



INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS
COMMISSION INTERNATIONALE DES GRAND BARRAGES
SWEDISH NATIONAL COMMITTEE

SwedCOLD tackar våra sponsrande företag





INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS
COMMISSION INTERNATIONALE DES GRAND BARRAGES
SWEDISH NATIONAL COMMITTEE



ICOLD grundades 1928

Icke statlig internationell organisation som utgör forum för utbyte av kunskap och erfarenhet inom dammbyggnad

96 medlemsländer med nationella föreningar

-senaste länder: Ecuador, Angola 2014 (nr.97 och 98)

-kommande: Myanmar, Togo, Guinea, Benin, Gabon, Afghanistan, Oman, Mauritius and Namibia



INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS
COMMISSION INTERNATIONALE DES GRANDS BARRAGES
SWEDISH NATIONAL COMMITTEE



Från början syfte att uppmuntra framsteg inom planering, design, byggande, drift och underhåll

I slutet på 60-talet fokus på dammsäkerhet, övervakning, åldrande och omgivningens inverkan

På senare tid även inkluderat nya områden såsom finansiering, utbyggnad av "internationella älvar", information till allmänheten



INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS
COMMISSION INTERNATIONALE DES GRAND BARRAGES
SWEDISH NATIONAL COMMITTEE

SwedCOLD bildades 1931

Representerar Sverige vid ICOLDs årliga möten

- informationskanal och arbetar för att svensk expertis medverkar i kommittéer och på kongresser**
- ta initiativ till information och diskussion om angelägna frågor avseende dammar på det nationella planet, främja forskning och utveckling**

**Under senare år: Exekutivmöte 2 ggr/år
 Temadagar 2 ggr/år
 Nyhetsbrev 2 ggr/år**

Workshop ca 1 gång/år – forum för fördjupad diskussion



INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS
COMMISSION INTERNATIONALE DES GRAND BARRAGES
SWEDISH NATIONAL COMMITTEE

Nyhetsbrevet

200 tryckta ex. samt på hemsidan

Levereras till pausen 10.30.

<http://www.swedcold.org/>

SwedCOLD
NYHETSBRV # 1 / 2016

UR INNEHÅLLET:

- Beredskap för dammhaverier – aktuell utveckling SID 4 – 5
- Reparation och höjd vattennivå i Lidekvarn SID 6
- Svensk forskargrupp studerar farlig damm i Irak SID 7
- Låg vattengenomströmning i Höljesdammen SID 8
- Skyfallskartering ger nya möjligheter SID 11

www.swedcold.org



INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS
COMMISSION INTERNATIONALE DES GRAND BARRAGES
SWEDISH NATIONAL COMMITTEE



1993 bildades The Club for European National Committees of ICOLD

22 medlemsländer

**Syftet är att främja forskning och utveckling inom ämnes-
områden med speciell aktualitet för Europa samt vara en
mötesplats för yngre aktörer**

Europaklubbmöten ca vart 3:e år

25-30 oktober 2016 är nästa Europaklubbmöte inplanerat till Alanya, Turkiet.
Temat är "Dams for Sustainable Development".



INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS
COMMISSION INTERNATIONALE DES GRAND BARRAGES
SWEDISH NATIONAL COMMITTEE

Nästa temadag

25 oktober 2016. Förnyelse eller livstidsförlängning av betongdammar och anläggningar.

Kommande ICOLD evenemang

15-20 maj 2016 ICOLD-congress, Johannesburg, Sydafrika

18-23 september 2016 ATCOLD Dam Surveillance Practice, Österrike

SwedCOLD har ansökt om ICOLD årsmöte i Stockholm 2020.

ICOLD har dock föreslagit "annat årtal".

Val av land sker i Sydafrika.

SwedCOLD <http://www.swedcold.org/>

ICOLD <http://www.icold-cigb.net/>

Europaklubben <http://cnpgb.inag.pt/IcoldClub/>



INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS
COMMISSION INTERNATIONALE DES GRAND BARRAGES
SWEDISH NATIONAL COMMITTEE

BEVAKNING AV ICOLD-KOMMITTÈER

1. Proposed revised Term of Reference of the Committee on Concrete Dams Term of office 2015-2018. ICOLD-delegat: Erik Nordström.

2.a. Proposed revised Term of Reference of the Committee on Dam Safety. Term of office 2015-2018. ICOLD-delegat: Maria Bartsch.

2.b. Extension of the Committee on Dam Safety. Term of office 2015-2018.
ICOLD-delegat: som ovan

3. Committee on Embankment Dams. Creation of a sub-group inside this Committee to deal with the future development of large dams in tropical zones.
ICOLD-delegat: Ingvar Ekström.

4. Extension of the Committee on the Environment. Term of office 2015-2017.
ICOLD-delegat: Birgitta Adell.

5. Extension of the Committee on Public Awareness and Education. Term of office 2015-2018. Same membership, same Terms of Reference. ICOLD-delegat: Gunnar Sjödin.

6. Extension of the Committee on Operation, Maintenance and Rehabilitation of Dams. Term of office 2015-2018.
ICOLD-delegat: **Vakant.**

7. Extension of the Committee on Flood Evaluation and Dam Safety. Term of office 2015-2018.
ICOLD-delegat: Anders Söderström.

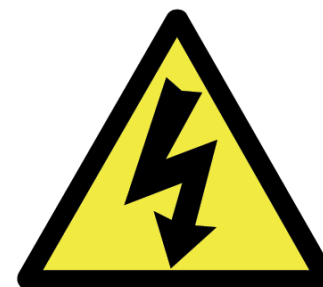
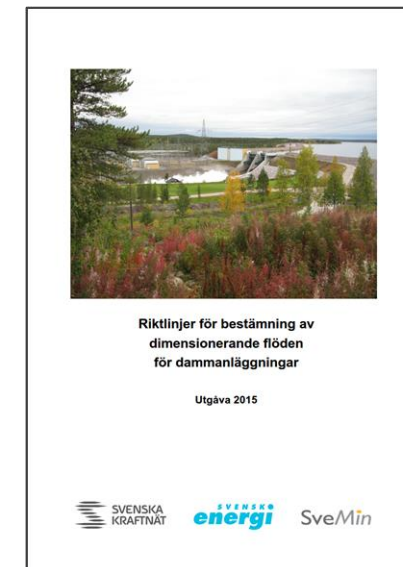
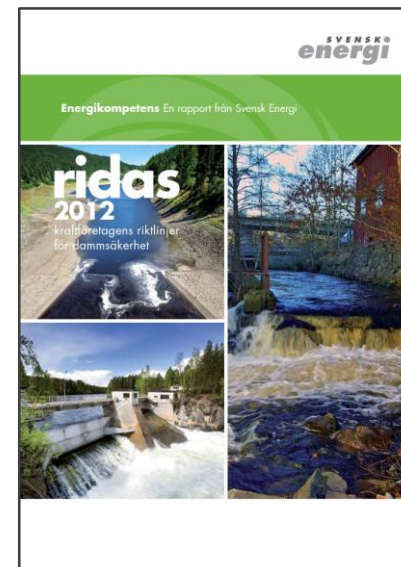
8. Extension of the Committee on Dam Surveillance. Term of office 2015-2018.
ICOLD-delegat: Sam Johansson.

SYSTEMATISKT ANGREPPSSÄTT I VALET MELLAN RENOVERING OCH FÖRNYELSE

ERIK NORDSTRÖM, SWECO

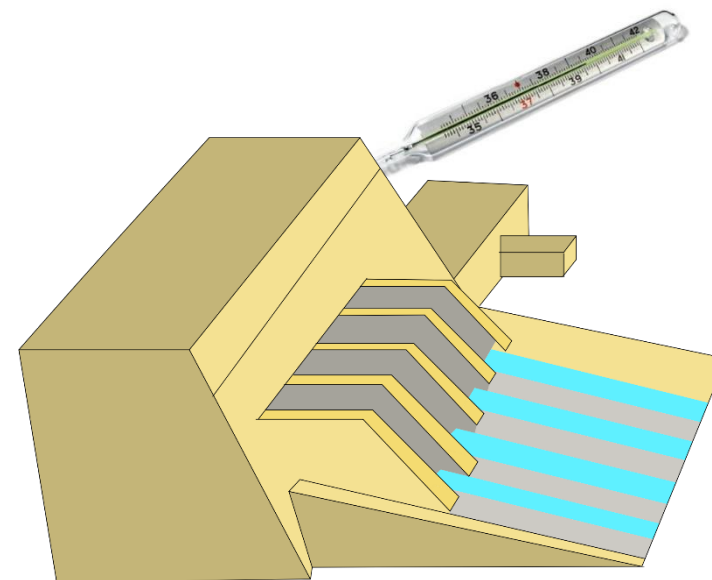
Vilka krav ställer vi på anläggningen, nu och i framtiden?

- RIDAS
- Flödeskommitténs Riktlinjer
- Anläggningsvärde / Underhållskostnader
- Produktionskrav
- Estetik / Varumärke
- Tidshorisont / Livslängd



Hur mår konstruktionen idag? Uppfylls kraven nu och i framtiden?

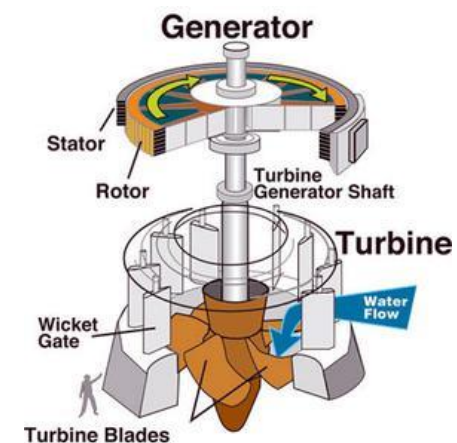
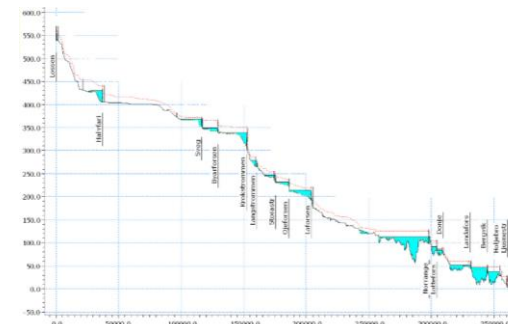
- Betongkonstruktionernas status
 - stabilitet
 - bärförmåga
 - täthet
 - funktion
- Dammsäkerhetsstatus – för den enskilda anläggningen
 - betongdammar
 - fyllningsdammar
 - avbördningssystem
 - intag & kraftstation



Hur mår konstruktionen idag? Uppfylls kraven nu och i framtiden?

- Dammsäkerhetsstatus – del av ett älvsystem
 - konsekvensklassning
 - beredskapsplanering

- Produktionsrelaterade anläggningsdelars status
 - löphjul
 - generator
 - kontrollanläggning
 - transformatorer
 - kraftöverföring
 - status byggnadsstruktur

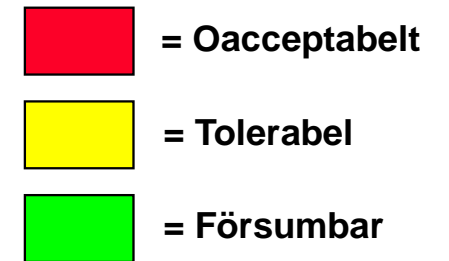
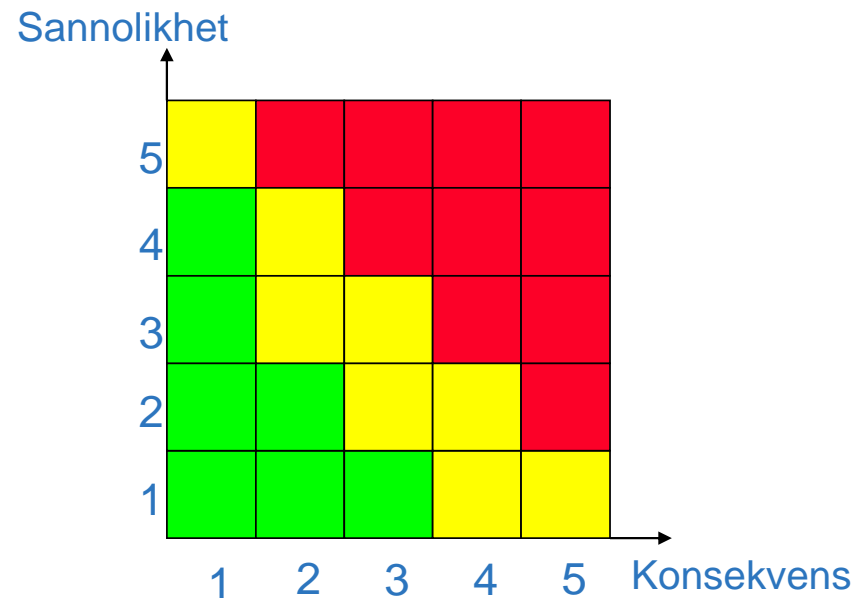


Vilka åtgärdsalternativ finns det?

- Handlingsalternativ
 - H0 – Ingen åtgärd
 - H1 – Enklare uppgradering – löser problem t.ex. 5 år
 - H2 – Omfattande uppgradering – ger t.ex. 15 års livslängdsförlängning
 - H3 – Delförnyelse av anläggning – ger t.ex. 50 års livslängd
 - H4 – Förnyelse av anläggning – ger t.ex. 100 års livslängd

Vilka risker är förknippade med de olika åtgärdsalternativen?

- Dammsäkerhet / Kvalitet / Funktion
- Kostnader / Tidplan i projektfas
- Elproduktionspåverkan
- Arbetsmiljö / Personsäkerhet
- Miljöaspekter / 3:e man



Riskerna bedöms i olika skeden: Projektering – Entreprenad – Drift

Vilka risker är förknippade med de olika åtgärdsalternativen?

- Sannolikhetsbedömning

Sannolikhet	Värdering	Beskrivning
Mycket hög	5	> 33% (1/3)
Hög	4	10 - 33% (1/10 - 1/3)
Medel	3	3 - 10% (1/30 - 1/10)
Låg	2	1 - 3% (1/100 - 1/30)
Mycket låg	1	< 1% (1/100)

Vilka risker är förknippade med de olika åtgärdsalternativen?

- Konsekvensbedömningar

- Anläggningsrisker (ej damm)
Intäktsbortfall
Kostnader

Konsekvens	Värdering	Beskrivning (kk)
Mycket hög	5	~ 10 000
Hög	4	~ 1 000
Medel	3	~ 100
Låg	2	~ 10
Mycket låg	1	~ 1

- Brister i dammsäkerhet, kvalitet och funktion

Konsekvens	Värdering	Beskrivning
Mycket hög	5	Bristen/felet är omedelbar eller beroende av tid. Övergripande säkerhet satt ur spel <u>direkt eller på sikt</u> för dammen eller dess skyddssystem (KAS, direktindikerande pegrar etc.). Byte/ombyggnad nödvändig direkt eller inom överskådlig tid (0-3 år)
Hög	4	Bristen är beroende av tid. Övergripande säkerhet satt ur spel <u>på sikt</u> för dammen eller dess skyddssystem (KAS, direktindikerande pegrar etc.). Byte/ombyggnad är nödvändig inom överskådlig tid (2-5 år)
Medel	3	Någon av objektets sidofunktioner t.ex. övervaknade och indikerande funktioner som t.ex. läckageövervakning uppfylls ej. Byte/ombyggnad nödvändig direkt om för att entreprenaden skall uppnå sina mål. Obs! Påverkar inte säkerheten direkt.
Låg	2	Någon av objektets sidofunktioner t.ex. övervaknade och indikerande funktioner som t.ex. läckageövervakning erhåller kvalitetsbrister som är beroende av tid. Byte/ombyggnad inom överskådlig tid (2-5 år) Obs! Påverkar inte säkerheten direkt.
Mycket låg	1	Försumbara brister och fel.

Vilka risker är förknippade med de olika åtgärdsalternativen?

- Konsekvensbedömningar (forts)

- Arbetsmiljö

Konsekvens	Värdering	Beskrivning
Mycket hög	5	Konsekvensen är minst bestående men som t.ex. tappad syn, hörsel, armar etc.
Hög	4	Skada med > 14 dagars sjukskrivning utan kvarstående problem.
Medel	3	Skada med 1-14 dagars sjukskrivning utan kvarstående problem.
Låg	2	Incident. Lätt psykiskt omskakad eventuellt sjukskrivning i några dagar.
Mycket låg	1	Lindrig skada utan behov av sjukskrivning.

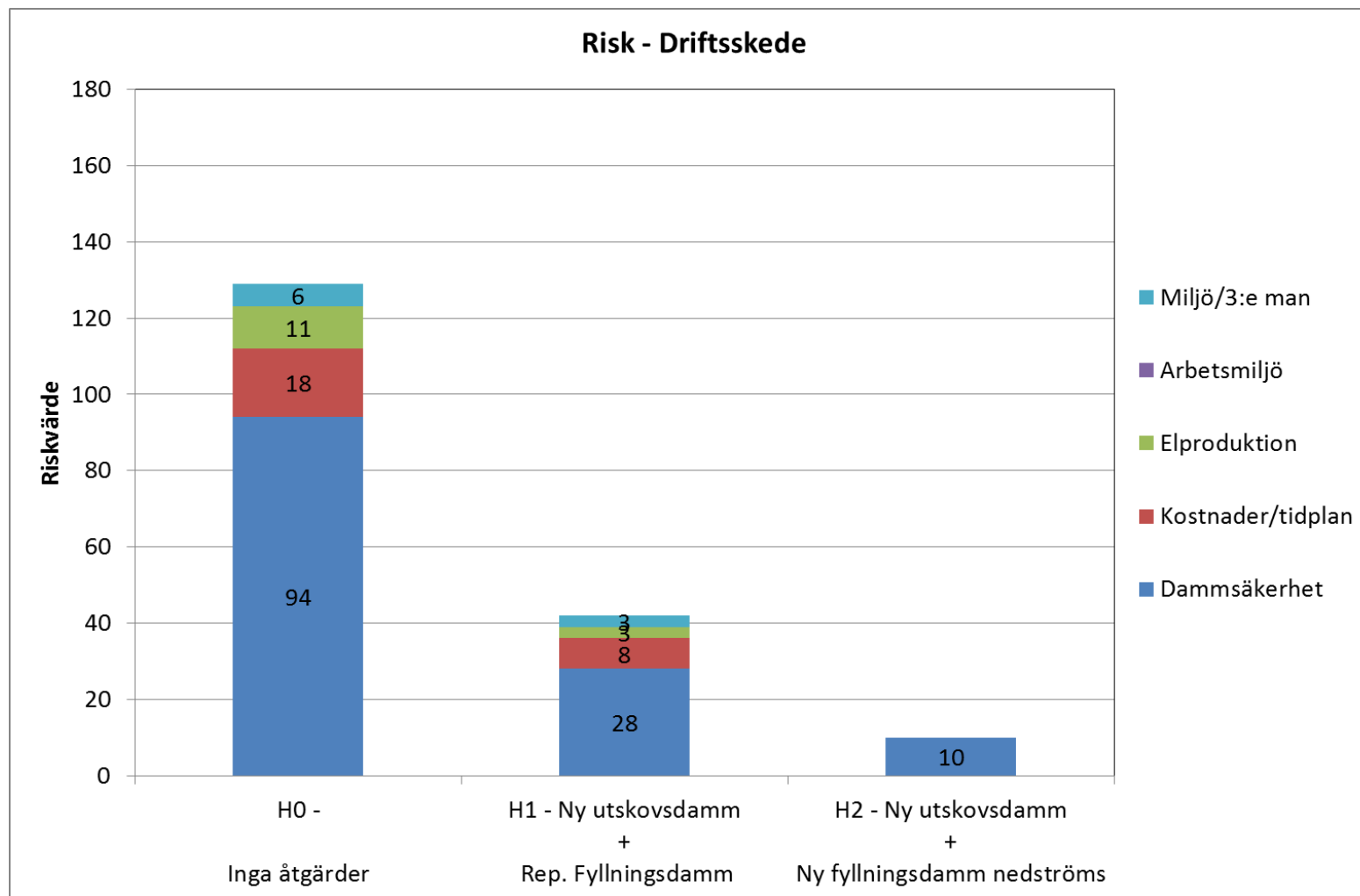
- Miljö / 3:e man

Konsekvens	Värdering	Beskrivning
Mycket hög	5	Stort oljeutsläpp (eller annat miljöfarligt ämne) i älven påverkar 3:e man via skador i t.ex. reningsverk, produktionsanläggningar, badplatser - publicitet samt verklig skada på annans egendom.
Hög	4	Stort oljeutsläpp (eller annat miljöfarligt ämne) i vattendrag, grundvattentäkt eller annat känsligt ställe. - publicitet.
Medel	3	Utsläpp av miljöfarligt ämne på mark inom eller i närheten av stationsområdet.
Låg	2	Utsläpp av miljöfarligt ämne inom station och sanering möjlig.
Mycket låg	1	Mindre 'söl' som direkt kan saneras.

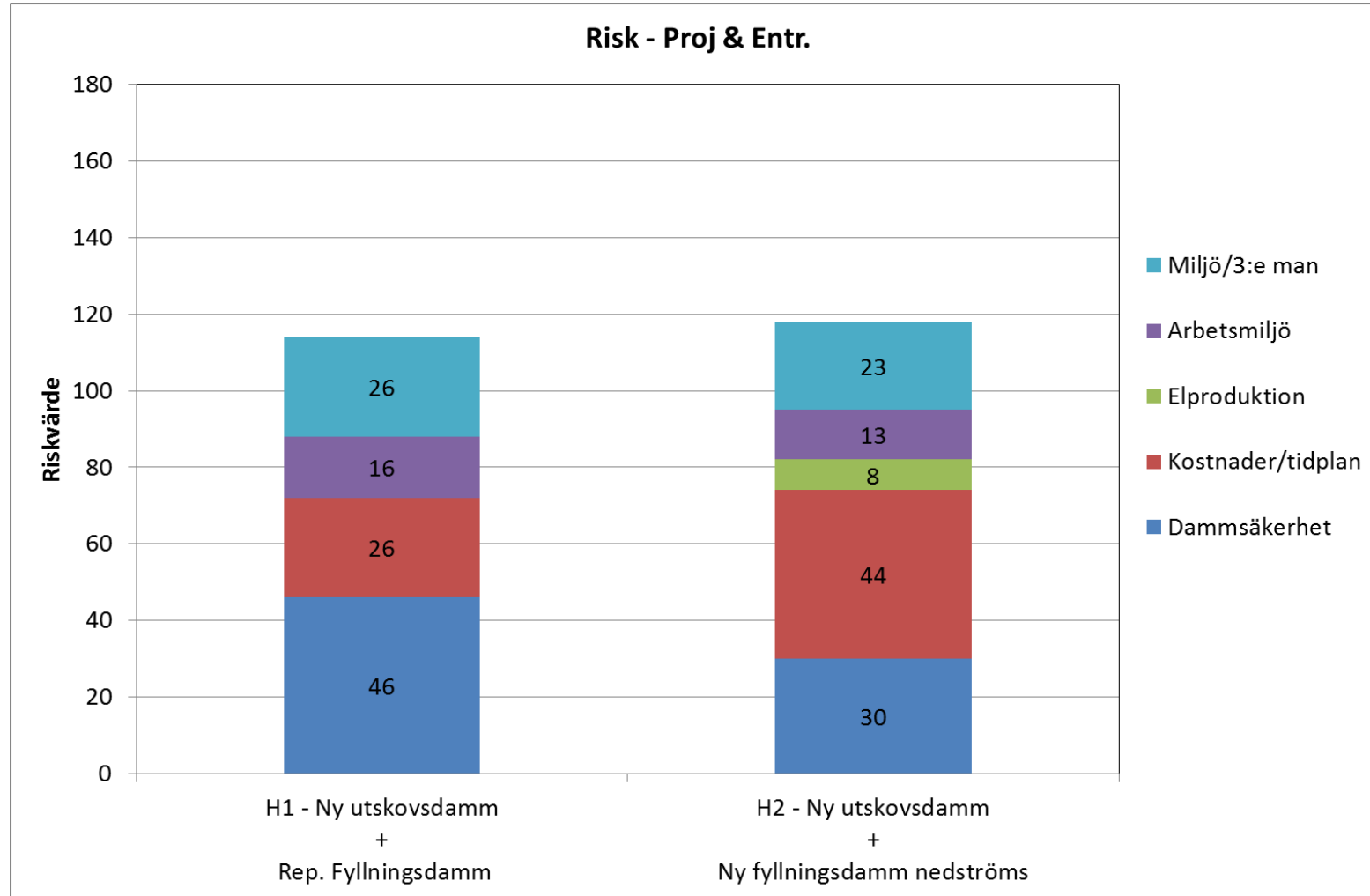
Exempel – riskanalys - workshop

Kraftbolaget AB																	
Stationslittera och stationsnamn						Upprättad a Reviderad av:				Riskprio							
Dammen						Erik Nordström		Erik Nordström, Rune Glamheden, Hans Ericsson, Ingvar Ekström		■ = Oacceptabelt (prio 1) ■ = Tolerabel (prio 2) ■ = Försumbar (prio 3)							
Projektnamn						Datum											
Damsäkerhetshöjande åtgärder						Skapad: 2013-01-11		Reviderad: 2013-01-24									
Projektskede																	
Projektering		PR	Entreprenad		EN	Driftsskede		DR									
						4A				2B							
						H0 - Inga åtgärder		H1 - Ny utskovsdamm + Rep. Fyllningsdamm		H2 - Ny utskovsdamm + Ny fyllningsdamm nedströms							
IDENTIFIERING						VÄRDERING				VÄRDERING				VÄRDERING			
Löpnr.	Projektskede	Aktivitet / Orsak		Konsekvens		Sanno-likhet (1-5)	Konsekvens (1-5)	Risk-prio (auto)	Risk	Sanno-likhet (1-5)	Konsekvens (1-5)	Risk-prio (auto)	Risk	Sanno-likhet (1-5)	Konsekvens (1-5)	Risk-prio (auto)	Risk
0		Damsäkerhet / Kvalitet / Funktion															
0.1	PR	Begränsningar i bef. damm/valt dammläge		Minskade projekteringsfrihetsgrader						4	2	2	8	1	3	3	3
0.2	EN	Kraftigt läckage fångdamm/tillfälliga ledmurar		Fångdamms-/ledmursbrott						3	5	1	15	2	3	2	6
0.3	EN	Rivning av befintligt utskovsparti ej utförd i tillräcklig omfattning		Otillräcklig avbördningskapacitet										2	3	2	6
0.4	DR	Läckage i fyllningsdamm ökar kraftigt i befintligt läckageområde		Inre erosion		3	4	1	12	2	3	2	6				
0.5	DR	Kraftigt läckage i fyllningsdamm uppstår på nytt ställe		Inre erosion		2	5	1	10	1	3	3	3				
0.6	DR	Kraftig nedbrytning på utskovsdamm		Stabilitetsproblem och problem att manövrera utskov		2	5	1	10								
0.7	DR	Höga mängder drivgods p.g.a. flöde		Igensättning av utskov		3	5	1	15	1	5	2	5	1	5	2	5

Exempel – riskanalys – resultat driftsskede



Exempel – riskanalys – resultat projekterings- & entreprenadfas



Sammanfattning

- Definiera vilka krav som gäller för konstruktionen – anläggningen
- Ta reda på statusen där den är okänd
- Se till helheten och arbeta tvärfackligt
- Definiera möjliga åtgärdsalternativ
- Skapa beslutsunderlag genom att t.ex. värdera alternativen mot varandra med riskanalys
- Kompletteras med investeringskalkyler

SWECO



Nedbrytningsmekanismer i betong i vattenkraftskonstruktioner

SwedCOLDs temadag – Förvaltning av åldrande betongdammar och kraftstationer

Stockholm

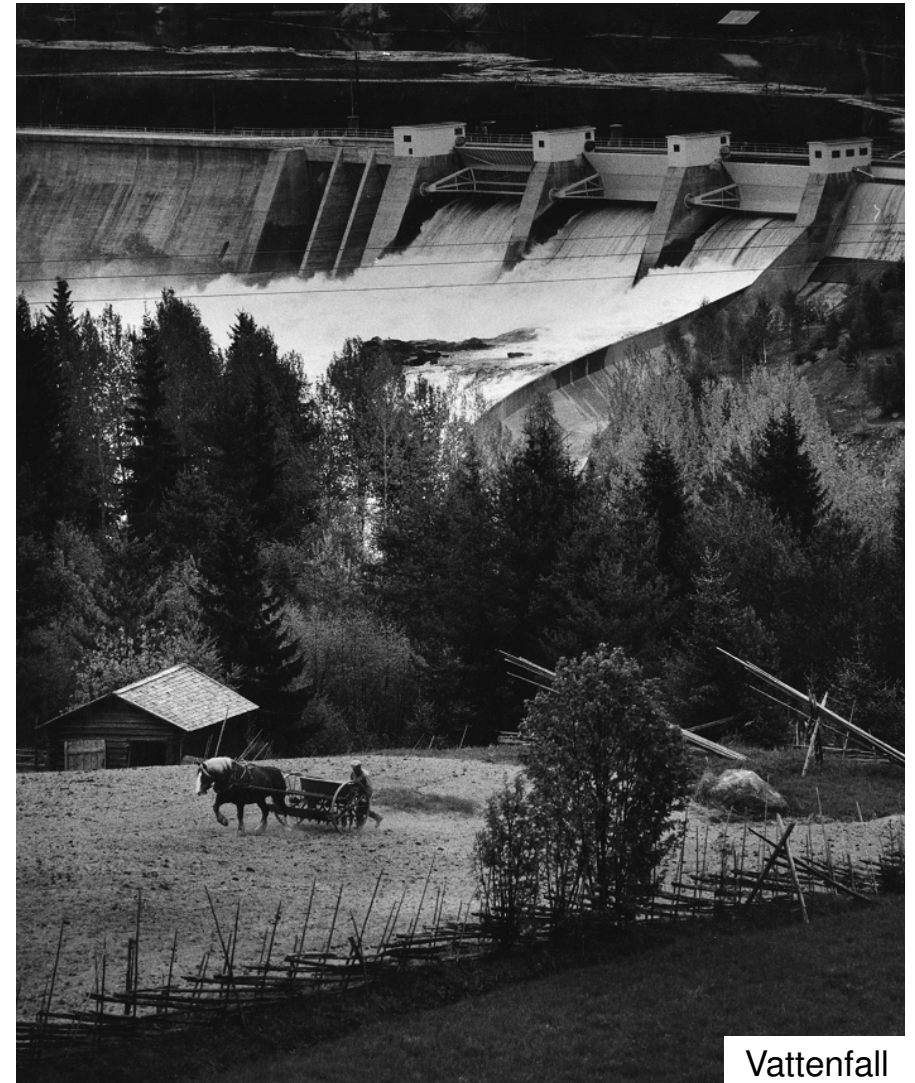
Martin Rosenqvist
2016.04.12

Livslängd och beständighet

- Förväntad livslängd på en konstruktion bestäms under projekteringskedet
- Konstruktionens beständighet en förutsättning för att uppnå dess livslängd
- Faktorer med inverkan på betongkonstruktioners beständighet
 - Dimensionering och utformning
 - Betongens sammansättning och proportionering
 - Utförande
 - Laster, inklusive ändrade lastförutsättningar
 - Klimatpåfrestningar
 - Underhåll
- Vanliga orsaker till betongkonstruktioners nedbrytning
 - Mekaniska, kemiska och fysikaliska påfrestningar
 - Samverkan mellan flera mekanismer
- God kunskap om betongens nedbrytningsprocesser

Vattenkraften i Sverige

- Drygt 2 000 vattenkraftverk (2015)
- Dämmande konstruktioner i betong
 - Damm, utskov och intag
 - Täthet, bärförmåga och stabilitet
 - Höga krav ur ett dammsäkerhetsperspektiv
- Inre konstruktioner i betong
 - Vattenvägar
 - Aggregatnära konstruktioner
- Stor spridning i konstruktionernas ålder
 - Tidigt 1900-tal till 2010-tal
 - Stora variationer i material- och byggteknik
- Olika typer av betongnedbrytning



Urlakning

- Upplösning av cementets hydratationsprodukter
 - Kalciumhydroxid – $\text{Ca}(\text{OH})_2$
 - Ökad porositet
 - Kalciumsilikathydrater – C-S-H
 - Lägre hållfasthet
- Cementfattig betong
 - Låg cementhalt $< 200 \text{ kg/m}^3$
 - Högt vattencementtal
 - Ensidigt vattentryck
- Cementrik betong
 - Genomgående sprickor
 - Koncentrerat läckage
 - Kan påverka bärförmågan



Erosion och nötning

- Orsaker till erosionsskador
 - Hastigt strömmande vatten
 - Nötning av is och drivgods
- Utsatta konstruktionsdelar
 - Utskov
 - Intag



Alkali-kiselsyra-reaktioner (ASR)

- ASR ger expansion och sprickbildning
 - Direkt inverkan på dammsäkerheten
- Förutsättningar för ASR
 - Ballast med alkalilöslig kiselsyra
 - Alkalier från cementet
 - God tillgång på vatten
- Relativt sällsynt historiskt sett i Sverige
 - Lågaliska cement
- Kostsamma åtgärder
- Framtiden
 - Risk för befintliga och nya konstruktioner?
 - Nya regler kring ballast och cementtyper?



Alkali-kiselsyra-reaktioner (ASR)



Armeringskorrosion

- Inga större problem i dagsläget
- Exempel 1: Tunt täckskikt
 - Karbonatisering
- Exempel 2: Tätning av läckage
 - Injekteringsbruk med CaCl_2 som accelerator



Eftersatt underhåll

- Mindre problem kan leda till större problem utan regelbundet underhåll



Frostnedbrytning

- Frostnedbrytning av betong
 - Betong är ett poröst material
 - Vatten expanderar ~9% vid frysning
- Vattenkraftens konstruktioner
 - Konstant fuktbelastning – ofruset vatten
 - Låga temperaturer och nollpassager
- Att göra betong frostbeständig
- Betongens frostbeständighet
 - Ej (absolut) egenskap
 - Klimatberoende
 - Fuktberoende
 - Utveckling i ett långt perspektiv?
- Ytliga respektive inre skador



Frostnedbrytning – exempel



Frostnedbrytning längs vattenlinjen – doktorandprojekt

- Frostnedbrytning bakomliggande orsak?

- Successiv nötning av ytan
- Nedbrytningstakt upp till 1 mm/år
- Liknande typ av skador på US och NS
- Nötning av is och drivgods kan inte ensamt förklara de uppkomna skadorna



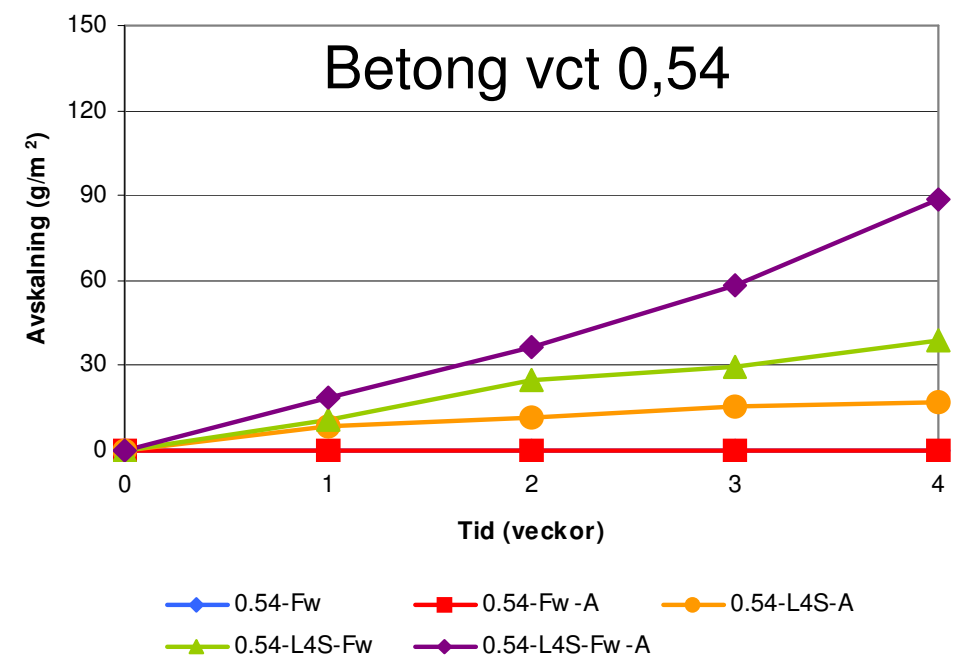
- Frostprovning gav inte svar

- Samverkan mellan flera mekanismer?

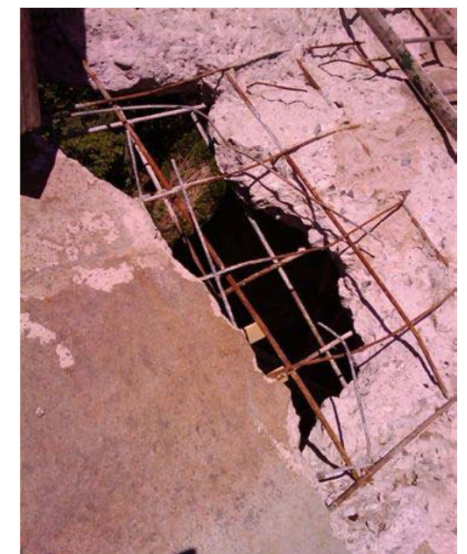
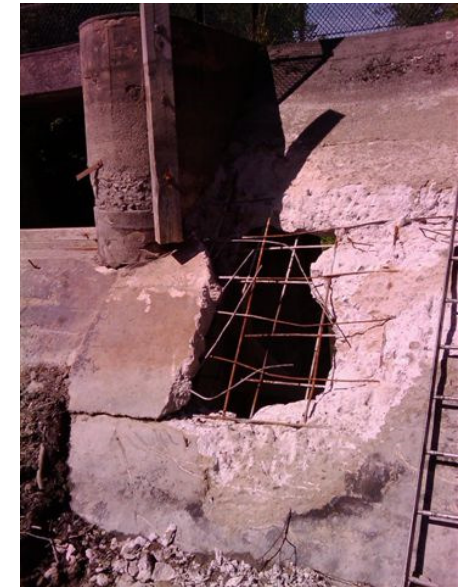
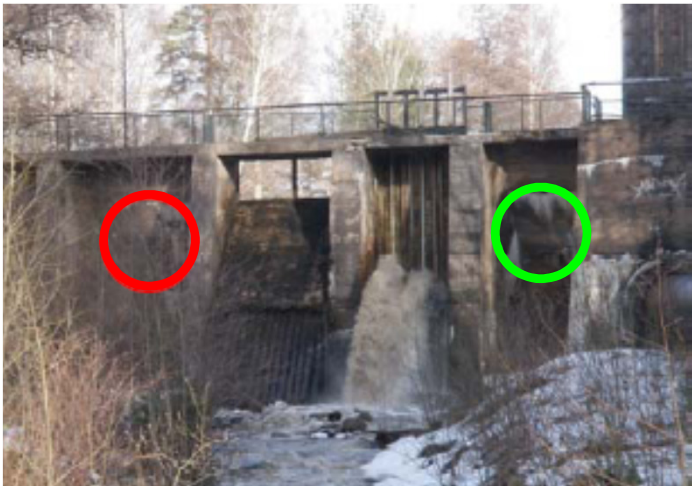
- Urlakning – flodvatten (mjukt med pH ~7)
- Fryscyklar på vinterhalvåret
- Nötning av strömmande vatten och drivgods

- Resultat

- Urlakning försämrar frostbeständigheten
- Samverkan orsakar störst skador

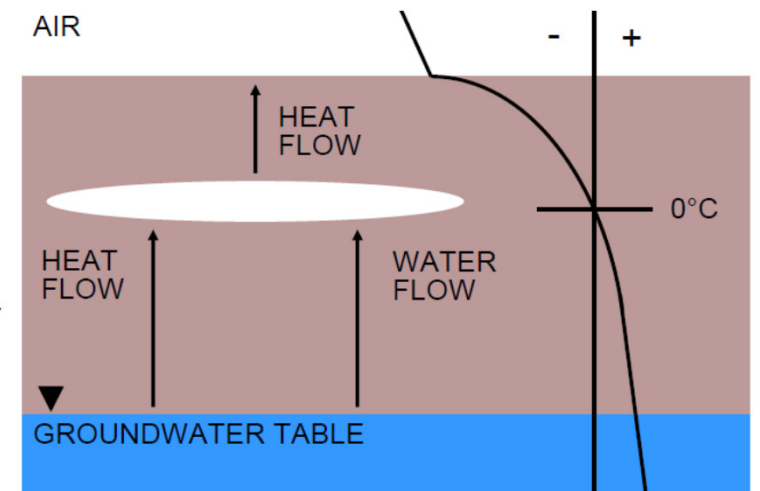
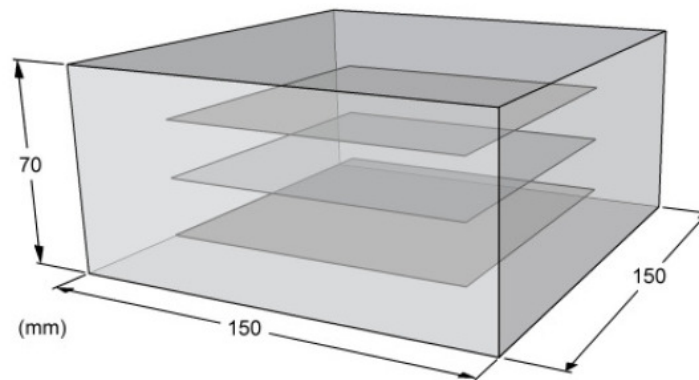


Frostnedbrytning – exempel



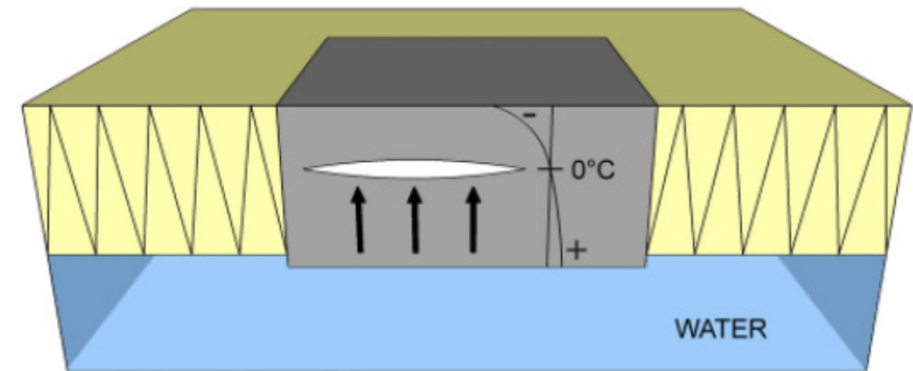
Frostnedbrytning av tunna dammar – doktorandprojekt

- Frostnedbrytning i tunna betongdammar?
 - Spjälkning av betong på US och NS
 - Skador långt bakom armeringen har observerats
 - Skadornas exakta djup svårt att bedöma
- Tjälskjutning i betong?
 - I mark bildas islinser vid gynsamma förhållanden
 - Liknande förhållanden i en damm?
- Provkroppar med vct 0,5 – 1,4
 - Frisk betong
 - Frostskadad betong
 - Försvagad betong
 - Ingjutet papper
 - Dålig kompaktering
 - Dålig vidhäftning



Frostnedbrytning av tunna dammar – doktorandprojekt

- Försökuppställning
 - Ovansidan utsatt för frysning (-15 °C)
 - Undersidan i kontakt med vatten
- Resultat
 - Ingen tjälskjutning i frisk betong med $v_{ct} \leq 0,8$
 - Tjälskjutning omgående i frostskadad betong
 - Tjälskjutning i betong med inre försvagningar
 - Ju lägre v_{ct} ju längre tid tills skada
- Verkligheten mer komplicerad
 - Temperaturer
 - Varaktighet
 - Fuktinnehåll
- Värmeisolering av dammar?



Belastningsrelaterade problem – sprickbildning

- Temperaturbetingade rörelser
 - Tvång → ökad risk för sprickbildning
- Ändrade lastförutsättningar
 - Islaster
 - Förändringar i undergrunden
- Ändrade driftfall
- Inverkan på bärförmåga
 - Samverkan armering / betong
 - I uppspruckna områden
 - I områden med nedbruten betong
- Kräver åtgärder
 - Övervakning
 - Förstärkning



Tack för uppmärksamheten!





Effekt av sprickbildning och nedbrytning på dammens primära funktion

Marie Westberg Wilde, SwedCOLD temadag

2016-04-12



Bakgrund

- Sprickor i betongkonstruktioner är vanligt förekommande
- Sprickor noteras vid fördjupade inspektioner
- Ofta svårt att enkelt bedöma om spricka är potentiellt allvarlig
- Syfte med presentationen och Energiforskrapport att ge stöd för bedömning av potentiellt allvarliga sprickor
- Syfte även att förbättra möjlighet till uppföljning av fördjupade inspektioner



Orsaker till sprickbildning

- **Sprickor orsakade av mekaniska fenomen**
- **Sprickor orsakade av fysikaliska fenomen**
 - Förhindrade termiska rörelser (vid betongens avsvälning eller på grund av temperaturvariationer i omgivningen)
 - Förhindrade rörelser av uppfuktning och uttorkning (krympning)
 - Inre expansion (t.ex. frost)
- **Sprickor orsakade av kemiska fenomen**
 - Urlakning
 - Kemiska reaktioner i cementpastan (t.ex. sulfatangrepp)
 - Kemiska reaktioner som leder till expansion (t.ex. Alkali-silika reaktioner, tidigare kallade Alkali-kisel reaktioner)
 - Armeringskorrosion



Primär funktion

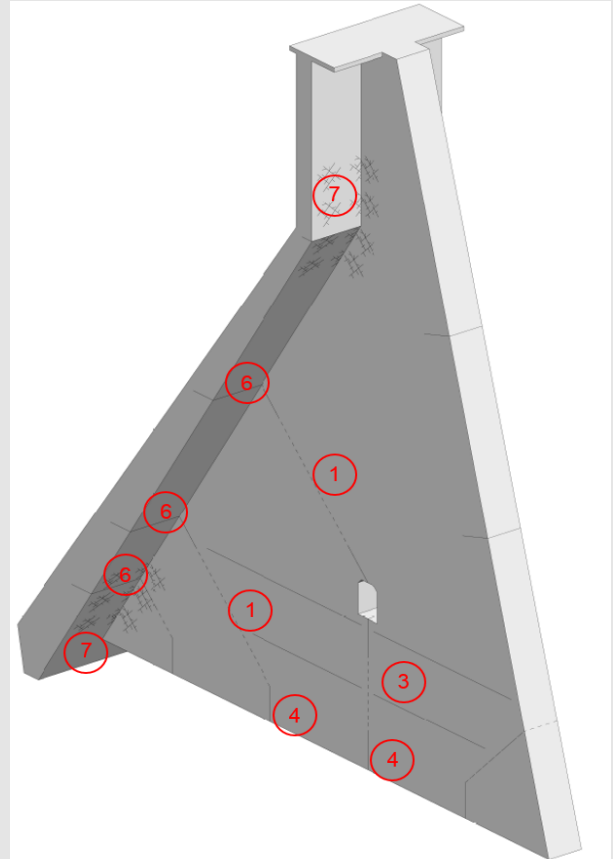
- En betongdamm ska **dämna** vatten och medverka till **avbördning**.
- En lamelldamm dämmer vatten genom att vattenlast överförs från frontplatta till grund
- Utskovspelare dämmer vatten, och bidrar även till att avbörda vatten.



Vanligt förekommande sprickor i dammar (1)

Lamellmonoliter

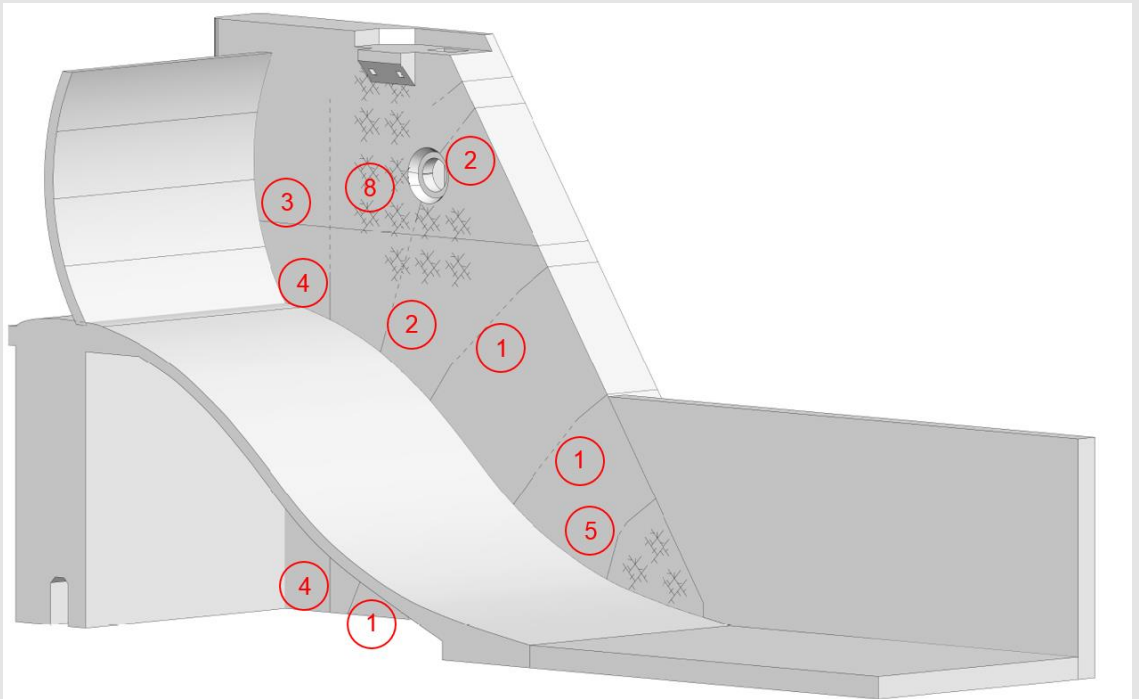
- Baserat på skisser och fotografier från ca 40 dammanläggningar





Vanligt förekommande sprickor i dammar (2)

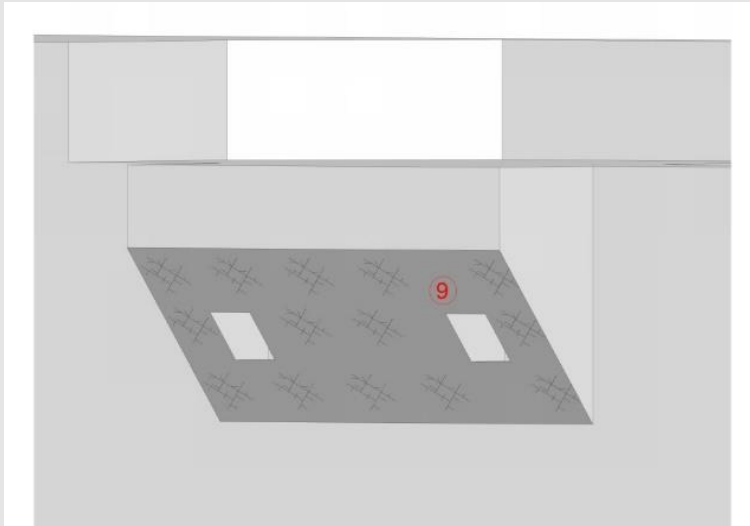
Utskovspelare





Vanligt förekommande sprickor i dammar (3)

Kuggstångskonsoller





Spricktyper

- **För vardera spricktyp görs systematisk genomgång av**
 - Huvudorsaker till uppkomst
 - Möjlig konsekvens av sprickan
 - Vilken felmod sprickan kan ge upphov till
 - Det bedömda brottförloppet
 - Rekommendationer på vad som kan och bör göras.



Sprickor



1	Sneda sprickor i pelaren			
2	Sprickor kring lucklager			
3	Horisontella sprickor i pelaren			
4	Vertikala sprickor i pelaren			
5	Sneda sprickor i pelarens nedströmskant			
6	Horisontella sprickor i frontplattan	x		D
7	Frostskador och islinser i frontplattan	x		D
8	Frostskador/ASR kring lucklager		x	A
9	Frostskador/ASR i kuggstångsbockar		x	A



D = dämmande, A = avbördande

- a) Förlorad monolitfunktion – påverkar global stabilitet b) Brott i armeringens förankringszon – påverkar lucklagret kan leda till att avbördning uteblir
c) Läckage, på lång sikt håll d) Hål



Exempel:

Spricktyp 1: sneda sprickor i pelaren



Figur 7 Spricka i frontplatta (till vänster) och i stödpelaren (till höger).



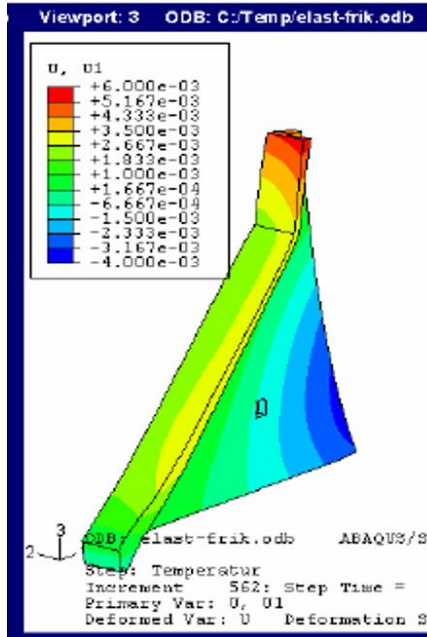
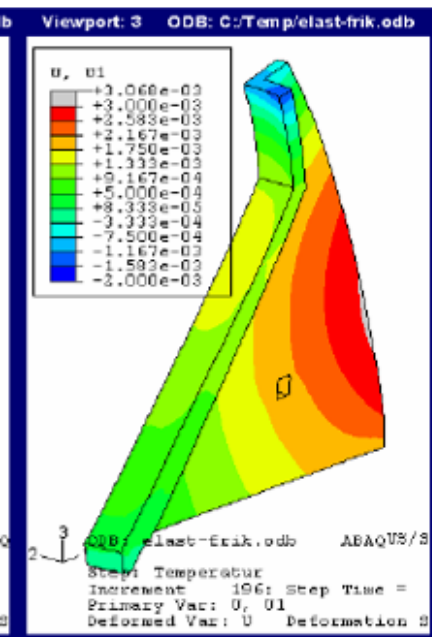
Exempel

Huvudsaklig uppkomst

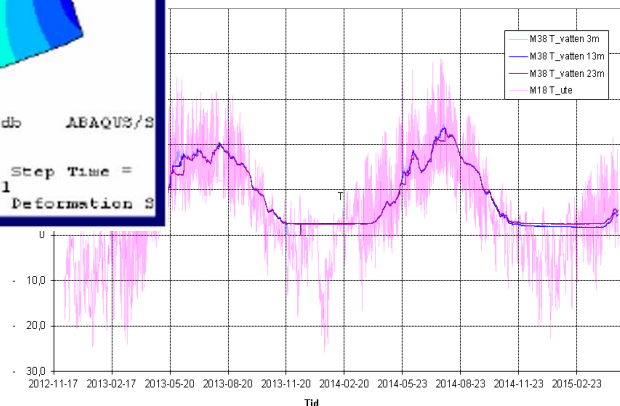
- Initieras vanligen
 - Vid infästning i frontplattan
 - Vid bergytan
 - Vid inspektionsgången
 - Vid lucklagerinfästning
 - Vid skibordets yta
- Huvudsaklig grundorsak
 - Tvång från gjutning på grund av förhindrad rörelse under avsvälningsskedet
 - Temperaturvariationer i kombination med tvång kan ge spricktillväxt
 - Avsvälningssprickor i grova konstruktioner är ofta genomgående
 - Även ytliga avsvälningssprickor kan fungera som sprickinitiering



Temperaturrelser



Uppmätta temperaturer i magasinet framför dammen



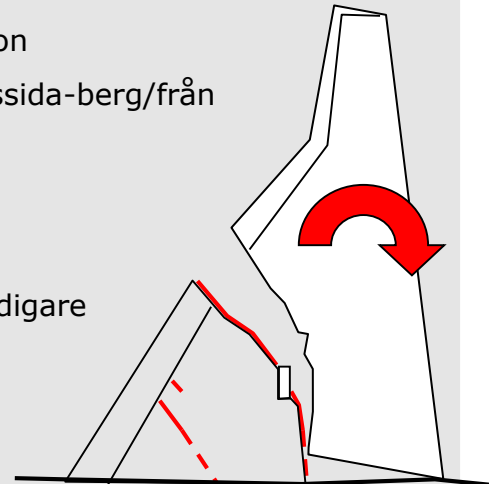
Från Björnström et al (2006).



