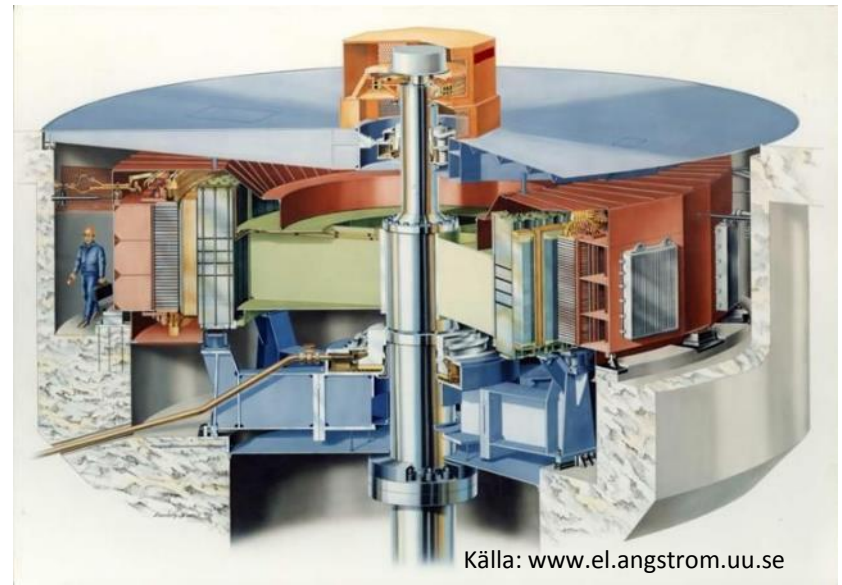




Betong och bergforskning inom Svenskt VattenkraftCentrum (SVC)

Richard Malm (KTH/SWECO) & Fredrik Johansson (KTH/SWECO)



Svenskt Vattenkraftscentrum (SVC)

SVC är ett centrum för utbildning och forskning inom vattenkraft och gruvdammar som bidrar med kunskap och kompetens till nytta för industrin, samhället och högskolan.



Vattenbyggnad

- Hydrologi och Vattenbyggnadshydraulik
- Geoteknik och **Bergmekanik**
- Vattenbyggnadshydraulik
- **Konstruktionsteknik**



Vattenturbiner och generatorer

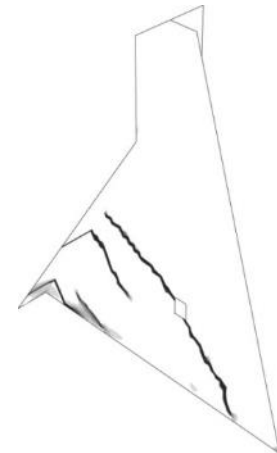
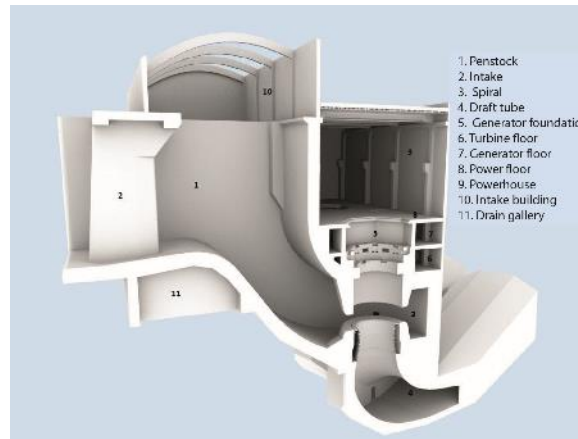
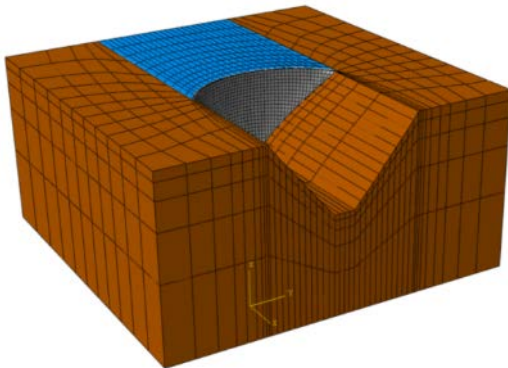
- Elektromekanik
- Rotordynamik
- Strömningsmekanik
- Maskinelement



SVC Konstruktionsteknik

Richard Malm

Seniorforskare SVC Konstruktionsteknik



SVC Konstruktionsteknik

Anläggningarnas karaktär: stora dimensioner, ensidigt vattentryck, lastväxlingar och potentiellt stora laster i konstruktionsdelar vid driftförändringar, stora vattenmängder, erosion och islaster

Kunskapsbehov: laster, hållfasthet, sprickor, strukturdynamik och konstruktionsteknik i betongkonstruktioner, förståelse för hur förändrade driftsätt kan förändra belastningen.

SVCs inriktning:

- Dynamiska laster i betongkonstruktioner (fundament, mellanväggar m.m.)
- Sprickfri betong i vattenvägar
- Förankring av betong i berg
- Lastförutsättningar beträffande istryck

Samverkan med flera av SVCs miljöer i båda kompetensområdena och systemområden

SVC Konstruktionsteknik



SVC Seniorforskare: Richard Malm (KTH / Sweco)



SVC Adjungerad professor: Erik Nordström
(Sweco/KTH)



SVC Doktorand: Martin Rosenqvist (LTH/VRD)
(delfinansierad av SVC)

- *Fuktupptagning och frostbeständighet hos vattenbyggnadsbetong*
- Disputation 10 Oktober 2016



SVC Doktorand: Tobias Gasch (KTH/VRD)

- *Vattenkraftens aggregatnära konstruktioner*
- Lic 23 maj 2016
- Disputation planerad HT 2018



SVC Doktorand: Daniel Eriksson (KTH/SWECO)

- *Nedbrytning av betong i vattenvägar*
- Lic planerad 2018



SVC Doktorand: Rikard Hellgren (KTH/WSP)
(delfinansierad av SVC)

- *Tillståndsbedömning av betongdammar*
- Lic planerad 2019

Svenskt Vattenkraftscentrum (SVC)

