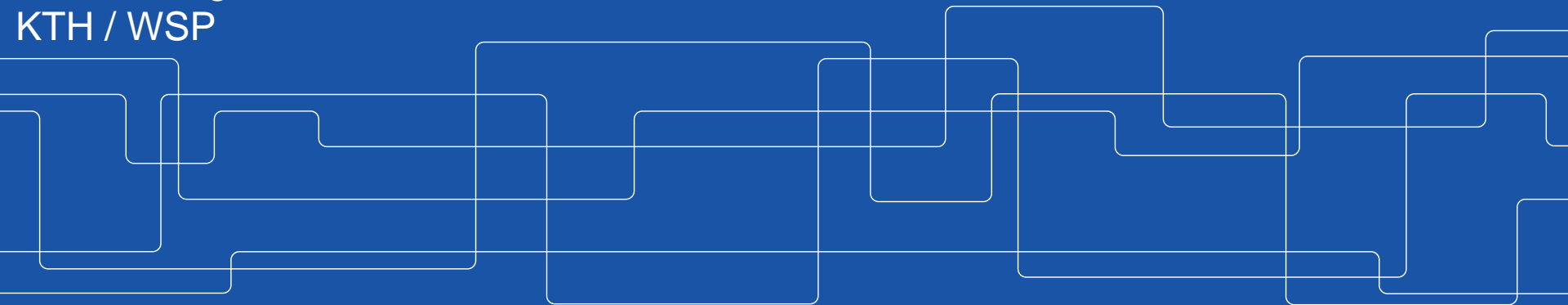




Brottanalys av bergförankrade betongdammar

Rikard Hellgren
KTH / WSP





Rikard Hellgren

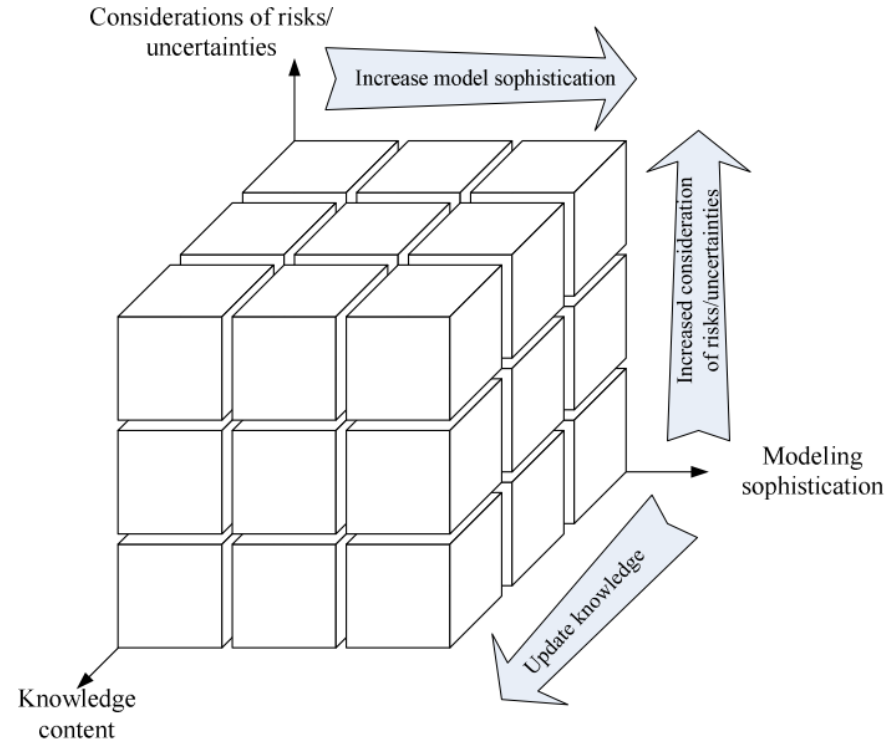


Doktorandprojekt:

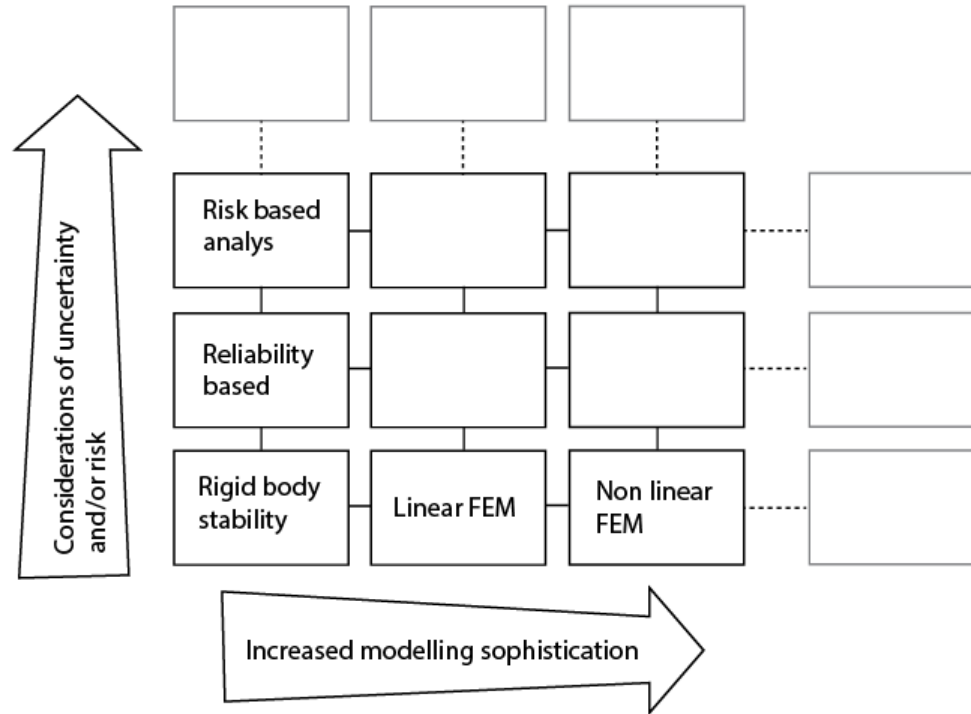
- Tillståndsbedömning av vattenkraftens betongkonstruktioner
- WSP Vattenbyggnad



