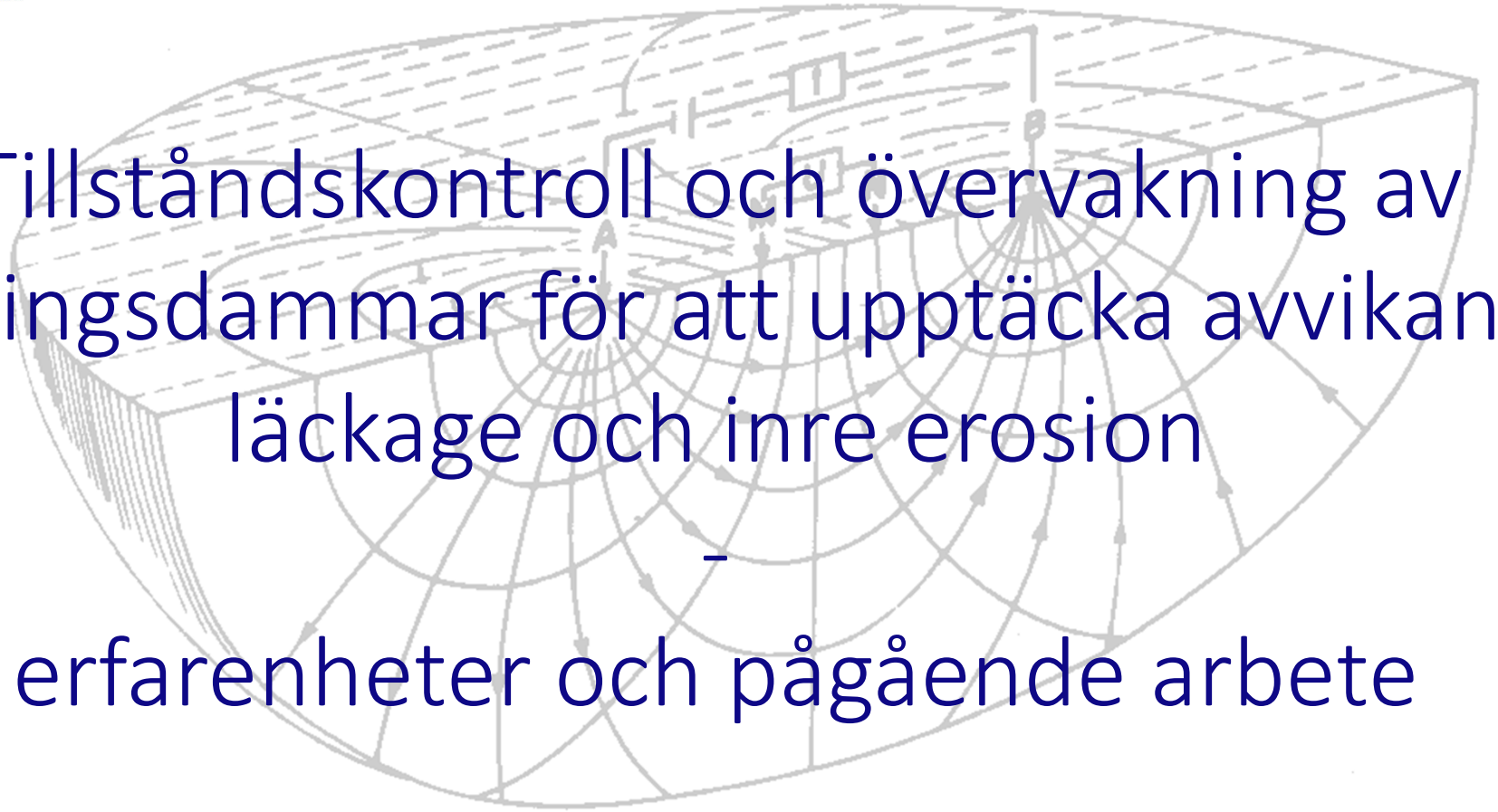
LTH
LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA

LUNDS UNIVERSITET



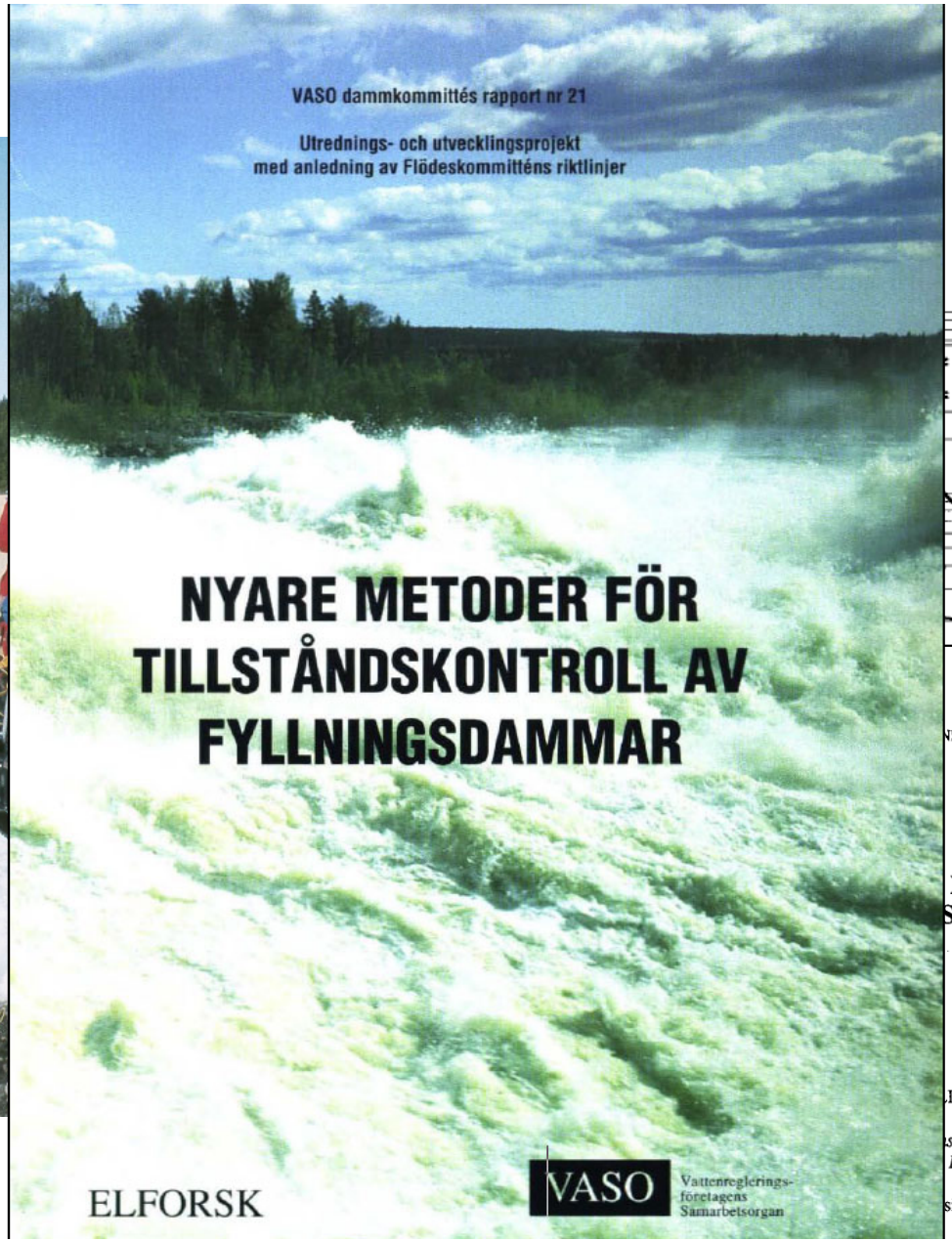
Tillståndskontroll och övervakning av fyllningsdammar för att upptäcka avvikande läckage och inre erosion