Exempel

Konsekvenser

- **Grova genomgående sprickor kan leda till att**
 - monoliten inte längre fungerar som avsett
 - Uppdelning i mindre delar som var för sig måste överföra belastningen till andra delar
- **Allvarliga sprickor :**
 - Grova sprickor
 - Sprickor som tillväxt sedan tidigare inspektion
 - Sprickor som går hela vägen från uppströmssida-berg/från nedströms sida-berg.
- **Mindre allvarliga**
 - Liten sprickvidd
 - Konstant längd (ingen spricktillväxt sedan tidigare inspektioner)
 - Av begränsad utbredning





Exempel

Felmod och brottförlopp

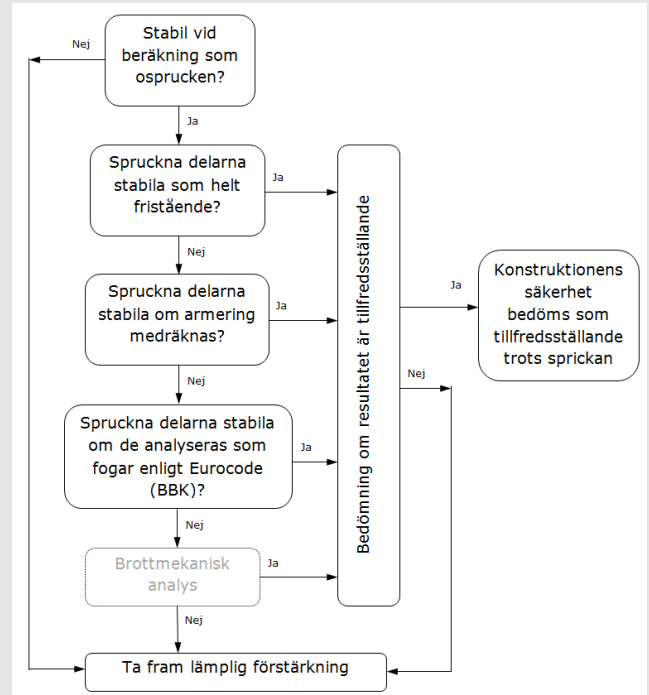
- Felmoden påverkar den dämmande förmågan
- Brottförloppet kan förväntas vara sprött och hastigt.
 - Armering kan ha kapacitet till lastomfördelning,
 - progressivt brott kan göra att det mest belastade järnet går av först, följt av övriga
 - Dammar har ofta relativt liten armeringsarea = armeringens lastbärande förmåga är begränsad.



Exempel

Rekommendation

- Säkerställ tillräcklig stabilitet (normalt ej vid FI)
- Beräkning av stabilitet vid osprucken, vid helt uppsprucken, om armering medräknas...
- FE-analys för att bedöma sprickorsak





Exempel

Rekommendation

- Åtgärd för temperaturrelaterade sprickor, kan annars förväntas tillväxa
 - Håll under uppsikt. Sprickkartering. Sprickslut inritade på konstruktionen med sprickvidd angivet.
 - Avlägsna orsak till sprickutveckling: tex klimatvägg. FE-analys innan för att analysera klimatväggens effekt på temperaturfördelning och förväntad spänningsfördelning
 - Ibland spännstag
 - Ibland ytlagning för att skydda armeringen – obs att det är nödvändigt att först identifiera sprickorsak och åtgärda denna annars kommer spricktillväxten troligen fortsätta!



Exempel på Redovisning (1)



Pelare 1, vänster och höger sida.





Exempel på redovisning (2)

- *Rita upp sprickorna* inkl observerad längd och sprickvidd
- *Beskrivning av sprickor*: Observation av sprickorna gjordes från luckbenet alldeles intill pelaren samt från motstående luckben. Sprickvidden skattades med sprickviddsmätare. Inga tecken på rörelser i/kring sprickorna kunde noteras.
- *Bedömning av avvikelse vid FI*:
I detta fall bedöms att S6/S3 i nuläget är åtgärdad och bedöms inte vara en avvikelse.
S5/S4 är av liten omfattning och avvikelsen bedöms som liten, A1.
- *Rekommendation*: ev. sprickutveckling hålls under uppsikt vid kommande inspektioner. Om S6/S3 återkommer är det nödvändigt med mer djuplodande analys för att förstå sprickorsak.

HUR SKAPA GODA BESLUTSUNDERLAG M.A.P. BETONGENS STATUS ?

MANOUCHEHR HASSANZADEH, SWECO
&
ERIK NORDSTRÖM, SWECO

Definiera syftet med undersökningen

- Syftet med undersökningen är att bestämma betongmaterialets **aktuella och framtida status** definierad genom materialegenskaper som:
 - hållfasthet
 - styvhet
 - täthet
 - transportegenskaper
 - kemisk stabilitet

Sätt undersökningen i det rätta sammanhanget

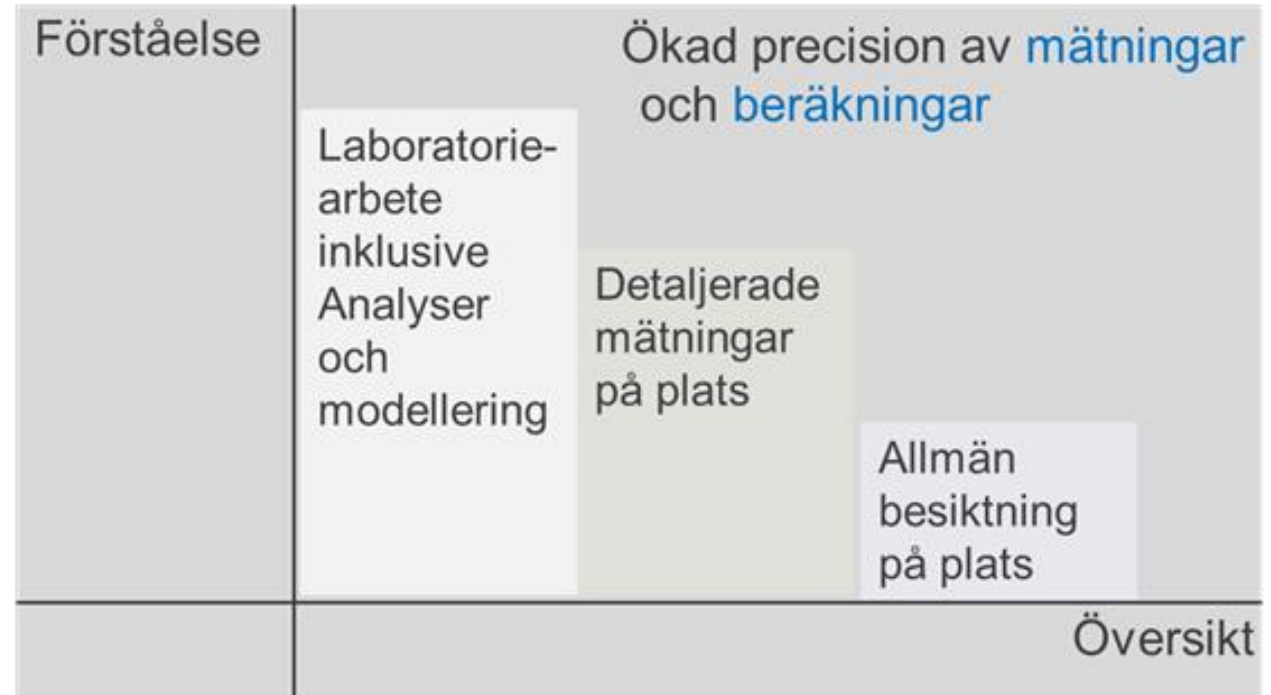
- Materialegenskaperna i sig säger inte så mycket om konstruktionens tillstånd, utan de måste ingå in en **bedömningsprocess**, vilken leder till svar till några frågeställningar relaterade till konstruktionens funktionsduglighet, bärförmåga och livslängd.
- Bedömningsprocessen innehåller **modeller/verktyg** (kvalitativa/kvantitativa) som omvandlar materialegenskaperna till parametrar som utgör beslutsunderlaget.

Tillvägagångssätt/Modell

- För att utföra arbetet på ett effektivt sätt bör minst följande punkter beaktas:
 - Anledningen till att man vill bedöma konstruktionens tillstånd.
 - Tillståndsbedömningens omfattning, t.ex. om den omfattar en konstruktionsdel, hela konstruktionen/anläggningen eller flera likadana anläggningar.
 - De optioner/åtgärder som avgörs genom tillståndsbedömning.
 - Tidsaspekten, aktuell och/eller framtida tillståndet/åtgärder som avses.
- Undersökningen bör inte drivas vidare än nödvändig, utför ”**progressive screening**”.
Indela arbetet i etapper, t.ex.:
 - Preliminär bedömning
 - Detaljerad bedömning

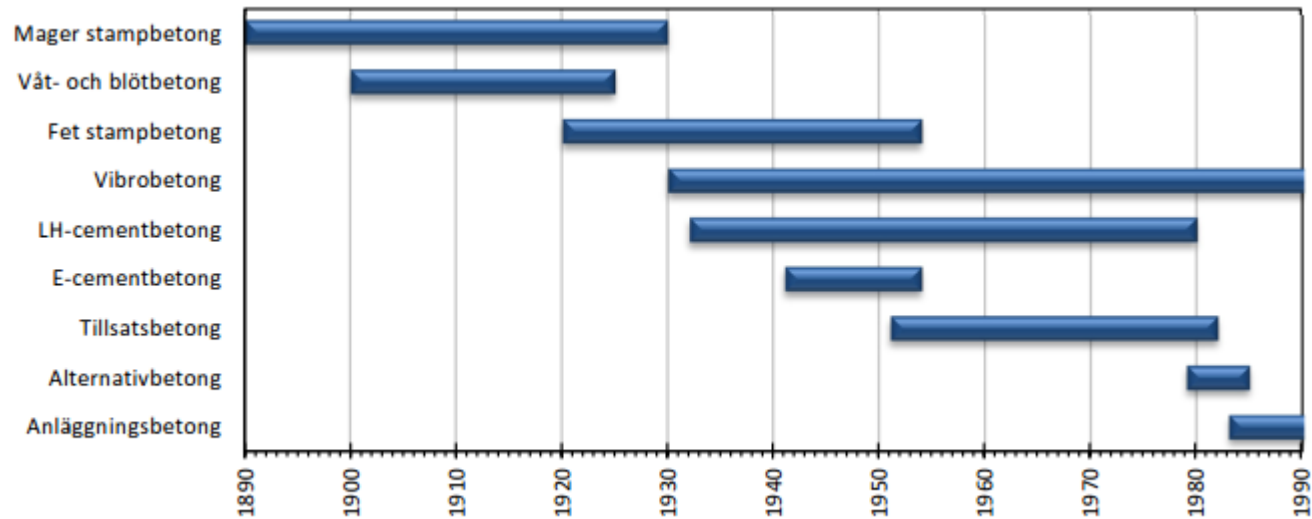
Tillvägagångssätt/Modell

- Etapper baserade på aktuella frågeställningar
 - översiktlig bedömningar
 - djupgående analyser.
- Tid och kostnad ökar med djupare förståelse och högre precision.

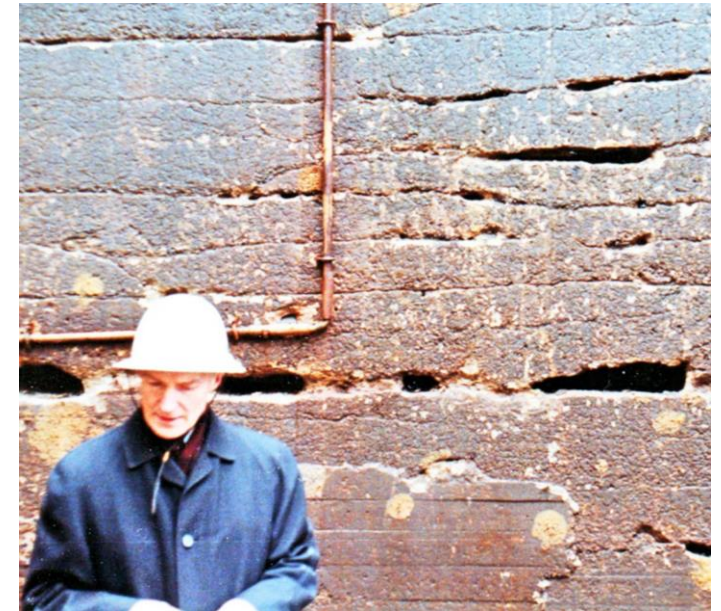


Planering av provuttaget

- Val av plats och orientering
 - Byggår ~ tidstypiska egenskaper på betongen
 - Historik efter byggtid ~ tidigare reparationer/ombyggnader
 - Vilka misstankar eller konstaterade problem finns det?
 - Vad är syftet med provuttaget?



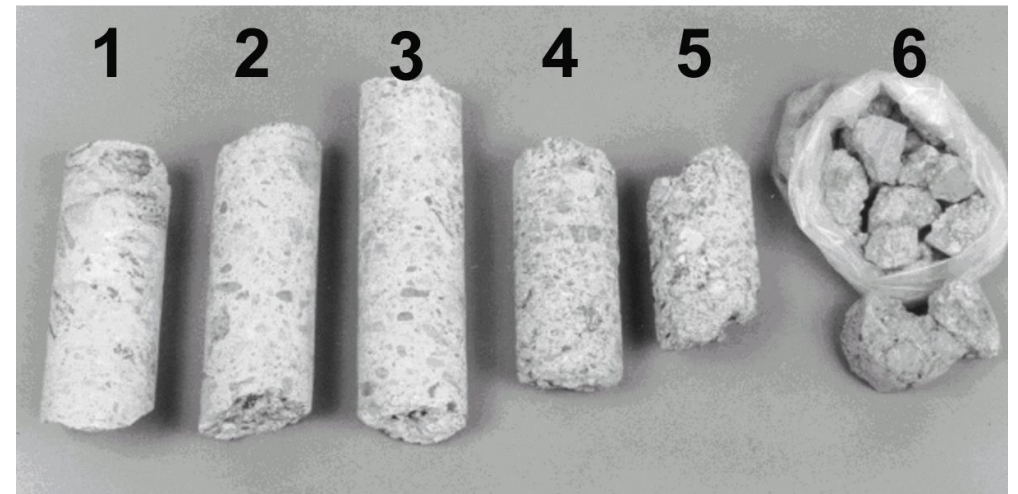
[Rosenqvist]



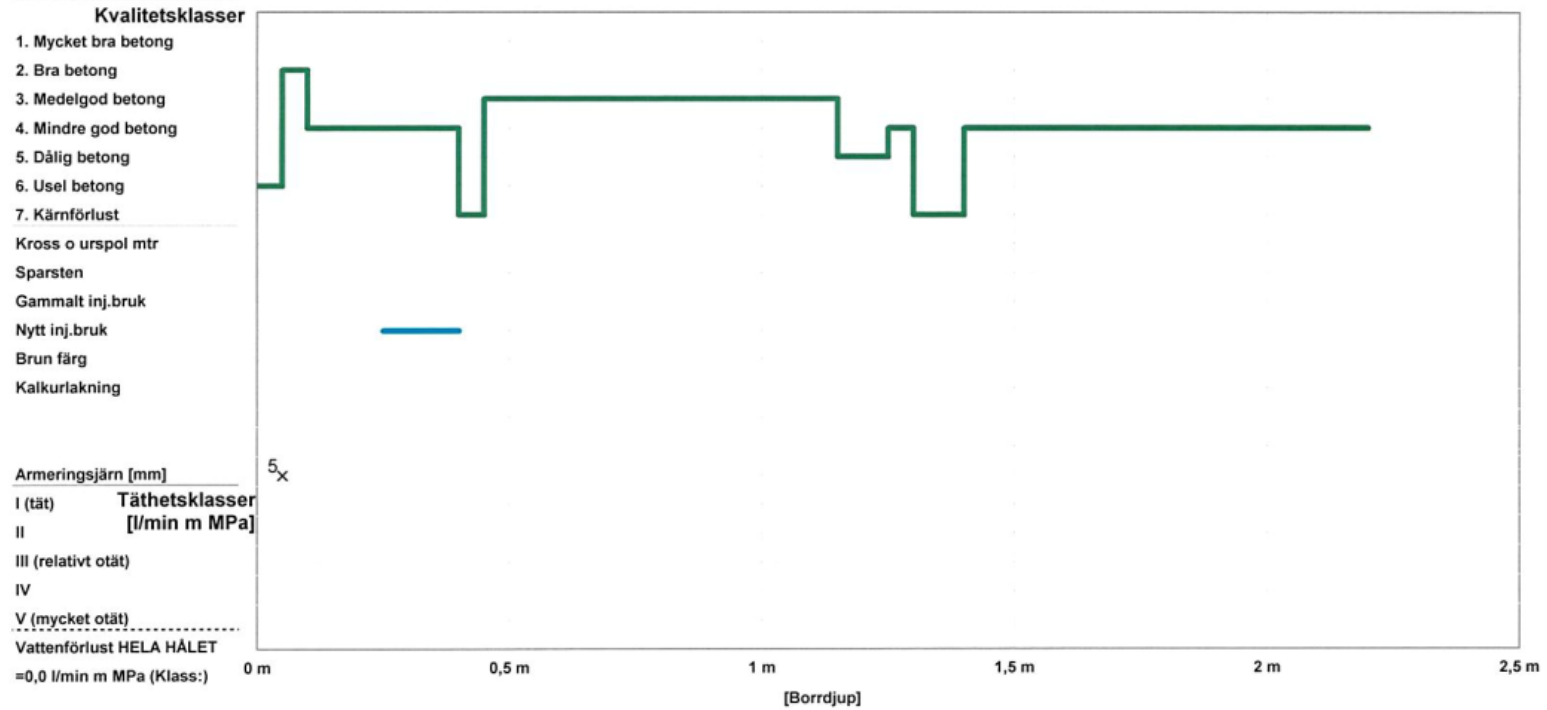
[Lindström]

Uttag av borrkärnor

- Borrkärneuttag är inte samma som håltagning!
- Lämplig diameter är 100 mm (>62 mm)
- Spolvattenförlust, borrdjup, borrsjunkning etc. noteras under borring
- Kärnor hanteras varsamt och märks
 - Klassificeringssystemet BETUT kan användas
 - Identifiera större sprickor och håligheter
 - Hitta armeringsjärn
 - Betongkvalitet kan kontrolleras
 - Fördjupade analyser



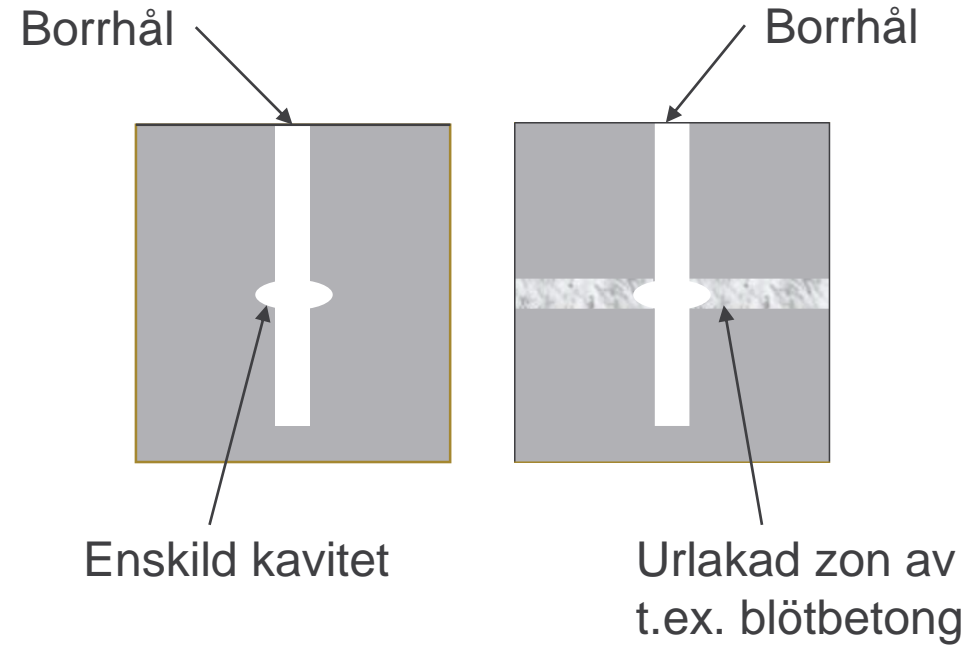
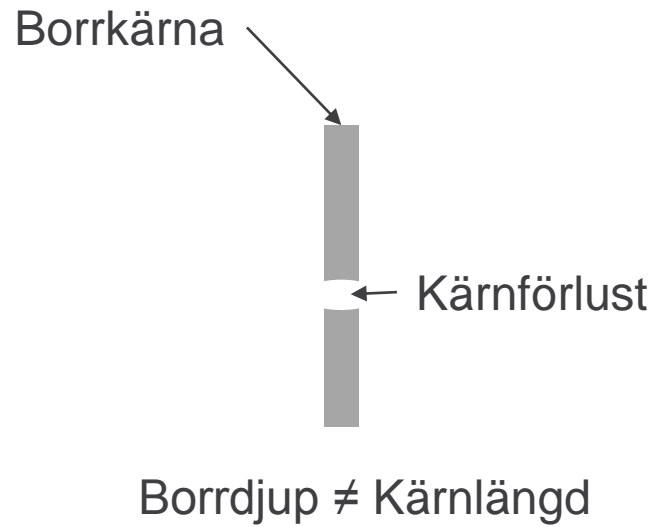
Kartering enl. BETUT



Borrkärnebeteckning	UH 3-4 25°	Provningsresultat					Andel av kvalitetsklasser			
		Borrdjup (m)	Densitet (kg/m ³)	Borrdjup (m)	Tryckhållfasthet (MPa)	Borrdjup (m)	Vatteninträngning (mm)	Kvalitetsklass	Totalt	%
Anmärkningar Rötter mm i ytan. Därefter fint bruk med stenmax ca 8mm Fint berg 2,20-2,75 som innehåller injekteringsbruk.	120mm							1 Mycket bra		0%
								2 Bra	0,1 m	2%
								3 Medelgod	0,7 m	32%
								4 Mindre god	1,2 m	52%
								5 Dålig	0,1 m	5%
								6 Usel	0,1 m	2%
								7 Kärnförlust	0,2 m	7%
VATTENFALL RESEARCH AND DEVELOPMENT BETONGPROVNING								Totalt	2,2 m	100%

1478-86, bilaga 2

Vad är en kärnförlust ?



- Komplettera med:
- borrhålsfilmning
 - vattenförlustmätning i hålet

Möjliga egenskapstester

- Mekaniskt
 - tryck
 - spräck
 - vattenförlustmätning i borrhål
 - borrhålsfilmning
 - restexpansionstest
- Kemiskt
 - cementhalt
 - vattencementtal
 - SEM/EDS
 - pH
 - alkaliinnehåll
 - petrografisk / mineralogisk undersökning
- Fysikaliskt
 - fukthalt
 - permeabilitet
 - densitet
 - porositet
 - vattenmättnadsgrad (total/kapillär)
 - luftporstorleksfördelning, avståndsfaktor
 - frostbeständighet



Val av tester och användning av resultat

Testresultaten används i kvantitativ/kvalitativ analysmodell och val av tester baseras på vald analysmodell

Exempel på kvantitativa modeller är:

- Normbaserade stabilitets- eller dimensioneringsberäkningar (handberäkning/datorbaserad)
- Avancerade beräkningar med utgångspunkt från fysikalisk karaktär är:
 1. Mekanik för betongmaterial och betongkonstruktion.
 - struktur- och materialmekanik (deformationer, spänningar, bärförmåga, sprickbildning)
 2. Transportprocesser i betong.
 - värme (ledning, konvektion)
 - masstransport i material (diffusion, konvektion, flöde)
 - kopplade transportprocesser (värme-massa-fasomvandlingar)
- Kopplade mekanik-transport-processer.
 - deformationer-spänningar-sprickor-värme-masstransport-fasomvandlingar- kemiska omvandlingar

Sammanfattning

- Definiera vad du vill undersöka och vad du ska använda resultaten till
- Förankra processen med uppdragsgivaren
- Ta reda på historiken och gör en okulär bedömning
- Skaffa bästa möjliga utgångsläge genom hög kvalitet på provtagning och analyser
- Gör arbetet i steg, börja översiktligt och förfina efter värdering av delresultat.
- Tillämpa resultaten i din modell
- Komplettera med analyser vid behov

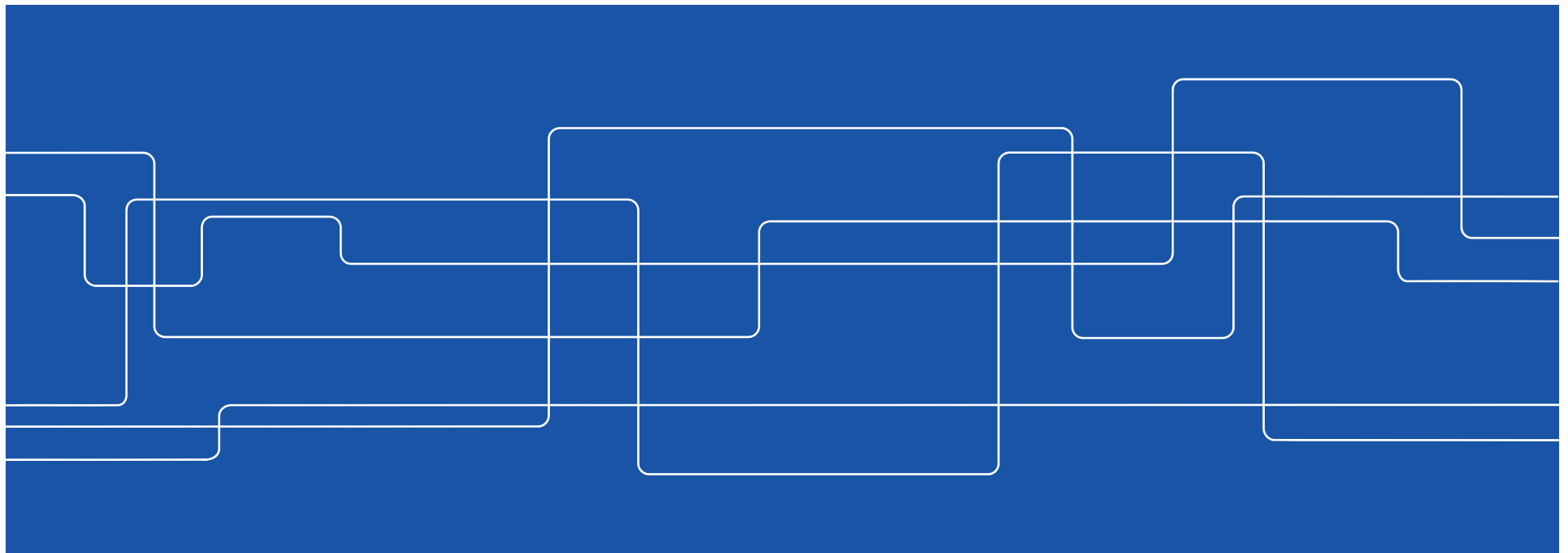
SWECO





Provdragning av 50 år gamla bergbultar

Rikard Hellgren





Rikard Hellgren



Doktorand vid avdelningen för betongbyggnad, KTH

Vattenkraftskonsult, WSP Vattenbyggnad



Energiforsk



TRAFIKVERKET

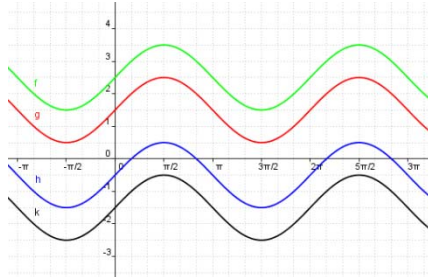


SBUF®

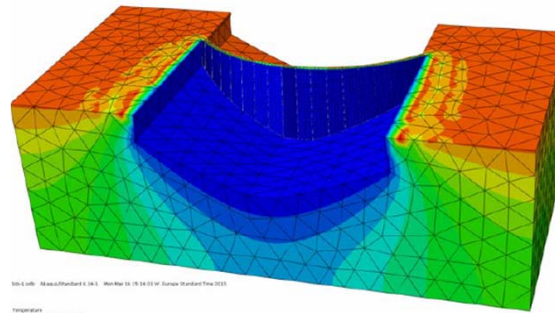
SVENSKA BYGGBRANSCHENS UTVECKLINGSFOND
The development fund of the Swedish construction industry

Dammbeteendeanalys

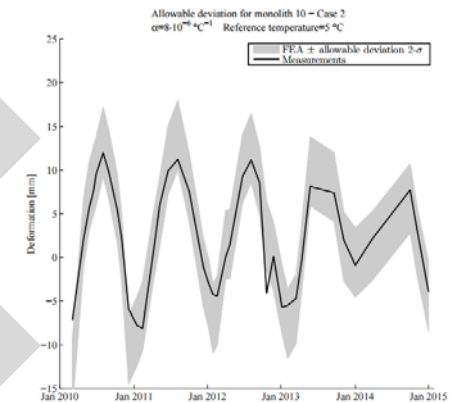
Yttre faktorer



Teoribaserade modeller



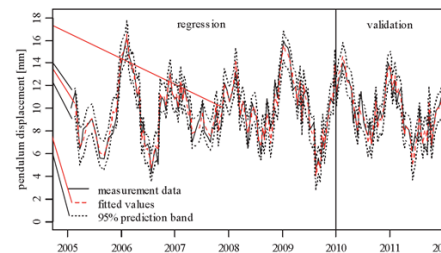
Respons (Beteende)



Databaserade modeller

$$P(t, h, s) = a_0 + a_1 h + a_2 h^2 + a_3 h^3 + a_4 h^4 + a_5 e^{-1} + a_6 t + a_7 \cos s + a_8 \sin s + a_9 \sin^2 s + a_{10} \sin s \cos s$$

h är magasinets vattennivå
 t är tid i år och
 s är årstidsvariation



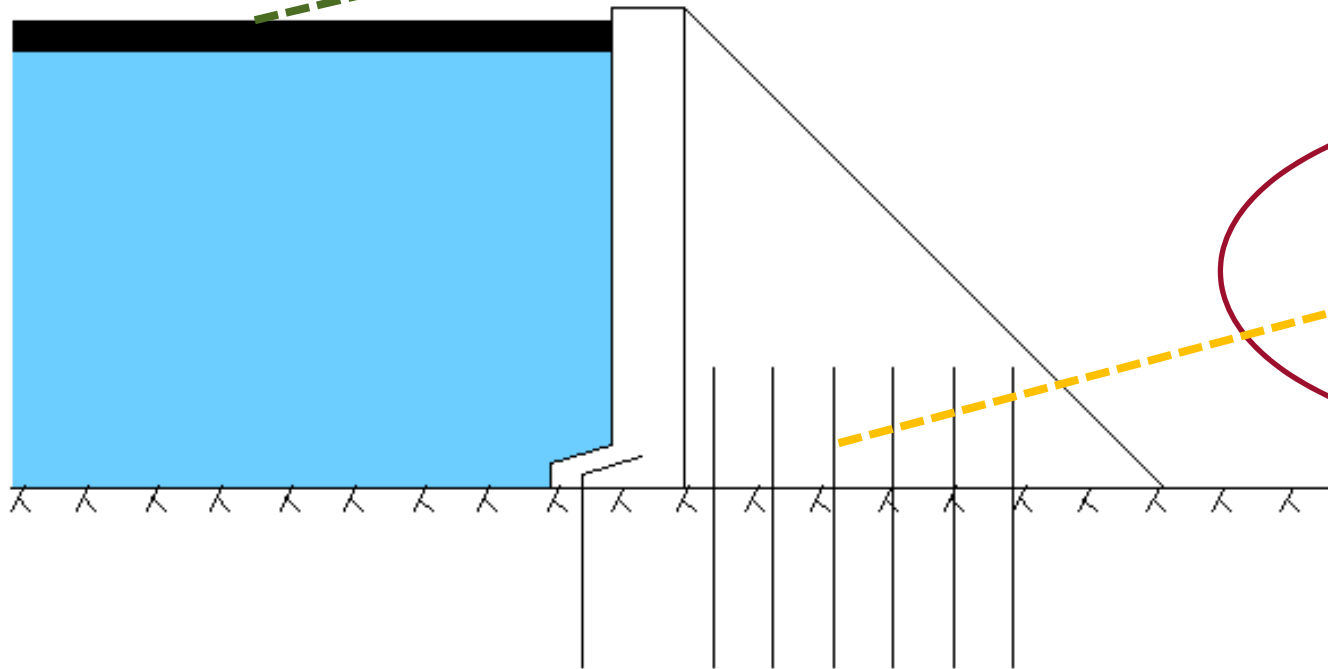
Osäker indata

Delprojekt

Islasten storlek och variation?

Delprojekt

Slaka bergförankringars inverkan på dammens säkerhet?





Inverkan på bärförmågan av slaka bergsförankringar Under betongdammar med hänsyn till nedbrytning



Richard Malm
KTH/SWECO



Fredrik Johansson
KTH/SWECO



Francisco Rios
Bayona
SWECO



Rikard Hellgren
KTH/WSP

Bergförankring under dammar

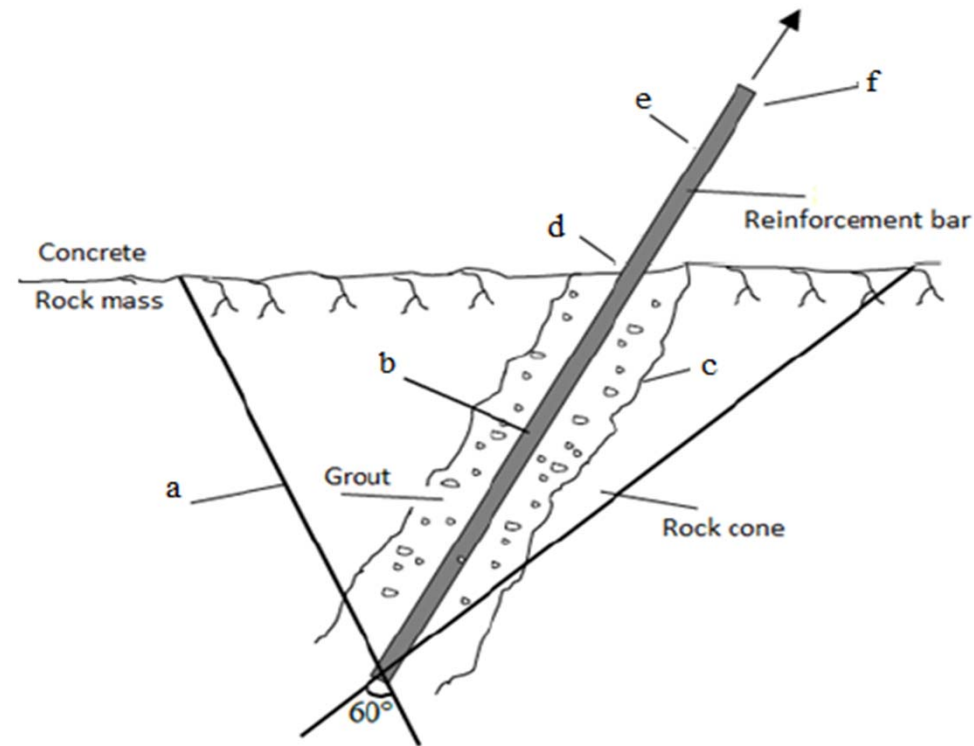


Bild från: Berzell, C. (2014). *Load capacity of grouted rock bolts in concrete dams. Master Thesis.* Stockholm, Sweden: KTH Royal Institute of Technology



RIDAS betraktar slaka bergsförankringar som en extra säkerhet.

Armeringsspänning begränsad till 140 MPa (när förankringen får medräknas)

Potentiell stor nytta!

		Utan förankring [säkerhetsfaktor]	Med förankring [säkerhetsfaktor]
Hotagen ¹	Stjälpning	1.27	1.59
Storfinnforsen ²	Glidning	1,26	1,34
Denna studie	Stjälpning	1,08	1,54
	Glidning	1.01	1.35

[1] Christer, L. (2007). *Utredning och provtagning av förankringsstag i Hotagens regleringsdamm*. Stockholm: Elforsk.

[2] Berzell, C. (2014). Load capacity of grouted rock bolts in concrete dams. Master Thesis. Stockholm,



Senaste ansatsen

Det finns ingen metod för att tillståndsbedömning av en redan installerad oåtkomlig bergförankring under en betongdamm

”Om dragstag ska kunna medräknas i stabilitetsberäkningar, bör man starta med systematisk insamling av erfarenheter vad gäller bärförmåga, brottmoder och nedbrytningsmekanismer i verkliga installationer”

” Vidare, visar arbetet att det för utveckling av bättre analysmodeller är nödvändigt att kombinera avancerade beräkningsmodeller med olika provningar och mätningar, både i laboratorie och i fält”



Tillståndsbedömning av för-
ankringsstag i dammar

Inventering av möjliga metoder och förslag
på vidareutveckling



Elforsk rapport 13:70

Tomas Ekström
Manouchehr Hassanzadeh
Mårten Janz
Bror Sederholm
Bojan Stojanovic
Peter Ulriksen

December 2013

ELFORSK



Projekt mål



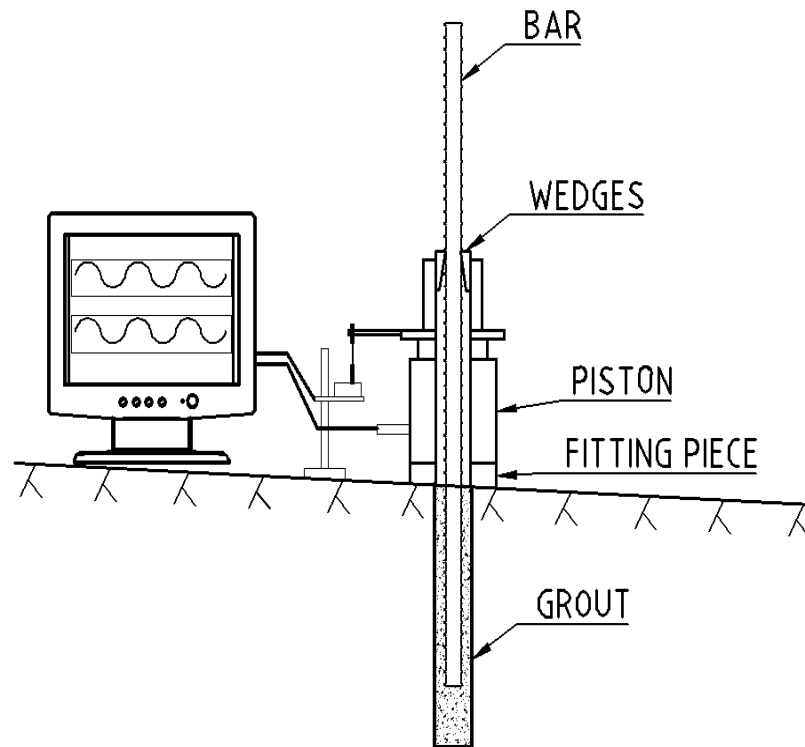
Genomföra tester på befintlig bergförankringar

Utveckla en beräkningsmetodik som beaktar hur nedbrytning påverkar bärförmågan hos slakarmerade bergsförankringar.

Föreslå en statistisk fördelning för nedbrytning

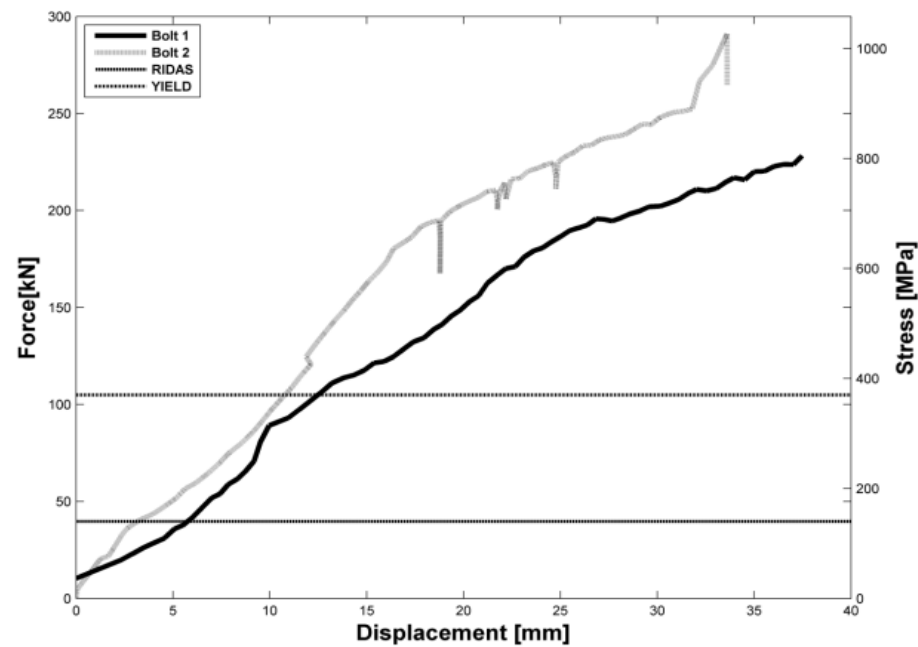
Utveckling av sannolikhetsbaserade metod för stabilitetsberäkningar med bergförankringar.

Tester av 50 år gamla bergbultar



Tester av 50 år gamla bergbultar

Berget spricker innan bulten går sönder.
Laster långt över RIDAS-nivå.





Tester av 50 år gamla bergbultar

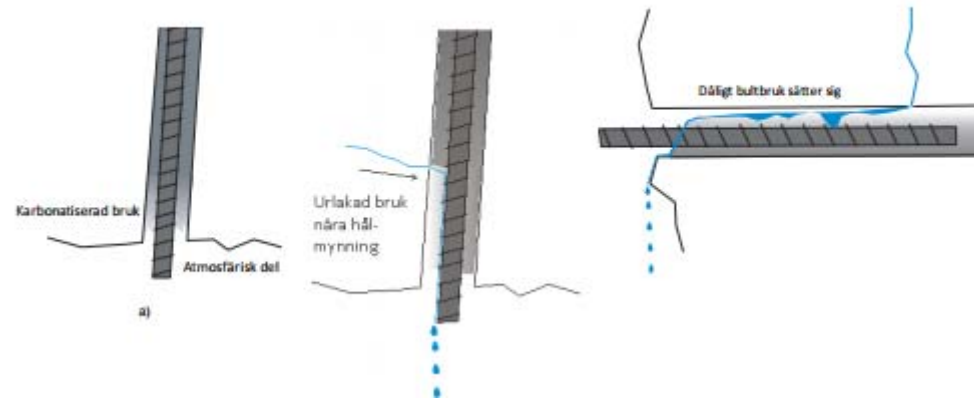


Vi söker efter fler möjligheter att testa eller undersöka bergbultar.

Kontakta mig (rikard.hellgren@byv.kth.se) eller någon av seniorforskarna inom SVC om ni har ett rivnings- eller ombyggnadsprojekt där bultar kommer friläggas.

Även eventuella foton/dokumentation från tidigare projekt är intressant.

Nedbrytning av bruk



”Slutsatsen är att om cementskiktet är intakt så är risken för
degradering av bultar liten” [1]

Det är stålets korrosion som är boven!

[1] Bogdanoff, I (2013) Degradering av berg, förstärkningar och injektering i tunnlar, Strålsäkerhetsmyndigheten



Korrosion hos stål i vatten



Ca 50 $\mu\text{m}/\text{år}$ enligt BeFo-report 58

20 – 30 $\mu\text{m}/\text{år}$ vid Harsprånget karftstationstunnel. [1]

Tyska standarden DIN 50929 part 3,

Beräkna ett korrosionsindex (W_0) utifrån

- Stålets placering
- Vattnets flöde
- pH-värde
- ANC (Alkanitet och Organiskt innehåll)
- Kalciuminnehåll (Ca^{2+}),
- Kloridinhåll (Cl^-)
- Sulfatinhåll (SO_4^{2-})

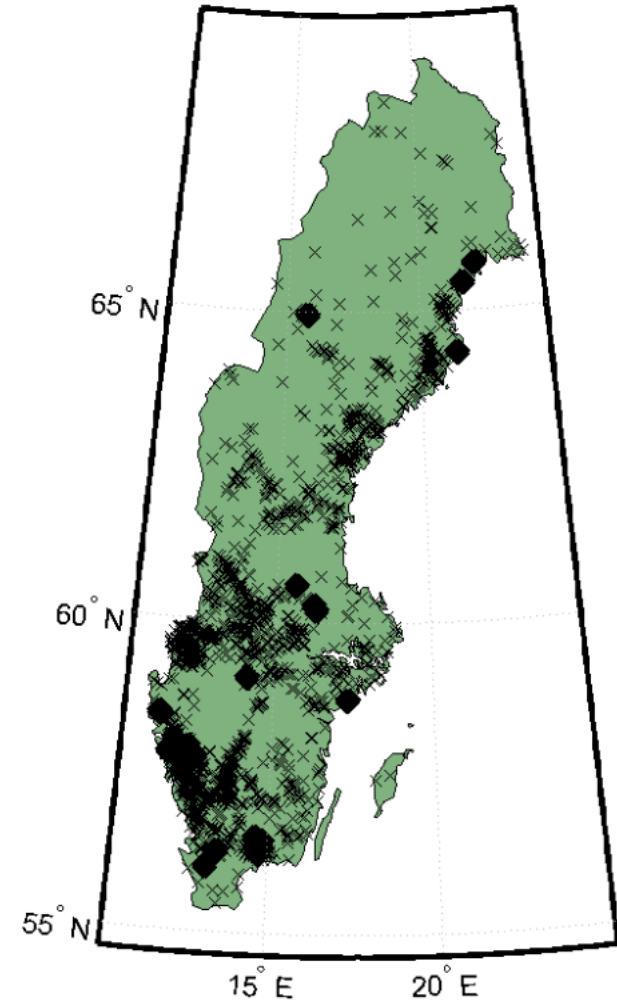
[1] Håkansson, W (2013) Kraftverkstunnlars beständighet - En studie om åldringsfenomen och nedbrytningsprocesser. Lunds tekniska Högskola

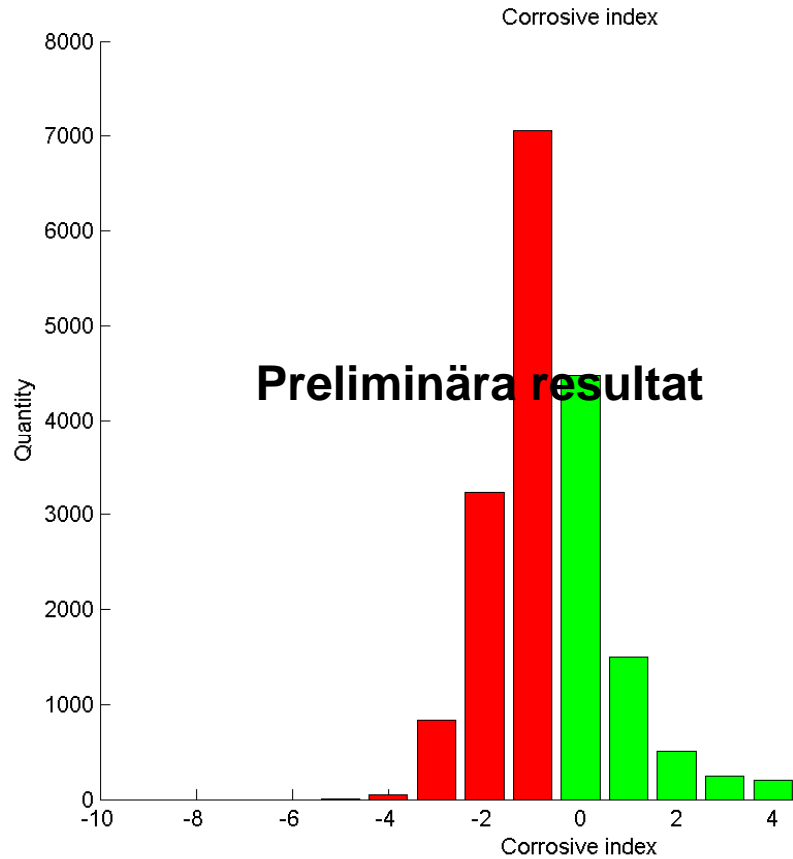
SLU:s databas för miljökemi.

Ca 30 000 mätningar av vattenkemi i
Svenska vatten (älvar och sjöar).

Antagit stillastående vatten (-1)
(Konservativt jämfört med flödande
vatten (0))

Preliminära resultat





Ursprunglig diameter $d := 25\text{mm}$

Ursprunglig area $A_u := \frac{\pi d^2}{4} = 490.874\text{mm}^2$

Förhållande sträckgräns och RIDAS begränsning $\alpha := \frac{140\text{MPa}}{370\text{MPa}} = 0.378$

Motsvarande area RIDAS $A_{\text{RIDAS}} := \alpha \cdot A_u = 185.736\text{mm}^2$

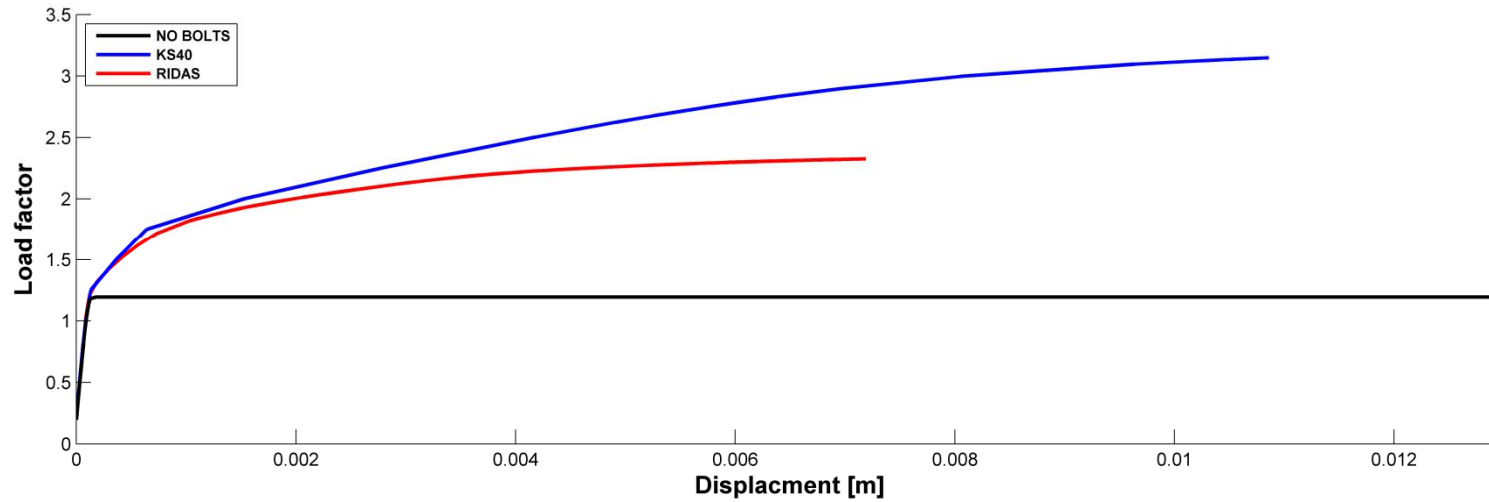
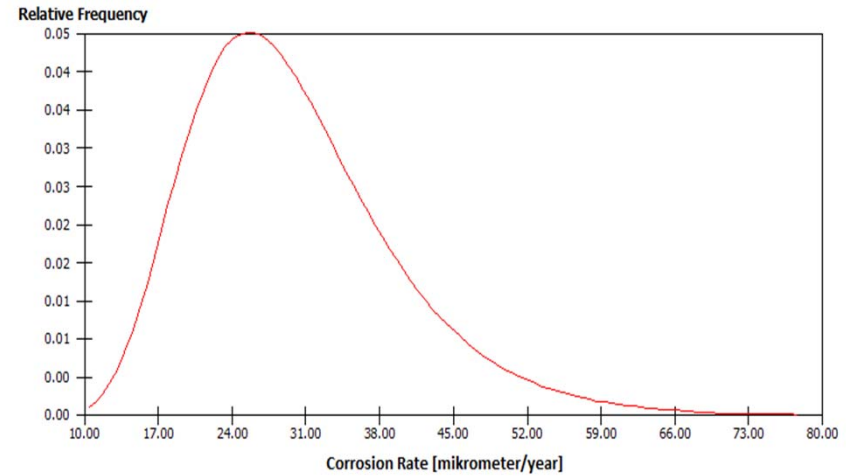
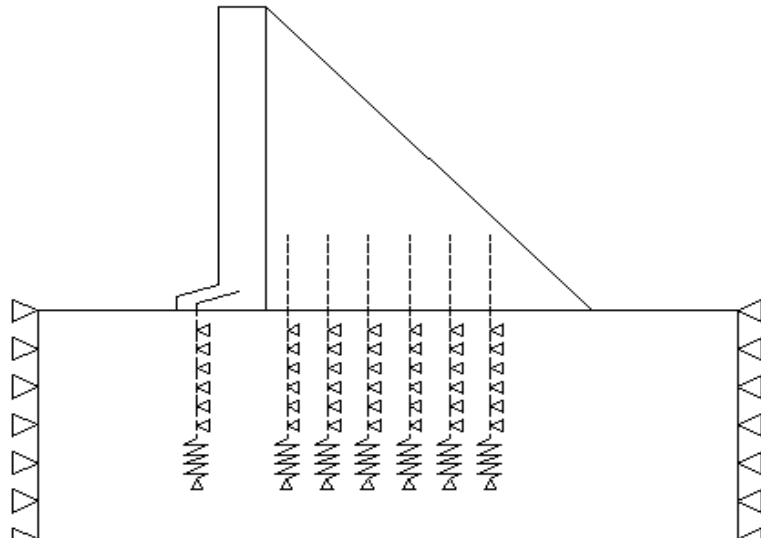
Motsvarande diameter RIDAS $d_{\text{RIDAS}} := \sqrt{\frac{4 \cdot A_{\text{RIDAS}}}{\pi}} = 15.38\text{mm}$

Avrostningshastighet avrostning := 20µm = 0.02mm

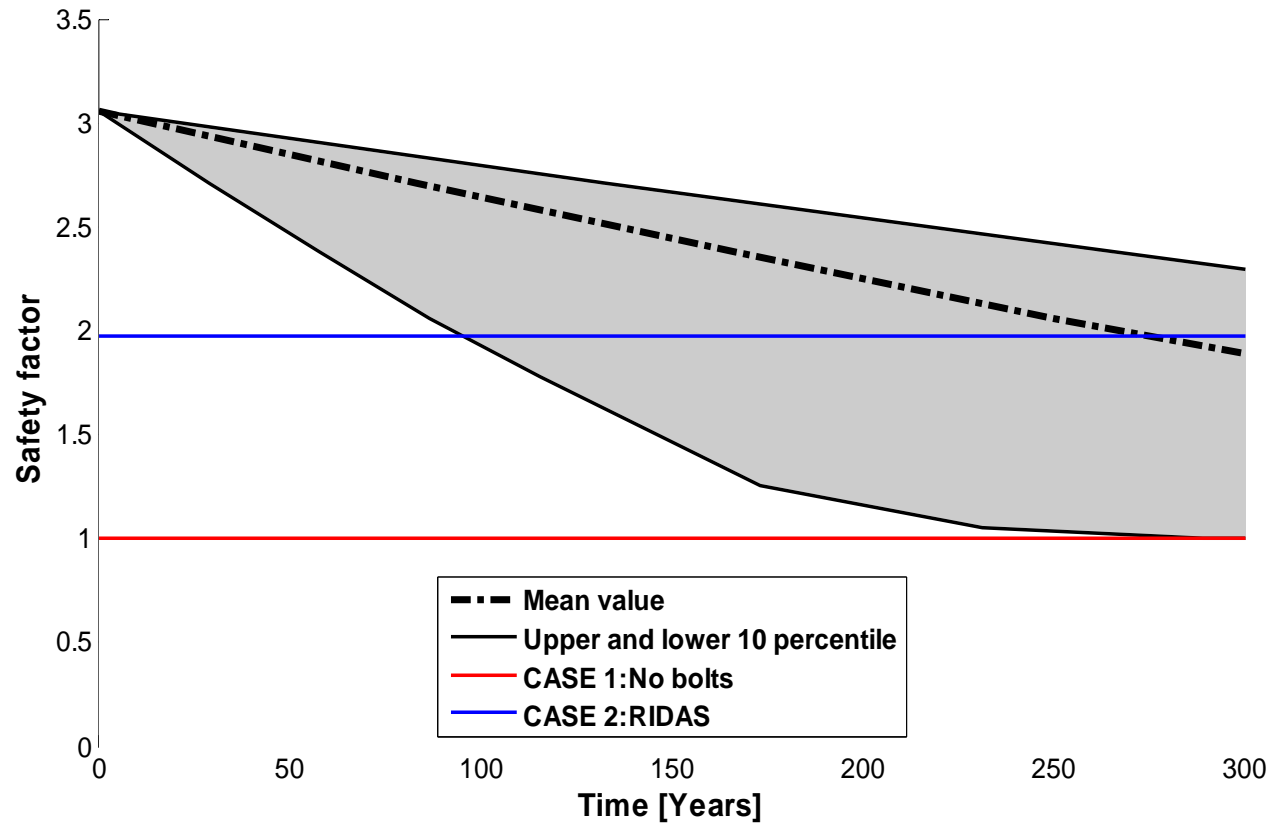
Antal år för att nå RIDAS nivå $\text{År} := \frac{d - d_{\text{RIDAS}}}{2 \cdot \text{avrostning}} = 241$

	W_o	Medelkorrosion (µm / year)	
		(µm / year)	(µm / year)
Klass 1	≥ 0	10	50
Klass 2	-1 till -4	20	100
Klass 3	-5 till -8	50	200
Klass 4	< -8	100	500

Numeriska brottanalyser



Numeriska brottanalyser med nedbrytning



Förslag på beräkningsgång

The rock bolts bearing contribution to the failure modes sliding and overturning can be assessed by the following steps.