Modell för tillståndsbedömning



Modell för tillståndsbedömning: Dammexempel



Stabilitetsanalys

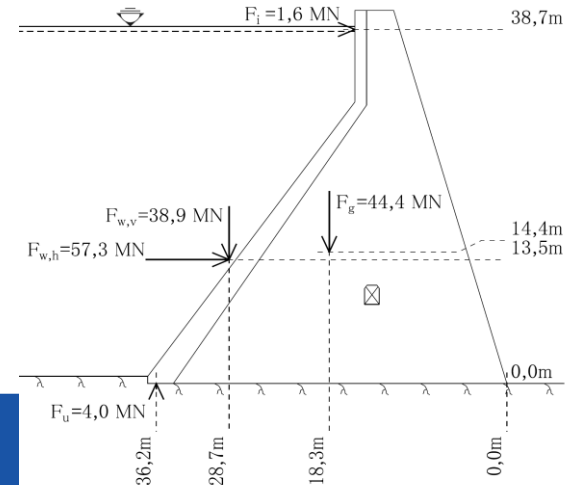
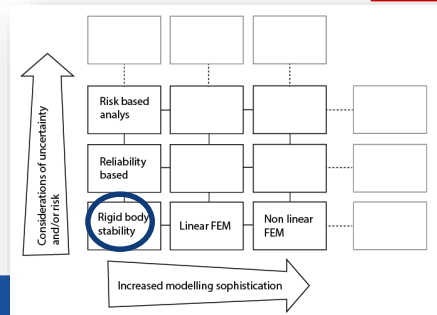
Glidning:

$$S_g = \frac{\tan \delta_g \cdot \sum V}{\sum H}$$

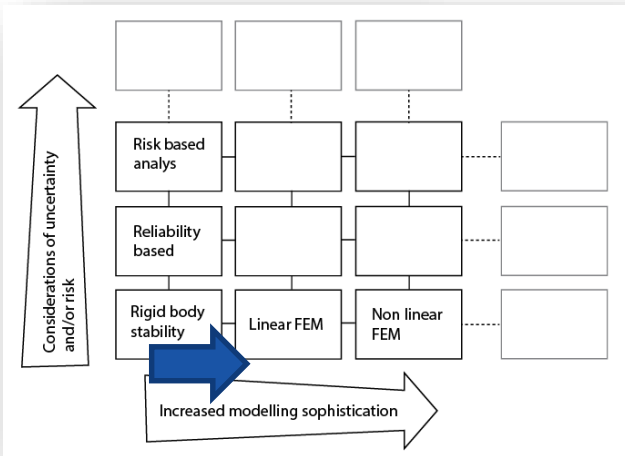
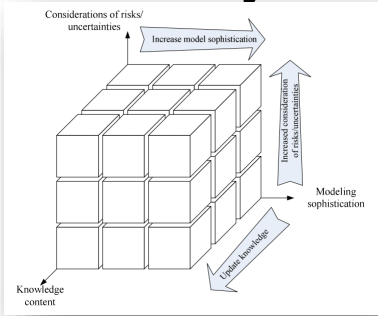
$$\left(\mu = \frac{\sum H}{\sum V} \leq \mu_{limit} = \frac{\tan \delta_g}{S_g} \right)$$

Stjälpling:

$$S_S = \frac{\sum M_R}{\sum M_S}$$



Analys av brottförlopp



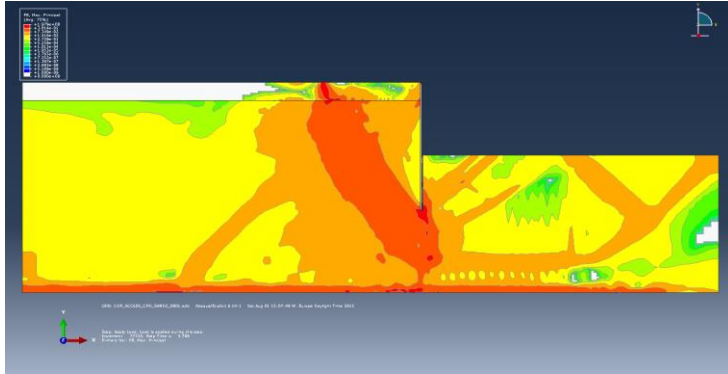
I många fall är det fullt tillräckligt med den mest grundläggande analysen.