–

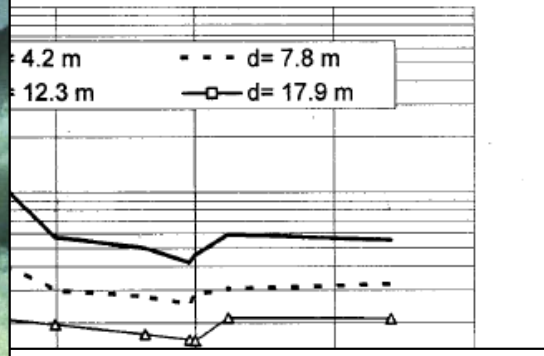
erfarenheter och pågående arbete

Torleif Dahlin, Teknisk geologi, LTH/Lunds universitet

Lövön



LUNDS UNIVERSITET



ND ENGINEERING GEOPHYSICS, 1, 229-247 (1996) 229

IN AN EARTH EMBANKMENT
STIVITY MEASUREMENTS

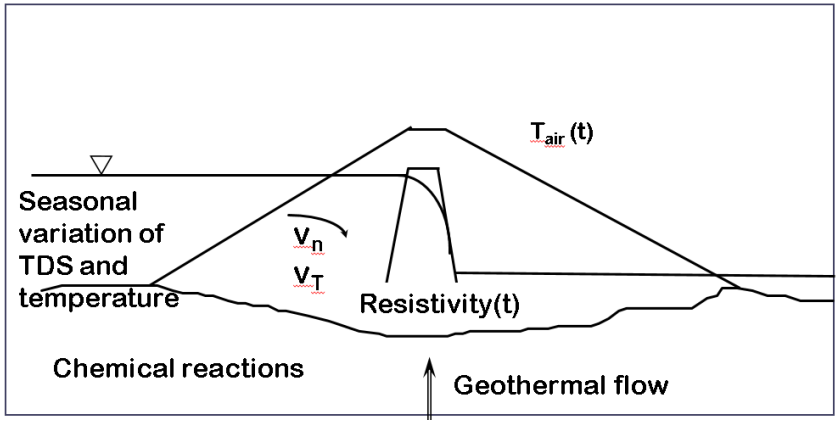
LIN[2]

stitute of Technology, S-100 44 Stockholm, Sweden.
Box 118, S-221 00 Lund, Sweden.

sion accepted December 2, 1996)

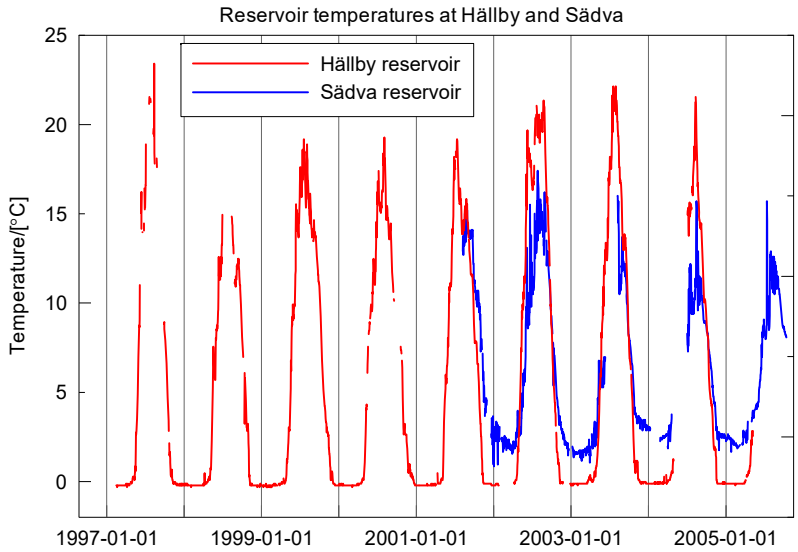
Resistivitsmätning i fyllningsdammar

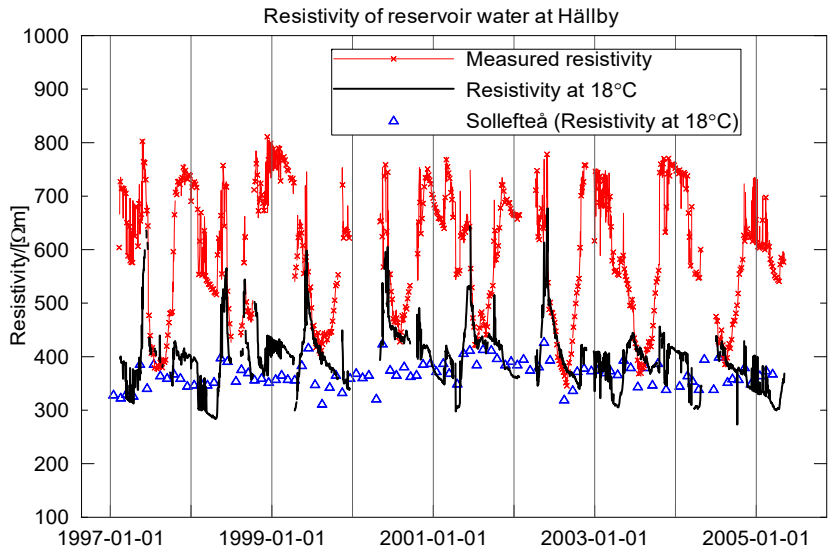
- Vattenflöde ⇨ temperaturvariation ⇨resistivitetsvariation
- Tillståndskontroll och <u>övervakning</u>
- Icke-förstörande/ icke-penetrerande (nåja)
- Variation i jonhalt, vattennivå, tjälning, etc. påverkar



(Johansson 1997)

