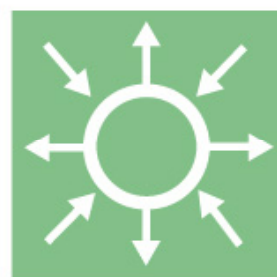
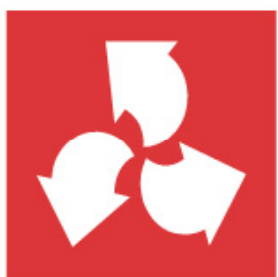




STABILITETSANALYS AV BETONGDAMMAR

Seminarium 2006-11-27

Elforsk rapport 07:11



Marie Westberg och Manouchehr Hassanzadeh

Februari 2007

ELFORSK

STABILITETSANALYS AV BETONGDAMMAR

Seminarium 2006-11-27

Elforsk rapport 07:11

Förord

Ett seminarium sponsrat av "Elforsk Betongtekniska program gentemot vattenkraften" ägde rum måndagen den 27 november 2006 i Råcksta, Stockholm. Syftet med seminariet var att diskutera kring olika principiella sätt att utföra stabilitetsanalys av betongdammar. Denna rapport presenterar seminariets upplägg, föredragen och några generella synpunkter som framfördes under seminariet.

Manouchehr Hassanzadeh och Marie Westberg

Sammanfattning

En referensgrupp har nyligen gjort en översyn av gällande RIDAS tillämpningsvägledning för betongdammar, bl.a. i syfte att rätta till observerade fel. Denna översyn har genomförts i avvaktan på en eventuell större förändring av RIDAS, där dimensioneringen om möjligt kommer att baseras på partialkoefficienter istället för, som idag, på säkerhetsfaktorer.

Seminarier syftade till att föra en bredare diskussion kring olika säkerhetsprinciper och deras tillämpning för dammar samt utvecklingsbehov inom området. Vidare syftade seminariet till att ge erfarna konstruktörer, som i sitt dagliga arbete använder RIDAS, representanter för kraftbolagen samt forskare inom området möjlighet att föra fram sin syn kring tillämpningen av dagens RIDAS tillämpningsvägledning.

Seminarier som var sponsrat av "Elforsk Betongtekniska program gentemot vattenkraften" ägde rum måndagen den 27 november 2006 i Råcksta, Stockholm.

Till seminariet var 6 talare inbjudna för att presentera metoder för stabilitetsanalys och utförda stabilitetsanalyser på olika dammar. I seminariet deltog 26 personer från olika företag.

Föredragen väckte olika frågor vilka diskuterades. Seminariets huvudslutsatser kan sammanfattas enligt nedan:

Det låter som att det finns en enighet kring att partialkoefficientmetoden om möjligt bör införas även för betongdammar. Det finns uppenbara svårigheter; med beskrivning av ingående parametrar, med beräkningsmodeller (oklarheter kring deras tillämplighet) som på något sätt behöver lösas.

Det finns även en önskan att kunna beräkna upptryck och islaster på vettigt sätt, det gäller både för dagens tillämpningsvägledning och vid eventuell införande av stokastiska metoder eller partialkoefficienter.

Förmodligen bör införandet av eventuella partialkoefficienter utföras av en större grupp av erfarna konstruktörer samt sådana med kännedom om stokastiska metoder och partialkoefficientmetoden. Ett sätt kan vara att titta på ett par case och utvärdera med stokastiska metoder för att se om det är lämpligt med sådan design. Införandet bör göras med en samtidig design enligt nu gällande riktlinjer för att se vad ny design leder till och säkerställa en tillräcklig säkerhetsnivå.

Summary

An expert group has recently reviewed the existing RIDAS application guide for concrete dams. The revision has been limited to adjustment of some existing faults and shortcomings, while awaiting the forthcoming greater revision of the RIDAS. It is expected that the existing design procedure, which is based on the safety factors, will be replaced by the design procedures based on the Partial Coefficients.

A seminar was arranged in order to discuss different safety principles within the design procedures and their application to the dam structures. The seminar also aimed to give the opportunity to the designers who use the RIDAS application guide, and representative of the power companies to express their views on the existing RIDAS application guide.

The seminar was sponsored by the "Elforsk Concrete Technology Program for the Hydro-Power Industry". The seminar was held in Råcksta, Stockholm, on November 27, 2006.

Six speakers were invited to the seminar. The seminar was attended by 26 participants. Several issues were brought up and discussed during the seminar. The main conclusions of the seminar are as followed:

There was an agreement among the participants of the seminar that the Partial Coefficients should be introduced in the RIDAS application guide. There are however some difficulties, regarding description of the parameters and the applicability of the design models, which should be overcome.

The participants addressed the difficulties concerning description of the load effects from ice and uplift pressure, they asked for more accurate models describing the mentioned load effects.

The introduction of the Partial Coefficients into the RIDAS application guide should be conducted by the designers who have experience on application of the probabilistic methods in design. They should apply the Partial Coefficient method on some cases in order to verify the applicability of the probabilistic models to the design of the dam structure. They should also apply the existing design method to the same cases, as above, in order to establish the relation between the Partial Coefficient method and the existing method, and verify whether the new design method leads to sufficient safety level or not.

Innehåll

1	Bakgrund	1
2	Seminariets innehåll	2
2.1	Möjliga säkerhetsprinciper för stabilitetsanalys	2
2.2	Internationell state-of-the-art för osäkra faktorer vid stabilitetsanalys av dammar	2
2.3	Glidstabilitet för betongdammar - Internationellt utblick, svensk praxis och pågående utvecklingsprojekt	3
2.4	Stabilitetsanalys och utförda åtgärder vid betong-dammarna i Långbjörn, Torpshammar och Porsi	3
2.5	RIDAS tillämpningsvägledningar	3
2.6	Är dimensionering med fixa partialkoefficienter en bra metod för utvärdering av glidstabilitet hos betongdammar grundlagda på berg?.....	3
2.7	Synpunkter och frågor.....	4
2.8	Utvecklingsbehov inom stabilitetsanalys	4
3	Slutsummering	5

1 Bakgrund

En referensgrupp har nyligen gjort en översyn av gällande RIDAS tillämpningsvägledning för betongdammar, bl.a. i syfte att rätta till observerade fel. Denna översyn har genomförts i avvaktan på en eventuell större förändring av RIDAS, där dimensioneringen om möjligt kommer att baseras på partialkoefficienter istället för, som idag, på säkerhetsfaktorer.

Seminariet syftade till att föra en bredare diskussion kring olika säkerhetsprinciper och deras tillämpning för dammar samt utvecklingsbehov inom området. Vidare syftade seminariet till att ge erfarna konstruktörer, som i sitt dagliga arbete använder RIDAS, representanter för kraftbolagen samt forskare inom området möjlighet att föra fram sin syn kring tillämpningen av dagens RIDAS tillämpningsvägledning.

Seminariet som var sponsrat av "Elforsk Betongtekniska program gentemot vattenkraften" ägde rum måndagen den 27 november 2006 i Råcksta, Stockholm.

2 Seminariets innehåll

Seminariets program och deltagarlista framgår av Bilaga 1. Till seminariet var sex talare inbjudna vars föredrag anges nedan.

2.1 Möjliga säkerhetsprinciper för stabilitetsanalys

Föredraget presenterades av professor Sven Thelandersson, avdelningen för Konstruktionsteknik vid Lunds Tekniska Högskolan.

Föredraget belyste den internationella utvecklingen av säkerhetsprinciper för viktiga byggnadsverk under de senaste decennierna. Speciellt beskrevs hur sådana principer kan tillämpas för stabilitetsberäkningar av dammar samt de praktiska konsekvenserna av detta.

Föredraget belyste även skillnaderna mellan det tillförlitlighetsmått som beaktar brottsannolikhet via säkerhetsindex (brottsannolikhet), det som uttrycks på det traditionella sättet, (genom säkerhetsfaktorn) och det som bestäms via partiella säkerhetskoefficienter. Även hur partialkoefficienter bör tas fram, via kalibrering mot nuvarande praxis, diskuterades.

Föredragets presentationsbilder framgår av Bilaga 2.

2.2 Internationell state-of-the-art för osäkra faktorer vid stabilitetsanalys av dammar

Föredraget presenterades av Marie Westberg, industridoktorand på Vattenfall AB Vattenkraft och knuten till avdelningen för Konstruktionsteknik vid Lunds Tekniska Högskolan.

I föredraget visades hur tillförlitlighetsanalys (beräkning av säkerhetsindex motsvarande brottsannolikhet) kan göras för betongdammars. Fokus var på de osäkra faktorer som ingår och hur de ska hanteras.

Några beräkningsexempel där fiktiva dammar som uppfyller säkerhetskraven enligt RIDAS räknats med hjälp av tillförlitlighetsanalys gavs. Resultaten visade att betongdensiteten har störst inverkan på stjälpstabiliteten, följd av upptryck och islast. För glidstabiliteten har kohesionen (som ej tas hänsyn till enligt RIDAS) störst inverkan, följd av friktionskoefficienten och upptrycket.

Det visades också att stjälpstabiliteten avtar med ökande dammhöjd. Detta är en oönskad situation som beror på att RIDAS endast använder en säkerhetsfaktor som ej på ett bra sätt avspeglar de faktiska osäkerheterna och med partialkoefficienter som beaktar osäkerheten hos olika faktorer skulle samma säkerhetsnivå kunna uppnås för samtliga dammar.

Föredragets presentationsbilder framgår av Bilaga 3.

2.3 Glidstabilitet för betongdammar - Internationellt utblick, svensk praxis och pågående utvecklingsprojekt

Föredraget presenterades av Anders Gustafsson, SWECO VBB.

Vid föredraget presenterades en sammanställning baserad på ICOLDs statistik över antal, typ och orsaker till dammbrott som har inträffat i världen. Därefter beskrevs de, för glidstabilitet, gällande riktlinjerna i Sverige. De svenska riktlinjerna jämfördes med 14 andra länders riktlinjer. Det framkom att 13 länder, bl. a. Sverige, använder säkerhetsfaktorer vid stabilitetsanalys medan endast i China baseras stabilitetsanalys på partialkoefficientmetoden.

Behovet för att se över de svenska dimensioneringsreglerna för glidstabilitet presenterades motiverades samt det projekt som pågår för att bl. a. ta fram underlag för detta ändamål presenterades.

Föredragets presentationsbilder framgår av Bilaga 4.

2.4 Stabilitetsanalys och utförda åtgärder vid betongdammar i Långbjörn, Torpshammar och Porsi

Föredraget presenterades av Hans Ericsson, SWECO VBB.

Föredraget redovisade stabilitetsanalys utförda på de ovannämnda dammarna. Analyserna omfattade olika delar hos dammarna. Gemensamt för samtliga analyser var att stabiliteten inte var tillfredsställande för vissa lastfall vilken föranledde att man vidtog vissa åtgärder. De olika åtgärderna presenterade av föredragshållaren.

Föredragets presentationsbilder framgår av Bilaga 5.

2.5 RIDAS tillämpningsvägledning

Föredraget presenterades av Ingvar Johansson, Svensk Energi.

Ingvar Johansson informerade om de förutsättningar som gällde då man omarbetade RIDAS Avsnitt 3.3 Betongdammar Tillämpningsvägledning. Ingvar Johansson framförde att man har utfört en mycket begränsad omarbetning i väntan på nya forskningsrön inom området.

Föredragets presentation var baserad på avsnitt 3.3 vilket tillhandahålls av Svensk Energi.

