



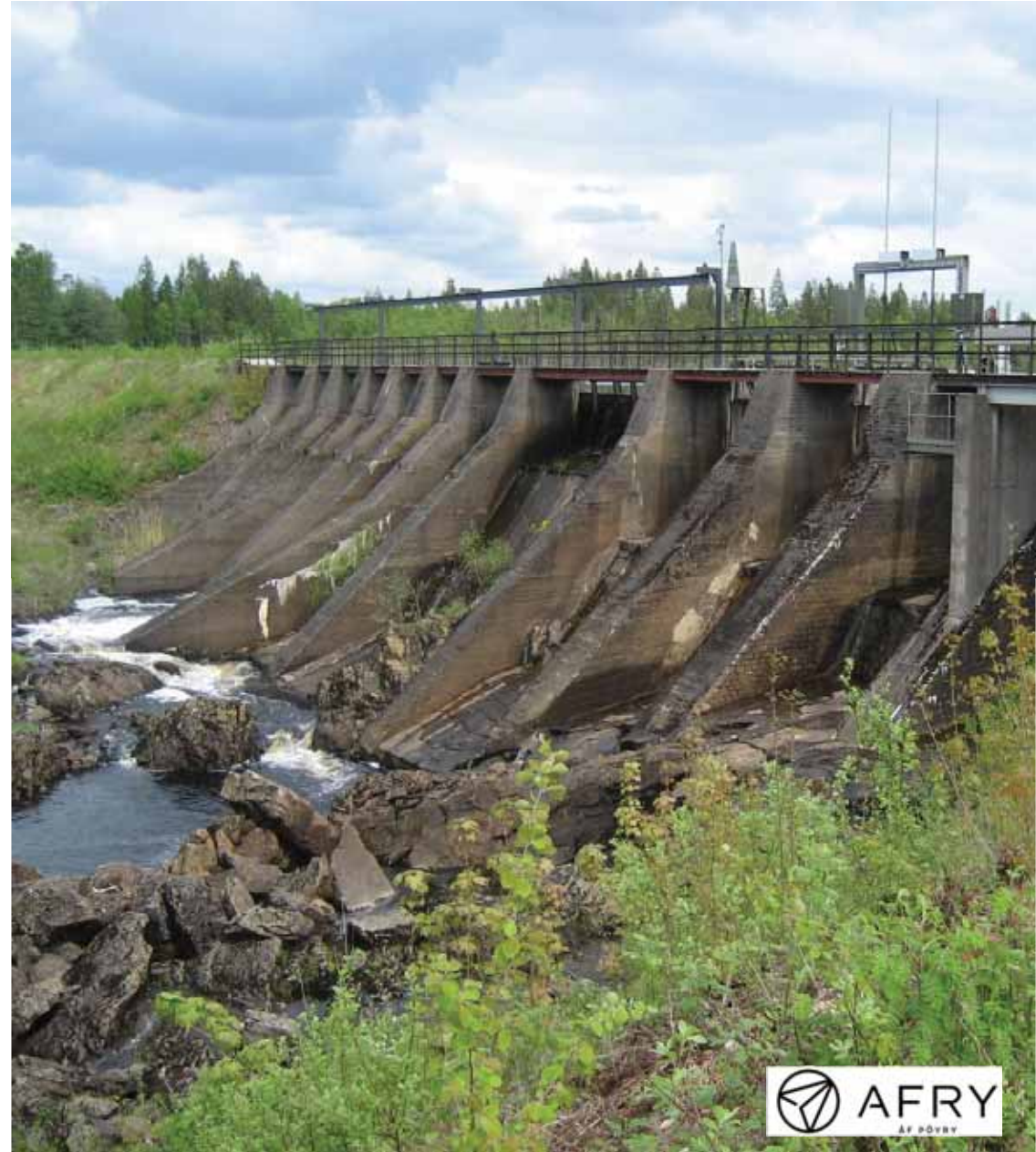
Injektering i en urlakad betongdamm: En inblick i dammens inre

ENERGIFORSK – KRAFTINDUSTRINS BETONGDAG – 2021-03-17

MARTIN ROSENQVIST

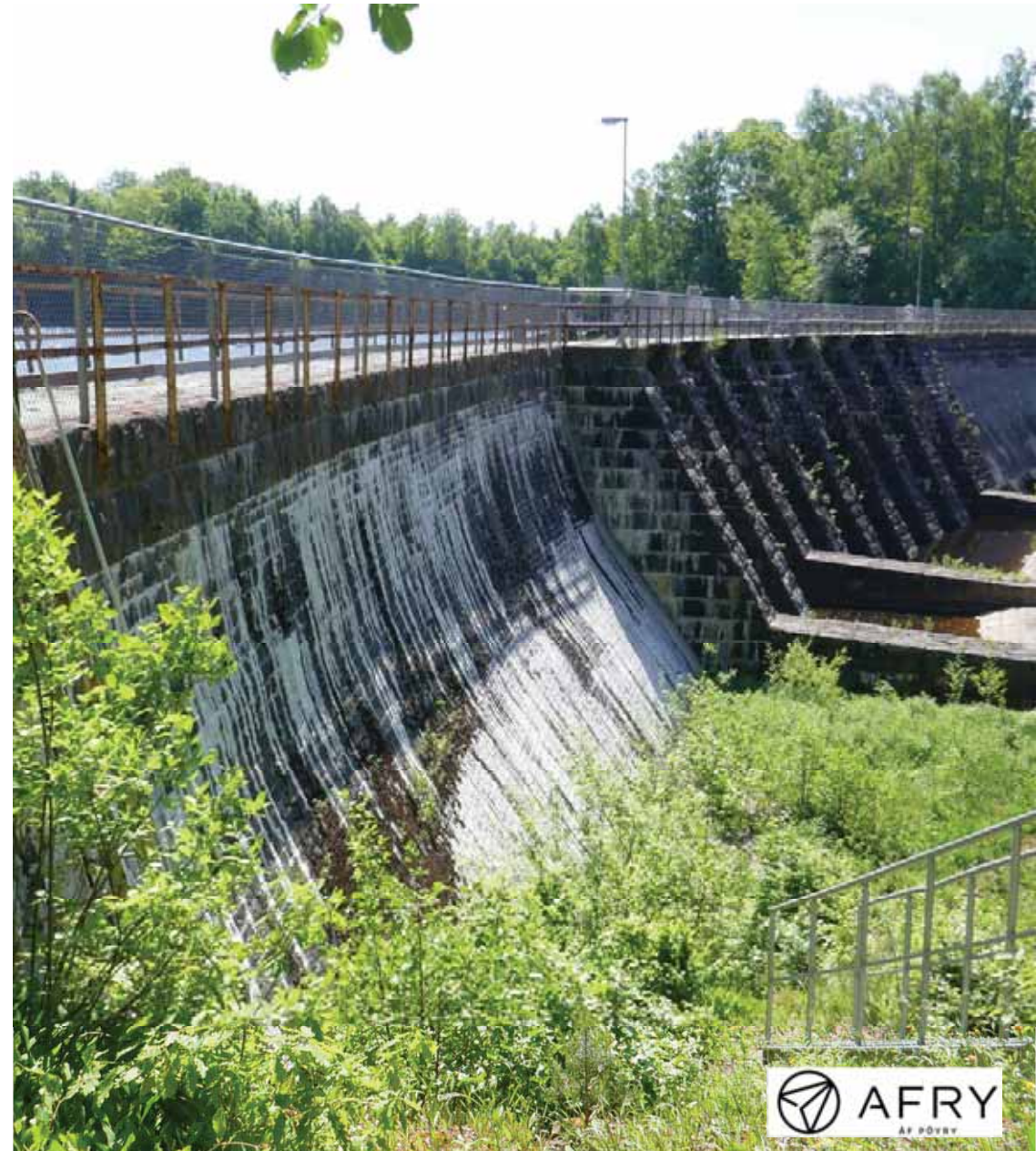
Agenda

- Urlakning
- Injektering i betong
- Möjligheter/begränsningar
- Hylte betongdamm
- Händelser över tid
- Exteriör status
- Injekteringsarbete
- Interiör status
- Laboratoriestudie