1. Calculate the capacity for the attachment.
 - a. Resistance of the contact interface between rock and grout

$$R_{rock-grout} = \pi \cdot \Phi_{bore\ hole} \cdot L_{rock} \cdot c_{rock-grout}$$

- b. Resistance of the contact interface between steel and grout.

$$R_{steel-grout} = \pi \cdot \Phi_{steel} \cdot L_{rock} \cdot c_{rock-grout}$$

- c. Resistance of the contact interface between concrete and steel

$$R_{concrete-steel} = \pi \cdot \Phi_{steel} \cdot L_{concrete} \cdot f_b$$

- d. Resistance of the rock mass.

$$R_{rock} = \frac{\pi r^2 h}{3} \cdot \gamma_{rock}$$

2. Determine the corrosive index, W_o , and the corresponding average corrosion rate ($\mu\text{m}/\text{year}$)
3. Calculate the current cross section

$$\Phi_{steel,current} = \Phi_{steel} - 2 \cdot \text{corrosion rate} \cdot \text{construction age}$$

4. Calculate the steel bolts tensile capacity

$$R_{steel} = f_y \cdot \frac{\pi \cdot \Phi_{steel,current}^2}{4}$$

5. Determine the maximum allowed tensile force in the bar.

$$T_{ty} = \min(R_{rock}, R_{rock-grout}, R_{steel-grout}, R_{concrete-steel}, R_{steel})$$

6. Calculate the contribution to
 - a. Overturning stability, the rock bolt is included as a stabilizing moment with the force and an lever arm equal to the horizontal distance between the rock and the overturning point.
 - b. Sliding stability, the rock bolt is included as a bearing vertical force.



”Sammanfattningsvis bedöms att största riskerna för bultar
utgörs av hantverket att sätta bergbult”
(Bogdanoff 2013)

”bergbultar som är monterade på rätt sätt har god beständighet och
generellt utsätts för små korrosionsangrepp.”
(Håkansson, W 2013)

rikard.hellgren@byv.kth.se

rikard.hellgren@wspgroup.se

Tack för att ni lyssnat!



Norsk lavvarmebetong

Øyvind Bjøntegaard og Sverre Smeplass

Statens vegvesen (SVV)

Vegdirektoratet

Tunnel- og betongseksjonen

Skanska Norge AS

Skanska Teknikk



Lavvarmebetong i Norge; historikk

- I moderne tid er betong med høyt innhold av flygeaske (opptil 40%) vært benyttet i Norge siden 2005
- Lavvarmebetong ble beskrevet første gang i Senketunnelen i Bjørvika, Oslo, i dag kalt **Operatunnelen (betongkulvert i sjø)**
 - I 2000–2004 gjorde SVV en omfattende forhåndsstudie (**FA og Slagg**)
 - Resultatet ble i 2005 krav om **25–40 % FA** og i tillegg krav om **spenningsberegninger** → rissindeks $< 0,75$ (det vil si sikkerhetsfaktor på $1/0,75 = 1,33$)
- Etter dette har «lavvarmebetong» vært brukt i flere prosjekter (*betongkulverter med ytre grunnvannsvanntrykk, massive fundamenter, betongdammer, lukepillarer og andre massivstøper*)
- Alle våre lavvarmebetonger har hatt et **effektivt vann/ sement–forhold (masseforhold) $\leq 0,45$ ($k_{FA}=0,7$ og $k_s=2,0$) og 30–40 % FA av totalt bindemiddelinhold**

$$\%FA = FA / (c + s + FA) \times 100$$

A large-scale construction site for a tunnel structure, likely a dry dock. The structure is built from concrete and steel, with a flat roof and thick walls. The interior is dark, and the exterior is light-colored. A green crane is visible on the left side. The background shows a rocky hillside and a road.

Operatunnelen (Senketunnelen)

- bygd i tørrdokk
- hvert element 112,5 m langt
- totalt 6 elementer
- 1,0 m tykke vegger
- 1,2-1,4 m tykke bunn/topp-plater

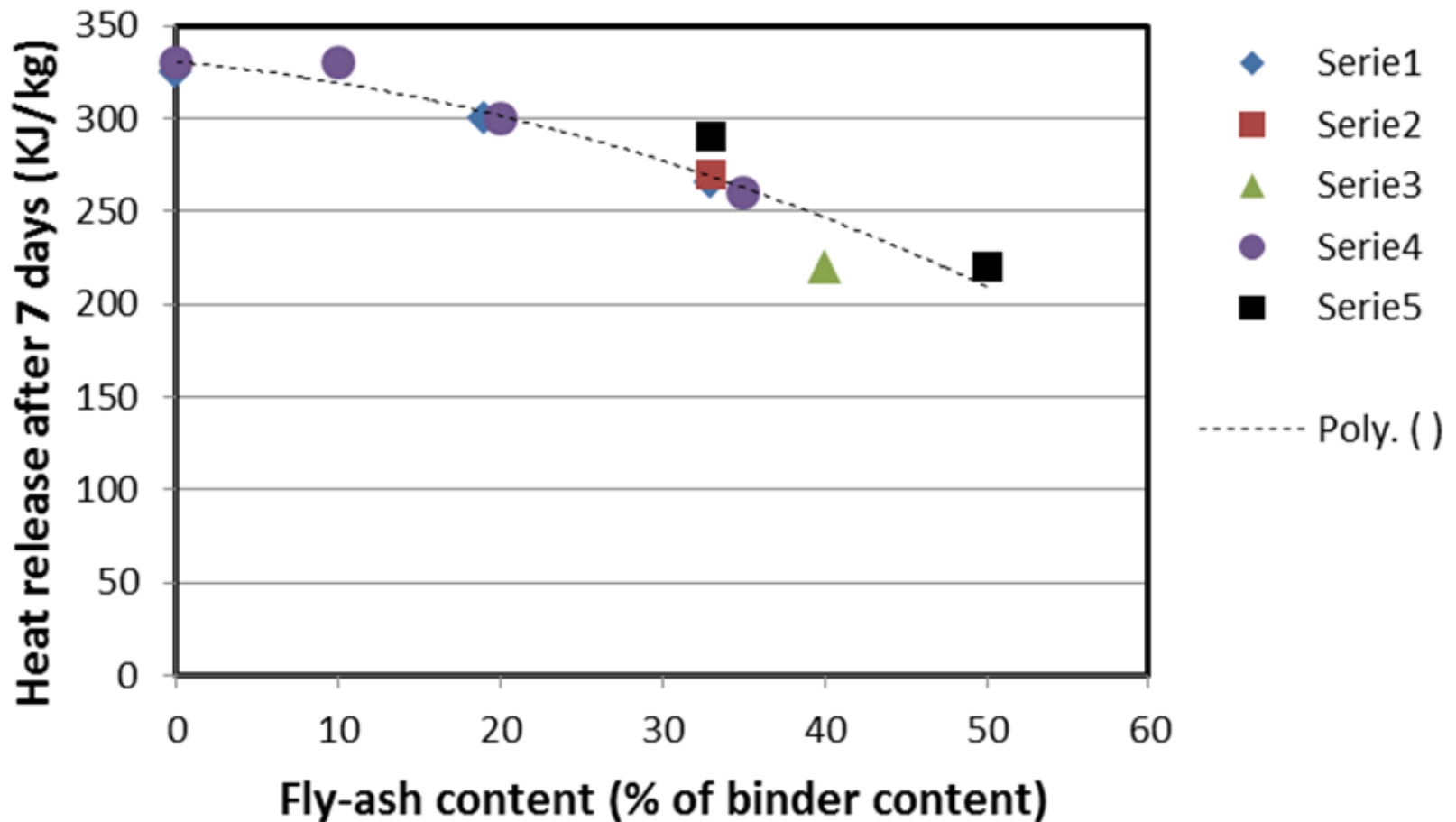


Lavvarmebetong – **bestandighet** (SVV)

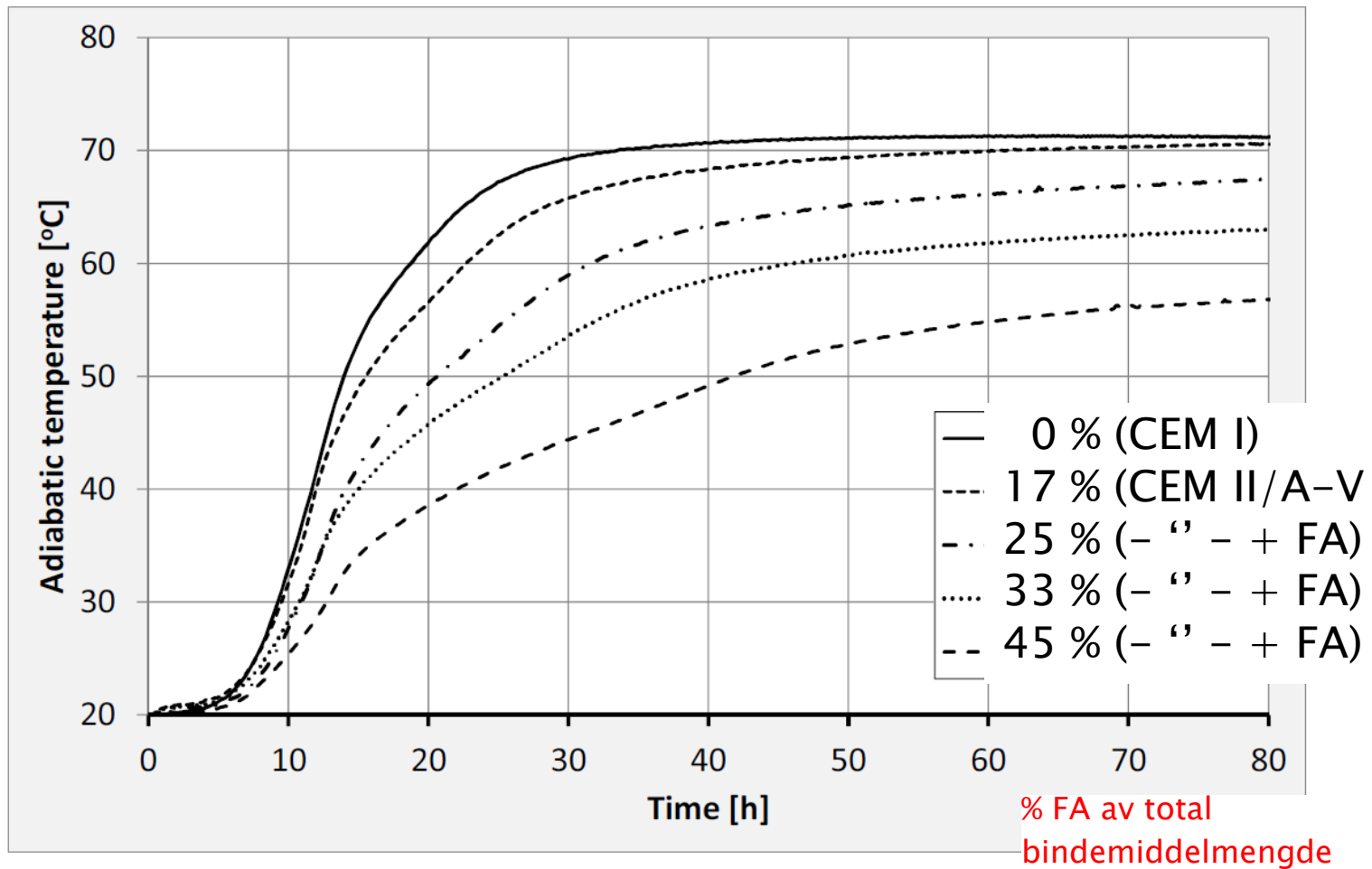
- har i flere 10-år år hatt feltstasjoner langs norskekysten hvor betonger med FA og slagg er sjøeksponert
- arrangerte i 2012 en internasjonal workshop på FA og Slagg for å samle internasjonale erfaringer
- Egen FoU, og egen gjennomgang av internasjonal litteratur
- FoU-samarbeid med TNO på nederlandske erfaringer med slaggsementbetong
- FoU-samarbeid med CBI/Borås på salt/frost-bestandighet av betong med «high volume» FA- og Slagg
- Revidert SVV-regelverk for betong kom i 2015 (Håndbok R762)



Eksempler fra FoU-prosj. + in-situ: **Varmeutvikling**



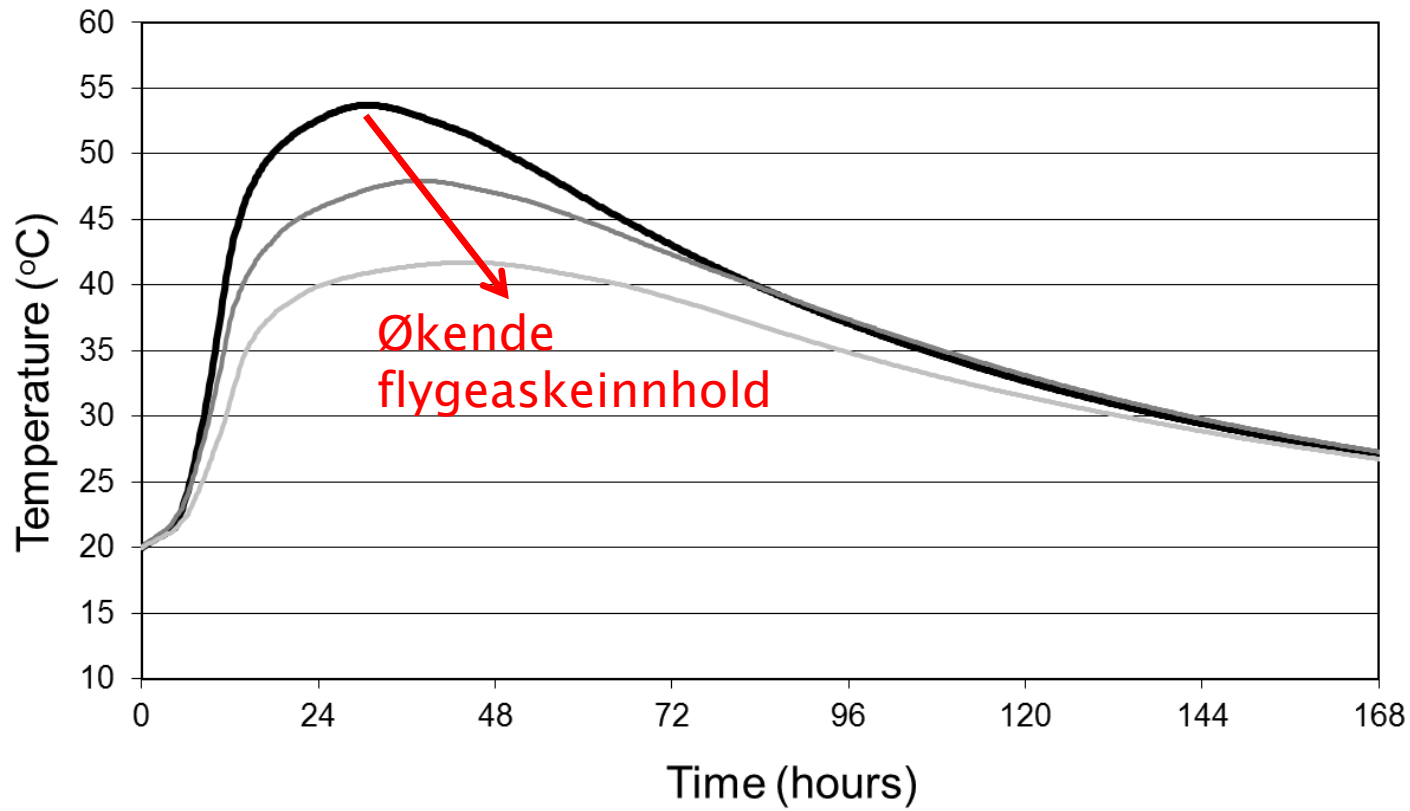
Eksempler fra PhD-studie: **Varmeutvikling**



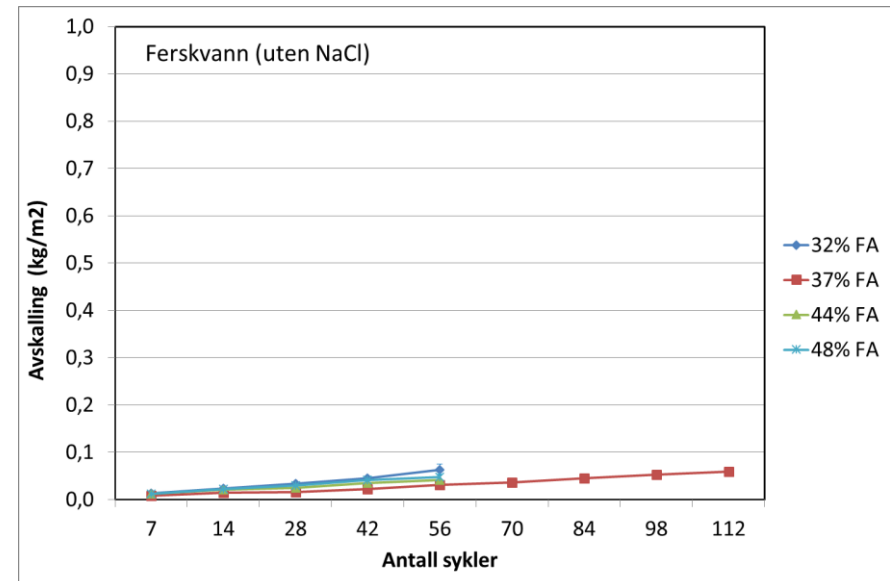
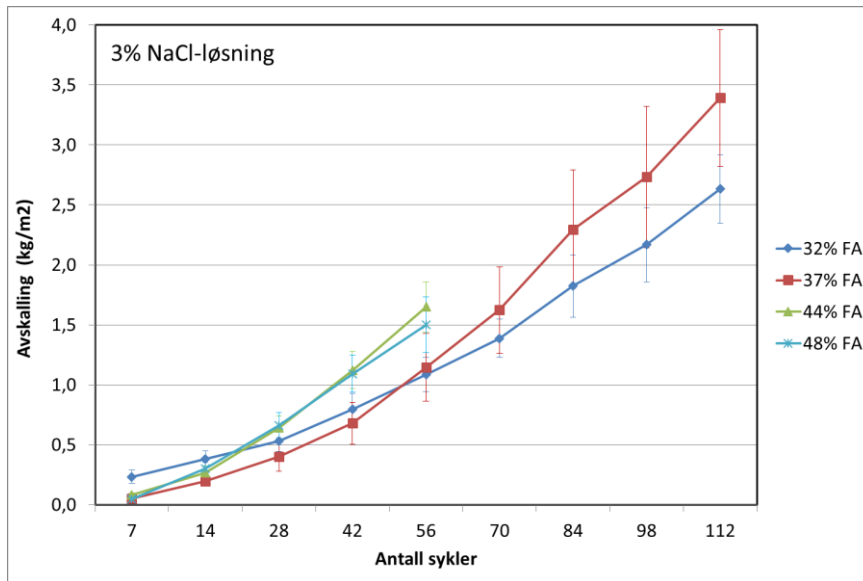
Ref: Klausen A.B.E., pågående PhD-arbeid, NTNU



1 m tykk vegg



Eksempel fra egen FoU: Fryse/tine-forsøk («Borås»)



Ref: Bjøntegaard Ø.: Møllenberg betongtunnel – FoU bestandighet. Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012-2015. Statens vegvesens rapporter nr. 415, 2015

Erfaringer med opptil 40% FA

- Betongene oppleves å ha gode **fersk betongegenskaper** (i Norge typisk 200 mm slump), også godt egnet for SKB
 - FA-betong krever høyere dosering av luftinnførende tilsetningsstoff
- Sen fasthetsutvikling. **Kontrollalder for fasthet** bør være 56 døgn, evt. 91 døgn
- Økt FA-innhold gir systematisk **reduksjon i herdetemperatur** (og samtidig økt robusthet mot høye herdetemperaturer; f_c , tetthet..)
- Gir god motstand mot **alkalireaksjoner**
- Gir meget god motstand mot **kloridinntrengning** i moden alder (> ca. 3–6 mnd)
- Gir økt **elektrisk motstand**
- Økt motstand mot **syre- og sulfatangrep**

Erfaringer med opptil 40% FA

- Tendens til noe mer karbonatisering, men likevel ubetydelig ved de aktuelle (lave) vann/ sement-forhold
- Mulig redusert evne til selvtetting av riss pga. redusert mengde Ca(OH)_2 (?)
- **Frostmotstand** i akselererte laboratorieforsøk (Boråsmetoden)
 - Dårlig/ingen sammenheng mellom målt luftporestruktur og frostmotstand
 - med 3% NaCl: Økt avflagning ved høy FA (ca. > 30 % FA), muligens relatert til den karbonatiserte sonen på noen tiendedels mm
 - med rent vann: Det vi har av data ga svært god frostmotstand
 - I dag finnes det lite felterfaring på in-situ frostbestandighet fra nordisk type vinterklima, men det vi faktisk har viser ingen alarmerende tegn til frostskaader

SVV sine krav til lavvarmebetong

Masseforhold $\leq 0,45$ (vanlig krav er $\leq 0,40$)

- gir redusert sementmengde, dvs. redusert herdevarme

Maksimum tillatte dosering av FA $\leq 40\%$ (vanlig krav er $\leq 30\%$)

- gir åpning for ytterligere reduksjon av herdevarme
- k-faktor = 0,7 for ekstra tilsatt FA (utover det som er i semenen)
- k-faktor = 2,0 for silikastøv

Krav til totalt luftinnhold i fersk betong: $4,5 \pm 1,5\%$ for fck \leq C45/55
 $3,5 \pm 1,5\%$ for fck $>$ C45/55

ingen andre krav settes normalt i forbindelse med frost

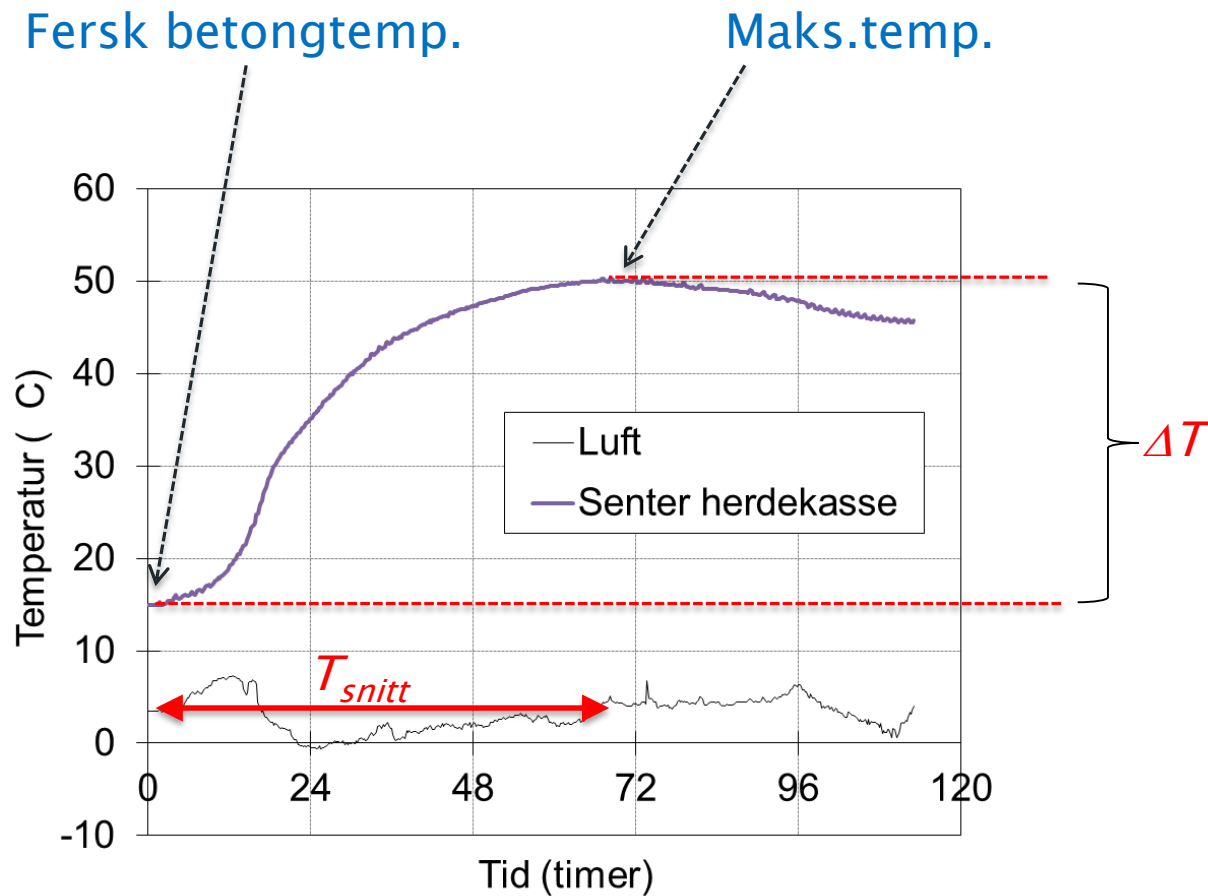
Dokumentasjon av temperaturutvikling i prosjektet og på aktuell betong via et detaljert beskrevet **herdekasseforsøk (semi-adiabatisk kalorimeter)**

- Herdekasse $1 \times 1 \times 1 \text{ m}^3$
 - » 100 mm isolasjon på alle sider
 - » Kryssfiner forskaling min. 15 mm tykk
- Temperatur måles:
 - » i senter av herdekassa
 - » i lufta omkring
 - » målingen pågår i 7 døgn
- **Øvre grense for tillatt temperaturstigning i betongen**

Eksempler på 1 m³ herdekasse



Eksempel på måling i 1 m³ herdekasse



Krav til SV-Lavvarme (IV)

- ΔT skal være ≤ 35 °C (ved $T_{\text{snitt}} = 20$ °C)

Justering av kravet til ΔT for andre T_{snitt} enn 20 °C:

Gjennomsnittlig omgivelsestemperatur, T_{snitt}	Krav til maksimum temperaturøkning i herdekassa, ΔT
25 °C	36 °C
20 °C	35 °C
15 °C	34 °C
10 °C	33 °C
5 °C	32 °C
0 °C	31 °C
-5 °C	30 °C



I tillegg til lavvarmebetong kan det innføres: SVVs «Spesielle herdetiltak»

Om en eller flere av prosessene 84.51 – 84.54 er spesifisert, kan entreprenøren alternativt velge å gjennomføre prosess 84.55 eller 84.56.

Om entreprenøren velger å utføre prosess 84.55 eller 84.56 i stedet for spesifiserte prosesser 84.51– 84.54, godtgjøres ytelsen med samme sum som er tilbudt for prosessene 84.51 – 84.54

- ❖ 84.51 Supplerende varmeisolasjon i herdeperioden
- ❖ 84.52 Kjøling av fersk betong
- ❖ 84.53 Kjøling av herdnende betong med innstøpte kjølerør
- ❖ 84.54 Oppvarming av tilstøtende konstruksjoner

- ❖ 84.55 Beregning og styring av herdetemperatur
- ❖ 84.56 Beregning og styring av herdetemperatur og rissrisiko

- ❖ 84.57 Kartlegging av herdeteknologiske parametere for betong
 - Temperatur er bare en av flere materialegenskaper som innvirker på risstendens

Herdeteknologi

Herdeteknologi er et produksjonsstyringsverktøy basert på

- målt varme- og fasthetsutvikling
- målt temperaturfølsomhet
- varmestrømsberegninger
- spenningsanalyse med utgangspunkt i termisk og autogen dilatasjon og aktuell fastholdingsgrad

Skanskas Norges bruk av herdeteknologi

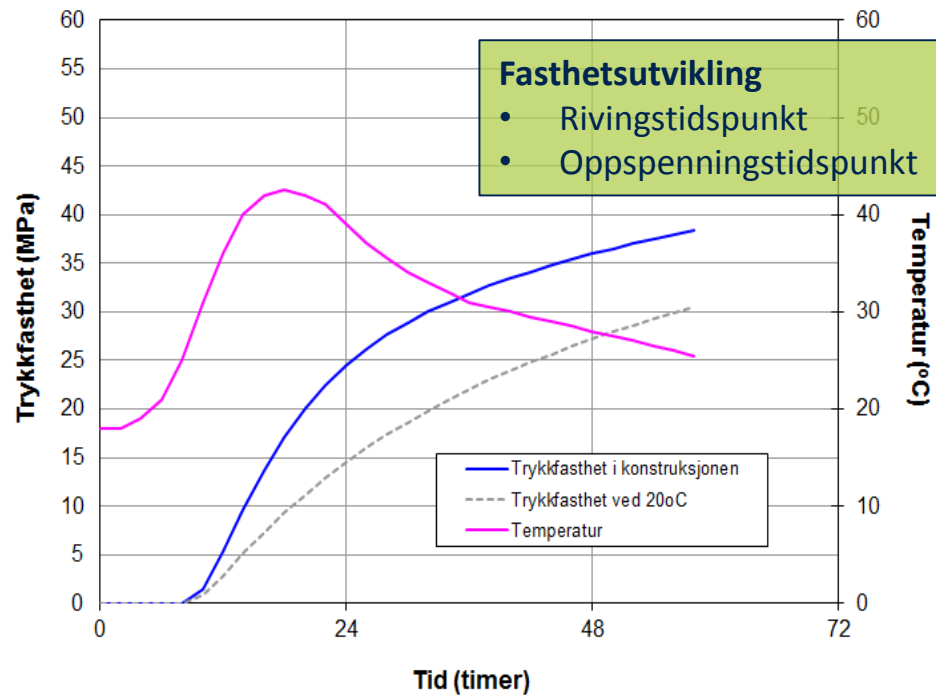
1. Direkte bruk av modenhetsprinsippet (ekvivalent tid) - fasthetsutvikling i konstruksjonen basert på temperaturforløpet
 - Kontroll av formrivningstidspunkt
 - Kontroll av oppspenningstidspunkt
2. Analyse av fasthetsutvikling, valg av herdetiltak, produksjonsplanlegging - Hett97 (Norcem)
 - Produksjonsplanlegging
 - Valg av herdetiltak
3. Analyse av maksimal herdetemperatur og temperaturdifferanser – Crack TeSt COIN (tilpasset variant av ConTeSt Pro)
 - Produksjonsplanlegging
 - Valg av herdetiltak
4. Spenningsanalyse – vurdering av rissrisiko pga fastholdt termisk og autogen dilatasjon – Crack TeSt COIN
 - Produksjonsplanlegging
 - Valg av herdetiltak

1. Bruk av modenhetsprinsippet (ekvivalent tid)

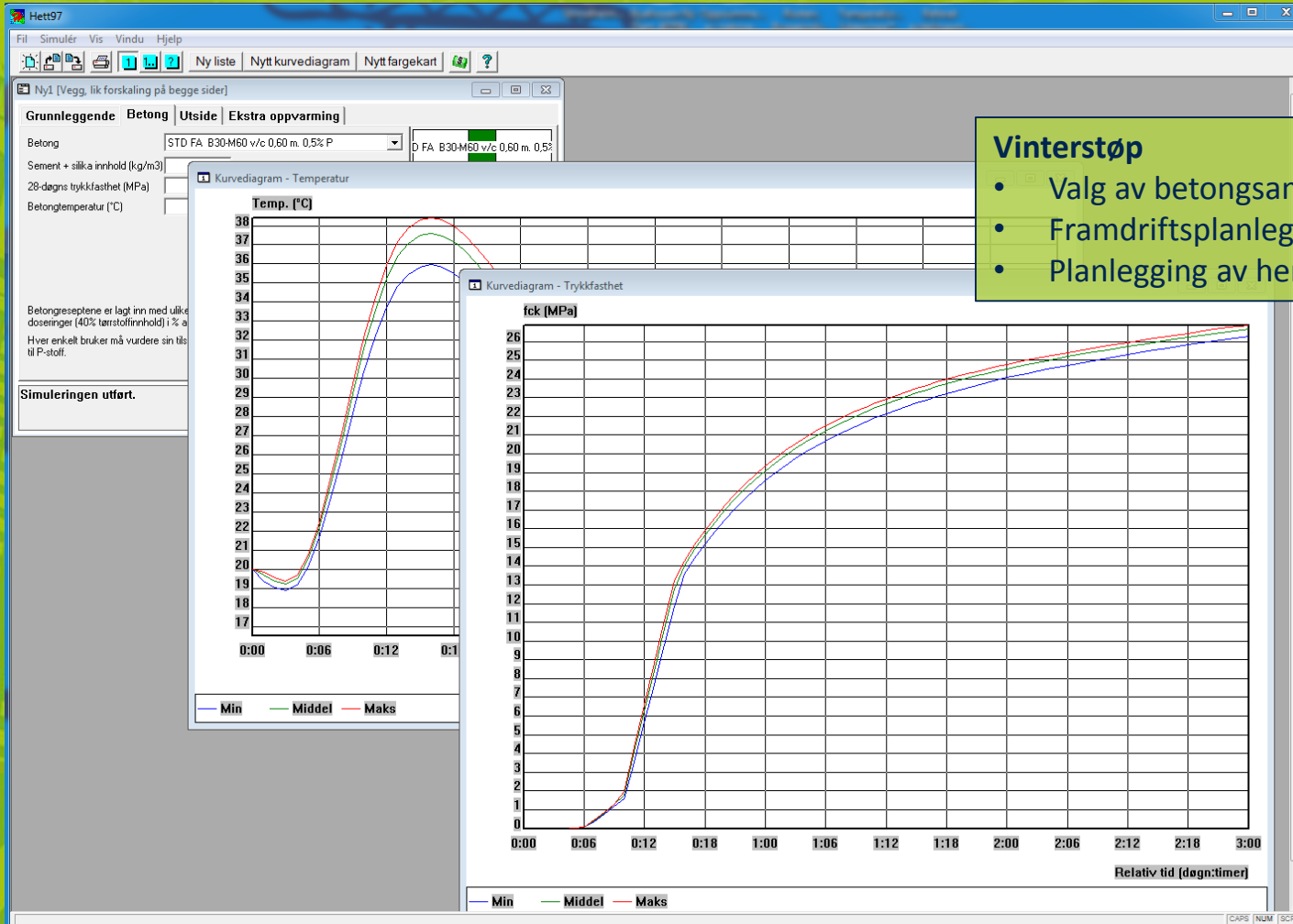
Fasthet etter modenhetsprinsippet

© ss 2013-05-16

Tid [timer]	Betong-temperatur [°C]	Modenhet [timer]	Trykkfasthet i konstr. [MPa]	Trykkfasthet ved 20°C. [MPa]
0,0	18,0	0,0		
2,0	18,0	1,8		
4,0	19,0	3,7		
6,0	21,0	5,7		
8,0	25,0	8,0	0,0	0,0
10,0	31,0	10,7	1,5	0,8
12,0	36,0	14,2	5,3	2,9
14,0	40,0	18,3	9,6	5,1
16,0	42,0	22,8	13,6	7,3
18,0	42,5	27,6	17,1	9,3
20,0	42,0	32,4	20,0	11,2
22,0	41,0	37,0	22,5	12,9
24,0	39,0	41,4	24,5	14,5
26,0	37,0	45,5	26,2	16,0
28,0	35,5	49,3	27,6	17,4
30,0	34,0	52,9	28,9	18,6
32,0	33,0	56,3	30,0	19,8
34,0	32,0	59,6	31,0	20,9
36,0	31,0	62,8	31,8	22,0
38,0	30,5	65,9	32,7	23,0
40,0	30,0	69,0	33,4	23,9
42,0	29,5	71,9	34,1	24,8
44,0	29,0	74,8	34,8	25,6
46,0	28,5	77,7	35,4	26,4
48,0	28,0	80,5	36,0	27,2
50,0	27,5	83,3	36,5	27,9
52,0	27,0	85,9	37,0	28,6
54,0	26,5	88,6	37,5	29,2
56,0	26,0	91,2	37,9	29,9
58,0	25,5	93,7	38,4	30,5



2. Produksjonsplanlegging – Hett 97

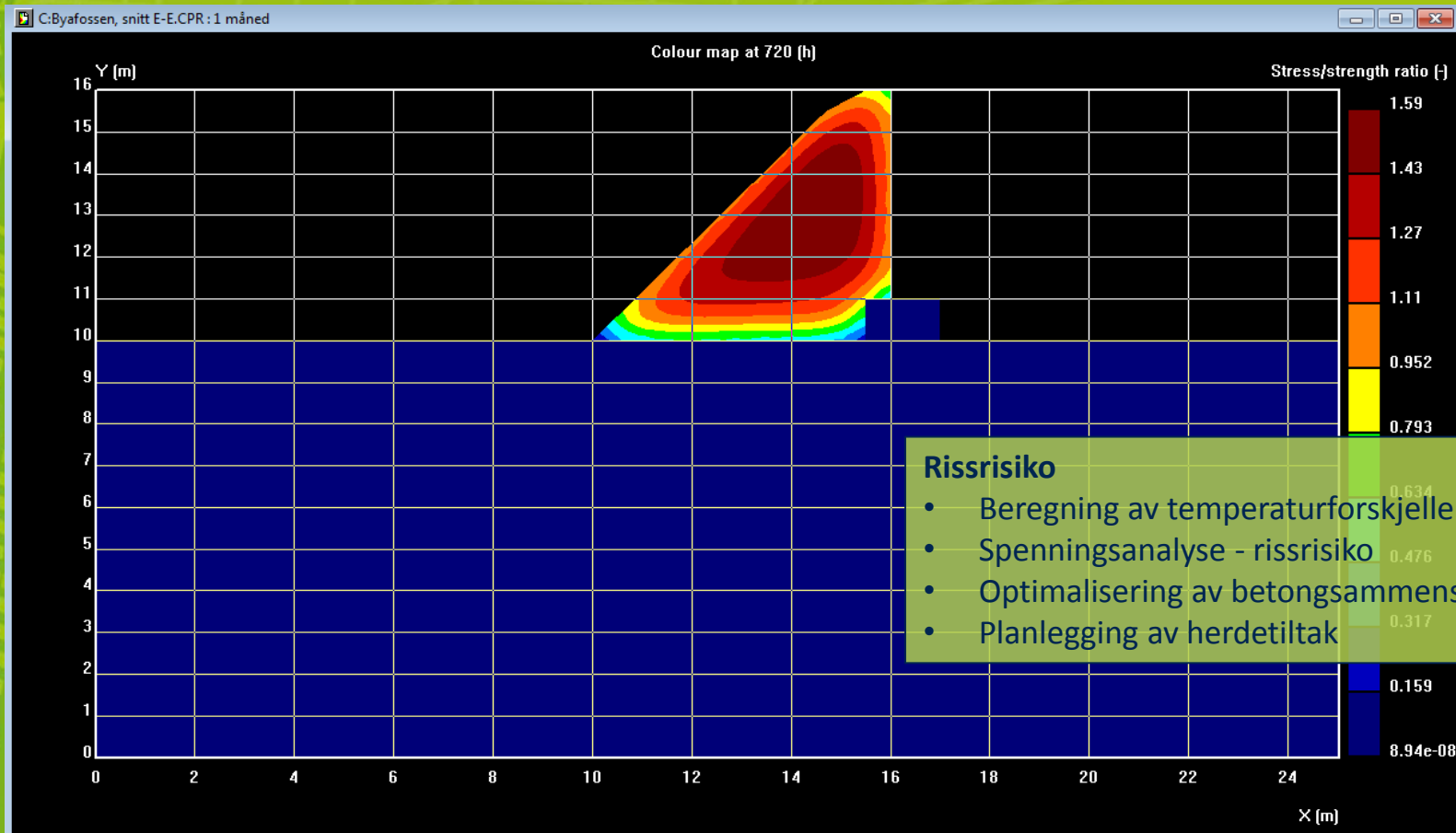


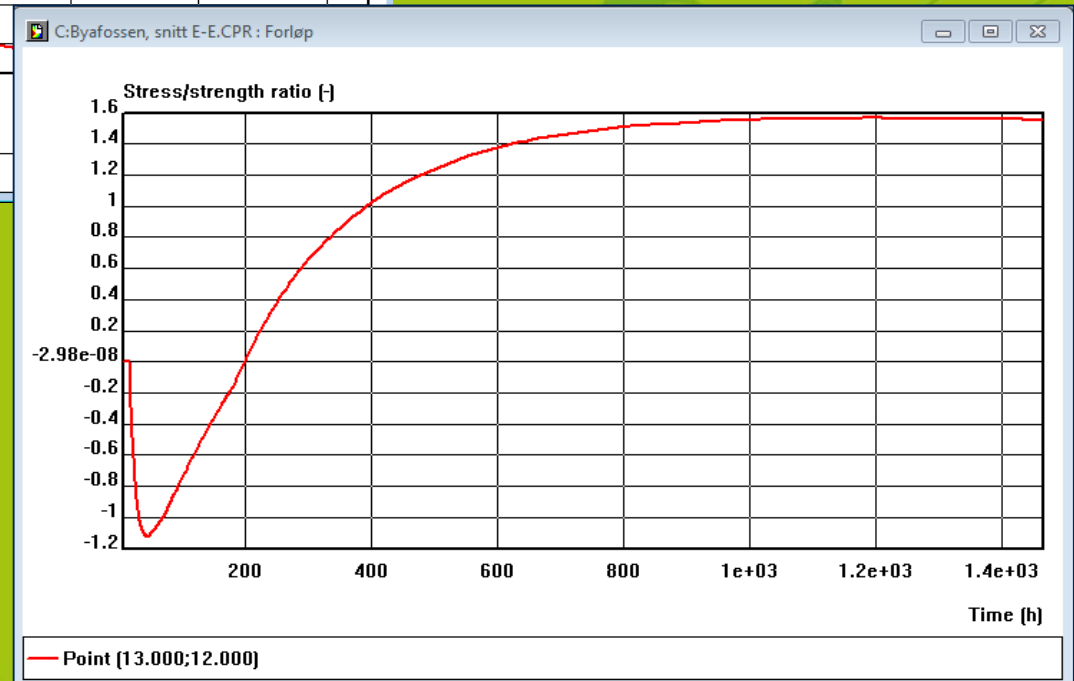
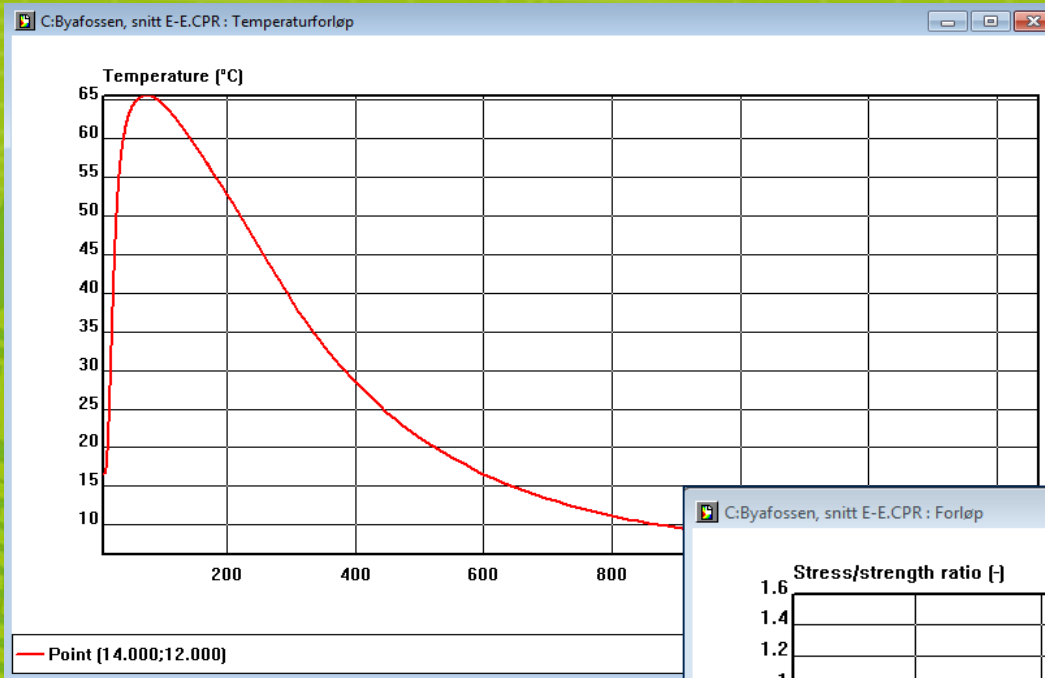
Vinterstøp

- Valg av betongsammensetning
- Framdriftsplanlegging
- Planlegging av herdetiltak

3. og 4. Analyse av rissrisiko – CrackTeSt COIN

Fastholdt termisk og autogen dilatasjon – eksempel overløpskonstruksjon Byafossen



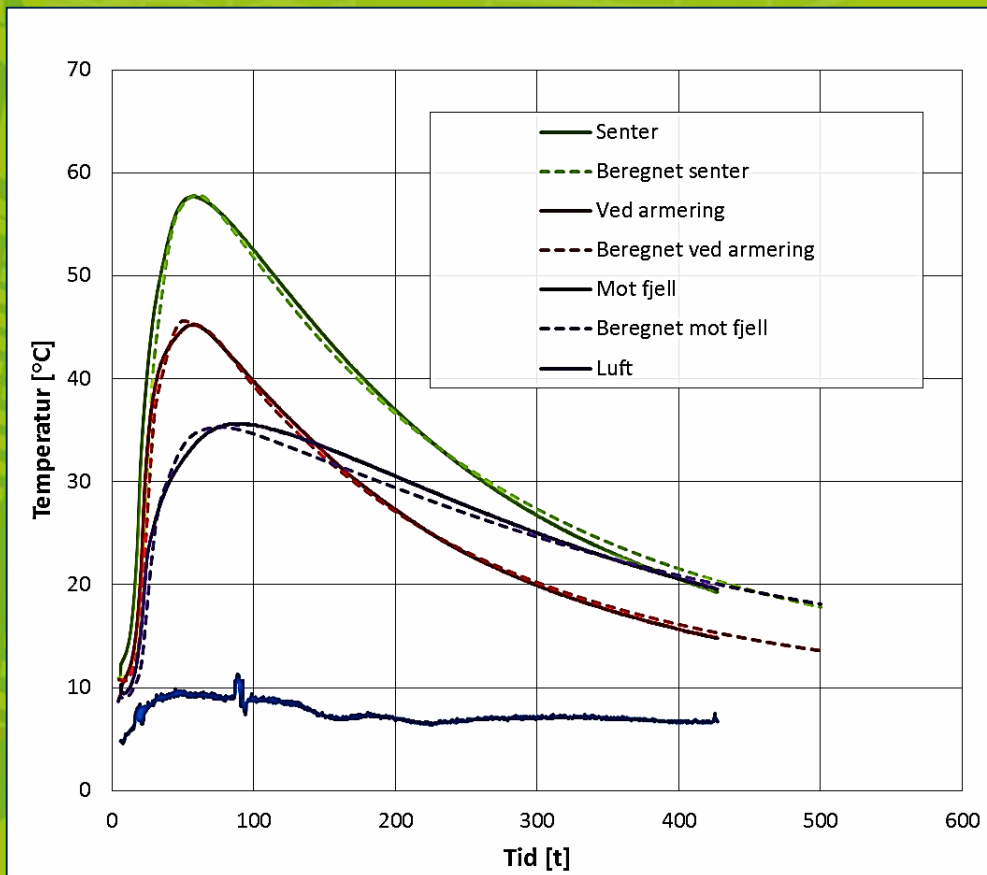




Byafossen, Steinkjer

Analyse av rissrisiko – CrackTeSt COIN

Fastholdt termisk og autogen dilatasjon



Kalibrering

- Kalibrering av beregnet temperaturforløp mot målte temperaturer gir mer presise spenningsberegninger

Analyse av rissrisiko – CrackTeSt COIN

Materialdata

Kritiske data – måles på anlegget

- Varmeutvikling, stor herdekasse
- Strekkfasthetsutvikling (+trykkfasthetsutvikling) / spaltestrekk

«Arkivdata» (hovedsaklig fra COIN)

- Strekkfasthetsutvikling
- E-modulusutvikling
- Aktiveringsenergi (temperaturfølsomhet)
- Autogent svinn
- Kryp

Materialdatabasen suppleres og utvides i DaCS- prosjektet



Adiabatic temperature and isothermic heat

Concrete parameters

Temp. trans. coeff.	0,0157
Density	2395
Heat capacity (fresh)	1,09
Heat capacity (hardened)	1,04
Cement content	433
Set time	4,8
A - set time	30000
B - set time	1400
A - hydration	30000
B - hydration	1400
Adia. start temperature	20

Temp. trans. coeff.

da/dm	0,1
m	190
mc	200

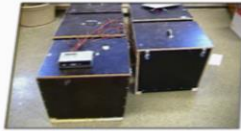
Heat function

m-limit	100
Q _∞	320
τ	11,34
α	1,04
R ²	0,9907
EΔQ	2825

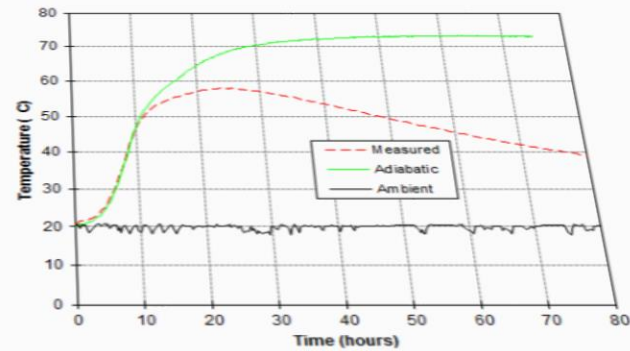
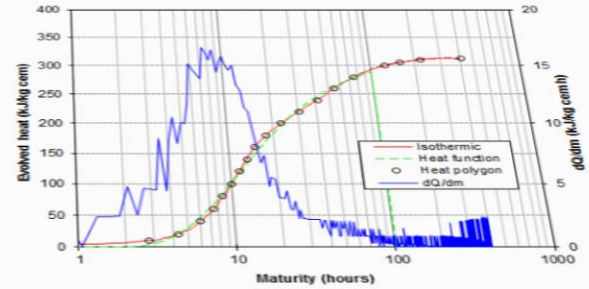
Heat polygon

Reference heat (kJ/kg cem)	Concrete maturity (h)
0	0,0
10	2,8
20	4,2
40	6,0
60	7,4
80	8,6
100	9,9
120	11,3
140	12,6
160	14,7
180	17,9
200	22,5
220	30,3
240	41,1
260	54,3
280	75,1
300	124,9
305	157,6
310	216,2
313	407,7

Adapt the temperature transmission coefficient: <Ctr> t
Adapt the heat function: <Ctr> h



$$Q = Q_{\infty} \cdot e^{-\left(\frac{\tau}{M}\right)^{\alpha}}$$



Project

Name	Worksheet development
Test id	Random data
Perf. by	Sverre Smeplass, Skanska Norge AS
Date	06.02.2012

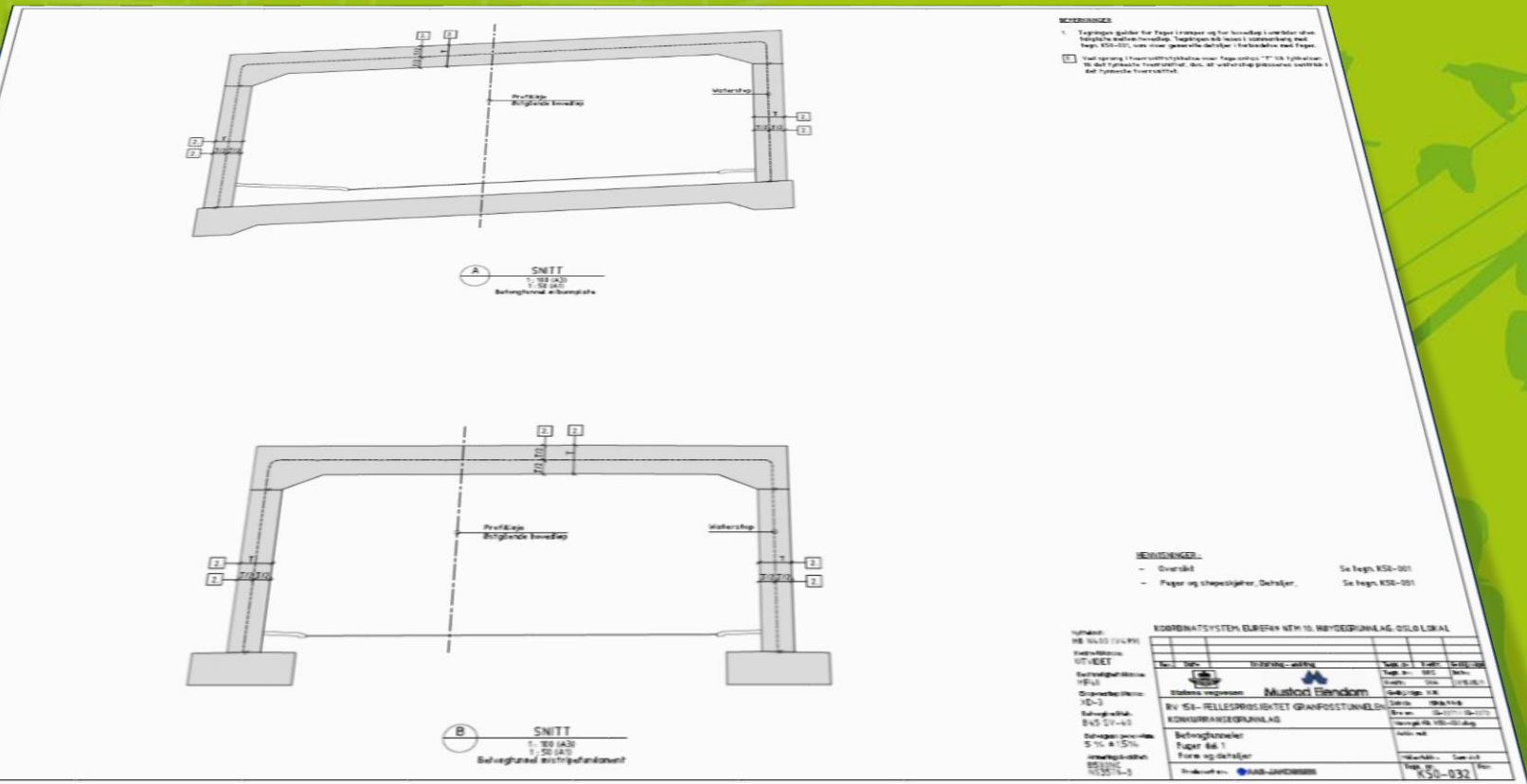
Time (h)	Concrete temperature [C]	Ambient temperature [C]	Maturity (h)	Acc. heat pr. cem (kJ/kg cem)	Adiabatic time (h)	Adiabatic temperature [C]
0,0	20,7	20,4	0	0,0	0,0	20,0
0,3	20,7	20,4	0,3	0,0	0,3	20,0

Hva er lavvarmebetong?

