

A 3D perspective diagram of a dam cross-section. It shows the internal structure of the dam, including a central core and various layers. Arrows indicate the flow of water and the paths of potential leakage or erosion within the dam's body. The diagram is rendered in a light gray, wireframe style.

Övervakning av fyllningsdammar för att upptäcka avvikande läckage och inre erosion - pågående FoU

Torleif Dahlin, Per Hedblom, Léa Lévy, Aristeidis Nivorlis, Reyhaneh Norooz, Per-Ivar Olsson
Teknisk geologi, LTH/Lunds universitet

Pågående projekt vid Teknisk geologi, LTH

- Detektering av inre skador i fyllningsdammar genom geoelektrisk övervakning (Energimyndigheten)
- Anpassning av övervakning med DCIP tomografi för förvaltning av fyllningsdammar (SVC)
- Integrerad av tolkning av elektrisk resistivitetstomografi med numerisk flödesmodellering för detektering av interna defekter i fyllningsdammar (SVC)



LUNDS
UNIVERSITET



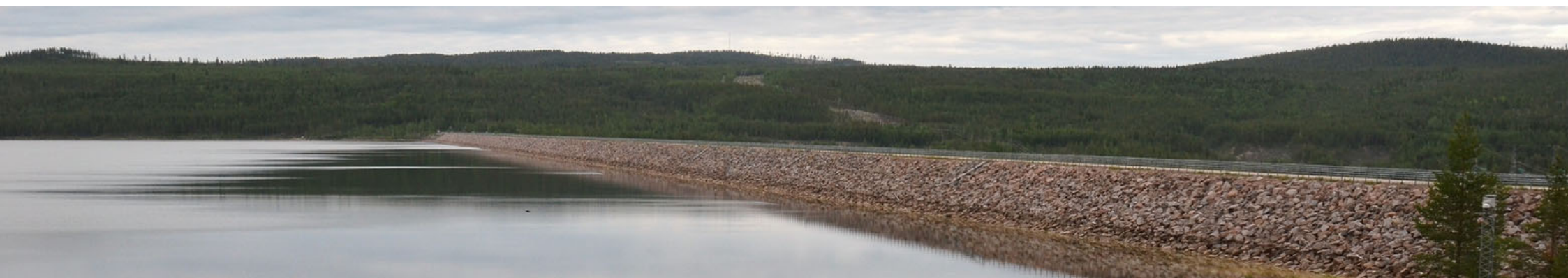
Foto: Pontus Sjödahl



LUNDS
UNIVERSITET

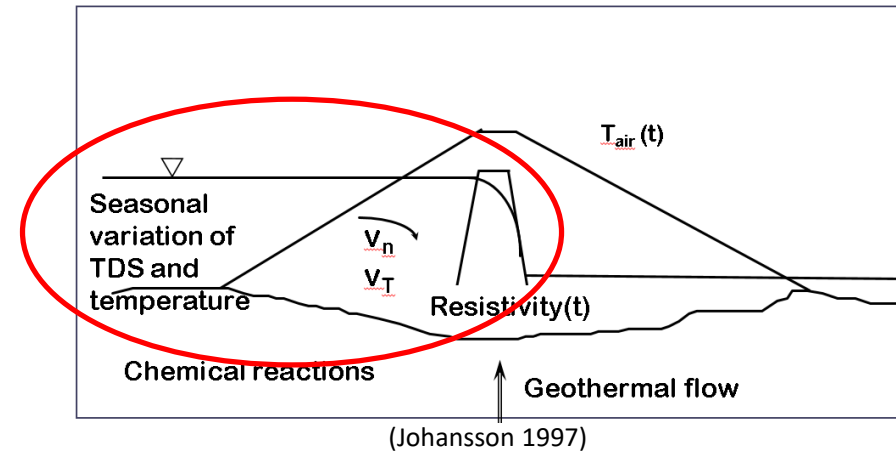
Motivering: Varför ERT / DCIP för dammar?

- Ökad andel vind- och solel, samt nedstängning av fossil- och kärnkraft, ökar kraven på tillgänglighet för vattenkraften
- Oplanerad nedstängning för underhåll och reparationer måste undvikas
- Svenska vattenkraftsdammar typiskt 50-100 år gamla
- Största hoten för dammbrott; a) överdämning, b) inre erosion
- Inre erosion ofta osynlig från ytan
- Behov av bättre metoder för tillståndskontroll och övervakning!