2.6 Är dimensionering med fixa partialkoefficienter en bra metod för utvärdering av glidstabilitet hos betongdammar grundlagda på berg?

Föredraget presenterades av Fredrik Johansson, avdelningen för Jord- och Bergmekanik på KTH.

Vid dimensionering med partialkoefficienter bestäms dessa för en viss variabel av dess medelvärde, säkerhetsindex, känslighetsfaktor och dess

standardavvikelse. Stor standardavvikelse eller variationskoefficient tillsammans med en hög känslighetsfaktor leder till en stor partialkoefficient för att hantera osäkerheten.

Variationskoefficienterna för de parametrar som bestämmer bergets hållfasthet är normalt stor. Dessutom varierar variationen med betraktelseskalan. Det finns också en statistisk osäkerhet till följd av fåtalsprovning som också påverkar variationen. Vidare påverkar också brottmod eller mekaniskt system variationen.

För olika typer av monoliter i en dammkonstruktion (gravitations-, lamell-, utskovs-, intagsmonoliter) kan fördelningen av känslighetsfaktorn för en viss parameter vara olika.

Om fixa partialkoefficienter ska användas kan detta leda till att partialkoefficienten måste vara hög för att täcka in samtliga fall. Samtidigt innebär ovan beskrivna problematik att det är svårt att bestämma en korrekt partialkoefficient.

Mot bakgrund av detta bör varje betongdamm betraktas som en unik konstruktion. Partialkoefficienter kan användas, men bör tas fram separat för varje betongdamm och kanske varje typ av monolit. Detta innebär att en direkt användning av stokastiska metoder fungerar lika bra.

Föredragets presentationsbilder framgår av Bilaga 6.

2.7 Synpunkter och frågor

Under respektive föredrag ställdes en hel del frågor samt uppstod då och då mycket intressanta diskussioner. Arne Landström hade skickat ett dokument som innehöll hans synpunkter på RIDAS kap.3.3 Betongdammar. Arne Landström presenterade sina synpunkter. Dokumentet finns i Bilaga 7.

2.8 Utvecklingsbehov inom stabilitetsanalys

Dagsläget samt framtiden beträffande stabilitetsanalys av betongdammar diskuterades. Det framkom en del synpunkter och förslag på förändringar gällande RIDAS Tillämpningsvägledning Avsnitt 3.3 Betongdammar. De flesta var dock eniga om vissa grundläggande förändringar men så som någon av deltagarna uttryckte det "Det är en process att uppdatera RIDAS Tillämpningsvägledning. Förändringsförslag lämnas in och erfarna personer gör en utvärdering av detta. Denna process är relativt långsam", se vidare seminariets slutsummering.

3 Slutsummering

Det låter som att det finns en enighet kring att partialkoefficientmetoden om möjligt bör införas även för betongdammar. Det finns uppenbara svårigheter; med beskrivning av ingående parametrar, med beräkningsmodeller (oklarheter kring deras tillämplighet) som på något sätt behöver lösas.

Det finns även en önskan att kunna beräkna upptryck och islaster på vettigt sätt, det gäller både för dagens tillämpningsvägledning och vid ev införande av stokastiska metoder eller partialkoefficienter.

Förmodligen bör införandet av eventuella partialkoefficienter utföras av en större grupp av erfarna konstruktörer samt sådana med kännedom om stokastiska metoder och partialkoefficientmetoden. Ett sätt kan vara att titta på ett par case och utvärdera med stokastiska metoder för att se om det är lämpligt med sådan design. Införandet bör göras med en samtidig design enligt nu gällande riktlinjer för att se vad ny design leder till och säkerställa en tillräcklig säkerhetsnivå.

Eventuellt bör även en översyn göras av det brottmoder som antas, bland annat för att kunna använda Finit element modellering som inte har något stöd i dagens formulering i RIDAS tillämpningsvägledning.

BILAGOR

BILAGA 1
Program och
deltagarelista

Stabilitetsanalys av betongdammar

En referensgrupp har nyligen gjort en översyn av gällande RIDAS tillämpningsvägledning för betongdammar, bl.a. i syfte att rätta till observerade fel. Denna översyn genomförs i avvaktan på en eventuell större förändring av RIDAS, där dimensioneringen om möjligt bör baseras på partialkoefficienter istället för, som idag, på säkerhetsfaktorer. Detta seminarium syftar till att föra en bredare diskussion kring olika säkerhetsprinciper och deras tillämpning för dammar samt utvecklingsbehov inom området. Även en diskussion mellan erfarna konstruktörer kring tillämpningen av dagens RIDAS tillämpningsvägledning kommer att föras. Inbjudna är dels erfarna konstruktörer som i sitt dagliga arbete använder RIDAS, representanter för kraftbolagen samt forskare inom området.

Plats: Vattenfall, Råcksta, Stockholm

Tid: Måndagen den 27 november 2006 kl. 9.30 – ca 15.00

Svar: Manouchehr Hassanzadeh, E-post: manouchehr.hassanzadeh@vattenfall.com

Vänligen bekräfta, vare sig du kan vara med eller inte, senast fredagen den 27 oktober.

09.30 **Seminariets öppnande**

09.35 **Möjliga säkerhetsprinciper för stabilitetsanalys - Sven Thelandersson**

Inledande föredrag som skall belysa den internationella utvecklingen av säkerhetsprinciper för viktiga byggnadsverk under de senaste decennierna. Speciellt beskrivs hur sådana principer kan tillämpas för stabilitetsberäkningar av dammar samt de praktiska konsekvenserna av detta.

10.10 **Internationell state-of-the-art för osäkra faktorer vid stabilitetsanalys av dammar - Marie Westberg**

Vid verifiering av stabilitet hos en damm ingår några faktorer som är högst osäkra. Dessa är istryck, upptryck och hållfastheten hos berget under dammen. Presentationen ger en översikt av vad man idag vet om dessa faktorer samt hur osäkerheten påverkar säkerhetsnivån för dammen.

10.35 **Glidstabilitet för betongdammar - Internationell utblick, svensk praxis och pågående utvecklingsprojekt - Anders Gustafsson**

11.00 **Kaffe**

11.20 **Stabilitetsanalys och utförda åtgärder vid betongdammarna i Långbjörn, Torpsdammar och Porsi – Hans Ericsson**

11.45 **RIDAS tillämpningsvägledningar – Ingvar Johansson**

Information om RIDAS tillämpningsvägledningar avsnitt 3.3.

12.15 **Lunch**

13.15 **Är dimensionering med fixa partialkoefficienter en bra metod för utvärdering av glidstabilitet hos betongdammar grundlagda på berg? – Fredrik Johansson**

13.30 **Utvecklingsbehov inom stabilitetsanalys**

Allmän diskussion nuläget och framtiden samt diskussion om dagens tillämpning av RIDAS tillämpningsvägledning kap 3.3 – Samtliga deltagare

15.00 **Summering och avslutning - Marie Westberg och Manouchehr Hassanzadeh.**

Stabilitetsanalys av betongdammar

Måndagen den 27 november 2006 kl. 9.30 – ca 15.00

DELTAGARE

1	Jan Alemo	
2	Christian Bernstone	Vattenfall Research and development
3	Malte Cederström	Vattenfall
4	Tomas Ekström	Carl Bro Energikonsult
5	Åke Engström	HydroTerra Ingenjörer AB
6	Hans Ericsson	SWECO
7	Bengt Forsberg	Vattenfall Power Consultants
8	Anders Gustafsson	SWECO
9	Lars Hammar	Elforsk AB
10	Manouchehr Hassanzadeh	Vattenfall Research and development
11	Karin Hellstadius	Vattenfall Power Consultants
12	Fredrik Johansson	Avdelning Jord- och Bergmekanik, KTH
13	Ingvar Johansson	Svensk Energi, Produktion
14	Katarina Lager	SWECO
15	Arne Landström	
16	Carl-Oscar Nilsson	E.ON Vattenkraft Sverige
17	Urban Nordstedt	Vattenfall
18	Erik Nordström	Vattenfall
19	Karin Persson	Fortum Generation
20	Camilo Rito Pi	Vattenfall Power Consultants
21	Håkan Stille	Avdelning Jord- och Bergmekanik, KTH
22	Leif Stormark	WSP
23	Sven Thelandersson	Konstruktionsteknik, LTH
24	Mattias Unosson	Vattenfall Power Consultants
25	Marie Westberg	Vattenfall
26	Gun Åhrling-Rundström	Svensk Energi, Produktion

BILAGA 2

Möjliga säkerhetsprinciper för stabilitetsanalys

Säkerhetsprinciper för stabilitetsanalys

Sven Thelandersson
Konstruktionsteknik
Lunds Tekniska Högskola

1

Konstruktionsteknik, LTH



Begreppet "Tillförlitlighet"

Allmän definition

Förmåga att uppfylla specifika krav under specificerad tid

Matematisk definition

Sannolikheten att ett system inte uppnår ett definierat gränstillstånd under en given referensperiod

2

Konstruktionsteknik, LTH



Gränstillstånd för konstruktioner

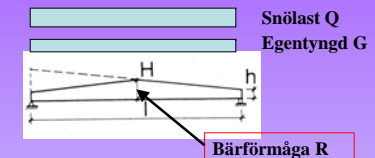
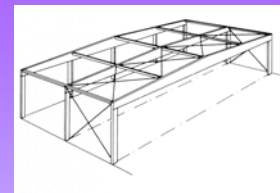
- Brottgränstillstånd
Ex. materialbrott, instabilitet, olyckslast, brand
- Bruksgränstillstånd
Ex. Formändringar, deformationer, svängningar, sprickor

3

Konstruktionsteknik, LTH



Exempel på gränstillstånd



Gränstillstånd

$$R = G + Q$$

$$\text{Brott om: } g(R, G, Q) = R - G - Q < 0$$

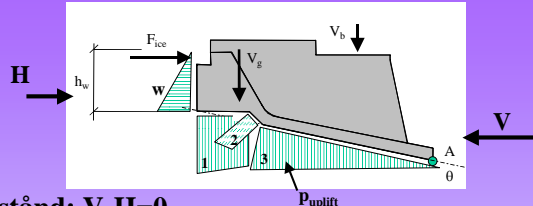
R, G och Q är stokastiska grundvariabler

$g(\cdot)$ är gränstillståndsfunktionen⁴

Konstruktionsteknik, LTH



Exempel på gränstillstånd – glidning av gravitationsdamm



Gränstillstånd: $V-H=0$

$V=V(\text{egentyngd, upptryck, friktion mellan damm och undergrund})$

$H=H(\text{vattentryck, islast})$

Gränsfunktion: $g(V,H)=V-H=g(x_1, x_2, \dots, x_n)$

där x_1, x_2, \dots, x_n är stokastiska variabler

Konstruktionsteknik, LTH



Deterministiska mått på tillförlitlighet

- Säkerhetsfaktor (global)
- Partiella säkerhetskoefficienter

6

Konstruktionsteknik, LTH



Säkerhetsfaktor ett traditionellt mått på tillförlitlighet

Se till att $G+Q < R/s$

där s är säkerhetsfaktor > 1

G, Q och R är "nominella" värden utan klar definition

Tar ej hänsyn skillnader i osäkerhet hos ingående parametrar, t.ex G och Q .