SVC Konstruktionsteknik

- Till varje verksamhetsområdet knyts en rådgivande referensgrupp för planering av verksamhetsområdets fortsatta utveckling.
- Referensgrupp SVC Konstruktionsteknik:

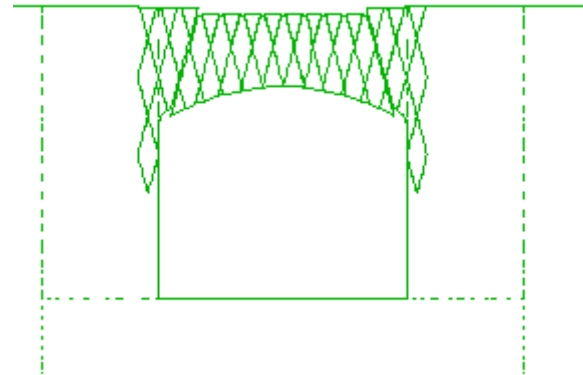
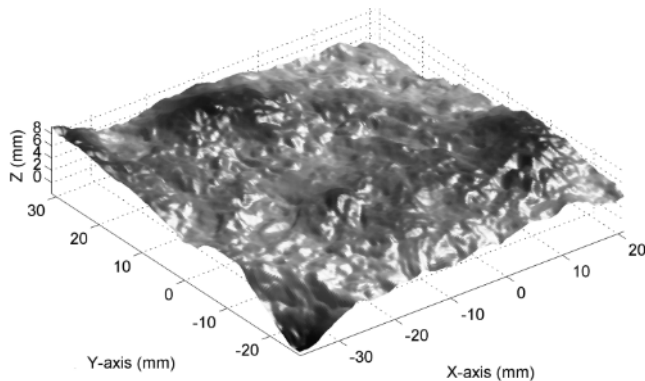
Person	Företag
Anders Ansell	KTH
Anders Wiberg	WSP
Carl-Oscar Nilsson	Uniper
Erik Nordström	Sweco/KTH
Fredrik Johansson	KTH/Sweco
Håkan Bond	WSP
Lars-Elof Bryne	VRD
Magnus Svensson	Fortum

Person	Företag
Manouchehr Hassanzadeh	Sweco/ LTH
Marcus Hautakoski	VRF
Marie Westberg Wilde	ÅF
Martin Hansson	Statkraft
Mats Persson	Vattenfall
Mats Stenmark	Norconsult
Robert Lundström	Skellefteå kraft
Tomas Ekström	ÅF

SVC Bergmekanik och grundläggning

Fredrik Johansson

Seniorforskare SVC Bergmekanik och grundläggning



SVC Bergmekanik och grundläggning

Övergripande syfte: Utveckla teori och metoder för dimensionering i och på berg, dvs dels för grundläggning av betong- och fyllnadsdammar på berg och dels för konstruktion av tunnlar och övriga vattenvägar i berg samt utveckla teori och metoder för injektering och tätning av dammar och tunnlar.

Kunskapsbehov: tillståndsbedömning/utvärdering av stabilitet, skjuvhållfasthet kontaktyta berg-betong, skjuvhållfasthet bergsprickor, upptryck i berg, förankringar i berg, tätning av berg, reparationsinjektering, dimensionering och tillståndsbedömning av bergförstärkning i tunnlar.

SVCs inriktning:

- Tillståndsbedömning m.a.p. stabilitet för befintliga konstruktioner vid grundläggning på berg
- Bestämning av skjuvhållfasthet i kontaktyta berg-betong och bergsprickor
- Dimensionering av bergförstärkning
- Tätning av berg och upptryck (planerad inriktning)

Samverkan med flera av SVCs miljöer i båda kompetensområdena och systemområden

SVC Bergmekanik och grundläggning



SVC Seniorforskare: Fredrik Johansson
(KTH / Sweco)



SVC Affilierad fakultet: Marie Westberg Wilde
(ÅF/KTH)



SVC Doktorand: Alexandra Krounis (ÅF)

- *Skjuvhållfasthet i kontaktytan berg-betong*
- Disputerade maj 2016



SVC Doktorand: Johan Spross (KTH)

- *Tillståndsbedömning av betongdammar grundlagda på berg med observationsmetoden och tillförlitlighetsbaserade metoder*
- Disputation 25 oktober 2016



SVC Doktorand: William Bjureland
(KTH/Skanska Teknik)

- *Dimensionering av bergförstärkning enligt Eurokod med tillförlitlighetsbaserade metoder*
- *Delfinansierad SVC. Övriga finansiärer BeFo, SKB, SBUF*
- Lic planerad mars 2017



SVC Doktorand: Francisco Rios Bayona
(KTH/SWECO)

- *Beräkning av skjuvhållfasthet in-situ baserad på optisk mätning av ytråhet*
- Lic planerad dec 2018

Svenskt Vattenkraftscentrum (SVC)

SVC Bergmekanik och grundläggning

- Till varje verksamhetsområdet knyts en rådgivande referensgrupp för planering av verksamhetsområdets fortsatta utveckling.
- Referensgrupp SVC Geoteknik och Bergmekanik:

Person	Företag
Sven Knutsson	LTU
Anders Wörman	KTH
James Yang	Vattenfall
Annika Bjelkevik	STC
Peter Viklander	Vattenfall
Kjell Nilsson	Fortum
Ingvar Ekström	Sweco

Person	Företag
Fredrik Johansson	KTH/SWECO
Marie Westberg Wilde	ÅF/KTH
Carl-Oscar Nilsson	Uniper
Mats Billstein	Vattenfall RD
Carl-Olof Söder	Sweco
Åsa Burman	Skellefteå kraft
Jonny Sjöberg	Itasca

Doktorandprojekt

Konstruktionsteknik

Doktorandprojekt

Fuktupptagning och frostbeständighet

- Hur sker fuktupptagning i betong vid konstant hög fuktbelastning, eller hög fuktbelastning kombinerad med temperaturgradient?
 - Underlag till förståelse av observerade frostsador i inre delar av starkt fuktexponerad betong, och utveckling av en frysprovningssmetod för inre skador.
- Tillstånd hos ytreparerade betongkonstruktioner
- Samverkan mellan olika nedbrytningsmekanismer
- Inverkan av urlakning på betongens frostbeständighet



Figur 43 – Provkropp efter en vecka.



