

Geofysiska metoder inom dammsäkerhetsområdet Nuläge och exempel på framtida metoder

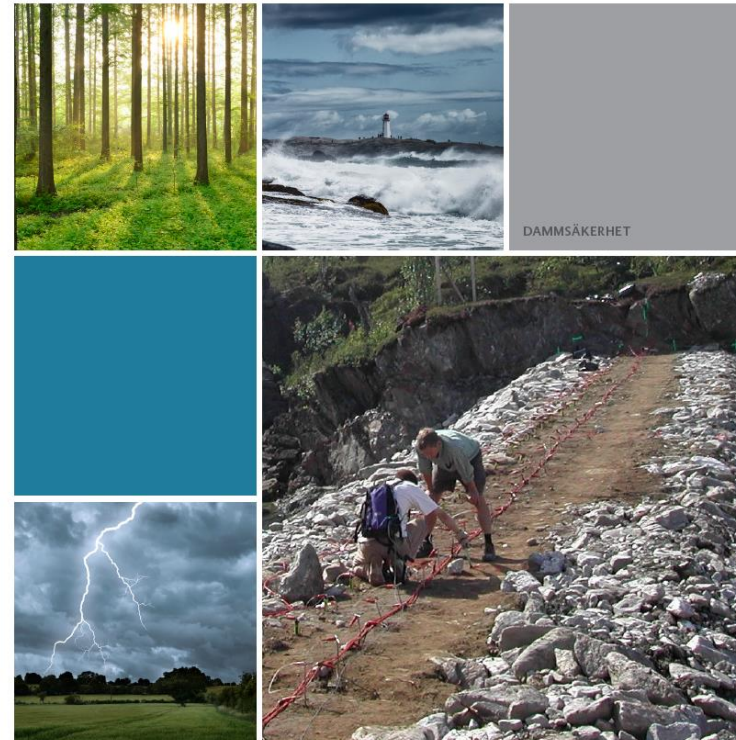
SwedCold 2019-10-22

Pontus Sjödahl & Sam Johansson
HydroResearch

- Behov av kunskapssammanställning inom geofysikområdet
- Utfördes under 2018
- Publicerades våren 2019
- Författare
 - Pontus Sjödahl, HydroResearch
 - Sam Johansson, HydroResearch
 - Torleif Dahlin, LTH
- Tack till referensgrupp!

GEOFYSISKA METODER INOM DAMMSÄKERHETSOMRÅDET

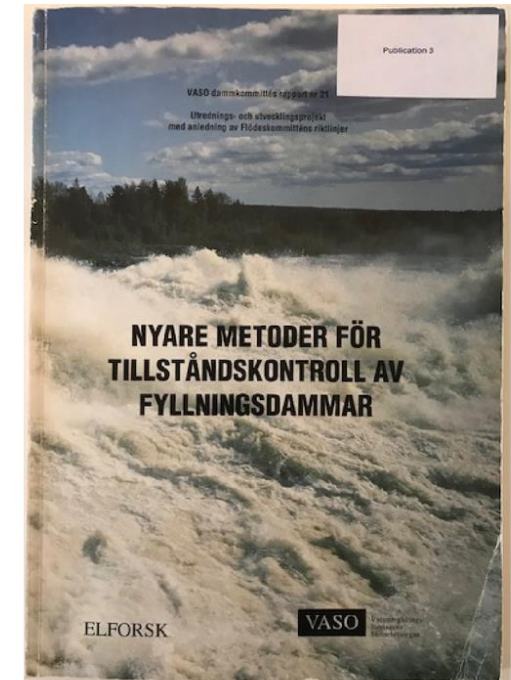
RAPPORT 2019:571



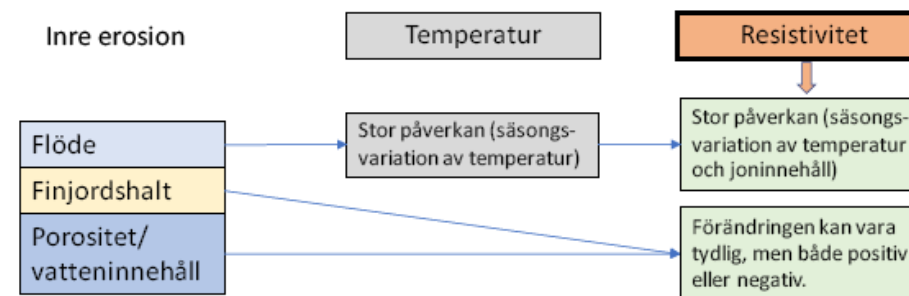
- Från SwedColds höstmöte 2017:

Nyare metoder

- Genomgång av nyare metoder för tillståndskontroll av fyllningsdammar, VASO Rapport 21 från 1995.
- Strömningsrelaterade mätparametrar bättre än materialparametrar.
- Mest lämpliga nyare metoder för dammövervakning:
 - SP
 - Resistivitet
 - Temperatur
 - Hydrokemisk analys/turbiditet
 - Läckljud
- Men... det pågår snabb teknikutveckling! Samma bedömning idag?