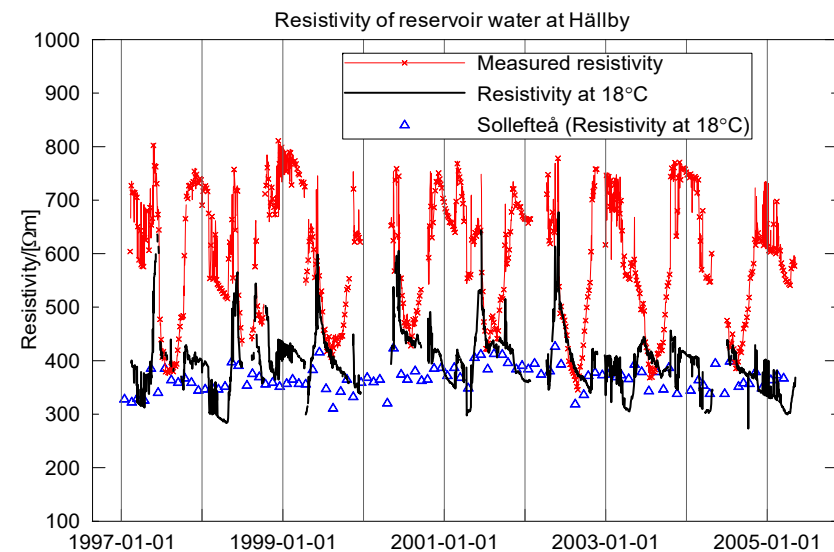
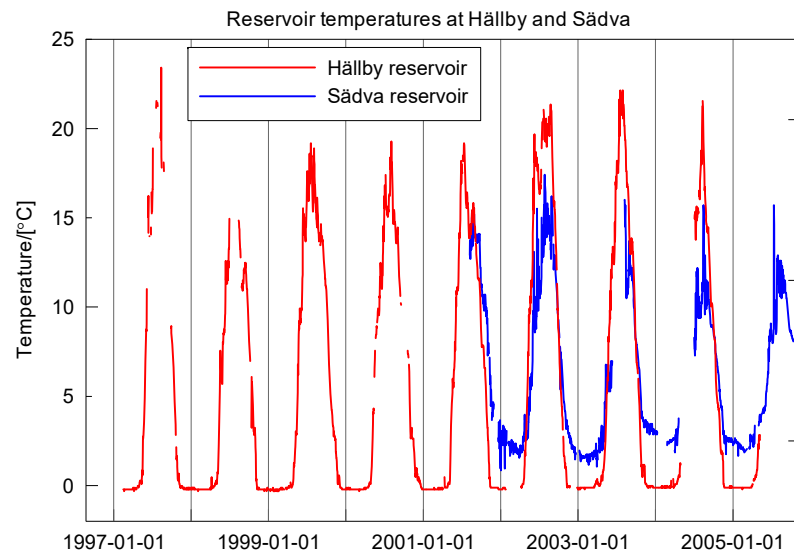


Resistivitet i fyllningsdammar

- Vattenflöde $\Rightarrow$ temperaturvariation
 $\Rightarrow$ resistivitetsvariation
- Tillståndskontroll och övervakning
- Icke-förstörande/ icke-penetrerande (nåja)
- Variation i jonhalt, vattennivå, tjälning, etc. påverkar



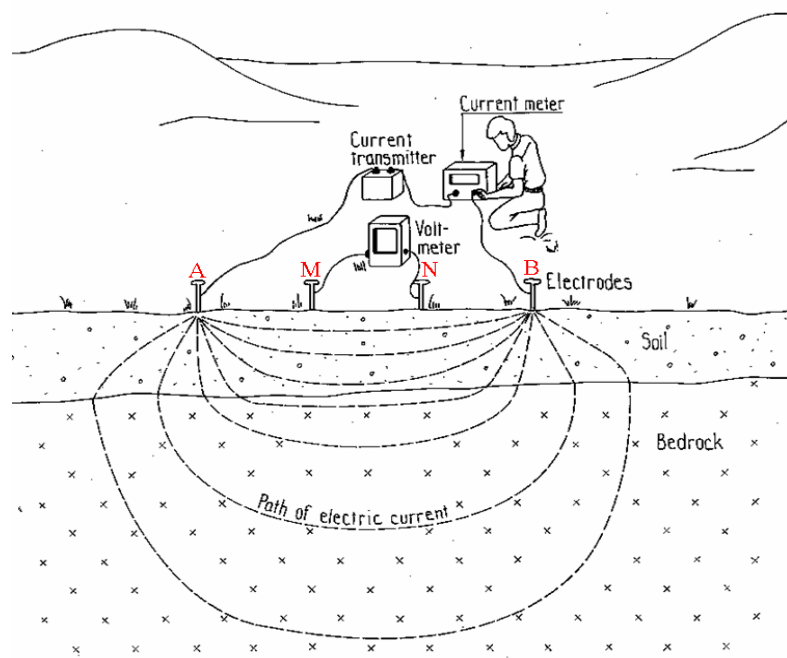
Variation i temperatur och resistivitet i magasinsvattnet



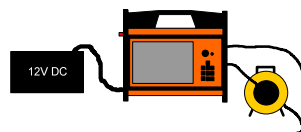
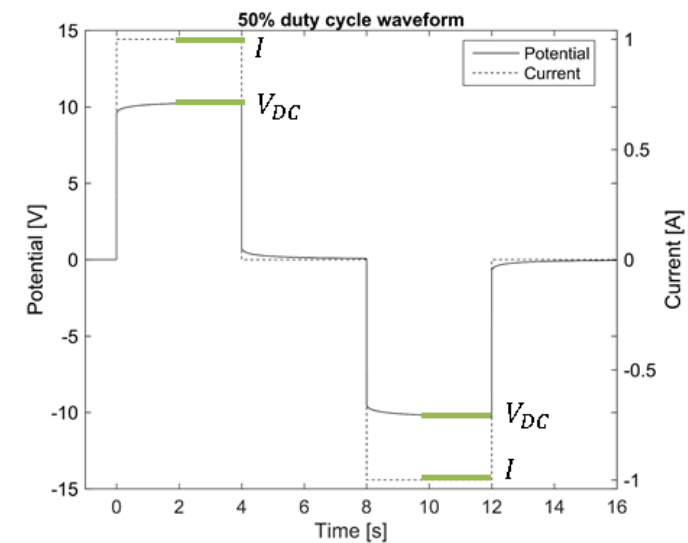
ERT – Elektrisk resistivitetstomografi

Resistivitet = specifikt elektriskt motstånd

Modeller av elektriska egenskaper
i 1D, 2D, 3D or 4D



(modifierad från Robinson & Coruh 1988)