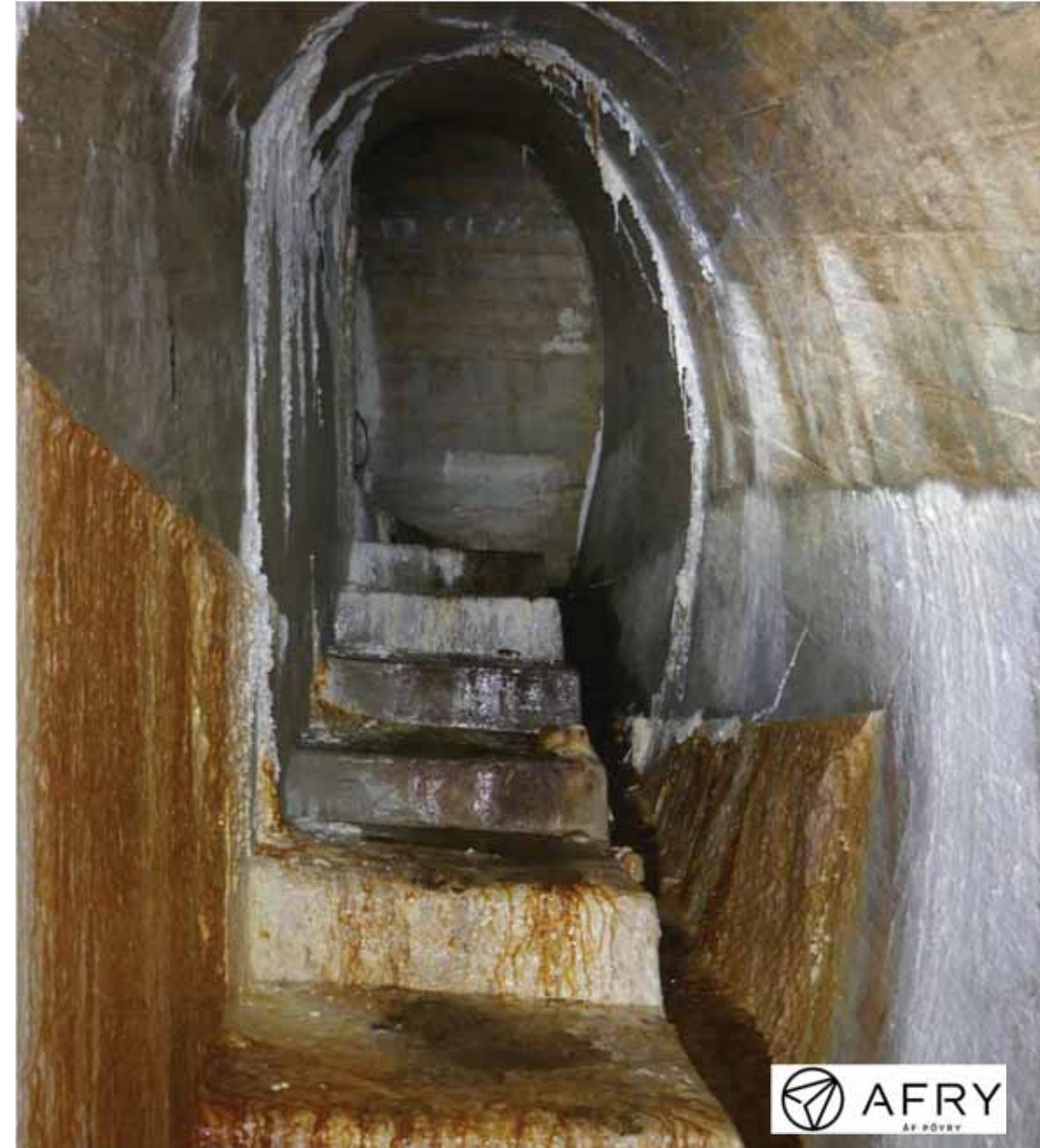
Urlakning

- Upplösning av cementets hydratationsprodukter:
 - Ej kemiskt stabila i kontakt med vatten
 - Kalciumhydroxid – Ca(OH)_2
 - Ökad porositet
 - Reducerat pH
 - Kalciumsilikathydrater – C-S-H
 - Reducerad hållfasthet
- Cementfattig betong
 - Låg cementhalt < 200 kg/m³
 - Högt vattencementtal
 - Ej vattentät betong – genomsipprande vatten
- Cementrik betong
 - Cementhalt > 300 kg/m³
 - Lågt vattencementtal
 - Vattentät betong – koncentrerat läckage