I vissa fall krävs mer avancerade analyser.

- Stabiliteten är knappt eller inte alls uppfylld.
- Komplex geometri och/eller lastsituation.
 - Bergförankringar
 - Befintliga sprickor
- Risk för andra brottmoder så som materialbrott, inre brottmoder, kombinerade brottsmoder

Samma säkerhetsnivå oavsett modell

Analys av brottförlopp

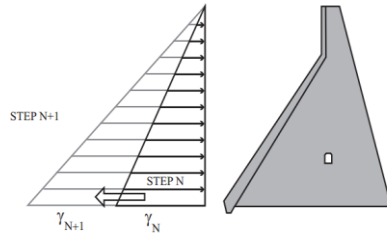


Det finns två grundläggande principer för att simulera en strukturs brottförlopp.

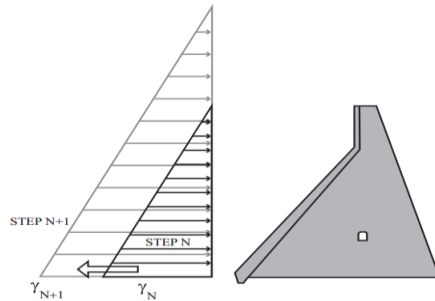
- **Försvagning**– laster hålls konstanta. Styrkan hos strukturen reduceras. Används inom geoteknik
- **Överbelastning**– Laster ökas till brott sker.

Analys av brottförlopp

- **Överbelastning** – Laster ökas till brott sker.
 - **Öka densiteten** – kraftresultanten hålls i ett konstant läge medans magnituden ökas.
 - **Öka vattennivån** – vattennivån ökas, det innebär även att lastresultantens position flyttas uppåt.



a)



b)

Modifiera interaktionen mellan berg och betong

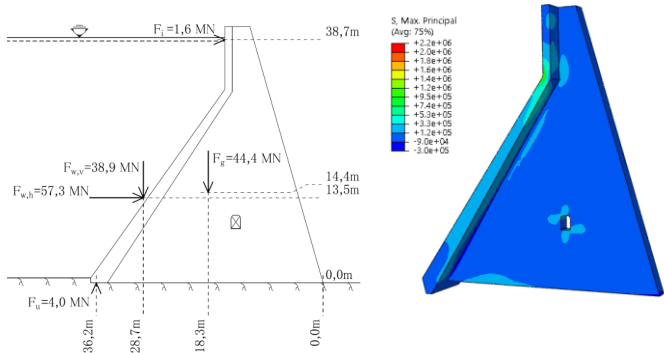
- Glidning–Hindra separation mellan damm och berg

$$u_{y,r} = u_{y,c}$$

- **Stjälpning**– Öka friktionen

Analys av brottförlopp

Stor skillnad mellan de olika metoderna

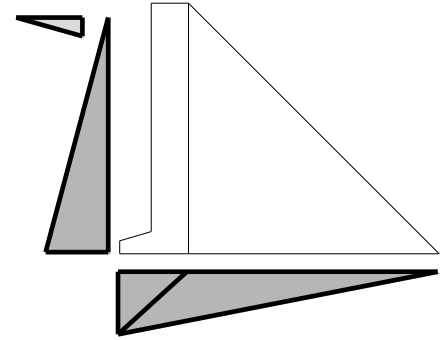
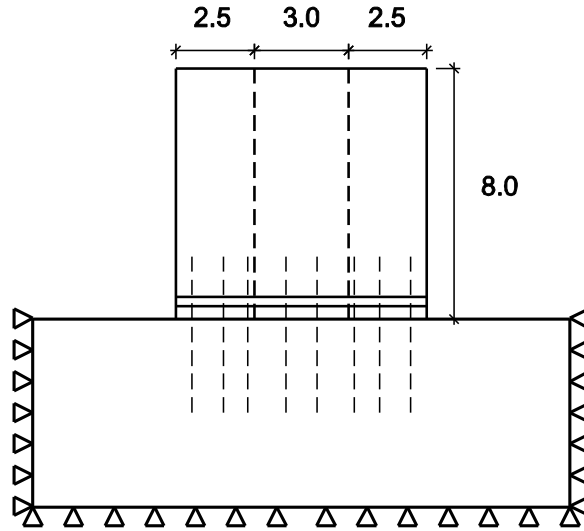
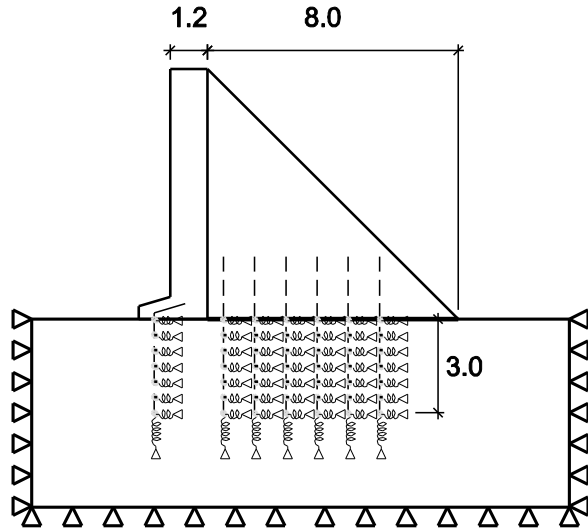