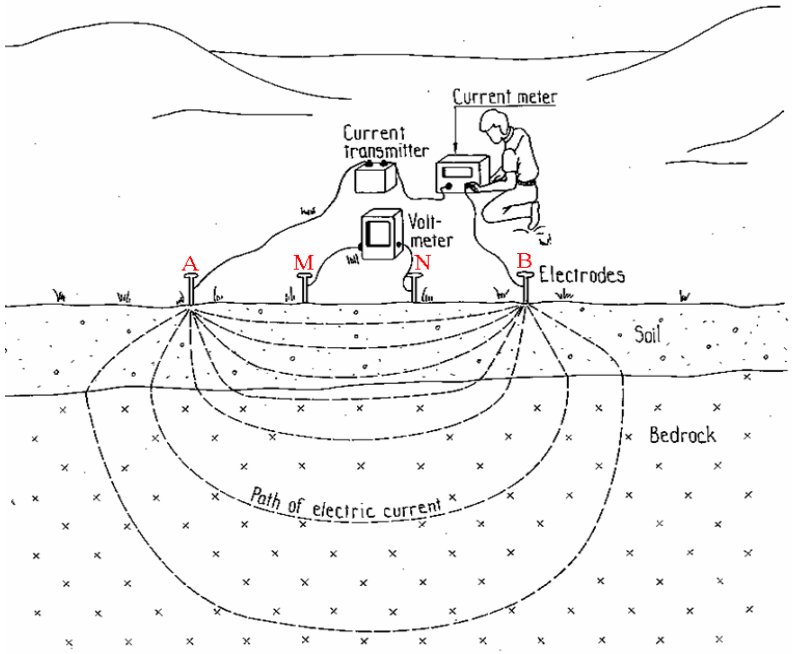
Variation i temperatur och resistivitet i magasinsvattnet





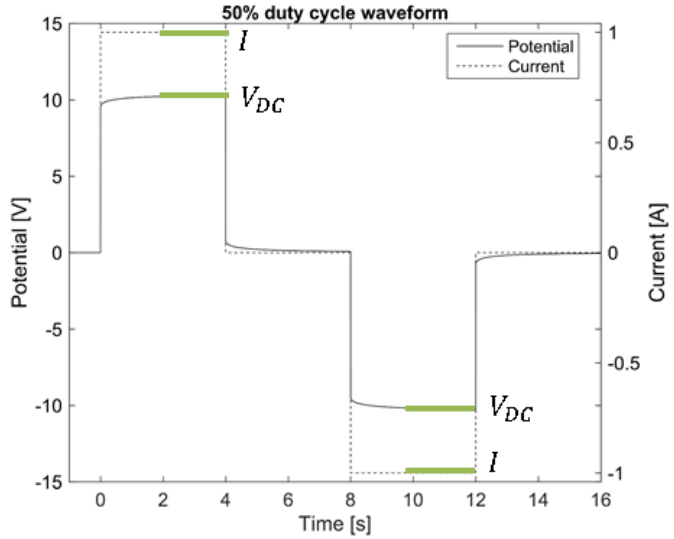
ERT – Elektrisk resistivitetstomografi

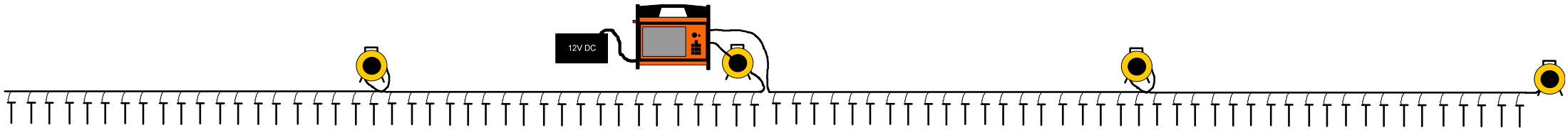
Resistivitet = specifikt elektriskt motstånd



(modifierad från Robinson & Coruh 1988)

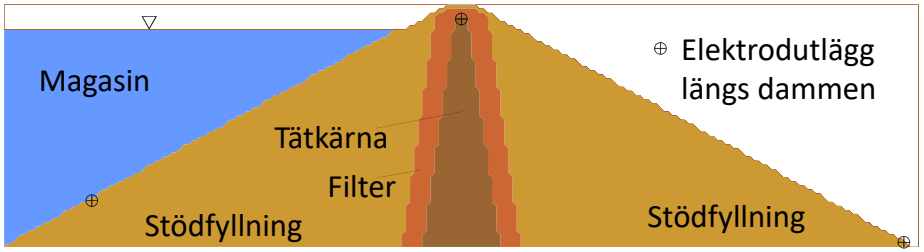
Modeller av elektriska egenskaper
i 1D, 2D, 3D or 4D