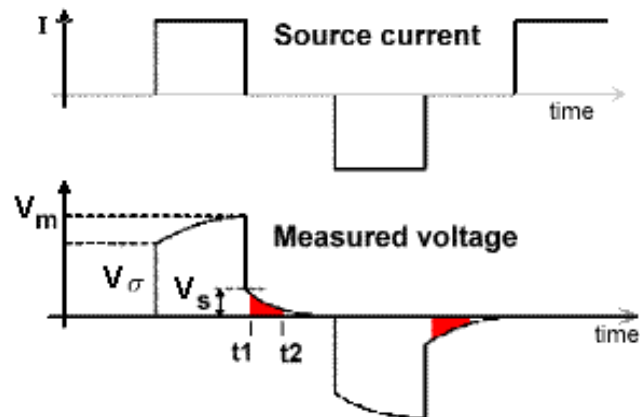


DCIP - DC resistivity and time-domain IP tomography

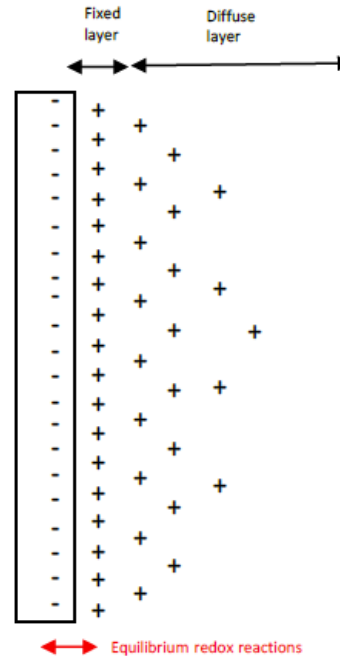


LUNDS
UNIVERSITET

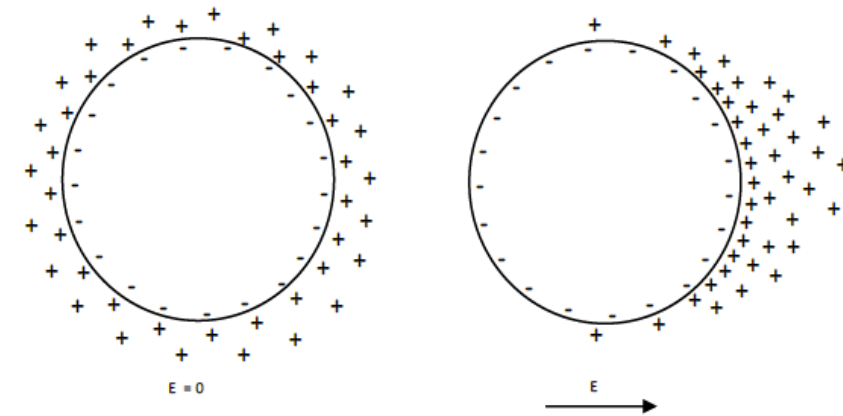
Induced Polarisation (IP) = chargeability due to movement of charges / ions



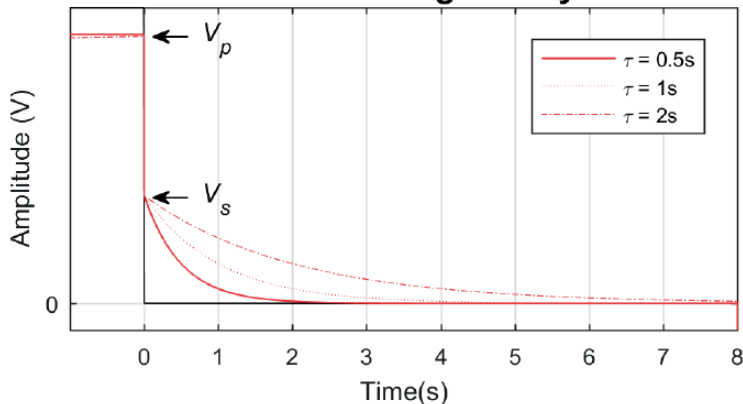
Electrical Double Layer (EDL) on mineral surface in water



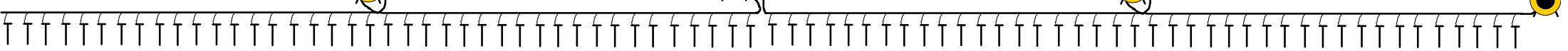
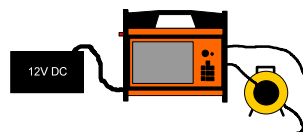
Ions in the EDL are displaced under the influence of an electric field