	Brottnod	
Type of analysis	Glidning	Stjälplning
Analytical	1.35	1.97
Öka densiteten (pådrivande laster)	1.33	1.94
Öka densiteten	1.86	>8
Öka vattennivån (pådrivande laster)	1.33	3.84
Öka vattennivån	1.86	3.84

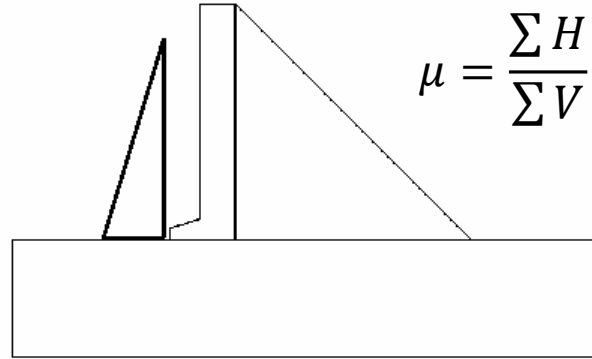
	Glidning	Stjälplning
Stabilitetsanalys	1.35	1.97
3D numerisk analys	1.33	1.94

Källa: Fu and Hafliðason (2015)

Exempel

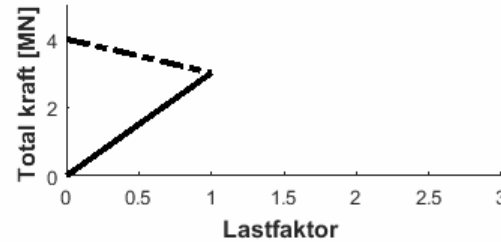
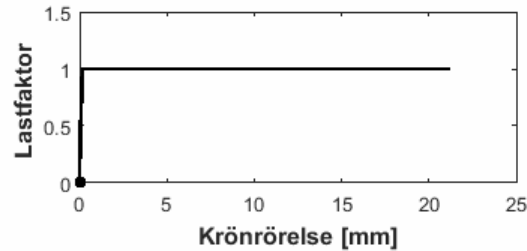