Användes i svenska konstruktionsnormer fram till ca 1980

7

Konstruktionsteknik, LTH



Partial safety factor format

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_R} \geq (G_k \gamma_G + Q_k \gamma_Q) = S_d$$

$$\gamma_R = \gamma_m \cdot \gamma_n$$

Index k betecknar karaktéristiskt värde

γ_i är partialkoefficienter > 1

Används numera i hela världen för rutinmässig dimensionering av konstruktioner

8

Konstruktionsteknik, LTH



Probabilistiska mått på tillförlitlighet

9

Konstruktionsteknik, LTH



Brottrisk, tillförlitlighet

• Brottrisk $p_f = P(R-G-Q < 0)$

• Tillförlitlighet = $1 - p_f$

Dimensionering av ny konstruktion

Utforma konstruktionen så att p_f är mindre än föreskrivet värde.

Befintlig konstruktion

Kontrollera att p_f är acceptabelt låg

10

Konstruktionsteknik, LTH



Risks in society

Table 2.5 Selected risks in society (indicative)

Activity	Approximate death rate ^a ($\times 10^{-9}$ deaths/h exposure)	Typical exposure ^b (h/year)	Typical risk of death ($\times 10^{-6}$ /year) (rounded)
Alpine climbing	30 000–40 000	50	1500–2000
Boating	1500	80	120
Swimming	3500	50	170
Cigarette smoking	2500	400	1000
Air travel	1200	20	24
Car travel	700	300	200
Train travel	80	200	15
Coal mining (UK)	210	1500	300
Construction work	70–200	2200	150–440
Manufacturing	20	2000	40
Building fires ^c	1–3	8000	8–24
Structural failures ^c	0.02	6000	0.1

^a Adapted from Allen (1968) and CIRIA (1977)

^b For those involved in each activity (estimated values).

^c Exposure for average person (estimated).

Konstruktionsteknik, LTH



Tolerable risks

Table 2.6 Broad indicators of tolerable risks

Risk of death per person per year.	Characteristic response
10^{-3}	uncommon accidents; immediate action is taken to reduce the hazard
10^{-4}	people spend money, especially public money to control the hazard (e.g. traffic signs, police, laws);
10^{-5}	mothers warn their children of the hazard (e.g. fire, drowning, firearms, poisons), also air travel avoidance
10^{-6}	not of great concern to average person; aware of hazard, but not of personal nature; act of God.

12

Konstruktionsteknik, LTH



Formellt målvärde för brottrisk

Eurocode, BKR m.fl.

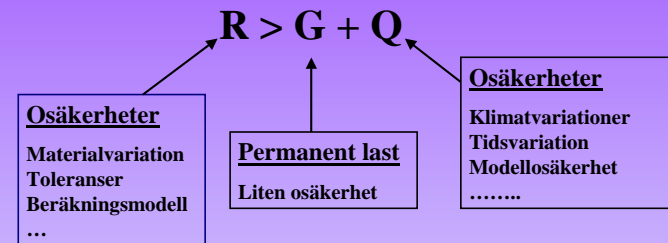
$$p_f < p_{fmax} = 10^{-6} \text{ per år}$$

13

Konstruktionsteknik, LTH



Beskrivning av osäkerhet



14

Konstruktionsteknik, LTH



Osäkerheter m.a.p. stabilitet hos damm

Små osäkerheter

- Egenvikt
- Vattentryck

Stora osäkerheter

- Istryck
- Upptryck
- Friktion mot berg

Detta gör att en universell säkerhetsfaktor ger varierande risknivå från fall till fall

15

Konstruktionsteknik, LTH



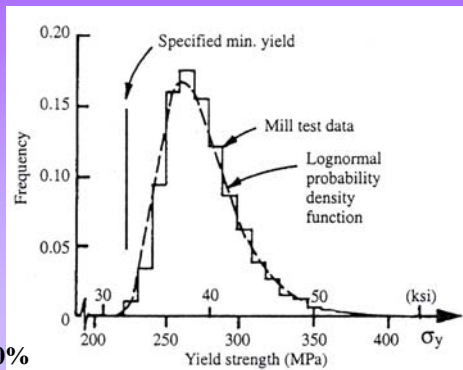
Data om osäkerheter hos viktiga parametrar har tagits fram på många områden

16

Konstruktionsteknik, LTH



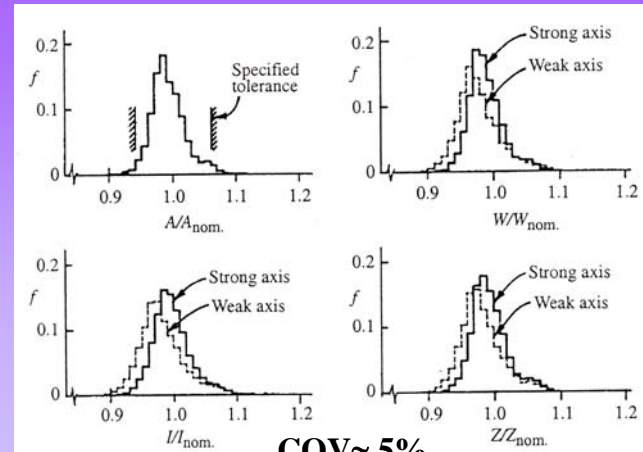
Material variability, example Yield strength for steel



COV=5-10%

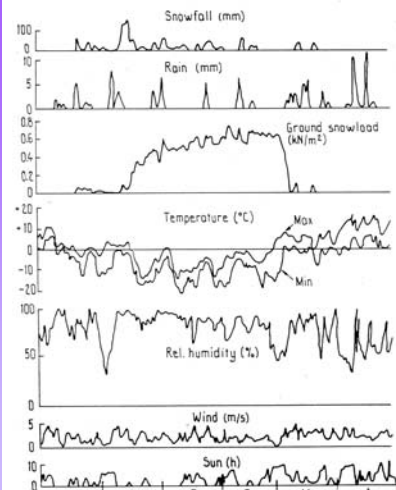
Konstruktionsteknik, LTH

Geometrisk variation, stålprofiler



COV \approx 5%

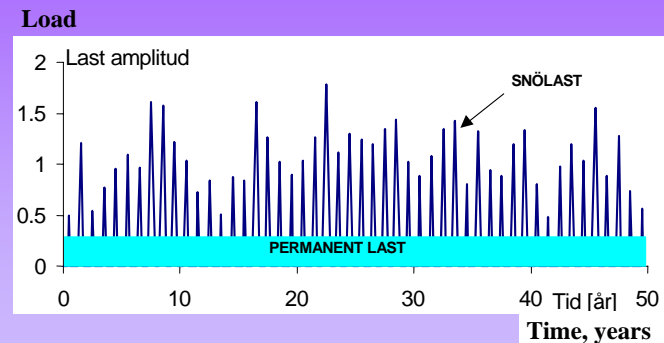
Tidsvariabla laster



Referensperioden
1 år är logisk för
klimatbetingade
laster

Tid
Konstruktionsteknik, LTH

Simulated load sequence for 50 year snow load+permanent load



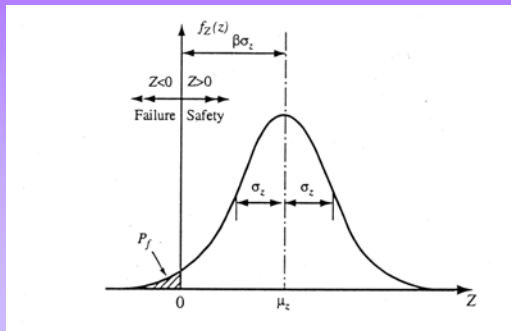
20

Konstruktionsteknik, LTH

Säkerhetsindex β

Definiera säkerhetsmarginalen Z som

$$Z = R - G - Q$$



Konstruktionsteknik, LTH

Säkerhetsindex β

β är ett behändigt mått på tillförlitligheten.

Följande samband gäller

$$p_f = \Phi(-\beta)$$

där Φ är den standardiserade normalfördelningsfunktionen

22

Konstruktionsteknik, LTH

Generell formulering

Gränsfunktionen formuleras matematiskt på formen:

$$g(X_1, \dots, X_n) = 0$$

där X_i är stokastiska variabler.

23

Konstruktionsteknik, LTH

Beräkning av säkerhetsindex β

Kommersiella program finns tillgängliga för beräkning av säkerhetsindex för godtycklig form på funktionen $g(\bullet)$

INDATA: Statistisk beskrivning av ingående variabler

24

Konstruktionsteknik, LTH

Normkalibrering

Studera typiska konstruktionselement:

- Gör en probabilistisk dimensionering
- Bestäm säkerhetsfaktor(er) så att resultatet blir det samma

Kan göras både för partialkoefficientformat och för global säkerhetsfaktor

25

Konstruktionsteknik, LTH
Dep. of Structural Engineering, Lund University



Sannolikhetsbaserad dimensionering

- Ge konstruktionen en bärförmåga som begränsar brottsannolikheten till en föreskriven nivå

$$P(R - G - Q < 0) = p_f \leq p_{krav}$$

$$\beta = -\Phi^{-1}(p_f) \leq \beta_{krav}$$

26

Konstruktionsteknik, LTH
Dep. of Structural Engineering, Lund University



Partial safety factor format

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_R} \geq (G_k \gamma_G + Q_k \gamma_Q) = S_d$$

$$\gamma_R = \gamma_m \cdot \gamma_n$$

Index k betecknar karakteristiskt värde

γ_i är partialkoefficienter > 1

Partialkoefficienter i nutidens normer har valts så att resultatet överensstämmer med probabilistisk analys och ger en så långt möjligt jämn risknivå för olika fall

27

Konstruktionsteknik, LTH



Karakteristiska värden X_k

Hållfastheter: 5% fraktil

Permanent laster: Medelvärde

Variabla laster:

98% fraktil av årsmaximum

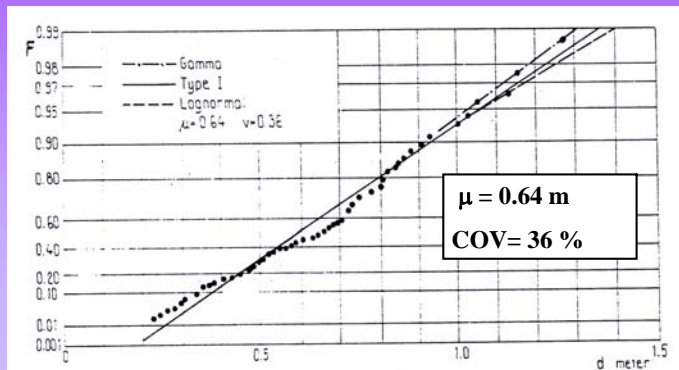
(återkommer i genomsnitt var 50:e år)

28

Konstruktionsteknik, LTH



Annual maximum snow depth, Umeå N= 84 years



Konstruktionsteknik, LTH

Föreskrivet säkerhetsindex β i BKR- brottgränstillståndet

Safety class	Safety index β	p_f	Partial coef. γ_n
Low	3.7	10^{-4}	1.0
Normal	4.3	10^{-5}	1.1
High	4.8	10^{-6}	1.2

Säkerhetsklass är kopplad till konsekvensen av ett brott

Olika riskklasser inom dammområdet kan kvantifieras på motsvarande sätt.

30

Konstruktionsteknik, LTH

Föreskriven säkerhetsnivå – varifrån?