- Betong med høy andel pozzolane eller hydrauliske bindemidler (flyveaske eller slag)
- Flyveaskeinnhold 25-40 % av totalt bindemiddel (FA i sement eller FA tilsatt på blandeverk. Norcem Anlegg FA + 10% ekstra FA er en vanlig løsning). Regler for tilsetning er gitt i NS-EN 206
- Slagginnhold 50-85% av totalt bindemiddel (alltid som en del av sementen i Norge. Både Norcem/ Heidelberg og Cemex kan levere CEM III/B)
- Typisk v/c = 0,45
-
- Adiabatisk temperaturstigning redusert med 6-20°C
- Redusert klimagass (CO₂) – utslipp per m³ betong
-
- Tidligere tiders dambetong var basert på «damsement», en grovmalt portlandssement (CEM I) med liten varmeutvikling, kombinert med grovt tilslag ⇒ «lavvarmebetong»

Analyse av rissrisiko – CrackTeSt COIN (4)

Produksjonsplanlegging – Eksempel fra Granfoss- tunnelen



Analyse av rissrisiko – CrackTeSt COIN (5)

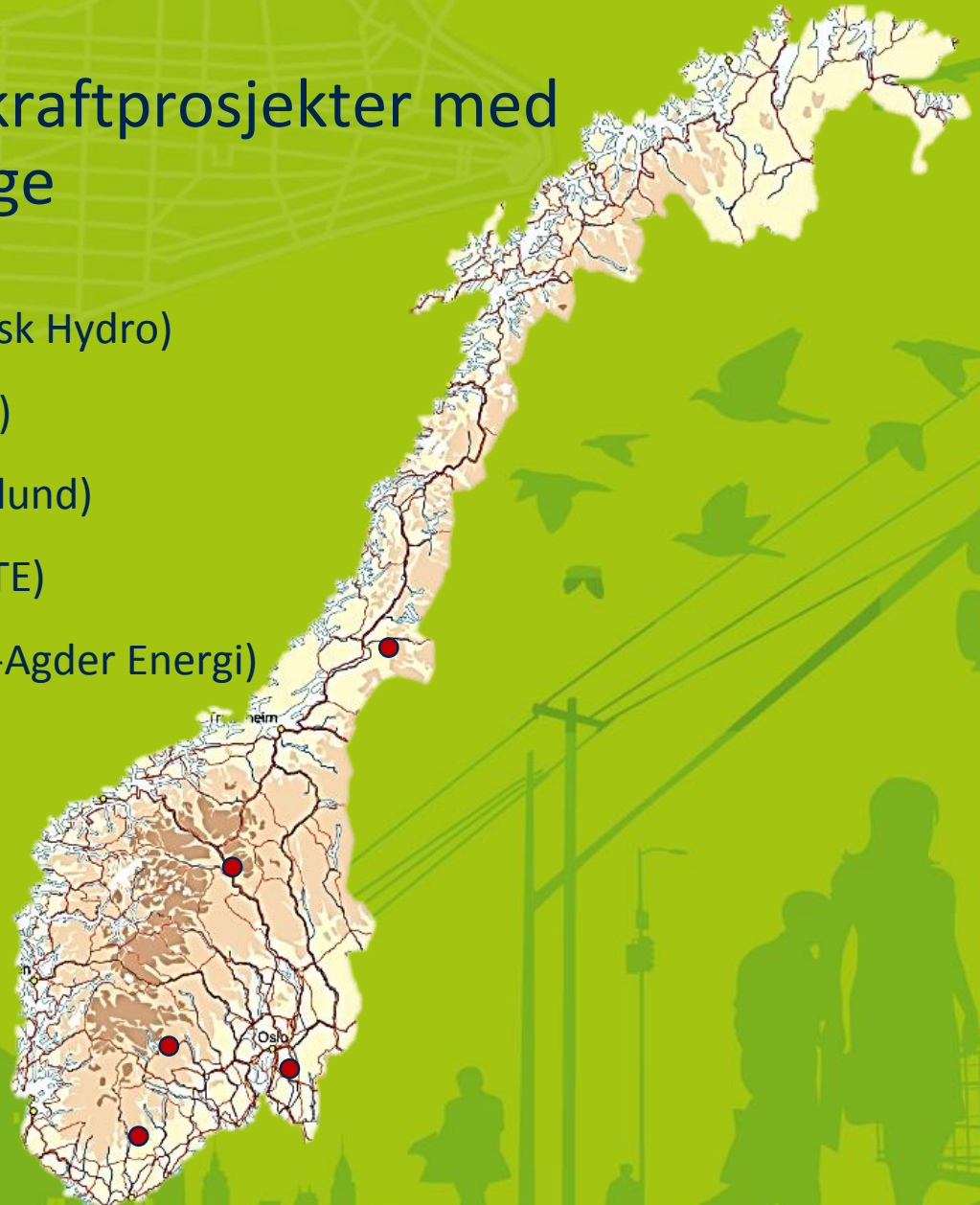
Produksjonsplanlegging – Eksempel fra Granfoss- tunnelen

Tabell 1 Rissindeks og maksimaltemperatur for forskjellige veggtykkelser og fundamenter

Vegg [mm]	Stripe- fundamenter [mm]	Bunnplate [mm]	30 % FA		40 % FA	
			Rissindeks [-]	Max temp. [°C]	Rissindeks [-]	Max temp. [°C]
600		600	0,76	41	0,61	35
600		700	0,77	41	0,61	36
600	1000		0,64	41		
700		700	0,80	44	0,64	39
700		1000	0,81	44	0,68	39
750		800	0,83	46	0,67	41
750		1000	0,81	46	0,66	40
750		1200	0,84	46	0,68	41
750	1000		0,67	46		
800		800	0,83	47	0,68	42
800		1000	0,83	47	0,68	42
800	1000		0,67	47		
900		900	0,86	49	0,72	44
900		1100	0,86	49	0,71	43
900		1200	0,87	49	0,72	43
900	1000		0,68	49		
1200		1100	0,89	55	0,75	49

Pågående dam-/vannkraftprosjekter med lavvarmebetong i Norge

- Skarfosdammen, Rjukan (Norsk Hydro)
- Rosten kraftverk, Otta (Eidsiva)
- Vamma kraftverk, Askim (Hafslund)
- Storåselva kraftverk, Snåsa (NTE)
- Skjerka kraftverk, Åseral (Vest-Agder Energi)



Lavvarmebetong vs. kjølerør

Utgangspunkt: 400 kg/m³ CEM I (Cementa Anlæggningcement), massiv konstruksjon

Tiltak	Temperatur-reduksjon (°C)	Kostnad (NOK)
Kjølerør, stål, ϕ 30 mm, c/c 500 mm, injisert	7-10	300-500
CEM I + 30 % FA (totalt bindemiddel 400 kg/m ³)	6-9	0-100
CEM I + 40 % FA (totalt bindemiddel 400 kg/m ³)	8-12	0-100

Kjølerør og lavvarme kan kombineres om nødvendig!

Kombinasjon lavvarmebetong / kjølerør

Operatunnelen:

- Lavvarmebetong (33% FA), kombinert med kjølerør i stål, $\phi 30$ mm, c/c 500 mm
- Total temperaturreduksjon ca. 15 °C i veggene
- Rissindeks < 0,75, «ingen» fastholdingsriss – tett konstruksjon



Oppsummering

Norske erfaringer med lavvarmebetong med opptil 40% flygaske

- Gir markant reduksjon i herdetemperatur for massive konstruksjoner
- Økende FA-dosering gir systematisk redusert risstendens i systematiske laboratoriestudier
- Kan ha samme/bedre effekt enn bruk av tradisjonell betong kombinert med kjølerør. Vesentlig lavere kostnad.
- Avhengig av konstruksjonen: Redusert opprissing / ingen opprissing
- Kan naturligvis kombineres med øvrige herdetiltak. For eksempel kjølerør vil ha god effekt på grunn av den langsomme varmeutviklingen
- Effekten av lavvarmebetong alene, eller i kombinasjon med herdetiltak, kan estimeres ved hjelp av herdeteknologi-beregninger (**med data fra den aktuelle betongen i prosjektet ⇒ varmeutviklingen må min. måles!**)
- Frostbestandighet: 10 års felterfaring gir ingen spesiell bekymring knyttet til lavvarmebetong med FA. Akselererte frostforsøk med ferskvann kvalifiserer til kriteriet «svært god frostbestandighet»

Acknowledgement

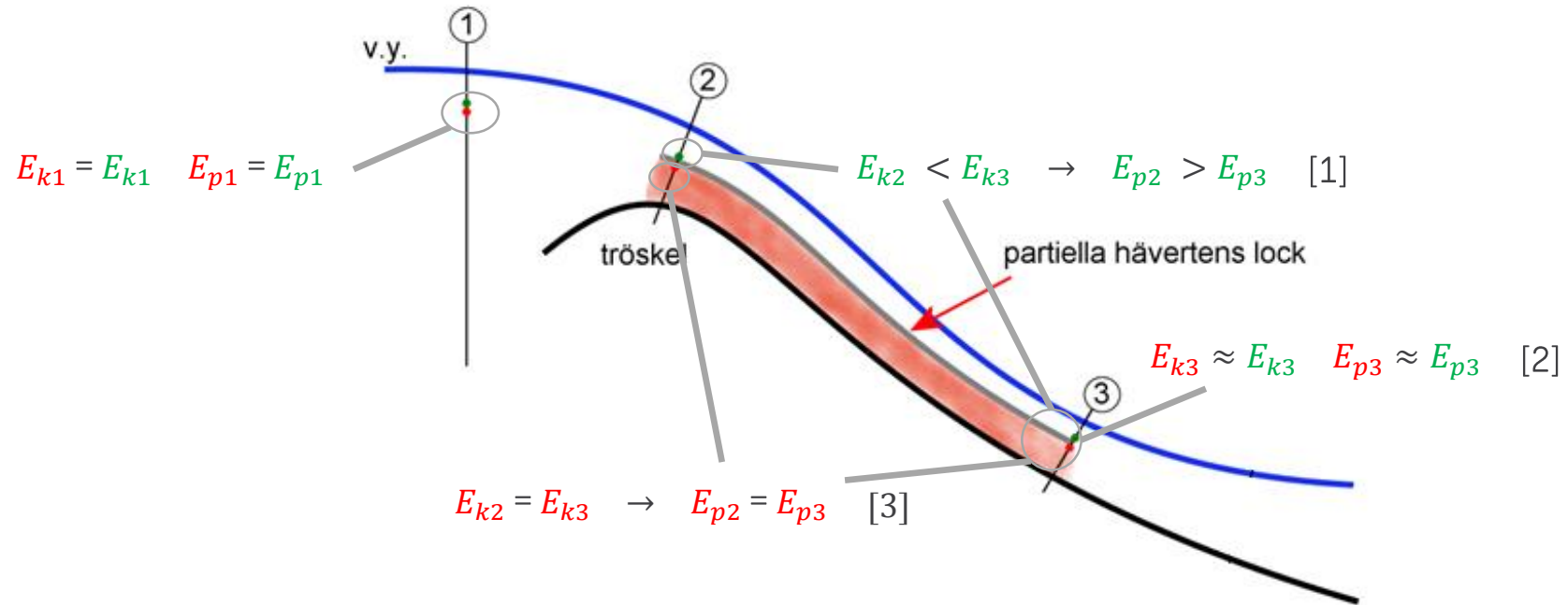
The work is part of the DACS project (Durable Advanced Concrete Structures). The financial contribution of the Norwegian Research Council is gratefully acknowledged.

The DACS partners are:

- Kværner Concrete Solution AS (project owner)
- Axion AS (Stalite)
- AF Gruppen Norge AS
- Concrete Structures AS
- Mapei AS
- Multiconsult AS
- NorBetong AS
- Norcem AS
- NPRA (Statens vegvesen)
- Norges teknisk–naturvitenskapelige universitet (NTNU)
- SINTEF Byggforsk
- Skanska Norge AS
- Unicon AS
- Veidekke Entreprenør AS

PARTIELL HÄVERT SOM KAPACITETSHÖJANDE ÅTGÄRD I BEFINTLIGA YTUTSKOV

Funktion



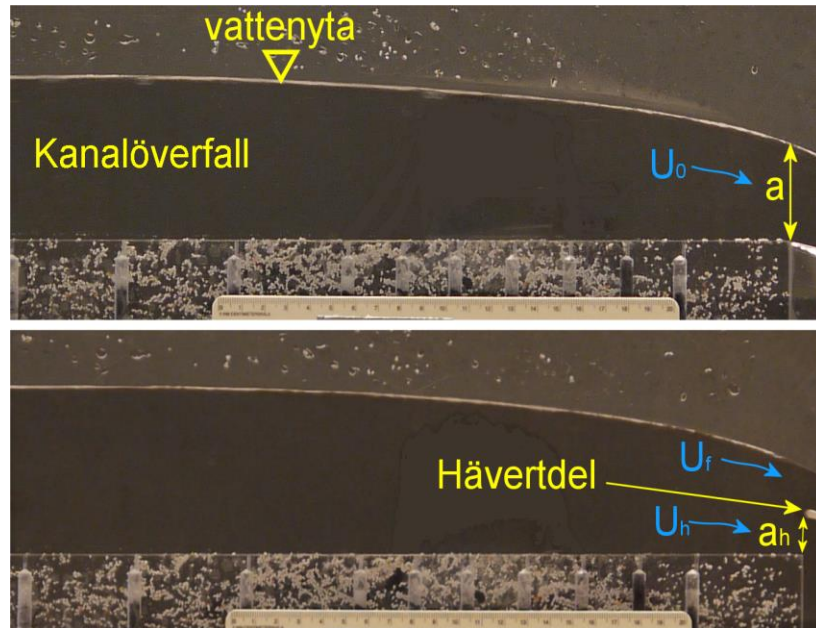
[1], [2] och [3] $\rightarrow E_{p2} < E_{p2}$, $E_{k2} > E_{k2}$

dvs. $u_2 > u_2$, omvandlingen från potentiell till kinetisk energi sker uppströms hävertmynningen

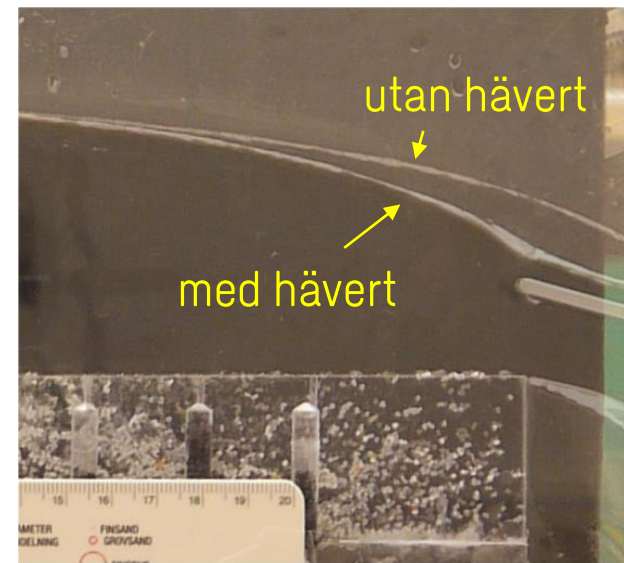
Funktion - lite småtester (2011)

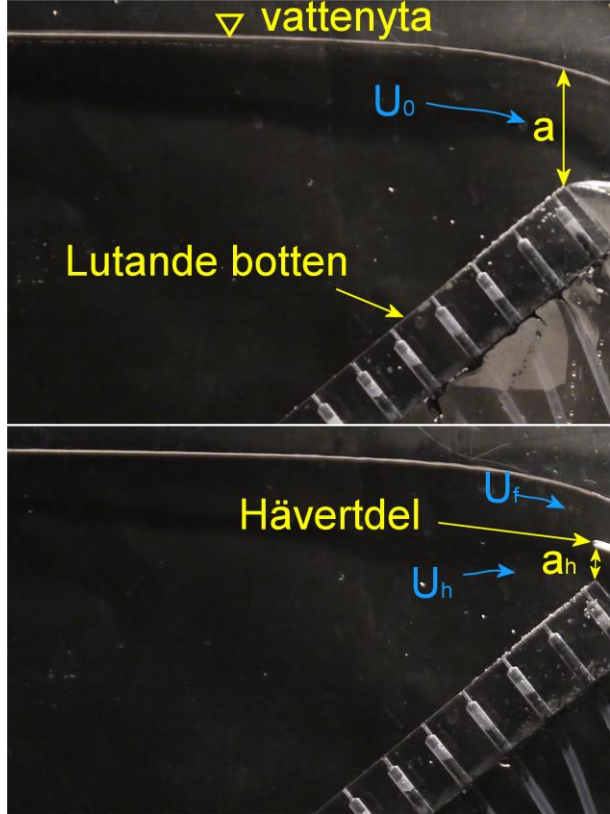


Modellförsök (2014-15)

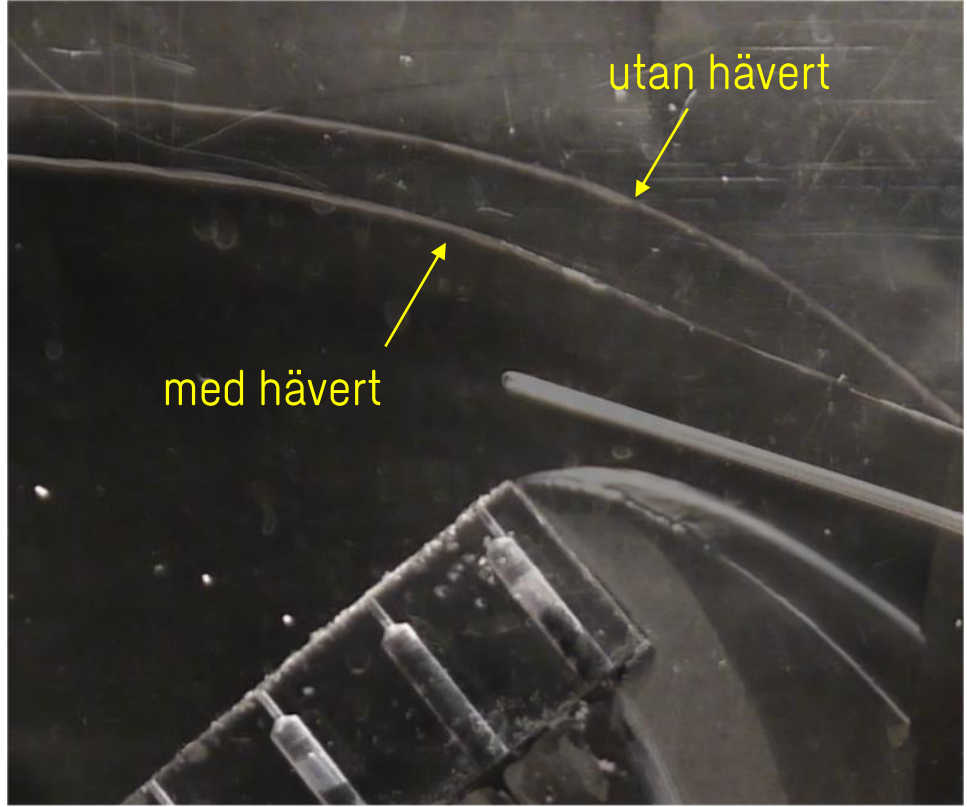


Detalj

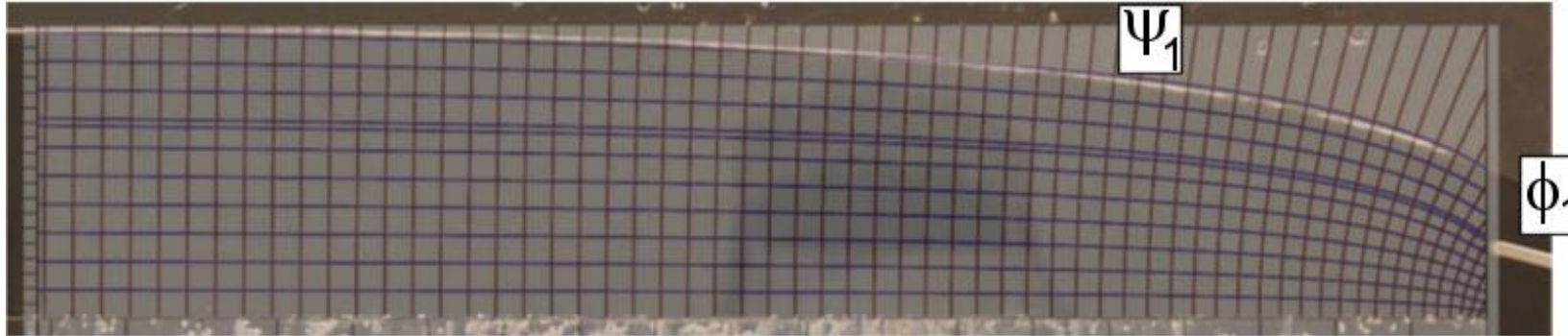




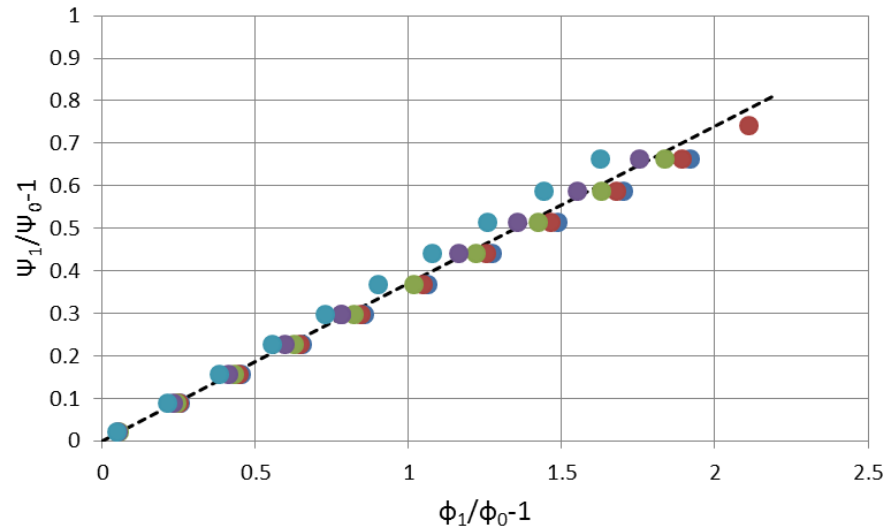
Detalj



Teori: potentialströmningsmodell av kanalöverfall



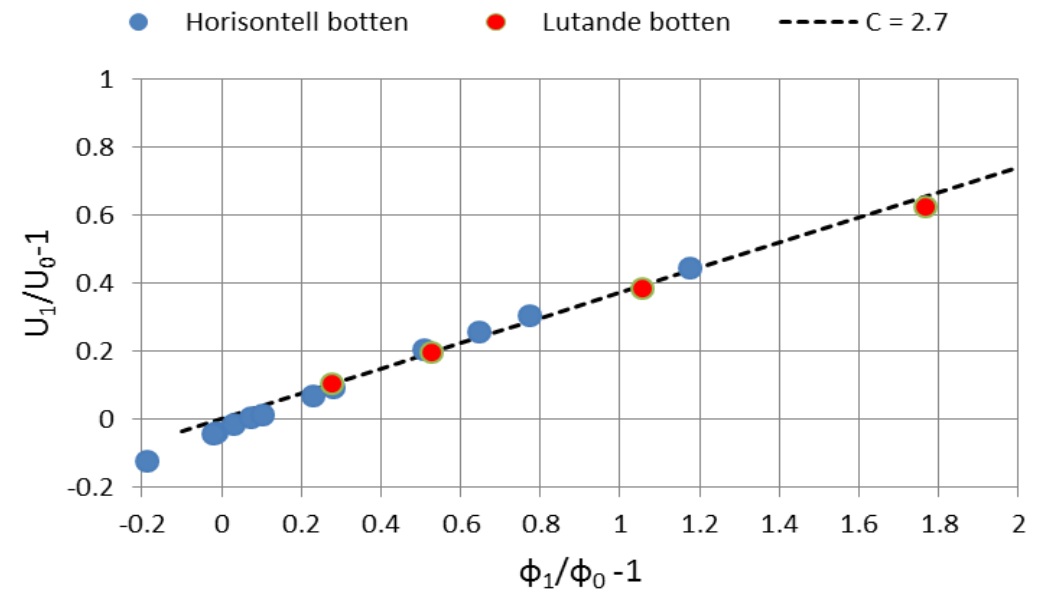
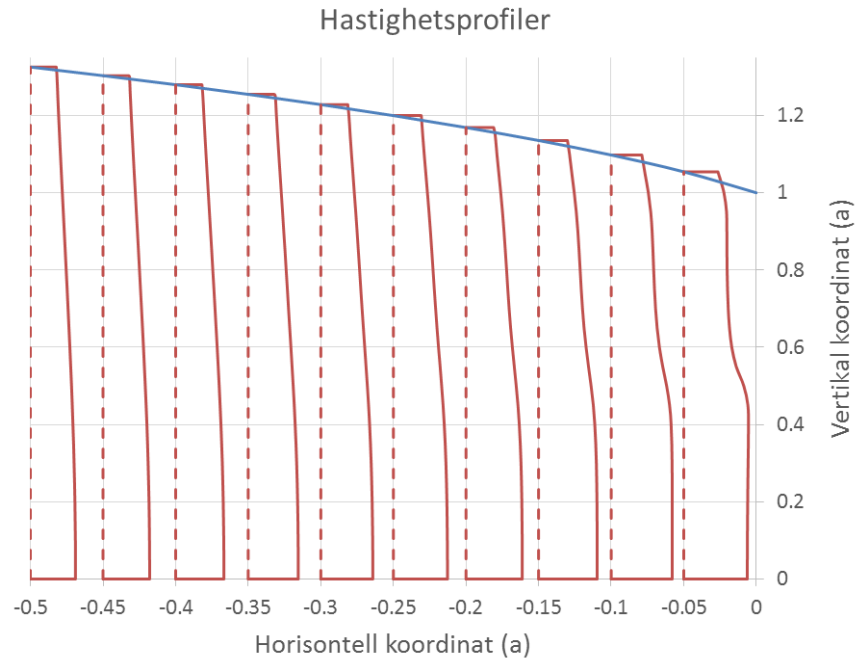
Teoretisk modell



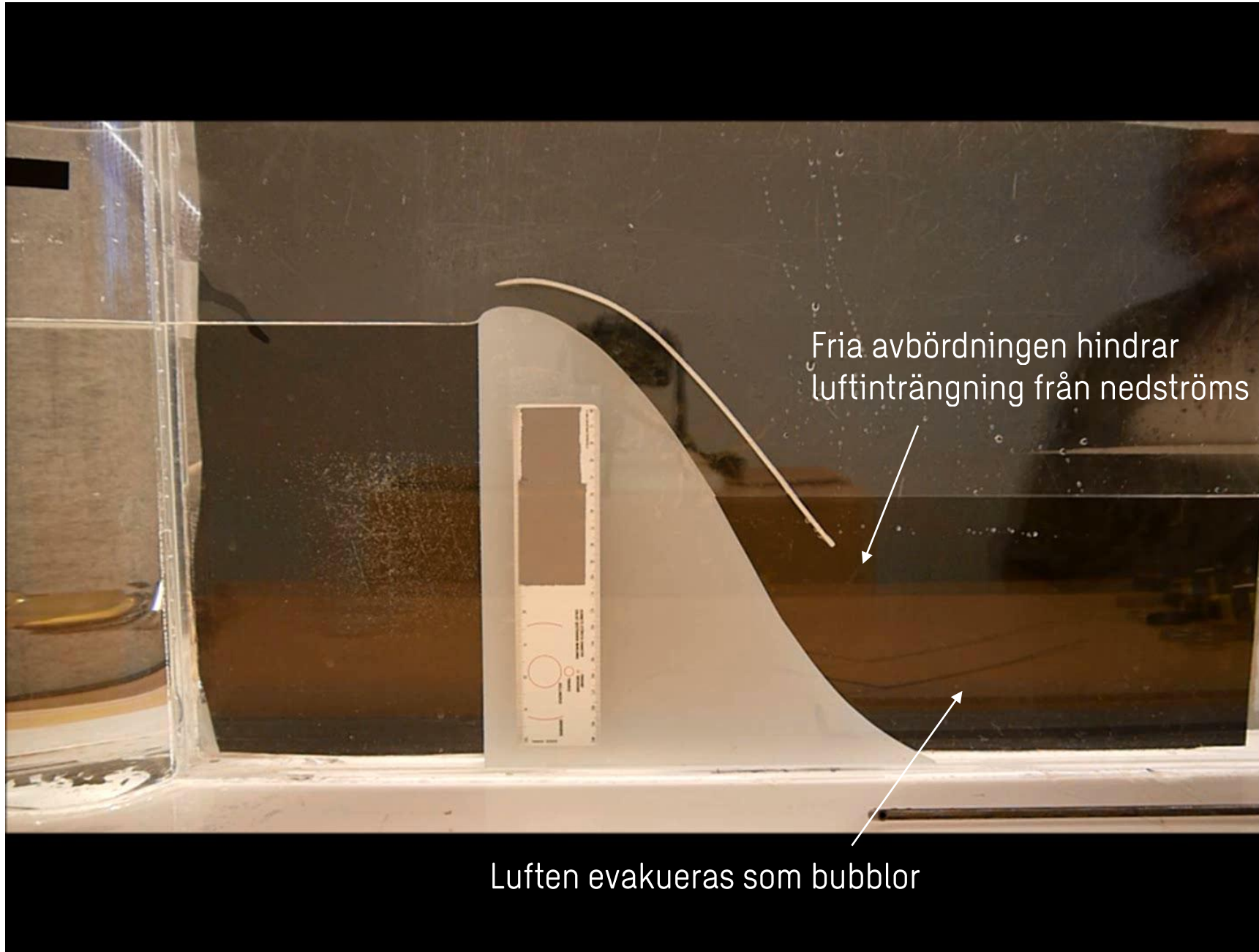
Resultat

$$\frac{\left(\frac{\phi_1}{\phi_0} - 1\right)}{\left(\frac{\psi_1}{\psi_0} - 1\right)} = \frac{\left(\frac{\phi_1}{\phi_0} - 1\right)}{\left(\frac{U_1}{U_0} - 1\right)} = C$$

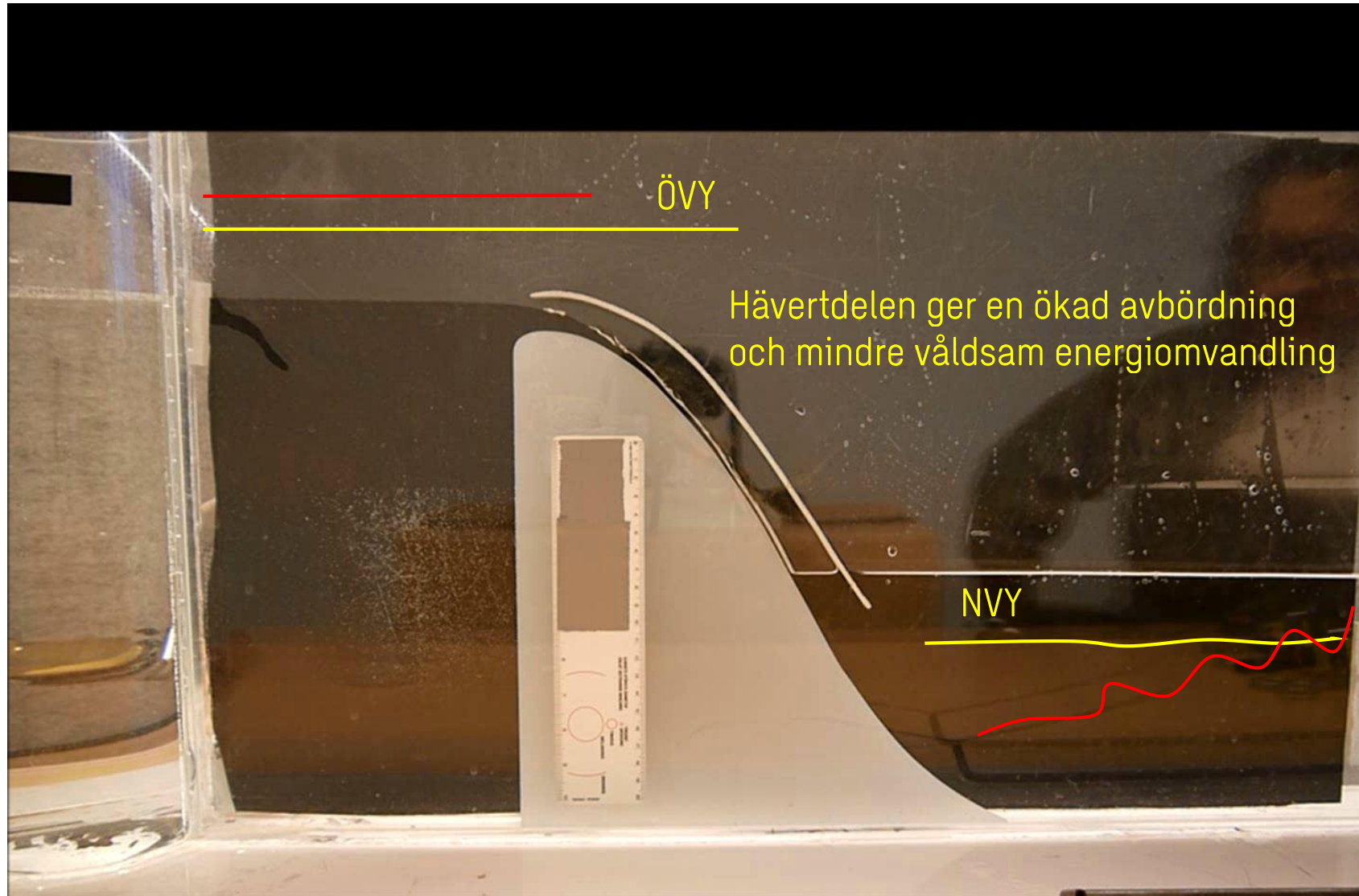
Modellförsök



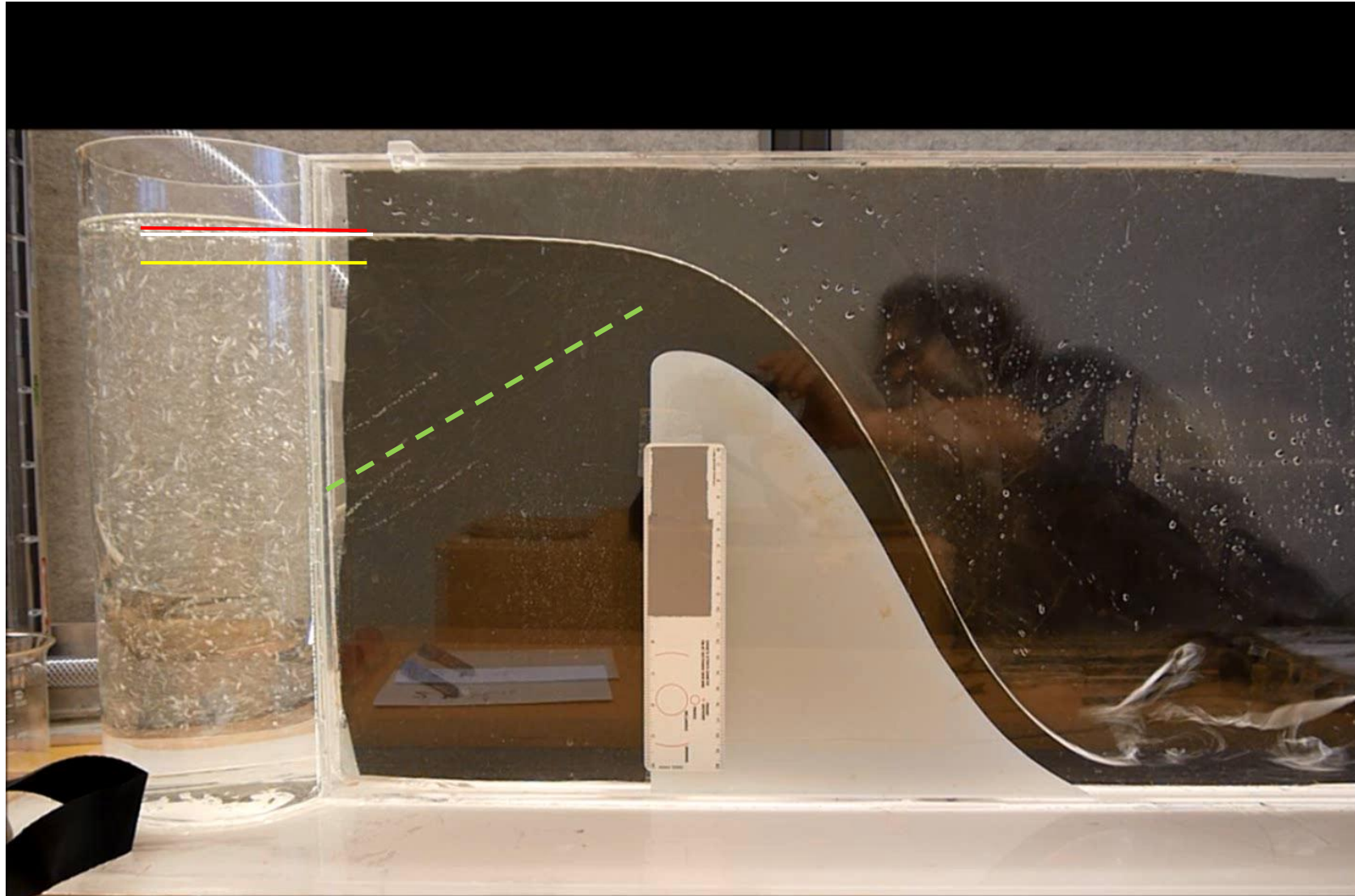
Igångsättning av hävertdelen - filmen visar hur luften evakueras



Kort hävertdel – inverkan på avbördning och energiomvandling



Tänkt drivgodsscenario där hävertdelen är försedd med ett visir/galler



Merparten av ursprungliga kapaciteten finns kvar med ett visir och hävertdel

Praktiska hänsyn och begränsningar

- Kavitation, beräkna kavitationsindex (glöm inte eventuell inverkan av centrifugalkraften - risken för lokal kavitation)
- Luftmedrivning, förse vid behov hävertdelen med luftning i inloppet, behövs vid låga vattennivåer i magasinet
- Kontrollera tillströmningsförhållanden och vattendjup vid hävertläget

För- och nackdelar

Fördelar

- Ökad avbördning i befintliga ytutskov (rimligt ca 10-30%)
- Mindre omfattande åtgärder för energiomvandling
- Kräver ingen avsänkning av magasin vid installation (beroende på luckan)
- *Sannolikt jämförelsevis kostnadseffektivt alternativ till om-/nybyggnation av utskov*
- *Sannolikt kortare byggtid, prefab (bättre kostnadskontroll)*

Nackdelar

- Oprövad teknik
- Risk för feldesign
- Eventuella drivgods-/isrisker

Fortsättning:

Steg 2 i projektet - genomföra modellförsök i större skala tillsammans med labbet i Älvkarleby

Steg 3 – genomföra prototypförsök vid mindre utskov

Tack till:

Richert stiftelsen för ekonomiskt stöd,
SWECO för tid till innovationsprojekt,
KTH vattendragsteknik för arbetsplats och diskussioner (Hans B. m.fl.)

SJÖFARTSVERKETS ANLÄGGNINGAR I GÖTA ÄLV

Hans Ericsson

Manouchehr Hassanzadeh

SwedCOLD temadag 2016-04-12

Disposition av presentationen

- Bakgrund och översikt över projektet
- Byggteknisk historik
 - Utformning och konstruktion
 - Material och gjutteknik
- Bedömning av slussarnas status
 - Materialegenskaper, täthet och nedbrytningsprocess
 - Slutsatser
- Åtgärdsalternativ - Nybyggnad i befintligt slussläge
 - Principiell utformning
- Åtgärdsalternativ - Nybyggnation av slussar i ny sträckning
 - Principiell utformning
 - Utförandealternativ

Bakgrund till Swecos uppdrag

Trafikverket utreder framtiden för godstransporter i västra Sverige

- Utvecklad Vänersjöfart slussarna i Trollhätte kanal förnyas för långvarig säker drift
- Nedlagd Vänersjöfart: slussarna i Trollhätte kanal stängs för handelssjöfart 2030
- Denna fördjupade utredning avser att beakta tre utredningsalternativ vid fortsatt drift:
 - I) Åtgärder i befintlig slussled, renovering av konstruktionerna
 - II) Åtgärder i befintlig slussled, nybyggnation.
 - III) Nybyggnation i ny sträckning.
- Uppdraget ska utgöra underlag för fortsatt beslutsprocess

Trollhätte Kanal Översikt

- 82 km lång 10 km grävd och sprängd kanal, resten är naturlig farled i Göta älv.
- Nivåskillnad 44 m,
- 6 slussar
- Brinkebergskulle, Trollhättan, Lilla Edet



Trollhätte Kanal Översikt från Vänern till Kattegatt



Inloppet från Åkerssjö sedd från nedströmssidan

Sluss no 2, Trollhättan, Okt 2015



Brinkebergskulle Sluss 1



Trollhättan Sluss 2 - 5



Lilla Edet Sluss 6

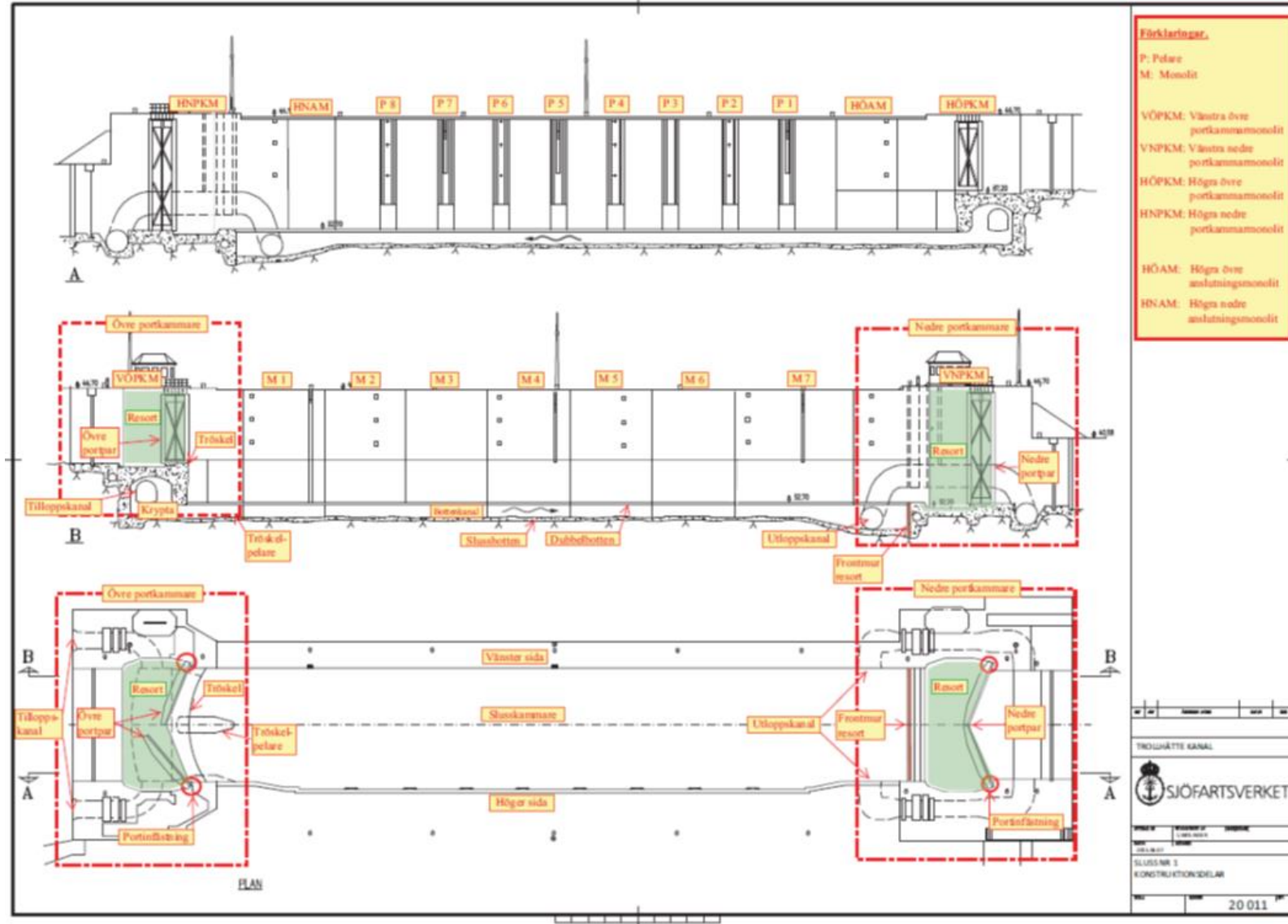


Åtgärdsalternativ

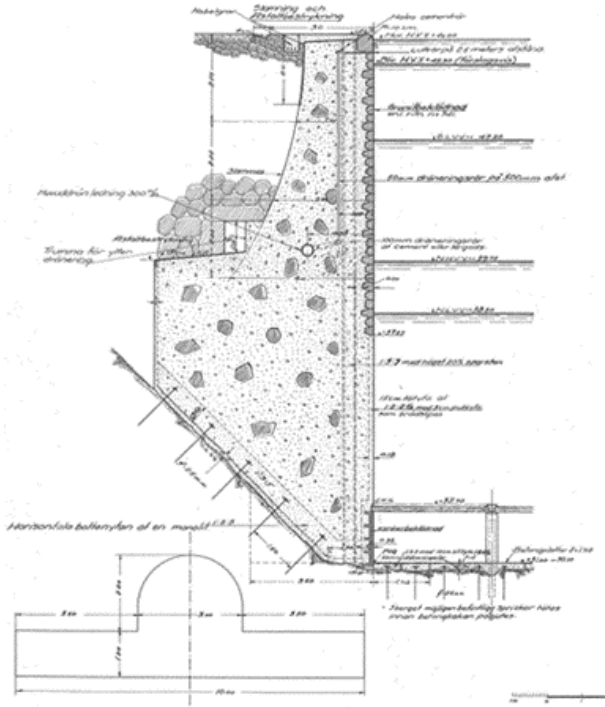
- Slussarna togs i drift för 100 år sedan
- De har vid flera tillfällen genomgått omfattande underhålls- och reparationsarbeten
- Frågan är om de 100 år gamla slussarna som befinner sig i en utsatt miljö skall
 - I. användas i ytterligare 50 år med enbart reparationer utan större ombyggnad,
 - II. användas i ytterligare 50 år med omfattande ombyggnad eller
 - III. ersättas med nya slussar.