- Metoder av geofysisk karaktär
 - Inte geodetiska eller geotekniska metoder
 - Inte heller konventionella mätmetoder såsom läckagemätning och portrycksmätning
- Huvudfokus på skador i fyllningsdammar och inre erosion
- Mätparametrar
 - Direkta/Primära
 - Indirekta/Sekundära
- Mätparametrar kopplat till skadetyper eller händelse
- Undersökning eller övervakning



Figur 4 Respons vid inre erosion för resistivitet (indirekt/sekundär parameter).

Primära indikationsparametrar	Rörelser	Portryck	Flöde	Vattenkvalitet	Temperatur	Spänningar	Sprickvidd	Densitet	Porositet	Hydraulisk konduktivitet	Korngradering	Ljud
1. Skred	X	X	-	-	-	X	X	-	-	-	X	X
2. Deformationer, horisontellt och vertikalt	X	-	-	-	-	X	X	X	X	-	-	X
3. Hydraulisk uppspräckning	-	X	X	X	X	X	-	X	X	X	-	X
4. Inre erosion, <u>piping</u>	X	X	X	X	X	X	-	X	X	X	X	-
5. Sprickor i berggrunden	X	X	X	X	X	X	X	-	-	X	-	X
6. <u>Injekteringskvalitet</u>	-	X	X	X	X	-	-	X	X	X	X	X
7. Spontfunktion	-	X	X	X	X	X	-	X	X	X	X	X
8. <u>Inhomogeniteter</u>	-	X	X	X	X	X	-	X	X	X	X	
9. Valvbildning	-	X	X	-	X	X	-	X	X	X	-	-
10. Utmattning	X	X	X	X	X	X	X	-	-	-	-	X
11. Frostskador	X	-	-	-	X	X	-	X	X	X	X	-
12. <u>Ytererosion</u>	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-
13. Överströmning av <u>tätkåman</u>	X	X	X	X	-	-	-	X	X	-	X	-
14. Erosion av <u>dammtå</u>	X	-	X	-	-	-	-	-	-	-	X	-
15. Sönderfall	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-

Figur 8 Sammanställning över skadetyper och tillhörande parametrar som påverkas vid en förändring i dammen (bearbetad efter Johansson et al. 1995).

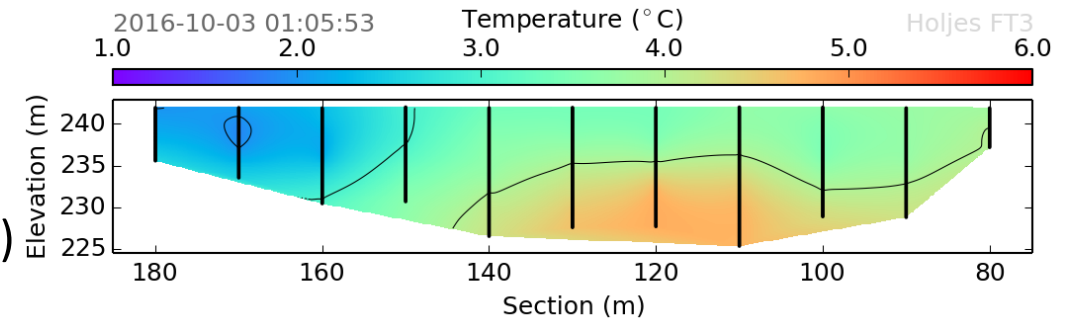
- Åtta metoder/grupper av metoder
- För varje metod en beskrivning av
 - Fysikalisk princip
 - Praktiskt tillvägagångssätt
 - Utvärderingsmetodik
 - Möjligheter och begränsningar
 - Lämplighetsbedömning för dammtillämpningar
- Utförligare beskrivning med exempel i bilagor för vissa av metoderna
- Referenser för den som vill läsa mer



Bild från Phil Sirles, FEMA 2016

- Temperaturmätning
- Elektriska metoder
 - Självpotential, SP
 - Resistivitet, ERT
 - Inducerad Polarisation, IP
- Akustiska metoder
 - Refraktionsseismik
 - Reflektionsseismik
 - Ytvågsseismik
 - Ekolod/Sonar
 - Läckljudsmätning
 - Övriga seismiska metoder
- Georadar
- Induktiva elektromagnetiska metoder
 - Very Low Frequency, VLF
 - Radio magneto-tellurik, RMT
 - Slingram
 - Transient elektromagnetisk sondering, TEM
 - Magnetisk resonanssondering, MRS
 - Elektromagnetisk profilering
- Magnetiska metoder
- Gravimetriska metoder
- Övriga metoder
 - Geofysisk borrhålsloggning
 - Analys av läckagevatten och turbiditetsmätning

- Generell övervakning
 - Inriktning: "Hela dammen hela tiden"
 - Ex från temperatur- och resistivitetsövervakning
- Övervakning av specifika felmoder
 - Undersökningsmetoder för sjunkhål (WAC Bennett Dam)
 - Inre erosion undergrund längs invallningar
- Andra tillämpningar
 - Grundundersökningar vid nybyggnation
 - Bestämning av tätkärnans krönnivå
 - Undersökning av sponter status och funktion
 - Undersökning på grund av bristande dokumentation
 - Undersökning av skredområden
 - Undersökning av frostpåverkan
- Fullskaletester på dammar
 - Ijkdijk, NL
 - Røssvatn, Norge



Temperaturövervakning i 11 borrhål



Røssvatn, Norge



Ijkdijk, NL

Slutsatser och rekommendationer (Energiforskrappport)