- Bestämd för ca 35 år sedan genom kalibrering mot praxis.
- Kalibreringen gjordes för ett antal enkla konstruktionselement av olika material
- Baserades på relevanta statistiska data som togs fram systematiskt

31

Konstruktionsteknik, LTH
Dep. of Structural Engineering, Lund University

Slutsatser allmänt

Modern säkerhetsfilosofi baseras på:

- konsistent hantering av osäkerheter
- beslutsunderlag från tillförlitlighetsanalyser
- sannolikhetsbaserade definitioner av styrande parametrar

32

Konstruktionsteknik, LTH

Slutsatser - dammstabilitet

- En universell säkerhetsfaktor ger varierande risknivå i olika situationer
- Nya normer för betong och stål är baserade på moderna säkerhetskoncept
- Nya och gamla säkerhetsformat kan inte blandas eftersom man då inte har någon kontroll av risknivån
- Det finns numera inget kunskapsunderlag för att hantera säkerheten med äldre metodik



BILAGA 3

Internationellt state-of-the-art för osäkra faktorer vid stabilitetsanalys av dammar

Internationell state-of-the-art för osäkra faktorer vid stabilitetsanalys av betongdammar

Seminarium stabilitetsanalys av betongdammar 061127

Industridoktorand
Marie Westberg

© Vattenfall AB VATTENFALL

Disposition

- Tillförlitlighetsanalys
- Stabilitetsvillkor
- Osäkra faktorer
- Exempel på beräkningar

© Vattenfall AB 2 VATTENFALL

1. Tillförlitlighetsanalys

Tillförlitlighetsanalys

- Definition av gränsv funktion $G = R - S$ där $R =$ bärförmåga och $S =$ belastning
- Sannolikhetsfördelningar för bärförmåga och laster (årsmaximivärden för laster som varierar i tiden)
- Sannolikheten för brott är (för oberoende normalfördelade fördelningar för R och S)

$$p_f = P(R - S \leq 0) = \Phi \left[\frac{-(\mu_R - \mu_S)}{(\sigma_S^2 + \sigma_R^2)^{1/2}} \right] = \Phi(-\beta)$$

där β är säkerhetsindex

© Vattenfall AB 3 VATTENFALL

1. Tillförlitlighetsanalys

Tillförlitlighetsanalys, beräkningar

Beräkning av säkerhetsindex görs mha

- FORM – First Order Reliability Method
- SORM – Second Order Reliability Method
- Monte Carlo-simulering: slumpvals-generering ger värden på ingående variabler och

$$p_f = \frac{\text{antal simuleringar där } G < 0}{\text{totalt antal simuleringar}}$$

Slumptalsgenerering ger 0,78

Slumptalsgenerering ger 0,3

© Vattenfall AB 4 VATTENFALL

1. Tillförlitlighetsanalys

Säkerhetsindex

β är en funktion av

- statistisk variation,
- kunskapsosäkerhet
- (modellösäkerhet)

Detta innebär att det säkerhetsindex som räknas fram inte direkt motsvarar faktisk brottsannolikhet!!! Genom bättre information kan kunskapsosäkerheten minskas och β "ökas"

© Vattenfall AB VATTENFALL

1. Tillförlitlighetsanalys

Gränsvärde för β

- Behövs för att kunna avgöra om konstruktionen är tillräckligt säker
- Finns ej för dammar
- Enligt BKR (kalibrerad mot befintlig praxis) är dessa

Säkerhetsklass	Gränsvärde β /år	Motsvarande brottsannolikhet/år
3	4,8	10^{-6}
2	4,3	10^{-5}
1	3,7	10^{-4}

© Vattenfall AB VATTENFALL

2. Stabilitetsvillkor

Laster

Pådrivande laster

- Hydrostatiskt tryck
- Upptryck
- Islast

Stabiliserande krafter

- Egentyngd
- Friktion & kohesion

© Vattenfall AB VATTENFALL

2. Stabilitetsvillkor

Stabilitetsvillkor enligt RIDAS

Betongdammar skall uppfylla följande stabilitetsvillkor

- Dammen skall vara säker mot stjälpning (rotation runt någon axel, tex dammtå)

$$M_{\text{stabiliserande}} / M_{\text{stjälpande}} > s$$

- Dammen skall vara säker mot glidning (i berg/betongsnittet, i berg samt i betong).

$$\tan \delta_g / s_g > \frac{R_H}{R_V}$$

- Betongens och grundens hållfasthet får inte överskridas (kontroll av tryck- och skjuvpåkänningar, tillåtna påkänningar bestäms från fall till fall)

© Vattenfall AB VATTENFALL

2. Stabilitetsvillkor

Liten internationell utblick

Glidstabilitet beräknas utomlands ofta mha

$$T \leq \frac{cA + N \cdot \tan \phi}{sf}$$

där alltså hänsyn tas även till kohesion ("sliding safety of existing gravity dams")

Istället för *stjälpstabilitet* ställer flera länder (bla FERC och Bureau of Reclamation i USA, Canada, Kina) krav på maximala grund- och materialpåkänningar

Kina har en norm där dimensionering av hydrauliska konstruktioner görs mha partialkoefficientmetoden ("the standards compilation of water power in China")

3. Osäkra faktorer

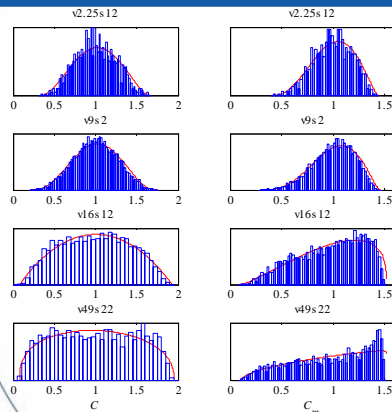
Upstryck

Svårt att hantera pga

- Okänd variationer
- Okänd storlek
- Troligtvis stora variationer inom små avstånd
- Variation med
 - temperatur
 - uppströmsvattenstånd
- Beroende av dränage (och dess funktion), injektering (och dess funktion)

3. Osäkra faktorer

Resultat av upstryckssimulering



$$U = C \cdot u$$

där

$$u = \frac{\rho g h b}{2}$$

$$M_u = C_m \cdot u_m$$

där

$$u_m = \frac{r g h b^2}{3}$$

3. Osäkra faktorer

Is

- Islasterna har för vissa konstruktioner stor inverkan
- Enligt RIDAS gäller 50-200kN/m, men kan "beroende på lokala förhållanden vara större än ovan angivna värden".
- Oklart vad detta motsvarar (medelvärde, karakteristiskt värde,?)

3. Osäkra faktorer

Friktion och kohesion

- Enligt RIDAS är brottvärdet på friktionskoefficienten 1,0 dvs $\phi = 45^\circ$. Kan även bestämmas från undersökningar. Oklart vad detta motsvarar.
- Hänsyn tas ej till eventuell kohesion i snittet mellan berg och betong i RIDAS.
- I den kinesiska normen ges värden som kan användas för dimensionering av mindre dammar om mätning ej utförs, där framgår även vilken COV som finns...
- Sammanställning av undersökningar som presenteras i "sliding safety of existing concrete gravity dams" ger också vissa indikationer

© Vattenfall AB VATTENFALL

3. Osäkra faktorer

Friktion och kohesion

Friktionskoefficient med mean = 1.3 , stdev = 0.26

Kohesion med mean = 0.7, stdev = 0.28

Thick-layer sandstone, conglomerate, limestone without resorption, dolomite, quartzite, pyroclastic rock. The rock mass is stable except few local areas.	1,30	0,26	0,20	1,3	0,471
A rock mass of medium sound, poor completeness, weakly weathered massive and cyclopean structure. Crack spaces 0.3-0.5m.	1,10	0,21	0,19	1,1	0,398
	0,9	0,20	0,22	0,7	0,28

© Vattenfall AB VATTENFALL

3. Osäkra faktorer

Friktion och kohesion

Procedure	St
70 blocks of concrete (70x70x35cm) were cast at $\phi = 53-63^\circ$, $c = 0.1-0.7$ MPa 6 dam sites on different	see table xx
Roche	types of rock
Link	Peak strength triaxial extension and 45 direct tension tests and uniaxial (38 tests, residual strength evaluated), samples from dams ageing 15-80 years. Normal stress range 0.1-1.4 MPa
Lo	Peak strength, see table xx. best fit lines $\phi = 54-68^\circ$, $c = 1.3-1.0$ MPa / lower bound lines $\phi = 53-68^\circ$, $c = 0.3-1.1$ MPa (for shale best fit $c = 0.1$ MPa and lower bound $c = 0$ MPa) Residual strength best fit lines $\phi = 24-39^\circ$, $c = 0-0.2$ MPa lower bound lines $\phi = 13-32^\circ$, $c = 0$ MPa
EPRI	16 large scale specimens to evaluate influence of construction artefacts (extra bonding due to interposition of cement milk)
ISMES	Peak strength was not strongly influenced by rock type, residual strength was. Lower peak strength when adhesive material (cement milk) was not used, residual strength was not.

Kohesion, normalfördelad enligt antagandet att mean = 1.3 och lower bound 0.3 motsvarar 5% fraktilen