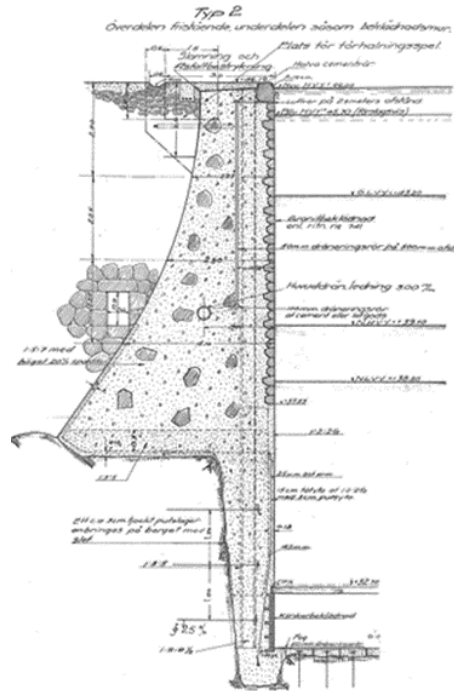
Utformning och konstruktion



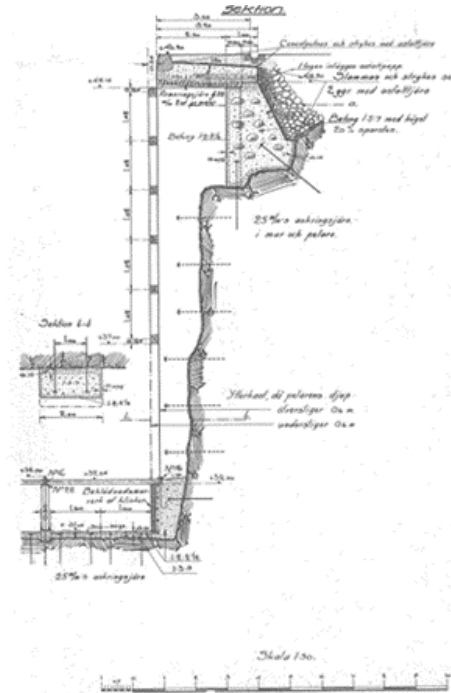
Utformning och konstruktion



Fristående mur



Kombinerad mur



Pelarmurverk

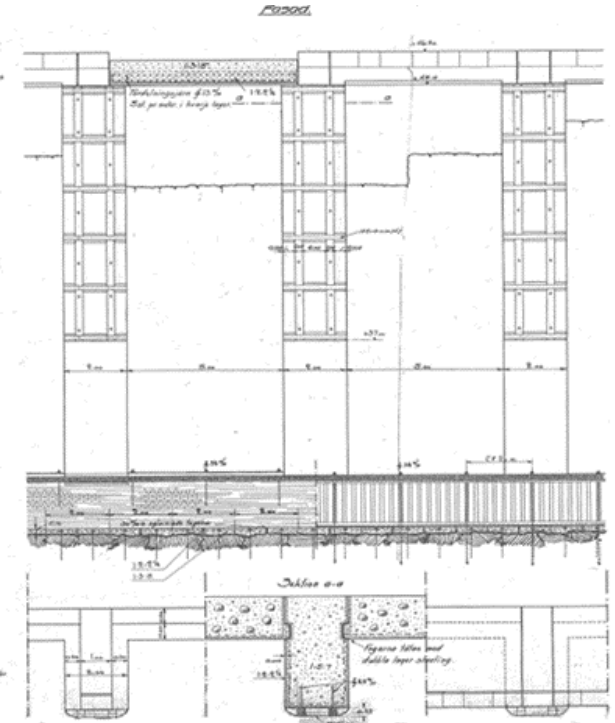
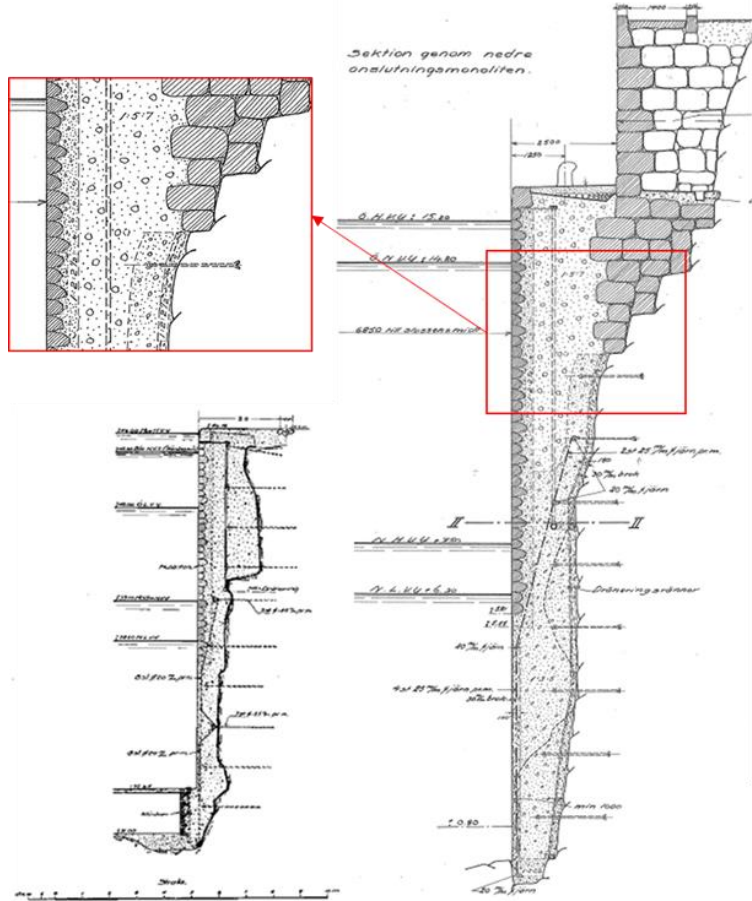


Foto från byggtiden
Ny foto

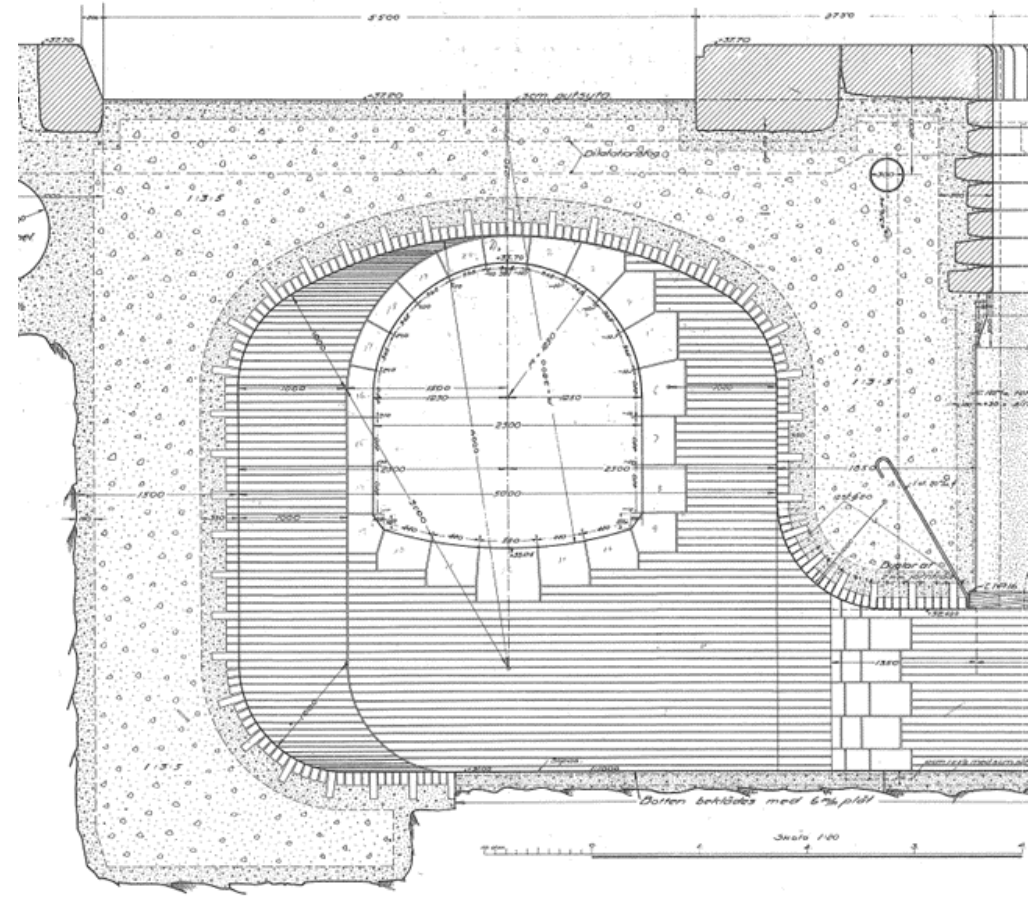
Utformning och konstruktion



Sluss 1

Sluss 4 - 5

Beklädnadsmur



Sektion genom kryptan i slussens mittlinje

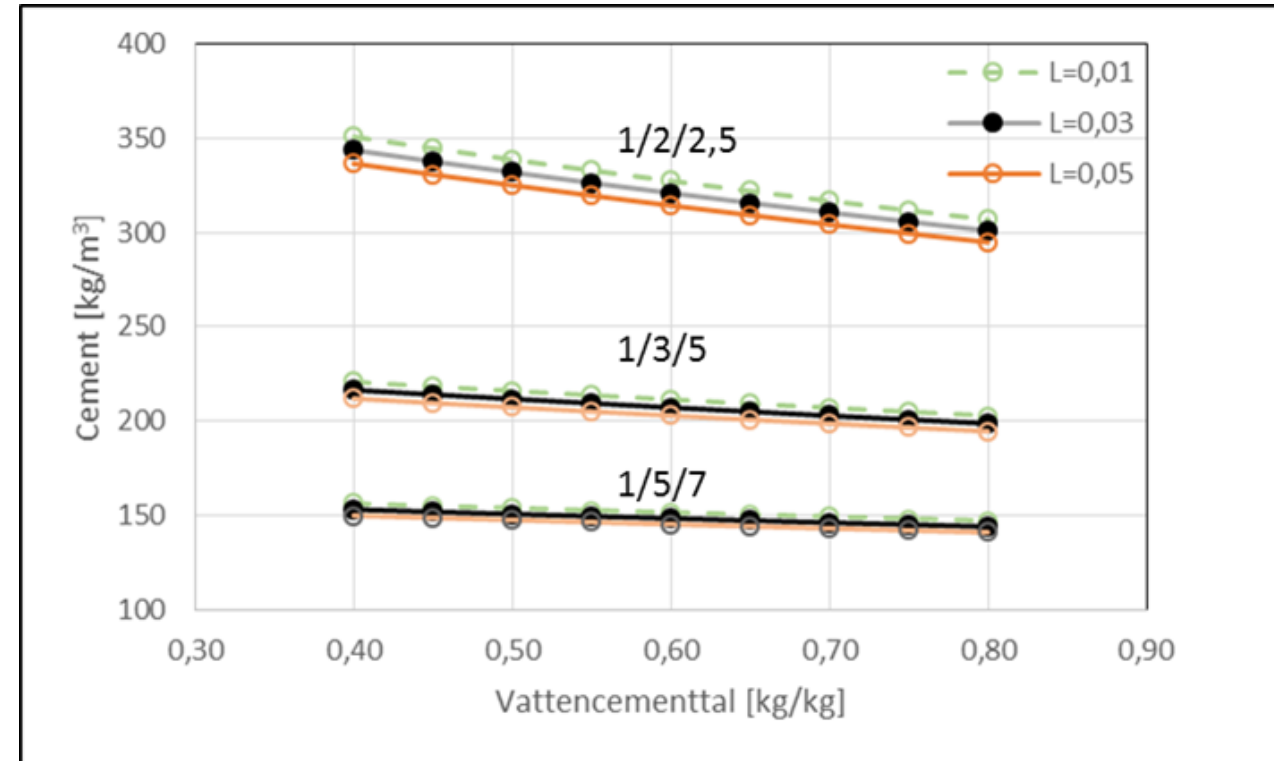
Foto konstruktion

Material och gjutteknik

Följande bruk och betong har använts för konstruktionen:

- Utfyllnadsbetong (huvudmassa) med och utan 20 volymprocent sparsten (1/5/7).
- Bärande betong (1/3/5)
- Tätbetong (1/2/2,5)
- Murbruk (cementbruk, 1/3)
- Tätbruk (tät cementbruk, 1/1,5)

$$m_C = \frac{\rho_C(1-L)}{1 + \frac{\rho_C}{\rho_V} \cdot v_{ct} + \frac{\rho_C}{\rho_S} \cdot 1,2 \cdot a_S + \frac{\rho_C}{\rho_M} \cdot 1,3 \cdot a_M}$$



Densitet

Material och gjutteknik

C/S/M Andelar	C [kg/m ³]	V [kg/m ³]	S [kg/m ³]	M [kg/m ³]	Användning
1/5/7	148	89	866	1342	Utfyllnadsbetong med/utan 20 volym % sparsten
1/3/5	207	124	725	1338	Bärande betong
1/2/2,5	321	193	749	1037	Tätbetong
1/3	432	259	1513	0	Murbruk (cementbruk)
1/1,5	613	368	1072	0	Tätbruk (tätt cementbruk)

C = cement, V = vatten, S = sand, M = makadam

Blandning		Cement kg	Tillsatsmaterial i kg.			Vatten l	Vatten- halt i % av cement o. sand	Vatten- cement- tal
Nominell (volym)	Viktpro- portion		0-7 mm	7-25 mm	25-60 mm			
1:4 1/4	1:4.6	385	850	990	—	218	17.6	0.56
1:6	1:6.3	295	800	585	415	216	18.6	0.73
1:8	1:8.4	230	805	610	430	208	18.4	0.90

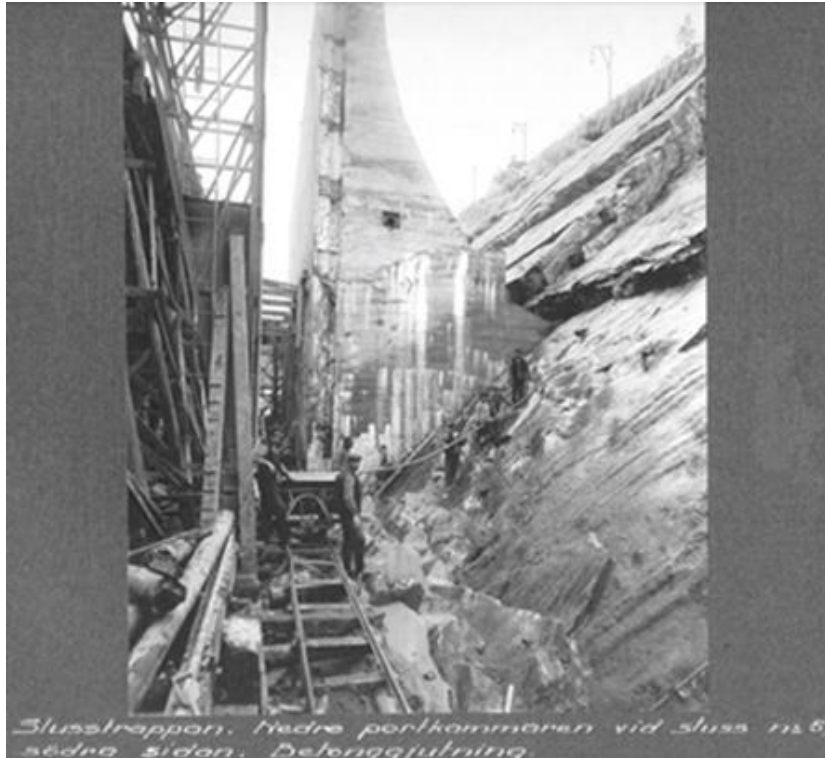


Material och gjutteknik

- Gjut- och vibreringsteknikerna var inte utvecklade
- Man lade gjutpallar och komprimerade betongen genom stampning
- Den hårdnade betongen blev skiktad bestående av relativ "täta" lager av betong hopgjutna genom relativ "porösa" och permeabla kontaktzoner



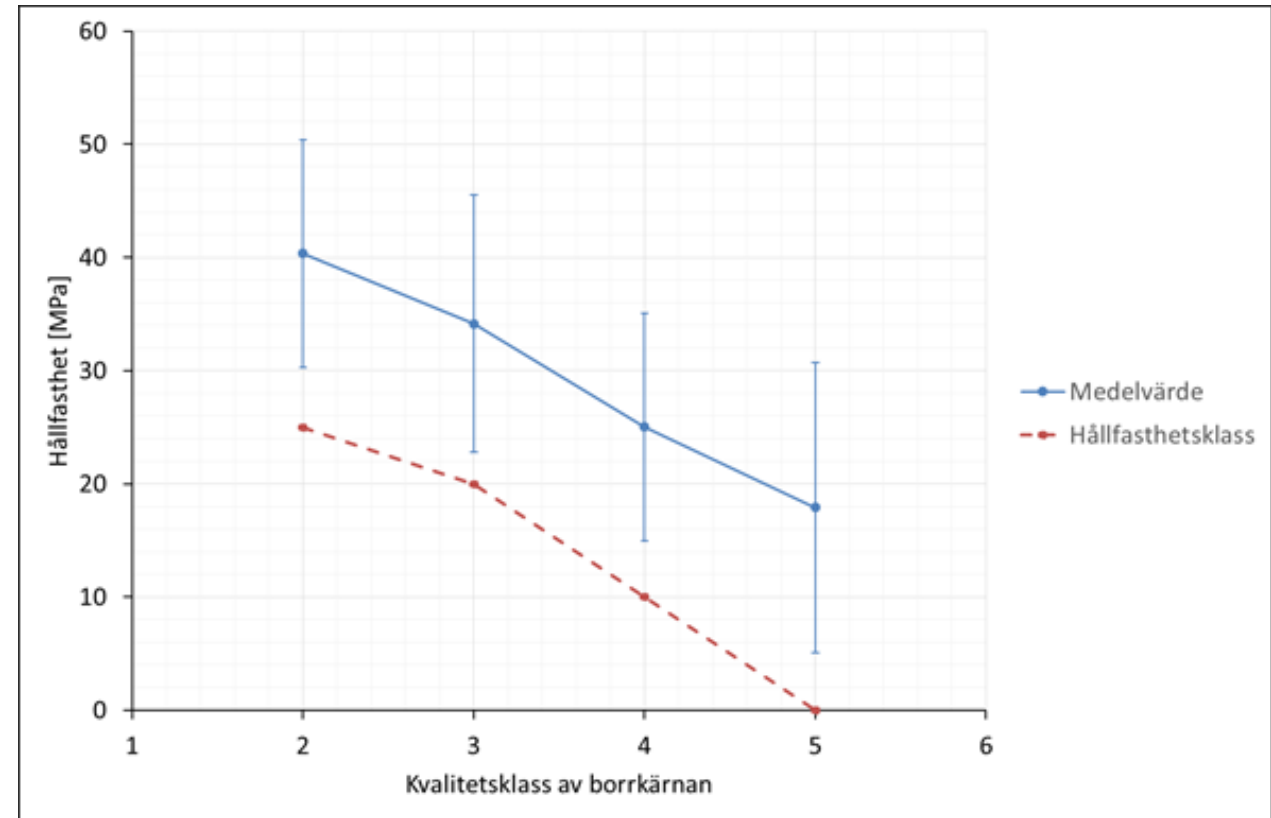
Material och gjutteknik



- Redan vid byggtiden kunde materialets skiktning och den otäta kontaktzonen mellan pallarna konstateras
- Detta material skulle exponeras för en miljö som idag betecknas XF3 med lägsta krav på betongkvalité på C30/37, lägsta cementhalt = 320 kg/m^3 , högsta vct = 0,50, Lägsta lufthalt = 4,0 %.

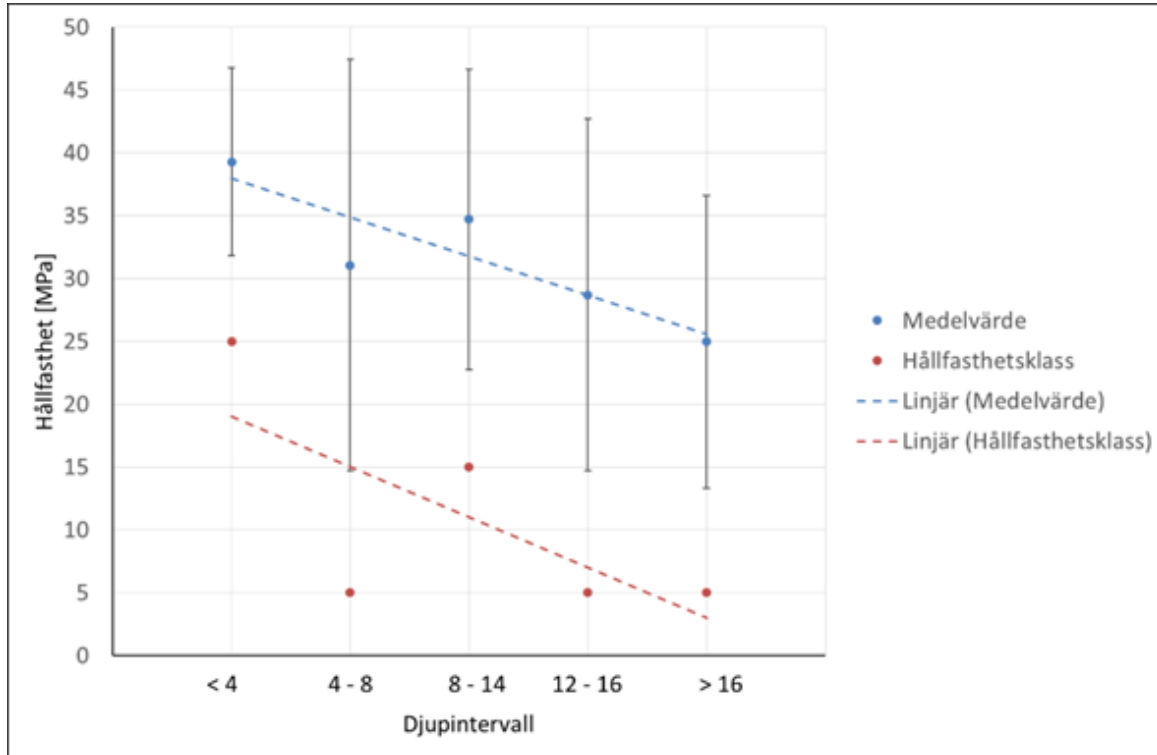
Bedömning av slussarnas status – materialegenskaper

Kvalitetsklass	Värderingsgrund
1-2	Bra betong, helt fri från håligheter dock en del större porer samt större stenar
3	God betong, dock en del håligheter eller större porer
4	Mindre god ej vattentät betong med större håligheter vars ytor oftast är brunfärgade men även delvis urlakad betong utan håligheter
5	Dålig betong, mycket hålig och porös
6	Usel betong, håller ej eller knappast ihop
7	Kärnförlust

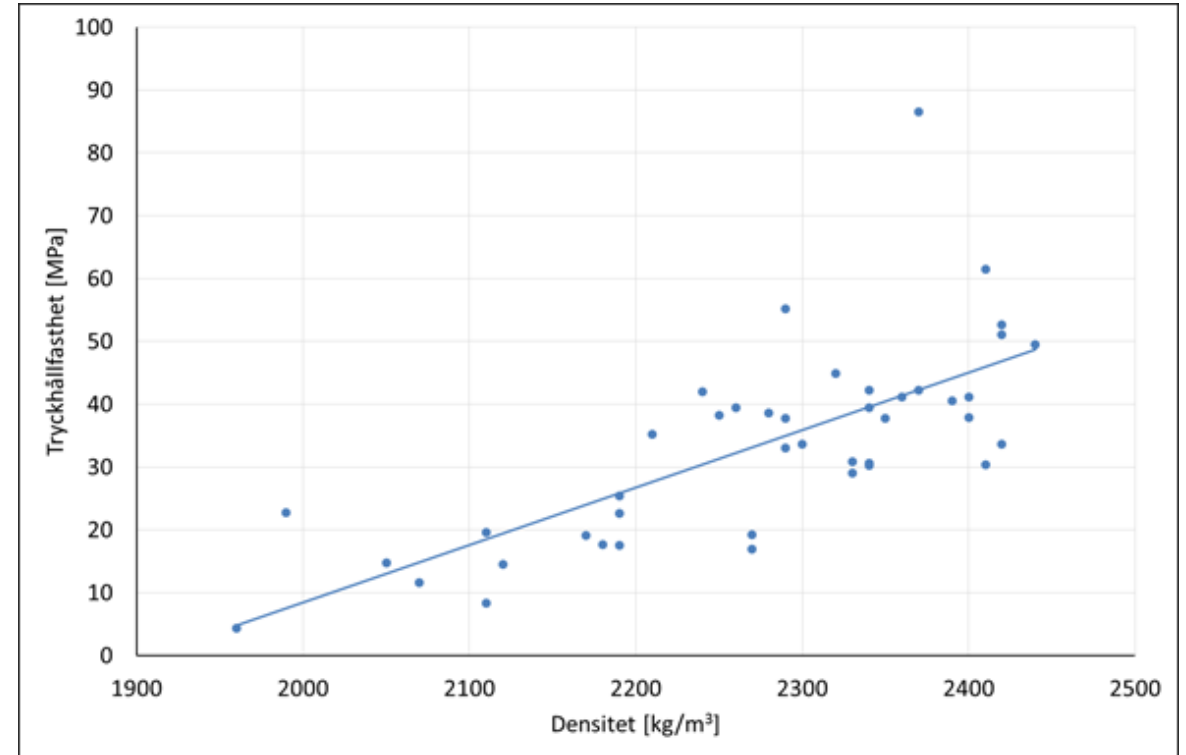


Materialets tryckhållfasthet har stor spridning, vilken sänker det karakteristiska värdet trots hög uppmätt medeltryckhållfasthet.

Bedömning av slussarnas status – materialegenskaper

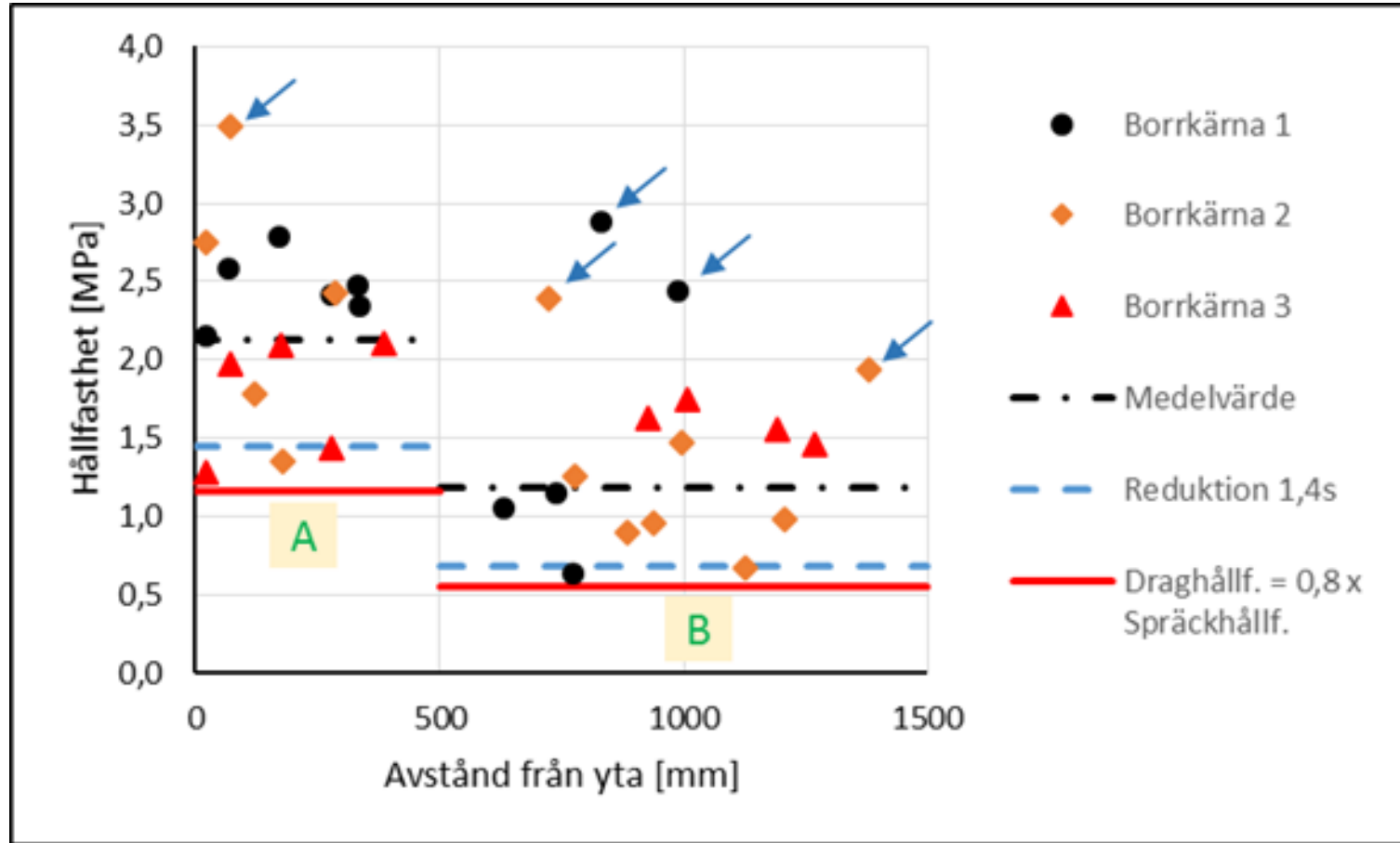


Medeltryckhållfasthetens och tryckhållfasthetsklassens variation med djupet



Tryckhållfasthet som funktion av densitet för borrhärnornas betong

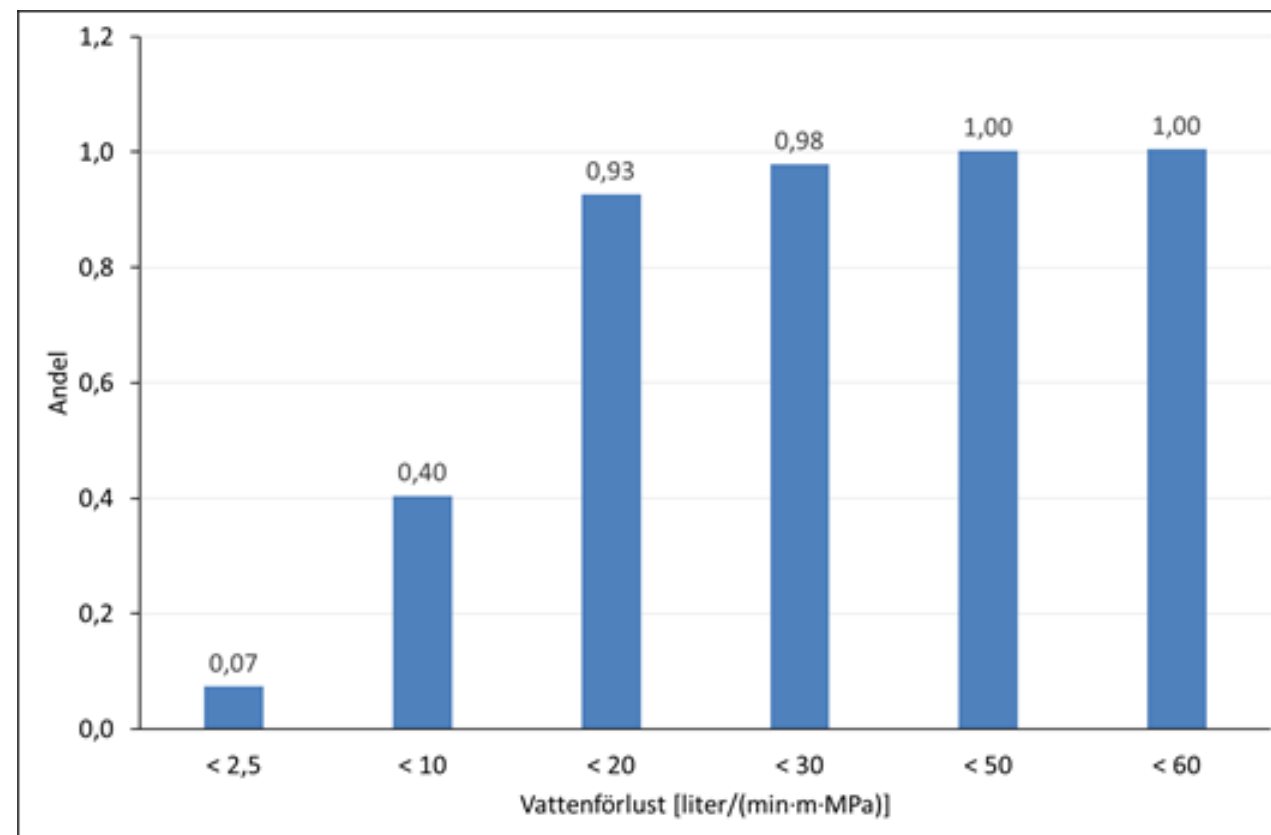
Bedömning av slussarnas status – materialegenskaper



Fördelning av betongens spräckhållfasthet, resultat av tre borrkärnor.

Bedömning av slussarnas status – täthet

I	< 0,1	l/(min·m·MPa)	Tät
II	0,1 – 2,5	l/(min·m·MPa)	Relativt tät
III	2,6 – 10,0	l/(min·m·MPa)	Relativt otät
IV	10,1 – 100	l/(min·m·MPa)	otät
V	> 100	l/(min·m·MPa)	Mycket otät



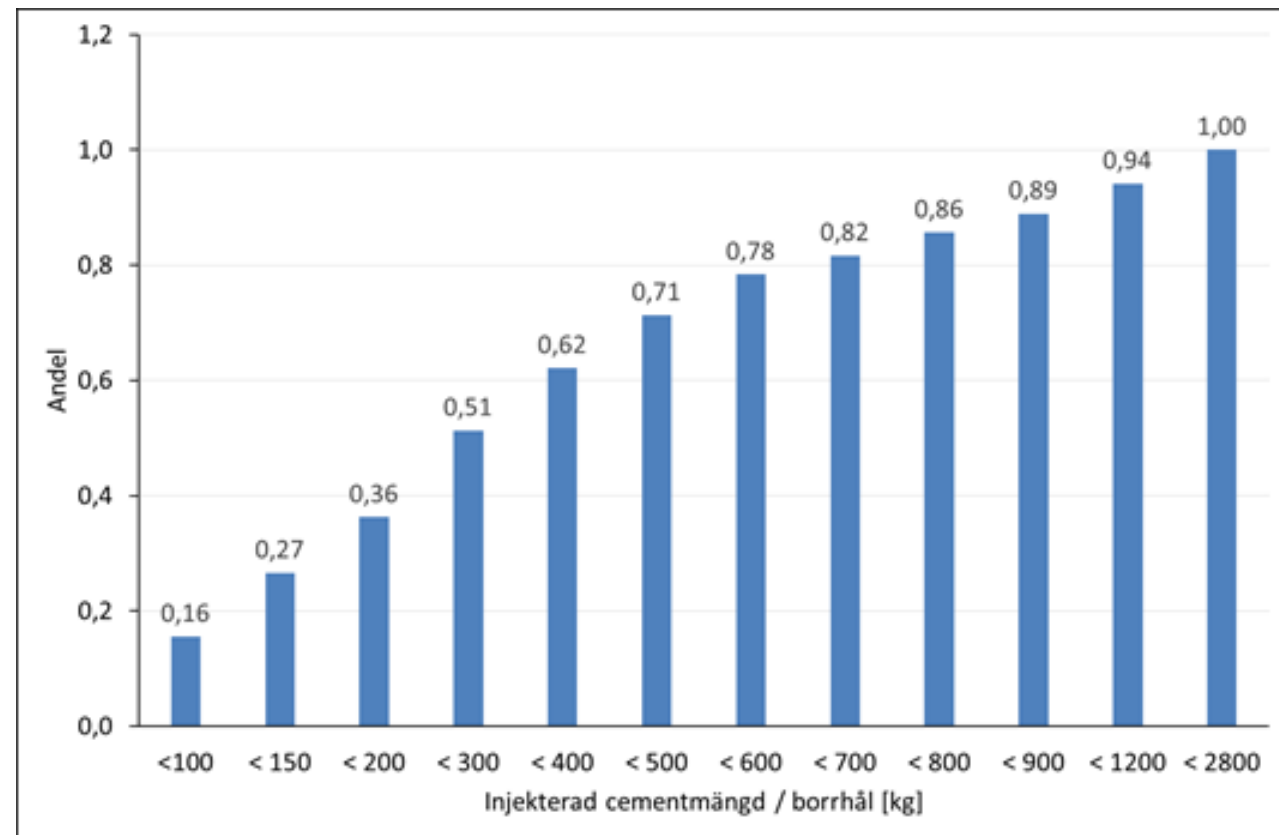
Fördelning av hål med hänsyn till deras vattenförlust

Bedömning av slussarnas status – täthet

Injekteringsbruk: 30, HPM (högpresterande flyttillsats) och Vatten.

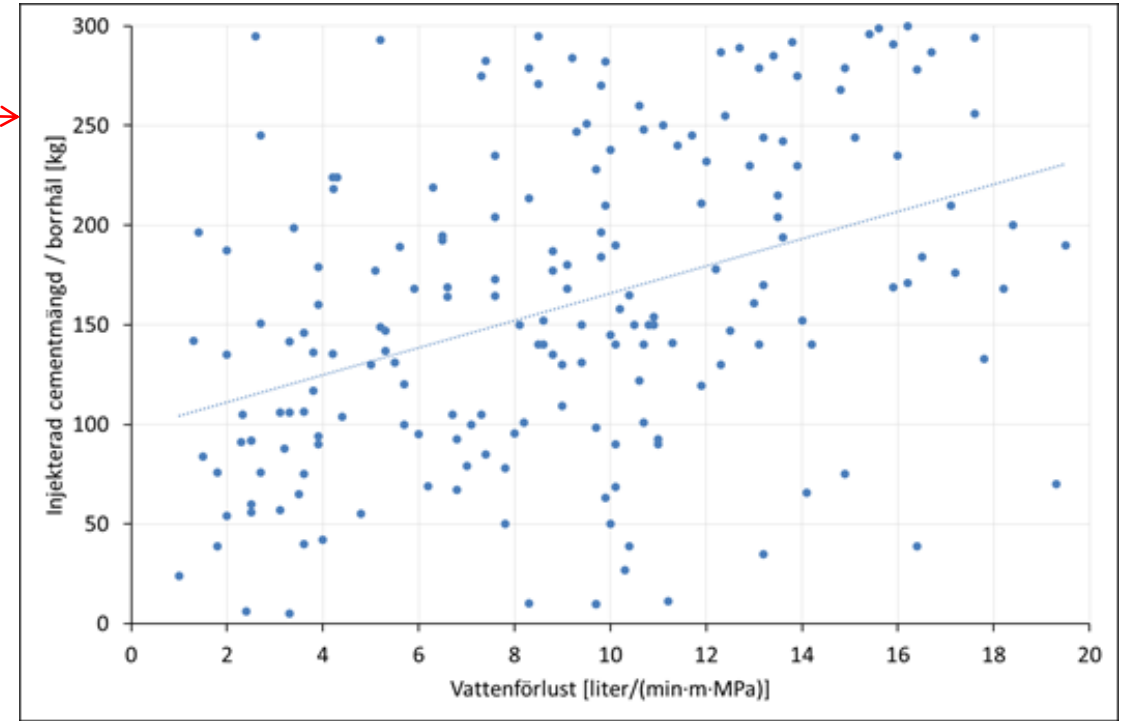
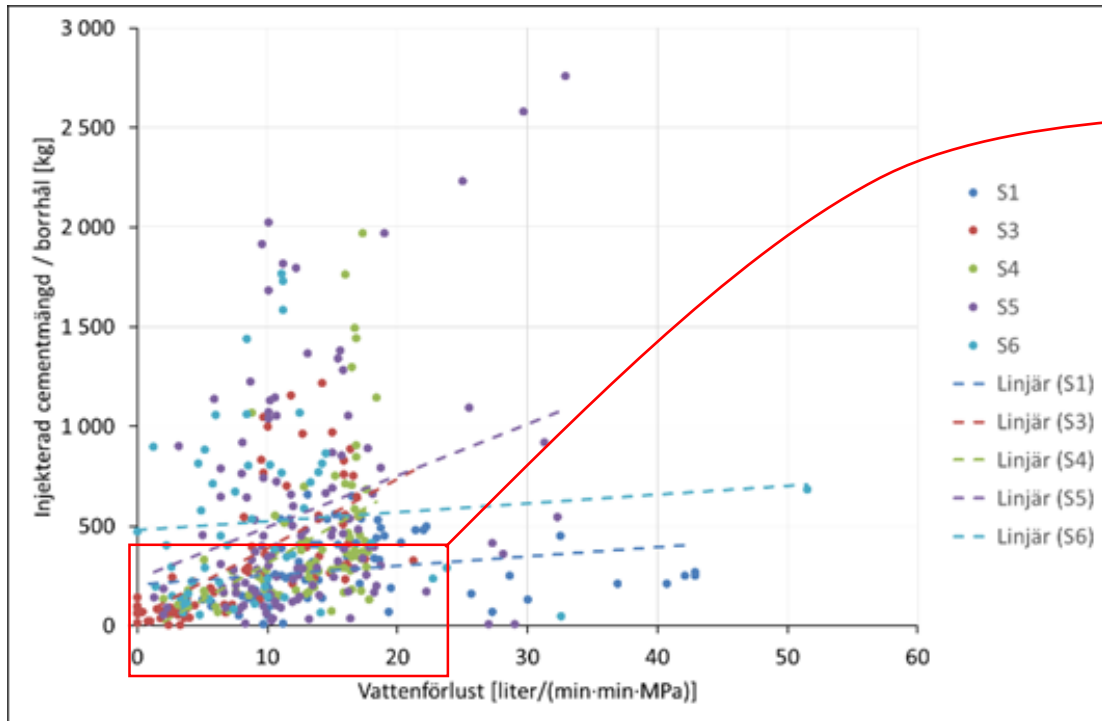
vct: 1,0 eller 0,8 (beroende på vattenförlustmätningen) som ökas till 0,8 respektive 0,5, om erforderligt tryck inte erhöles efter åtgången av 150 kg cement.

I 27 % av hålen uppnåddes injekteringstrycket inte med *vct* 1,0 eller 0,8 utan det var nödvändigt att förtjocka bruket till *vct* 0,5.



Fördelning av hål med hänsyn till injekterade cementmängd

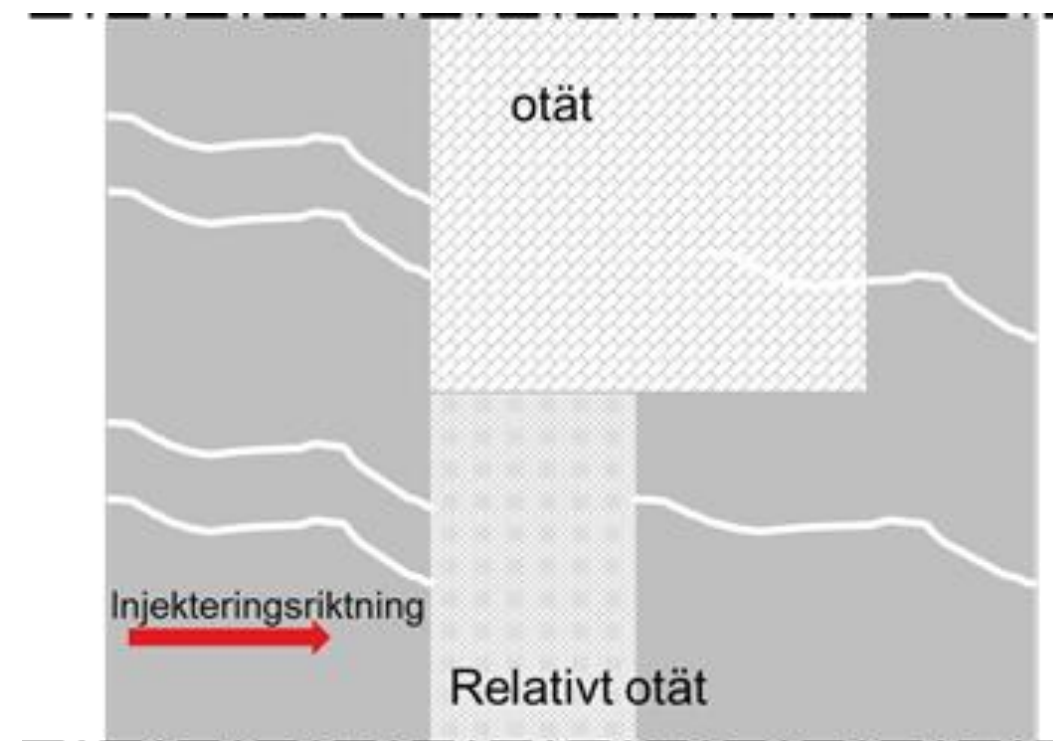
Bedömning av slussarnas status – täthet



Injekterad cementmängd som funktion av vattenförlust

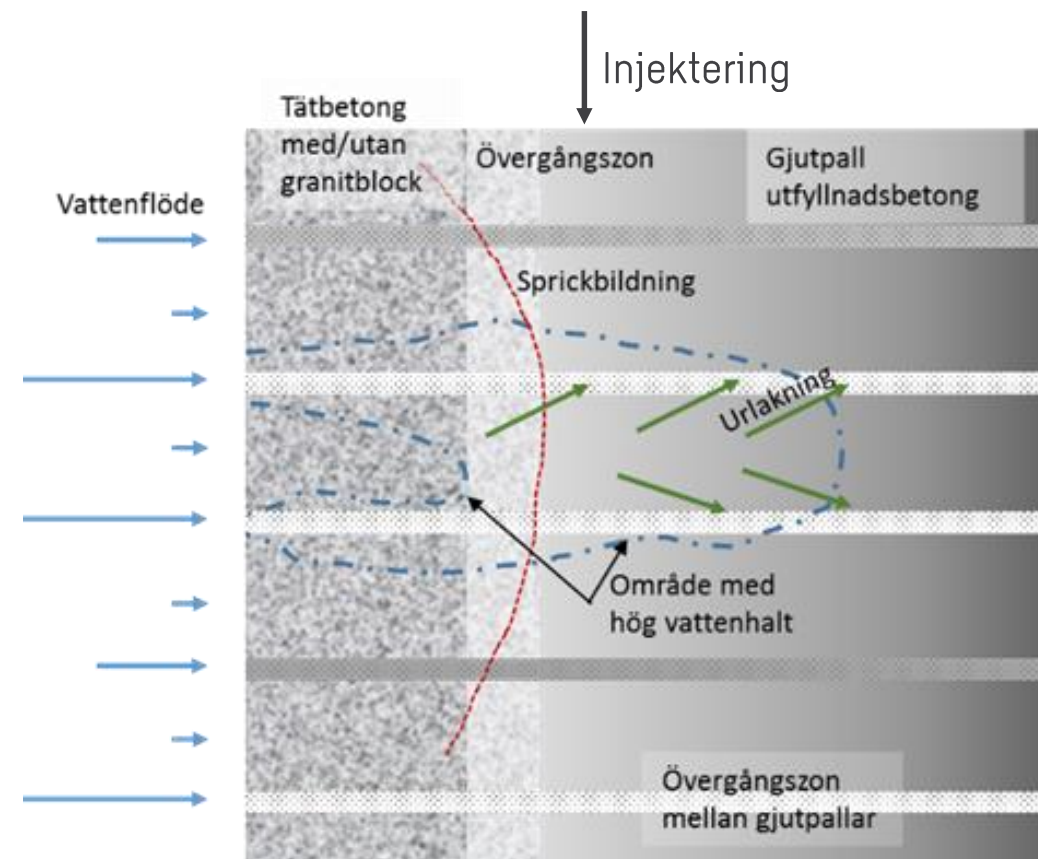
Bedömning av slussarnas status – täthet

- Det finns inget samband mellan vattenförlust och injekterad cementmängd.
- Både vattenförlust och den injekterade cementmängd styrs av sprickvidd och spricklängd, samt tätheten hos det material som flödet passerar genom.
- Skillnaden är att proppar kan bildas var som helst i sprickorna eller i de otäta materialen och blockera brukets väg.
- Proppar bildas när cement injekteras och den injekterade mängden beror på när och var proppen uppkommer.
- Därför kan en given vattenförlust motsvara flera olika injekterade cementmängder.



Bedömning av slussarnas status – nedbrytningsprocess

- Nedbrytningsprocessen styrs av vattenhalt i, och vattenflödet genom, betongen.
- Vattenflödet urlakar betongen, fyller betongens porer och gör den svag och mottaglig för frostangrepp.
- Frostangrepp underlättar fortsatt urlakning.
- Injekterat tät skärm kan sakta ner processen något men hjälper inte konstruktionen på längre sikt.
- Tryck kan bildas upp bakom det täta skärmen och leda till lokala brott.
- De mest otäta delarna finns mellan gjutpallarna och det är dessa zoner som styr flödet och urlakningsprocessen.
- Längre in i konstruktionen finns utfyllnadsbetongen, vars tillstånd inte är känt.



Swecos slutsatser

Gällande Alternativ I, livslängd i ytterligare 50 år med enbart reparationer utan större ombyggnad

- Sweco har identifierat ett antal brister och svagheter hos slusskonstruktionerna.
- Betongens hållfasthet och täthet är inte tillräcklig för att säkerställa en fortsatt säker drift
- Svårigheter att pga. materialets tillstånd att med tillgänglig teknik uppnå tillfredsställande förbättringar avseende hållfasthet och täthet
- Betongen saknar frostbeständighet, fortsatt nedbrytning är svår att hejda
- Stor spridning förekommer hos betongens egenskaper, undersökningar visar att 10 - 30 % av materialet helt saknar hållfasthet
- Ca 30 % av utförda provningar har visat på en lägre tryckhållfasthet än kravet vid byggnadstiden
- Till följd av försämrad bärförmåga och nedsatt eller utebliven funktion hos dränage har säkerhetsmarginalerna mot brott krympt till nivåer som inte uppfyller dagens krav
- Swecos bedömning är att vidmakthållande åtgärder på befintliga konstruktioner i syfte att säkerställa ytterligare 50 års livslängd inte bedöms som möjliga att utföra med den renoveringsteknik som idag finns tillgänglig. En långsiktigt hållbar renovering av befintliga slusskonstruktioner innebär i praktiken en nybyggnad av samtliga ingående bärande konstruktionsdelar, som lämpligen kan dimensioneras för 120 års livslängd.

ÅTGÄRDSALTERNATIV II, NYBYGGNAD I BEFINTLIG STRÄCKNING

Omfattning

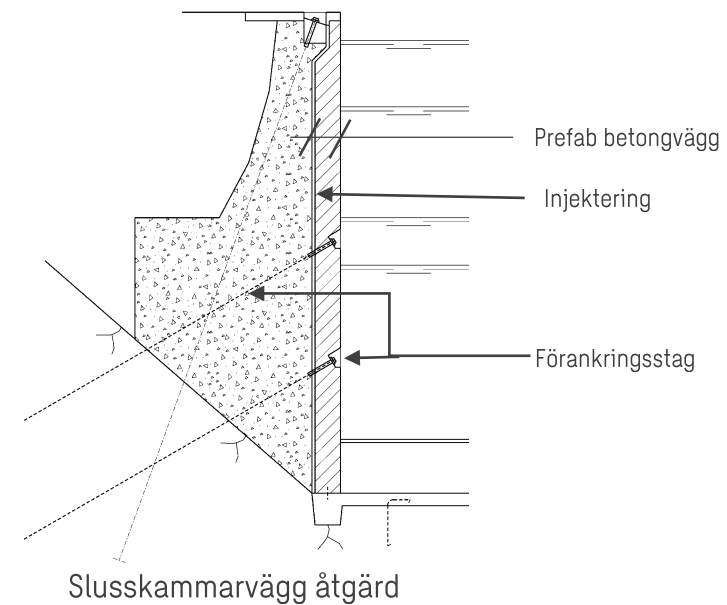
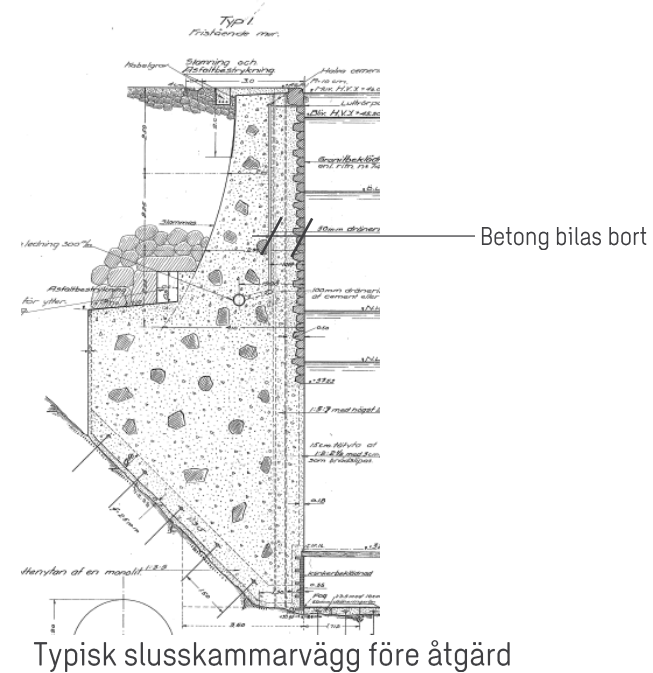
- Nya konstruktioner ersätter befintliga
- Samtliga slusskammareväggar byts ut
- Samtliga portkammare byts ut
- Fyllnings- och tömningskulvertar förnyas
- Slusskamarbottnar förnyas

Förutsättningar för utförandet

- Slussleden måste stängas 3 – 4 månader per år under ett antal år
- Påverkan på fartygstrafiken
- Grumlande arbete får inte utföras 15 april – 15 november
- Slusskamrarnas dimension förblir oförändrad

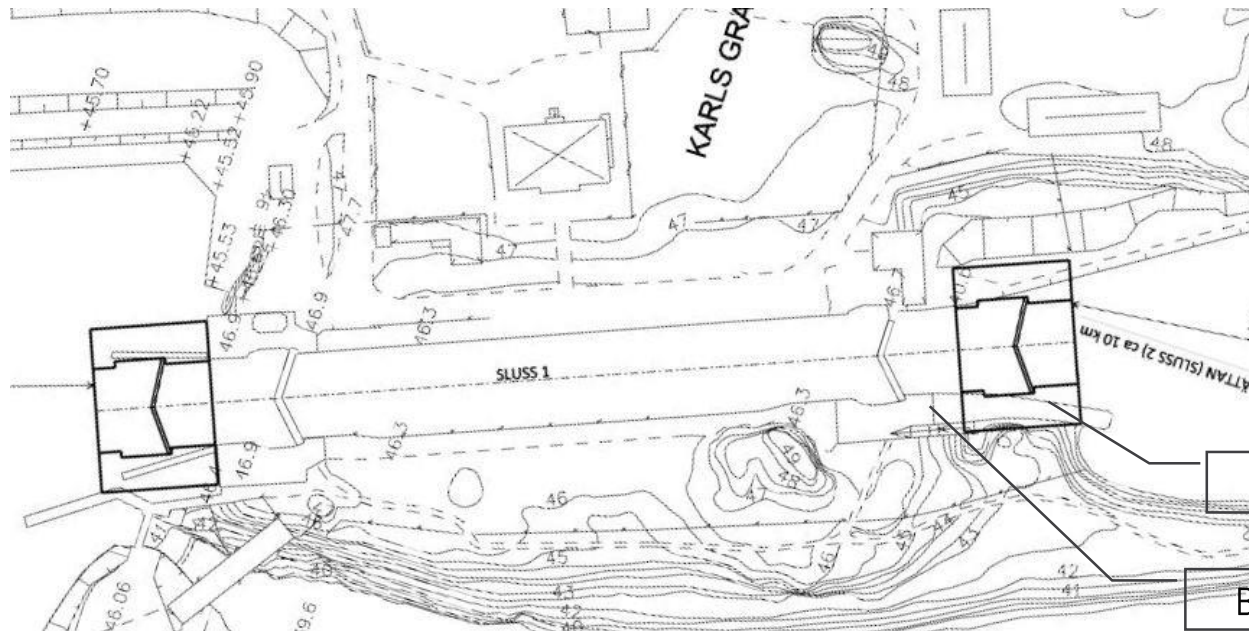
Nybyggnad Slusskamarväggar

- Bilning av befintlig betong in till erforderligt djup
- Prefabricerade betongelement 800 – 1000 mm tjocka placeras
- Tätning mellan element
- Injektering bakom element
- Förankring till berg med förspända stag
- Gjutning av ny bottenplatta



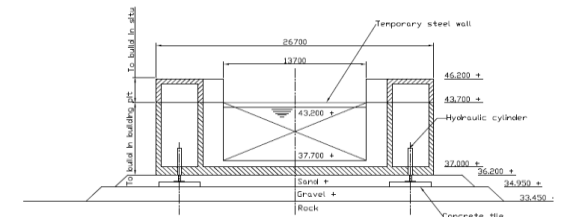
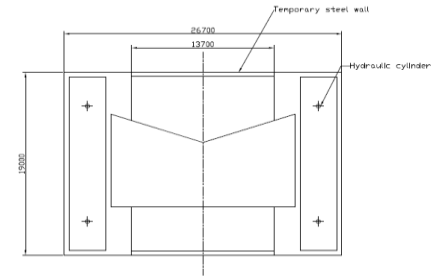
Nybyggnad Portkammareväggar

- Tillverkning av portkammare i torrdockor
- Förberedelse av botten och sidor utförs på plats
- Förtillverkade portkammarmonoliter skeppas på plats
- Installation och förankring av portkammare.
- Installation av slussportar och övriga mek- och elinstallationer.
- Gamla portar rivs och portkammareväggar ersätts med nya prefabricerade slusskammareväggar.



Utförande Brinkebergskulle

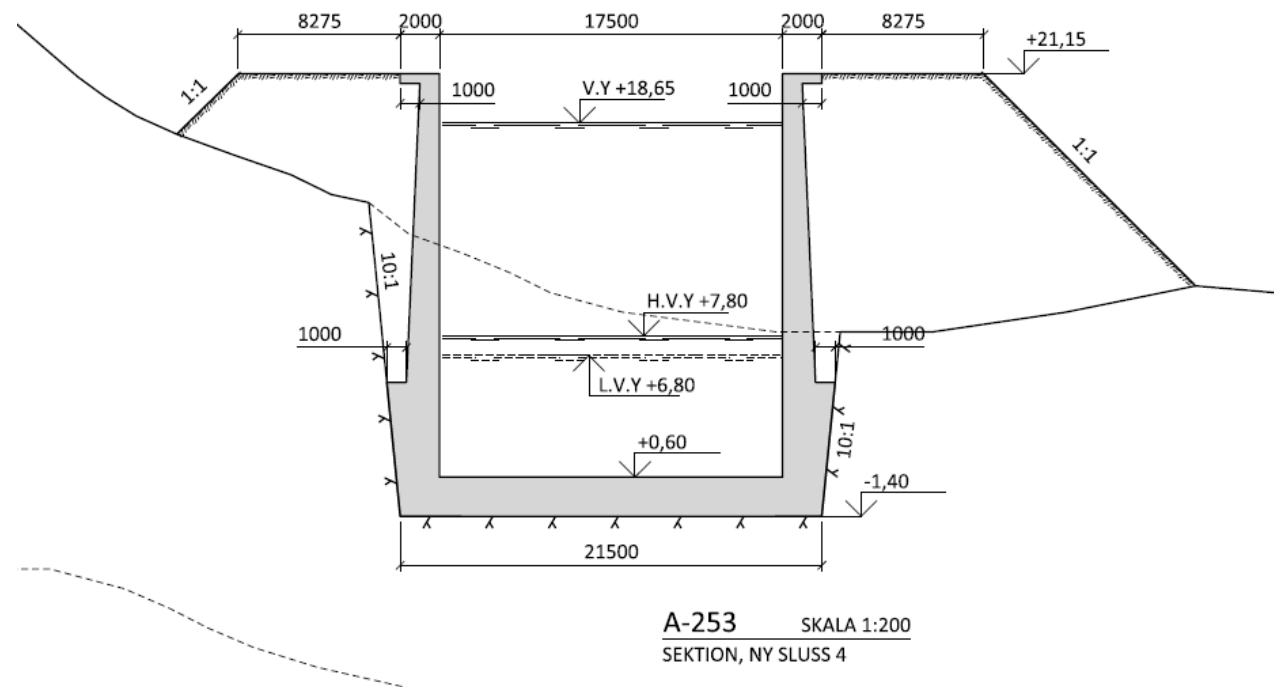
Lock 1
Lock head upstream



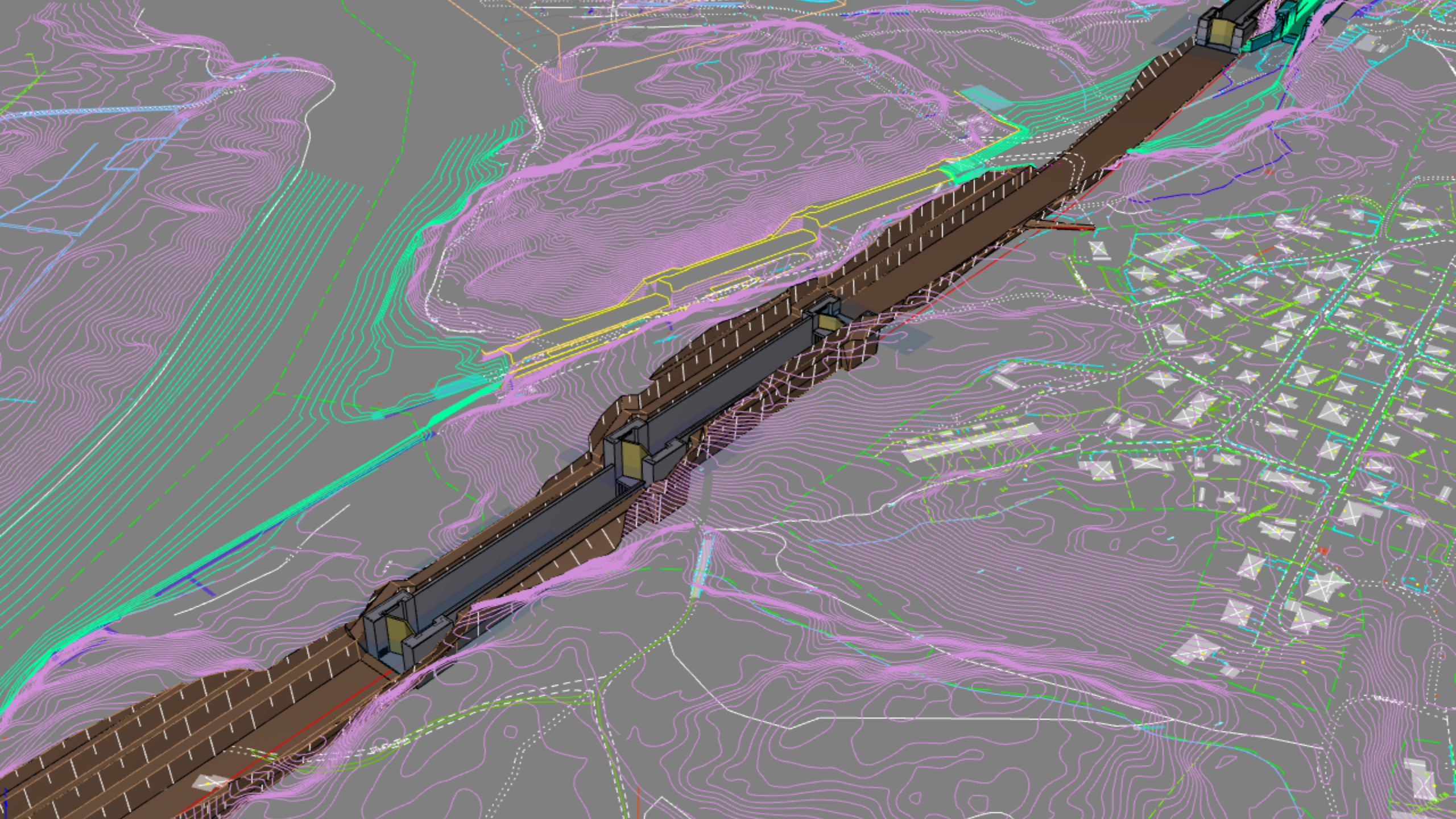
Plan och sektion - Portkammare

ÅTGÄRDSALTERNATIV III, NYBYGGNAD I NY STRÄCKNING

- Möjlighet att förändra storlek på slussar, anpassa till framtida fartygsstorlekar
- Liten påverkan på pågående sjötrafik
- Möjlighet att dela upp i etapper









SWECO



Konstruktion – Foto från byggtiden



Konstruktion – Foto 2015



Konstruktion – Foto 2015



[Tillbaka](#)

63.