- Temperaturmätning används mest pga goda grundförutsättningar, tidiga satsningar med lovande resultat samt möjlighet till distribuerad mätning i optisk fiber
- Snabb teknisk utveckling för akustiska metoder ger möjligheter för främst refraktionsseismik och ytvågsseismik
- Möjligheter att utveckla elektriska metoder, främst resistivitet och inducerad polarisation
- Georadar har stor potential för undersökning, men mindre lämplig för övervakning

- Rekommendationer och framtida möjligheter:
 - Fokusera på flödesberoende parametrar
 - Utbildningssatsningar
 - Erfarenhetsåterföring (även mindre lyckade arbeten!)
 - Akustiska metoder som övervakning
 - Vidareutveckling av elektriska metoder
 - Integrerad modellering/inversion av flera parametrar simultant

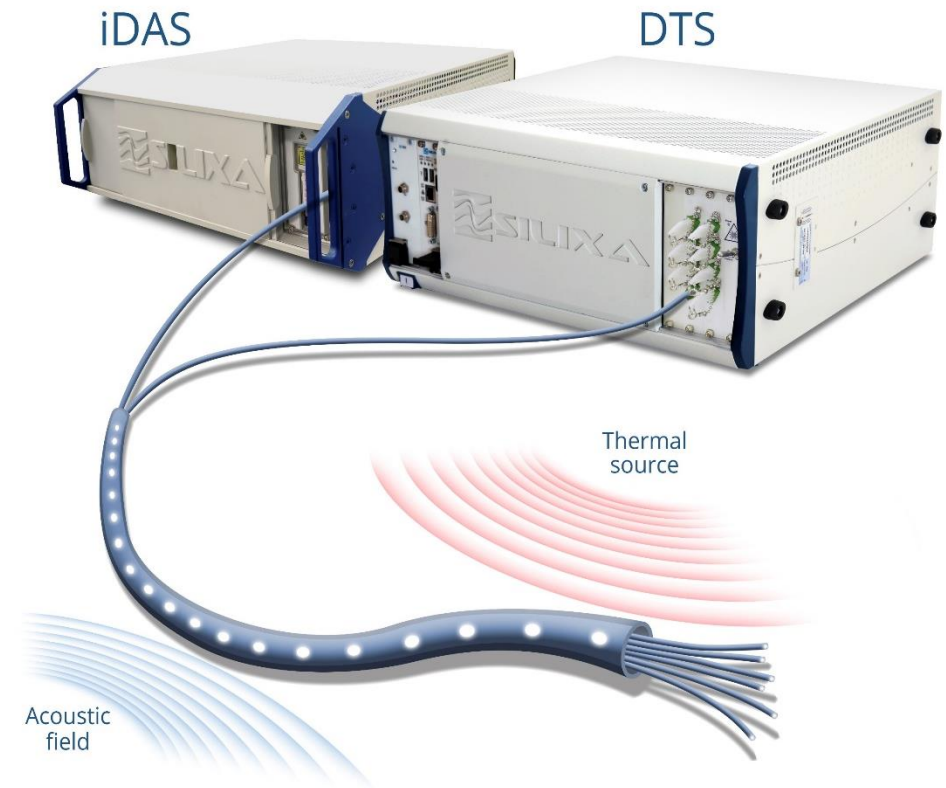
Seepage and Internal Erosion Detection using Distributed Acoustic Sensing

SwedCold 2019-10-22

Sam Johansson, Ph.D.
HydroResearch

Michael Mondanos, Ph.D.
Silixa

- Light based measurement system using fiber optic cable and an “interrogator”
 - Allows for simultaneous measurements at all points along an optical fibre
 - Similar to a string of thousands of thermometers (DTS) or microphones/geophones (DAS)
 - Sub-meter sampling capability with measurement ranges of tens of kilometres
-
- Distributed Temperature Sensor = **DTS**
 - Distributed Acoustic Sensor = **DAS**



PASSIVE SPATIAL & TEMPORAL MONITORING COVERAGE

Distribuerade akustiska mätningar – hur känsliga är mätsystemen?



The world's finest distributed acoustic sensor, the iDAS, has a novel optoelectronics architecture that allows for digital recording of acoustic fields at every location along a singlemode or multimode optical fibre. Amplitude, frequency and phase fidelity allows for numerous advanced applications.

Benefits of iDAS

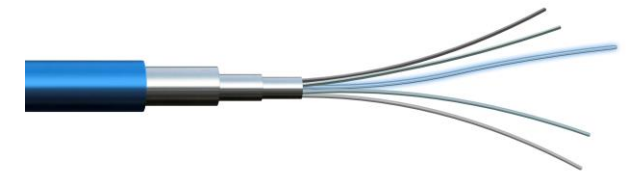
- » Finest Sampling Resolution = 25cm
- » Sampling Frequency = 1kHz-100kHz
- » Range = up to 40km
- » Easily deployed in remote and hostile environments
- » Finest Spatial Resolution = 1m
- » Frequency Range = 0.01Hz to 50kHz
- » Dynamic Range = >120dB
- » Compatible with standard singlemode and multimode optical fibre

Product Specifications

Sensing Capabilities

Range	Channels	Frequency		Resolution	
		Range	Sample	Sampling	Spatial
0 - 40km	1	0.01Hz - 50kHz	1kHz*	down to 25cm*	down to 1m*

* Range and application dependent. Eg. Silixa iDAS has spatial resolution of 10m, sample interval of 25cm and sample rate of 10kHz on a 10km optical fibre.