Different voltage decays

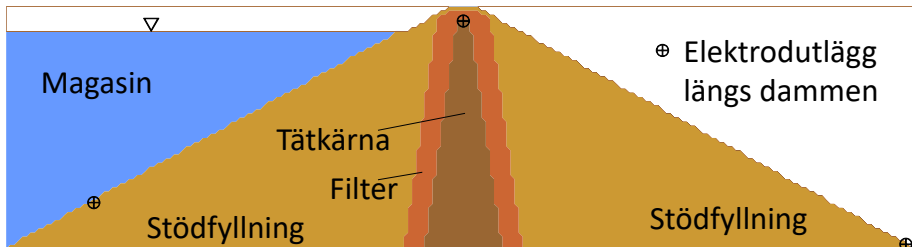


Spectral IP = data over a wide frequency or time range



Typiska svenska fyllningsdammar

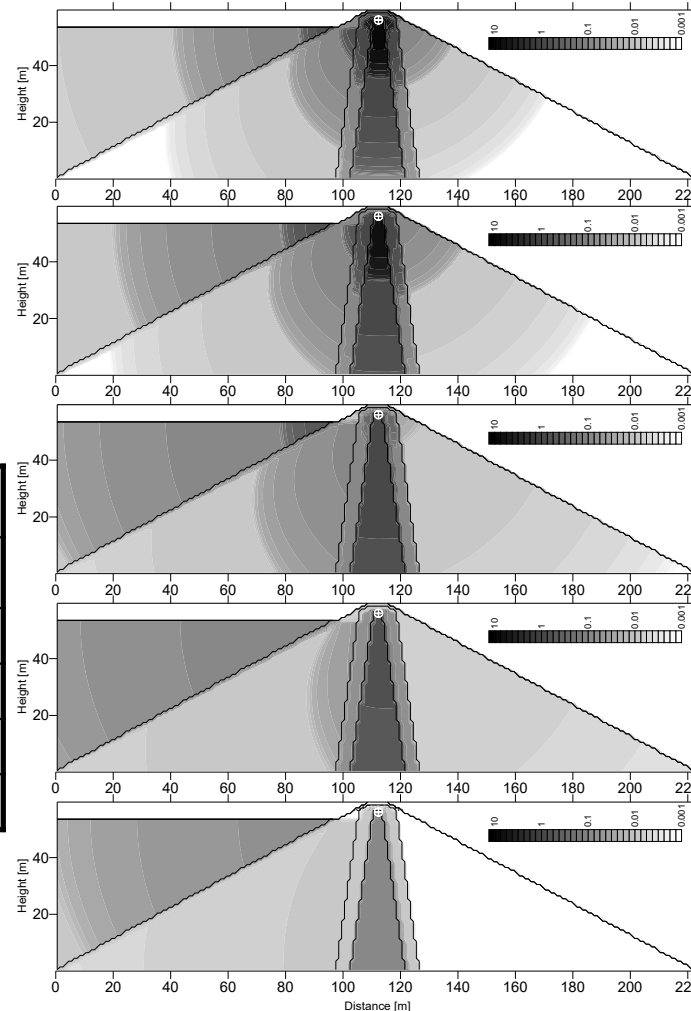
Schematisk tvärsektion



Typiska materialresistivitet

Zon	Material	Elektrisk resistivitet
Tätkärna	Finkorning morän	Låg / Mkt låg
Filter	Sand / Grus	Medium / Hög
Stödfyllning	Stenfyllning	Hög uppströms, mkt hög nedstr.
Magasin	Vatten	Låg
Grundläggning	Bergrund, morän	Hög (med undantag)

Långsamt vattenflöde genom tätkärna i frisk damm, snabbare i skadade zoner



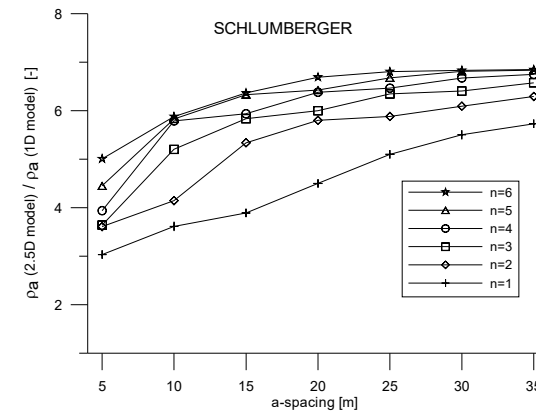
Strömtäthet i mA/m² vid 1A utsänd ström



LUNDS
UNIVERSITET

Strömtäthet i tvärsektionen
mitt emellan ström-
elektrodena.

Avståndet mellan ström-
elektrodena ökar uppifrån
och ner (20m, 40m, 100m,
200m, 400m).



Sjödahl et al. (2006)

ERT /DCIP för fyllningsdammar



LUNDS
UNIVERSITET

- Möjliga elektrodlägen ofta begränsade (krön, nedströmstå, etc)
- Kraftiga 3D-effekter vid 2D-mätning längs dammkrön
- Upplösning avtar med djupet – elektroder inne i dammen önskvärt
- Metallobjekt ger mätstörning – potentiellt användbara som elektroder
- Enstaka mätning ofta svårtolkad - mät tidsserier och analysera variation
- Tidsserier / övervakningsdata för att hitta zoner med:
 - stora variationer (högt läckage)
 - långtidsförändringar (inre erosion, urtvättning av finmaterial)
 - ökande variationer (ökande läckage)
- FoU behövs för bättre detekteringsförmåga och rutintillämpning

Exempel på projektaktivitet: Mätförsök på 4 fyllningsdammar med elektrodinstallationer



LUNDS
UNIVERSITET

Damm	Utlägg	Placering	Elektroder	Antal	Installerat
Hällby	5	Krön x 2, uppströms x 2, nedströms	Stål & Cu-CuSO ₄	146: 32(16), 54(27), 24, 17, 19	2005(1996)
Sädva	2	Krön; huvud- & sidodamm	Stål & Cu-CuSO ₄	128: 64(32), 64	2001
Damm 3	2	Krön, nedströms	Stål	105: 41, 64	2007
Damm 4	3	Krön, botten x 2	Stål & Cu-CuSO ₄	128: 60(30), 34(17), 34(17)	2007