© Vattenfall AB VATTENFALL

3. Beräkningsexempel

Dimensionering av damm enl RIDAS

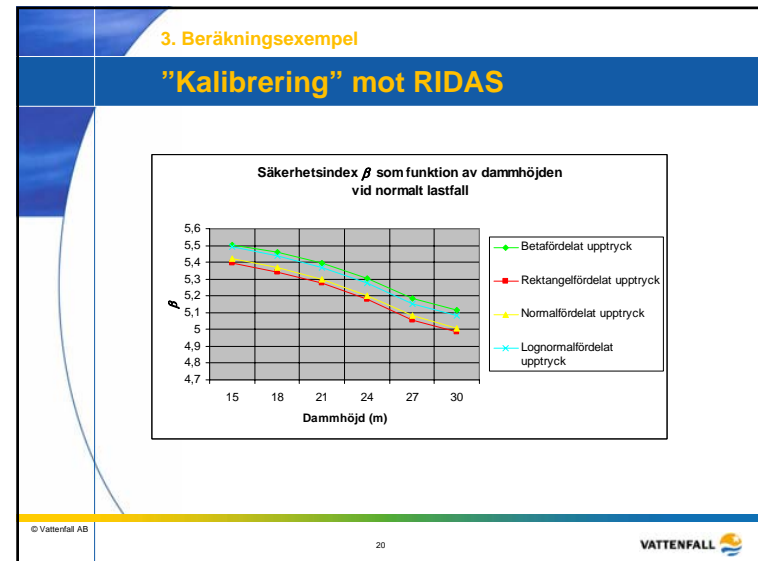
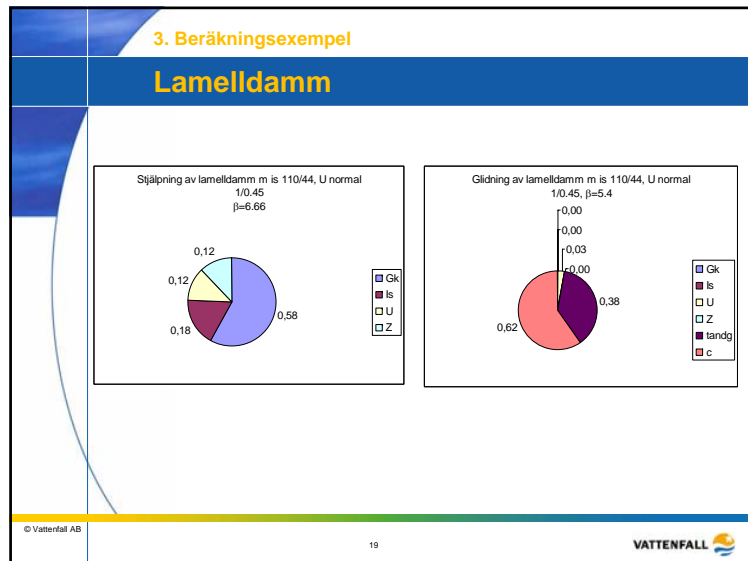
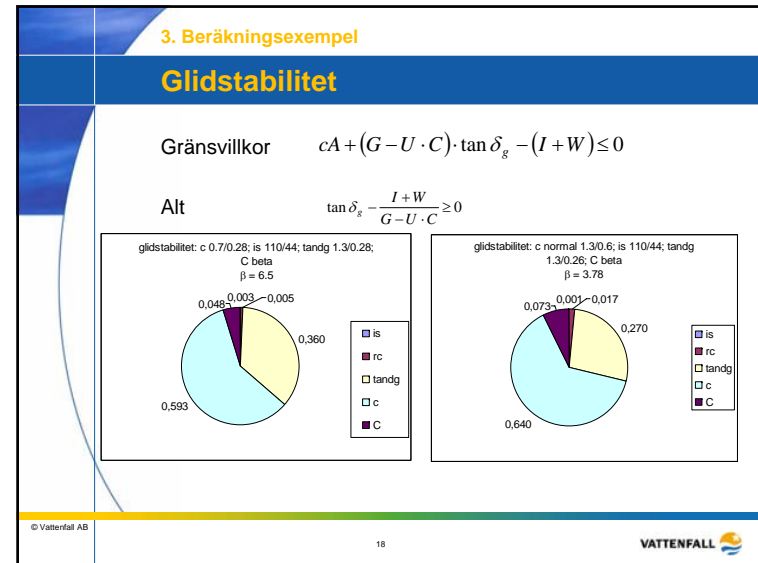
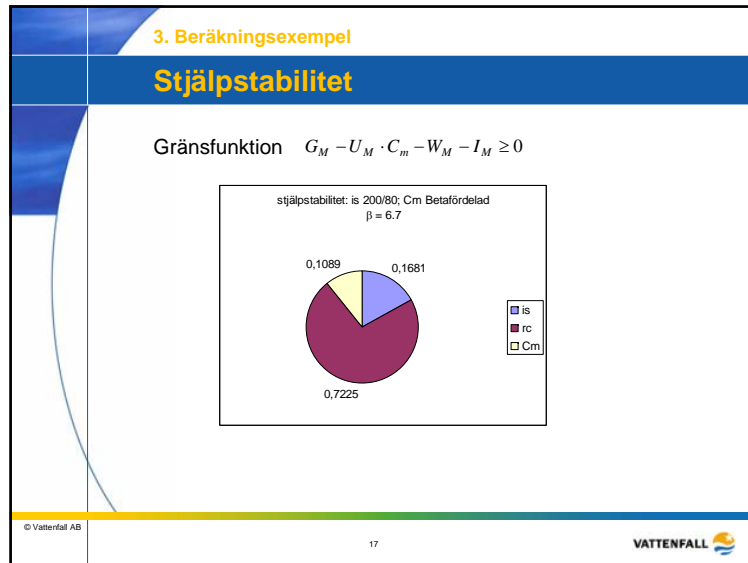
$$G_w = V_c \cdot \rho_c \quad G_w = V_c \cdot \rho_c \cdot I_c$$

$$W = \frac{\rho_w \cdot H^2}{2} \cdot C \quad W_w = \frac{\rho_w \cdot H^2}{6}$$

$$U = \frac{\rho_w \cdot H \cdot B}{2} \cdot C \quad U_w = \frac{\rho_w \cdot H \cdot B^2}{3} \cdot C_w$$

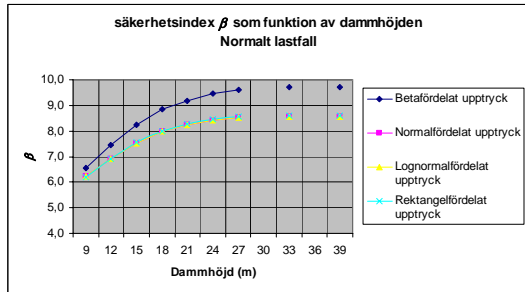
$$I = 200kN/m \quad I_w = I - I_c$$

© Vattenfall AB VATTENFALL



3. Beräkningsexempel

"Kalibrering" mot RIDAS



Slutsatser och diskussionsförslag...

De faktorer som har störst inverkan på

- stjälpstabiliteten är egentyngd, uppträck och islast
- glidstabiliteten är kohesion, friktion, uppträck
- Stabilitetsanalys mha säkerhetsfaktorer ger olika säkerhet för olika typer/storlekar av dammar, detta bör hanteras!
- Är de stabilitetskrav som finns i RIDAS bra formulerade? Är det inte bättre att hantera osäkerheten i kohesion mha en hög partial faktor än att helt ta bort den?

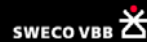
Tack för uppmärksamheten!

BILAGA 4

Glidstabilitet för betong-
dammar – Internationellt ut-
blick, svenskt praxis och på-
gående utvecklingsprojekt

BETONGDAMMARS GLIDSTABILITET - INTERNATIONELL UTBLICK, SVENSK PRAXIS OCH PÅGÅENDE UTVECKLINGSPROJEKT

Anders Gustafsson, Sweco VBB



Internationell utblick - Brott i betongdammar

Dammtyp	Antal dammbrott	Antal dammar ¹⁾	Andel brott (%)
Gravitationsdammar, betong – PG	10	3434	0,9
Gravitationsdammar, murverk – PG(M)	21		
Lamelldammar, betong – CB	5	316	2,2
Lamelldammar, murverk – CB(M)	2		
Valvdammar, betong – VA	3	808	0,7
Valvdammar, murverk – VA(M)	3		
Serievalvdammar, betong – MV	2	105	1,9
Serievalvdammar, murverk – MV (M)	0		
TOTALT	46	4663	1,0

¹⁾ Antal dammar enligt ICOLD exklusive Kina (1984)

Antalet dammbrott i stort, d v s inklusive fyllningsdammar, är enligt ICOLDs statistik ca 1 brott per hundra byggda dammar (176 brott på 17406 byggda dammar).



Orsaker till brott i betongdammar

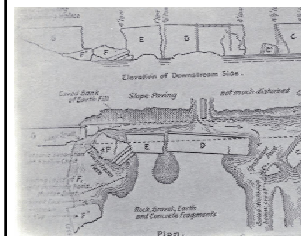
Brottsorsak	Gravitationsdammar	Lamelldammar	Valvdammar	Serievalvdammar	Totalt
Glidning i grund, upptryck	13		2		15
Yttre erosion (överströmning, högt flöde)	10	2	2		14
Läckage, inre erosion i grund	4	3	2		9
Brott i betong eller bruk	5	1		2	8
Dammbrott uppströms	5				5
Okänd		1			1
Totalt ¹⁾	37	7	6	2	52

¹⁾ För vissa av gravitationsdammarna har fler än en dammbrottsorsak angivits varför totala antalet överstiger totala antalet som rasat (31).



Bayless, USA, 1909-1911

Dammhöjd 16 m

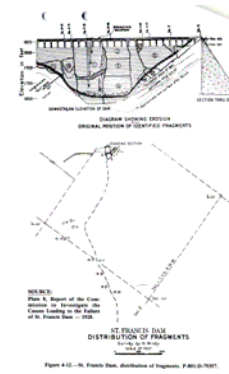


Saint Francis, USA, 1926

Dammhöjd 62 m



Saint Francis, USA, 1928



Vega de Tera, Spanien, 1956

Dammhöjd 34 m



Vega de Tera, Spanien, 1958



Några reflektioner om inträffade brott i betongdammar

- Brott i betongdammar har skett genom glidning, brott i dammkroppen och erosion.
- Fall av ren stjälpning finns inte rapporterade.
- Många av brotten har skett vid överströmning eller vid exceptionellt hög dämning mot dammen.
- Brott i **gravitationsdammar** har ofta skett genom glidning eller inre erosion.
- Brott i själva dammkroppen har förekommit i flera **murverksdammar**.

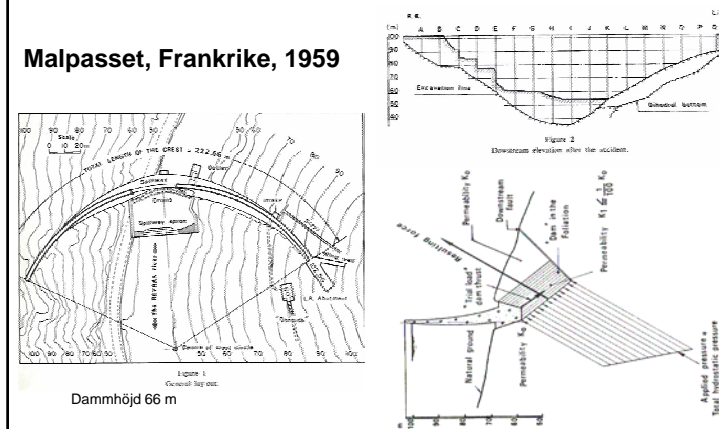
Några reflektioner om brott i betongdammar (forts)

- Flera **lamelldammar** har gått till brott pga inre erosion. Brott i själva dammkroppen har också förekommit.
- För **valvdammar** har svagheter i grund och anfang orsakat brott. Inget fall av brott i själva valvet finns rapporterat.
- Glidning har framför allt skett då dammarna varit berggrundlagda.
- Inre erosion har skett i både berggrundlagda och jordgrundlagda dammar.

Geologi vid berggrundlagda dammar som brutit genom glidning

Damm	Typ	År för brott	Geologi
Austin (A)	Gravitation, murverk	1900	Skiffer/Kalksten/Dolomit
Bayless (A)	Gravitationsdamm	1910	Skiffer/Sandsten
Bayless (B)	Gravitationsdamm	1911	Skiffer/Sandsten
Tigra	Gravitation, murverk	1917	Skiffer/Sandsten
St Francis	Gravitationsdamm	1928	Konglomerat/Skiffer
Komoro	Lamelldamm, murverk	1928	Tuff
Zebrino	Gravitationsdamm	1935	Skiffer/Hornfeld
Xuriguera	Gravitationsdamm	1944	Okänd
Malpasset	Valvdamm	1959	Gnejs

Malpasset, Frankrike, 1959



Glidstabilitet - Gällande riktlinjer i Sverige

Beräknad glidfaktor

$$\mu = \frac{\sum H}{\sum V} \leq \mu_{ill}$$

μ = Glidfaktor (tan \emptyset)

V = Vertikal kraft

H = Horisontell kraft

Rekommenderade tillåtna värden och brottvärde för glidfaktorn enligt RIDAS vid grundläggning på bra berg

	Normalt lastfall	Exceptionellt lastfall	Olycks-lastfall	Brottvärde för tan ϕ
Glidfaktor	0,75	0,90	0,95	1,0
Motsvarande friktionsvinkel, ϕ (°)	37	42	43,5	45

Säkerhetsfaktor enligt RIDAS för reduktion av brottvärdet tan ϕ

Grundläggning	Normalt lastfall	Exceptionellt lastfall	Olycksfall
Berg	1,35	1,10	1,05

Jämförelse av riktlinjer i 14 länder

Endast Sverige och Italien har riktlinjer som beaktar glidning genom en friktionskoefficient.