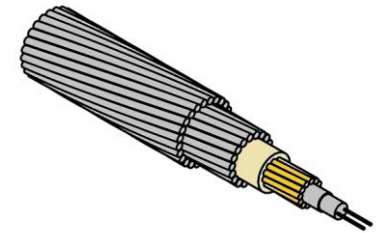
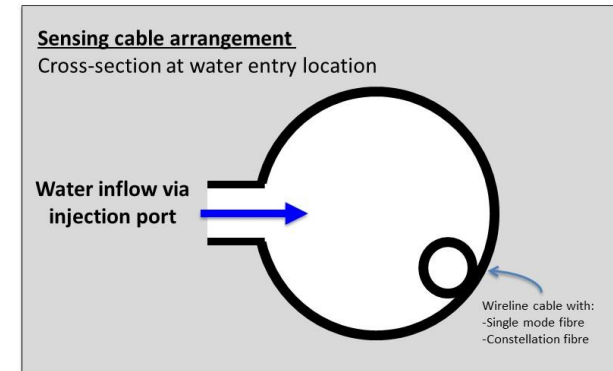
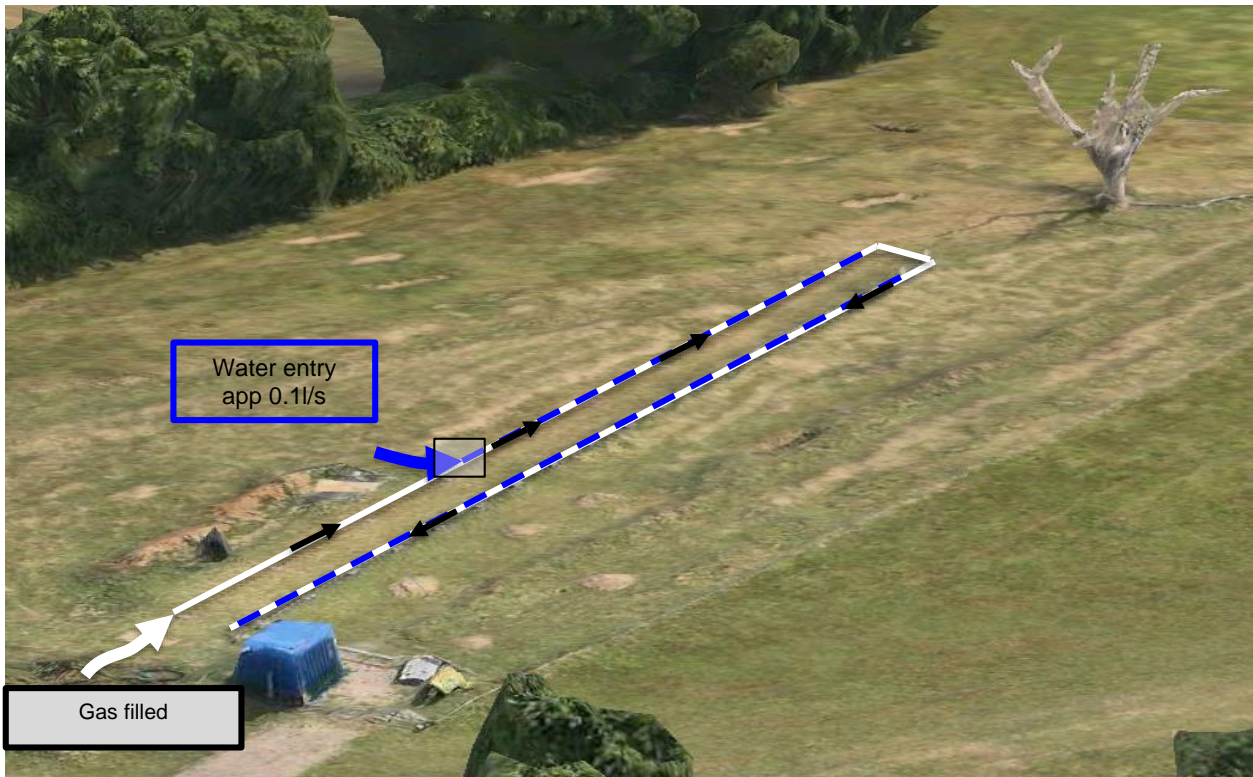


iDAS has a dynamic range of 120dB, but is increased to 160dB for Carina system (new iDAS + Constellation fibre).

The sampling frequency depends on the length of the measured fibre. For 200m it can be about 500kHz.