Figur 44 – Provkropp efter två veckor.

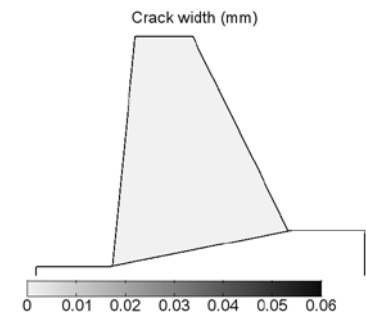
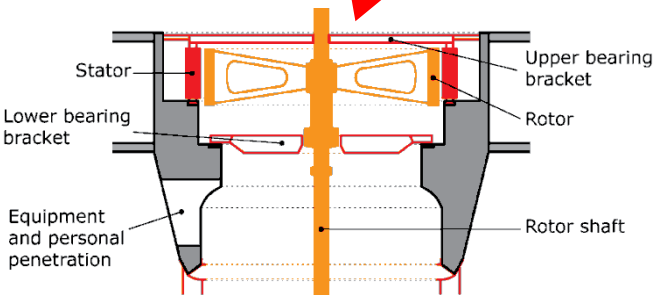
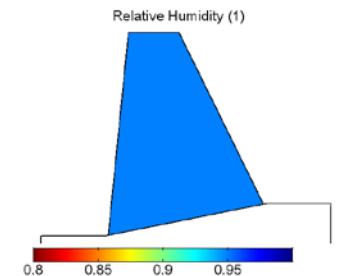
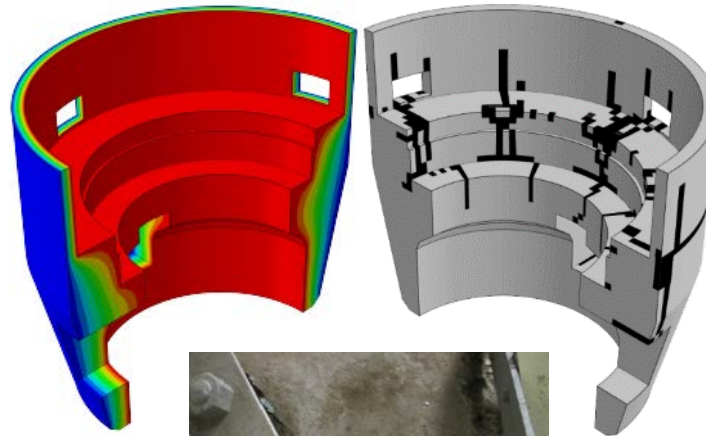
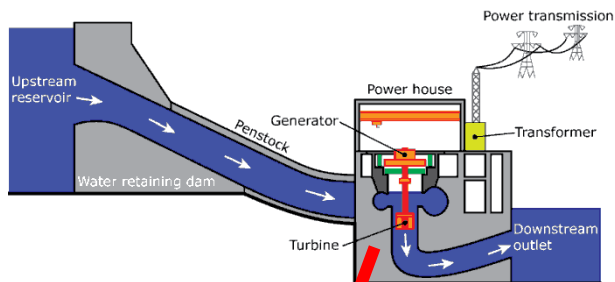
Doktorand: Martin Rosenqvist (LTH/VRD)

Handledare: Lars Wadsö (LTH), Katja Fridh (LTH) och Manouchehr Hassanzadeh (VRD/LTH)

Doktorandprojekt

Vattenkraftens aggregatnära konstruktioner

- Öka kunskapen om den komplicerade samverkan mellan generator (stator, rotor, turbin, etc) och dess betongfundament.
 - Driftmönstrets påverkan på belastningen på generatorfundamentet
- Inverkan av åldrande och sprickbildning i aggregatnära konstruktioner

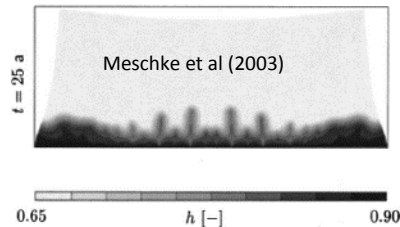
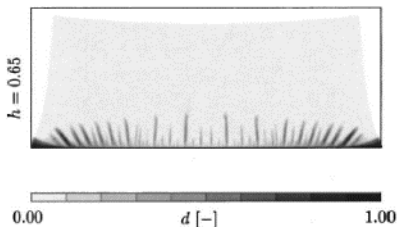
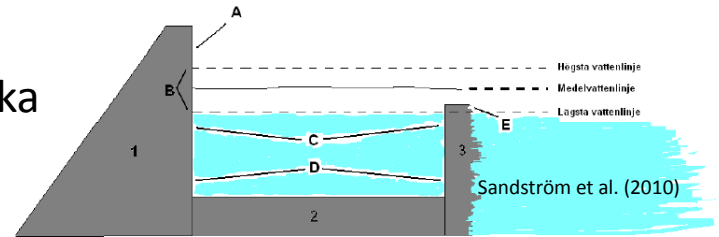


Doktorandprojekt



Nedbrytning av betong i vattenvägar

- Betongen i vattenvägar utsätts för flera olika typer av nedbrytningsmekanismer (erosion, urlakning, frostsprängning)
- Projektet fokuserar mot att utveckla metoder för att förklara och prediktera nedbrytningen
 - Numeriska analyser på enskilda nedbrytningsmekanismer men framförallt på synergieffekter.
 - Primärt fokus på urlakning och frostsprängning
 - Fältobservationer och/eller mätningar



Figur 43 – Provtrapp efter en vecka.



Figur 44 – Provtrapp efter två veckor.

