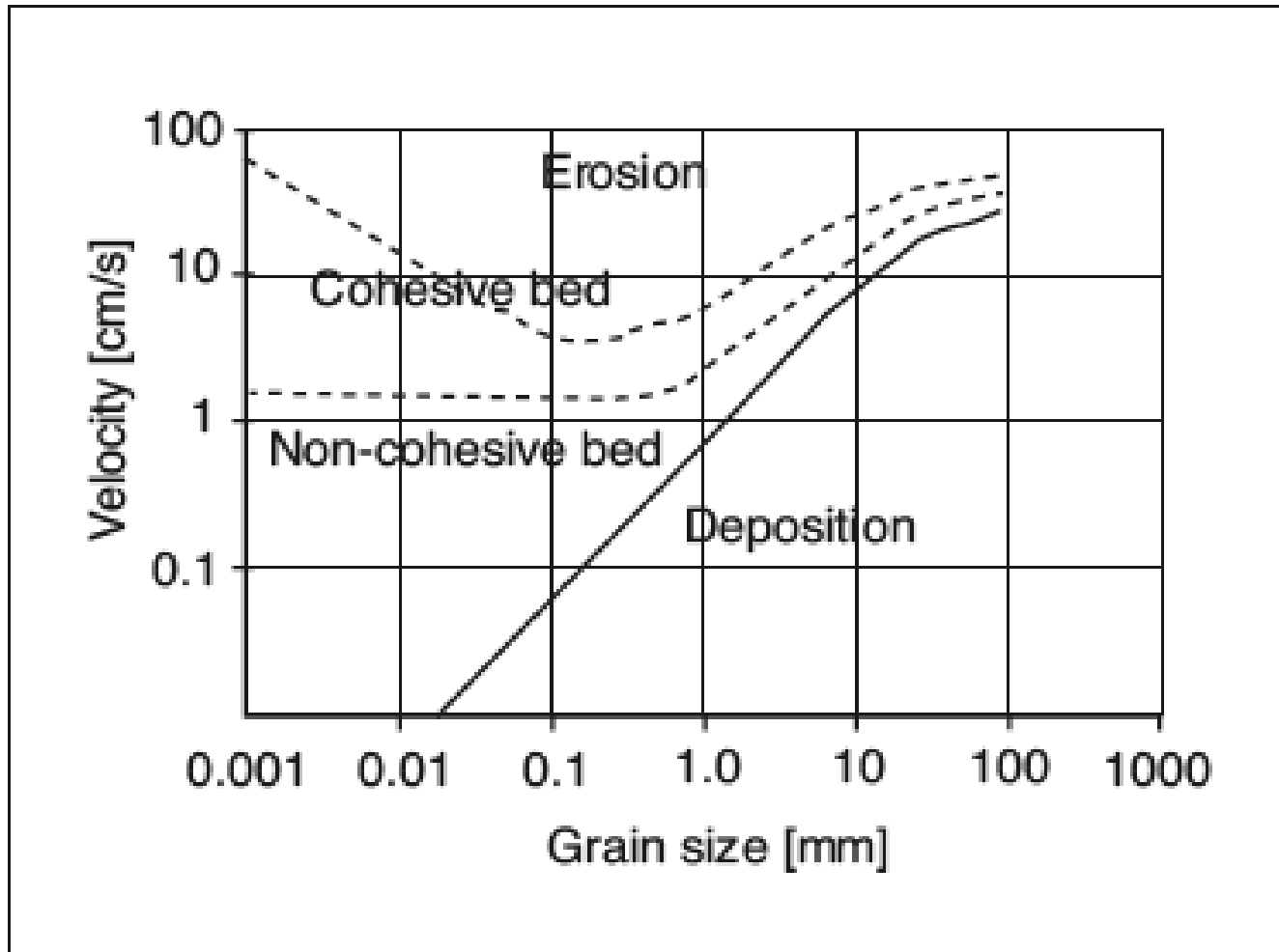
$$(1 \text{ Lugeon} = 10^{-7} \text{ m/s})$$

- Verklig hastighet beror på porositeten dvs( Sprickvidden  $b$ ), (Kanske 100 till 10000 gånger större än  $v$ ).