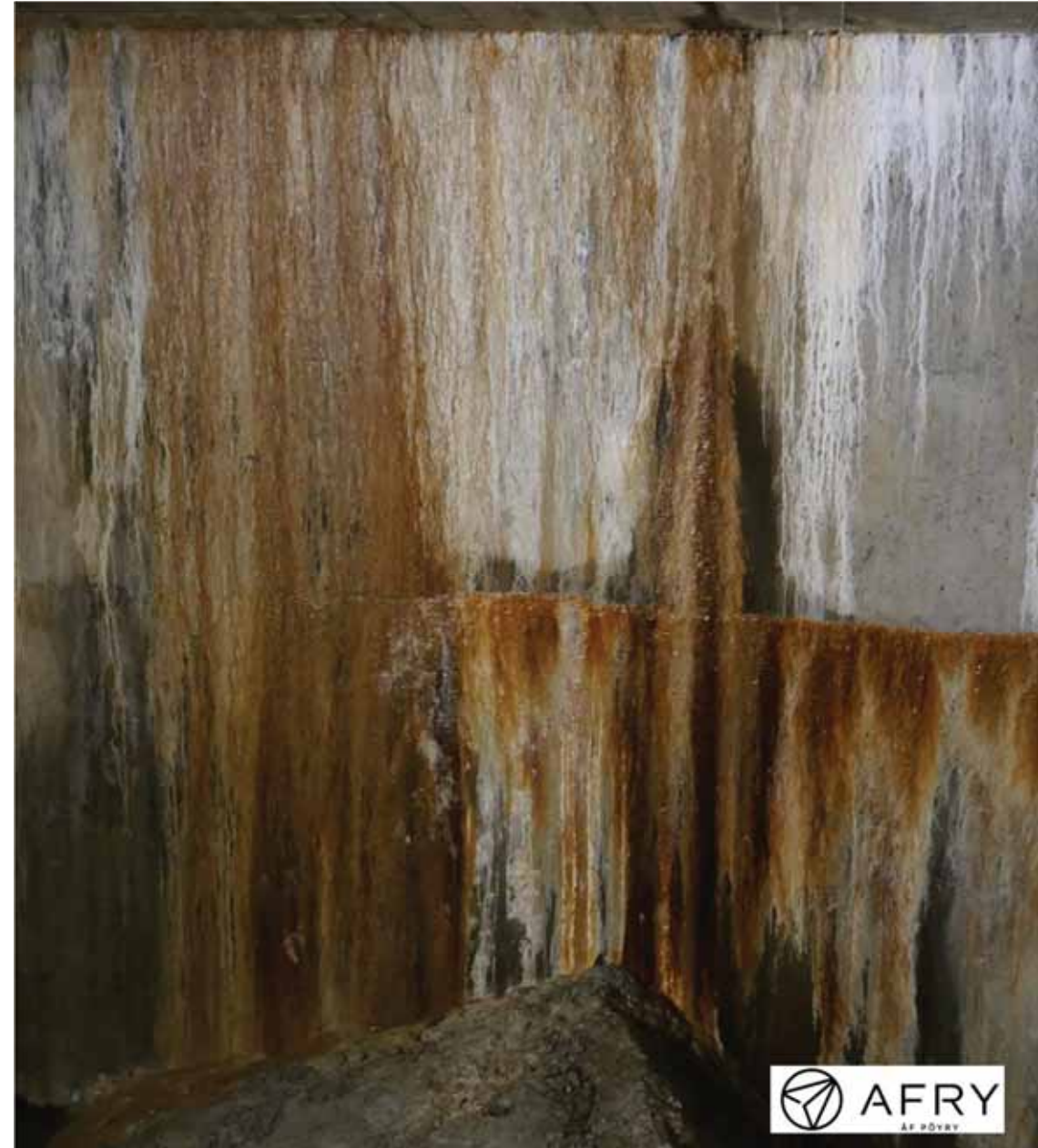
Injektering i betong

- Varför injektera en betongkonstruktion?
- Lämplig reparationsmetod
 - Sprucken konstruktion
 - Urlakad betong
- Målsättning vid injektering
 - Förlänga konstruktionens livslängd
 - Tätning av förekommande läckage
 - Förbättring av materialegenskaper
 - Tryckhållfasthet
 - Elasticitetsmodul
 - Skydda konstruktionens armering
- Cementinjektering
- Kemisk injektering



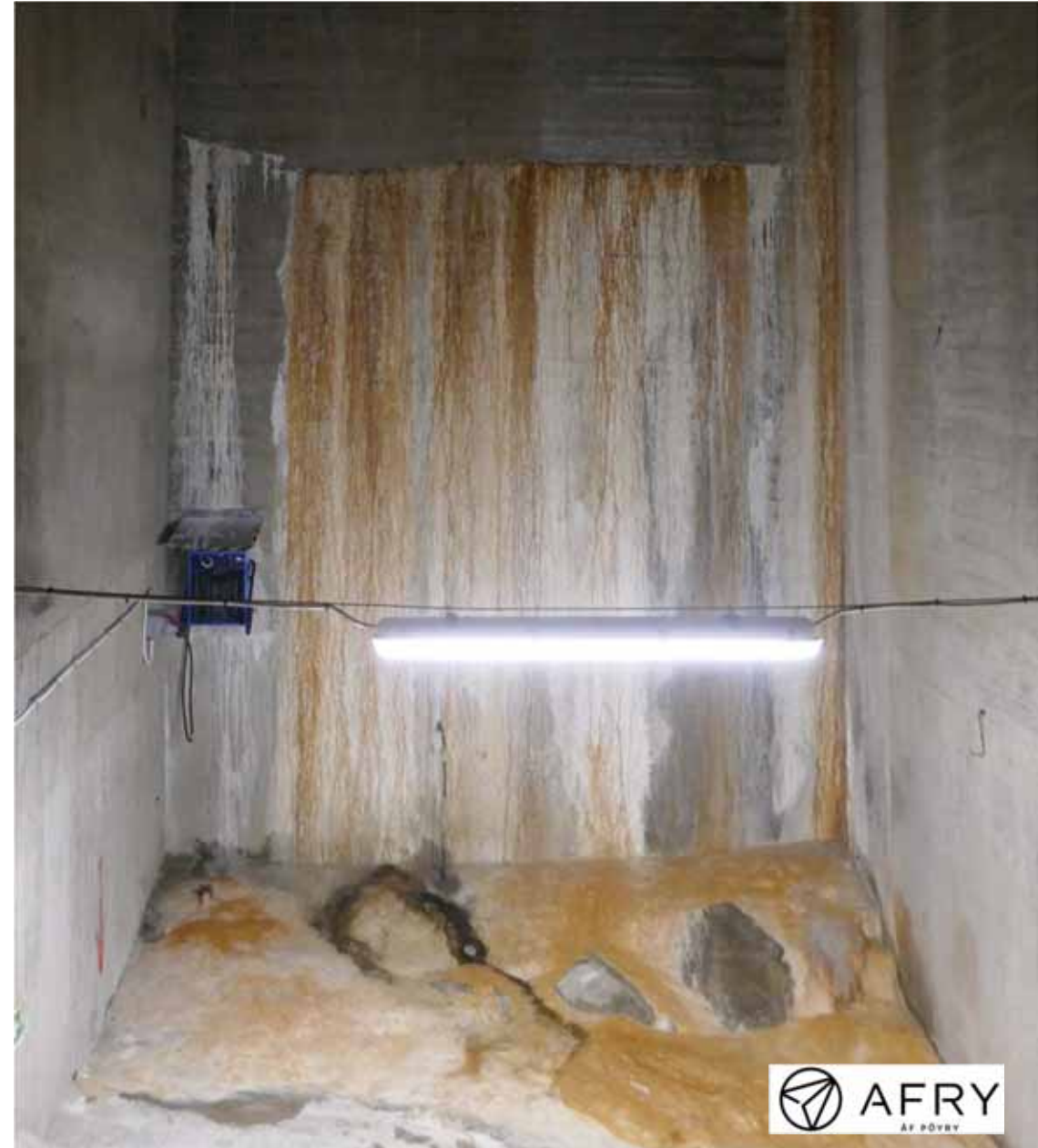
Möjligheter

- Cementbaserad injektering
- Fördelar
 - Injekteringsbruket (cement) får liknande egenskaper som den betong som injekteras
 - Kan injekteras och härda i vattenfyllda håligheter
 - Kraftöverförande efter hårdnandet
 - God kännedom om beständigheten
 - Färska egenskaper kan enkelt modifieras
 - Vattencementtal
 - Tillsatsmedel
 - Tillför ny alkalinitet som kan skydda armeringen
 - Förhållandevis billigt jämfört med kemisk injektering
 - Relativt ofarligt för människa och miljö om regler och föreskrifter följs
- Goda möjligheter att upprepa injekteringen