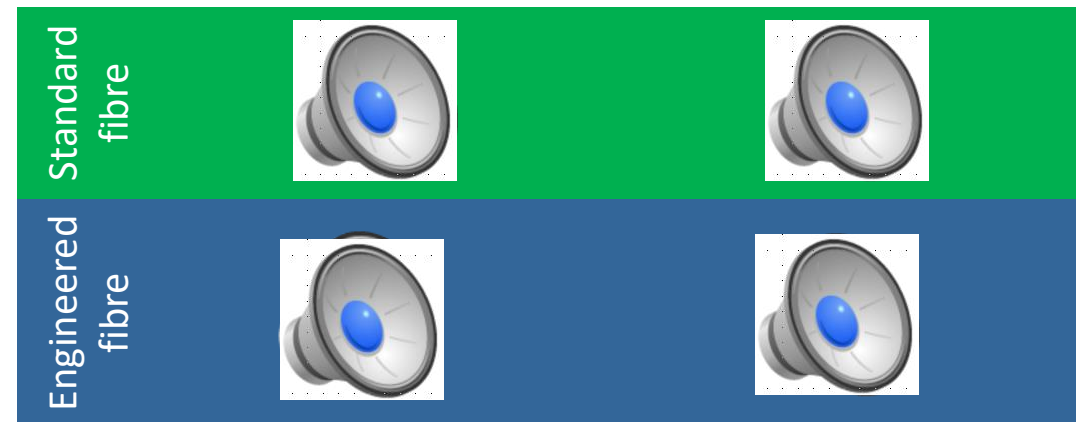
Distribuerade akustiska mätningar – vad kan man höra?

Inflöde till ledning – Test site utanför London



Background noise

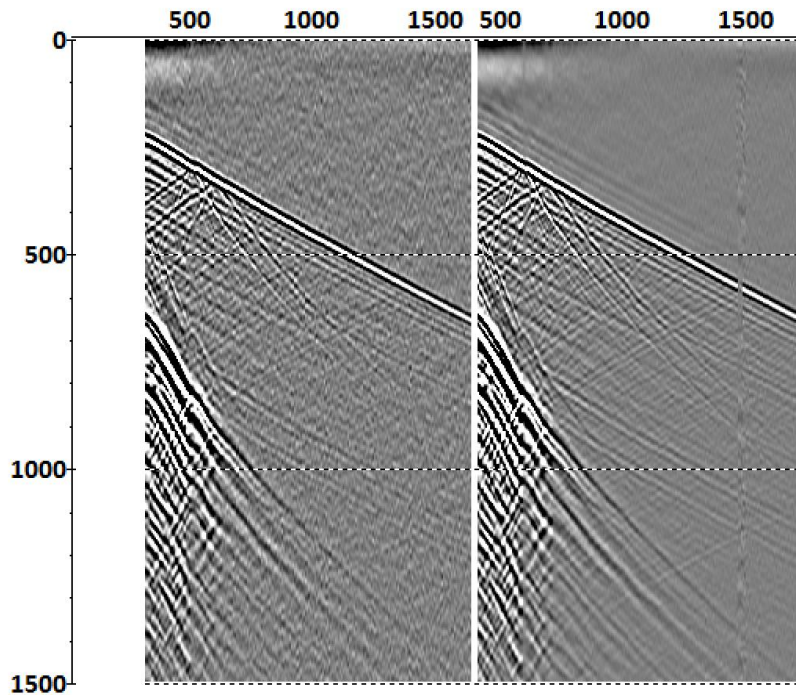
Water noise



- Seismiska mätningar - Aktiva

- Refraktionsseismik
- Ytvågsseismik
- MASW

DAS - "a game changer"

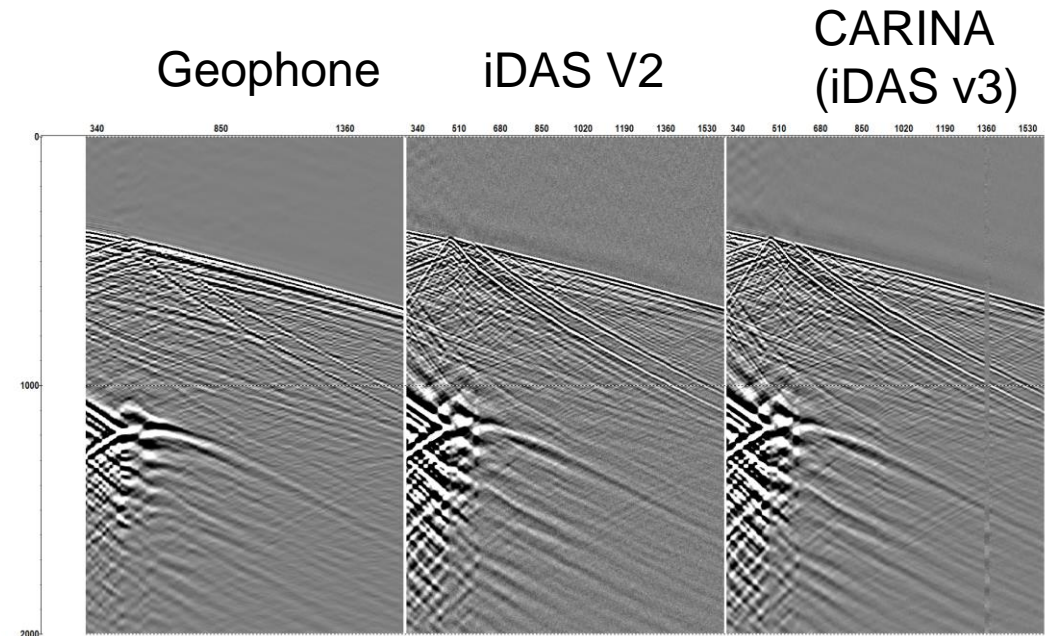


Motors, 0-80 Hz



(Courtesy of CO2CRC Ltd)

SwedCold 2019-10-22



Distribuerade akustiska mätningar - Aktiva mätningar i Sverige ...