$$v_s = \frac{\rho g}{12\eta} b^2$$

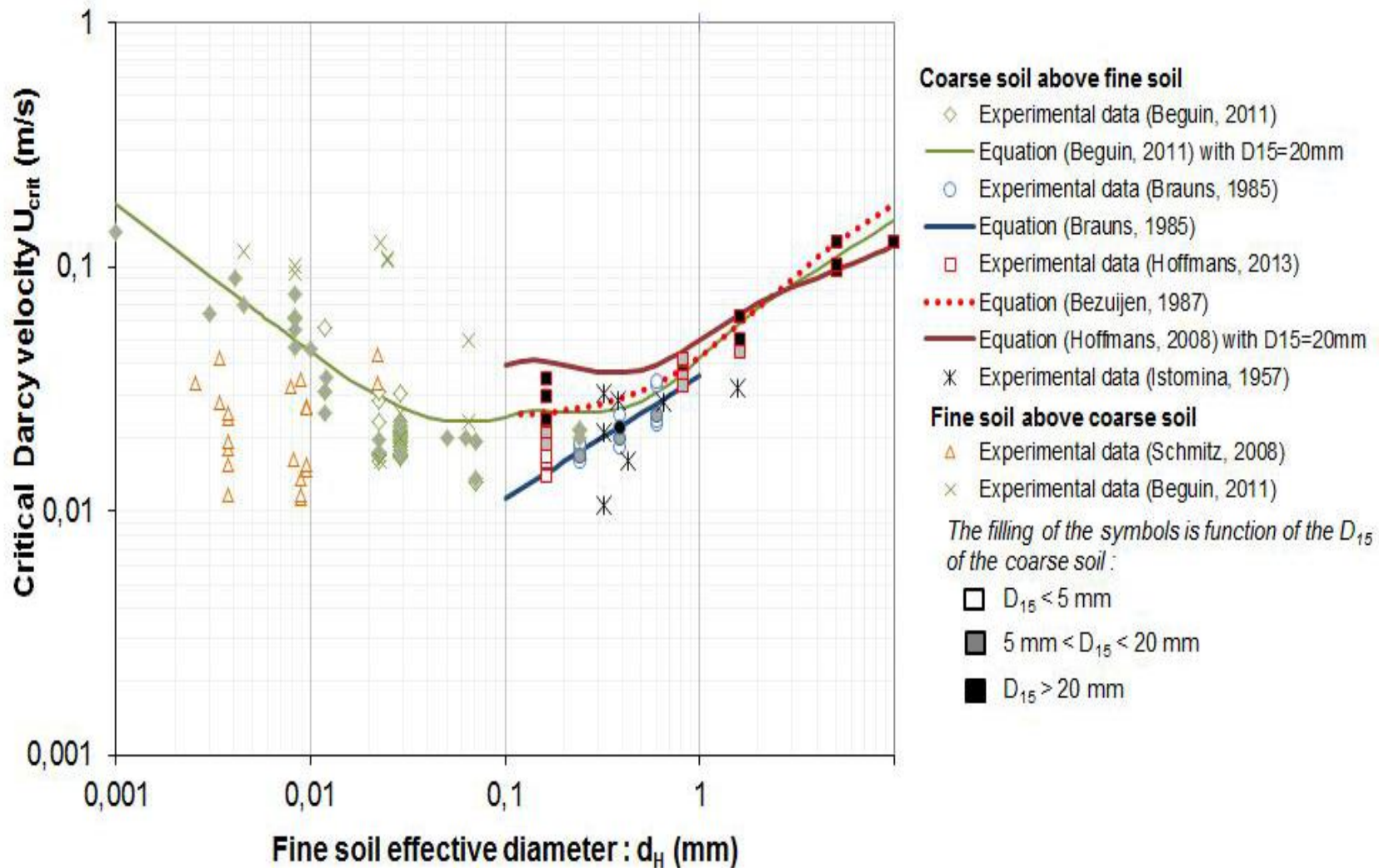
# Erosion-Kritiska hastigheter

## Gamla svenska undersökningar



# Erosion

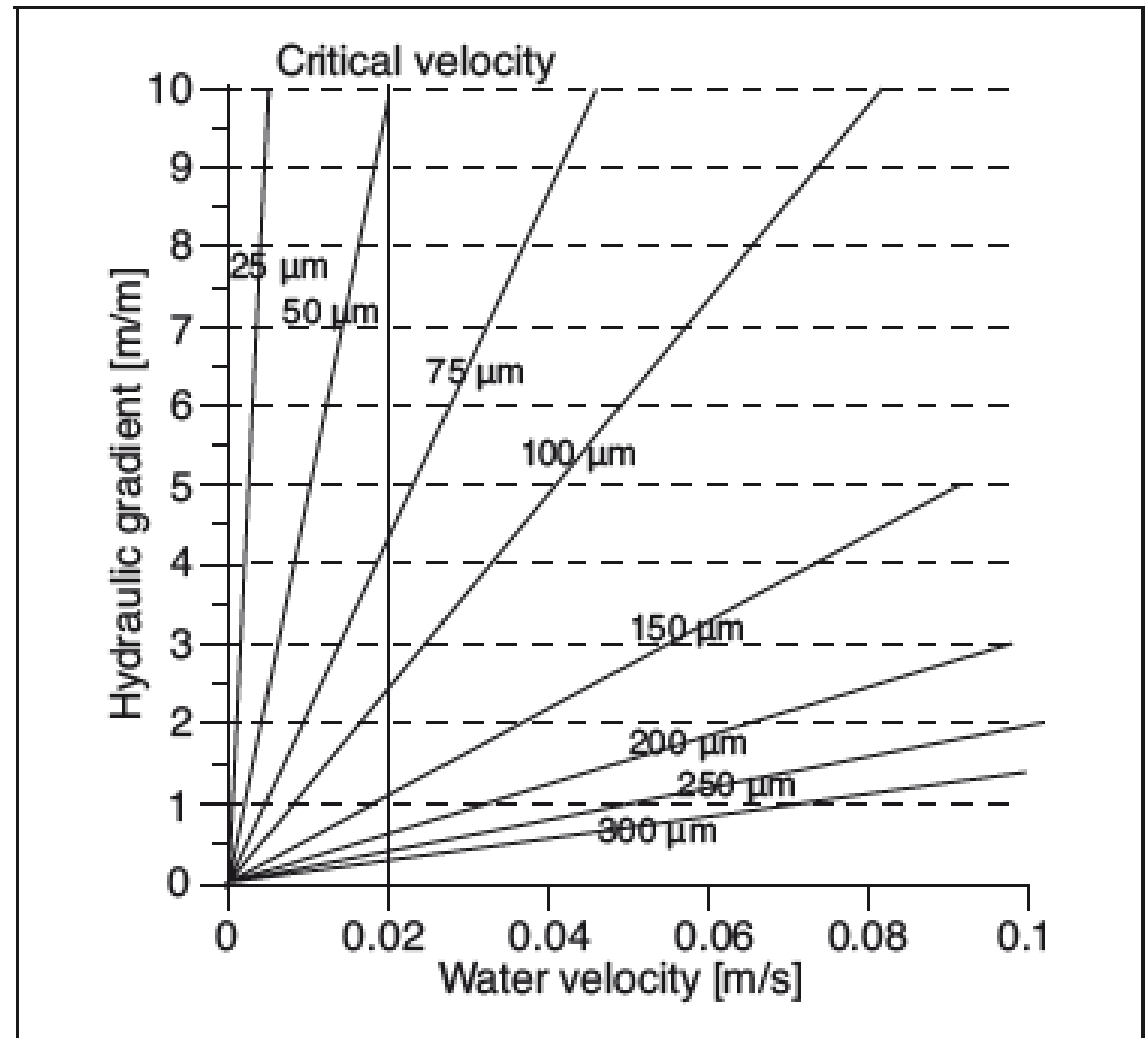
## Internationella undersökningar



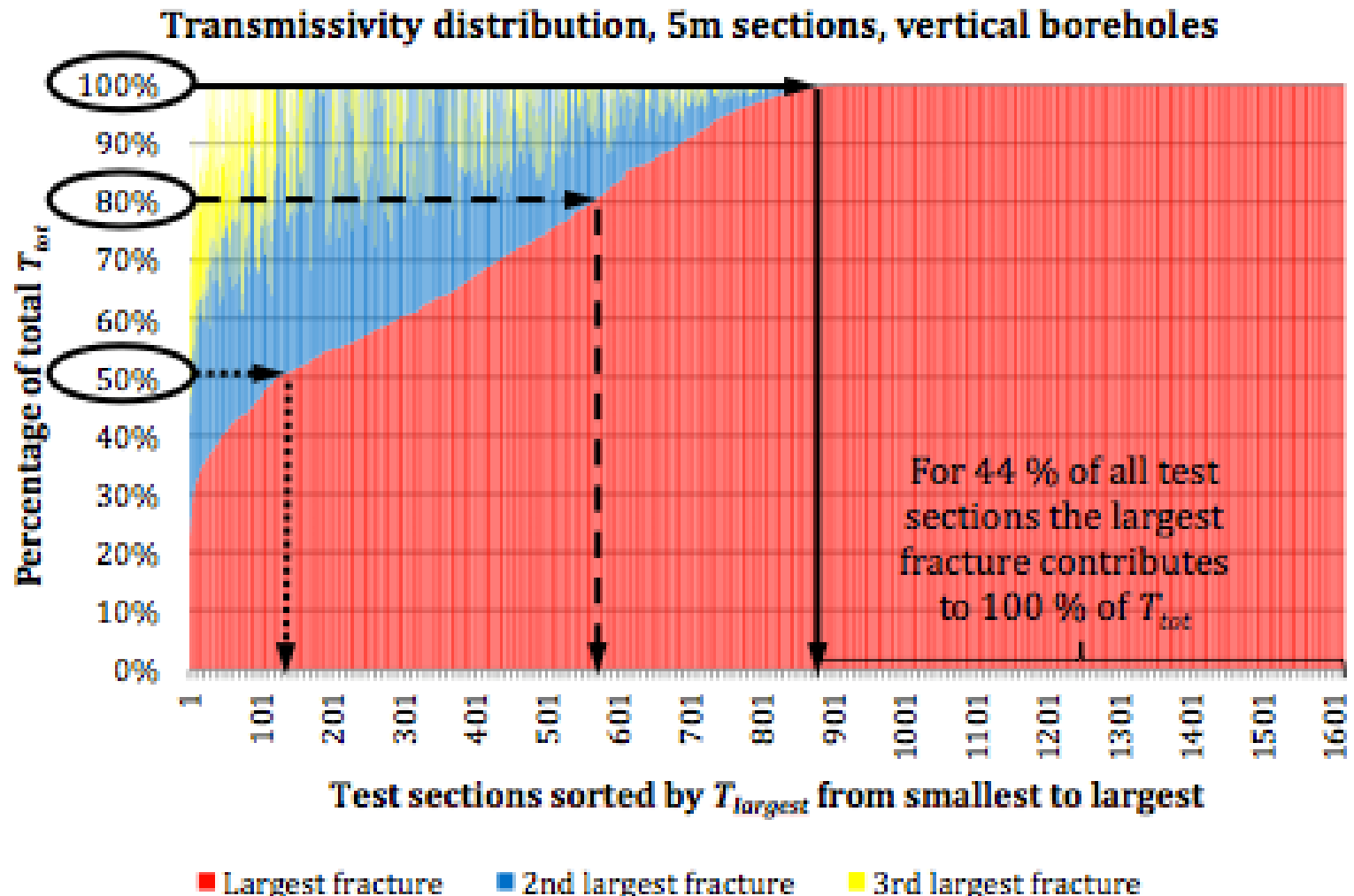


# Kritisk hastighet för erosion

$$b < \sqrt{\frac{12\eta}{\rho g} \cdot \frac{v_{crit}}{i}}$$



# Flödet i bergsprickor relativt totala flödet



# General sealing of fractures

Relative number of fractures	Relative fracture aperture	Part of the total transmissivity	Reduction of flow if the fractures down to the relative aperture are sealed	Reduction in maximum flow velocity if the relative aperture are sealed
1	$b_1$	75%	75%	75%
2	$b_1/2$	15%	90%	94%
4	$b_1/4$	5%	95%	98%
8	$b_1/8$	3%	98%	>98%
-	$< b_1/8$	$< 2\%$	$>99\%$	-