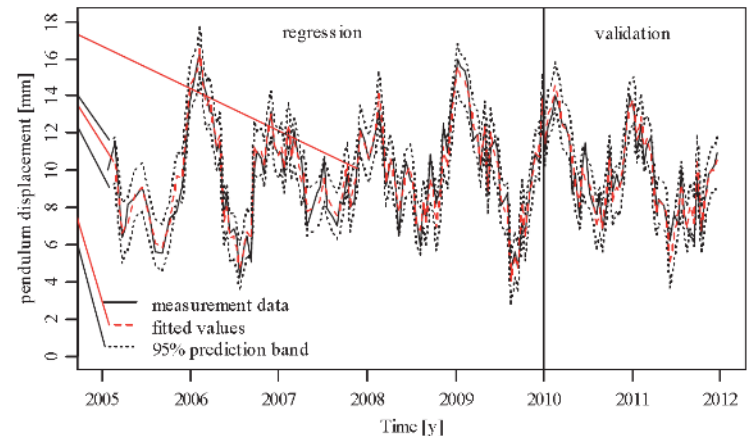
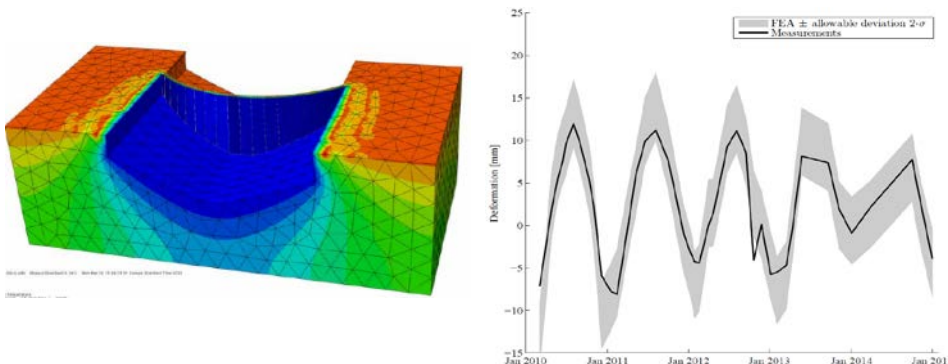
Doktorand: Daniel Eriksson (KTH/Sweco)

Handledare: Richard Malm (KTH/Sweco), Erik Nordström (Sweco/KTH) och Anders Ansell (KTH)

Doktorandprojekt

Tillståndsbedömning av betongdammar

- Utveckla metod för kontinuerlig utvärdering av mätdata och damm-övervakning (*dam behaviour analysis*)
 - Modelluppdatering (numerisk modell vs statistisk/matematisk modell)
 - Bestämma förväntade data och larmgränser (möjlighet till variabla larmgränser dvs anpassade till rådande förhållanden)
 - Bedöma status hos anläggningen
 - Extra fokus på områden med stora osäkerheter, islaster och bergbultars bärförmåga



Doktorand: Rikard Hellgren (KTH/WSP)

Handledare: Richard Malm (KTH/Sweco), Anders Wiberg (WSP) och Anders Ansell (KTH)



SVENSKT VATTENKRAFTCENTRUM

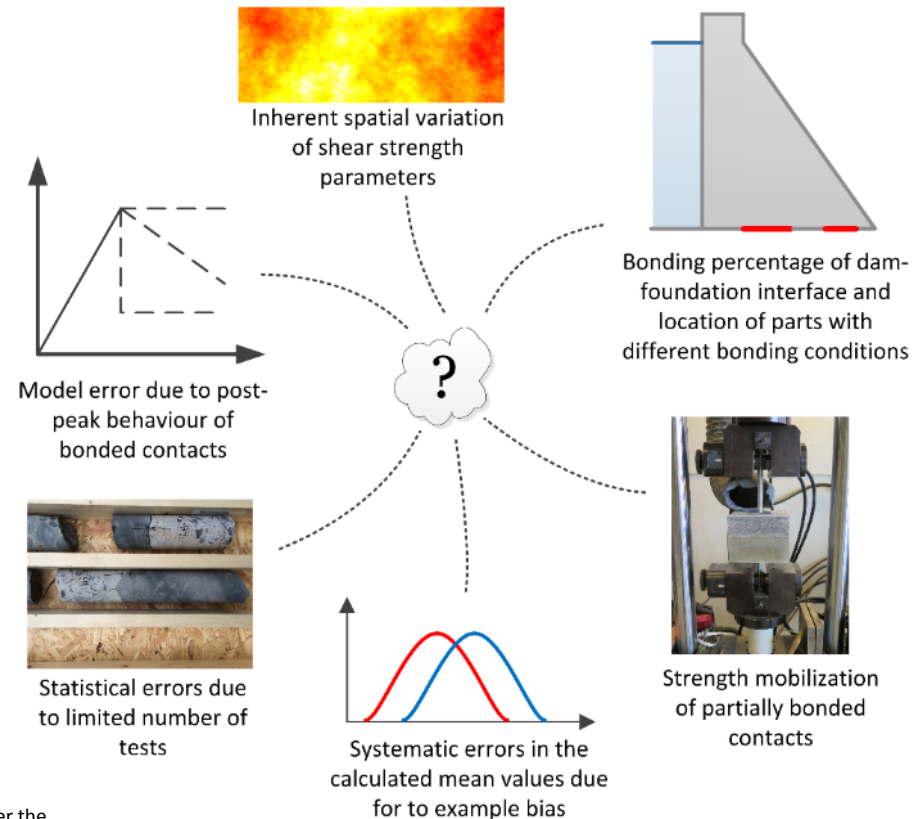
Doktorandprojekt

Bergmekanik och grundläggning

SVC Doktorandprojekt: Skjuvhållfastheten i kontaktytan mellan berg och betong under betongdammar

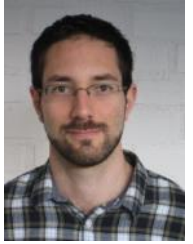


- Projektets övergripande syfte är att svara på frågan om kohesion kan användas vid utvärdering av betongdammars glidstabilitet.
- Om kohesion kan medräknas kan insatsen av kostnadskrävande förstärkningar av dammar reduceras.
- Metodiken för att uppnå detta syfte är att identifiera osäkerheterna förknippade med kohesion i kontaktytan mellan berg och betong och hur de påverkar dammarnas brottsannolikhet.
- En metodik har utvecklats för att bestämma säkerheten mot glidning där kohesion medräknas baserat på utfall från provning av kontaktytan (med prover från kärnbörning)
- Krounis, A., Johansson, F., & Larsson, S. (2015). Effects of spatial variation in cohesion over the concrete-rock interface on dam sliding stability. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 7(6), 659-667.
- Krounis, A., Johansson, F., & Larsson, S. (2016). Shear Strength of Partially Bonded Concrete–Rock Interfaces for Application in Dam Stability Analyses. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 1-12.
- Krounis, A., Johansson, F., Spross, J., & Larsson, S. (2016). Influence of cohesive strength in probabilistic sliding stability re-assessment of concrete dams. Accepted for publication in ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering.