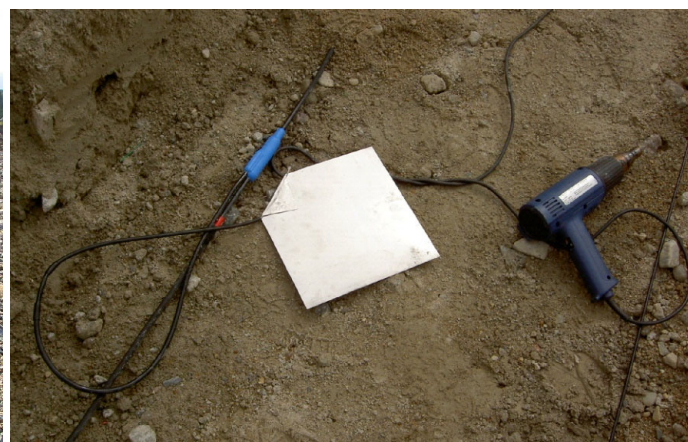


Foto: Pontus Sjö Dahl

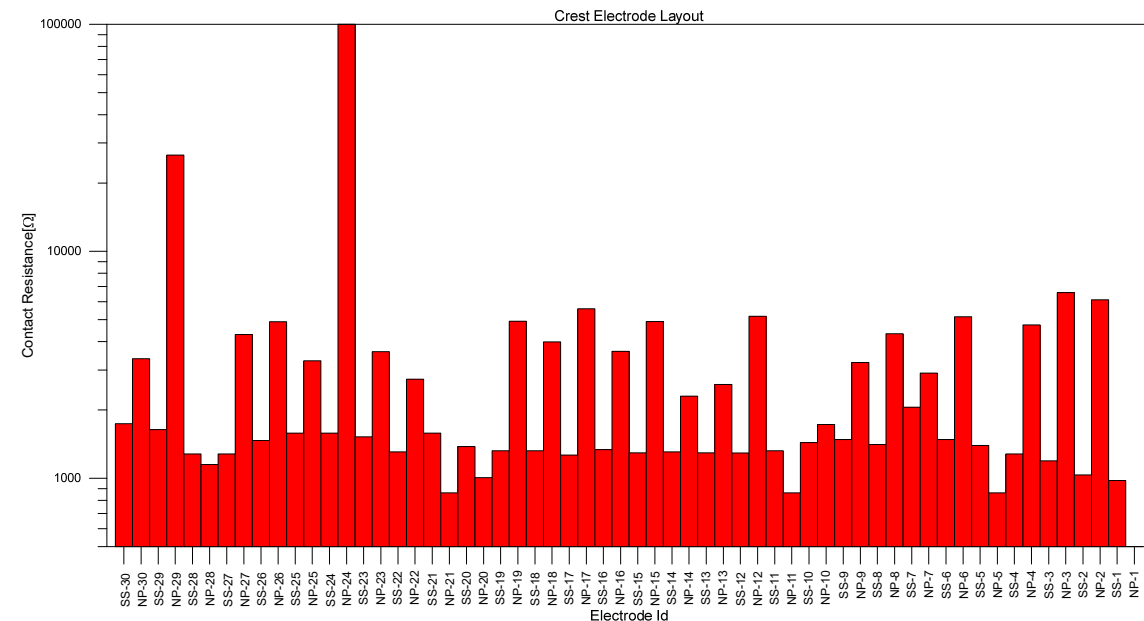
Resultat:

Mätförsök på 4 fyllningsdammar med elektrodinstallationer



LUNDS
UNIVERSITET

- Rostfria stålelektroder fungerar fortfarande bra, kontaktmotstånd mestadels omkring 1 k Ω
- Icke-polariserbara elektroder (Cu-CuSO₄) problematiska (höga kontaktmotstånd, ej lämpliga för strömsändning)
- Utförande på elektrodkablar kritiskt; bra på 3 av 4 dammar, undermåligt på den sista