Konduktivitet m/s	Transmissivitet m <sup>2</sup> /s ( Största sprickan)	Sprickvidd mm
2500 10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-3</sup>	1,06
250 10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-4</sup>	0,49
25 10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-5</sup>	0,23
2,5 10 <sup>-7</sup> (2 Lugeon)	10 <sup>-6</sup>	0,11
0,25 10 <sup>-7</sup> (0,2 Lugeon)	10 <sup>-7</sup>	0,049

# Fundering

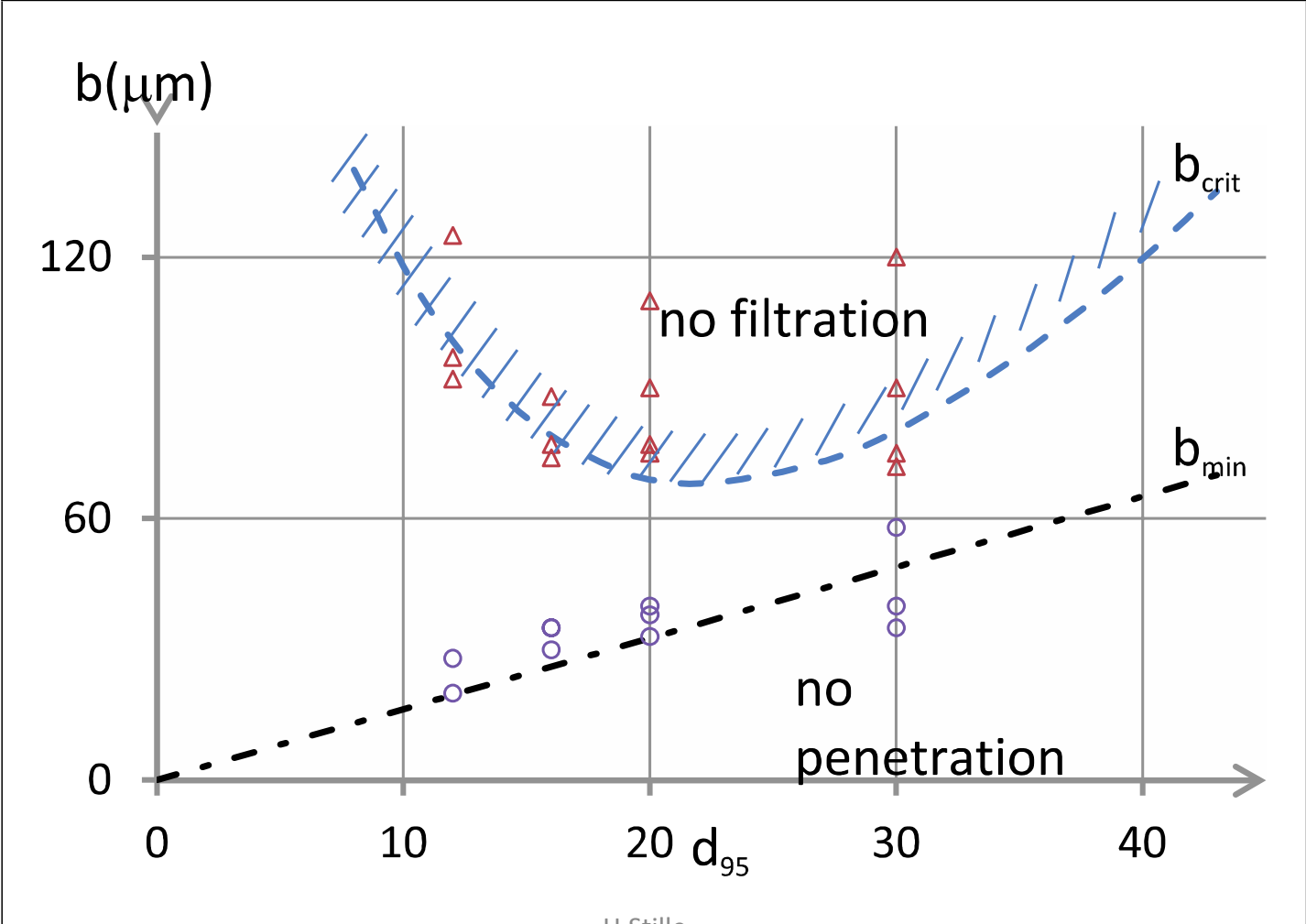
- Gårdagens krav(>2 Lugeon) ser ut att ha lämnat kvar sprickor otätade i berget (>0,11 mm) som har sprickvidder större än kritisk vidd för erosion (0,075 mm).
- Om material finns i sprickorna kommer det att transporterats bort via erosion.
- Detta påverkar upptrycket och försämrar stabiliteten på flera sätt.
- Ny dammar bör tätas minst en tiopotens bättre än gårdagens krav.