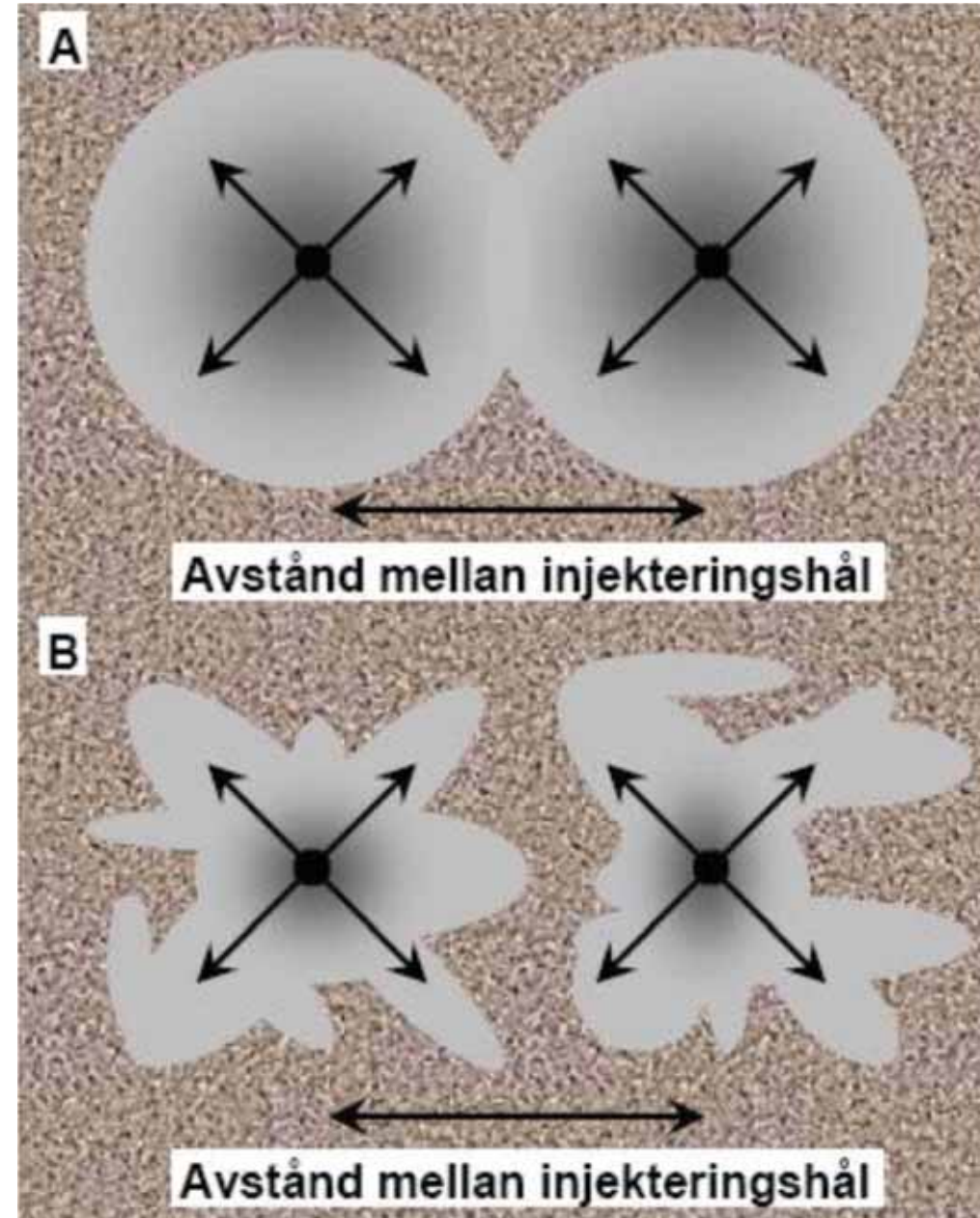
Begränsningar

- Cementbaserad injektering
- Nackdelar
 - Begränsad/osäker förmåga att tränga in i fina hålrum och sprickor med mindre sprickvidd än 0,3 mm
 - Lång bindetid – risk för bortspolning
 - Krympning i cementbruket
 - Bör ej användas i dynamiska sprickor – hårdnat injekteringsbruk är ej elastiskt
- Svårt att veta vad resultatet faktiskt blev
- Kärnborrning → stickprov
- Tveksamt att injektera om betongens nedbrytning är för långt gången



Frågor inför injektering

- Vilket avstånd krävs mellan injekteringshålen?
- Vilket inträngningsdjup kan erhållas?
- Hur kan cementbruket sprida sig?
- Vilken fyllnadsgrad kan uppnås?
- Vilken tätande effekt ger injekteringen?
- Beror på betongens beskaffenhet, injekteringsbrukets egenskaper och tillvägagångssätt



Hylte betongdamm

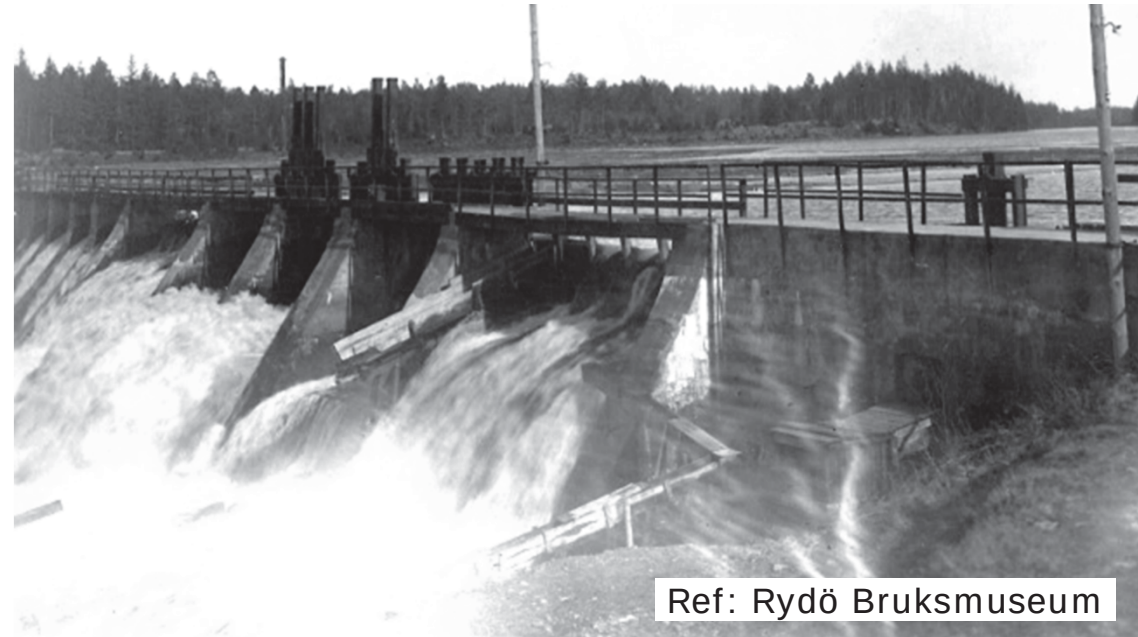
- Bygget av en dammanläggning för att reglera Nissan vid Hylte fors inleddes 1907
- Regleringsdammen
 - 225 m lång jordfyllningsdamm
 - 75 m lång utskovsdamm i betong
- Grundläggning på berg
- Utskovsdammen uppfördes med:
 - 13 stödpelare
 - 12 utskovströsklar
 - Anslutningsmurar i vardera ände
- Största höjd av cirka 11 m
- Stampbetong – gjuten i horisontella skikt