Tre pågående project:

- Jämförelse mellan geofoner och DAS i djupa borrhål. Utförs tillsammans med Uppsala Universitet på uppdrag av SKB.
- Bedömning av materialegenskaper vid marksstabilisering. Utförs tillsammans med LTH, med finansiering från Vinnova (InfraSweden2030), PEAB and SBUF.
- Integrerad geofysisk undersökning för bestämning av jorddjup och bergkvalitet vid undervattenspassager. Utförs tillsammans med LTH, med finansiering från Vinnova (InfraSweden2030) och BeFo.

BIO


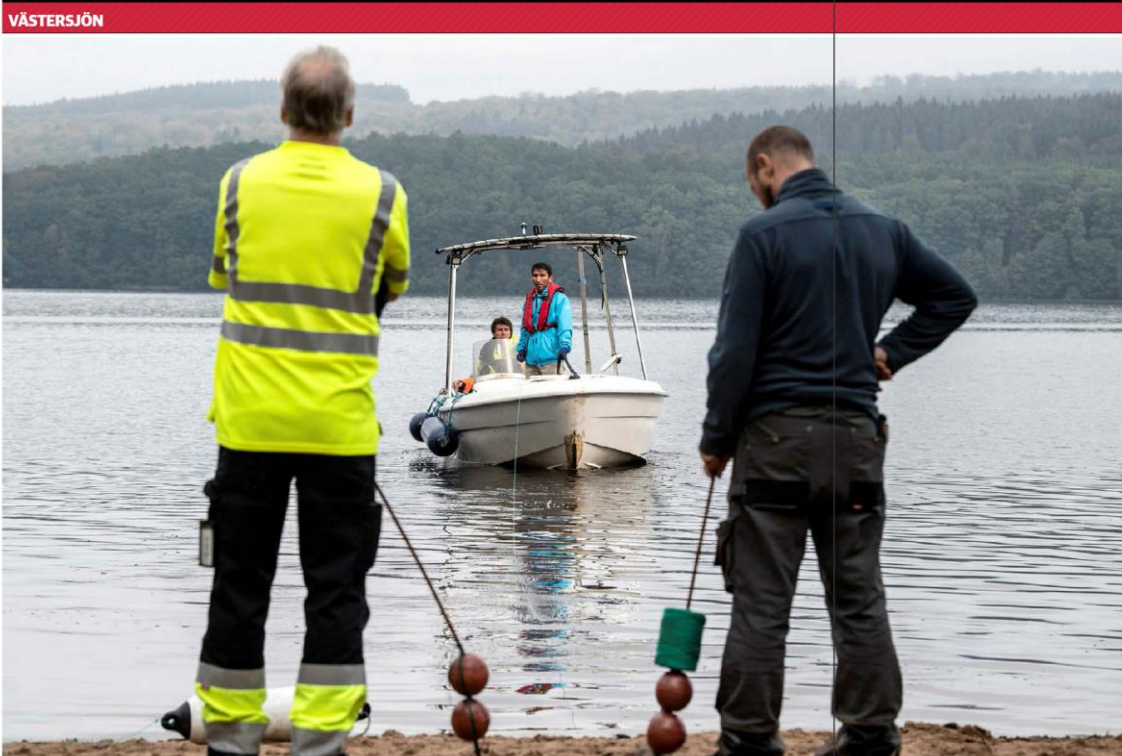
ÖNSDAG 11 SEPTEMBER 2019

ÖNSDAG 11 SEPTEMBER 2019

ÄNGELHOLM

Chief: Kristian Nilsson
E-post: angelholm@bio.se Redaktionen: 0431-842 50
Nyhetstips: 020-50 13 80 Kundtjänst: 042-489 50 89

VÄSTERSJÖN



Sam Johansson och Mike van der Werf drar fram fiberkabeln som ska läggas på Västersjöns botten.

» När tryckvågen registreras kan vi mäta hur djupt det är till berget, hur hårt berget är och om det finns svaghetszoner i berget.