# Cementbruk

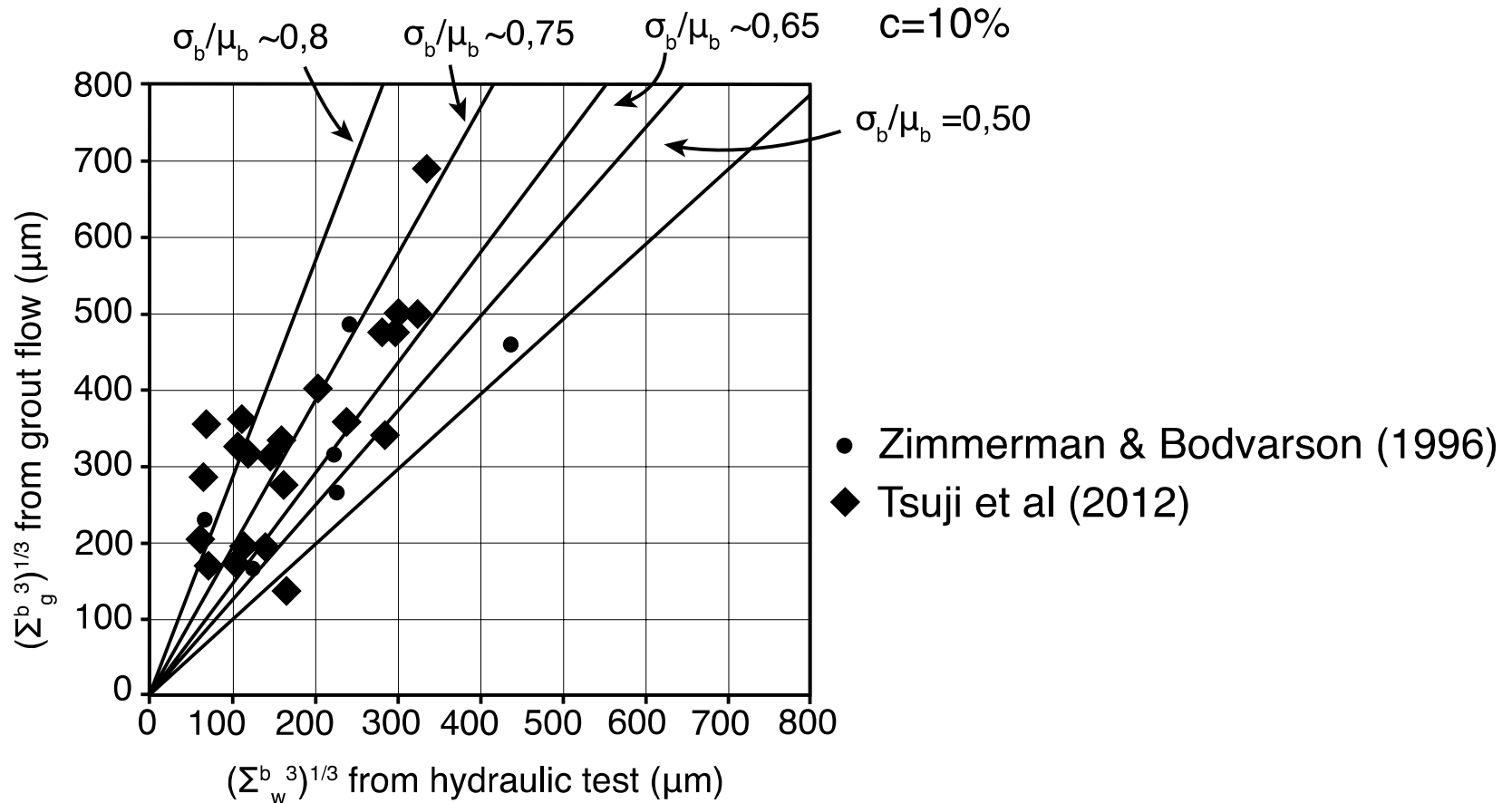
## Klarar det de nya kraven ?