För K 250 T antas för sats per 2 säckar cement åtgå 350 kg fuktigt betonggrus och 340 kg makadam. Volymvikterna är för betonggruset 1,40 och för makadamen 1,55 kg/liter, dvs. varje liter av materialet väger 1,4 respektive 1,55 kg.

Aktuell arbetsblandning blir då:

Cement 100 kg = 2 säckar
 Betonggrus 350 kg : 1,40 kg/liter = 250 liter
 Makadam 340 kg : 1,55 kg/liter = 220 liter

Vatten tillsätts i sådan mängd att önskad konsistens erhålls.

Cement vägs eller tillsätts i antal hela säckar, ej efter volym. (B5 tillåter dock att cementet till betong i utförandeklass III tillsätts i halva säckar eller uppmäts efter volym.)

SPECIFIK VIKT

(B5 kap. 6:25)

Specifik vikt betecknar förhållandet mellan densiteten för vatten. Med specifik vikt för förhållandet mellan vikten lufttorrt material fast volym avser den volym vatten som material vid nedsänkning i vatten.

Materialet Betong
 Svenska Cementföreningen
 MALMÖ
 Malmö 1968

2. fin öv
 B5 / 1965
 Då så konstrukt 10 %. S antal kg. skaper ä
 ver 2 % luft ut-
 armerade med högst ed samma gjutegen-

Vid användning av andra maximala stenstorlekar än 16, 32 och 64 mm må betongsammansättningen fastställas genom rätlinjig interpolation mellan tabellvärdena.

: 43 *UTFÖRANDEKLASS III*

Betongen skall proportioneras enligt tabell 3:43, såvida ej betongmassa tillverkad i utförandeklass I eller II användes.

Tabell 3: 43

Singel eller makadam

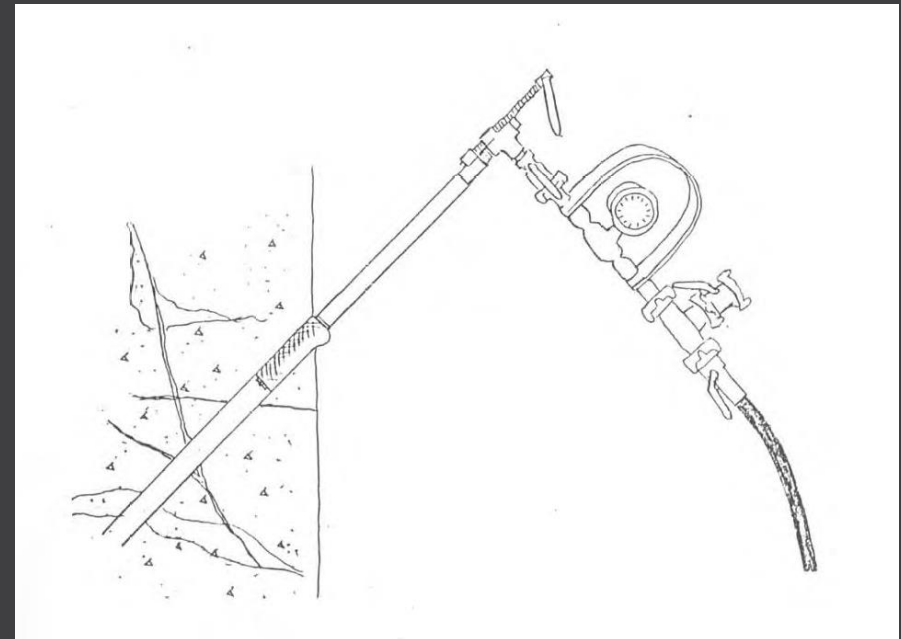
Hållfasthetsklass	Materialmängder i kg/m ³ betong			Materialmängder i kg per säck cement om 50 kg		Materialmängder i liter per säck cement om 50 kg	
	Cement	Fingrus	Sten	Fingrus	Sten	Fingrus	Sten
K 300	360	980	850	140	120	90	80
K 250	320	1010	850	160	135	105	90
K 200	280	1040	850	185	150	125	100
K 150	245	1070	850	215	170	145	115

Cementets volymvikt antages vara 1,2 kg/dm³.
 Då så befinnes erforderligt, t. ex. vid trånga och tät armerade konstruktionsdelar, får den angivna vikten sten minskas med högst 10 %. Samtidigt kan den angivna vikten fingrus ökas med samma antal kg. Samma korrektion må göras, när betongmassans gjutegenskaper är otillfredsställande.
 Om betongen tillverkas på byggnadsplatsen får tillsatsmedel ej användas.

UPPGRADERING AV BETONG MED CEMENTINJEKTERING

REHABILITERING AV INTAGSSUMPAR VID
ÄLVKARLEBY KRAFTSTATION

ERIK NORDSTRÖM, SWECO
&
TOMAS SANDSTRÖM, WSP

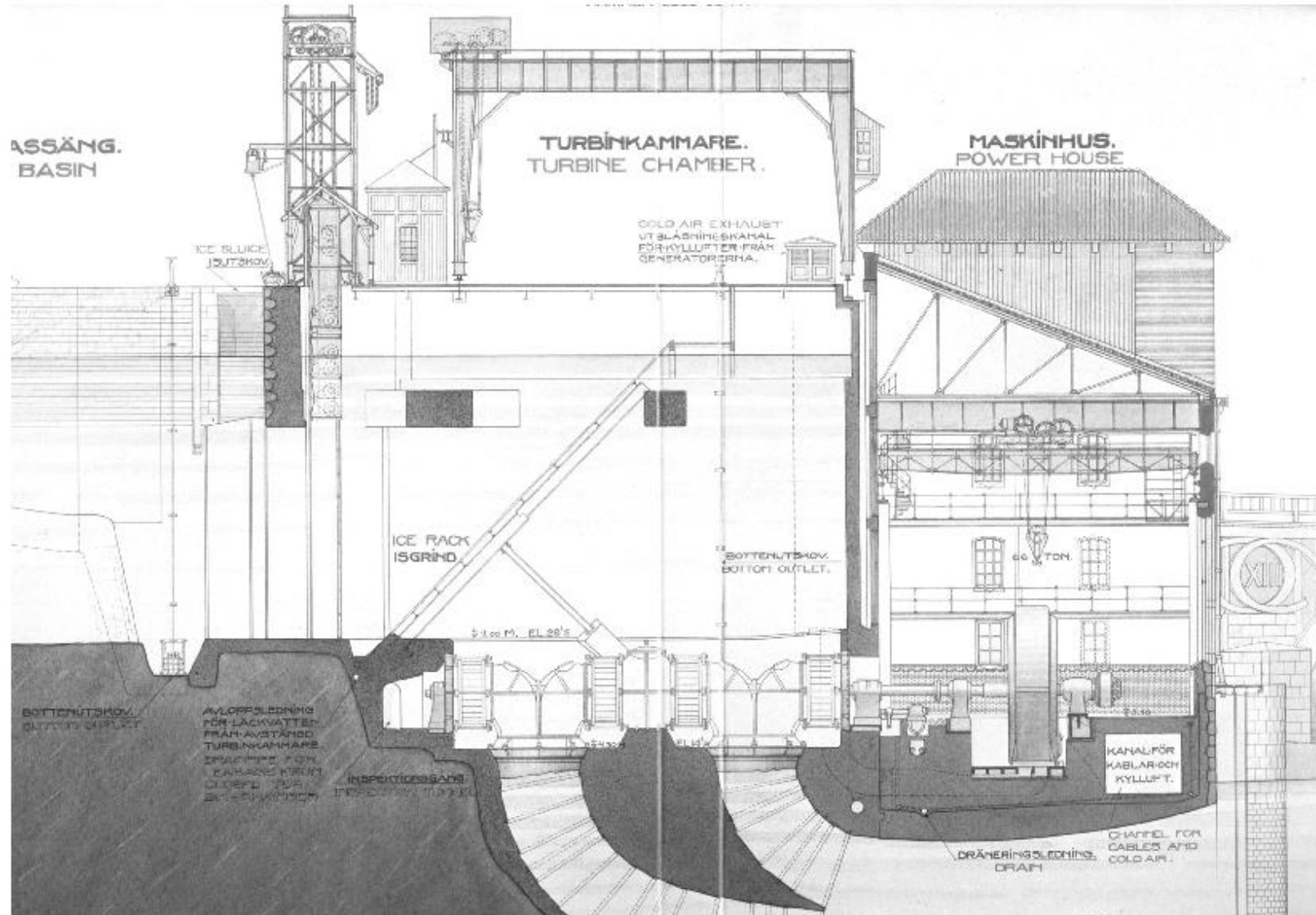


Älvkarleby kraftstation



Idrifttagningsår:	G1-G5	1915
	G6	1991
Fallhöjd:	22,5 m	
Installerad effekt:	125 MW	

Älvkarleby kraftstation



Historik – utredningar och uppgraderingar, 1900-talet

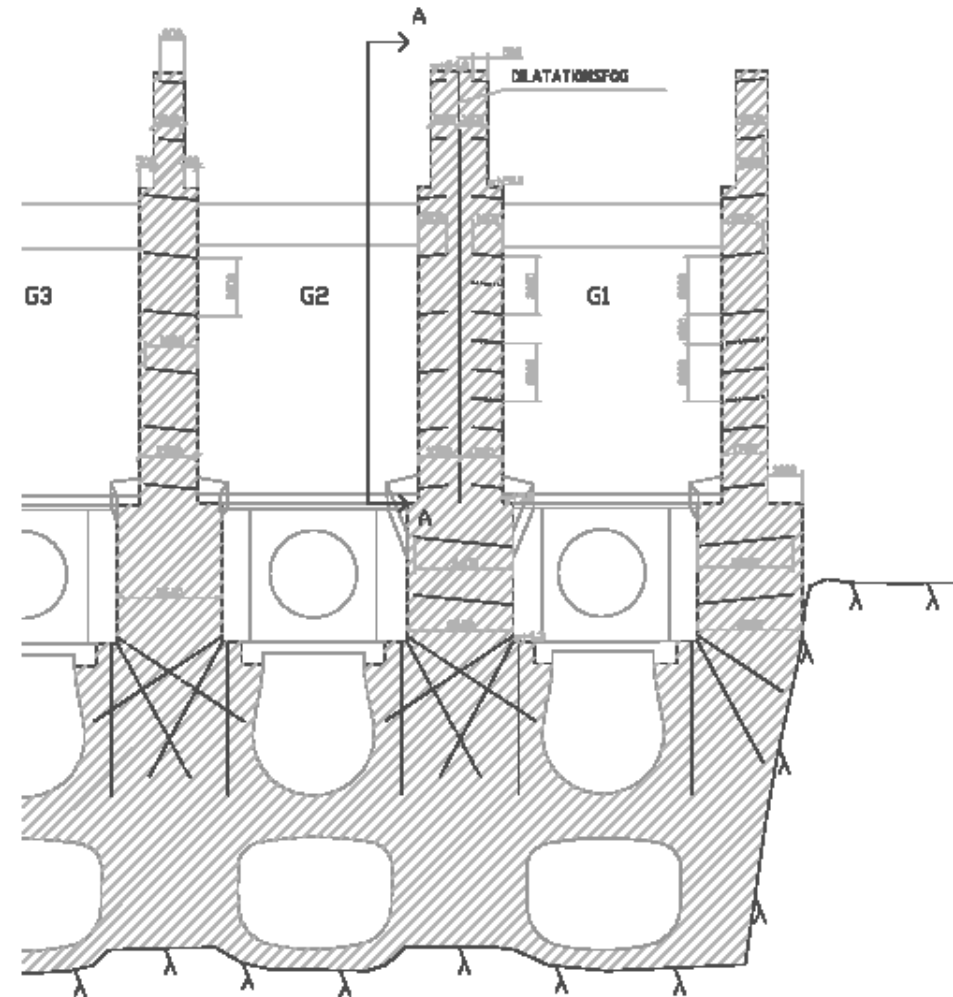
- Omfattande gjutskador redan från start (1915) som reparerades
- 1940-1950-talet – omfattande injekteringsarbeten (främst intagsdelarna)
- Början på 1980-talet utredningar om restaurering (inspektioner, undersökningar, provinjekteringar).
 - *Stora variationer i hållfasthet (8-90 MPa), skiktningar*
 - *Etappvis program utvecklades (1-3)*
- Etapp 1 & 2 - Omfattande injekteringar i uppströmsdelar – 1988 – 1991
- Etapp 3 - Åtgärder G1-G4 samt vä. del av G5 – **ej utfört**

Historik – utredningar och uppgraderingar, 2000-talet

- Kärnbörningar vid FDU
 - medeltryckhållf. ca. 20 MPa (mkt. stora spridningar)
 - omfattande skiktningar (känt tidigare)
 - sprickbildning (känt tidigare)
- Konstruktionsberäkningar
 - frånslag i aggregat dimensionerande lasten
 - skjuvhållfastheten i väggar ej tillräcklig (släta stänger)
- Driftsbegränsning införs
 - avsänkning normaldrift / torrläggning
- Beslut om uppgradering med målsättning:
 1. höjd dammsäkerhet genom mer homogen betongkvalitet och marginal mot urlakning
 2. minska nedbrytning av övriga delar genom reducerat läckage från uppströmssidan

Injektering – projektering – tekniska krav (utdrag)

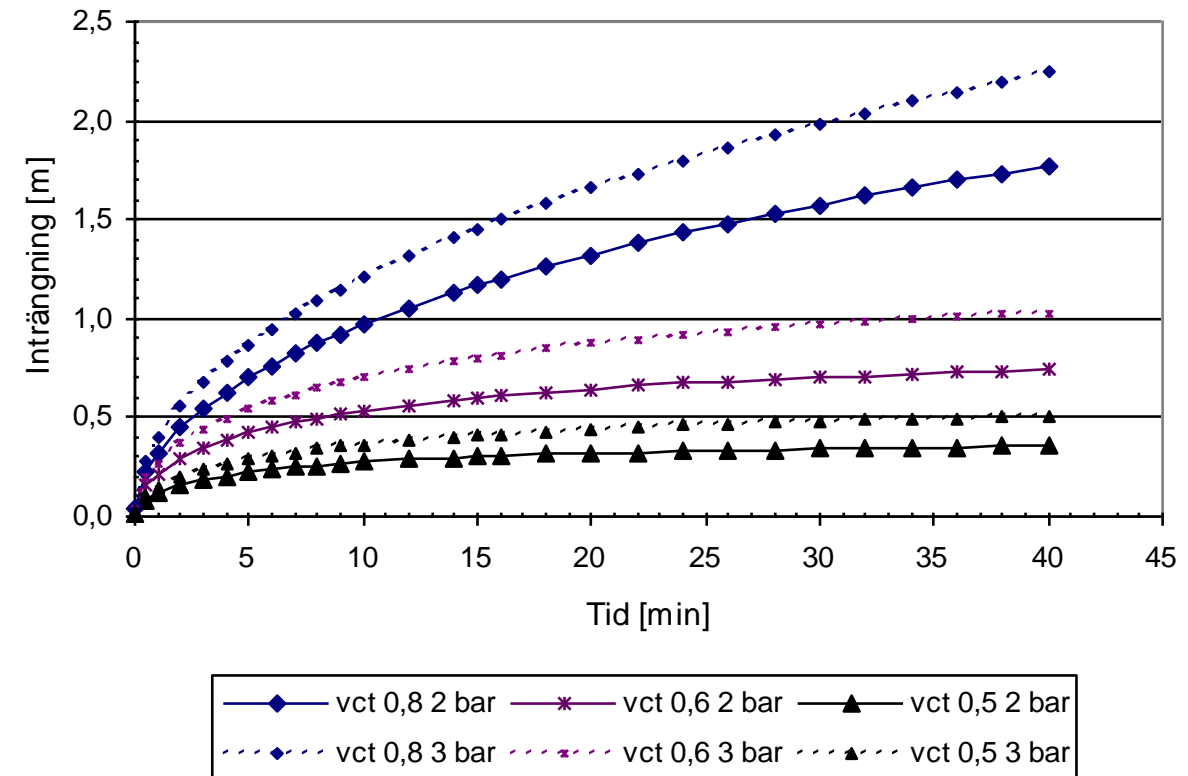
- Vattenförlustmätning :
 - injekteras om $>1 \text{ Lu}$ (l/min, m, MPa)
 - samma tryck som vid injektering
- Utrustning:
 - hammarborrning
 - kolloidkvarn $>1750 \text{ varv/min}$
 - registrering tid, volym, flöde, tryck
- Material:
 - förprovning av tre olika vct (0,5; 0,6; 0,8)
- Injektering:
 - injekteringstryck 2 resp. 3 bar
 - hålavstånd initieellt c/c 2m



Injektering – projektering – tekniska krav (utdrag)

- Inträngningslängd och injekteringstid:
 - vattenförlustmätningar > hydraulisk konduktivitet
 - beräkna en ekvivalent sprickvidd

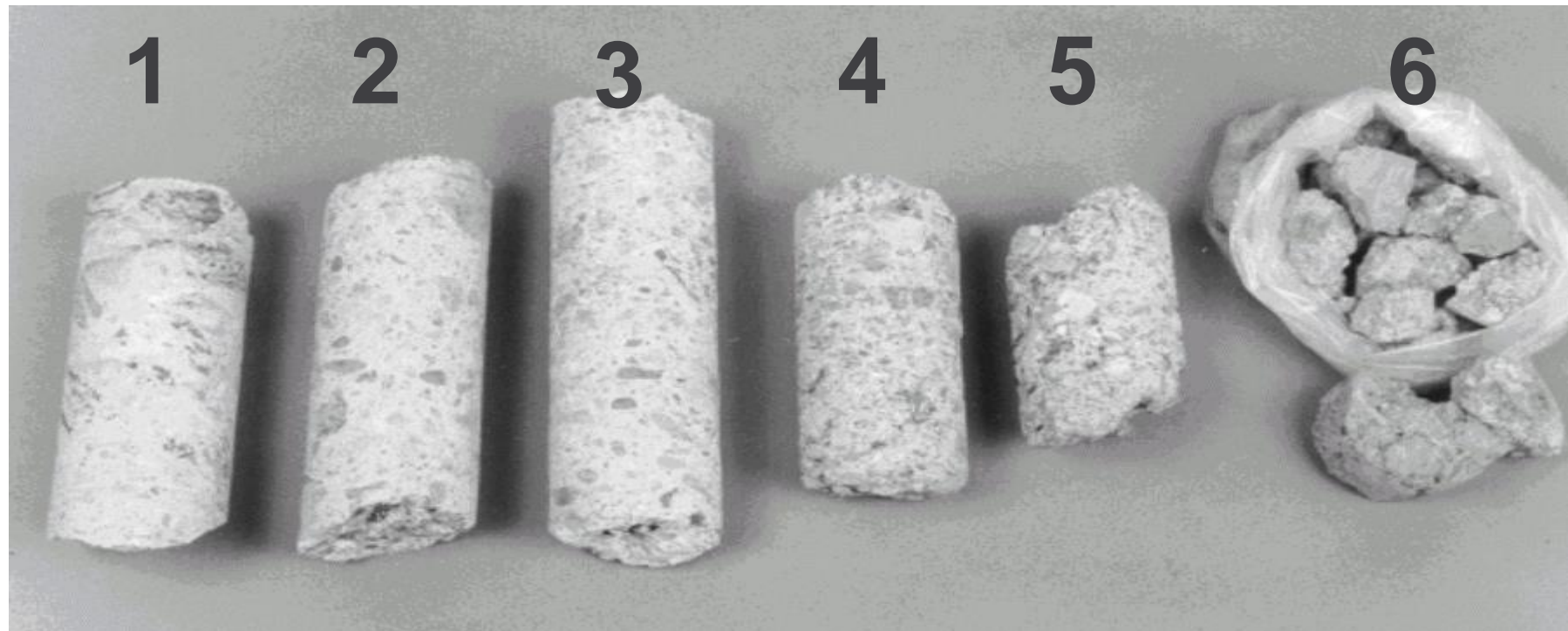
teoretiskt hålavstånd



Ekv. sprickvidd 90 μm [Zetterlund, 2010]

Injektering – projektering – tekniska krav (utdrag)

- Kärnkartering efter injektering :
 - ytterväggar, inga resultat i klass 5 & 6
 - mellanväggar, inga resultat i klass 6
- Vattenförlustmätning :
 - <1 Lu (l/min, m, MPa)



Injektering – projektering – upphandling

AFB.13 Ersättningsform; Utförandeentreprenad

EBJ.2 Injekteringskonceptet ska **kontinuerligt utvärderas** gällande uppnådd effekt och utförande i samråd mellan Beställare och Entreprenör. Eventuella justeringar kan avse **förändringar i valda värden på stoppkriterier eller förändrade bruksegenskaper**. Eventuell förändring av konceptet ska vara godkänd av Beställaren innan det tillämpas.

EBJ.21 För att uppnå en god spridning av cementbruket ska injektering **fortgå under en bestämd tid** för respektive hål. Genom att injektera varje hål en fast tid vid ett fast injekteringstryck ökar spridningslängden från respektive borrhål även för mindre öppningar där spridningen tar tid. Detta möjliggör borrning med **glesare hålavstånd**.

Injektering – förprovning

	Förprovning	Fortlöpande
Filterpump	x	x
Mudbalance	x	x
Marshkon	x	x
Vattenseparation	x	
Reometer	x	
Tryckhållfasthet	x	

- Injekteringscement: IC 30
- Flytmedel: Rheobuild 1000
- Pigment: Bayferrox 120N

1. Blandning med lab.utrustning för verifiering av krav
2. Blandning med entreprenörens egen utrustning i direkt anslutning till lab.

Filterpump



Mudbalance



Marshkon



Foto: P-E Thorsell

Injektering – fältarbeten – omgång 1

- Borrning
 - armeringstätheten gav problem
 - georadar
 - trånga utrymmen krävde kärnborrning



Foto: Tomas Sandström

Injektering – fältarbeten – omgång 1

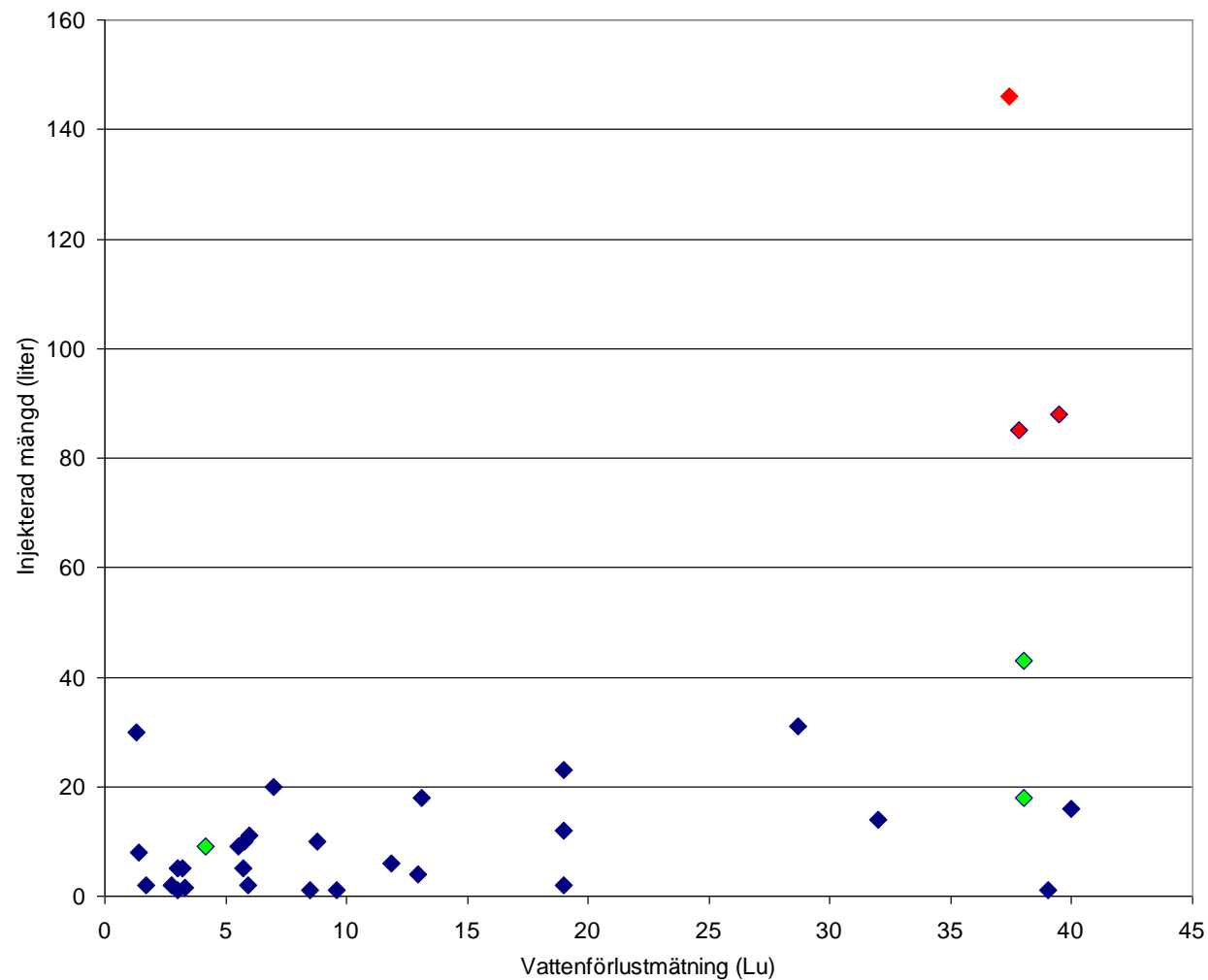
- Injektering
- lågtrycksutrustning



Foto: Tomas Sandström

Injektering – fältarbeten – omgång 1

- Injekteringsresultat
 - relativt liten bruksåtgång
 - kärnkartering underkänd



Injektering – fältarbeten – omgång 2

- Borring
 - mellanhålsborring ger c/c cirka 1 m generellt i nedre del
 - komplettering i områden med underkända resultat i övre del
- Injektering
 - tryckhöjning till 5 bar i nedre del
 - minsta trycktid utan tryckförlust höjs till 10 min (tid. 3min)
 - injekteringsrigg används



- Injekteringsresultat
 - markant ökad bruksåtgång
 - kärnkartering underkänd i nedre del, godkänt i övre



Foto: Tomas Sandström

Injektering – fältarbeten – omgång 3

- Borrning
 - mellanhålsborrning ger c/c cirka 0,5 m generellt i nedre del
- Injektering
 - minsta trycktid utan tryckförlust sänks till 5 min då ingen effekt noterats



- Injekteringsresultat
 - likvärdig bruksåtgång som omgång 2
 - kärnkartering underkänd i nedre del

Injektering – fältarbeten – summering och fortsatt arbete

- Svårt att lokalisera defekter och deras utbredning
- För låga tryck och för stora hålavstånd användes initialt
- Viktigt att fortlöpande provning av färskt bruk genomförs dagligen
- Georadar minskade antal omtag p.g.a. armering
- Sommaruppehåll av miljöskäl
- Utvärdering om målkriteriet är möjligt att nå



Inriktningsbeslut

Injektering – fältarbeten – Inriktningsbeslut

- Hål vattenförlustmäts innan injektering. Detta bidrar även till en god renspolning av hålen. Alla hål med vattenförlust > 0 Lu injekteras.
- Cementbrukets vct höjs från inledande vct 0,8 i första omgången och 0,7 i andra omgången till vct 0,9 i första och 0,8 i andra.
- Tiden som man ska avvakta innan injektering avbryts ökades från 3 min till 5 min utan flöde.
- C/C-avståndet för första omgången minskades till 1 m under nivå +9,0. Mellanliggande hål för andra omgången borras med c/c 1 m vilket innebär ett c/c på 0,5 m mellan första och andra omgångens hål.
- I områden med mycket dålig betong (solfjädern) kunde nivåinjekteringar utföras om det krävdes (främst med avseende på hålstabiliteten).
- I de nedre delarna av konstruktionen (under nivå +9) höjdes tillåtet injekteringsövertryck till 5 bar.
- Industrisug började användas för att suga upp vattnet från nedåtgående hål, främst i solfjäderhål

Injektering – fältarbeten – omgång 4

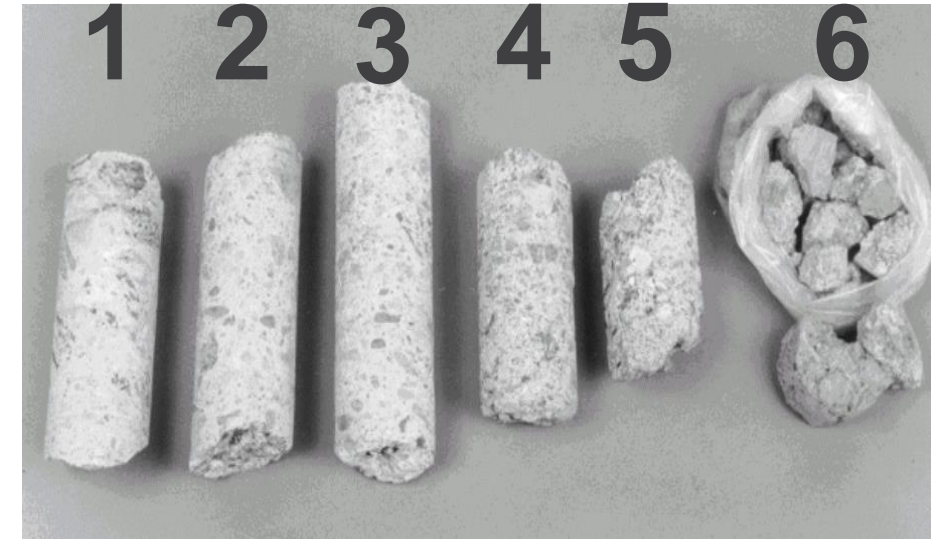
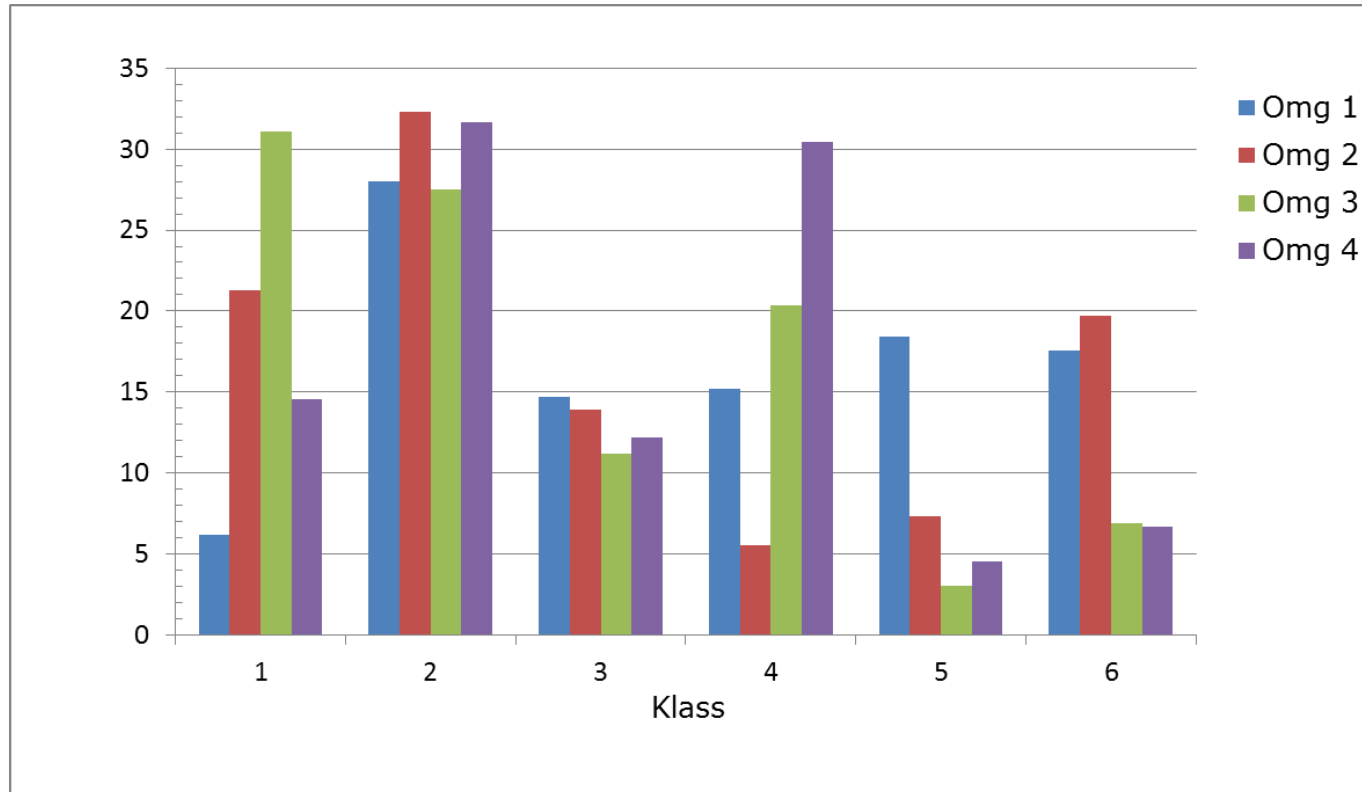
- Borring
- förtätning i nedre del, från sumpbotten och cirka 4 meter upp
- Injektering
- Liknande som för omgång 3, områdes-/hålspecifik injektering pga av samband mellan hål



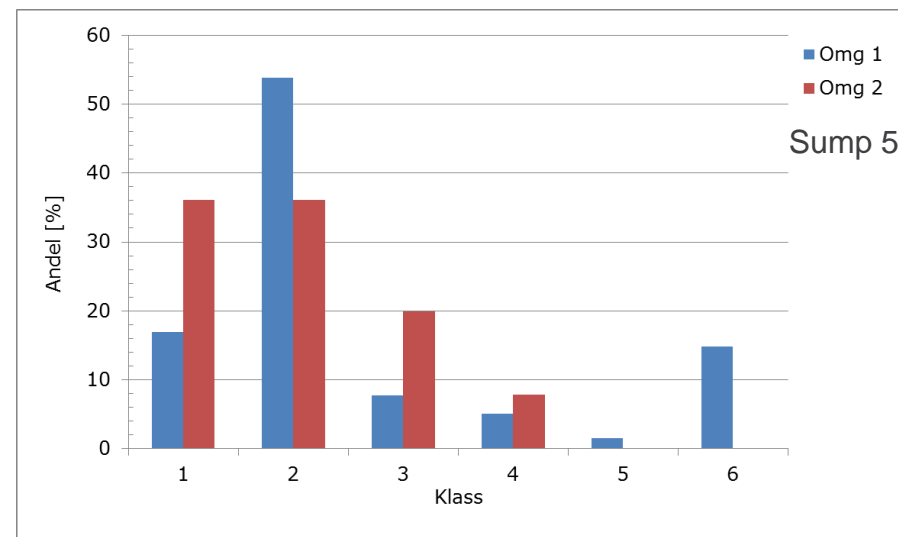
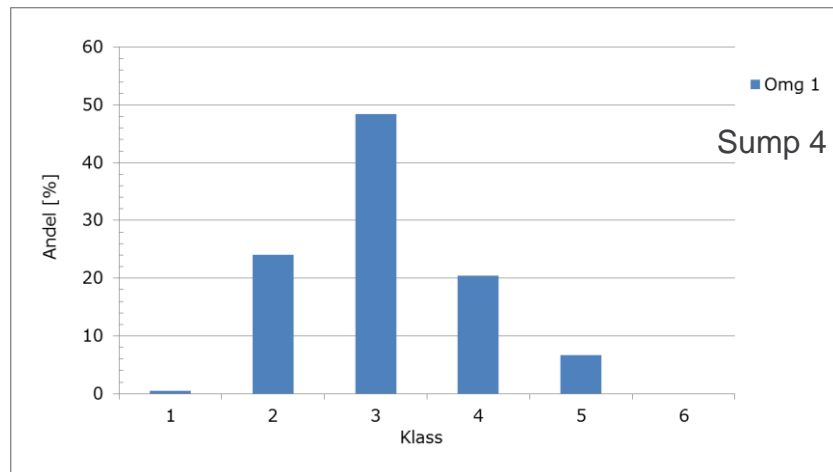
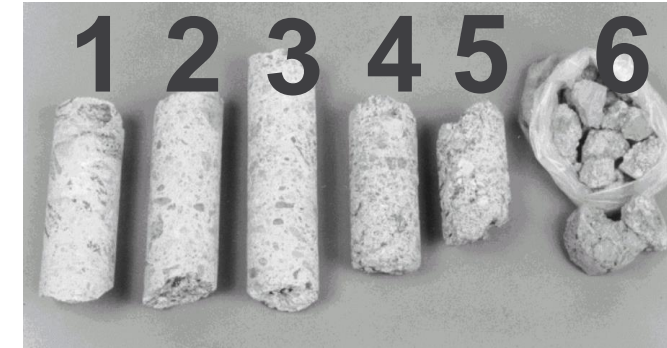
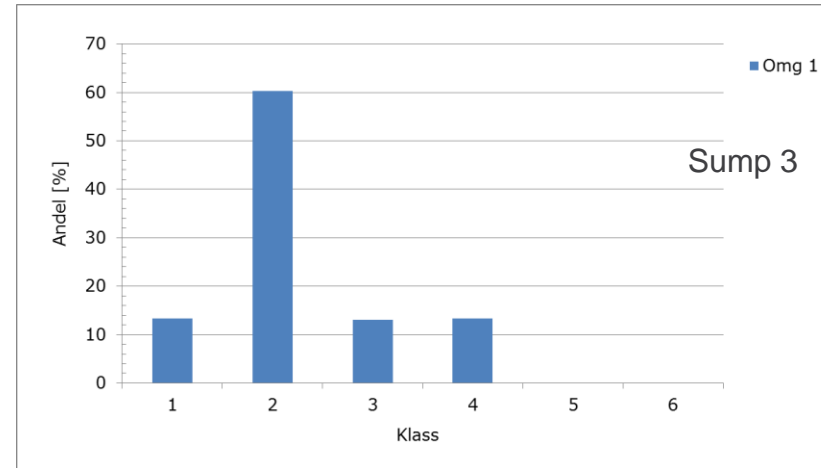
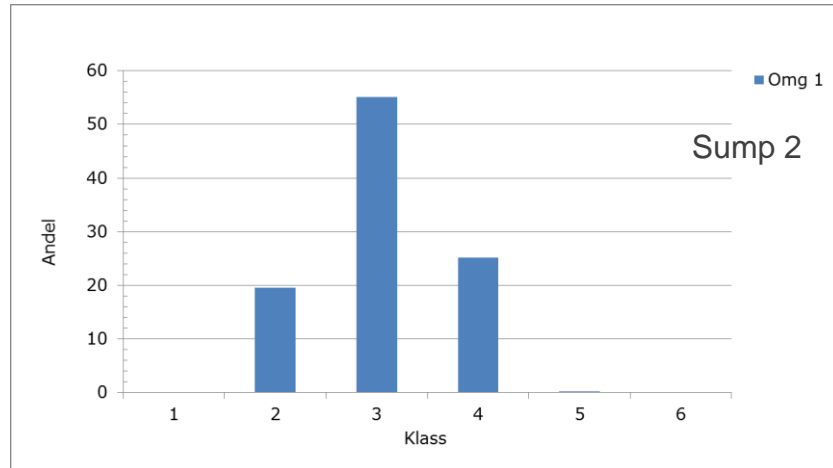
- Injekteringsresultat
- bruksåtgång cirka 50% mer jämfört med omgång 3
- efter 4:e omgången fattades beslut om att inga fler omgångar skulle injekteras i sump 1 (ALARP)

Blev det inget bättre alls då ??????

Injektering – fältarbeten – sump 1



Säsong 2 – fältarbeten - sumpar 2-5



Injektering – lärdomar för framtiden

- Förprovning utslagsgivande (utrustning, pigmentering, korrelation lab- / fältprovning)
- Val av pigment viktigt (kornstorleken)
- Ritningar/dokumentation och verklighet stämmer inte alltid – Var försiktiga!
- Injekteringsbruk tar "lättaste" vägen, var aktsam och försök identifiera läckvägar – Ronda!
- Arbetsmiljön – borring på ställning i trånga utrymmen medför arbetsmiljörisker – Platsnärvaro och skyddsronder!
- Succesiv uppföljning och justering av injekteringskoncept nödvändigt
- Gott samarbete med beställare – konsult – entreprenör avgörande
- Övergång till löpande räkning en framgångsfaktor för kvaliteten

SWECO 





Järpströmmens kraftverk

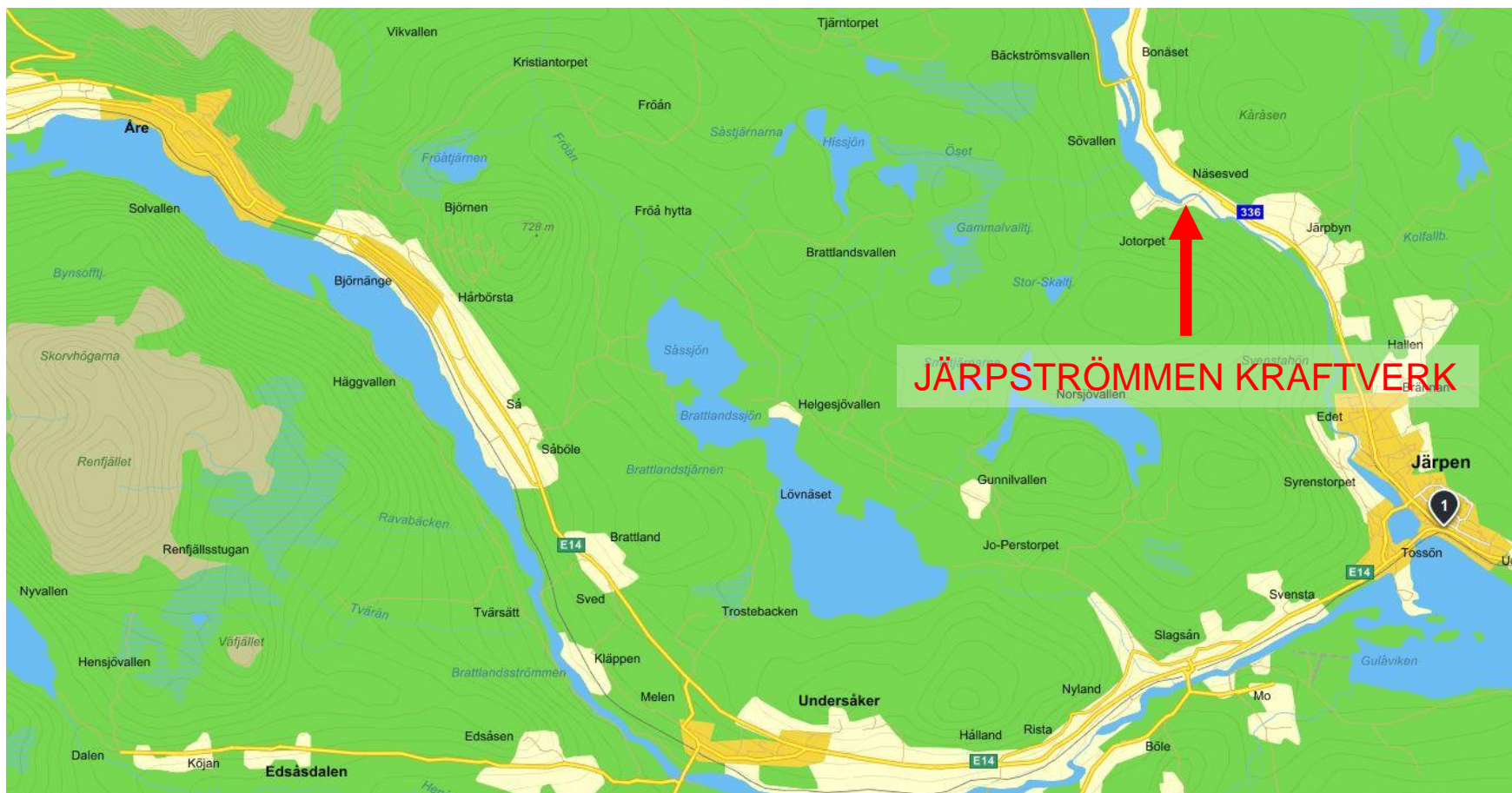
Betongreparation mm 2008 - 2012

SwedCOLD 2016-04-12

Innehåll

1. Bakgrundsfakta
2. FDU – Allvarliga och mindre allvarliga brister
3. Kort genomgång av brister
4. Förutsättningar vid anläggningen
5. Konstruktionslösningar
6. Summering

Järpströmmen - Läge



Järpströmmen - Anläggningsdata

Kraftverket togs i drift 1944.

Dämningsgräns +383,25, sänkningsgräns +380,0.

Underjordsstation.

Fallhöjd 65 m.

Utloppstunnel ca 7 km.

Turbinvattenföring 220 m³/s.

Järpströmmen – Byggnadsdelar



Järpströmmen – FDU 2002-11-13

Dammen klassificerades som en Klass 1A.

Allvarligaste anmärkningen;

Otillräcklig avbördningsförmåga.

Mindre allvarliga anmärkningar;

Dålig betong.

Dålig tillgänglighet - smala broar med otillräcklig bärighet över utskoven.

Åtgärdsförslag;

Bygga om flottningsutskovet, reparera betongen, och anlägga en tillfartsväg till dammens nedströmssida.

Järpströmmen – Bristande avbördningsförmåga

Beräknad avbördningskapacitet vid DG ca 625 m³/s.

HQ 216 m³/s

HHQ 572 m³/s

Klass I tillrinning 1 115 m³/s

Enligt en avbördningsberäkning skulle Klass I tillrinningen dämpas i Kallsjön och resultera i avbördningen ca 800 m³/s vid Järpströmmen.

Nivån framför dammen skulle då stiga till +383,61.

Järpströmmen – Dålig betong



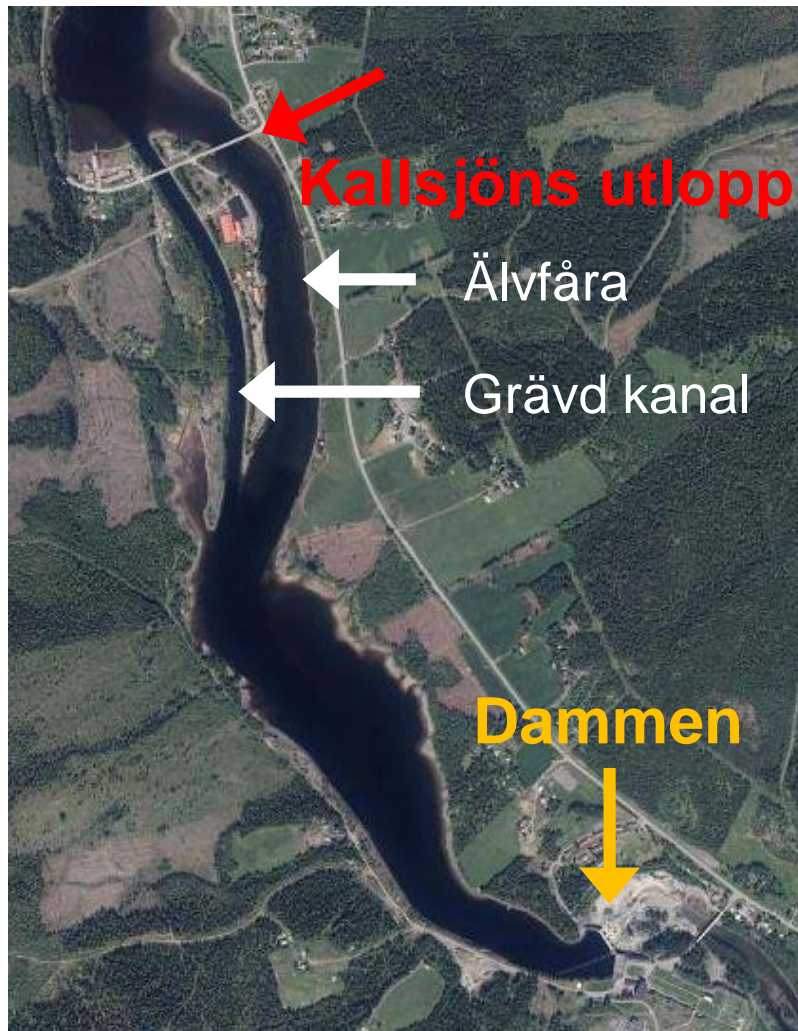
Betongkärnor från provtagning 1990.

Järpströmmen – Dålig tillgänglighet



Befintliga broar
är smala och har
låg bärighet
”gångbroar”

Järpströmmen – Avbördning - inte bara utskov



Klass I tillrinning till Kallsjön 1115 m³/s. Kapacitet vid DG 540 m³/s
Kallsjöns area 160 km².

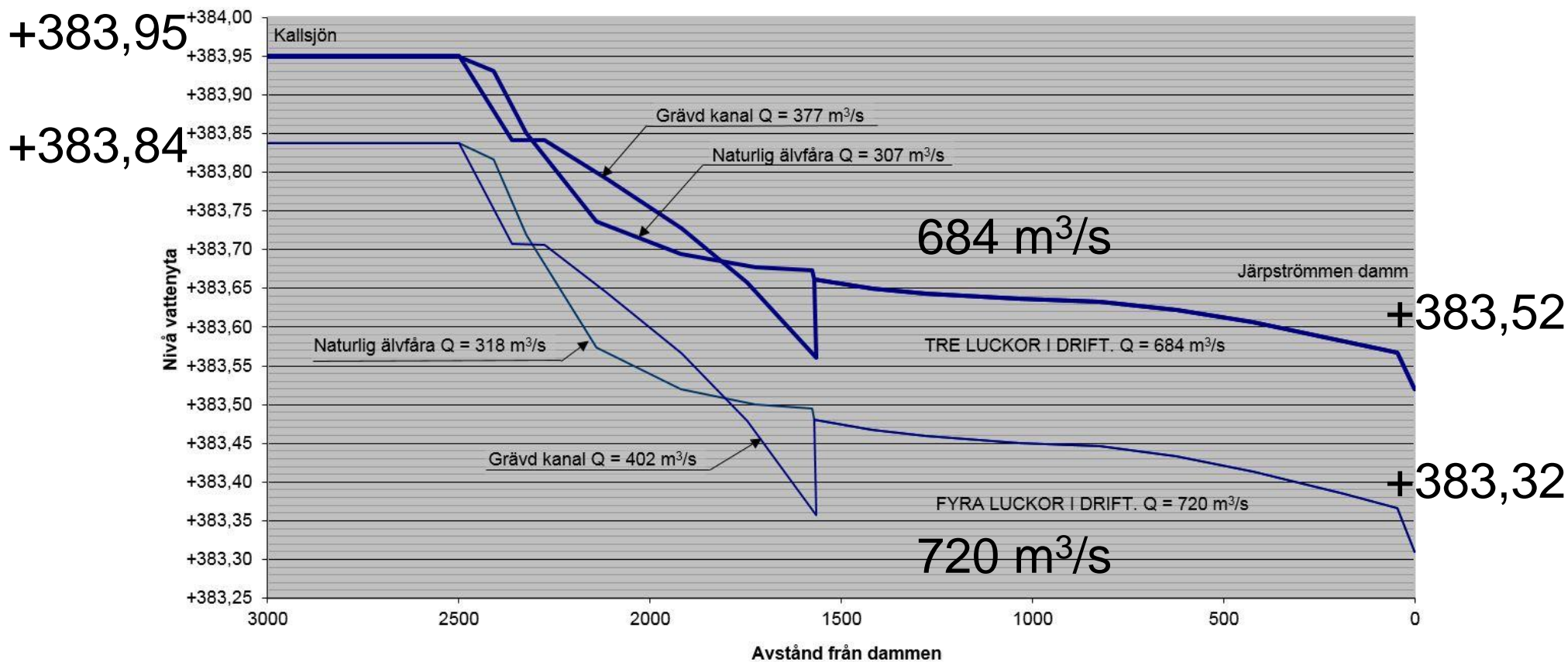
Flödesberäkningen förutsatte samma nivå vid dammen som i Kallsjön.

Vid Kallsjöns utlopp finns en bestämmande sektion. Avståndet från Kallsjöns utlopp till dammen är ca 2,2 km.

Fallförlusterna är betydande.

Järpströmmen – Forsnacke och förluster

Vattenyta mellan Kallsjön och Järpströmmen damm vid avbördning av klass I flöde med tre respektive fyra luckor i drift.



Järpströmmen – Okulär inspektion av betongskador



Anslutning mellan lamelldamm och regleringsdamm.



Läckage även långt nedströms i pelarna.

Järpströmmen – Betongprovning 2008



Skadedjup < 300 mm utom i partier med synliga sprickor och urlakning.

Tryckhållfasthet > 70 MPa.
Spräckhållfasthet 2,5 – 3,9 MPa.
Begynnande AKR men ingen gel.