Typiska svenska fyllningsdammar

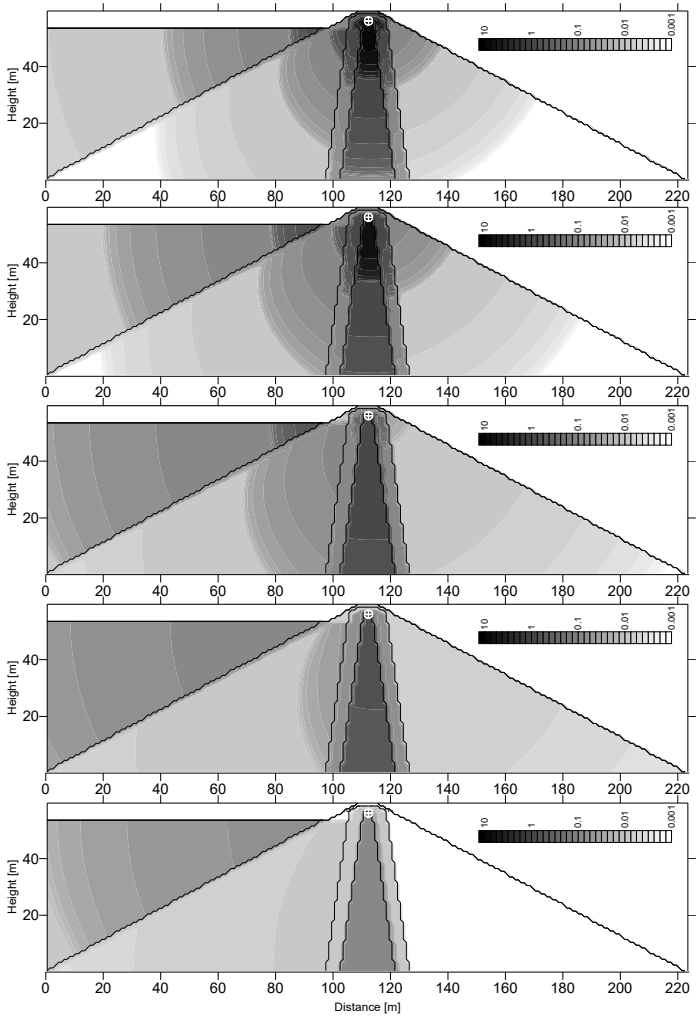
Schematisk tvärsektion



Typiska mateialresistivititeter

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)

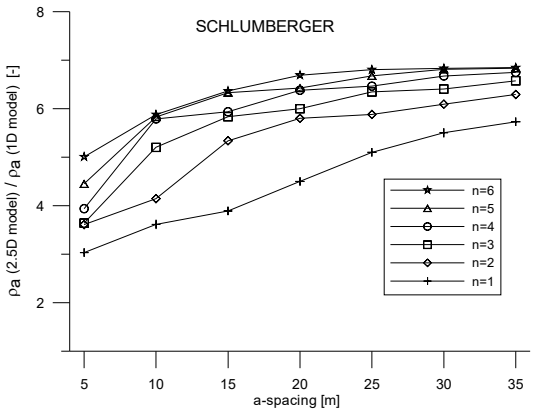
Långsamt vattenflöde genom tätkärna i frisk damm, snabbare i skadade zoner



Strömtäthet i mA/m^2 vid 1A utsänd ström

Strömtäthet i tvärsektionen mitt emellan ström-elektroderna.

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



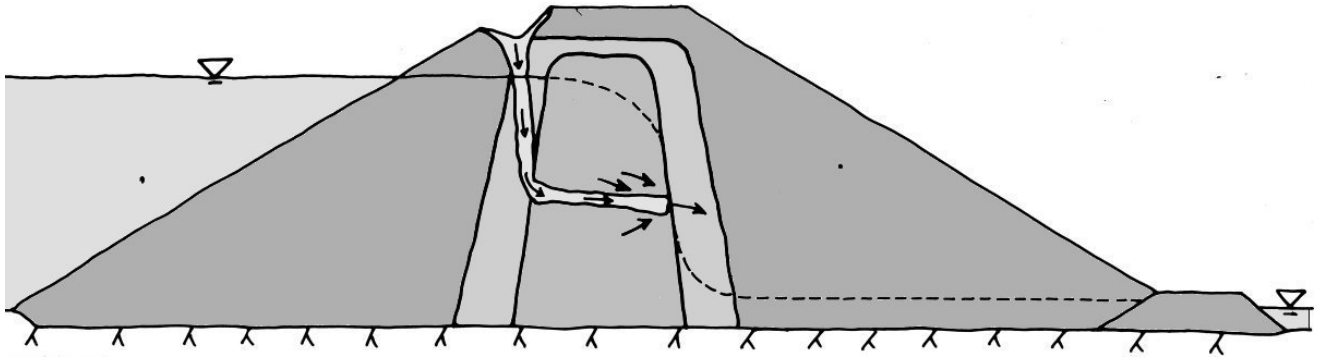
Sjödahl et al. (2006)