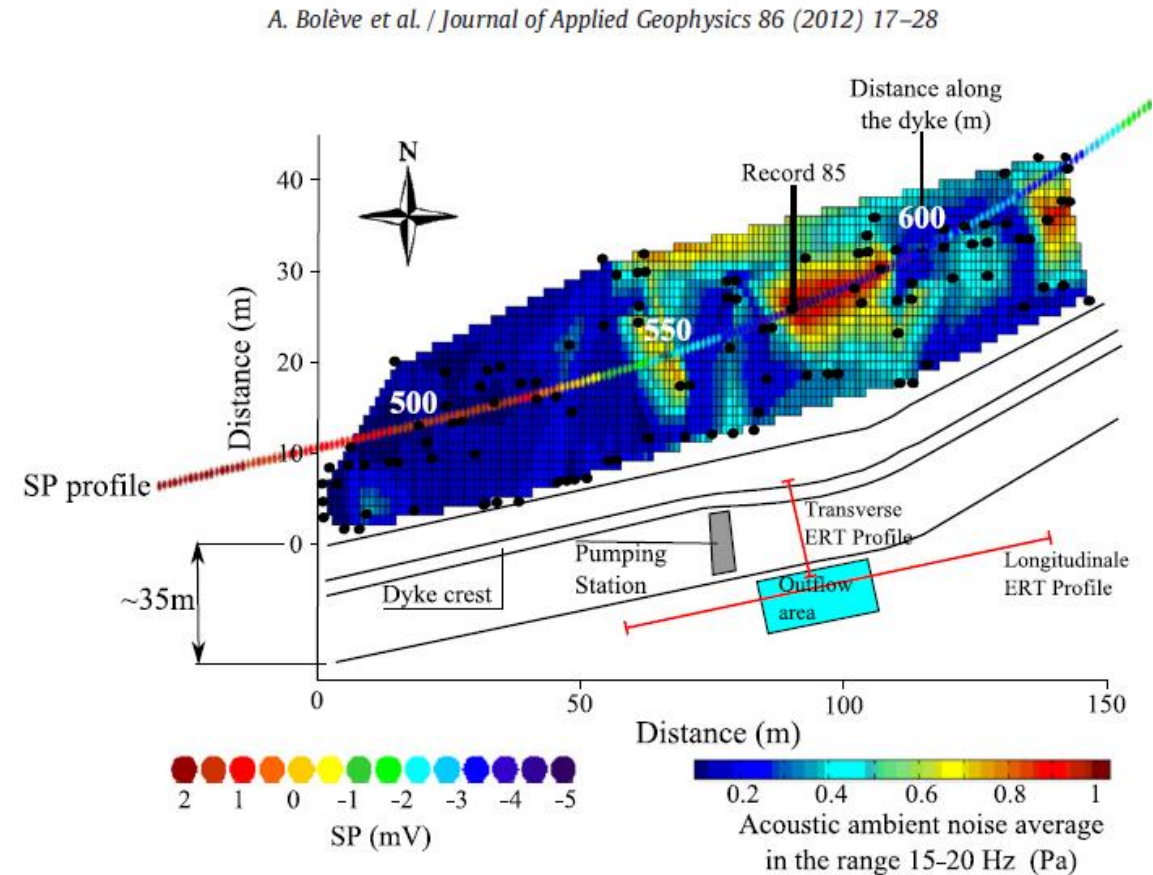
Roger Wisén, projektledare.

Projektledare Roger Wisén och Elzar Gómez drar ut sträckningen medan Sam Johansson och Mike van der Werf väntar på Åspenäs strand.

Sprängning i sjön kan bli hjälp vid tunnelbyggen

Distribuerade akustiska mätningar – något för övervakning av våra dammar?

- Läckagemätning/utflöde
 - USA och Frankrike
- Passiv mätning: "Ambient seismic noise interferometry"
 - Övervakning av jordskred, vulkaner, vatteninnehåll, inre erosion, liquefaction

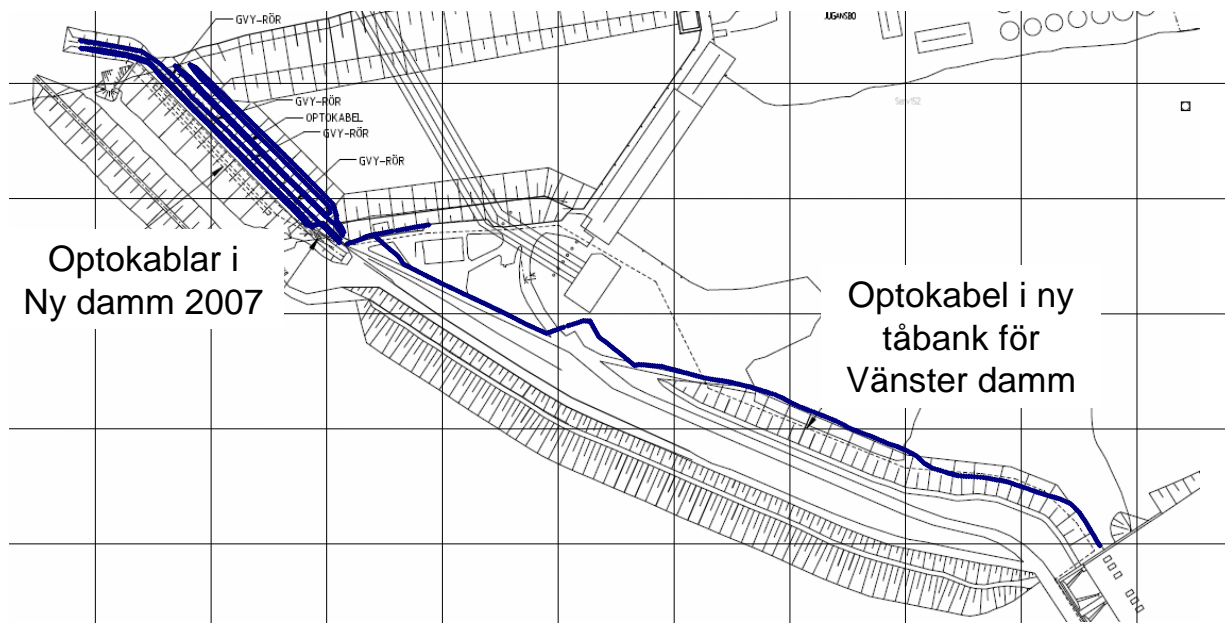


Monitoring the stability of tailings dam walls with ambient seismic noise

Gerrit Olivier¹, Florent Brenguier², Tjaart de Wit¹, and Richard Lynch¹

Distribuerade akustiska mätningar i en låg fyllningsdamm? Finansierat av Energiforsk

- Testmätning 2017, 75 min
- Evaluation techniques:
 - Ambient Seismic Noise Interferometry
 - Spectral Analysis of Surface Waves & Multichannel Analysis of Surface Wave



Test measurements at Näs Dam, 2017

Vattenfall AB Business Strategy, R&D

Retrieving propagating seismic waves from DAS data recorded at an earthen dam toe.