Exempel



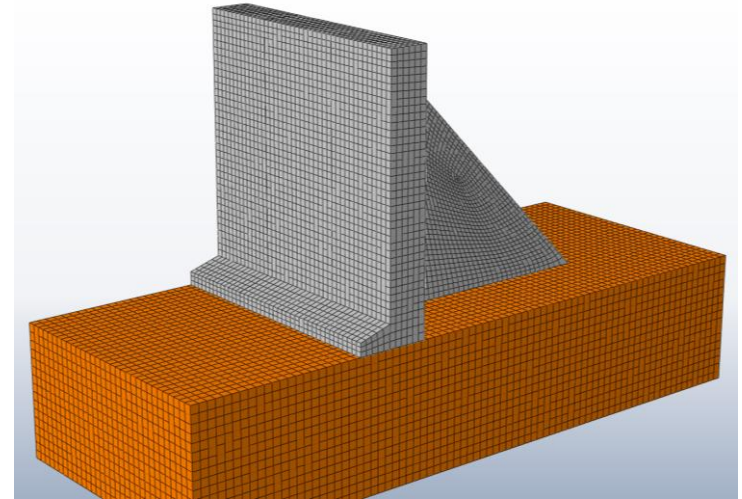
$$\mu = \frac{\sum H}{\sum V}$$

 Skjuvkraft
 Normalkraft

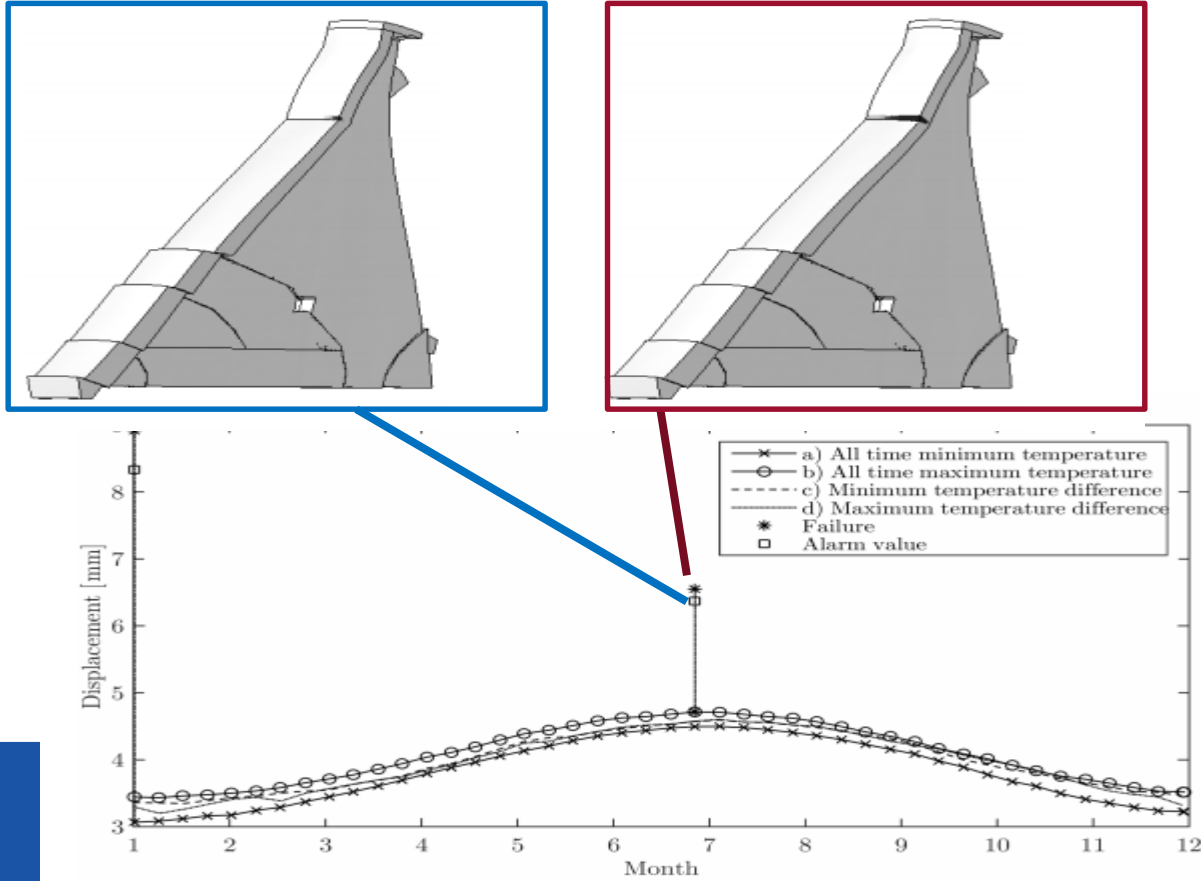


Exempel

	Glidning	Stjälpling
Stabilitetsanalys	1.04	1.43
3D numerisk analys	1.01	-

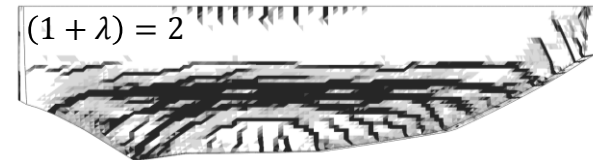
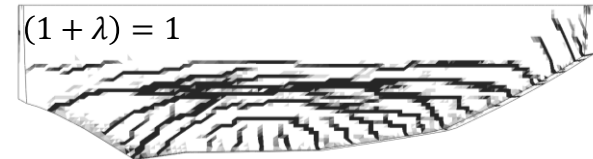
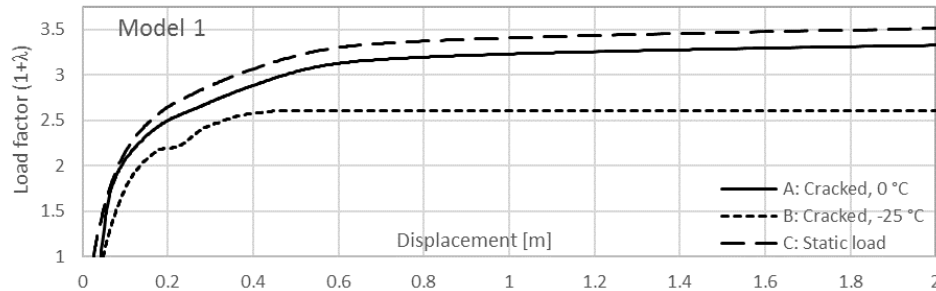
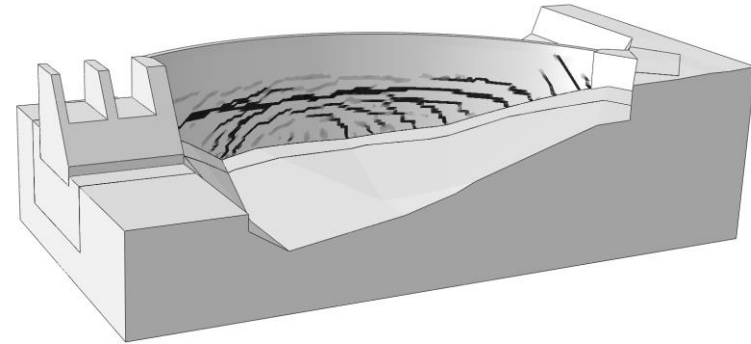


Analys av brottförlopp: Inre brottmoder



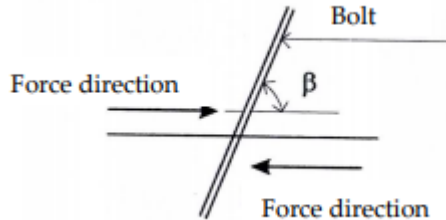
Analys av brottförlopp: Valvdamm

Beräkning av säkerhetsfaktor hos en valvdamm.



En bergbults bidrag till skjuvkapaciteten hos en yta överstiger den rena skjuvkapaciteten hos stålet.