Inre erosion

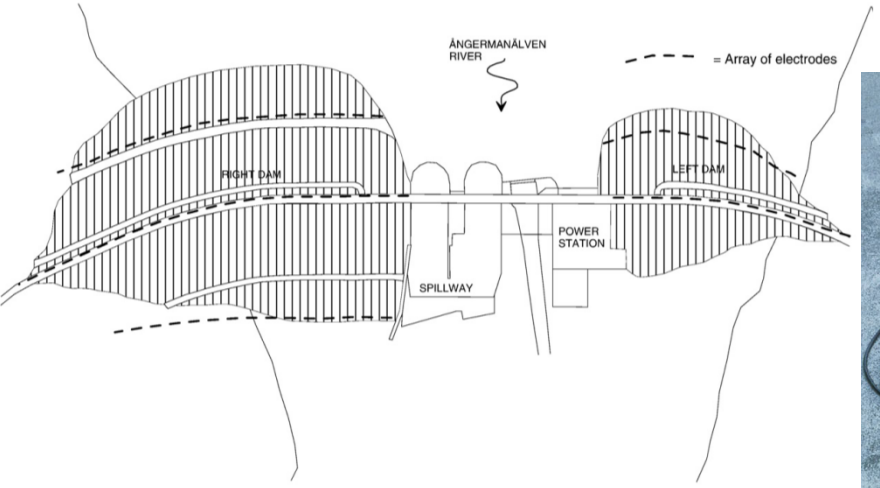
- Inre erosion / erosions-kanaler litet mål ERT
- Ökning i resistivitet svårare att detektera än minskning
- Gloria-effekt genom att vatteninnehåll påverkas utanför skadezonen
- Säsongsvariation i temperatur påverkar en volym utanför flödeskanalen
- Metallobjekt inne i dammen komplicerande faktor