Doktorand Alexandra Krounis, KTH/SWECO
 Fredrik Johansson KTH/ SWECO
 Stefan Larsson KTH

SVC Doktorandprojekt: Dimensionering och tillståndsbedömning av konstruktioner i och på berg med observationsmetoden



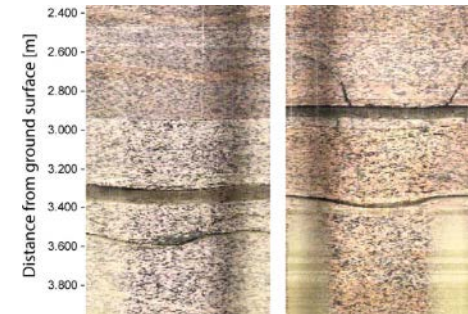
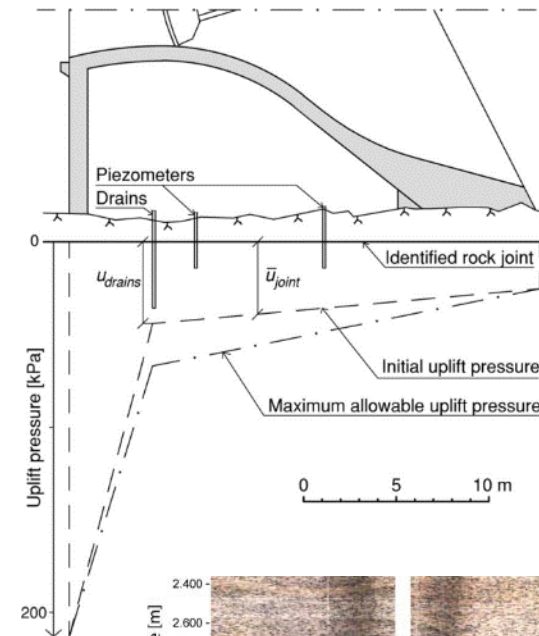
”Eurokod medger att gränstillstånd verifieras med observationsmetoden, vilken förenklat inkluderar en metodik baserad på (1) förutsägelse, (2) mätningar och (3) åtgärder om mätningar visar på oacceptabelt beteende.

Är det möjligt att utvärdera stabiliteten för en befintlig damm genom tillämpandet av observationsmetodens principer?

Under vilka förutsättningar, och hur, kan uppmätta upptryck användas för att beräkna stabiliteten för betongdammar?

Är observationsmetoden lämplig att använda vid reparationsinjektering?

- **Spross, J.** & Larsson, S. 2014. On the observational method for groundwater control in the Northern Link tunnel project, Stockholm, Sweden. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 73(2), 401–408.
- **Spross, J.**, Johansson, F. & Larsson, S. 2014. On the use of pore pressure measurements in safety reassessments of concrete dams founded on rock. *Georisk*, 8(2), 117–128.
- **Spross, J.**, Johansson, F., Uotinen, L. K. T. & Rafi, J. Y. 2016. Using observational method to manage safety aspects of remedial grouting of concrete dam foundations. In press in *Geotechnical and Geological Engineering*.
- **Spross, J.** & Johansson, F. 2016. When is the observational method in geotechnical engineering favourable? Submitted to *Structural Safety*.



Doktorand Johans Spross
Fredrik Johansson KTH/ SWECO
Stefan Larsson KTH

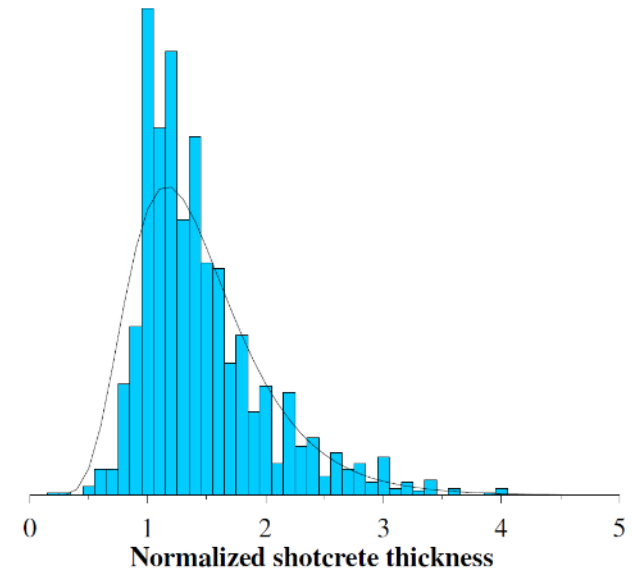
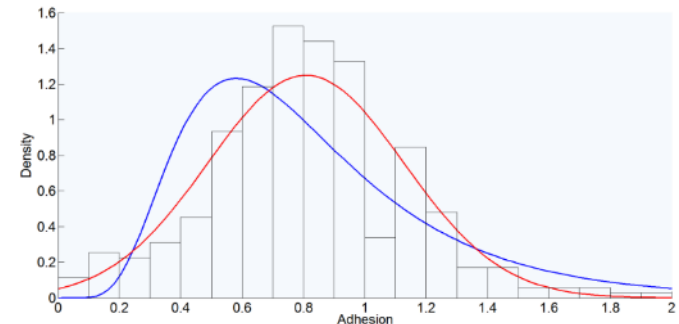
SVC Doktorandprojekt (delfinansierat 25%): Dimensionering av bergförstärkning enligt Eurokod med sannolikhetsbaserade metoder



Eurokod medger att bergförstärkning dimensioneras med sannolikhetsbaserade metoder. Det är emellertid oklart för vilka gränstillstånd denna metod är lämplig vid dimensionering av bergförstärkning och hur det ska utföras.