- Dymlingseffekt
- Friktionseffekt



$$T = \left(N' + \left(\sin(\beta) + \frac{\cos(\beta)}{\tan(\phi_b + i)} \right) \cdot A_s f_s \right) \tan(\phi_b + i) \quad (2.15)$$

As a tensile force in the rock bolts

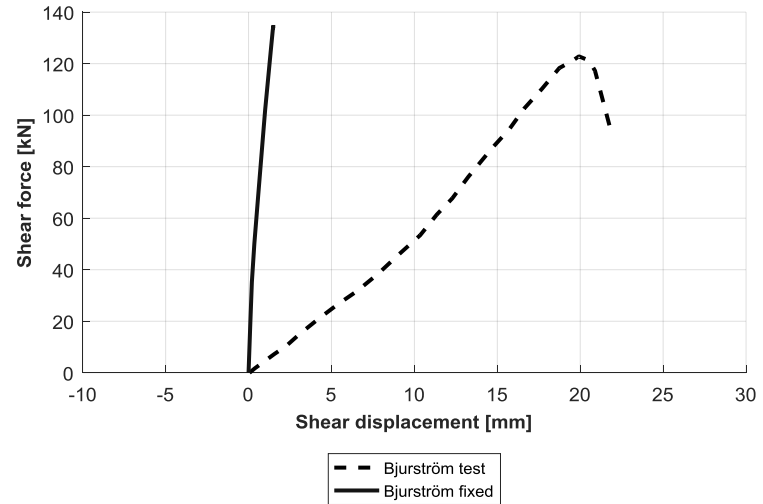
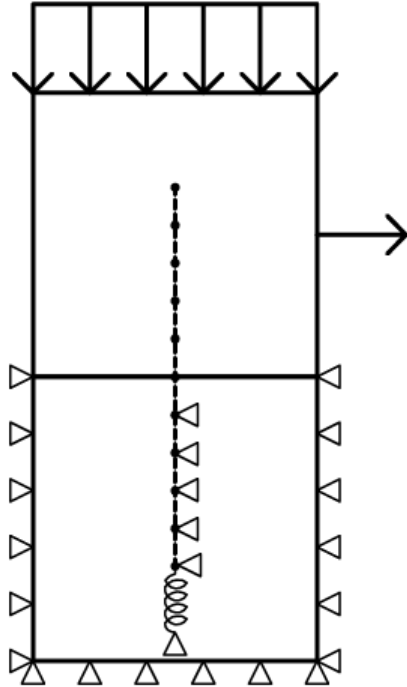
$$\mu = \frac{\sum H}{\sum V + \sum R_{rock_bolt_tensile}} \quad (2.18)$$

Or as dowels, resulting in a shear force in the rock bolts

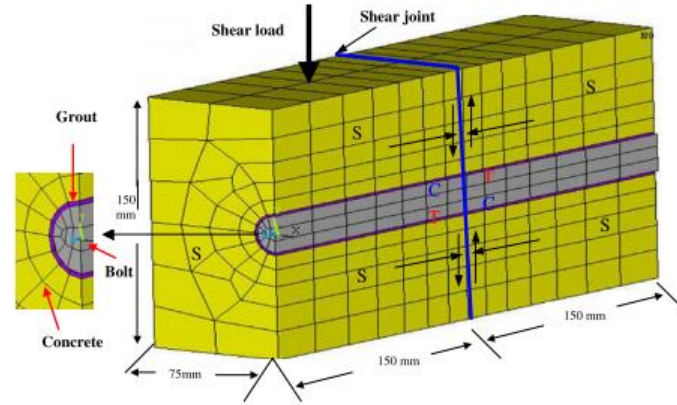
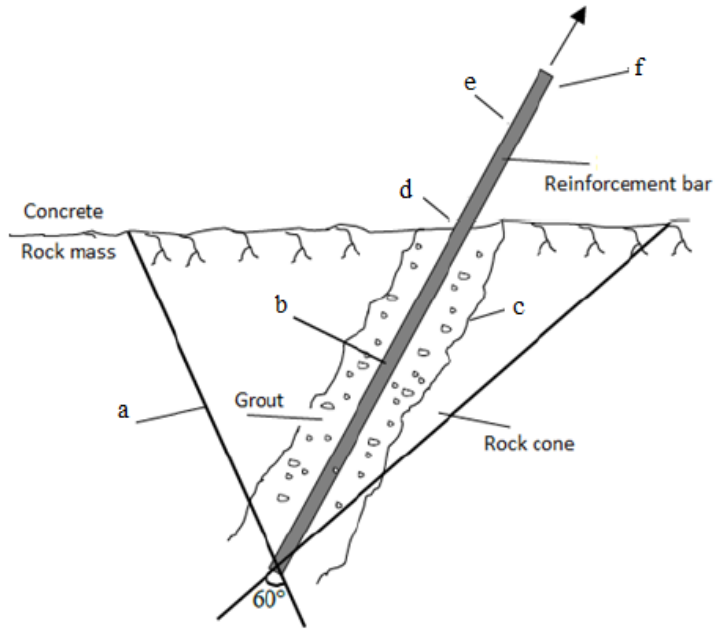
$$\mu = \frac{\sum H - \sum R_{rock_bolt_shear}}{\sum V} \quad (2.19)$$

where, $\sum R_{rock_bolt_tensile}$ or $\sum R_{rock_bolt_shear}$ is the contribution from all rock bolts crossing the sliding plane.