Dr Roméo Courbis and Dr Richard Lynch (Sisprobe)

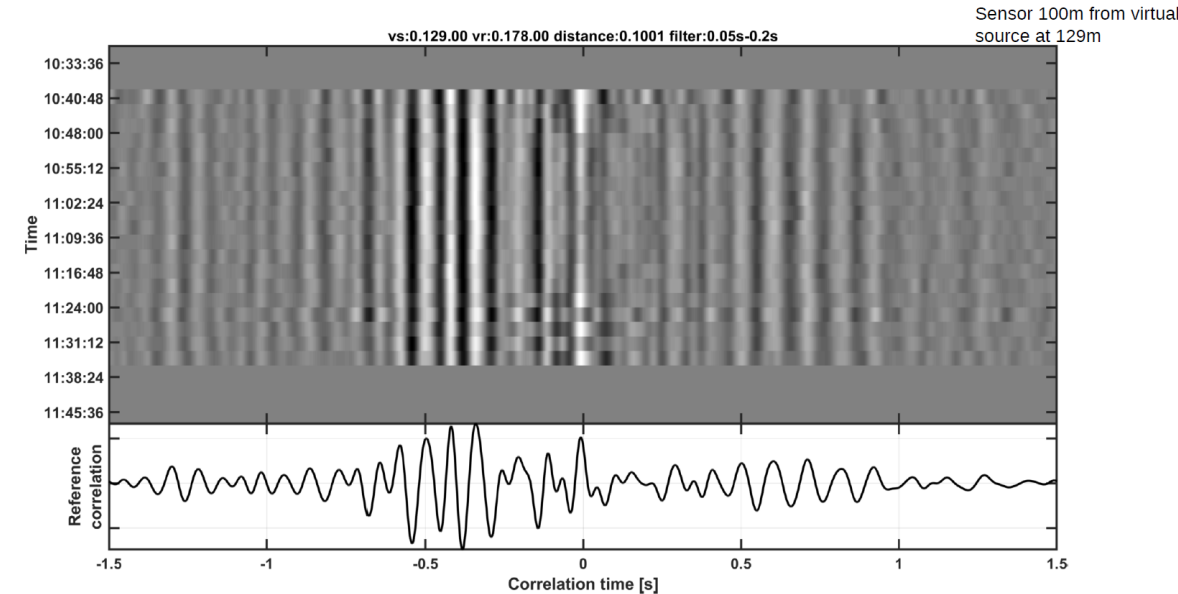
For: Silixa
May 2019



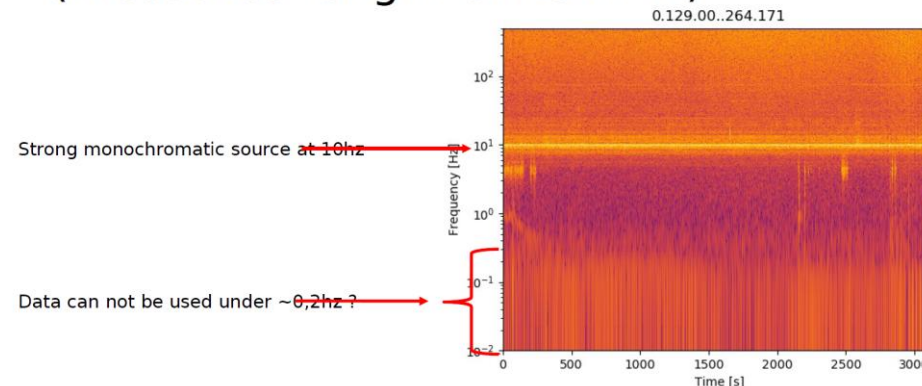
Correlation processing

- For each section:
 - For each pair of point:
 - ✓ Data processing and cross-correlation
 - ✓ This converts one of the sensors into a virtual seismic source, with seismograms receives by the other sensor

The reconstructed seismograms (distance 129m acting as the virtual seismic source) are stable over the 75min of recording period – indicating that noise sources are stable and diffuse – good news for monitoring!



Spectrogram of trace #129 (measured length of 264.2m)



Distribuerade akustiska mätningar – ett tekniksprång - “Game changer”?

- Potentialen för DAS är stor.
- Det finns många tillämpningsområden för tillståndskontroll av olika konstruktioner.
- Många intressanta forskningsprojekt pågår internationellt där både mät- och utvärderingstekniken kommer att förbättras. OBS stora datamängder AI?
- De optiska kablar som finns i svenska dammar kablar kan användas och har lång återstående livslängd
- Erfarenheter från andra tillämpningsområden kommer också att bidra till ökad förståelse för mätning på dammar.
- Förhoppningsvis kommer vi att få se flera tillämpningar även inom vårt teknikområde.

“Game changer”?