Ref: Så minns vi gamla Hylte, Hylte och Långaryds hembygdsföreningar (2002)

Händelser över tid

- Ingen bevarad dokumentation från byggskedet
- Planering för höjning av dammarna
- Förberedande arbeten under 1930-talet
- Fotografi 1 – 1920-tal
- Fotografi 2 – publicerat i Hallandsposten 1937
- Förlängning av stödpelarna
- Breddning av stödpelarna
- Ingen dokumentation bevarad från arbetena



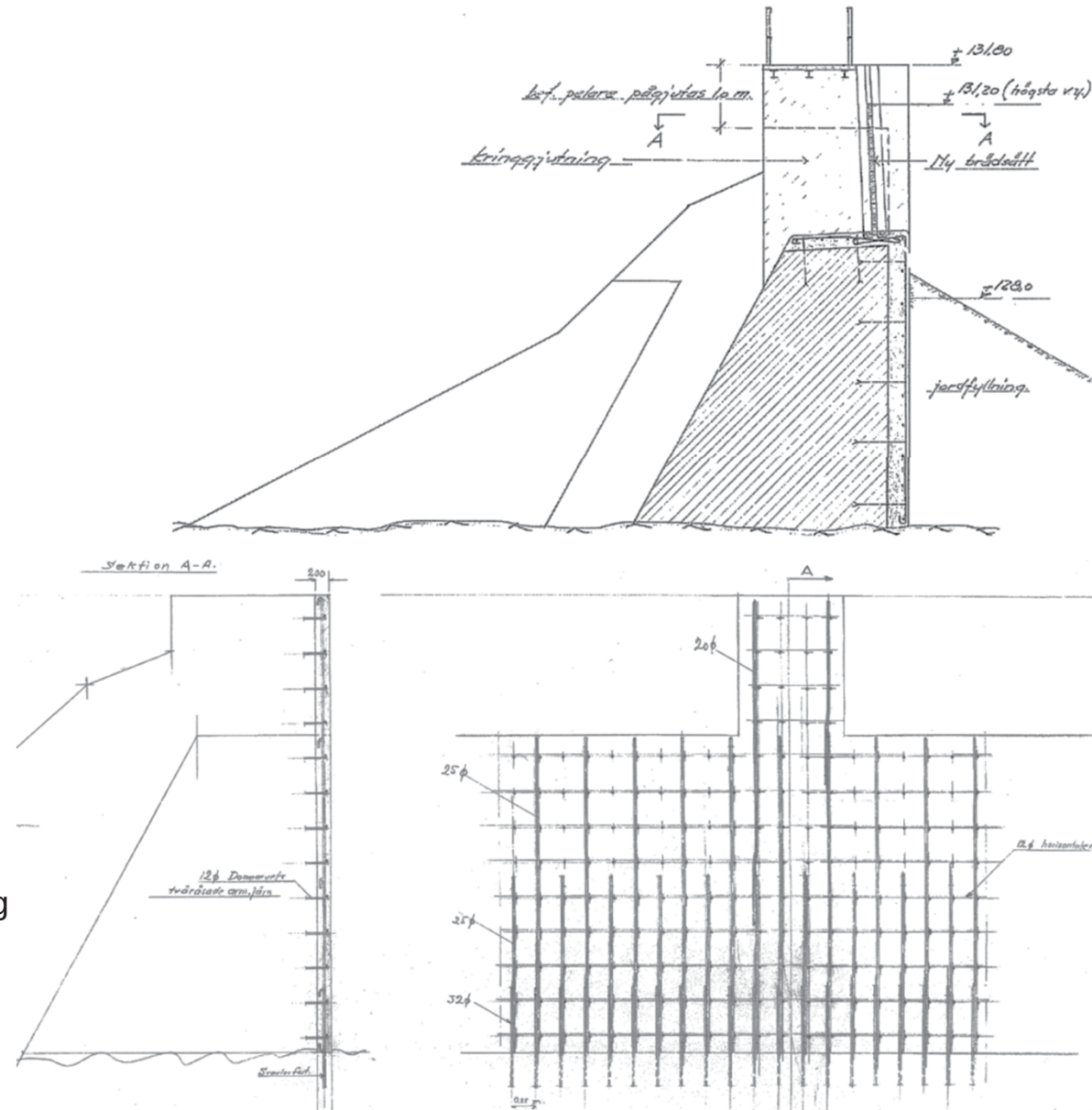
Ref: Rydö Bruksmuseum



Ref: K.-O. Nilsson (www.hyltevykort.se)

Händelser över tid

- Flera uppsättningar av förslagsritningar
- Stödpelarna skulle:
 - Höjas cirka 1 meter
 - Kringgjutas med armerad betong
- Armerad betongplatta på:
 - Utskovströsklarna
 - Stödpelarna uppströmssida
- Betong med 325 kg A-cement per m³ betong
- Højningen utfördes i början av 1940-talet