Syftet med projektet:

- Studera tillämpbarheten av sannolikhetsbaserade metoder inom bergtekniken.
- Utveckla metoder för dimensionering av bergförstärkning med sannolikhetsbaserade metoder
- Preliminära resultat från analys av mätresultat från Citybanan i Stockholm visar på stor potential till kostnadsoptimering av bergförstärkning. Samarbete med SKB beräknas starta under hösten för analys av blockstabilitet vid Forsmark.
- Johansson F, Bjureland W, Spross J (2016) Applicability of reliability-based design methods in design of rock support, BeFo report 155, submitted to BeFo.
- Bjureland W, Spross J, Johansson F, Stille H (2016) Some aspects of reliability-based design for tunnels using observational method (EC7). EUROCK conference, Salzburg.
- Bjureland W, Spross J, Prästings A, Johansson F, Larsson S (2016) Reliability-based tunnel design with the observational method, submitted to International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences.



Doktorand Johans Spross
Fredrik Johansson KTH/ SWECO
Stefan Larsson KTH

SVC Doktorandprojekt: Beräkning av skjuvhållfasthet in-situ baserad på optisk mätning av ytråhet

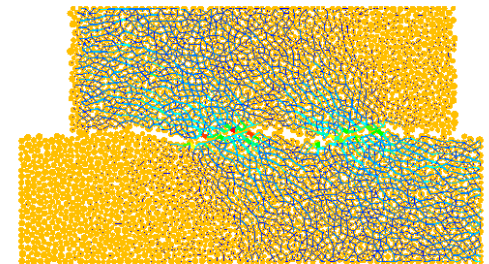
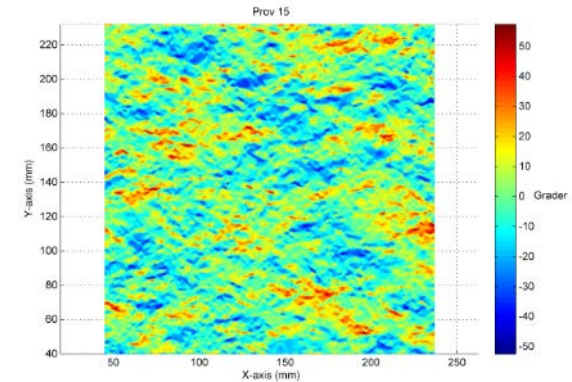


Skjuvhållfastheten för bergsprickor är viktigt att kunna bestämma för analys av dammars glidstabilitet. Samtidigt är deras hållfasthet i större skala svår att bestämma och provning kostsam.

Syftet med projektet (med start sensommar 2016):

Utveckla en numerisk beräkningsmetod för bestämning av storskalig skjuvhållfasthet in-situ för svaghetsplan i, eller i anslutning mot, berggrunden.

- Projektet startade nu efter sommaren. Kommer bygga vidare från resultatet av ett pågående BeFo projekt där en numerisk skjuvbox utvecklats.
- Samarbete med SKB & SP och deras framtida skjuvbox i stor skala planeras tillsammans med Posiva Finland och NWMO i Kanada.



Doktorand Francisco Rios Bayona
Fredrik Johansson KTH/ SWECO
Diego Mas Ivars, SKB
Stefan Larsson, KTH