# Penetrability of cement-based grout

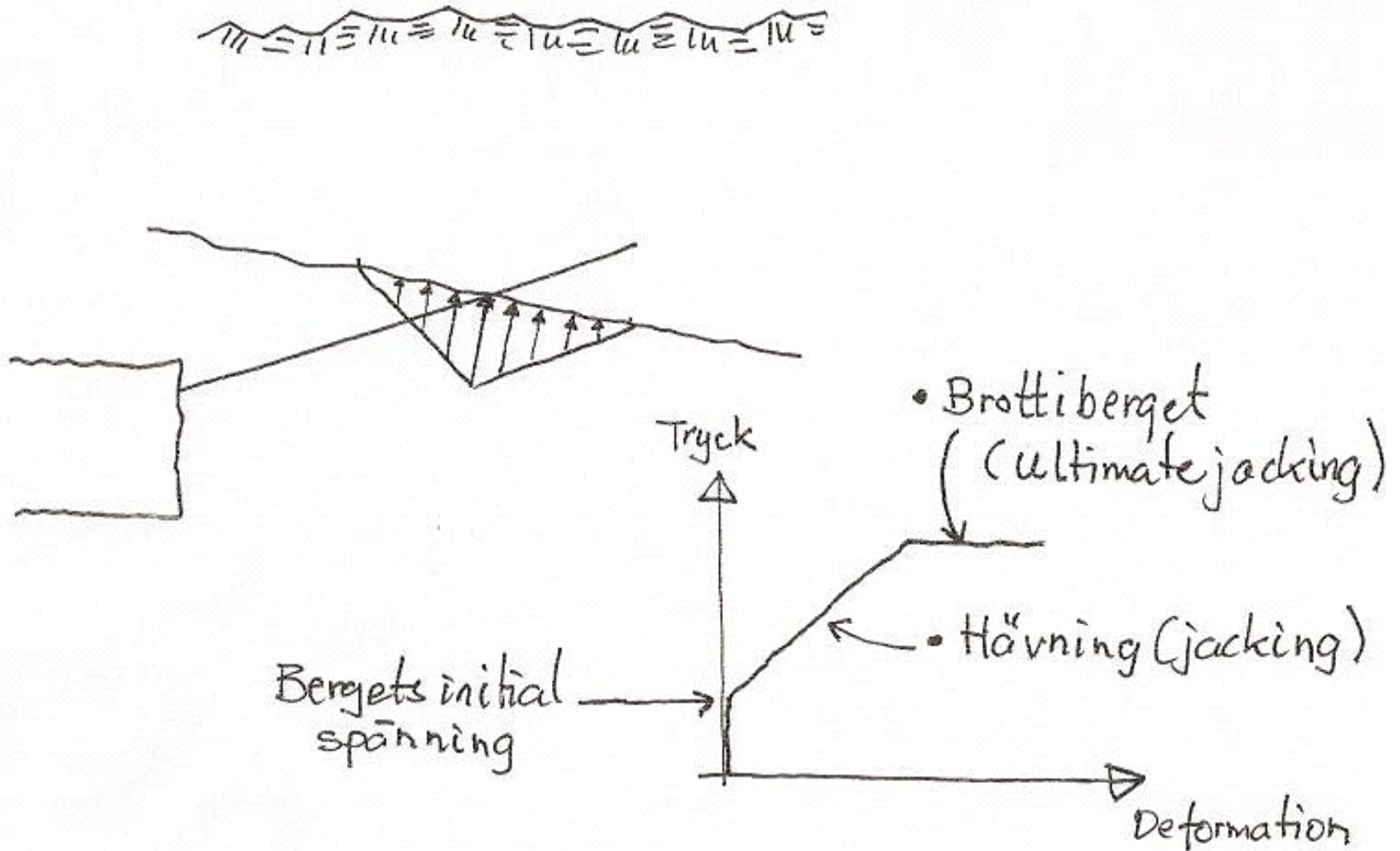


# Physical and hydraulic fracture apertures

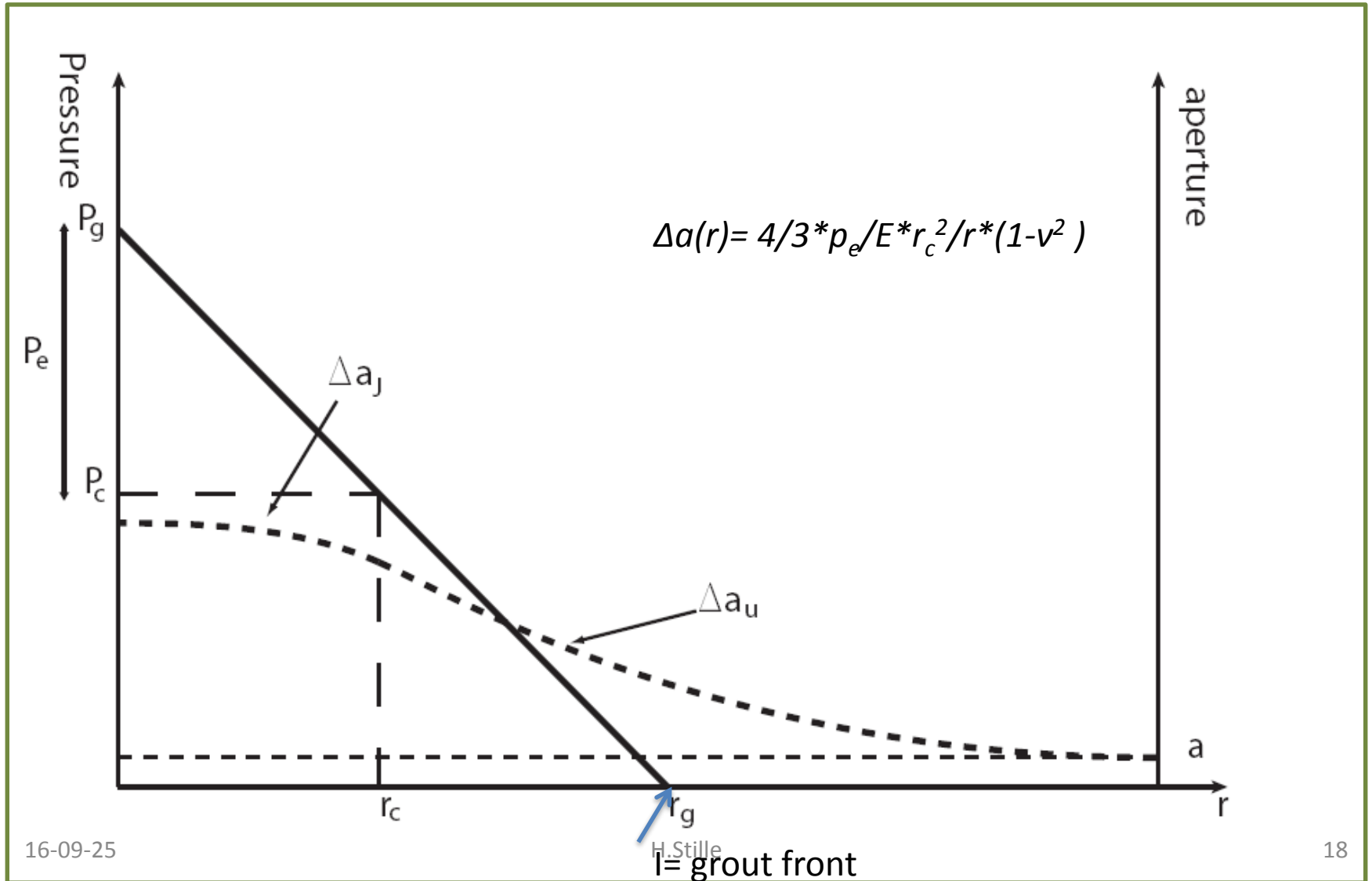


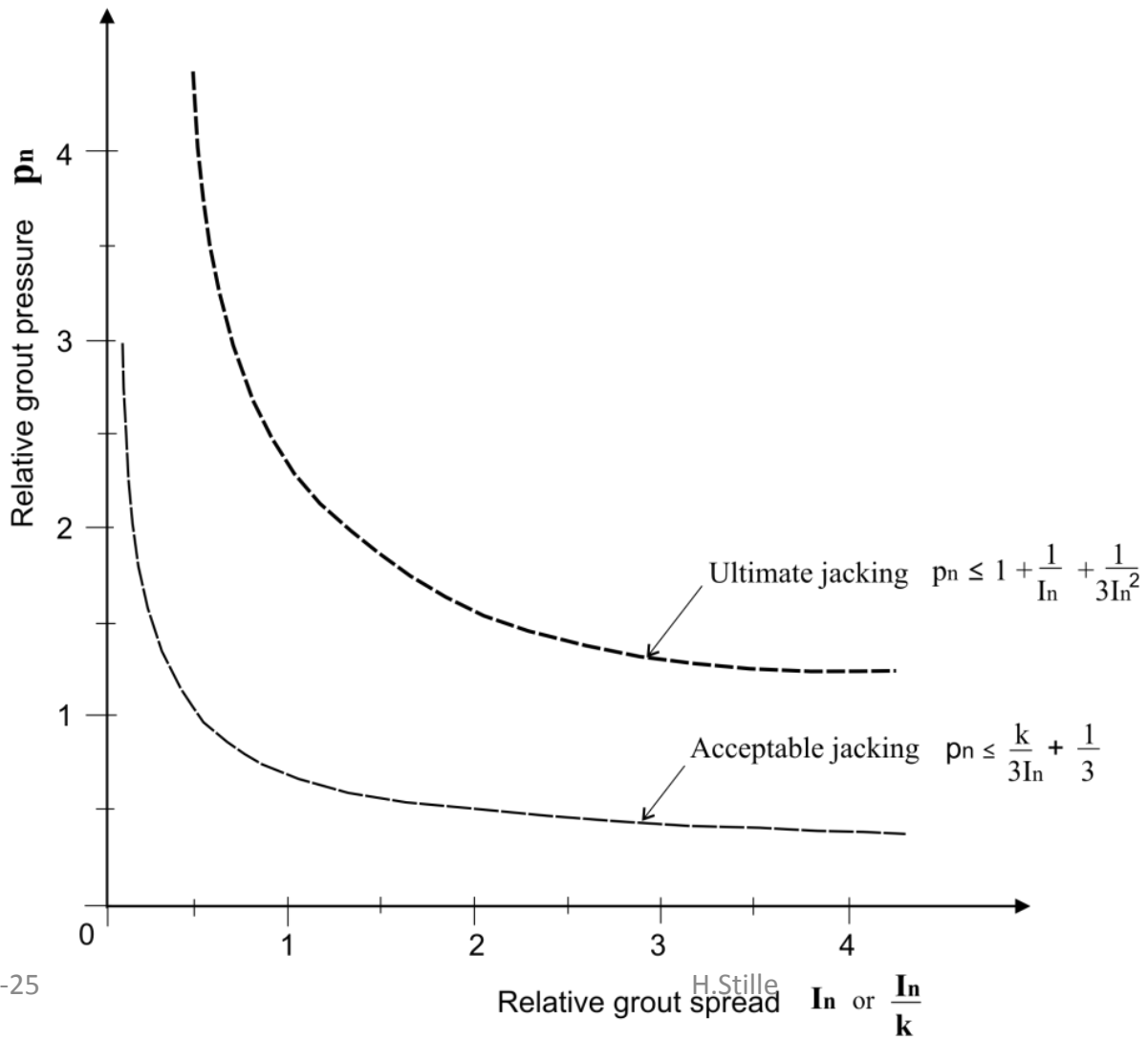


# Jacking



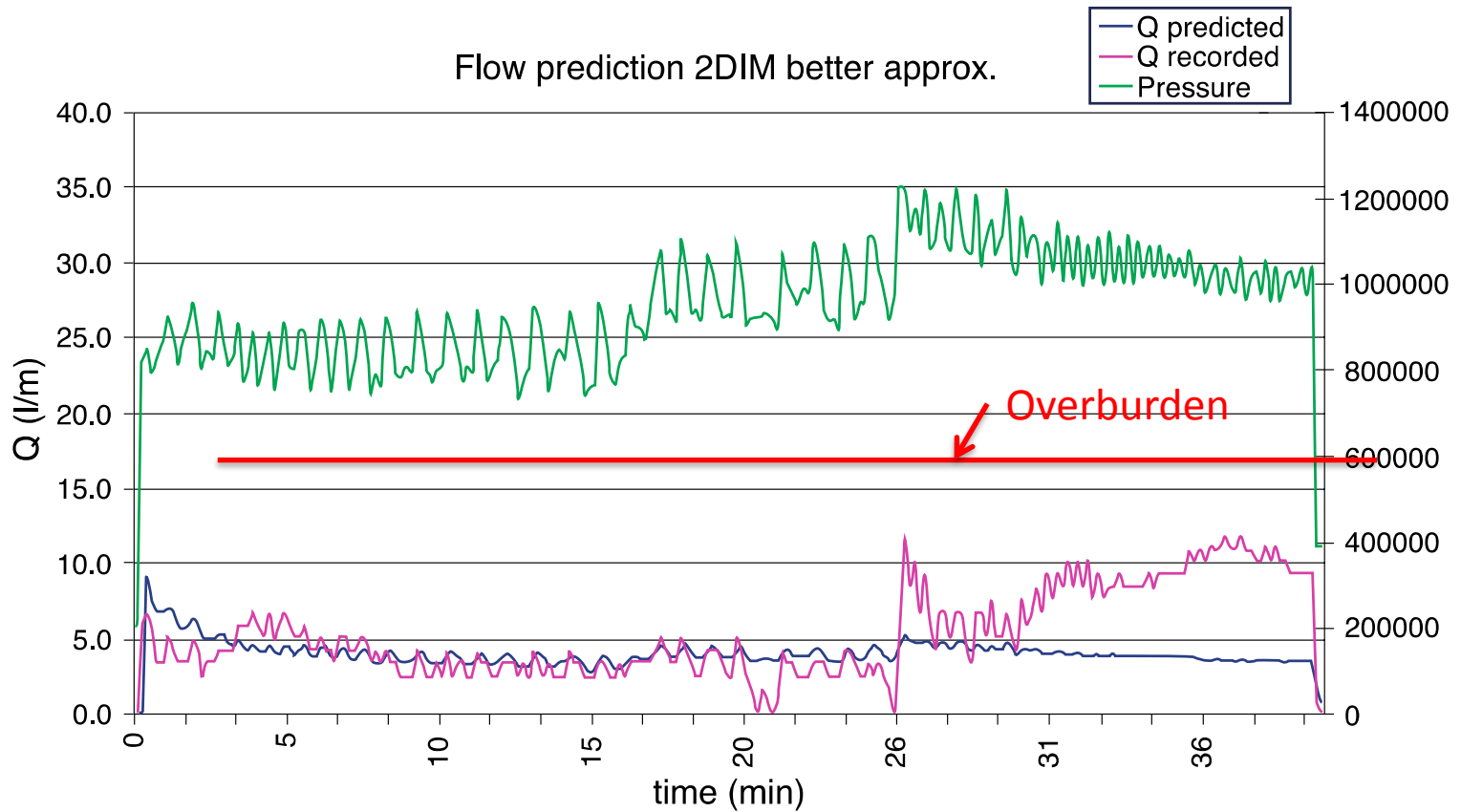
# Jacking





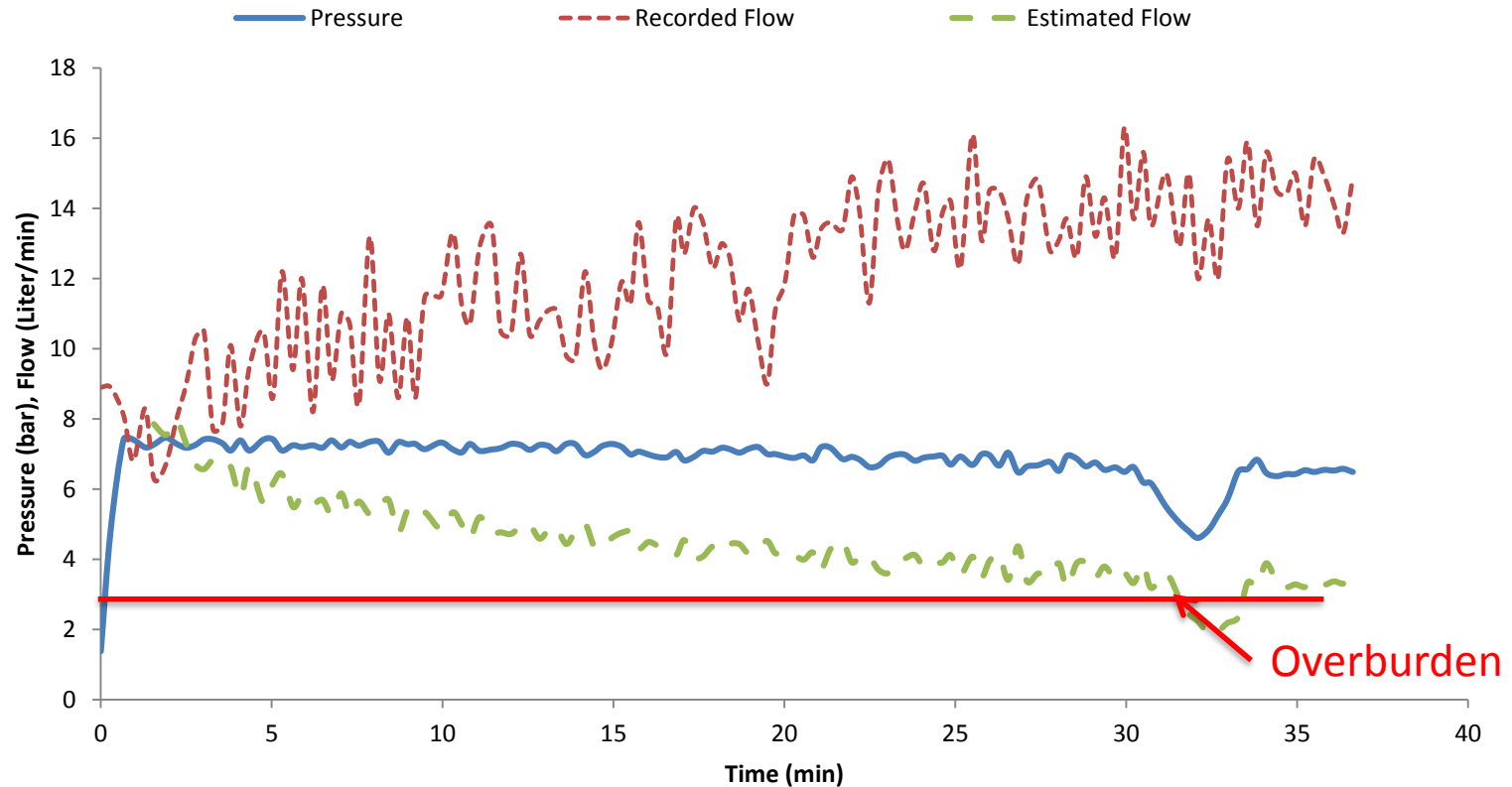
# No Jacking

## Medium pressure (1.7 times overburden)



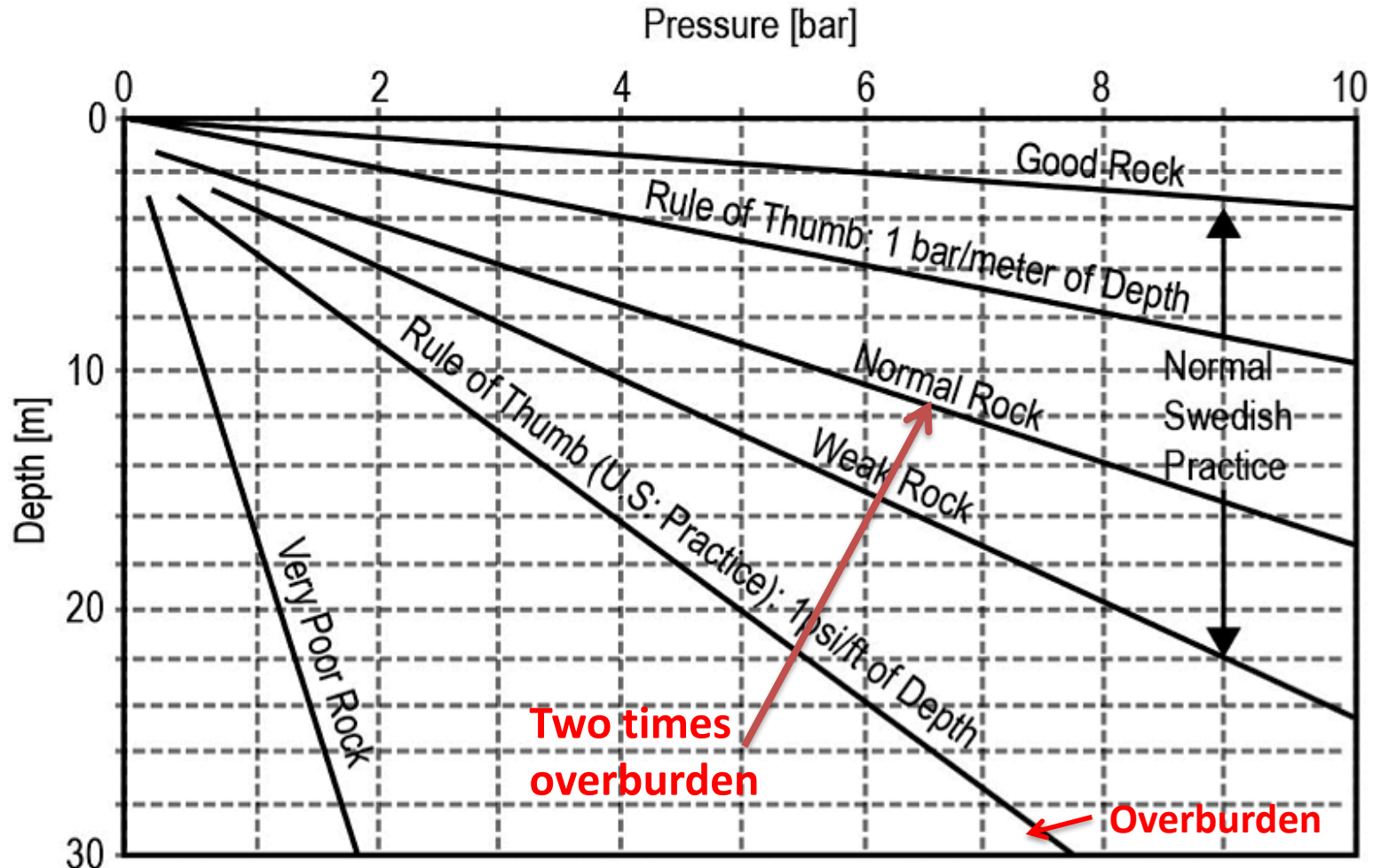