Exampel sjunkhål och erosionskanal från svenska dammar

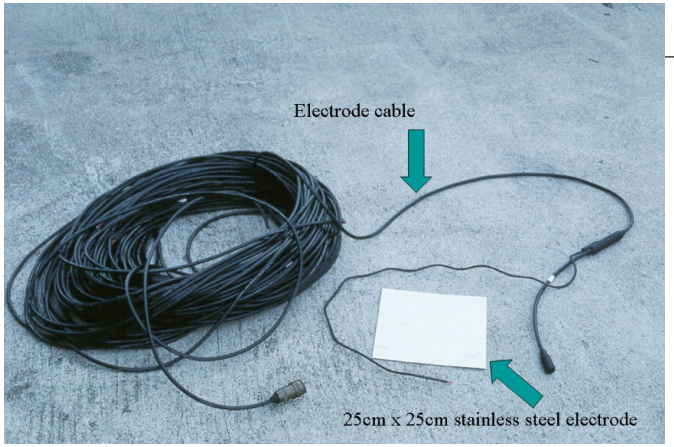
Modellskiss för utveckling av sjunkhål

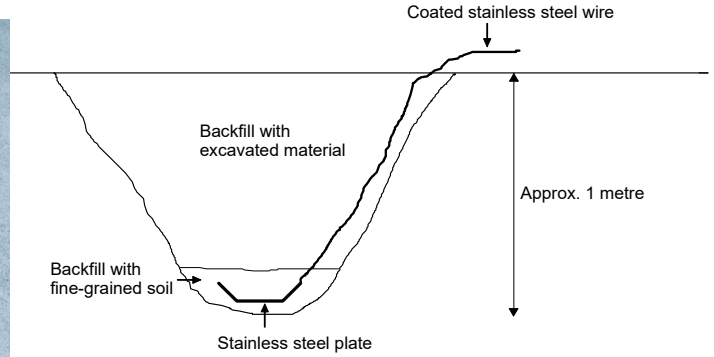


Hällby – Resistivitetsmätningar sedan 1996



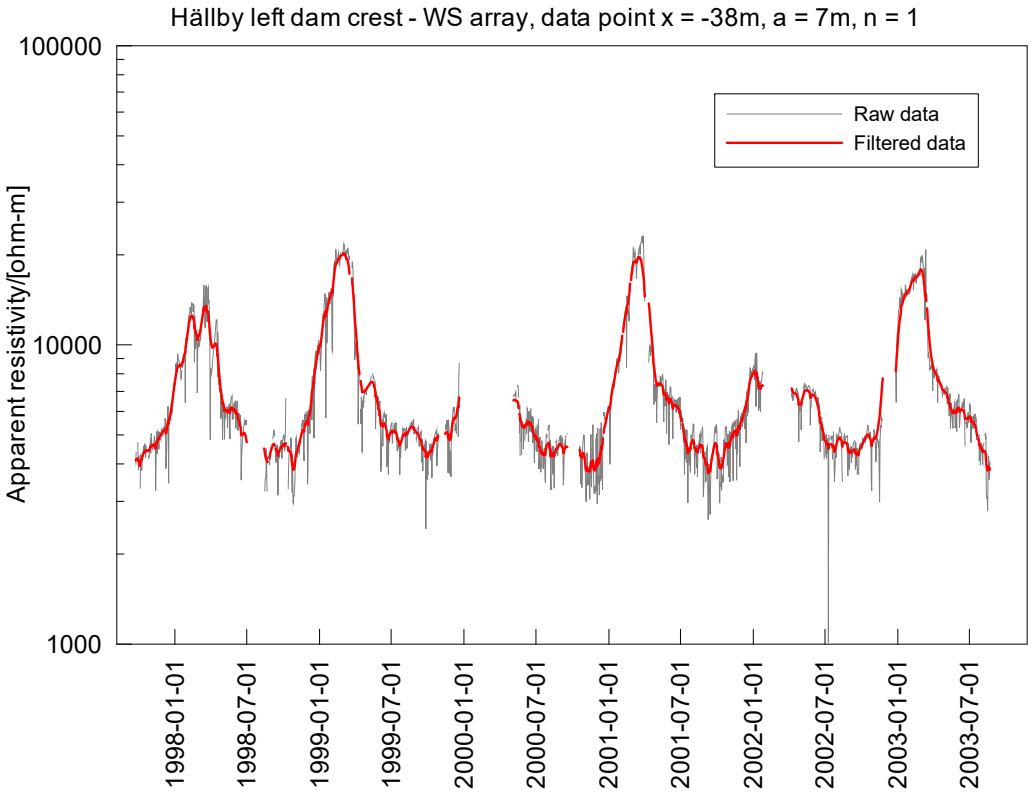
Installation av elektroder 1996 (ersatta 2006 när dammkrönet höjdes)