Järpströmmen – Renoveringens omfattning

Utifrån ovanstående kom renoveringen att omfatta:

Igensättning av flottningsutskovet

Betongreparation

Ny bro över dammen

Höjning av lamelldammen

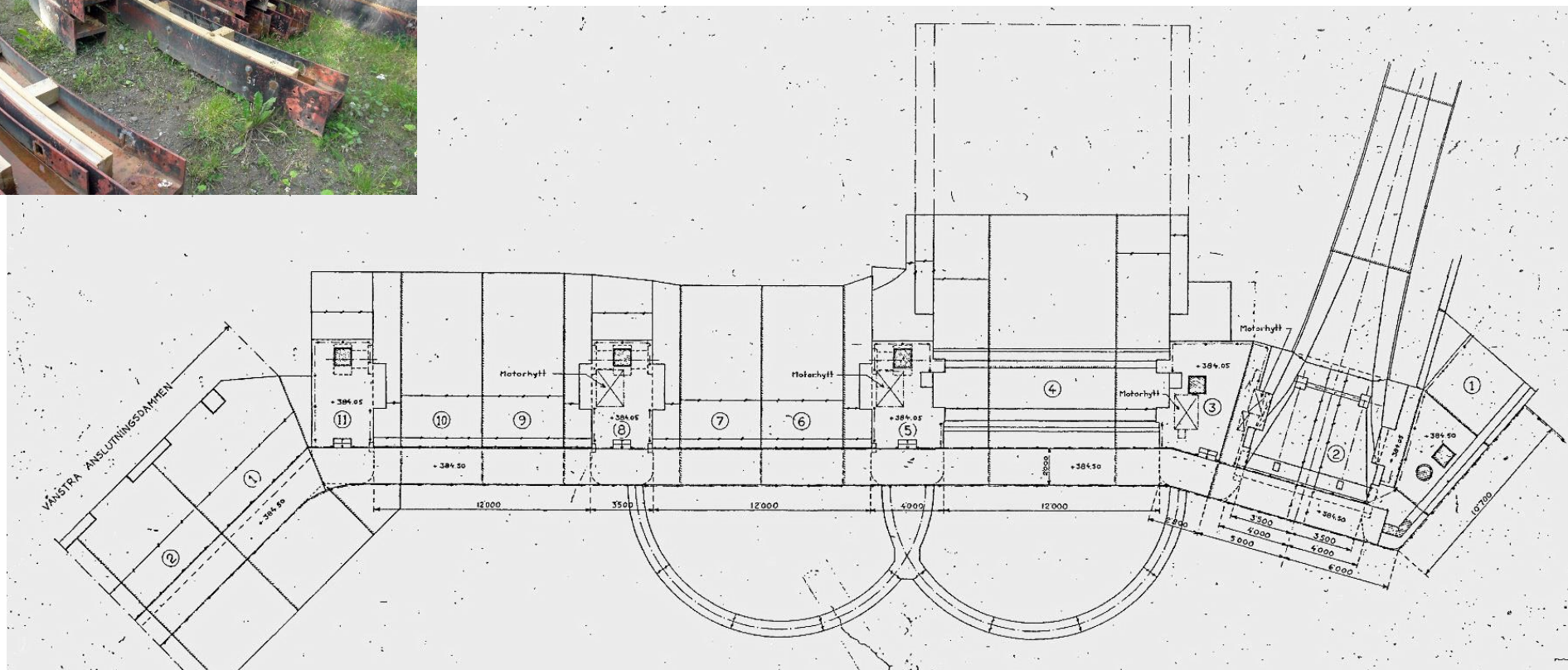
(Den var stabil för islast 50 KN/m men inte för 200 KN/m)

Renovering av de två segmentluckorna och sektorluckan

Järpströmmen – Förutsättningar för reparationsarbete



Utdrag från ritning 6V21-001



Järpströmmen – Konstruktionslösning

Betongskadorna var orsakade av upprepad frysning.

Skadedjup < 300 mm utom i zoner med läckage och urlakning.

Konstruktionslösning;

Bila bort betongens skadade ytskikt och ersätta med ny betong.

Nominellt bilningsdjup 200 mm.

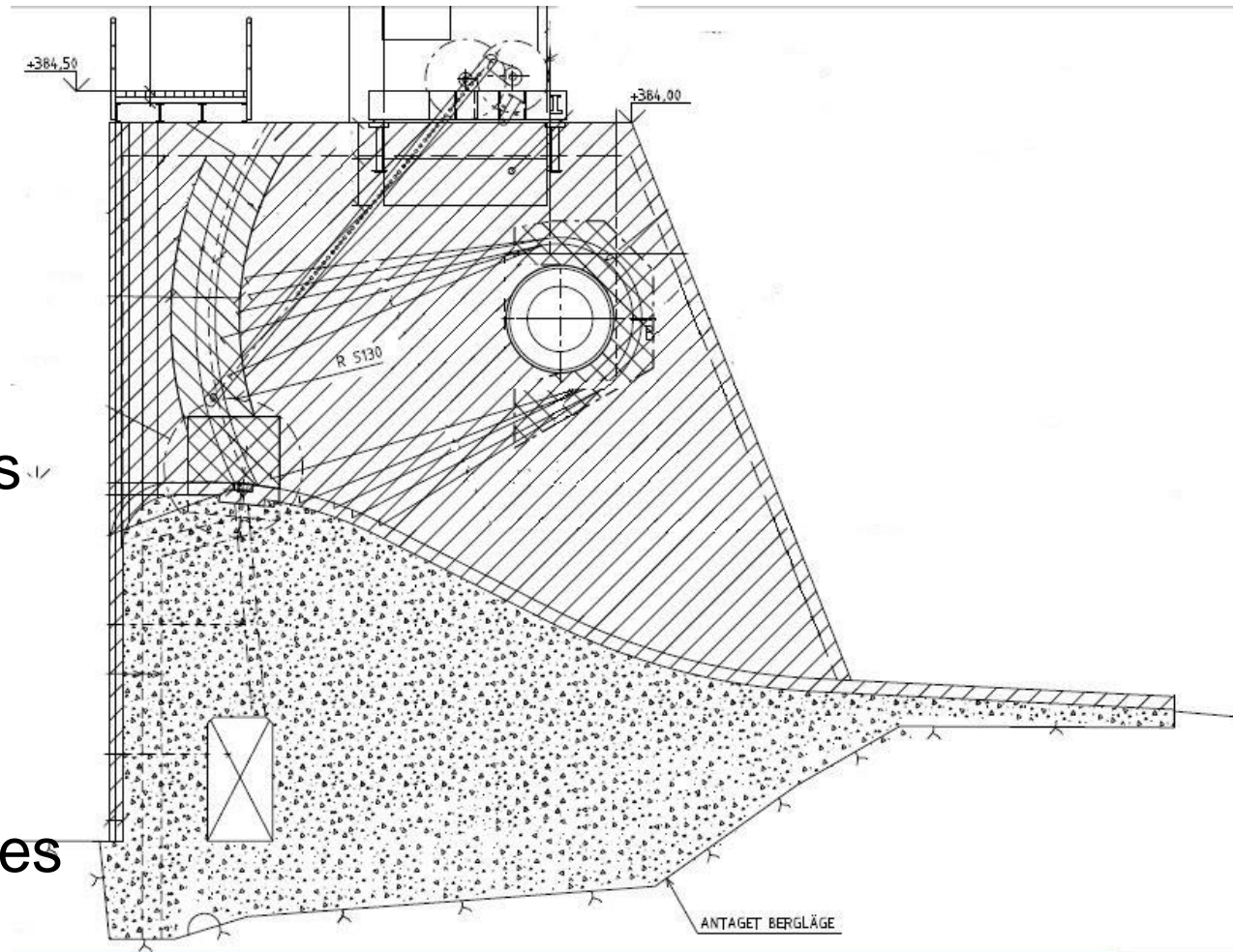
Så vitt möjligt skulle arbetet utföras i torrhet bakom bågsättar.

Järpströmmen – Bilning utskov

Skibord och pelarsidor vattenbilades ca 200 mm. Djupare bakom falsar och lager.

De första utskoven bilades uppströmssidan ner till grundläggningsnivå.

Betong under SG i bra skick. Sista utskovet bilades till strax under tröskeln.



Järpströmmen - Vattenbilning



Svaghetszoner framträder tydligt efter vattenbilning. Här i anslutningen mellan lamelldamm och utskovsdelen har det troligen funnits en läckväg i en gjutfog och betongen har lakats ur.

Järpströmmen – Befintlig armering



Vintertid försvåras vattenbilning.

Armeringen "rörig" på grund av de reparationsarbeten som har utförts vid olika tillfällen under åren.

Järpströmmen – Ballast och AKR

Närmaste betongstation levererar betong med en ballast vars innehåll av alkalikiselreaktiv eller potentiellt alkalikiselreaktiv ballast är knappt 60 %.

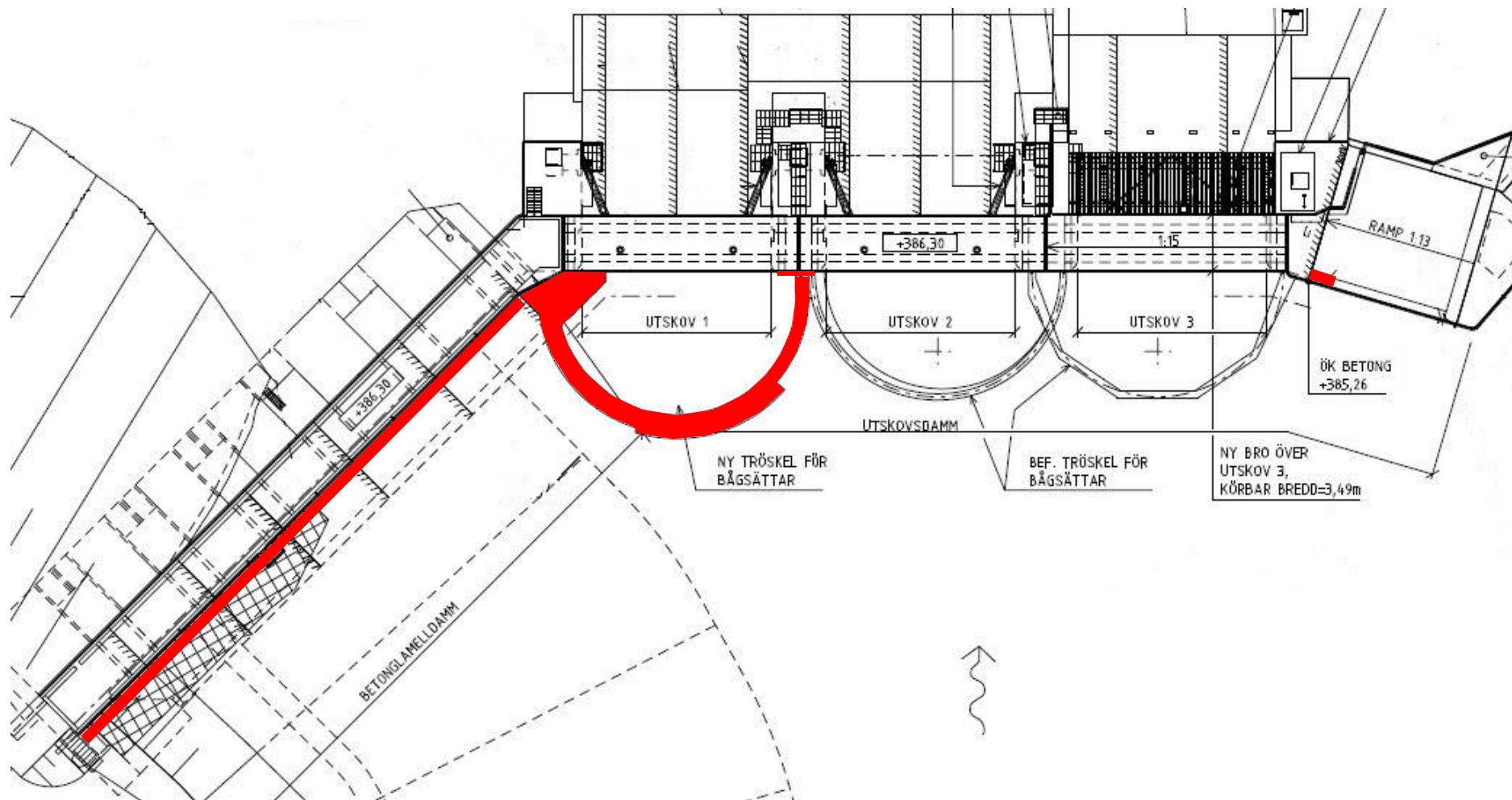
I regelverket kunde man läsa att en betong där mängden reaktivt eller potentiellt reaktivt material $< 15\%$ eller $Ca_{E_{kv}} < 3 \text{ kg/m}^3$ skulle vara OK. Men normen säger samtidigt att dessa säkerhetsåtgärder i *allmänhet* är tillräckliga men att varje betongrecept måste utvärderas. Det enda man kan anses säkert är betongrecept som prövats under lång tid och där det finns en beprövad erfarenhet.

Garantitiden är 5 år, livstiden är över 100 år.

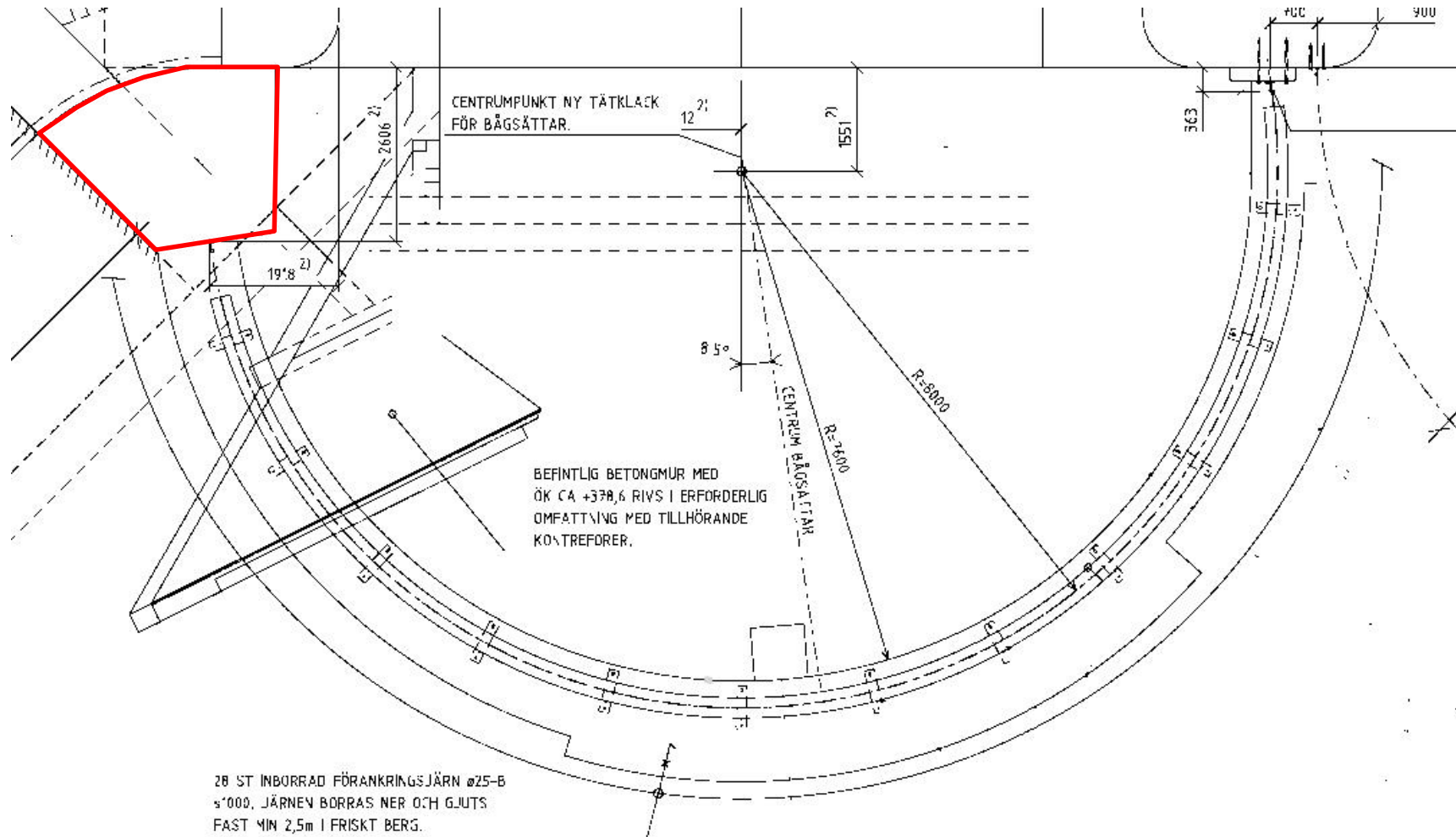
För Järpströmmen beslöts att hämta ballast från andra täkter.

Merkostnad 400 – 500 kr/m³.

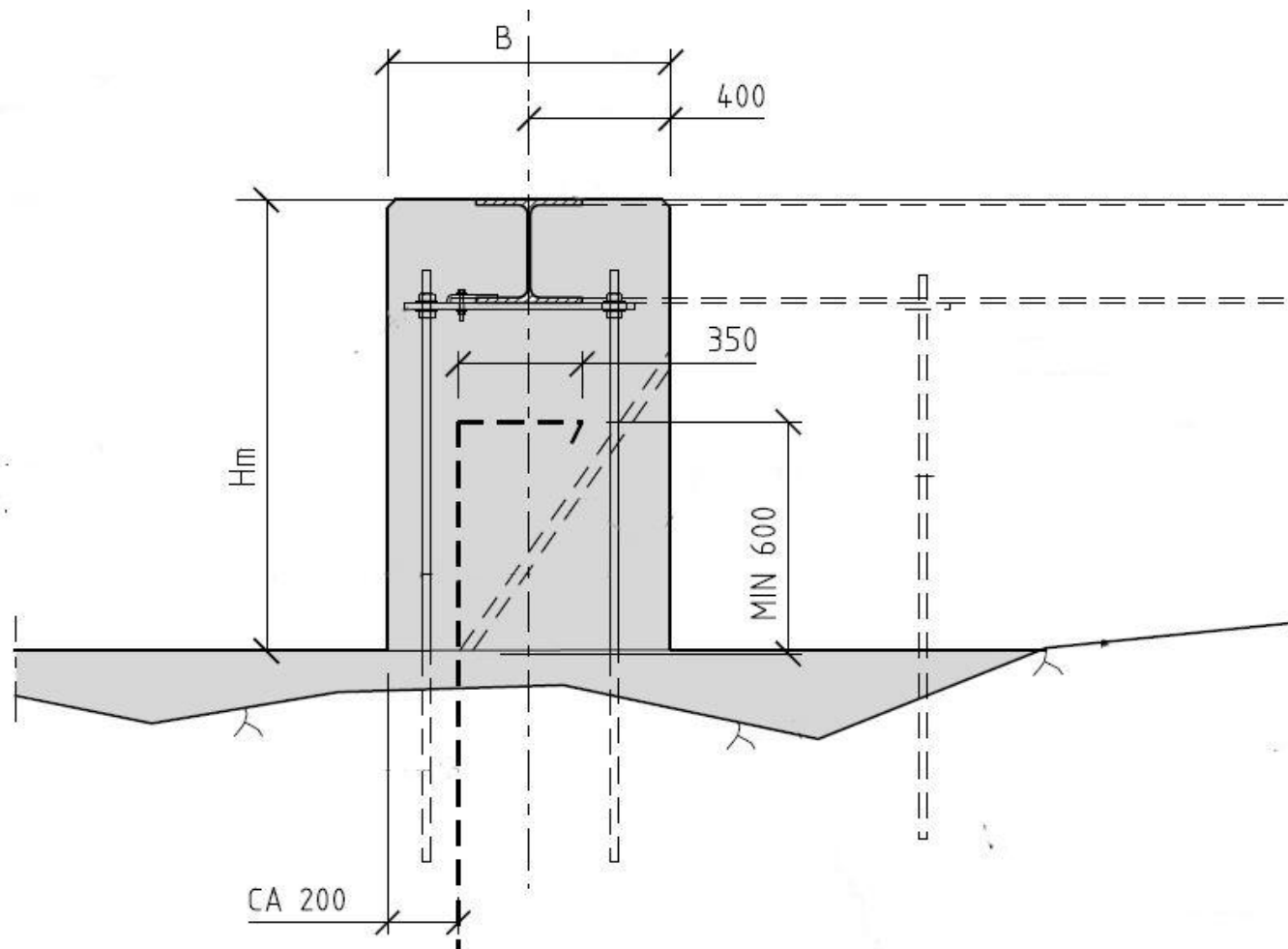
Järpströmmen - Undervattensgjutning



Järpströmmen – Ny tröskel för bågsättar

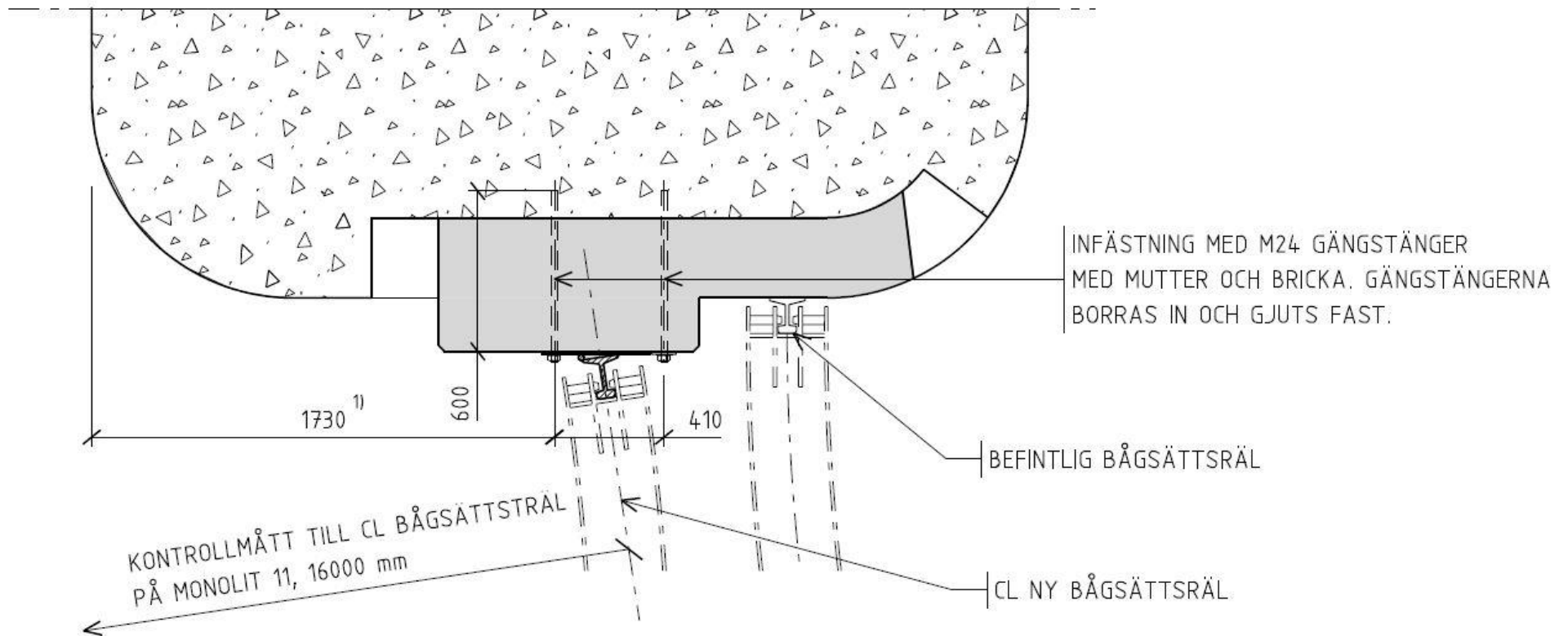


Järpströmmen – Tröskel för bågsättar

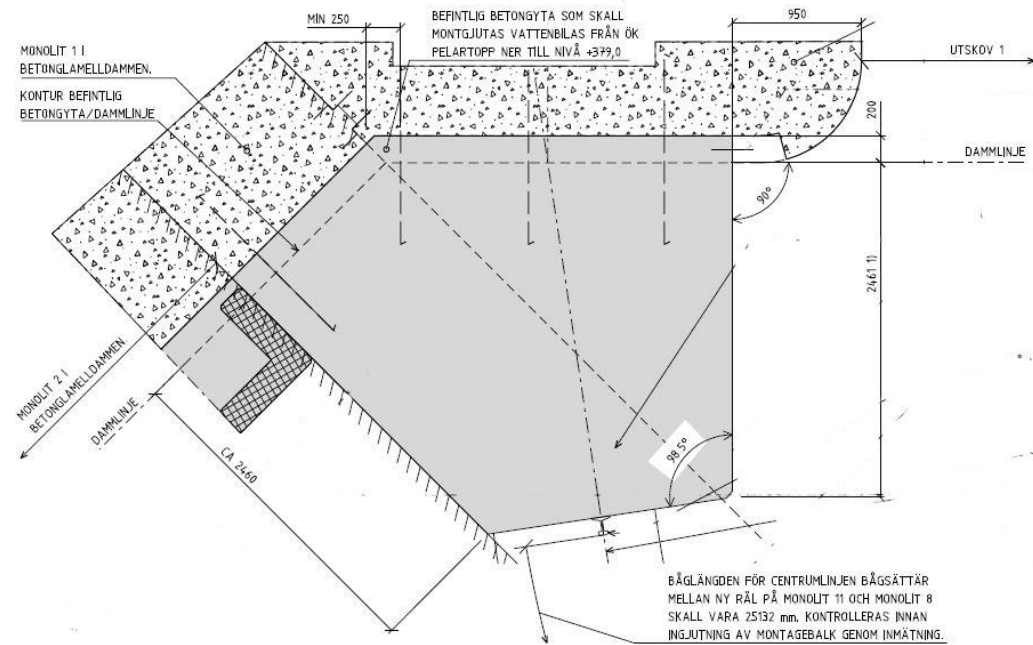
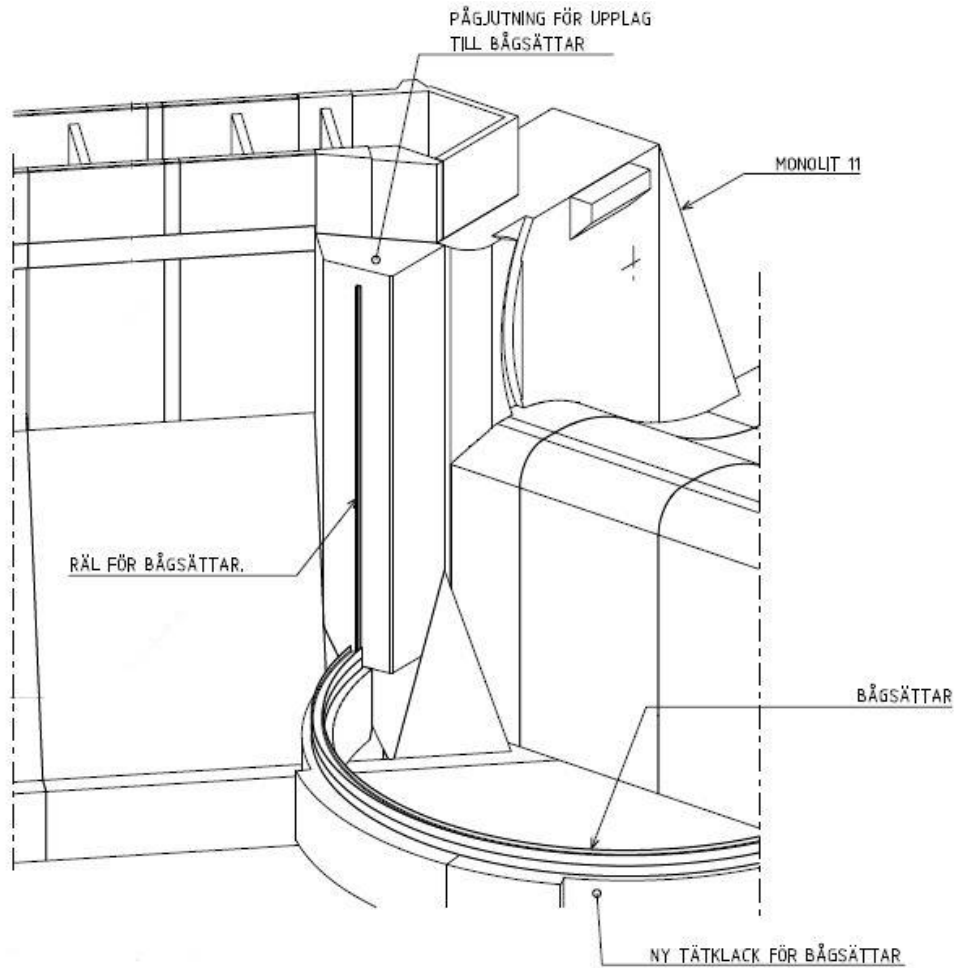


Tröskeln fick enklast möjliga utformning där bredden varierade beroende på höjden. Tröskeln göts med konventionell UV-betong.

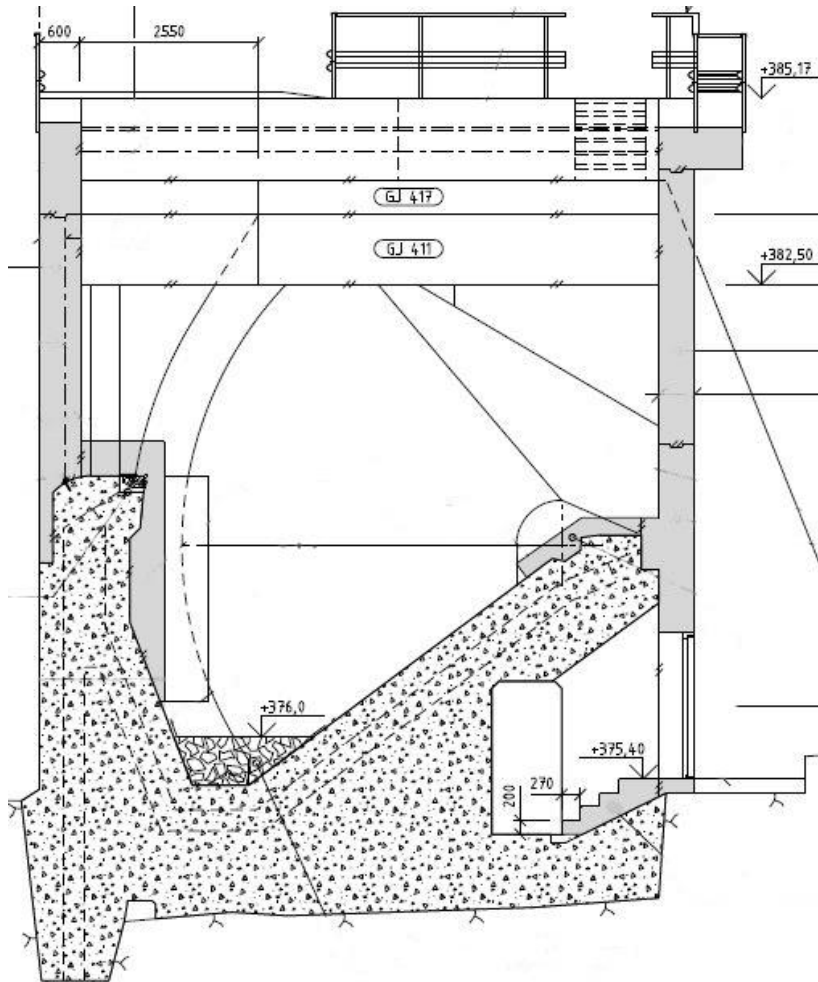
Järpströmmen - Höger anfang för bågsättar



Järpströmmen – Vänster anfang för bågsättar



Järpströmmen – Igensättning av flottningsutskov



Väggar göts upp- och nedströms.

Utrymmet emellan fylldes bl. a. med bilningsrester.

En mindre del av väggen uppströms göts som undervattensgjutning.

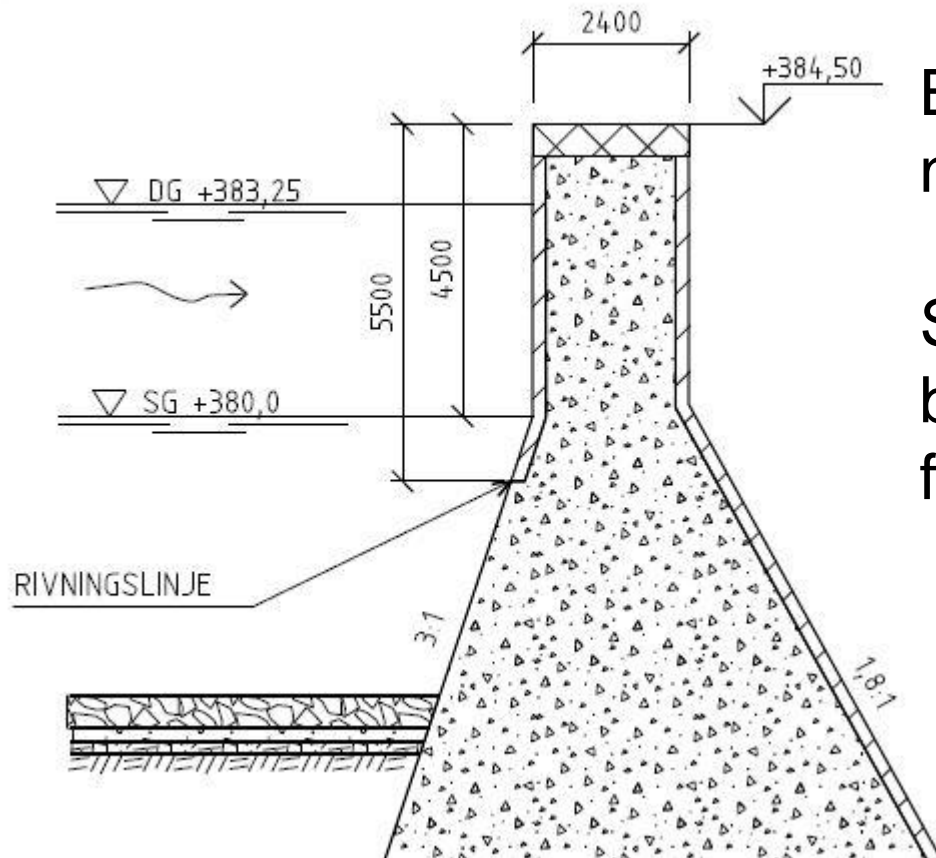
Resten färdigställdes bakom en kassun.

Järpströmmen -



Upphängning av kassunen komplicerades av att lasten kunde utgöras dels av egenvikt vid upphängning dels av upptryck när kassunen torrlades.

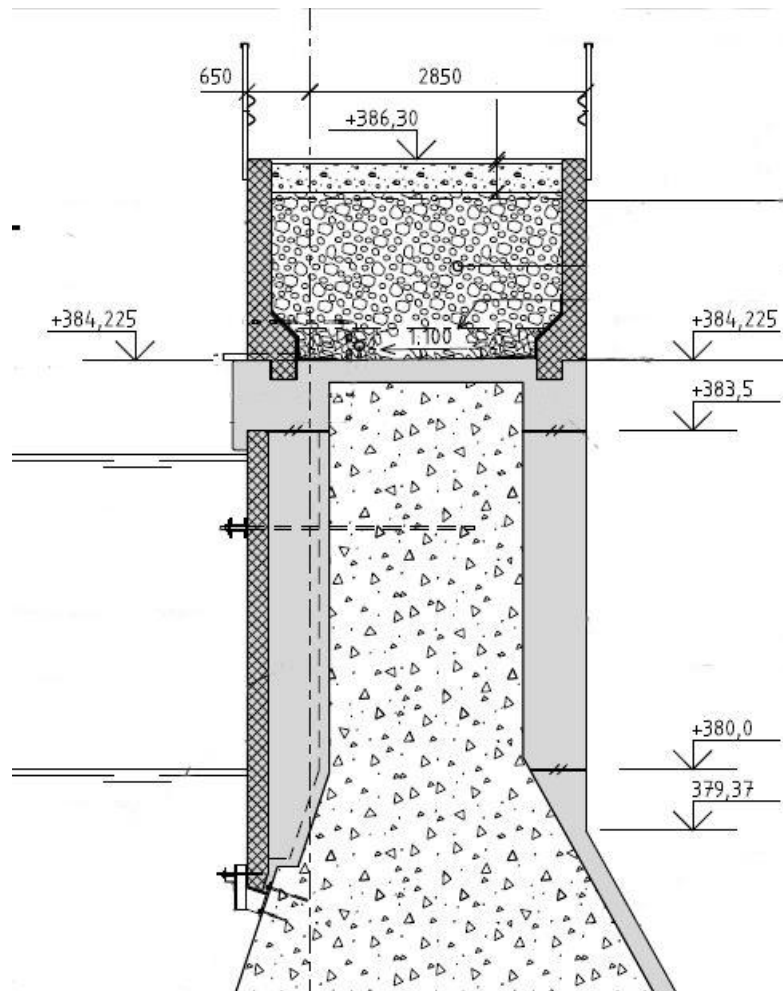
Järpströmmen – Lamelldammen - Rivning



Bilning av lamelldamm uppströms, nedströms och krön.

Siltskärm på uppströmssidan vid bilning under vatten för att förhindra grumling.

Järpströmmen – Lamelldammen - Pågjutning



Prefabricerade element kom till användning på uppströms-sidan för att undvika formsättning under vatten och för höjning av dammen.

Bilningsrester användes som fyllning och överytan asfalterades.

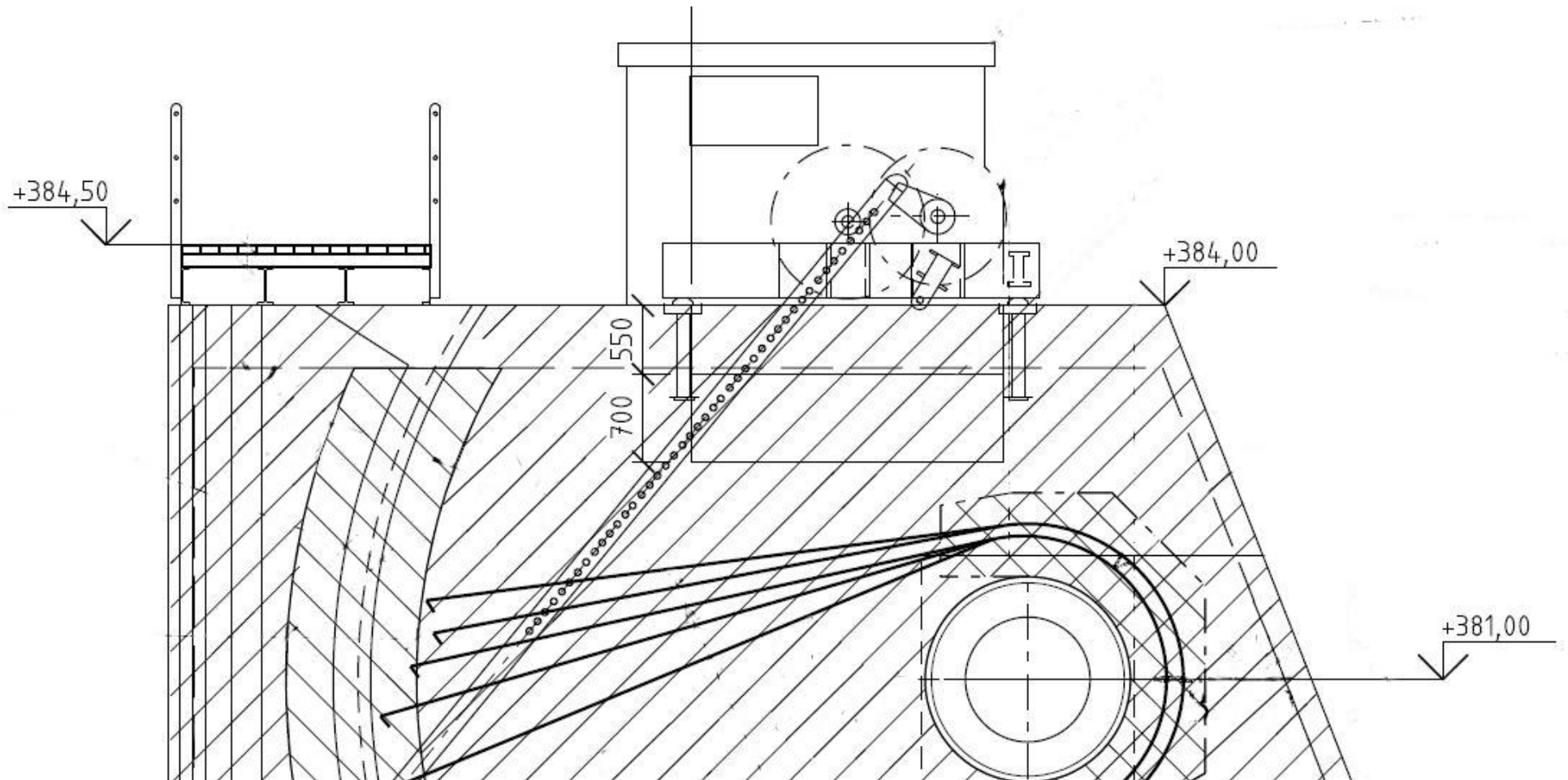
Järpströmmen - Lamelldammen



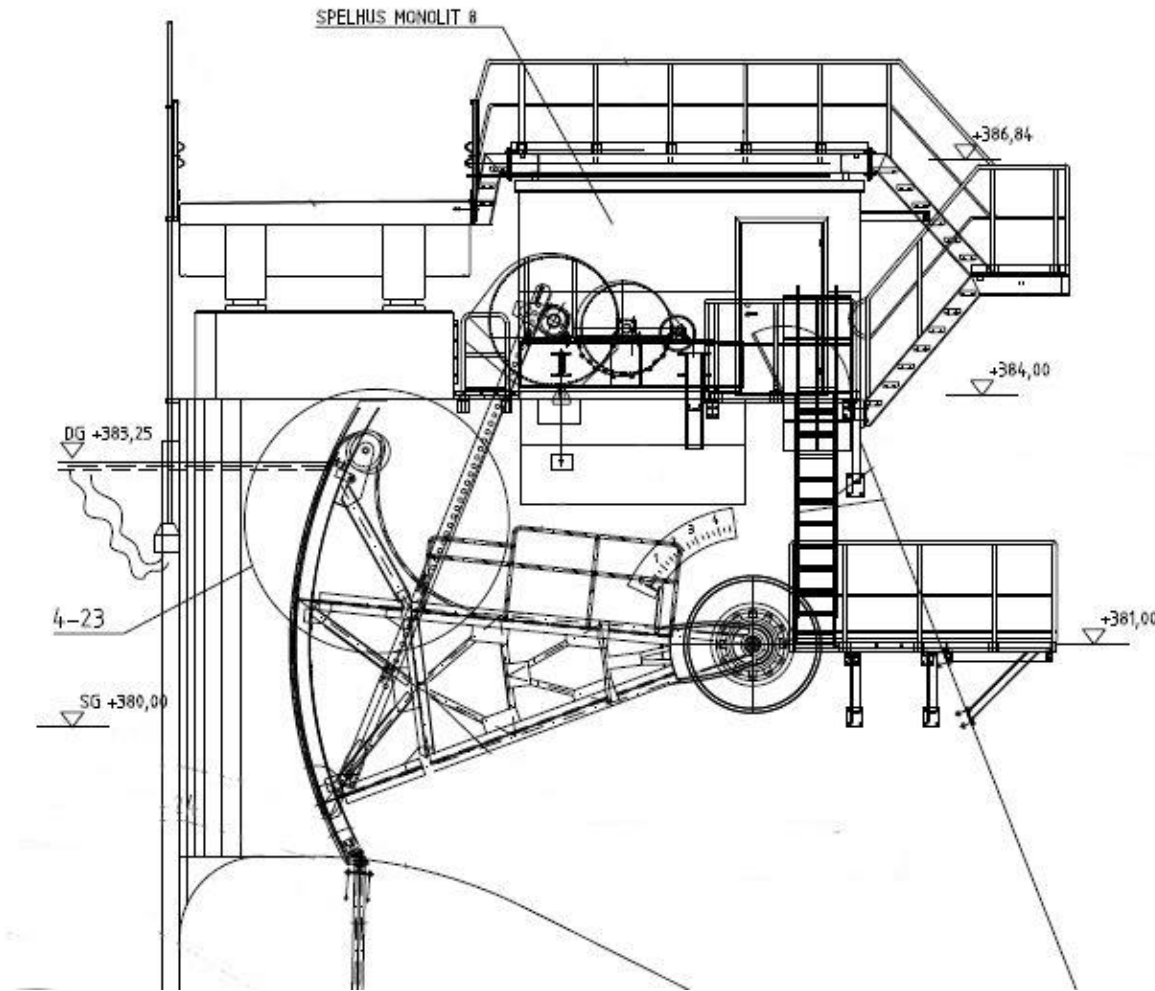
Prefab-element har installerats på uppströmssidan.

Problem uppstod då anliggningsytan inte var fullt så rak som vi hade förutsatt.

Järpströmmen – Bro och pelare före ombyggnad



Järpströmmen – Bro efter ombyggnad



Det fanns egentligen inte plats för en bredare bro på pelar-toppen.

Genom att lyfta bron 1,8 m kunde den breddas nedströms åt utan att kollidera med luckan.

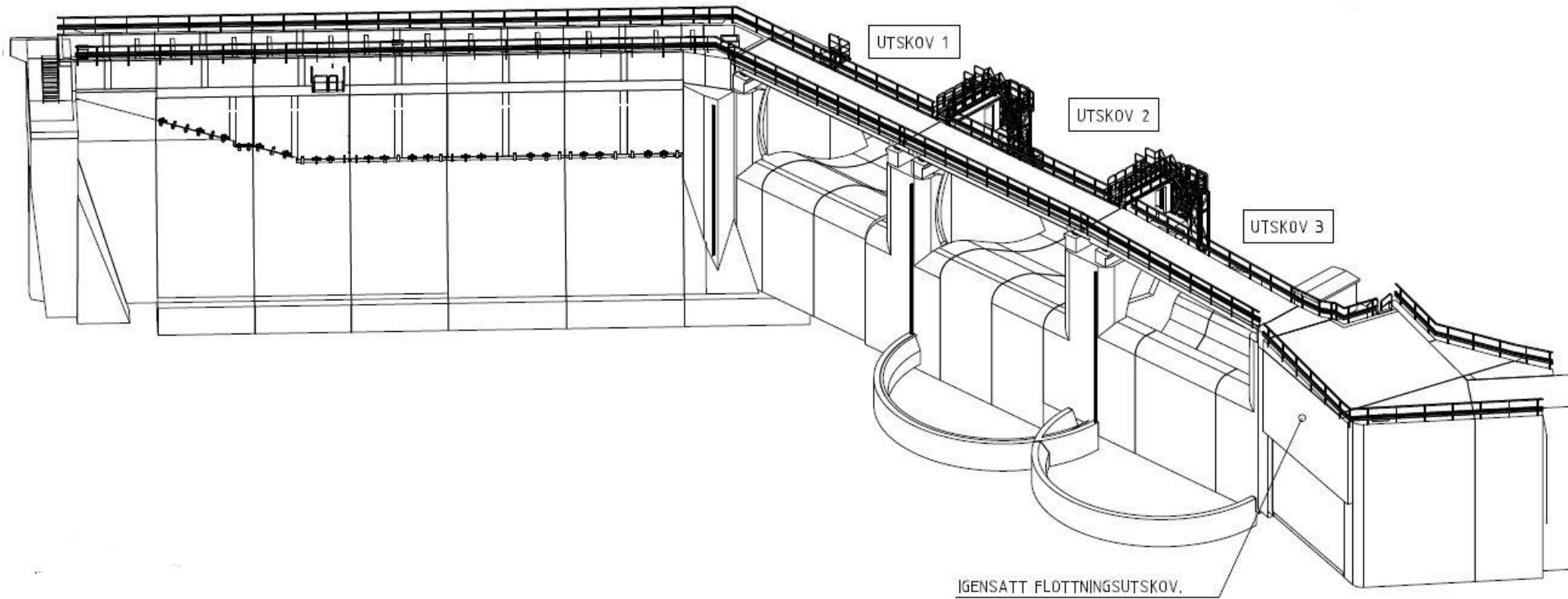
Järpströmmen – Ny bro, nytt spelhus, ny gångbro



Tillträdet till spelhuset via en gångbro över taket.

Taket kan lyftas av om man behöver lyfta ut tunga delar för reparation eller utbyte.

Järpströmmen – Dammen efter ombyggnad



Järpströmmen – Efter ombyggnad



Järpströmmen – Summering

Se helheten från början.

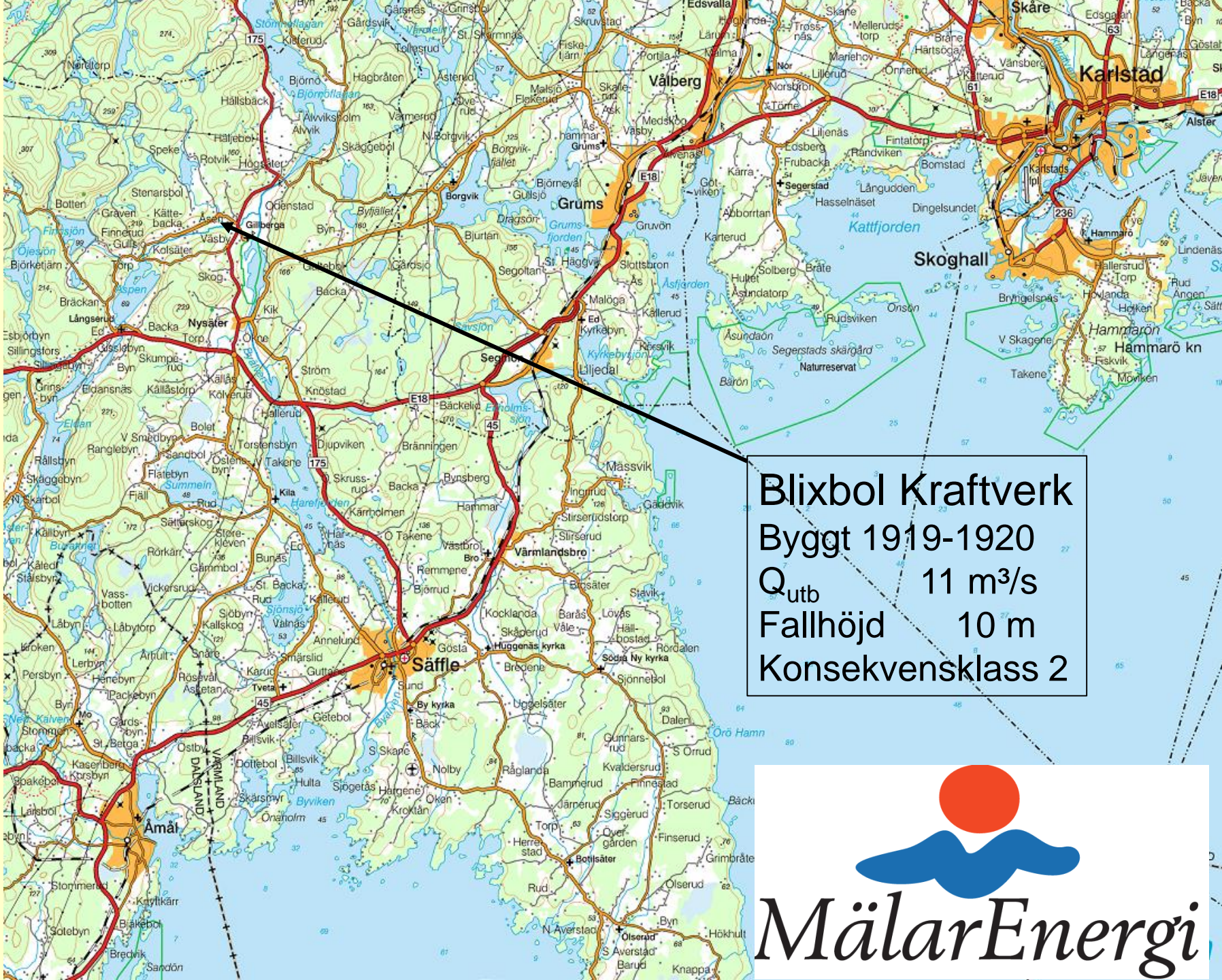
Om det finns bågsättar – var rädd om dem!

Tänk på livslängden – använd anläggningsciment och ställ krav på lågt innehåll av reaktivt material i ballasten.

Tack för uppmärksamheten!

BLIXBOL KRAFTVERK

Upprustning av en betongdamm
inför 100-årsdagen



Blixbol Kraftverk
Byggt 1919-1920
Q_{utb} 11 m³/s
Fallhöjd 10 m
Konsekvensklass 2



VATTENMÅL

RÖRANDE

VATTENVERK VID BLIXBOL

AV

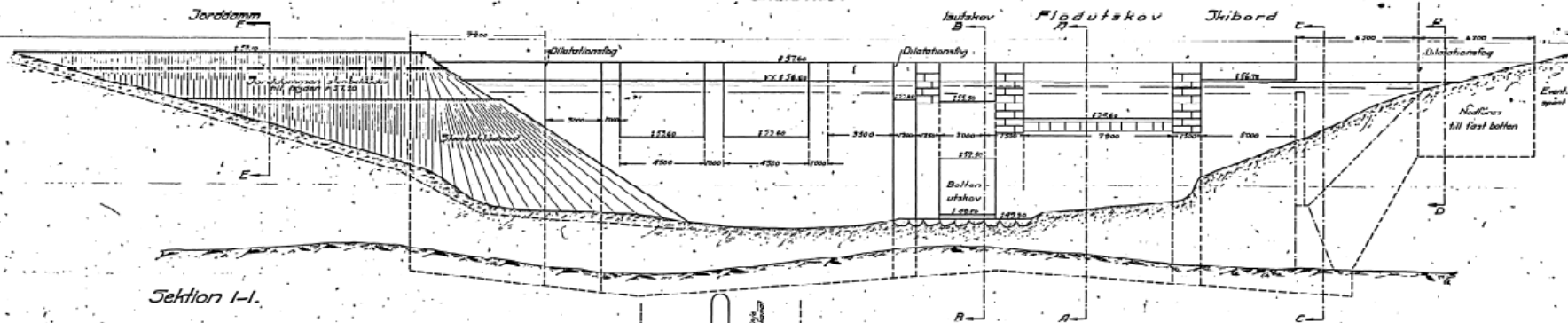
HUGO VON SYDOW



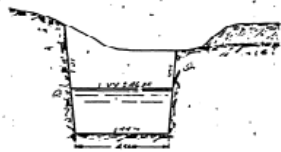
Kuriosa

- Blixbol var det första vattenmålet som avhandlades enligt 1918 års vattenlag (som trädde i kraft 1 jan 1919) vid den då nyinrättade Västerbygdens Vattendomstol i Vänersborg.
- Talan fördes av advokaten Otto R. Alritz och den tekniska utredningen hade utförts av Aktiebolaget Vattenbyggnadsbyrån.
- Ansökan inlämnades den 3 januari 1919 och dom meddelades den 6 juni 1919.
- En utförlig redogörelse av handläggningen av vattenmålet redovisas i publikation 113.