Händelser över tid

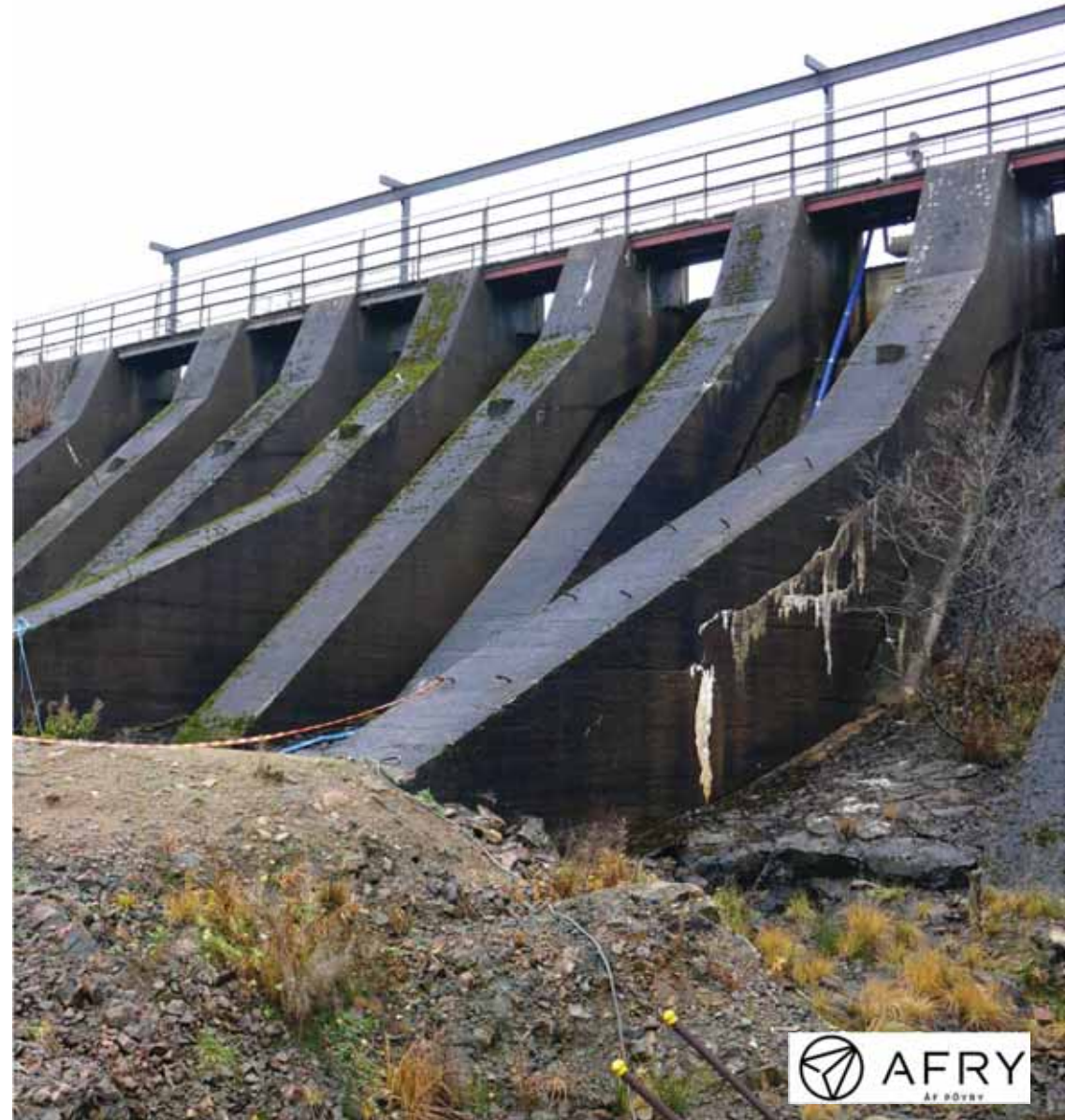
— Injekteringsarbeten utfördes i två omgångar

— 1973

- Regnfattigt år med lågt vattenstånd i Nissan
- Citat "sedan länge välbehövlig renovering"
- 0,1 ton cement per längdmeter damm

— 1987

- Provvborrningar – stor variation i betongens kvalitet
- Totalt borrades och injekterades 217 hål
- Injekteringsbruk (standardcement med vct 0,6)
- 1-1,5 ton cement per längdmeter damm
- 0,5 ton cement per längdmeter damm



Händelser över tid

- 2010-talet
 - Ökade krav på dammsäkerhet
 - Avbördningskapacitet från 200 m³/s till det dubbla
- Osäkerheter
 - Utformning och uppbyggnad
 - Betongens tillstånd
- Kärnborrning
 - 65–105 MPa i tryckhållfasthet i de övre delarna
 - 28–47 MPa i tryckhållfasthet i de nedre delarna
 - Partier med ej sammanhängande betong
- Beslut att ersätta befintlig damm med en ny



En plötslig möjlighet

- Utrivning i torrhet bakom fångdamm
 - Beslut under hösten 2018
- Vad göra med en damm som ska rivas ut?
 - Undersöka sådant som normalt inte kan undersökas
 - Dokumentera dammens inre tillstånd vid utrivning
- Höga ambitioner – kort om tid
 - Utrivning i början av februari 2019
 - Injektera en av dammens stödpelare
- Utförda undersökningar möjliga tack vare:
 - Statkraft, NCC och Energiforsk



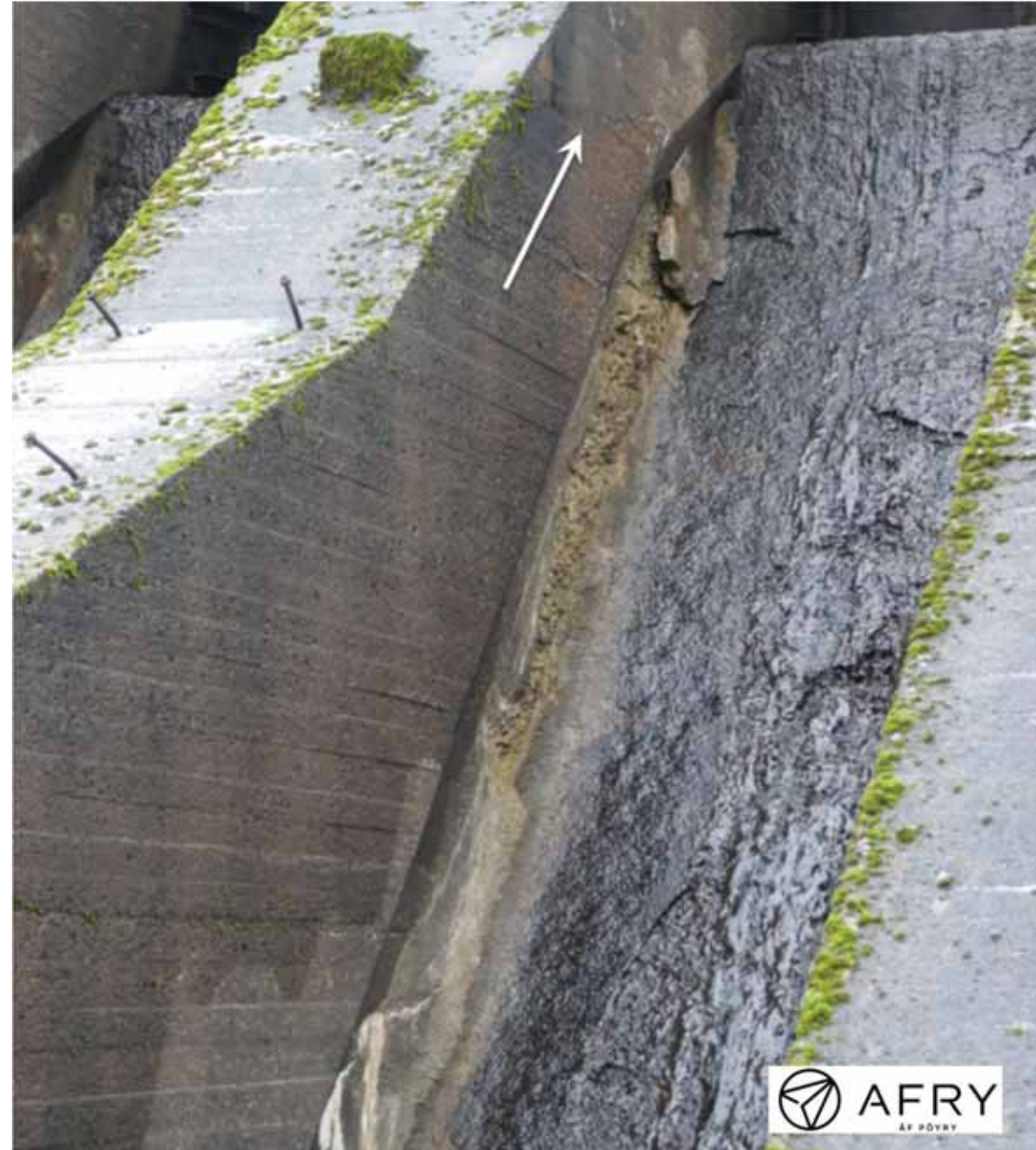
Exteriör status

- Kontinuerligt läckage genom luckornas sättar
- Utskovströsklarna konstant fuktiga
- Troligen reparerade vid ett eller flera tillfällen
- Armerad pågjutning / 5–10 mm tjock
 - Stenbeklädnad
 - Rå betong
- Pågående nedbrytning av pågjutningen