Övriga 12 länder har dokumenterade förfaranden som tar hänsyn till både kohesion och friktion vid bestämning av hållfastheten.

$$SF = \frac{c \cdot A + \sum V \cdot \tan \phi}{\sum H}$$

SF = Säkerhetsfaktor

C = Kohesion

A = Basarean

V = Vertikal kraft

\emptyset = Friktionsvinkel

H = Horisontell kraft

Jämförelse av riktlinjer i 14 länder (forts.)

Enhetliga säkerhetsfaktorer som varierar beroende på typ av lastfall tillämpas i 13 av de undersökta länderna.

Endast ett land (China) tillämpar ett system uppbyggt av partiella säkerhetsfaktorer som appliceras på laster och hållfasthetsparametrar (partialkoefficientmetoden).

Exempel på säkerhetsfaktorer vid kontroll av glidning

Lastfall	Kanada - CDSA 1995	Norge - NVE (2002)	USA - USACE (2005)		Sverige - RIDAS (2000)
			Stora konsekvenser	Små konsekvenser	
Vanligt	3,0 ^{a)}	3,0 ^{g)}		3,0 ^{g)}	1,35
	2,0 ^{b)}	2,5 ^{b)}	2,0 ^{h)}	1,5 ^{b)}	
	1,5 ^{c)}	1,5 ^{f)}	1,7 ^{h)}	1,4 ^{g)}	
Exceptionellt/ Ovanligt	2,0 ^{a)}			2,6 ^{g)}	1,10
	1,5 ^{b)}		1,5 ^{h)}	1,3 ^{b)}	
	1,3 ^{c)}		1,3 ^{g)}	1,2 ^{g)}	
Extremt/ Olycksfall	1,3 ^{a)}	2,0 ^{g)}		2,2 ^{g)}	1,05
	1,1 ^{b)}	1,5 ^{e)}	1,1 ^{h)}	1,1 ^{h)}	
	1,0 ^{c)}	1,1 ^{f)}	1,1 ^{g)}	1,1 ^{g)}	

Anmärkningar:

a) "Peak sliding factor", utan test ; b) "Peak sliding factor", med test ; c) Residual sliding factor, utan test

d) Med hänsyn till kohesion, utan test ; e) Med hänsyn till kohesion, med test ; f) Utan hänsyn till kohesion

g) Begränsad kännedom om lokala förhållanden ; h) Medelgod kännedom om lokala förhållanden

i) God kännedom om lokala förhållanden

Säkerhetsfaktorer

Typiska säkerhetsfaktorer i undersökta länders riktlinjer

	Lastfall		
	Normalt	Exc.	Olycks-
Högre värden på brothållfasthet	3	2	1,3
Lägre värden på brothållfasthet	1,5	1,3	1,1

Högre värde på brothållfasthet: - Maximal skjuvhållfasthet i sprickor (Peak Strength)
- Höga värden på kohesion i kontakten berg/betong

Lägre värde på brothållfasthet: - Hållfasthet efter en betydande deformation (Residual Strength)
- Låga värden på kohesion i kontakten berg/betong

Glidstabilitet - Motiv till att se över svenska dimensioneringsregler

- Kraven på dammsäkerhet är generellt högre idag jämfört med vad som gällde då dammarna byggdes
- Nya metoder har utvecklats och tillämpas internationellt
- Bärförmågan kan vara under avtagande p.g.a. åldring. (bergförankringar, injekteringskärmar, dränagesystem)
- Större belastningskrav p.g.a. av högre dimensionerande flöden
- De förstärkningar som utförs av våra betongdammar bör basera sig på bästa möjliga kunskap

Pågående utvecklingsprojekt - Glidbrott i betongdammar

Utvecklingsprojekt inom ELFORSK (Etapp 2):

Syftar till att utarbeta ny metodik för att verifiera glidstabiliteten för betongdammar grundlagda på berg.

Projektet utförs av SWECO i samarbete med Sekond, KTH Jord- och Berg samt Vattenfall.

Doktorandprojekt på KTH Jord och Berg (Fredrik Johansson)

ELFORSK-projektet

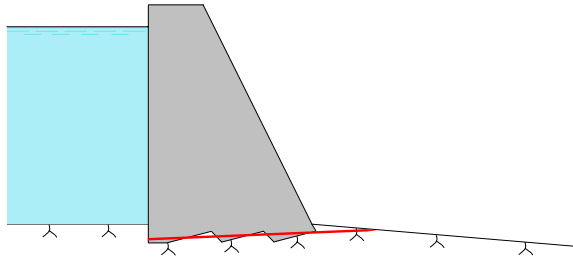
Omfattning:

- Utveckling av beräkningsmodeller (inkl. säkerhetsfaktorer)
- Metoder för undersökning av berggrunden
- Fallstudier

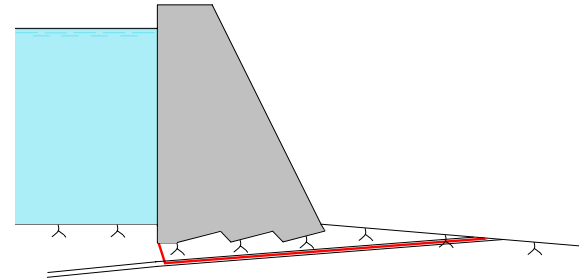
Tre olika typer av glidbrott studeras:

- Brott i kontaktytan mellan berg och betong
- Brott längs befintliga sprickplan i berget
- Brott i bergmassan

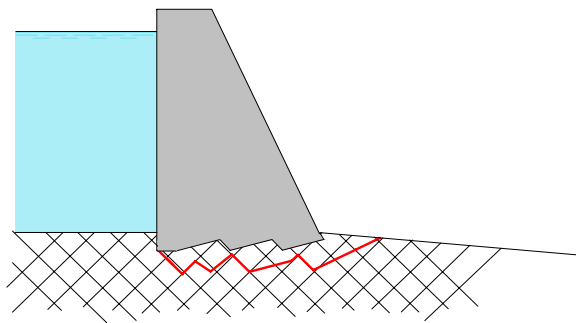
Glidbrott i kontaktyta mellan berg och betong



Glidbrott längs befintliga sprickplan i berget



Glidbrott i bergmassa



ELFORSK-projektet, Preliminära slutsatser, fas 1:

- Stabilitetskriterier för dammar är fortfarande i hög grad erfarenhetsbaserade.
- Nuvarande krav i RIDAS på säkerhet mot glidning är onyanserade både i internationell jämförelse och med hänsyn till det faktiska kunskapsläget.
- För vissa dammar kan RIDAS krav vara alltför konservativa och för andra otillräckliga, allt beroende på lokala förhållanden.
- Det kan finnas anledning att särskilja kraven mellan klass 1- och klass 2-dammar.

ELFORSK-projektet, Preliminära slutsatser, fas 1 (forts):

- I kontakten mellan berg och betong kan skjuvhållfastheten vara hög, eller till och med mycket hög, vid gott berg, intakt vidhäftning och betydande råhet i kontaktytan.
- Brott i själva bergmassan är normalt inte realistisk scenarier för svenska betongdammar. Det är inte otänkbart med friktionskoefficienter uppemot 1,5.
- Förekomst av flacka genomgående sprickplan har en avgörande betydelse för glidstabiliteten.

ELFORSK-projektet, Preliminära slutsatser, fas 1 (forts):

- Ytinjektering och slaka förankringar som går ner 2-3 m ned i berget, bidrar till att minskar risken för glidning i mer eller mindre genomgående sprickor.
- Slaka förankringsjärn har betydelse för att säkerställa vidhäftningen i kontakten mellan berg och betong.
- Utsprängda klackar i grundläggningsytan medverkar till hållfastheten i kontakten mellan berg och betong
- Horisontell armering i dammpelarnas bas kan ha betydelse för att hålla ihop pelaren och överbygga eventuella lokala svagheter i grunden.

ELFORSK-projektet, fas 2

Omfattande fältundersökningar planeras att utföras vid någon eller några svenska dammar:

- Ytkartering av bergskärningar och tunnlar
- Omfattande kärnborring (orienterade kärnor)
- Vattenförlustmätning
- Laboratorieprov
- Ev. storskaliga skjuvförsök

BILAGA 5

Stabilitetsanalys och utförda
åtgärder vid betong-
dammarna i Långbjörn,
Torpshammar och Porsi

Stabilitetsanalys av betongdammar

Stabilitetsanalys och utförda åtgärder vid betongdammarna i Långbjörn, Torpshammar och Porsi



Hans Ericsson SVECO VBB
2006-11-27

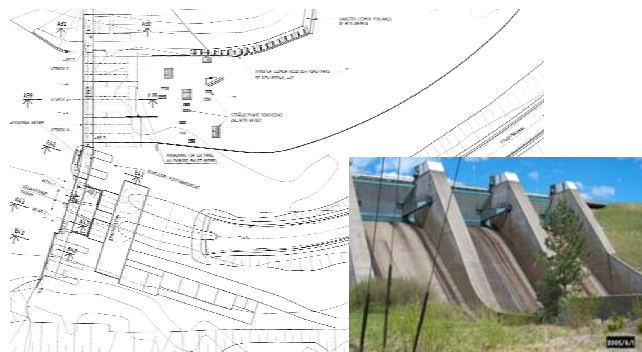
SWECO VBB 

Gemensamt

- Utskovspartier
- Liknande förhållanden
- Driftfallsanpassade belastningsförutsättningar enligt RIDAS
- Stabilitetsberäkningar visar ej tillfredställande stabilitet för vissa lastfall

SWECO VBB 

Långbjörn



SWECO VBB 

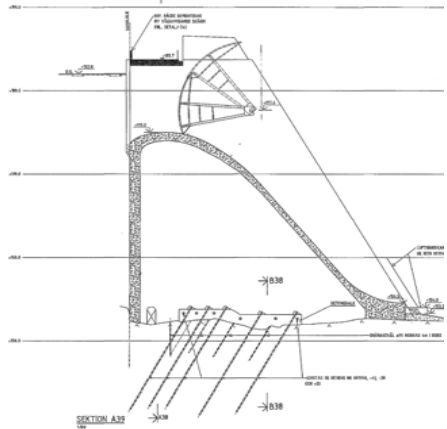
Långbjörn

- Horisontella sprickplan under utskov
- Horisontella brottytor mellan betong och berg ev. också i svaghetszoner i berget under
- Bergets karaktär ger anledning till antagande om lägre tillåten glidfaktor än normalt
- Åtgärdas genom öka normalkraft, egenvikt eller stag

SWECO VBB 

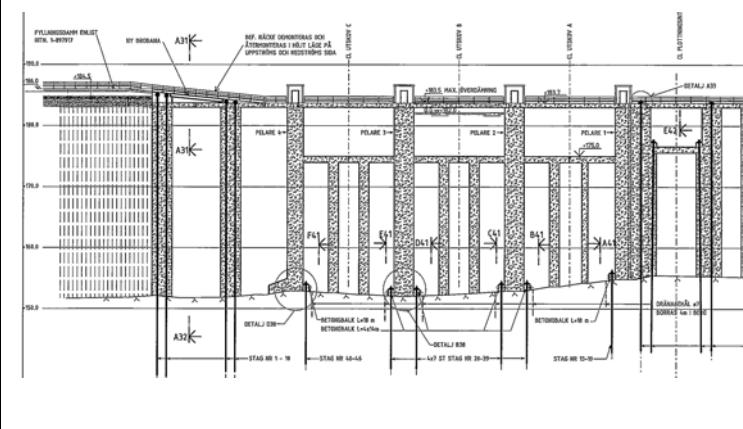
Långbjörn

- Stag valdes p.g.a. utrymmesskäl
- Stagen lutades för bättre effekt
- Mängden stag ersätter mängden slak armering som installerades vid uppförandet
- Dränage borrades vid balkar