# Jacking

## High pressure (2.5 times overburden)



# Grouting pressure

## Old rules of thumb



# Geokemiska angrepp

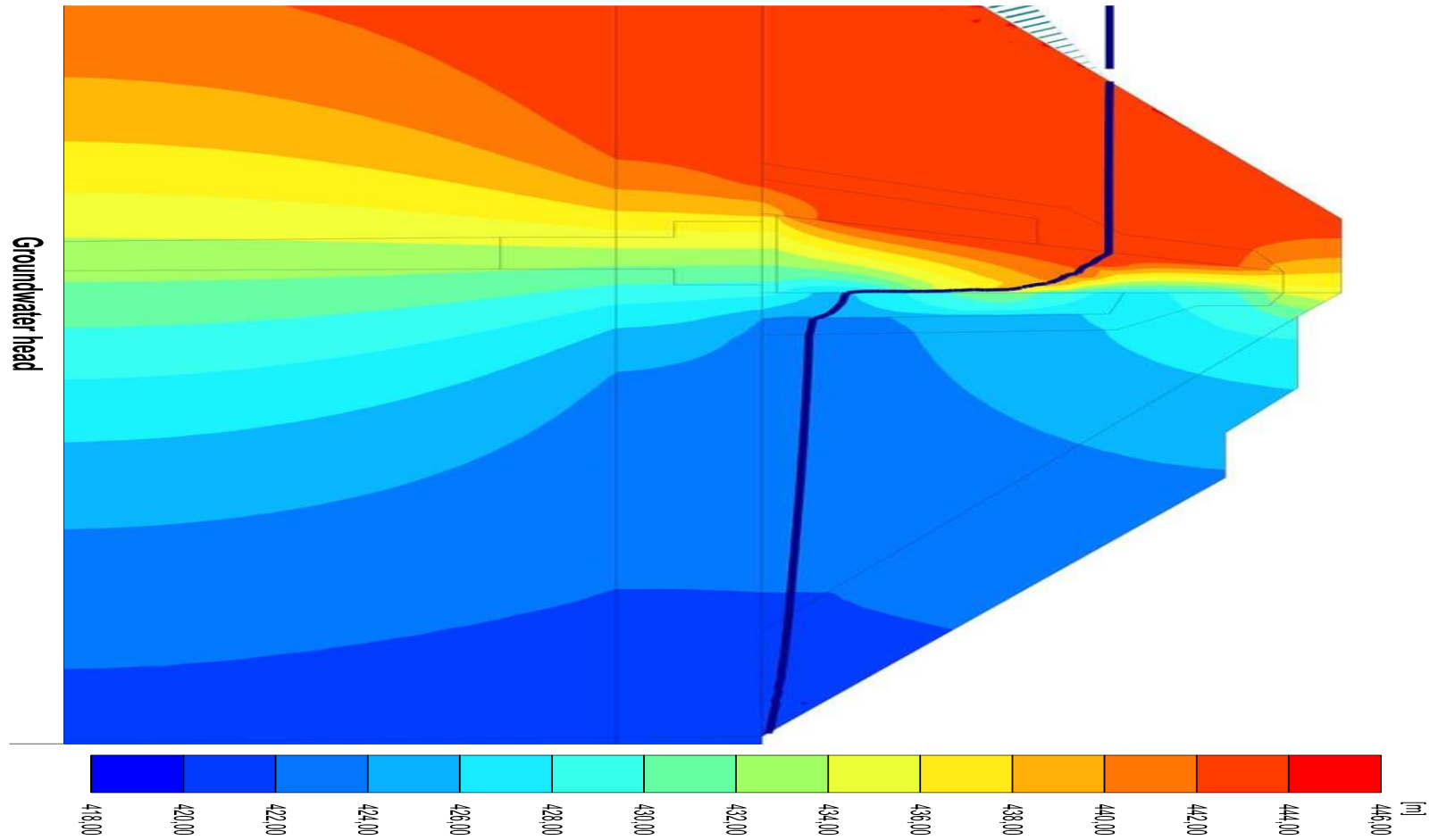
- Vid vittring av vissa bergarter bildas järnsulfat och svavelsyra. Sprickfyllandsmaterial såsom kalciumkarbonat kan påverkas. Injekteringsbruk och betong kan även påverkas. Expansiva produkter kan bildas.
- Mycket mjukt vatten i magasinen kan initiera urlakningsprocesser av cementpastan.

# Hur påverkas upptrycket.

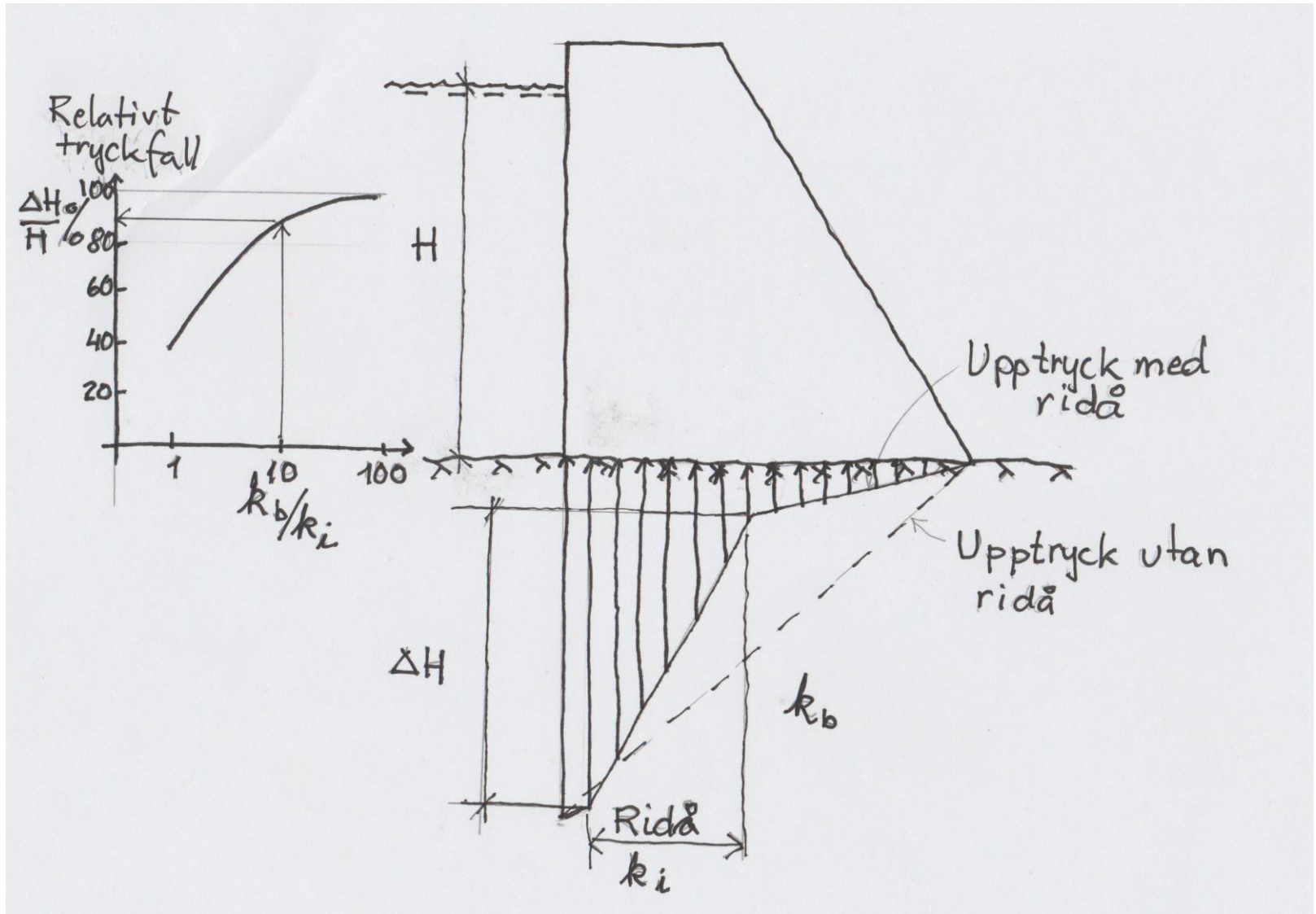
- Gradienten över ridån minskar.
- Upptrycket ökar.
- Dränerna sätts igen.
- Sprickornas hållfasthet minskar.



# Utan ridå



# Tryckfallet beror på tätridån



# Hur svårt är det att täta berget?

<b>Required sealing efficiency</b> <b>Required hydraulic conductivity</b>	<b>&lt; 90%</b>	<b>90–99%</b>	<b>&gt; 99%</b>
$>10^{-7}$ m/s	Uncomplicated grouting	Fair grouting	Difficult grouting
$10^{-7}$ to $10^{-8}$ m/s	Fair grouting	Difficult grouting	Very difficult grouting
$< 10^{-8}$ m/s	Difficult grouting	Very difficult grouting	Very difficult grouting

# Slutsatser

- Finns det eroderbart material i bergets sprickor eller
- finns det förutsättningar för kemisk nedbrytning så
- borde man täta berget bättre än vad gårdagens praxis anger.
- Det finns idag cement material och teorier för att gör det.



C.U.P. 308

Box 7

Thank you for your attention

30

31

31

32

32

33

33

34

34

35