Bergförankring: Dymling



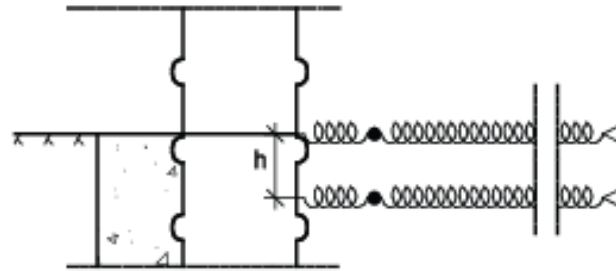
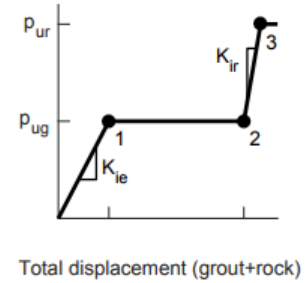
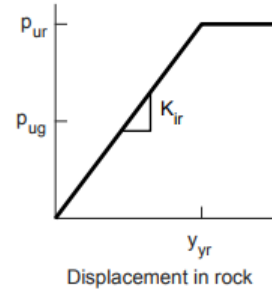
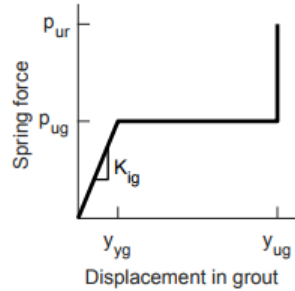
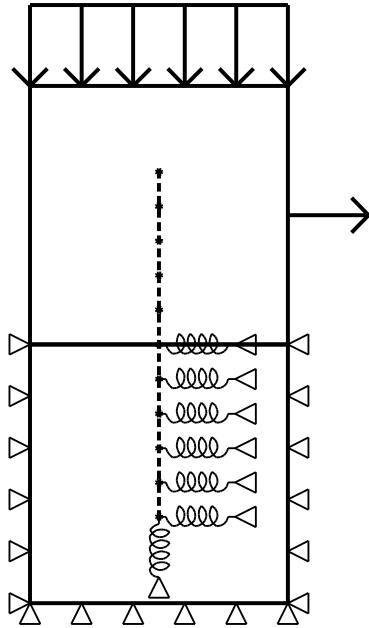
Bergförankring: En bult



Källa: Grasselli (2010)

Bergförankring: PY-kurva

$$\frac{1}{K_{ie}} = \frac{1}{K_{ir}} + \frac{1}{K_{ig}}$$



Bergförankring: PY-kurva

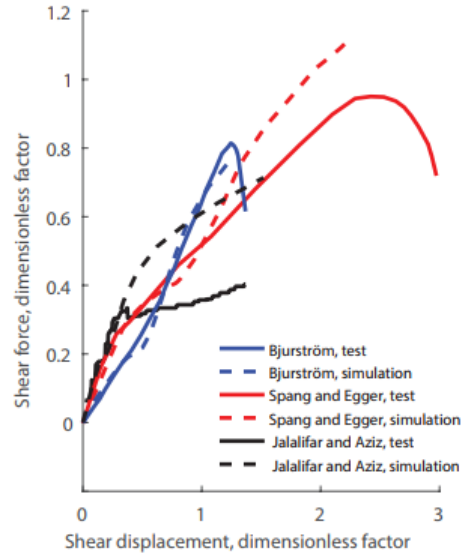
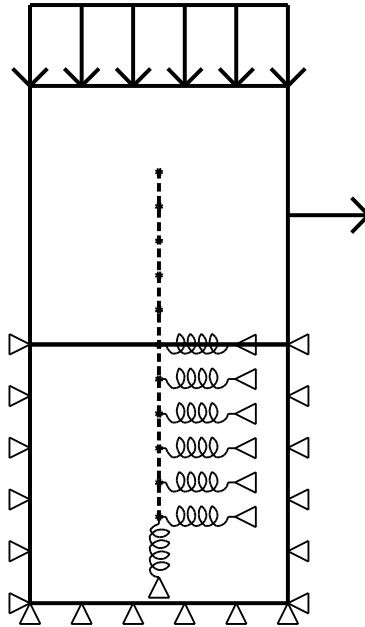
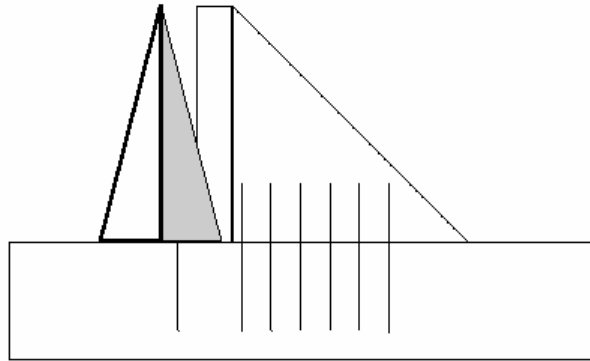