SWECO VBB

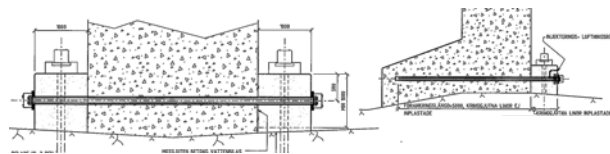
Långbjörn



SWECO VBB

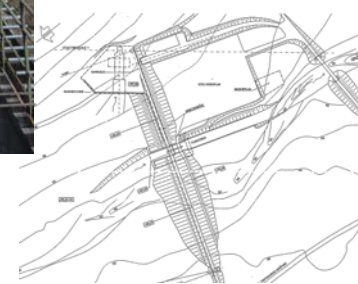
Långbjörn

Detaljer, mellanpelare och sidopelare 4



SWECO VBB

Torpshammar



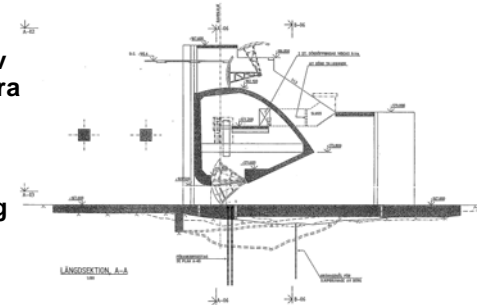
SWECO VBB

Torpshammar

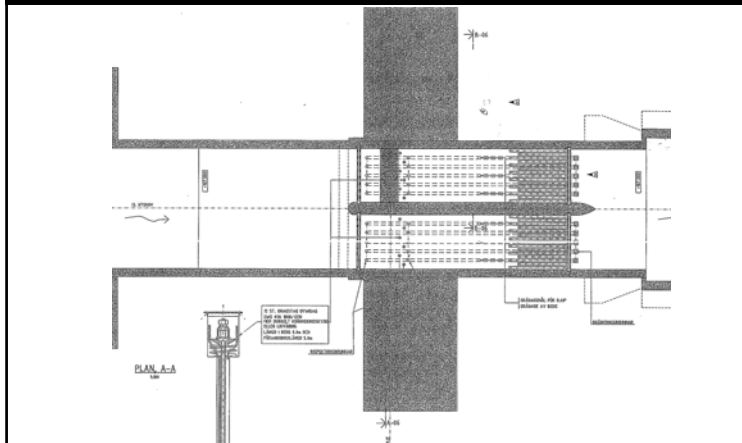
- Gnejsgranit, grov inhomogen. Betydande sprickighet i berget
- Lerslag på omkring 3 m djup, injekterades vid byggnation
- Normala fall OK, bygger på att ett dränage är i funktion
- Exc. Lastall, igensatt dränage ej tillfredställande. Glidfaktor upp mot 1,40.

Torpshammar

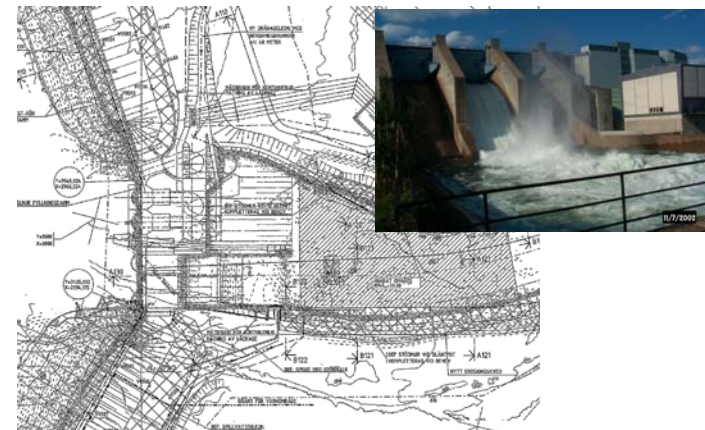
- Säkerställande av dränage skulle vara tillräckligt.
- Detta svårt att garantera urspolning av slag möjligt. Går ej att åtgärda vid spill i bottenutskov.
- Komplettering med förspända stag i bottenplattan



Torpshammar



Porsi

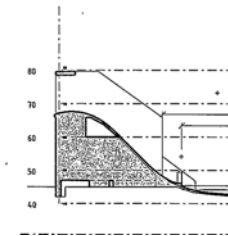


Porsi

- Horisontella slag i berg, speciellt på omkr. 3 m djup
- En mängd slaka förankringar sattes vid uppförandet. Krav på låg glidfaktor redan vid uppförande. Resultanten väl inom kärngräns
- Stabilitet starkt beroende av uppträcksbilden vilken bedöms som osäker.

Porsi

- Nu installeras portrycksmätare för kontinuerlig registrering under utskov och intag.
- Dessutom utförs dräneringsborrning under utskov och skibord.
- När resultat erhålles utvärderas stabilitetsvillkoren, ev. kompletterande beräkning



BILAGA 6

Är dimensionering med fixa partialkoefficienter en bra metod för utvärdering av glidstabilitet hos betongdammar grundlagda på berg?

Är dimensionering med kalibrerade (fixa) partialkoefficienter en bra metod för utvärdering av glidstabilitet hos betongdammar grundlagda på berg?

Fredrik Johansson, Avd. för Jord och Bergmekanik, KTH

Inledning

- Idag dimensioneras betongdammarna enligt RIDAS, Kraftföretagens Riktlinjer för Dammsäkerhet. Glidstabiliteten kontrolleras genom att beräkna en friktionskoefficient som jämförs mot tillåtet värde.

$$\mu = \frac{\sum H}{\sum V} \leq \mu_{\text{min}}$$

- Ovanstående ekvation kan användas som en gränsfunktion till brott och partialkoefficienter för de ingående parametrarna kan beräknas eller kalibreras med en sannolikhetsbaserad metod kallad "First Order Reliability Method" (FORM).

- Förutsättningarna för denna metod är att: Bärförmåga, R , och last, S , ska vara separerbar

Uttrycket för brottgränstillståndet ska vara enkelt och deriverbart

En parameters inverkan ska vara relativt konstant (inbördes rangordning konstant)

Fredrik Johansson, Avd. för Jord och Bergmekanik, KTH

Partialkoefficienternas bakgrund

- Det teoretiska sambandet för en partialkoefficient kan uttryckas (normalfördelade variabler):

$$\frac{R_{k,i}}{\gamma_i} = \mu_i + \alpha_i \cdot \beta \cdot \sigma_i$$

Där:

$R_{k,i}$ = Karakteristiska värdet för variabel i

γ_i = Partialkoefficient för variabel i

μ_i = Medelvärde för variabel i

α_i = Känslighetsfaktor för variabel i (Skapar en enhetsvektor $\Sigma \alpha_i^2 = 1$)

β = Säkerhetsindex (För klass I dammar bör β ligga omkring 4,8 vilket motsvarar en brottsannolikhet på 10^{-6})

σ_i = Standardavvikelse för variabel i

Fredrik Johansson, Avd. för Jord och Bergmekanik, KTH

Är parametrarnas känslighet konstant ($\alpha_i = \text{konst}$)?

En förutsättning för att kunna kalibrera partialkoefficienter för betongdammar är att parametrarnas känslighet är relativt konstant.

En fråga som uppstår är hur parametrarnas känslighet varierar när olika typer av betongmonoliter med olika geometri utvärderas såsom:

Gravitationsmonoliter

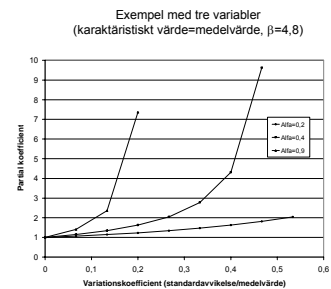
Lamellmonoliter

Utskovsmonoliter

Monoliter för flottning

Inlag o.s.v.

- Som figuren visar är känsligheten (alfa) och variationen viktig.



Vanlig fördelning av alfa (känslighetsfaktorn) om tre variabler används:

$$\Sigma \text{Alfa}^2 = 0,9^2 + 0,4^2 + 0,2^2 = 0,81 + 0,16 + 0,04 = 1,00$$

Fredrik Johansson, Avd. för Jord och Bergmekanik, KTH

Hur stor är variationen på parametrarna som beskriver bergets hållfasthet?

Exempel 1: Tryckhållfasthet för intakt berg.

- Provnings från Norra Länken och Citybanan i Stockholm från borrkärnor med en diameter på ca 50-60 mm gav följande resultat på det intakta bergets tryckhållfasthet:

	Antal prov	Medelvärde (MPa)	Standardavvikelse	Variationskoefficient
Granit	34	217	59	0,27
Gnejs	26	114	34	0,30
Pegmatit	19	127	33	0,26
Amfibolit	10	109	49	0,45

- Variationen är relativt hög och varierar enligt ovan mellan 0,26 och 0,45. Troligen varierar även variationen med provskalan.

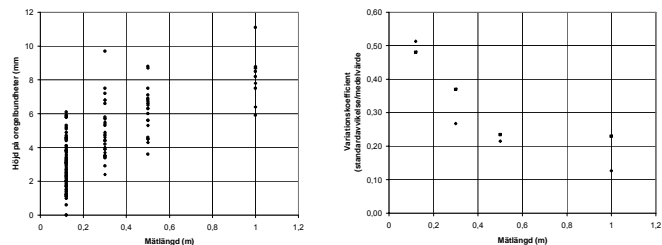
Fredrik Johansson, Avd. för Jord och Bergmekanik, KTH

Hur stor är variationen på parametrarna som beskriver bergets hållfasthet (forts)?

Exempel 2: Råhet för en sprickyta.

I nedanstående exempel har råheten på en sprickyta uppmätts, vilken är en viktig parameter för att bestämma en sprickas skjuvhållfasthet. Som figurerna visar är variationen stor. Dessutom minskar variationen med ökad mätlängd.

En fråga som också uppstår är om det finns en längd som kan betraktas som medelvärdesbildande, d.v.s. finns det en längd vid vilken råheten kan betraktas som konstant. Om en sådan längd kan bestämmas styr den antalet element i det mekaniska systemet.



Fredrik Johansson, Avd. för Jord och Bergmekanik, KTH

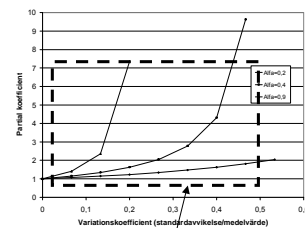
Övriga faktorer som kan påverka variationen

- En statistisk osäkerhet till följd av fåtalsprovning
- Typ av brott, d.v.s. hur ska det mekaniska systemet för studerad brottmod betraktas.
- Standardavvikelsen kan med andra ord beskrivas som en funktion av flera variabler:

$f(\sigma)$ =(naturliga variation, provskalan, medelvärdesbildande längd (fluktuationsavstånd), antal prov, brotttyp)

Fredrik Johansson, Avd. för Jord och Bergmekanik, KTH

Sammanfattning



- Partialkoefficienter är bra eftersom de indirekt beskriver varje parameters osäkerhet, men...
 - ...olika utformning på monoliterna i betongdammen kan resultera i varierande sensitivitet för de ingående parametrarna.
 - ...variationen för bl.a. parametrarna som beskriver bergets hållfasthet är stor
 - ...variationen varierar med betraktelseskanalen
 - ...antal prov påverkar variationen
 - ...typ av brottmod (mekaniskt system) påverkar variationen
- Det är svårt att bestämma en korrekt partialkoefficient
- Det finns en risk att spännet för varje partialkoefficient blir stort om samtliga dammar ska täckas in.