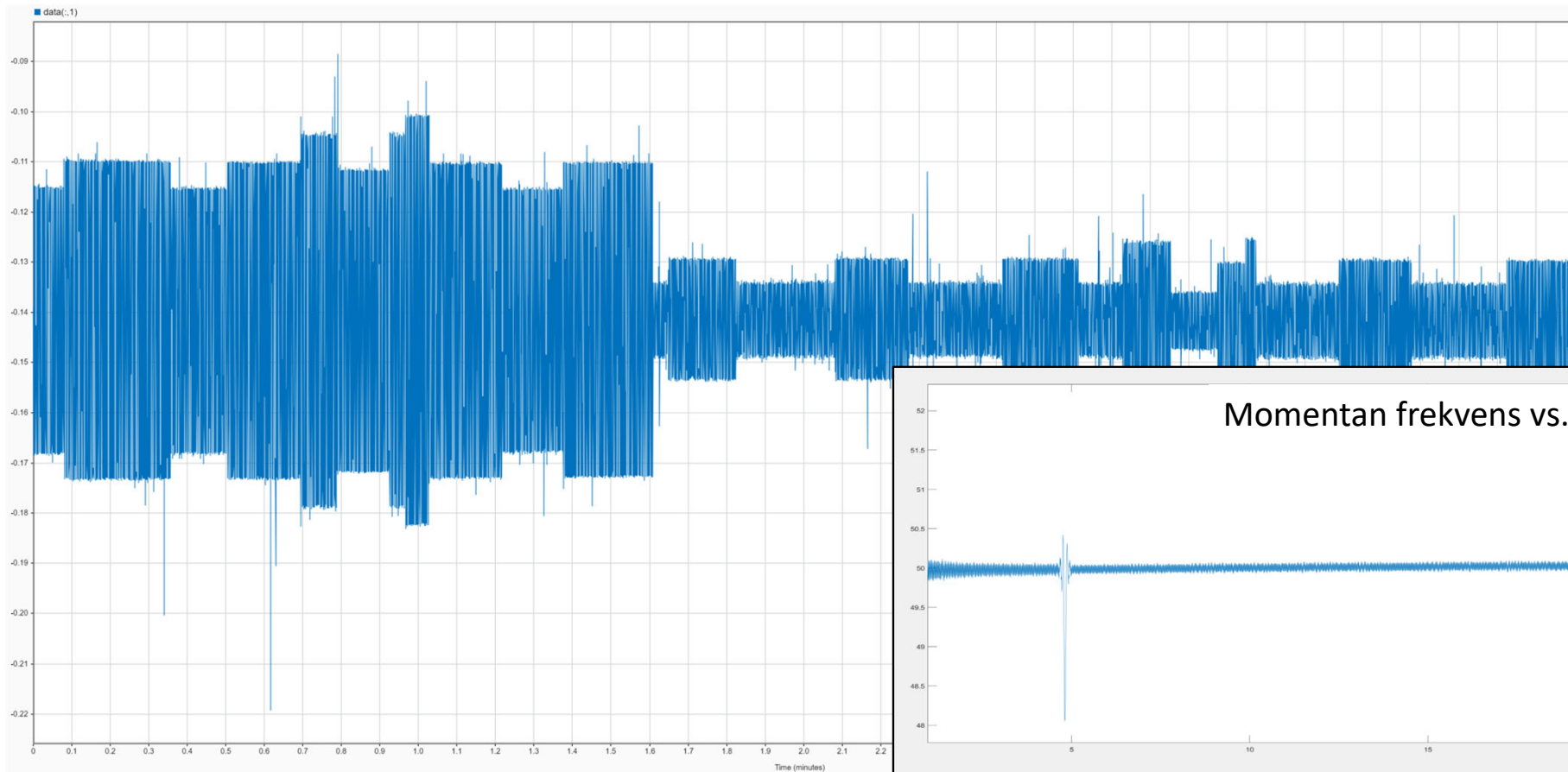


Preliminära resultat: Mätförsök på 4 fyllningsdammar med elektrodinstallationer

- Passiv mätning för analys av signalstörningar; varierande runt 50 Hz med övertoner och snabbt varierande amplitud

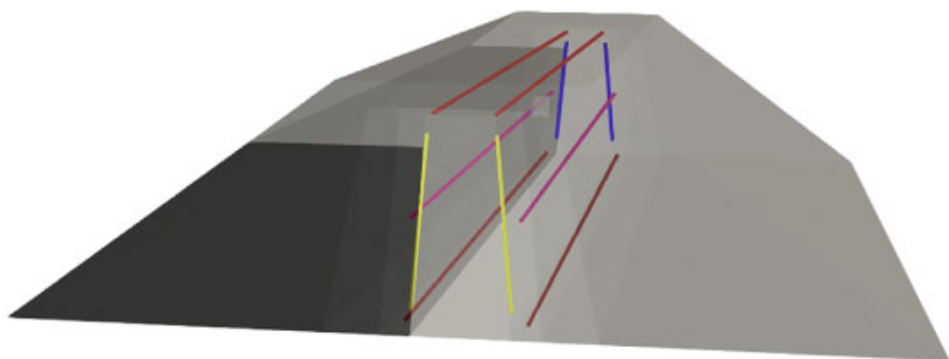


LUNDS
UNIVERSITET



ERT / DCIP på testdamm i Älvkarleby

- 20 m lång, 4 m hög, 15 m bred vid basen
- Mätsystem installerat nov 2019
- 224 elektroder;
 - 6 x 32 horisontella
 - 4 x 8 nära vertikala

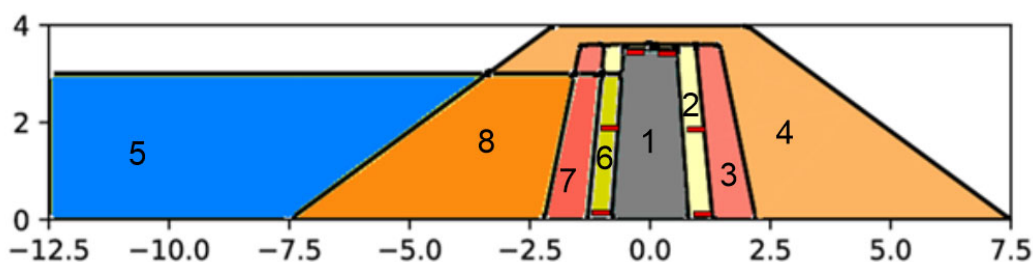


Materialzoner & beskrivningar

Label	Description
1	Tätkärna A Stödfyllning
2	Finfilter B omättat
3	Grovfilter C omättat
4	Stödfyllning D omättad
5	Magasinsvatten
6	Finfilter B mättat
7	Grovfilter C mättat
8	Stödfyllning D Stödfyllning