Table 3: Shear capacity of the bolts from code, tests and simulations

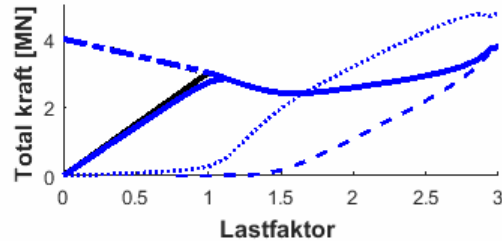
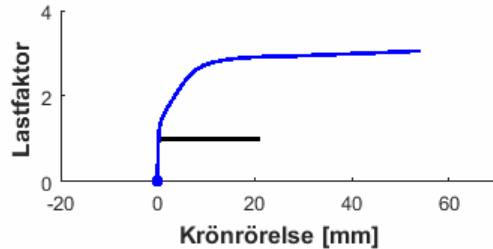
	Spang and Egger (1990)	Bjurström (1973)	Jalalifar and Aziz (2010)
Eq (2)	21	139	293
F_u , Test	31	123	118
F_u , Simulation	37	117	208
d_u , Test	20.3	19.9	30.1
d_u , Simulation	18.1	20.3	33.4

Spang and Egger (1990)
Bjurström (1973)
Houssein (2010)

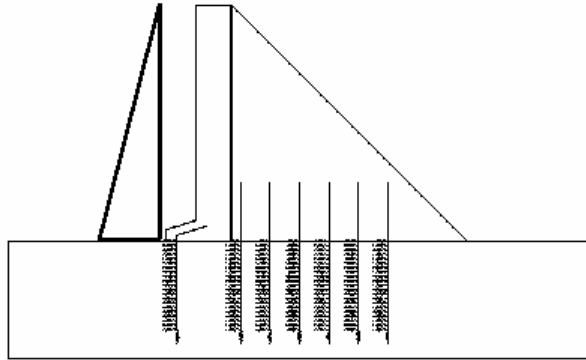
Exempel, med bult













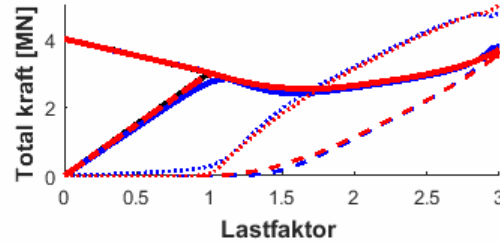
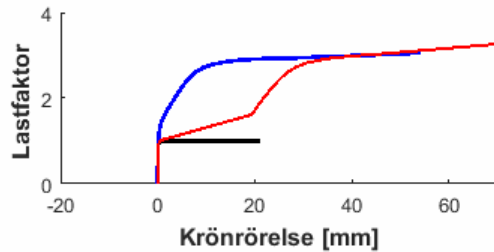
-  Skjuvkraft
-  Normalkraft
-  Skjuvkraft, kontakt
-  Normalkraft, kontakt
-  Horisontell kraft, bultar
-  Vertikal kraft, bultar



Exempel, med bult och fjädrar



-  Skjuvkraft
-  Normalkraft
-  Skjuvkraft, kontakt
-  Normalkraft, kontakt
-  Horisontell kraft, bultar
-  Vertikal kraft, bultar
-  Skjuvkraft, kontakt
-  Normalkraft, kontakt
-  Horisontell kraft, bultar
-  Vertikal kraft, bultar



Sammanfattning

Brottsanalyser med FEM kan komplettera/ersätta stabilitetsberäkningar.

- Metoden med ökad densitet ger samma säkerhetsnivå som RIDAS.

Metod för att inkludera bergförankringar.

- Om bergförankringar medräknas bör hänsyn tas till deformation i berg och bruk.
- Dammen bör vara stabil utan förankringar.

Referenser

- Daniel Honfi , John Leander and Ívar Björnsson (2017) Decision support for bridge condition assessment. In Proceedings of SMAR 2017, fourth conference on smart monitoring, assessment and rehabilitation of civil structures, Zurich, Switzerland
- Enzell J., Tollsten M. (2017) Thermal cracking of a concrete arch dam due to seasonal temperature variations. TRITA-BKN-Examensarbete, 515. KTH Royal Institute of Technology.
<http://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:1114901/FULLTEXT01.pdf>
- Fu C & Hafliðason B (2015): *Progressive failure analyses of concrete buttress dams : Influence of crack propagation on the structural dam safety*. TRITA-BKN-Examensarbete, 457. KTH Royal Institute of Technology.
- <http://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:824952/FULLTEXT01.pdf>
- Malm R. (2016): *Guideline for FE analyses of concrete dams*. Energiforsk report 2016:270.
<https://energiforskmedia.blob.core.windows.net/media/21281/guideline-for-fe-analyses-of-concrete-dams-energiforskrapport-2016-270.pdf>
- Grasselli G (2005) 3d behaviour of bolted rock joints: experimental and numerical study. International journal of rock mechanics and mining sciences 42(1):13–24
- Bjurström S (1973) Bolted hard jointed rock. Report, The Swedish Fortifications Agency, Stockholm, Sweden
- Spang K, Egger P (1990) Action of fully-grouted bolts in jointed rock and factors of influence. Rock Mechanics and Rock Engineering 23 pp 201–229
- Jalalifar H, Aziz N (2010) Experimental and 3d numerical simulation of reinforced shear joints. Rock Mechanics and Rock Engineering 43(1):95–103



Tack för att ni lyssnat!