Fredrik Johansson, Avd. för Jord och Bergmekanik, KTH

Finns andra alternativ?

- Eurocode EN 1990 möjliggör användandet av stokastiska metoder.
- Eurocode EN1997-1 som berör geoteknisk dimensionering möjliggör användandet av följande metoder:

- Partialkoefficienter
- Härdvunna metoder (ex. friktionskoefficient enl. RIDAS?)
- Provning (fullskala)
- Observationsmetoden

Fredrik Johansson, Avd. för Jord och
Bergmekanik, KTH

Slutsatser

- För betongdammar tror jag att varje damm bör betraktas som en unik konstruktion.
- Utgå från befintlig information och komplettera genom provningar eller observationer om så anses befogat.
- Partialkoefficienter kan användas, men bör tas fram separat för varje betongdamm och kanske för varje monolit...
- ...d.v.s. en direkt användning av stokastiska metoder fungerar lika bra.

Fredrik Johansson, Avd. för Jord och
Bergmekanik, KTH

BILAGA 7
Synpunkter på RIDAS
kap. 3.3

Synpunkter på Ridas kap.3.3 Betongdammar
inför seminarium 2006-11-27 / Arne Landström

Underlag: Gamla Ridas, Koncept 2005 och Utgåva 2006.

Giltighet:

I gamla Ridas står om giltighet ”gäller i första hand nya anläggningar men där ingår även vissa anvisningar som kan tillämpas på äldre anläggningar”. Vag formulering. Vad ska tillämpas i första hand på äldre anläggningar?

Det är också fel att göra skilda regler för nya resp äldre anläggningar. Även om en äldre anläggning har konstruerats med andra normer så ska de också, vid ombyggnad och analys, självklart beräknas enligt de nya normerna. Om de då ej uppfyller dessa så bör något göras åt anläggningen och inte åt normen, d.v.s. man kan inte hänvisa till att den klarade de gamla bestämmelserna – det finns orsaker till att kraven ändras eller skärps.

Oklarheter i Ridas – alla gör sina egna regler?

I gamla Ridas finns mycket som är oklart och svårt att förstå. På grund av - eller tack vare - den vaga formuleringen om giltighet så har man vid oklarheter i Ridas tvingats till friheten att göra egna bedömningar. En bra konstruktör ”erfordrar” kanske inte så mycket normer och i Ridas står också att ”konstruktionsarbetet skall ledas av person med mångårig erfarenhet”. Därför har konstruktionsarbetet kunnat fortgå genom tiderna utan att någon behövt kräva ändringar i Ridas eller ifrågasätta riktigheten av det egna arbetet.

Rev. Ridas att gälla både nya och gamla dammar

Idag finns det inte så många kvar av dessa erfarna konstruktörer, och de blir än färre imorgon. Det är alltså hög tid att göra en reviderad Ridas, att gälla för både nya och gamla dammar. För förståelse av kraven i den nya normen bör stor vikt läggas på att förklara bakgrunden till dessa krav.

Beskrivning av dammar

I gamla Ridas beskrivs gravitationsdammar, med och utan dränage- och inspektionsgångar, samt lamelldammar. I en betongdamm ingår också oftast utskov samt intagsbyggnader vilka också ska uppfylla stabilitetsvillkoren. Deras speciella funktionssätt och belastningar bör ges bättre beskrivningar i Ridas. T.ex ska ett utskov beräknas olika beroende på hur mycket de hopgjutna delarnas bidrar till den totala styvheten eller om dilatationsfogar mellan pelare och skibord har utförts eller inte. En intagsbyggnad kan t.ex. vara utförd med eller utan stöd från anslutande kraftstation och stabilitetskraven blir mer komplicerade än för en gravitationsdamm.. För dessa dammtyper är också den äldre Ridas definition av kärn- och basareor mindre relevanta.

Upptäck

Regler för bedömning av upptäckens storlek i gamla Ridas bör förtydligas och kompletteras. Detta gäller speciellt vid utskovspelare med anslutande skibord och vid intagen. Upptäckens storlek beror av ev. dräners funktion och föreskrifter ska finnas för kontroll av deras funktion om reduktion tillgodoräknas. Oavsett dränernas funktion förutsätts idag att avloppen, dräneringsgroparnas avloppspumpar, fungerar. Om avloppet ej skulle fungera så kan upptäcket, t.ex vid ett utskov, bli avsevärt högre än om blott dränerna slutat fungera. Samma gäller för ett intag där maskinstationens avlopp förutsätts fungera vid beräkning av upptäcket

mot intagstuben. Detta lastfall finns ej medtaget i dagens lastfall men bör beaktas i en rev. Ridas.

För att öka förståelsen av den möjliga variationen av upptryckens storlek i alla dammtyper bör exempel ges i Ridas på strömning under olika dammar med tillhörande ekvipotentiallinjer. Även för utplacering av upptrycksmätare eller vid bedömning av dess mätresultat bör denna metod användas.

Istryck

Istryckets storlek enligt gamla Ridas bör nyanseras. Gäller speciellt vid en bred isfrihållning med valvbildning t.ex. över både intag och utskov, då ingen gräns finns för hur stort trycket mot t.ex en utskovspelare kan bli.

Jordtryck

I gamla Ridas föreskrivs att aktivt jordtryck skall gälla vid beräkning av mothållande krafter från jordfyllning. Aktivt jordtryck ska ju normalt användas vid beräkning av trycket mot en eftergivande konstruktion. Då en fyllning utsätts för en påskjutande konstruktion, som en betongdamm, ökar trycket och det bör i stället kunna betraktas som vilojordtryck. Därmed skulle vilojordstryck kunna föreskrivas gälla på båda sidor om dammen.. Förenklingen i beräkning av jordtrycken mot en damm blir därmed också avsevärd. Ett antal förslag att beräkna jordtryck i olika situationer för olika dammar bör ingå i en rev.Ridas.

Lastfall

I gamla Ridas anvisas en och samma uppsättning lastfall för stabilitetsberäkning som för dimensionering och analys av betongtvärsnitt. Detta måste betraktas som principiellt felaktigt. Det är ju inte givet att de dimensionerande lastfallen för stabiliteten också blir dimensionerande för tvärsnitten. Anta t.ex en i dammen ingående nerstöms vägg som får stöd av nerströms fyllning. Idag skulle den ges samma belastning vid tvärsnittsdimensionering som vid stabilitetsberäkning, d.v.s endast aktivt jordtryck. Laster och lastfall bör därför utses och anges separat för stabilitetsberäkning resp. dimensionering av tvärsnitt.

Stabilitetsberäkningar:

Dammars stabilitet beräknas idag på gammalt sätt med ofaktorerade laster och med krav på säkerhetsfaktor $s = M_{stab}/M_{stj} = \min 1,5$ (1,35 resp 1,1 vid except resp olyckslastfall).

För andra konstruktioner i samhället ska stabiliteten beräknas med partialkoefficienter och kravet på $M_{stab}/M_{stj} = \min 1,0$ (med partialkoefficienter på laster och mothåll erhålls motsvarande säkerhet som tidigare).

Varför inte partialkoeff. även för dammar?

Eftersom en damm har sin största belastningen av vattentryck resp. upptryck måste nedanstående beaktas innan en övergång till partialkoefficientmetoden kan göras:

- Genom gamla Ridas krav på förhållandet $M_{stab}/M_{stj} = 1,5$ ges vattentrycket i praktiken en partialkoefficienten = lastfaktorn 1,5 vilken kan jämföras med lastfaktor ca 1,1 vid beräkning enligt BKR med partialkoefficientmetoden. Denna låga lastfaktor orsakas av att vattentrycket inte kan bli större än vad dess belastande höjd, inkl vågor, anger (andra huvudlaster med större osäkerhet ges lastfaktor 1,3).

- För val av lastfaktorer på upptrycken måste först utredas hur dammsäkerheten - enligt det tidigare måttet $s = M_{stab}/M_{stj}$ - påverkas av upptryckens variation under olika dammar i kombination med en låg lastfaktor på vattentrycket enligt ovan.

Dimensionering och analys av dammstabilitet bör alltså tills vidare göras enligt den äldre metoden i avvaktan på ovanstående utrednings resultat varefter förhoppningsvis hela normen kan följa partialkoefficientmetoden.

Tvårsnittsanalys och -dimensionering:

I gamla Ridas anges alltså att samma lastfall ska användas vid dimensionering av tvärsnitt som vid dimensionering av stabilitet. I samband med att stabilitetsberäkningar görs, med ofaktoriserade laster, anvisas att motsvarande påkänningar ska beräknas i betongtvärsnitt. De dimensionerande påkänningarna erhålls därefter genom multiplikation med s.k. hydrauliska faktorer.

Som påpekats under ”lastfall” ovan är det inte givet att de för tvärsnittet farligaste lastfallen har studerats vid stabilitetsberäkningen. Dessutom torde det också vara principiellt felaktigt att använda ofaktoriserade laster inför tvärsnittsdimensioneringen. Normalt konservativt ska ju lastfaktorer öka effekten av en ogynnsam last samt också minska effekten av en gynnsam last vid tvärsnittsdimensionering. Detta kan ge helt olika påkänningsfördelningar över en konstruktion som inte kan korrigeras med de hydrauliska faktorerna.

En praktisk fråga är också om man ska tvingas till dimensionering med hydrauliska koefficienter vid dammen, t.ex. intaget, för att vid anslutande, närliggande konstruktioner övergå till normal beräkning med faktoriserade laster. Vilken röra att hålla reda på!

I Koncept 2005 föreslås sålunda att beräkningsmetoden med hydrauliska koefficienter ska utgå och ersättas med normal beräkning enligt partialkoefficientmetoden samt att en egen uppsättning laster och lastfall ska finnas för tvärsnittsdimensionering.

I Utskick 2006 däremot har man valt att behålla beräkningsmetoden med hydrauliska koefficienter men också, obetänksamt nog, valt att införa en egen uppsättning laster och lastfall för tvärsnittsdimensionering. Det har därmed blivit fullständigt kaos i regelverket. Eftersom underlaget för de dimensionerande tvärsnittsvärden ska hämtas från de ofaktoriserade stabilitetsberäkningarna så blir det gjort med fel lastfall och knappast gör man kompletterande stabilitetsberäkningar med fel lastfall för att få en riktig tvärsnittsdimensionering.

Orsaken till att metoden med hydrauliska koefficienter infördes lär vara enligt följande. När partialkoefficientmetoden började användas (ca 1980) kunde man konstatera att material som armeringsstål tilläts utnyttjas hårdare än tidigare utan att åsidosätta säkerheten för brott. En effekt av detta var att med ökad töjning i armeringen så kan sprickvidden öka. På grund av risken för ökad sprickbildning i betongen lät någon (Gösta Johansson) medelst högre lastfaktorer, de s.k. hydrauliska faktorerna, bibehålla den högre armeringsmängden i dammarna.

För mej är detta ett felaktigt sätt att dimensionera en betongkonstruktion. I betongnormerna ställs krav både på hållfasthet och beständighet. Beständigheten ska värnas bl.a genom att begränsa sprickvidder och detta ska göras genom dimensionering och inte genom något allmänt påslag.

Enklarest är alltså att låta metoden med hydrauliska koefficienter slutligen utgå och ersättas med vanlig beräkning med partialkoefficienter.