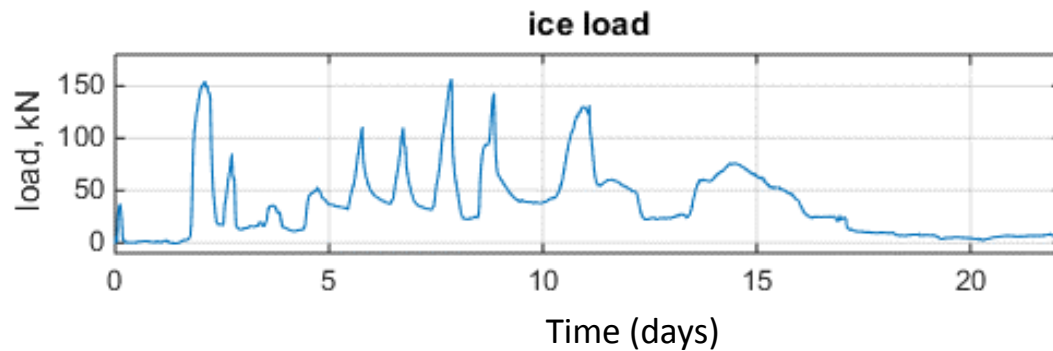


SVENSKT VATTENKRAFTCENTRUM

Seniorforskningsprojekt

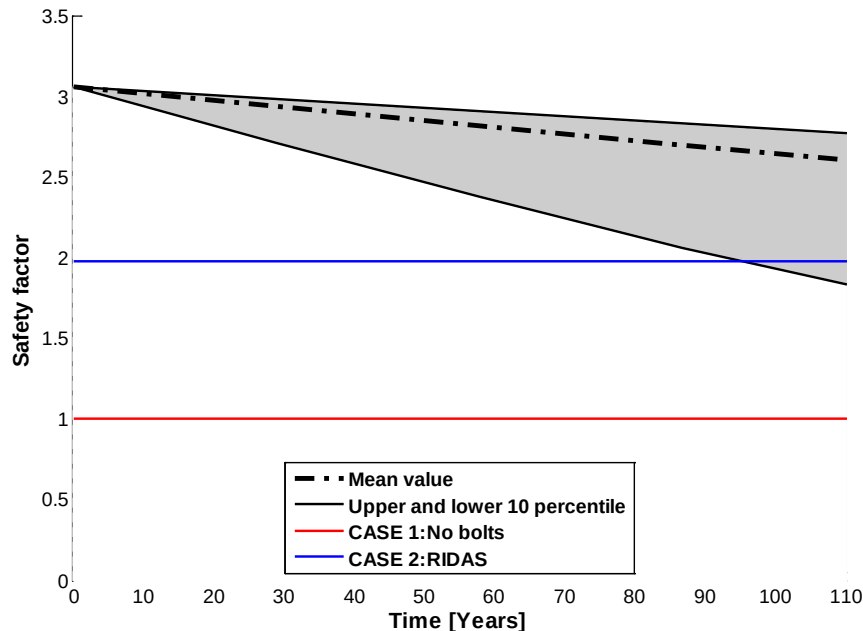
Seniorforskningsprojekt

- **Lastförutsättningar avseende istryck** (Malm R, Johansson F, Nordström E, Westberg-Wilde M, Fransson L & Hellgren R.) – avslutas 2017
 - Utveckla prototyp för mätning av islaster på dammkroppen
 - Mätprogram för bestämning av islaster i Sverige
 - Utveckla en strategi för hur resultaten från framtida mätningar kan användas för att uppdatera de svenska riktlinjerna för dammsäkerhet



Seniorforskningsprojekt

- **Bärförmåga hos bergbultar** (Malm R, Johansson F, Hellgren R. & Rios Bayona F) – avslutas 2016
 - Vidareutveckling av provningsmetod
 - Fältprovning vid Lima
 - Utveckla metodik för bedömning av bärförmåga mht nedbrytning (korrosion)



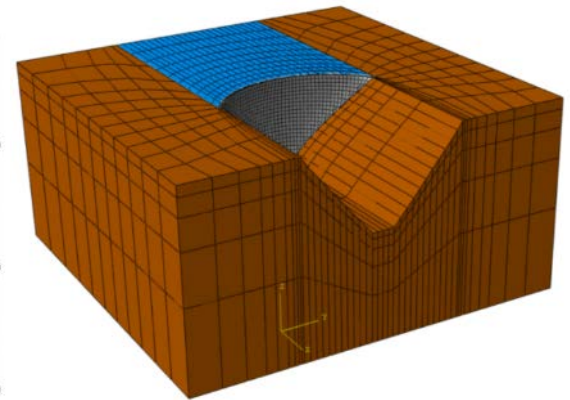
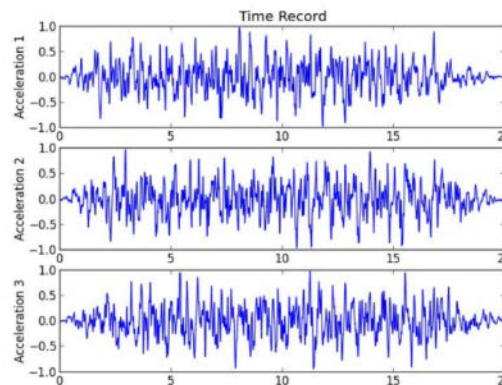
Avslutade seniorforskningsprojekt

Guideline for FE analyses of concrete dams (Malm R) – [Energiforskrappport 2016:270](#)

- Utveckla riktlinjer för hur numeriska analyser (nybyggnad, utvärdering, förnyelseprojekt etc) av betongdammar bör genomföras.
- Kunskapsnivå från nybörjare till avancerad användare.

Deltagande i ICOLD Benchmark workshop 2013 (Malm R., Pi Rito C, Hassanzadeh M, Rydell C, Gasch T.)

- Dynamisk interaktion mellan vatten och struktur



Indirekt finansierade aktiviteter via seniorforskarstöd

Icke-linjär simulering av uppsprickning i valvdammar 2014

- Malm R & Goldgruber M

Islaster mot dammkonstruktioner – Fördjupad förstudie [Elforskrapport 14:57](#) - (Dammsäkerhetsprog.)

- Johansson F., Malm R. & Fransson L.

Betongdammars brottförlopp [Energiforskrapport 2015:122](#) - (Dammsäkerhetsprog.)

- Nordström E., Malm R., Johansson F., Ligier P-L, Lier Ø

Minimiarmering i vattenkraftens betongkonstruktioner [Energiforskrapport 2016:234](#) - (Betongprog.)

- Blomdahl J., Malm R., Nordström E. & Hassanzadeh M

Beräkningens giltighet (Betongprog.)

- Ekström T, Gustafsson P-J, Hallgren M, Hassanzadeh M, Malm R, Nilsson L-O & Thelandersson S

ICOLD Bulletin Nonlinear analyses of concrete dams

- Kommitté A + Malm R, Gasch, Johansson F,

Probabilistic model code for concrete dams

- Marie Westberg Wilde, Johansson F

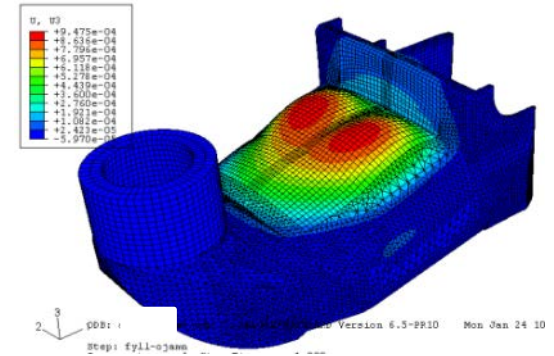
Anordnande av kommande ICOLD Benchmark Workshop (Sept 2017)

Planerad framtida forskning

Framtida forskning - konstruktionsteknik

Laster och verkanssätt för sugrörskonstruktioner med stora spännvidder

- Seniorforskarprojekt
- Fastställa vilka lastfall och lastfördelningar (utöver snabb fyllning) som kan förklara observerade sprickbildningar
- Studie av förstärkningsmetoder



Lastförutsättningar avseende istryck - fortsättning

- Utvärdering av lastpanel, jämförelse mot andra mätmetoder (+ bakåtberäkning)
- Ev. modifiering av panel och instrumentering på andra orter
- Potentiellt doktorandprojekt



Inverkan av Svenska jordbävningar på betongdammar

- Vidareutveckling av examensarbetet
[Berneheim & Forsgren \(2016\)](#)



Framtida forskning - konstruktionsteknik

Minimiarmering av betongkonstruktioner - fortsättning

- Dimensioneringsmetoder
- Metoder för reducera hydratationsvärme: kylning, flygaska etc.