Laboratoriemätning resistivitet

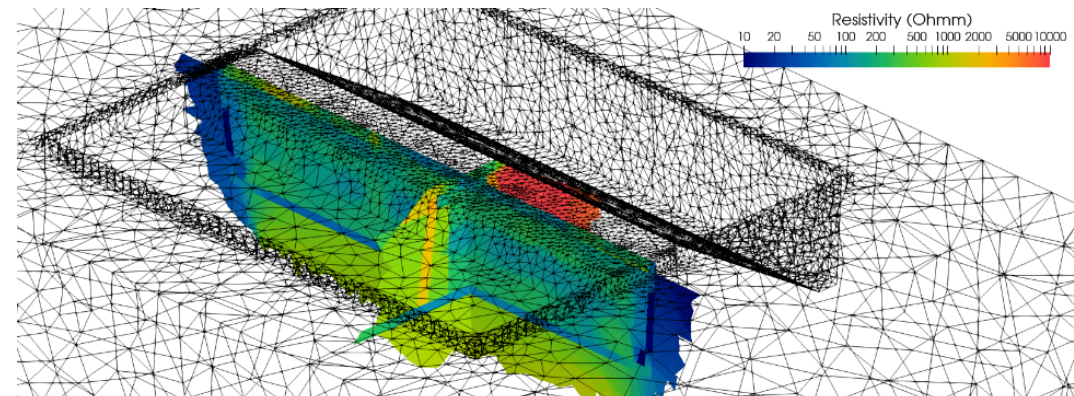
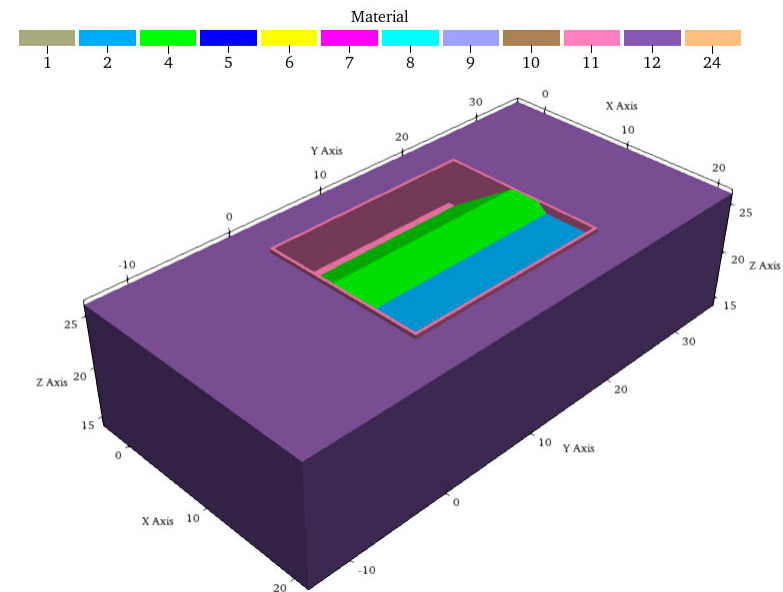
Material	Resistivitet vid 18°C[Ωm]
Vatten	243
A: Tätkärna	21
B: Finfilter	185
C: Grovfilter	-
D: Stödfyllning	-



Elektroddpositioner markerade med röda rektanglar

Älvkarleby testdamm: Inversion

- Inversion (invers numerisk modelltolkning) med pyBERT / pyGIMli (Günther et al., 2006)
- TetGen (Si, 2015) för nätgenerering
- Strukturellt styrd nätgenerering och inversion
- Ca 200'000 celler i inversionsmodellerna.
- Olika strategier använda för time-lapse inversions-modeller:
 1. Veckomedelvärden för hela perioden med första veckan som referensmodell
 2. Data från period med konstant maximal vattennivå
 3. Data från period med förändring i vattennivå



LUNDS
UNIVERSITET

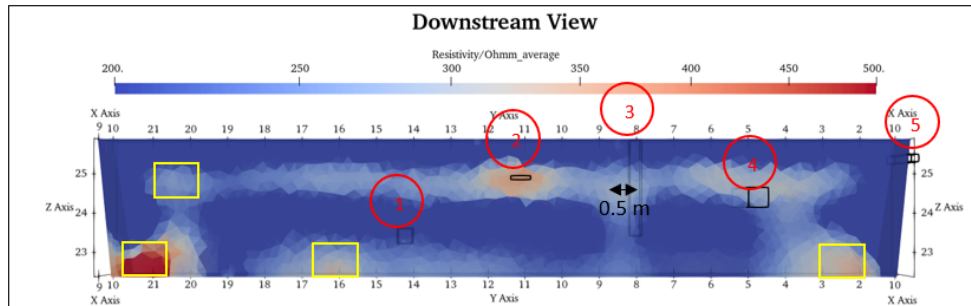
Älvkarleby testdamm: Exempel på resultat