Exteriör status

- Ledtrådar från 1930- och 1940-talets arbeten
- Breddning av stödpelarna
- Gjutfog i stödpelarna (vit pil)
- Trolig höjning av tröskelnivån
- Nedbrytning av betong intill pelarna
- Sporadisk sprickbildning i pågjuten betong





Kärnborrning

- Stödpelare 12 valdes ut för undersökningar
- Kärnborrning i två hål (NS respektive US →)
 - NS: 0,5 m från nedströms kant (6,9 m lång)
 - US: 0,5 m från uppströms kant (5,8 m lång)
 - Inbördes avstånd cirka 0,6 m
- Borrningar utfördes i december 2018
- Varierande kvalitet på betongen
 - I spannet mellan bra betong och usel betong
- Värmekabel i hålen inför injektering



Vattenförlustmätning

- Efter kärnborrningen konstaterades det att:
 - Vattnet sjönk sakta undan i borrhål NS
 - Vattnet i borrhål US i nivå med magasinet
- Slutsatserna som drogs var att:
 - Borrhål US stod i direkt kontakt med Nissan
 - Förbindelse saknades mellan borrhål US och NS
 - Det fanns en läckageväg ut för vattnet i borrhål NS
- Borrhålen fylldes och trycksattes (ca 0,3 bar)
 - Borrhål NS: Vattenflöde av 2,0–2,5 liter/minut
 - Borrhål US: Vattenflöde av 27–28 liter/minut
- Inga ökade läckage nedströms noterades



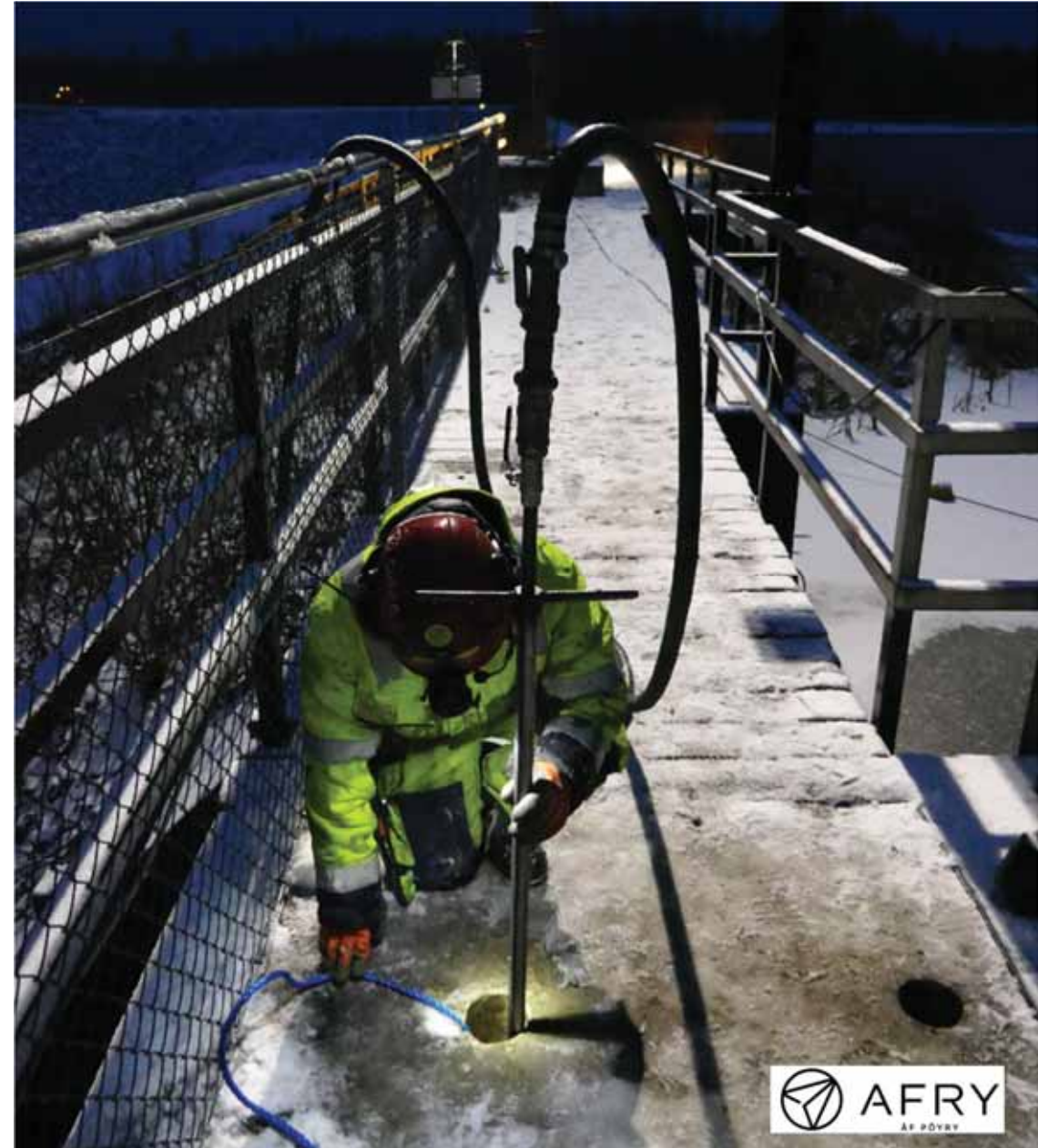
Injektering

- Injektering utfördes i mitten av januari 2019
- Injekteringsbruk
 - Injekteringscement
 - Vattencementtal 1,0 / 0,6
 - Inga tillsatsmedel
- Säkerhetsrestriktioner
 - Injekteringsutrustning nedströms dammen
 - Blandare, lagringskärl, pump och registreringsutrustning
 - Höjdskillnad på 7 – 8 m
 - 30 m lång slang
- Ej optimala förhållanden