Bärförmåga hos bergbultar – fortsättning

- Utveckling av ny provningsmetod
- Nedbrytning av injekteringsbruk

Aggregatnära konstruktioner – fortsättning

- Vibrationer, kraftstationsbyggnader etc.

Reparationsmetoder

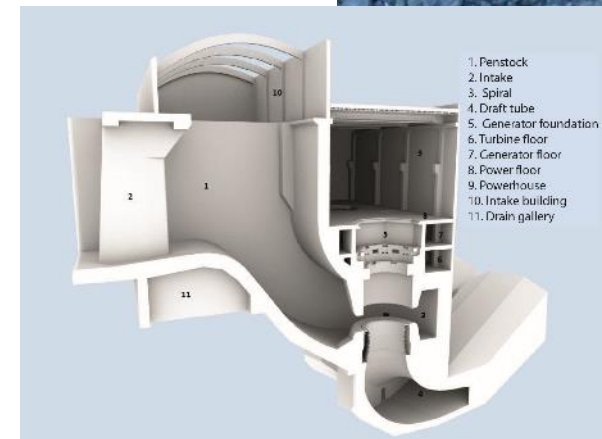
- Utvärdering av metoder

Prediktering av AKR

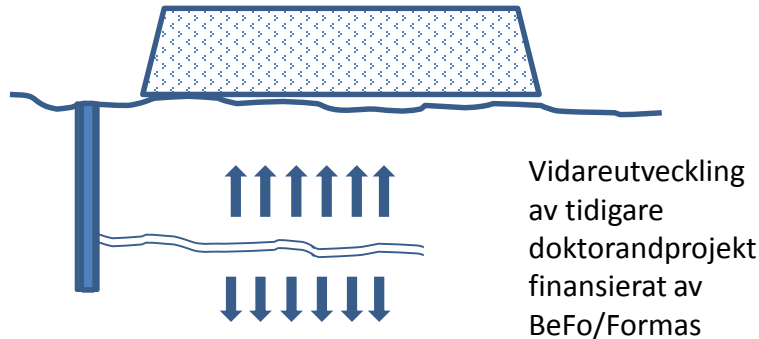
- Utvärdering av metoder för simulering av AKR



Larsson C (2008)

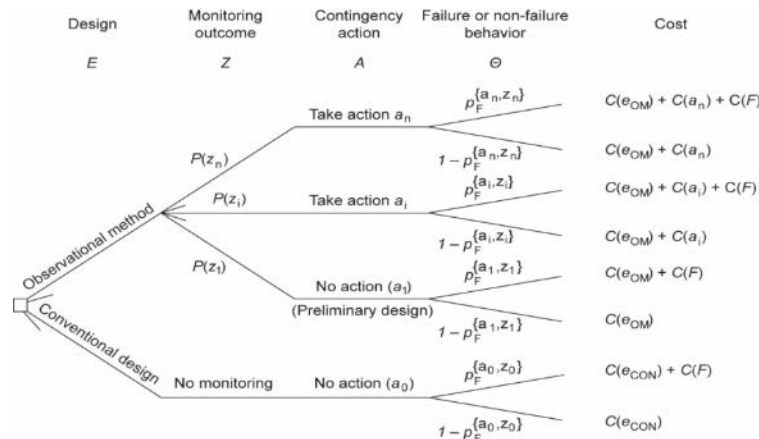


Framtida forskning - bergmekanik och grundläggning



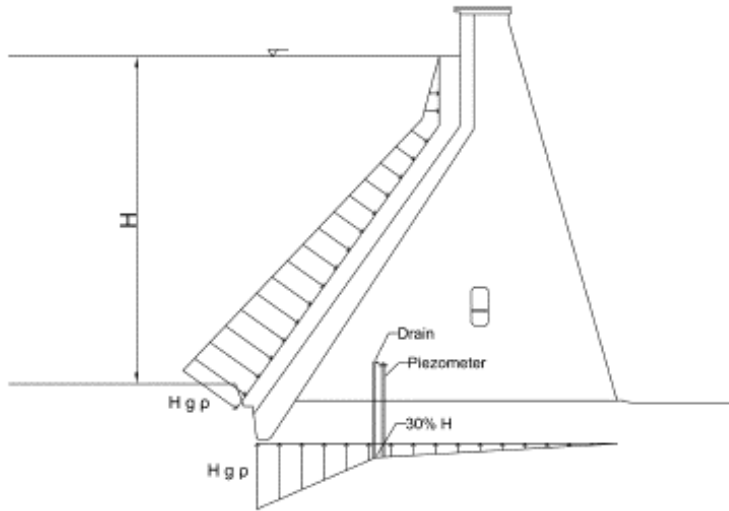
- **Utveckling av metodiker för reparationsinjektering** och implementering av genomförd injekteringsforskning.

Ex: Tillämpning av Real Time Grouting Control Method vid reparationsinjektering för att kunna övervaka inträngning och risk för upplyft vid injektering av berggrunden under dammar



- **Optimering av underhålls- och förstärkningsåtgärder** för stabilitet och tätning av dammar med avseende på kostnader över dammens livscykel. (Vidareutveckling av bl.a. Alexandras och Johans doktorandprojekt.)

Framtida forskning - bergmekanik och grundläggning



- **Tillståndsbedömning med avseende på stabilitet** i kontaktyta och berggrund för befintliga dammar och användning av mätdata och provresultat (islaster, upptryck, skjuvhållfasthet etc.).
- **Bestämning av upptryck och hantering av dränering**
- **Inverkan från bergförankringar** på dammars stabilitet och deras beständighet
- **Bestämning av skjuvhållfasthet** för kontaktyta och sprickplan i berggrunden.
- **Utveckling av mer nyanserade dimensioneringsverktyg för bärförmåga** baserade på tillförlitlighetsbaserad dimensionering (Probabilistic Model Code).
- **Bergerosion nedströms utskov**