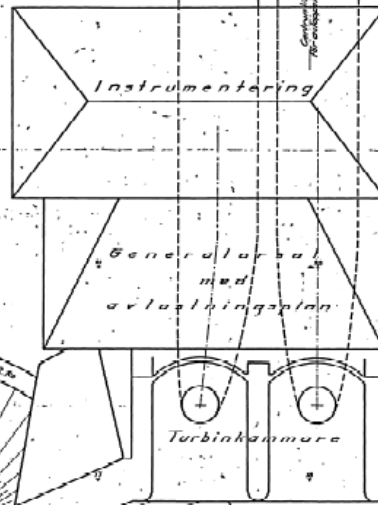
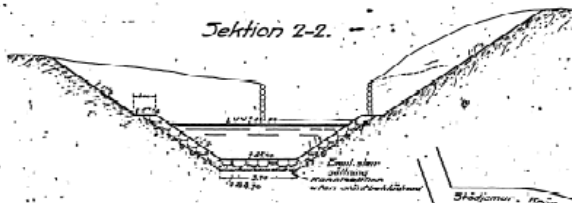
Elevation av dammen sedd med strömmen:
Skala 1/100.



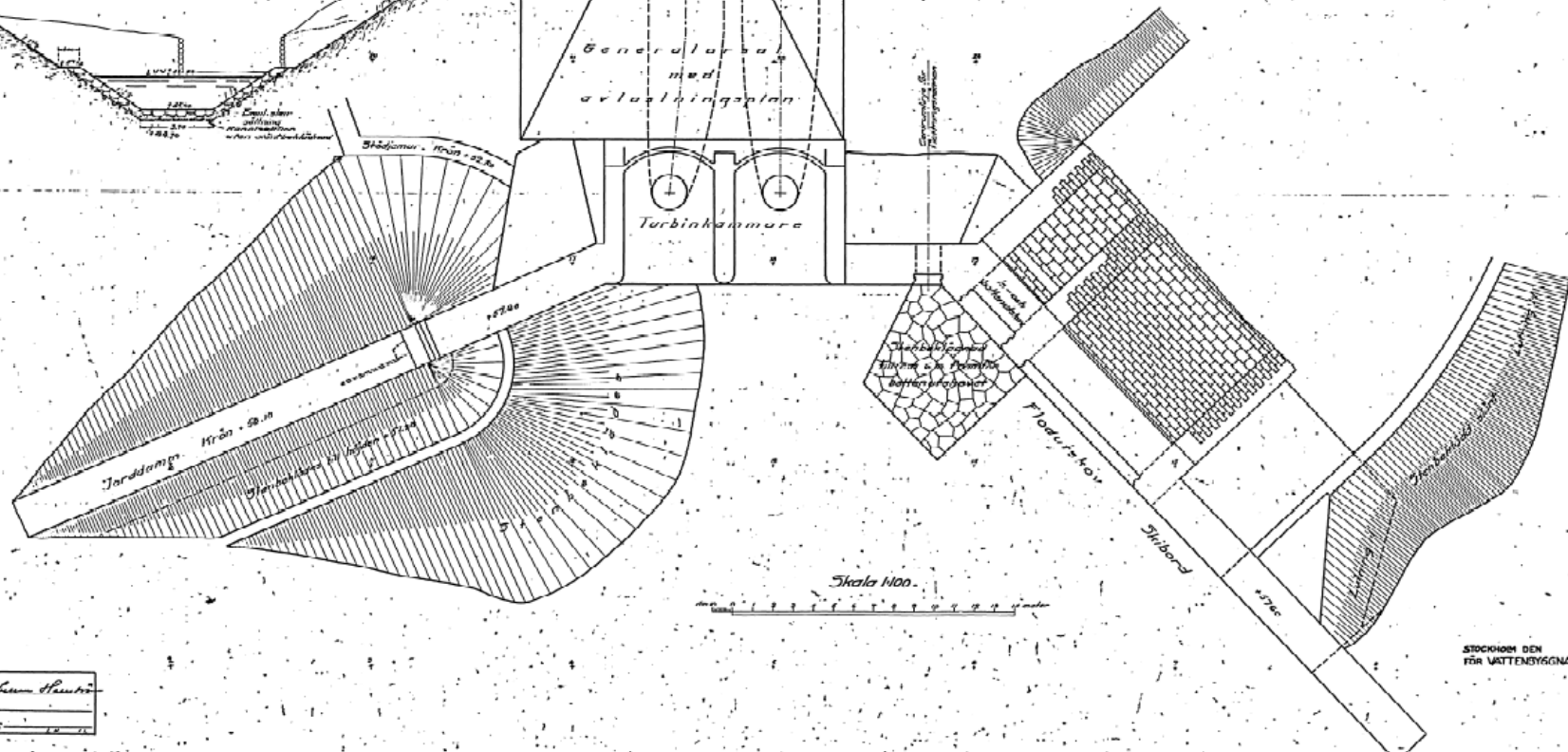
Sektion 1-1.



Sektion 2-2.

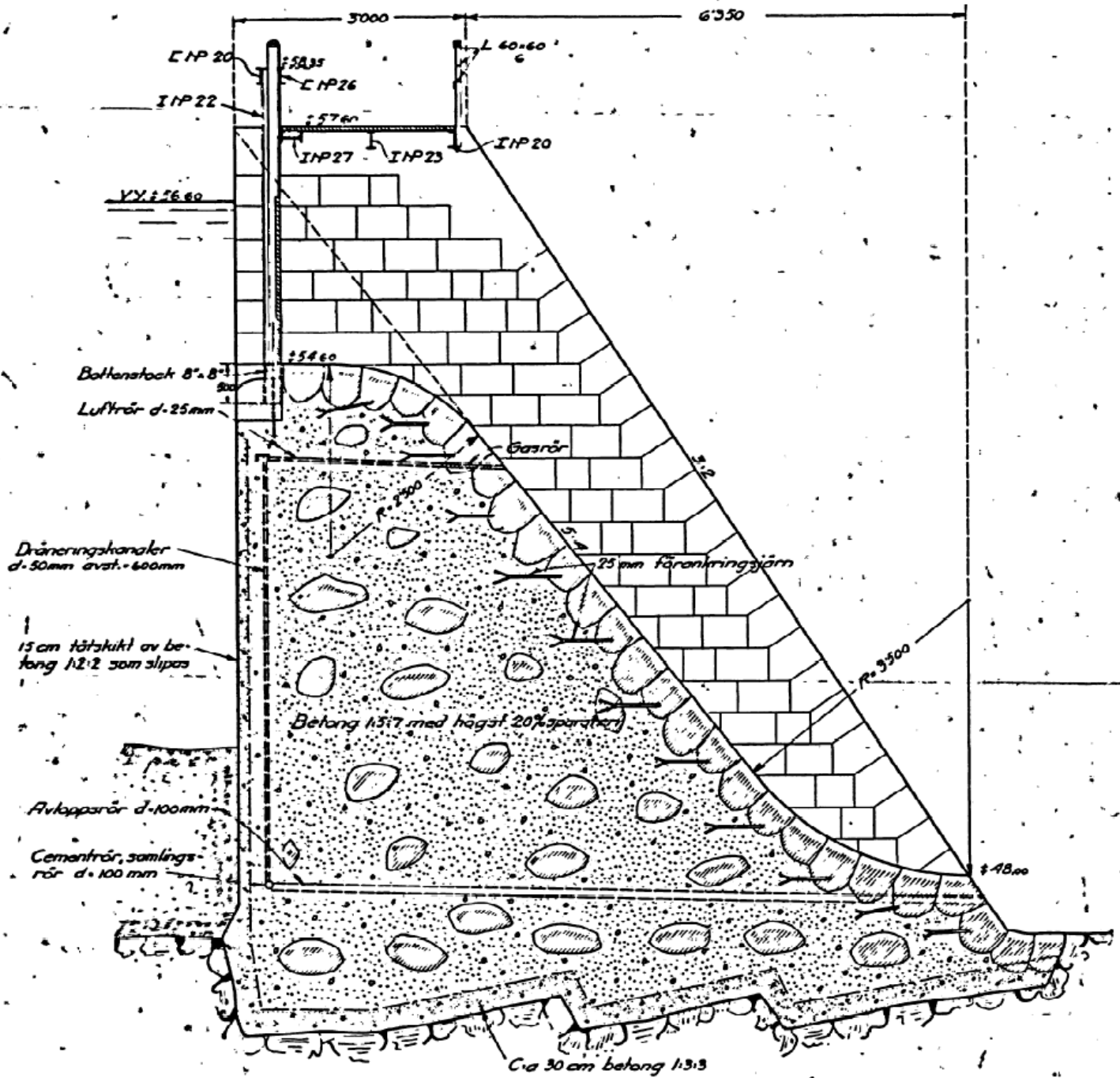


Plan.
Skala 1/100.



Redigerad af Gunnar Skarstedt
Grändad af
Rif nr 122 af 1914





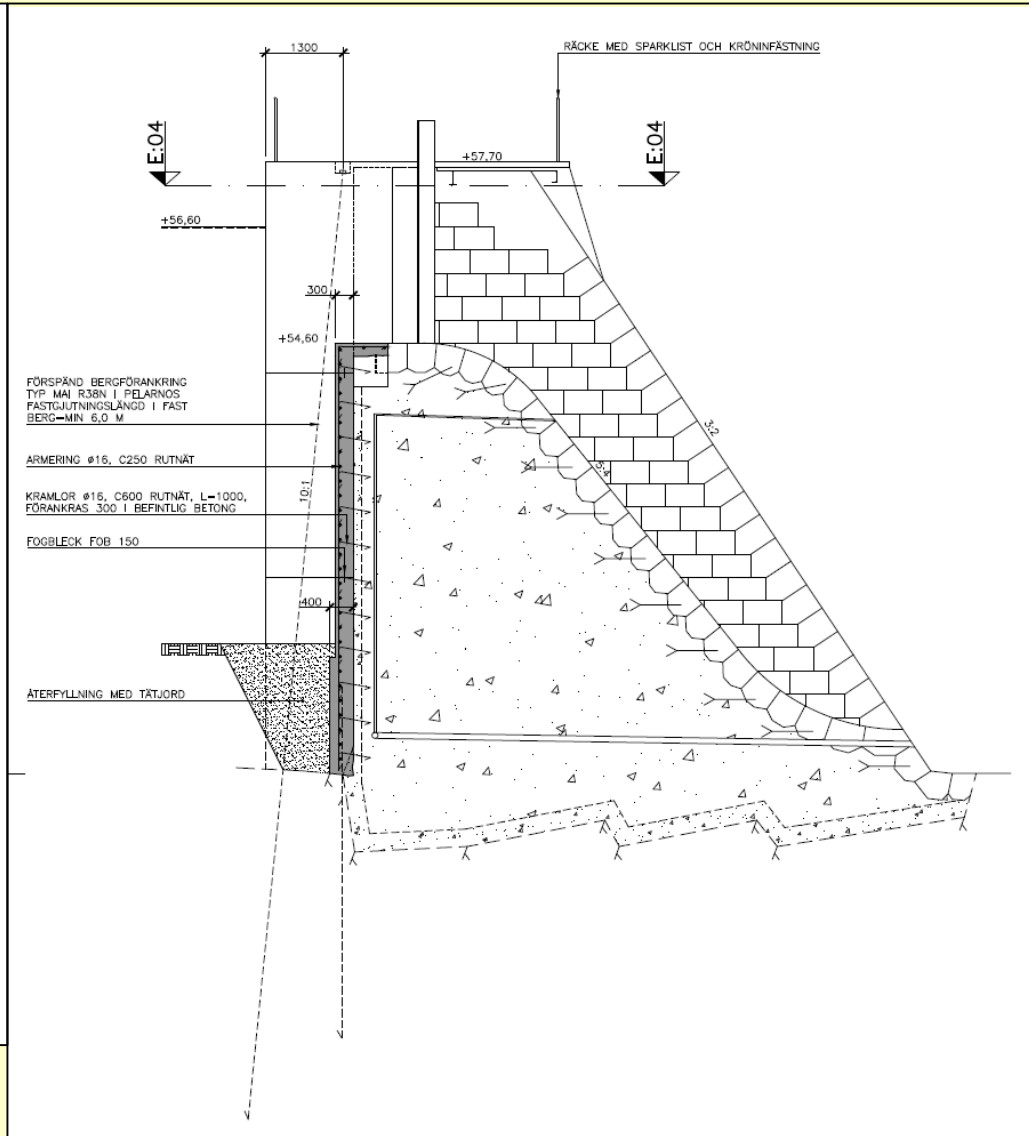
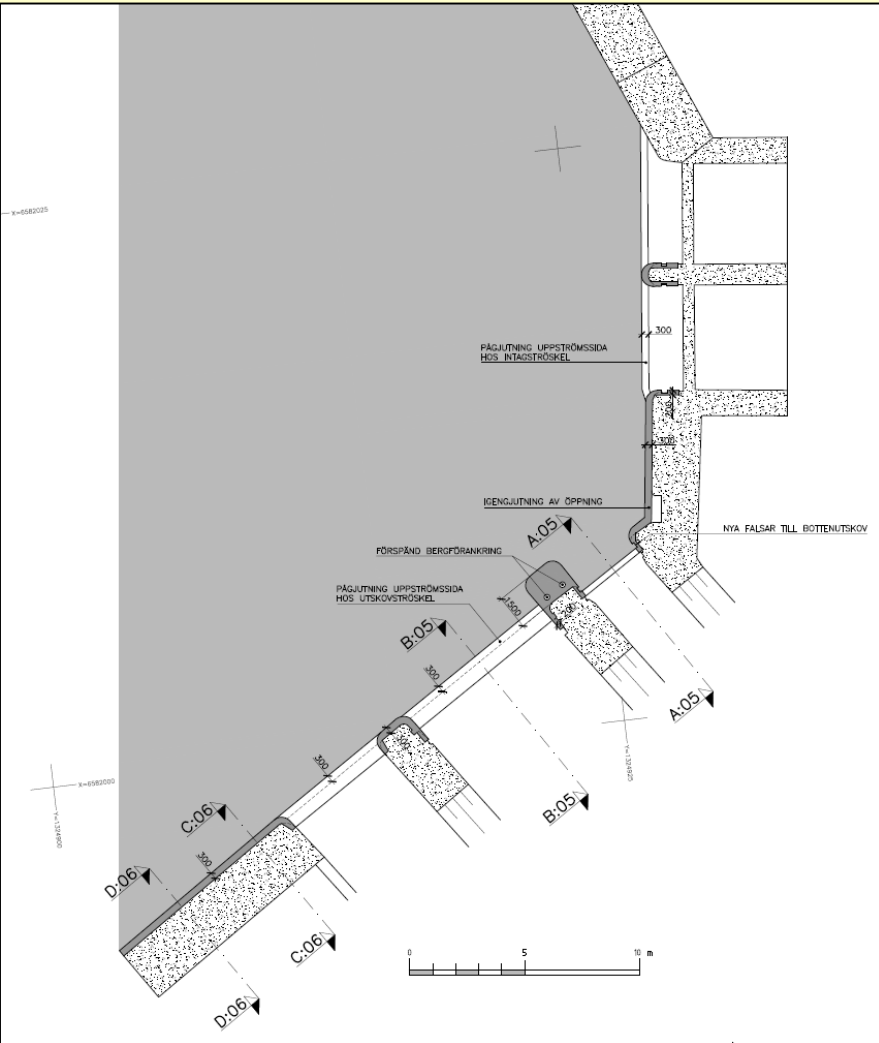
År 1920





Dokumenterade åtgärder

1920	Anläggningen tas i drift
1922dammanläggningen är synnerligen omsorgsfullt utförd
1958	Reparation av dammpelare
1959	Dammen är mycket dålig och bör katastrofrepareras
1959	Reparation av dammen påbörjas
1961	Reparation av dammen färdigställd
:	Fortlöpande underhåll
:	Mindre reparationer
2007	Ombyggnad flodutskov med bl a nya luckor
2011	FDU
2012-2013	Genomgripande ombyggnad av dammen <ul style="list-style-type: none">- Ny förankrad frontplatta på uppströmssidan- Spännstag i pelare- Nytt dammkrön- Betongrehabilitering- Allmän upprustning
2013	Ombyggnad kraftstation







Sammanfattning

1920	Anläggningen tas i drift
1960	Betongdammen mycket dålig - repareras
2007-2013	Genomgripande ombyggnad av anläggningen Uppfyller RIDAS k-klass 2 och FDK II
:	
2020	100-årsdagen
:	
:	
2120	200-årsdagen



ATT UTVÄRDERA DAMMSÄKERHETEN HOS SPRUCKNA BETONGDAMMAR

Erfarenheter av DSIG's metod beskriven i *"Investigating the structural safety of cracked concrete dams"*

Anders Wiberg, WSP Bro & Vattenbyggnad

Uppdrag

- Att "provköra" metoden på Lamelldammen i Storfinnforsen
- Rapportera erfarenheter av metoden

- Finansiär: Uniper
- Sponsor: Carl-Oscar Nilsson

uni
per



DSIG

Dam Safety Interest Group

- Inom CEATI verkar Dam Safety Interest Group (DSIG) med dammsäkerhetsfrågor.
- DSIG har nyligen publicerat rapporten "Investigating the structural safety of cracked concrete dams"
- Energiforsk representerar Sverige i DSIG
- Anders Sjödin, Statkraft, svensk representant i styrgruppen för arbetet med spruckna betongdammar



CEATI
INTERNATIONAL

Dam Safety Interest Group

Many dams around the world were designed and built over 50 years ago. As these structures age, the level of safety becomes more difficult to evaluate, particularly where original design and construction details are not known. In addition, foundation and dam degradation occurs for various reasons and many continue to worsen. Moreover, safety and design standards have changed over the years and many of these aging structures must be upgraded to meet current standards. Research is required for the development and evaluation of new diagnostic monitoring tools and techniques in order to assess the stability and safety of existing dams. New repair materials and techniques can reduce the cost of required dam safety improvements.

The Dam Safety Interest Group (DSIG) is composed of dam owners who jointly sponsor research & development projects designed to help assess and improve the safety of dams. Today, the DSIG is represented internationally by participants from Canada, the United States, Australia, New Zealand, Sweden, France, the United Kingdom, and Germany.

Topics & Issues

- Dam Safety Training
- Dam Safety Program Management
- Instrumentation and Monitoring
- Investigation & Analysis
- Performance Assessments
- Risk Management

CEATI

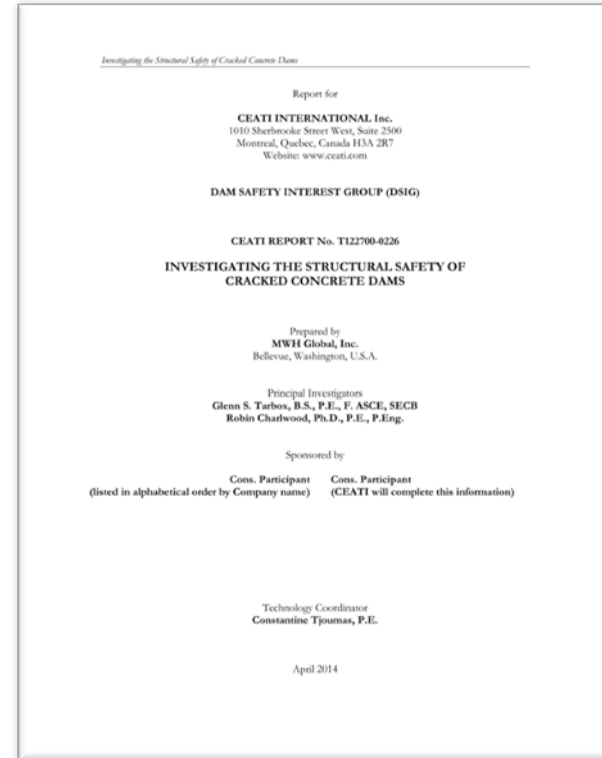
The Centre for Energy Advancement through Technological Innovation

- www.ceati.com
- *"en organisation som drivs av sina ägare inom elkraftindustrin för att tillhandahålla nya tekniska lösningar genom att dela och utveckla praktisk och tillämpbar kunskap och forskning"*
- CEATI har sina rötter i Kanada

The screenshot shows the CEATI International website homepage. At the top, there is a dark blue navigation bar with the CEATI logo on the left and links for 'Home', 'Services', 'Events', 'Projects', 'About Us', and 'MyCEATI Portal' on the right. Below the navigation bar is a large banner featuring a world map with the text 'INNOVATION THROUGH COLLABORATION'. To the right of the map is a section titled 'INDUSTRY CONFERENCES' for the year 2015, with a list of topics: Hydro, Stations, Cables, Distribution, Transmission, Fall Hydropower, Grounding & Lightning, and Vegetation Management. Below the banner are four main content tiles: 'Utility Programs' (with a 'join >' button), 'Conferences' (with a 'Register Now >' button), 'Publications' (with a 'Search >' button), and 'R&D Proposals' (with a 'Submit >' button).

”Investigating the structural safety of cracked concrete dams”

- Att utvärdera dammsäkerheten hos spruckna betongdammar
- DSIG föreslår en process i sju steg



- 1. Discovery (discovery of cracks)
- 1. Sprickupptäckt
- 2. Crack Characterization (characterizing the cracking and documentating its location, type and size)
- 2. Sprickkartering (med avseende på läge, typ och storlek)
- 3. Review Dam Type & Construction Methods
- 3. Konstruktionsgenomgång (med avseende på dammtyp och byggmetoder)
- 4. Root Cause Analysis (determining the root causes for the cracking)
- 4. Bestämning av grundorsaken till sprickbildningen
- 5. Case Histories (making comparisons with relevant case histories)
- 5. Jämförelse med liknande fall
- 6. Potential Failure Modes Analysis (identifying any potential failure modes)
- 6. Identifiering av potentiella felmoder, PFMA
- 7. Manage the Cracking (developing steps to manage or migrate the effects of the cracking)
- 7. Åtgärdsförslag (utarbete åtgärder för att hantera eller mildra effekterna av sprickbildningen)

1. Sprickupptäckt

- Hur upptäcktes sprickan /-orna?
- Vilka metoder användes för upptäckt?
- Historik över sprickutvecklingen bör redovisas för att beskriva sprickutvecklingen över tid.



Sprickkartering i Storfinnforsen 1960

2. Sprickkartering

- DSIG föreslår en rad parametrar med koder för att beskriva sprickor
 - Oklart hur det ska redovisas
 - Oklart hur parametrarna kopplas till sprickorsaker eller om det låter sig göras
- Noggrannhet är bra
- Dokumentation är nödvändig
- Ritningar är bra
- Tabeller är bra

Table 3-1. Guide for characterizing and documenting observations at cracks.

Notes should be taken in each of the following categories to serve as reference descriptors for future observations, and in conjunction with the inspection sheet provided in Appendix A.

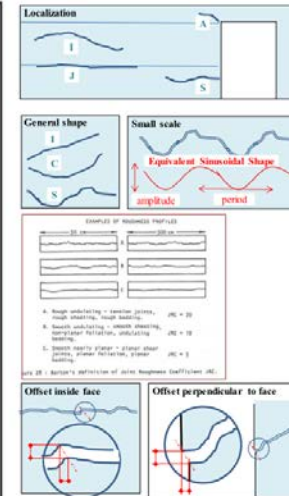
Applicable to a crack visible along the face of a non-reinforced concrete mass

Localization	Code	Comments
isolated in the concrete mass	I	
along a construction joint	J	
ending on a block side / joint	S	
ending at a block angle	A	

General shape	Units	Comments
developed length	m	
straight / curved shape	I, C, S	straight, curve one side, S-shape
maximum opening	mm	
opening variation	mm/m	indicates a virtual rotation center
orthotropy	%	in % from 0 (straight) to 100% (stepped)
small scale shape, amplitude	mm	first sinusoidal shape approximation
small scale shape, period	mm	second sinusoidal shape approximation
smoothness		use Barton models (at right)

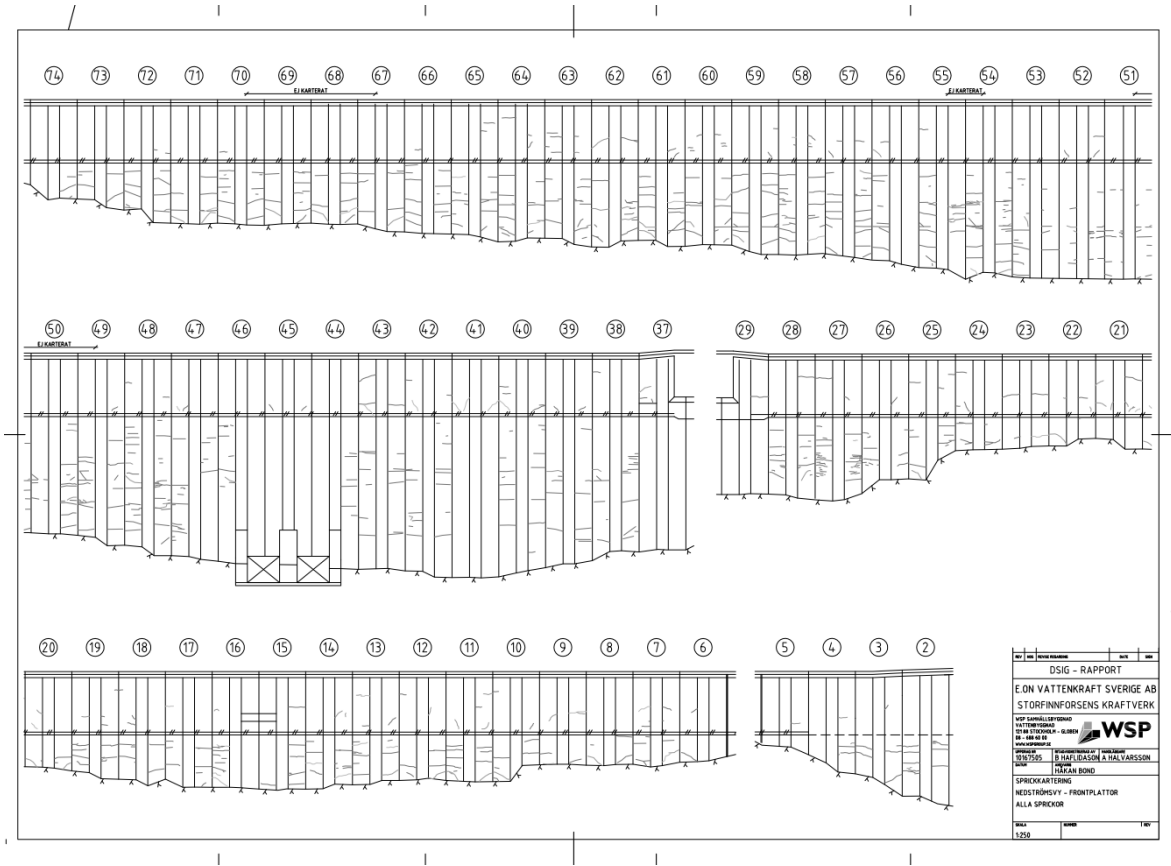
Local shape parameters at each point	Units	Comments
opening	mm	
orientation / surface	=	not easily detected - 90° if perpendicular
rotation / vertical or reference	°	azimuth degrees
offset inside face	mm	provide orientation (clockwise / counter-CW)
offset perpendicular to face	mm	provide orientation (up out / up in)
depth	mm	possible only through interception borehole

Environment features	Units	Comments
oxidation		change in colour versus depth / distance
eyes or debonds aggregates		age of concrete when crack occurred
humidity / water flow		
seepage		calcite, mud, ...



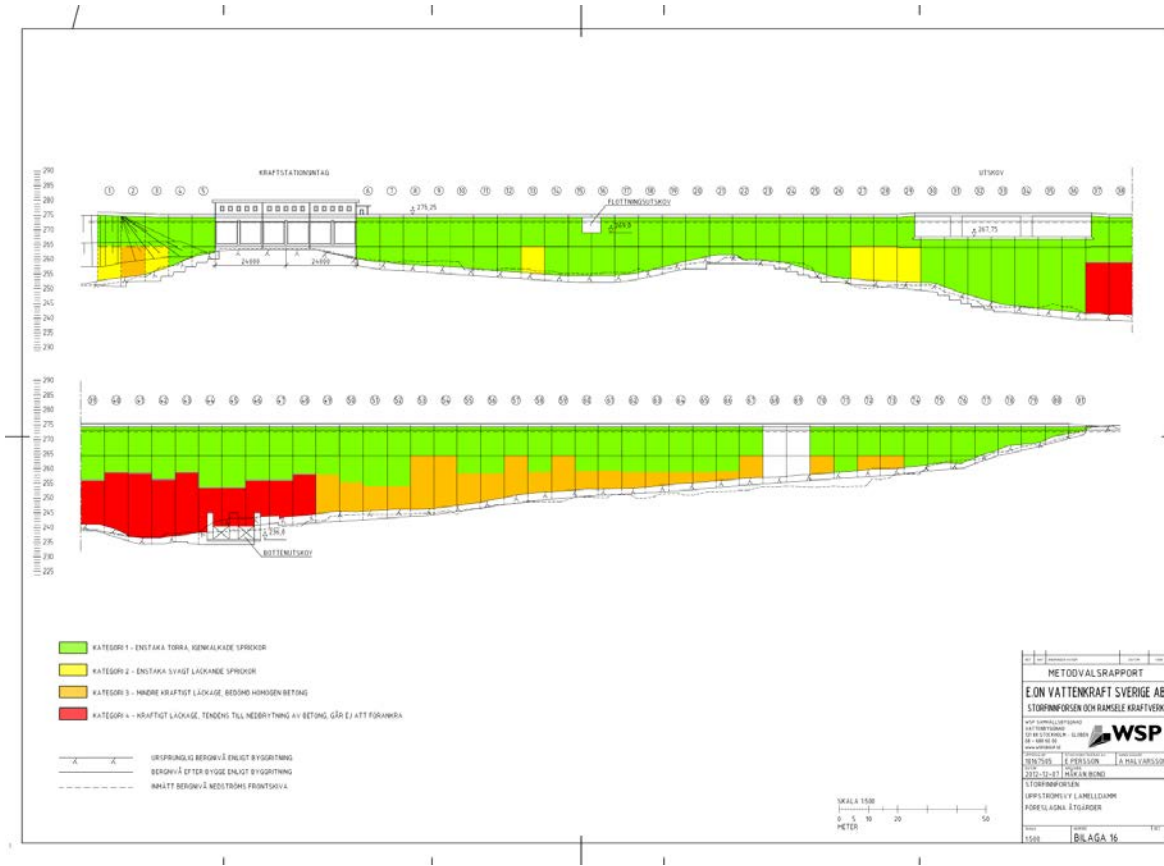
Exempel

Redovisning av sprickkartering av frontplattor på ritning



Exempel

Klassificering av sprickor i frontplattor med avseende på täthet

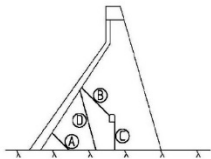


Exempel

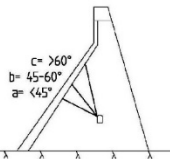
Klassificering av sprickor i frontplattor med avseende på täthet

Monolit Nr	Ö/N	Sprickor vänster sida				Sprickor höger sida				Dilfog H sida		Anm	Tidigare åtgärd	Kategori
		Omf	Fukt	Kalk	Färg	Omf	Fukt	Kalk	Färg	Kalk	Fukt			
37	Ö					1	1	1	1			Kraftigt läckage från gjutfog över veck.		1
	N	1	0	1	1	2	1	1	1	1	1		SFM	4
38	Ö	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1?	Tidigare injekterad.		1
	N	2	2	3	3	3	1	3	3	1	1		SFM	4
39	Ö	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Läckage från gjutfog över veck.		1
	N	3	1	2	2	3	2	3	3	1	1		SFM	4
40	Ö	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	Läckage från gjutfog över veck.		1
	N	3	2	3	3	3	2	3	3	1	1		SFM	4
41	Ö	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	Läckage från gjutfog över veck.		1
	N	3	2	3	3	3	2	3	3	1	1		SFM	4
42	Ö	0	0	0	0	0	0	0	0			Läckage från gjutfog över veck.		1
	N	3	2	3	3	3	2	3	3	1	1		SFM	4
43	Ö	3	2	3	3	3	2	3	3	1	1	Kraftigt fuktande sprickor.		4
	N	3	2	3	3	3	2	3	3	1	1		SFM	4
44	Ö	1	1	1	0							Del av bottenutskov Rinner vatten ur hål		1
	N	3	1	3	3	1	1	2	2	1	0		SFM	4
45	Ö											Del av bottenutskov		?
	N	1	1	1	2									4
46	Ö					1	0	1	0	1	0	Del av bottenutskov		1
	N					2	2	2	3	1	1		SFM	4
47	Ö	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	Läckage från gjutfog över veck.		1
	N	2	2	3	3	3	2	3	3	1	1		KEM, SFM	4

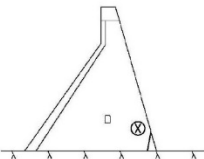
TYPSPRICKOR



SPRICKVINKEL



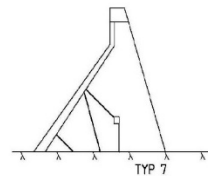
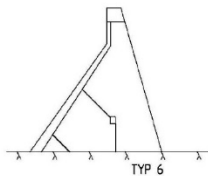
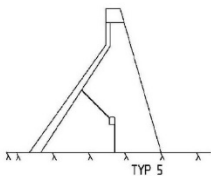
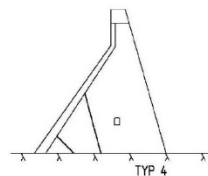
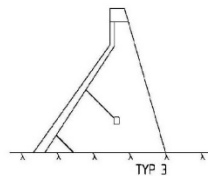
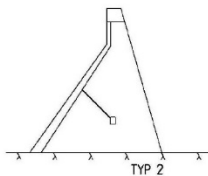
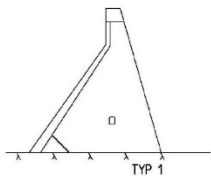
TÅSPRICKA



KLASSIFIKERINGEN GRUNDAS PÅ
 RITNINGUNDERLAG FRÅN GEOCONS
 SPRICKKARTERING 2008.

KLASSIFIKERINGEN TAR ENDAST HÄNSYN TILL
 SPRICKOR SOM ÅTERFÖRUTITS PÅ BÅDA SIDOR
 AV STÖDSKIVAN OCH SÅLEDES KAN ANTAS
 VARA GENOMGÅENDE

SPRICKBILD



NO	NO	NO	NO
STORFINNFORSEN			
PROVOMD LIT			
WSP Sveriges mest ISO 9001:2015 och ISO 14001:2015 certifierade företag Tel: 08 500 90 00 Fax: 08 500 90 01 E-mail: info@wsp.se			
BYGGTILLS SVERIGE	BYGGTILLS SVERIGE	BYGGTILLS SVERIGE	BYGGTILLS SVERIGE
HÅKAN REND			
SPRICKKARTERING			
FÖRKLÄNINGAR			
SKALA	DATE	BYGGTILLS SVERIGE	BYGGTILLS SVERIGE

Exempel

Kategorisering av sprickor i
 stödsivor

3. Konstruktionsgenomgång

- Viktigt för rätt åtgärdsförslag
- DSIG trycker på dammtyp, byggår och produktionsmetoder, vilket är viktigt

- I DSIG-rapporten saknas instruktion om att fånga upp dammens historik i fråga om tidigare åtgärder, mätresultat och drifterfarenheter.

4. Bestämning av grundorsaken till sprickbildningen

- DSIG-rapportens genomgång av olika orsaker till sprickbildning inklusive illustrativa bilder bedöms vara till god hjälp och vara en användbar checklista vid bedömning av sprickorsaker.
- Samband med steg 2 "Sprickkartering"
 - Som tidigare nämnts skulle det ha varit intressant med referenser till tidigare framtagna sprickparametrar och vilka kopplingar de har till olika sprickorsaker.

5. Jämförelse med liknande fall

→ Följande struktur för en jämförelse rekommenderas av DSIG:

- a) Anläggningsbeskrivning
- b) Relevans för studerat fall
- c) Sprickbeskrivning
- d) Sprickorsak
- e) Beskrivning av potentiell felmod (PFM)
- f) Åtgärder

→ Denna struktur är uppenbart användbar och relevant.

Rätan (i drift 1968)



Bålforsen (i drift 1958)



6. Identifiering av potentiella felmoder, PFMA

→ I DSIG-rapporten hänvisas till och rekommenderas FERC's PFMA Guidelines. I kapitel 14, Dam Safety – Performance Monitoring Program, i denna publikation beskrivs processen för en PFMA ingående och exempel och mallar för rapportering ligger även i bilagor.

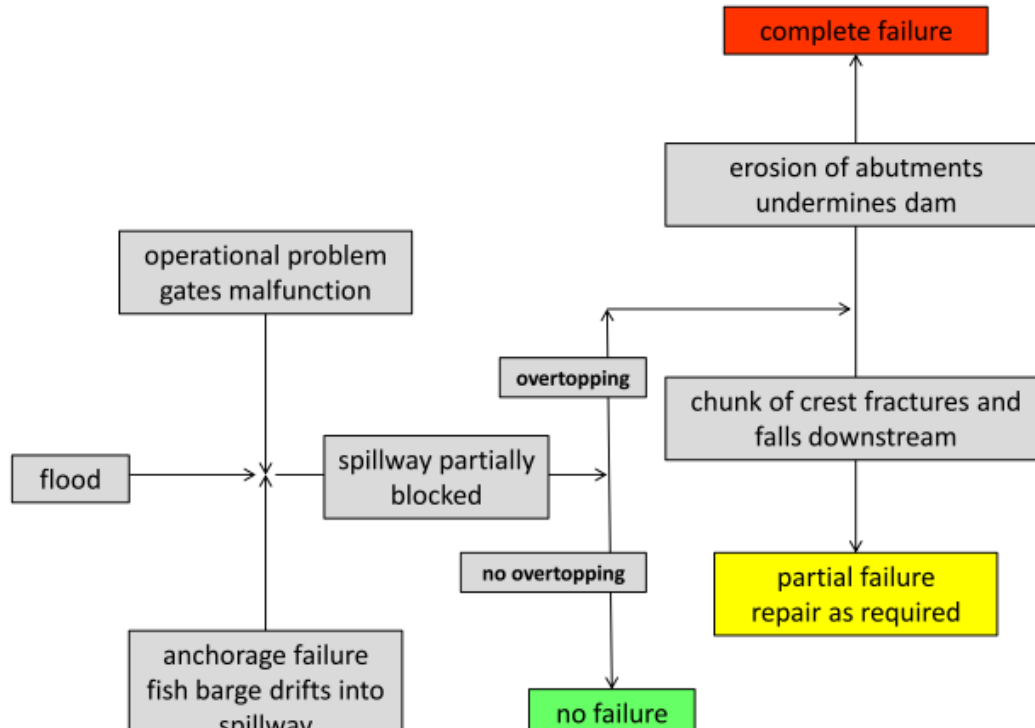
→ <http://www.ferc.gov/>



Exempel på potentiella felmoder

- PFM Stabilitetsbrott för lamelldammsmonoliter i gränsskiktet betong-berg i form av stjälpning eller glidning
- PFM Stabilitetsbrott i berggrunden under monoliterna t ex på grund av höga portryck och/eller horisontella slag i berget
- PFM Stabilitetsbrott av monoliter med genomgående diagonal spricka i nedströmskanten av stödskivan vid dammtån i form av stjälpning
- PFM Kraftig uppsprickning av stödskivor, primärt pga temperaturgradient mellan stödskivor och frontplattor, vilket kan leda till stabilitetsbrott
- PFM Kraftig uppsprickning av frontplattor, pga avkortad kraftarmering, som kan leda till böjbrott
- PFM Hållfasthetsbrott i frontplattan

PFM - Potential overtopping of Main Dam due to spillway blockage during a flood



Exempel

Händelseträäd för en fiktiv potentiell felmod hämtat från DSIG-rapporten (Figure 6-1 Sample PFM Event Tree.)

7. Åtgärdsförslag

- DSIG-rapporten ger ingen direkt vägledning när det gäller val av åtgärd.
 - Detta bedöms vara klokt eftersom dammar ofta är unika exemplar
- stöd i *EN 1504-9 Allmänna principer för val av produkter och system*, i *EN 1504 Produkter och system för skydd och reparation av betongkonstruktioner*.
- samt *Energiforsks betongprogram*

Exempel på åtgärdsförslag

- **Stabilisering med spännstag**
- **Ny isolervägg utanpå stödsnivorna**
- **Tätningåtgärder**
- **Mätprogram**
 - Kraftmätning vertikala bergförankrade spännkablar (automatiska och manuella)
 - Kraftmätning horisontella spännkablar (manuella)
 - Sprickmätningar stödsnivor vid inspektionsgång (automatiska)
 - Sprickmätningar stödsnivor vid nedströmstå (automatiska)
 - Förskjutningsmätningar frontplattor (automatiska)
 - Pendelmätningar (manuella)
 - Läckagemätningar (automatiska)
 - Portrycksmätningar (automatiska)

Sammanfattning och slutsatser

- Positivt intryck! Ännu mer potential finns.
- Stöder ett systematiskt arbetssätt
- Hjälper dammägaren/förvaltaren att få hög kvalitet på utredningar
- Kopplingen sprickkartering – PFMA – åtgärder är bra
- Översiktlig omfattning på ett 40-tal sidor

- Påminnelse om dammens historik saknas
- Sprickor i fokus, bra eller dåligt?
- Rapportens titel antyder att systematiken endast är tillämpbar på spruckna konstruktioner, när den i själva verket går att använda på alla betongdammar
- “Investigating the structural safety of **deteriorated/existing** concrete dams”?



TACK!

Läs mer om WSP på:
www.wspgroup.se

Följ oss på:
twitter.com/WSP_Sverige

Filmer finner du på:
youtube.com/WSPSweden



Lägesrapport Dammsäkerhetsklassificering

Gunilla Nyberg

SwedCOLDs temadag 2016-04-12

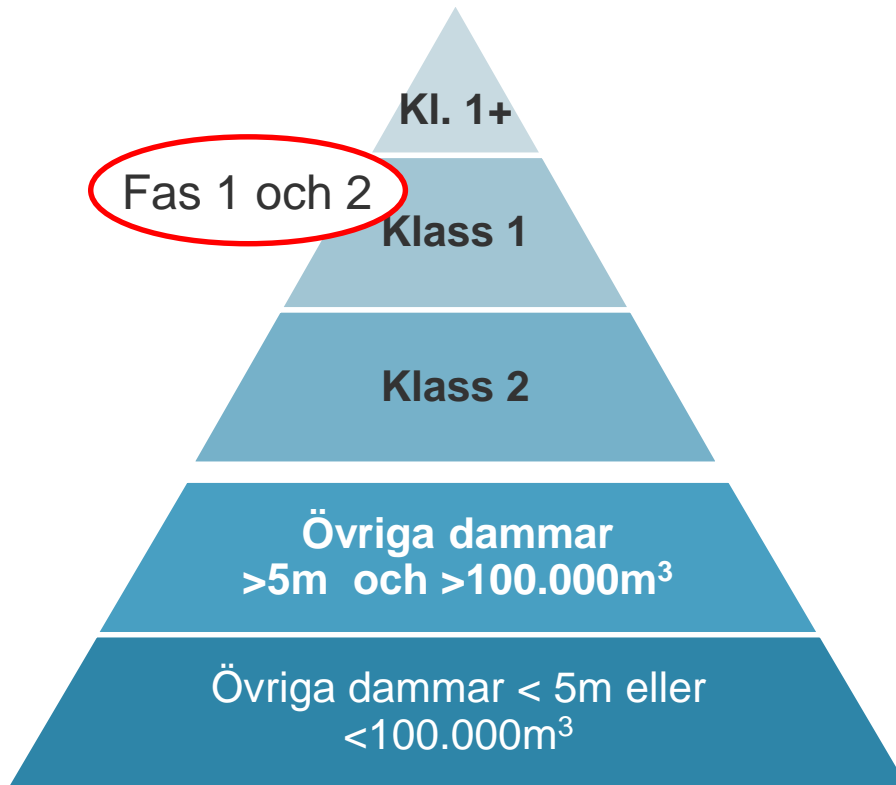


Hur görs klassificeringen?

- > Dammägaren tar fram
 - > konsekvensutredning
 - > förslag till dammsäkerhetsklass
- > Länsstyrelserna fattar beslutet om klass
- > Besluten är överklagningsbara



Tidplan för konsekvensutredning



	2015	2016	2017	2018
Klass 1+	→			
Klass 1		→		
Klass 2			→	
Nationell kartläggning		Övriga dammar >5m och >0,1 Mm ³		
			"Mindre" dammar På begäran av Lst	

Svenska kraftnät driver på och följer länsstyrelsernas arbete

Svenska kraftnät ger bidrag till länsstyrelserna för klassificeringsarbetet

Länsstyrelsernas motprestation:

- > lägesrapportera 1/4 och 1/10
- > lämna in kopior på beslut och blankett KU till SvK



Dammägarnas konsekvensutredningar (KU) och länsstyrelsernas beslut om klass

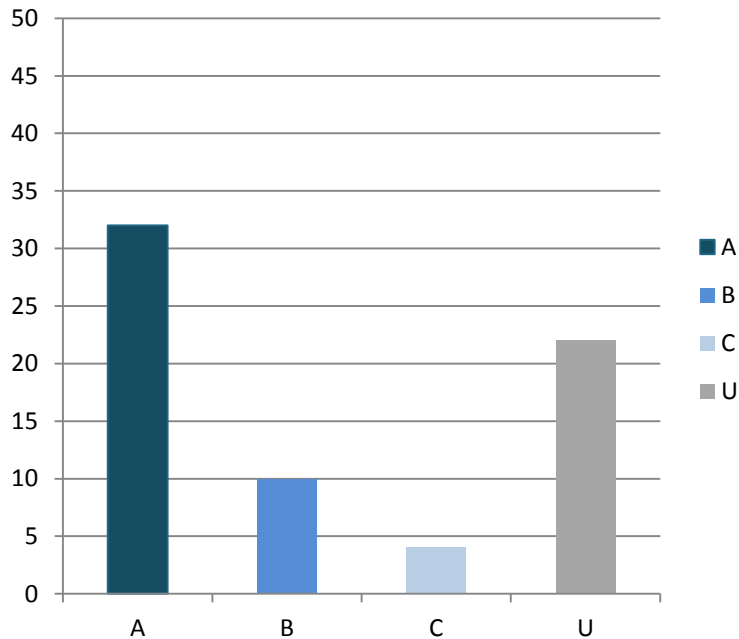
- > **2015-07-01** – KU för 26 klass 1+ anläggningar
- > **2016-01-01** – KU för cirka 210 klass 1-anläggningar
- > Vissa ägare har fått anstånd
- > 25 beslut om klass A har fattats för dessa
- > 39 beslut om klass B har fattats hitintills + några om klass C

7 beslut om klass har överklagats

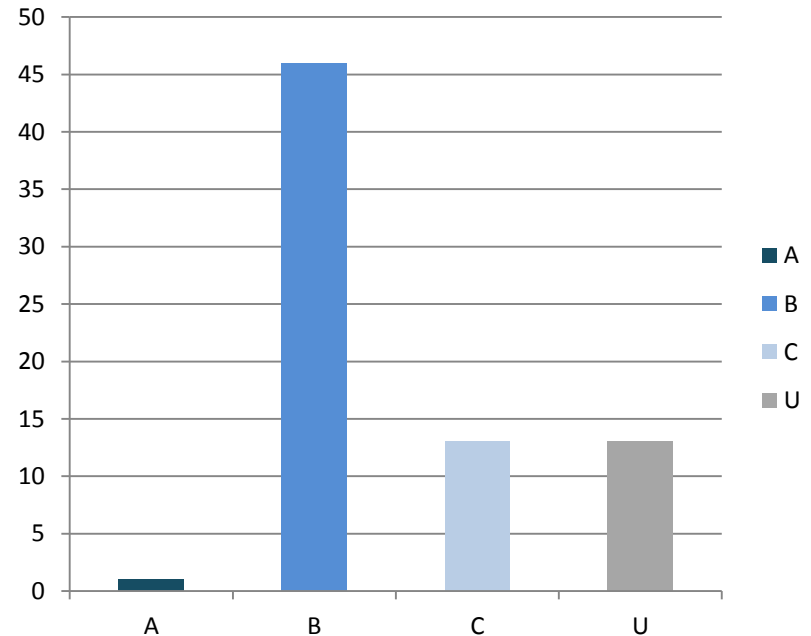


Hur många beslut om dammsäkerhetsklass har fattats hitintills? (och som Svk fått kännedom om...)

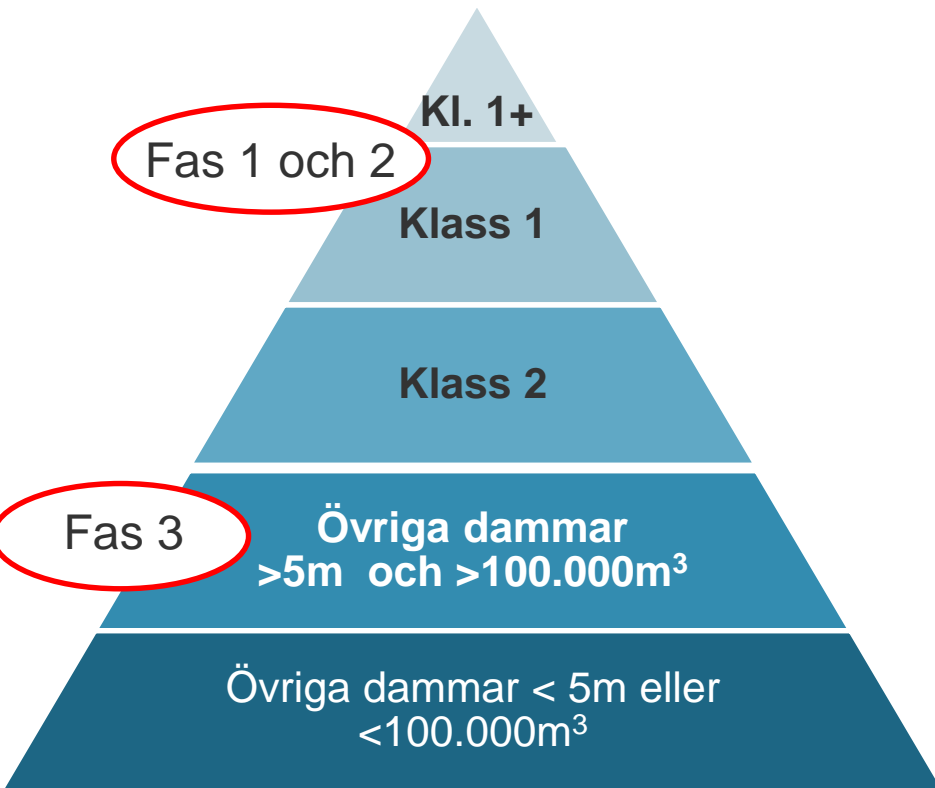
**25 beslut för klass 1+ anläggningar
= beslut om 68 dammar**



**39 beslut för klass 1-anläggningar
= beslut om 73 dammar**



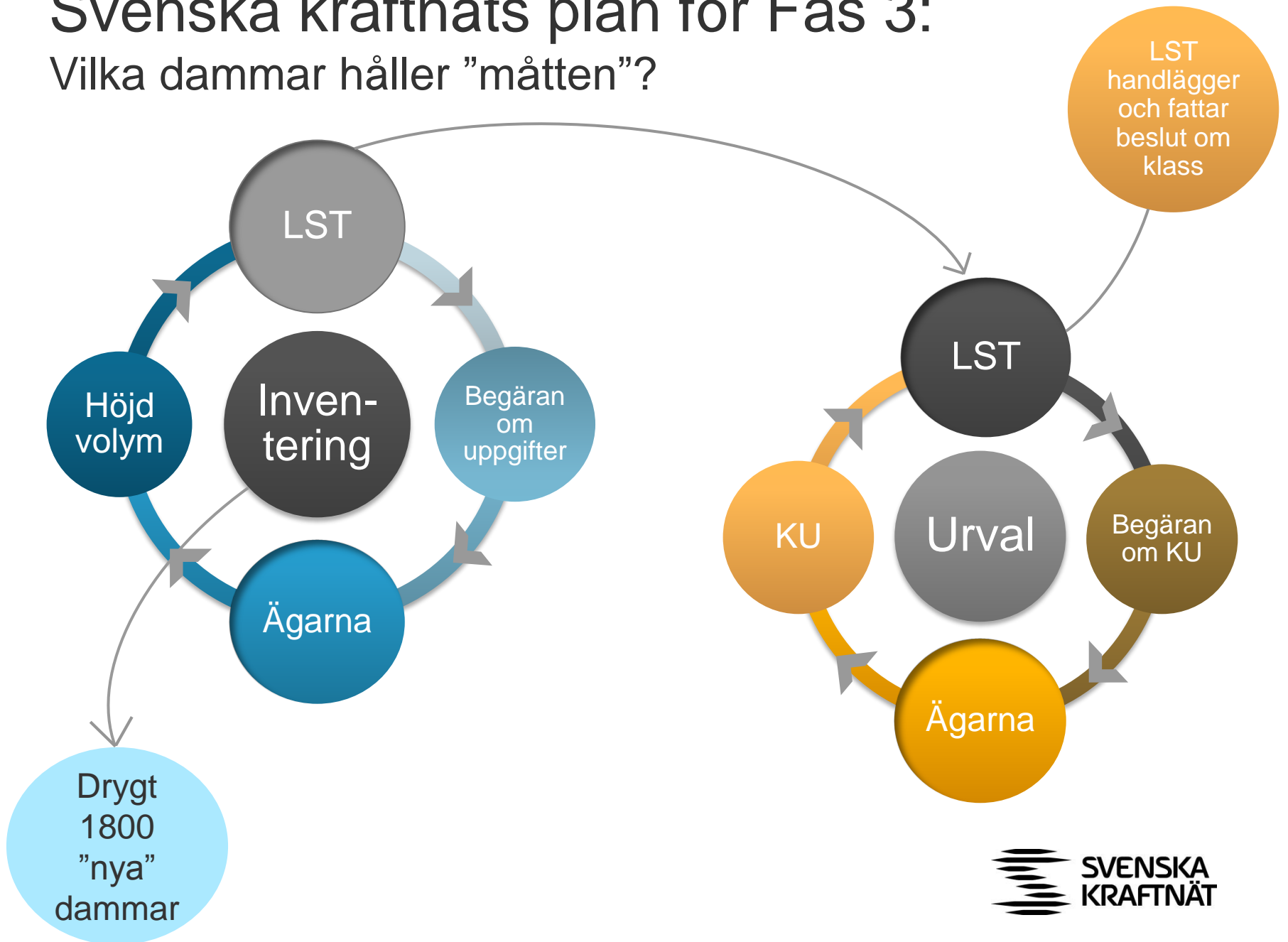
Tidplan i föreskriften



	2015	2016	2017	2018
Klass 1+	→			
Klass 1	→	→		
Klass 2		→	→	
Nationell kartläggning		Övriga dammar >5m och >0,1 Mm ³	→	
			"Mindre" dammar På begäran av Lst	→

Svenska kraftnäts plan för Fas 3:

Vilka dammar håller "måttén"?



Informationsdagar och workshops för länsstyrelsen

Svenska kraftnät ger vägledning för att

- > höja kunskapsnivån
- > underlätta arbetet
- > ensa handläggningen

Handläggarna får diskutera gemensamma frågor

Nyrekryteringar inom hos länsstyrelsen?

- > Nya vattenverksamhetshandläggare anställs
- > Erfarna vattenverksamhetshandläggare ägnar mer tid för dammsäkerhetstillsyn
- > Svenska kraftnät följer upp tillsynen
- > Klassificeringen tar ALL tid



Ögonblicksbild

Vad innebär implementeringen av nya regelverket?

- > Samhället: Ökande medvetenhet om dammsäkerhet
- > Dammägarna: Ökad kunskap om haverikonsekvenser
- > Branschorganisationerna: Anpassning av RIDAS
- > Länsstyrelserna: Dammsäkerhet - eget tillsynsområde
- > Svenska kraftnät: Förstärker genom nyrekrytering!

ÖKAD DIALOG