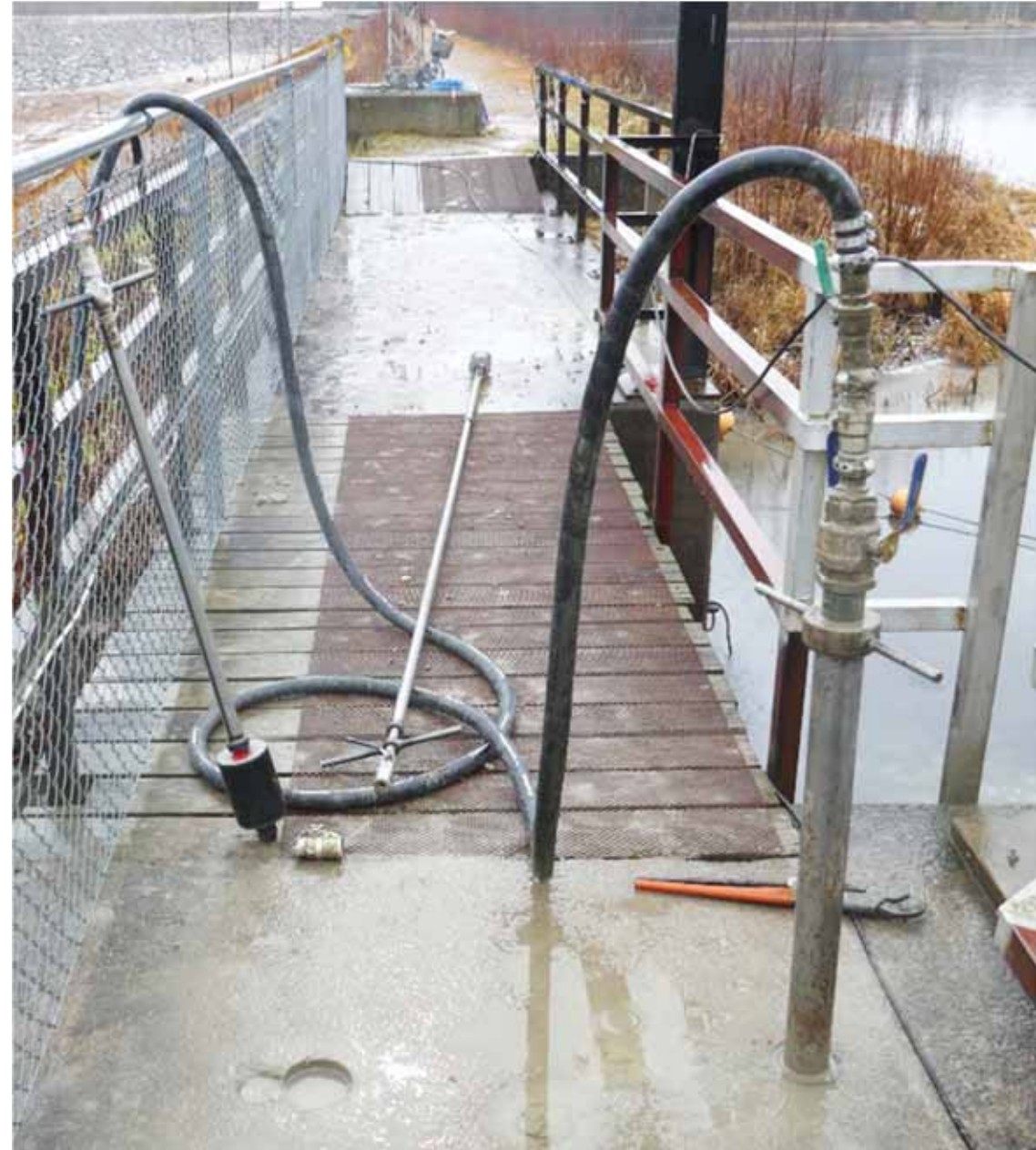
Injektering

- Höga ambitioner
 - Specialframtagen utrustning för att möjliggöra injektering i nivåer med kvarsittande packer
 - Injektera en meter av hålet åt gången
 - Koppla ihop bruksåtgång med kärnkartering
- Borrhål NS
 - Injekteringsbruk med vct 1,0
 - Injekteringstryck svårbedömt – försiktighetsprincip
 - Pumpptryck 4,5 bar – försumbar åtgång av bruk
 - Försök gjordes på flera nivåer
 - Ingen framgång överhuvudtaget
 - Slutsats att betongen var för tät



Injektering

- Borrhål US
 - Större förhoppningar till följd av otätare betong
 - Injekteringsbruk med vct 0,6
 - Samma avsaknad av framgång som i borrhål NS
- Felsökning och nytt försök
 - Vid pumptryck 8 bar började det fräsa i packern
 - Vid 11 bar erhöles ett flöde om 10–15 liter/minut
 - Pumptrycket kunde sänkas till 8 bar
- Resultat
 - Efter 400 liter började mottryck erhållas
 - Flödet stannade av helt efter 436 liter
 - Inga tecken på läckage av bruk



Kärnborrning

- Kärnborrning i ett hål (MN)
 - Mittemellan borrhål NS och US
 - Borrning till 5,2 m djup
- Borrningar utfördes i februari 2019
- Inga tydliga tecken på förbättring
 - Injekteringsbruk påträffades
 - Ställvis usel betong
- Slutsatserna som drogs var att:
 - Injekteringsbruket hade sökt sig uppströms eller sidledes in i trösklarna



Dammens utrivning

- Dammen skulle rivas ut till nivå +124
 - 7 meter under däckningsgräns
 - 8 meter under dammkrön
- Utrivningen kom igång i juni 2019
- Rivningsmaskin med hydraulhammare
- Rivningen inleddes med stödpelare 11
- Därefter utskovströsklarna mot pelare 10/12



Dammens utrivning

- Betongen från 1930/1940-talet med cementhalt 325 kg/m^3 var av god beskaffenhet
- Inga synliga tecken på inre nedbrytning
- Armering i form av rundjärn med ändkrokar
- Förankringsjärn inborrade i ursprunglig betong
- Ursprunglig betong uppvisade en brunaktig ton





Stödpelare 12



Stödpelare 12



Stödpelare 10



Stödpelare 12









Armering

- Ursprungliga dammen var oarmerad
- Armering av typen rundjárn påträffades i pågjutna delar från 1930/1940-talet
- Inga tecken på korrosion
- Förankringsjärn inborrade och fastgjutna
- Enstaka tecken på korrosion
- Endast ytrost kunde noteras



Betongstycken

- Betongstycken från stödpelare 12 togs tillvara
- Vid närmare kontroll kunde injektering noteras
- Transporterades till Lunds Tekniska Högskola
 - Avdelningen för Byggnadsmaterial
- Laboratoriestudie – bestämning av:
 - Hydraulisk konduktivitet
 - Tryckhållfasthet
 - E-modul
 - Spräckhållfasthet
- Pågående Energiforskprojekt





Trolig gjutfog



Trolig gjutfog

Slutkommentarer

- God överensstämmelse mellan dammens inre tillstånd och resultat från kärnkarteringen
- Svårt att förutse injekteringsbrukets spridning
- Sporadisk inträngning i hålrum och svagheter
- Förekomst av dy i sprickor (organiska material)
- Injektering kan inte "återställa" konstruktionen
- Tätande injektering kan reducera läckage och då bromsa takten för fortsatt nedbrytning