LUNDS
UNIVERSITET

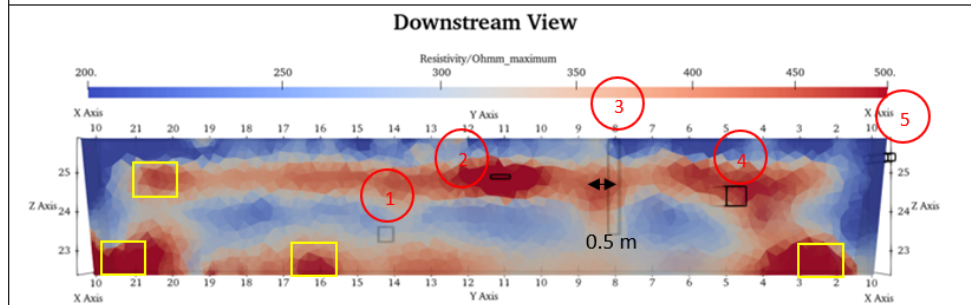
Inverterade tidsserier från testdamm

Average



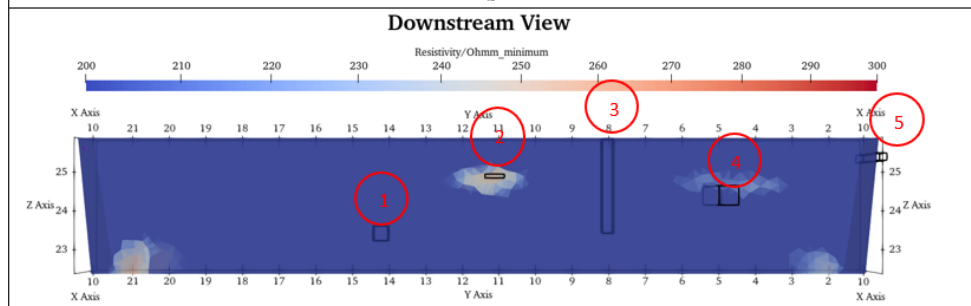
a

Maximum



b

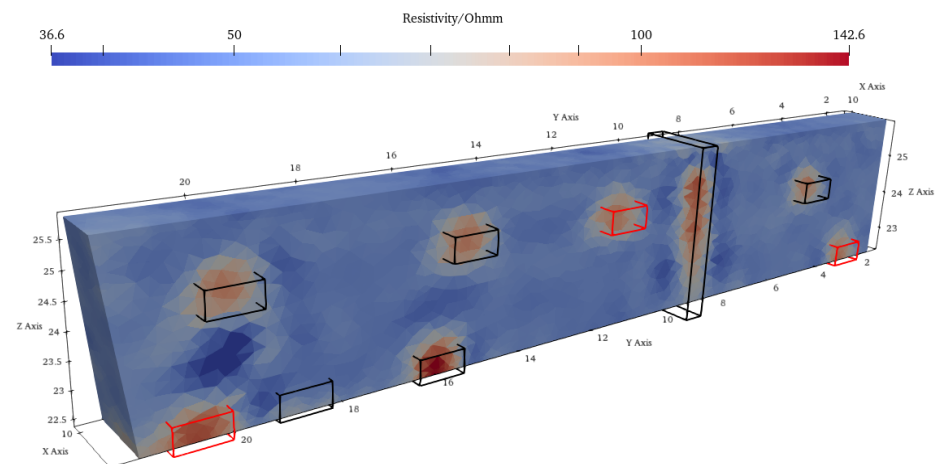
Minimum



c

- Lokaliserat 3 av 6 simulerade defekter ...
- ... plus zoner orskade av andra installationer
- Not: Permeabla skadezoner placerade för att minimera läckageflöden = minimerar flödesrelaterad variation

Inverterad syntetisk modellrespons

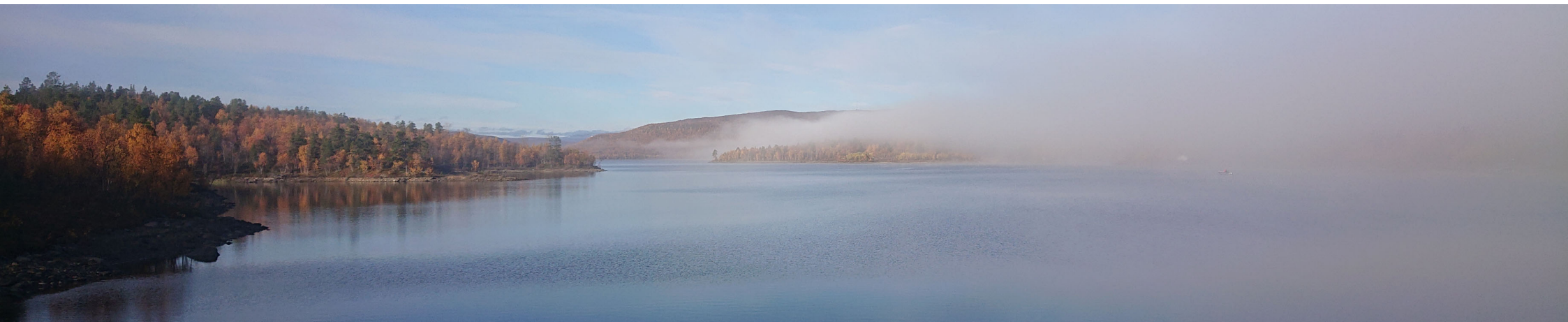


Sammanfattning / Slutsatser

- 2D ERT etablerad metod för geoundersökningar
- Stor potential för tillståndskontroll och övervakning
- 3D och elektroder inne i dammen för bättre detekteringsförmåga
- Komplicerat manuellt arbete för utvärdering av 3D och tidsserier
- FoU behövs för bättre detekteringsförmåga och rutintillämpning



LUNDS
UNIVERSITET



Tack för uppmärksamheten och tack till ...

- Thomas Günther, LIAG, för hjälp med 3D numerisk modellering och inversion av data.
- Dammägarna för bra samarbete.
- Johan Lagerlund, Christian Bernstone, Erik Nordström, Niklas Hansson, m.fl., Vattenfall, samt Jasmina Tomanovac, LTU, för bra samarbete i samband med testdammsprojektet.
- Pontus Sjödahl och Sam Johansson, HydroResearch AB, för långvarigt samarbete bl.a. i Energimyndighetenprojektet.
- LUNARC / SNIC beräkningsresurser.
- SVC/ Energiforsk, Energimyndigheten, Vattenfall, dammägarna, HydroResearch och LTH/Lunds universitet för finansiering.



LUNDS
UNIVERSITET



Lästips

A Guide to Resistivity Investigation and Monitoring of Embankment Dams

https://portal.research.lu.se/portal/files/53162414/Guide_to_Resistivity_Investigation_and_Monitoring_of_Embankment_Dams_CEATI_0205B_4.pdf



LUNDS
UNIVERSITET



Foto: Pontus Sjö Dahl