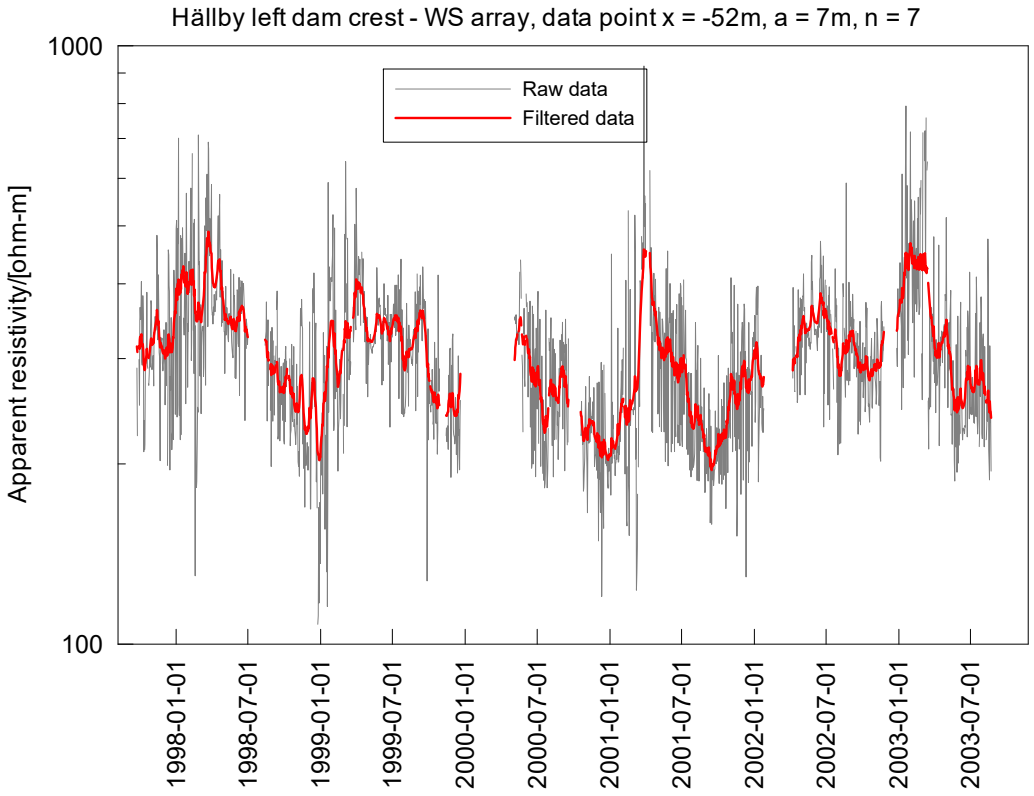




Obetydlig variation i vattenivå

Brusiga data*- behov av datafiltrering

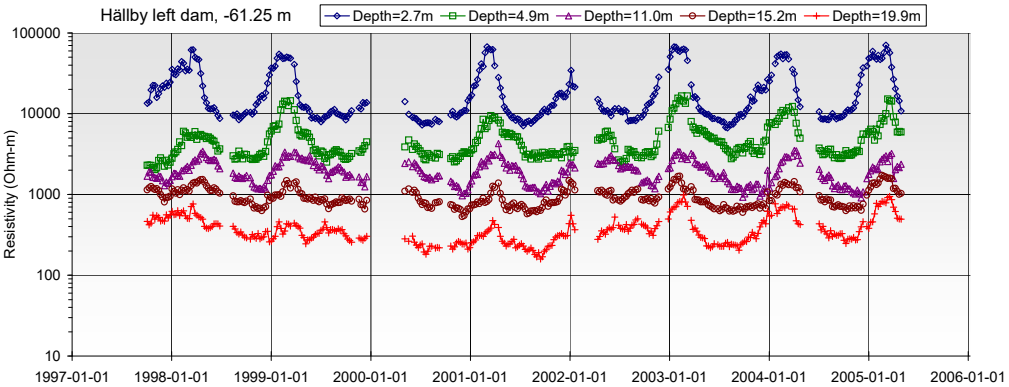


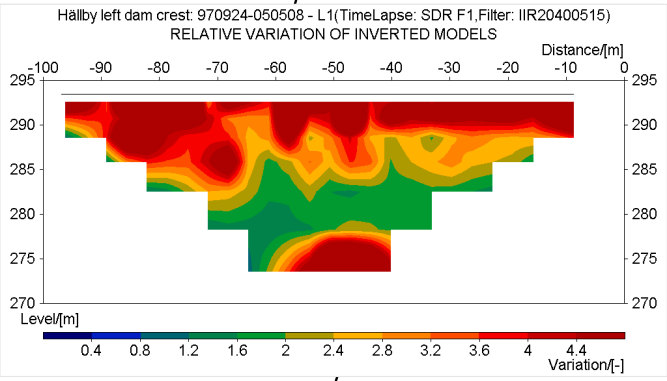


* Termisk isolering som inte var dokumenterad upptäcktes vid ombyggnadsarbeten 2005-2006

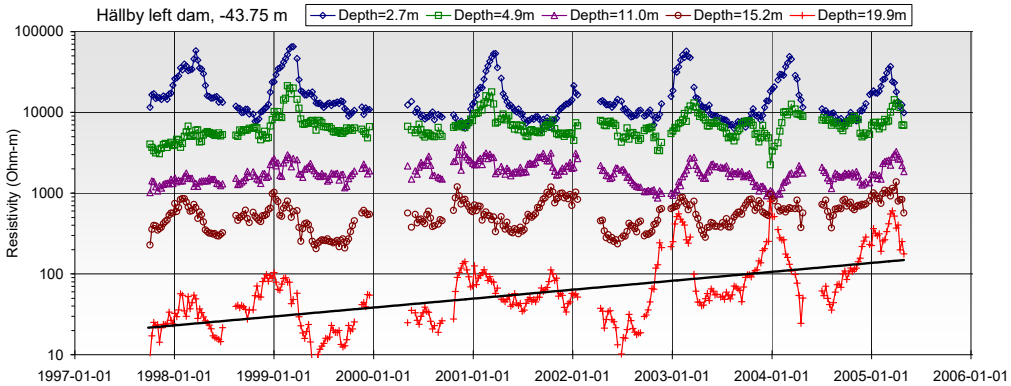
Hällby vänster damm (1997-09-24 - 2005-05-08)

Sektion –61m: Årstidsvariation och konstant medelvärde för resistivitet

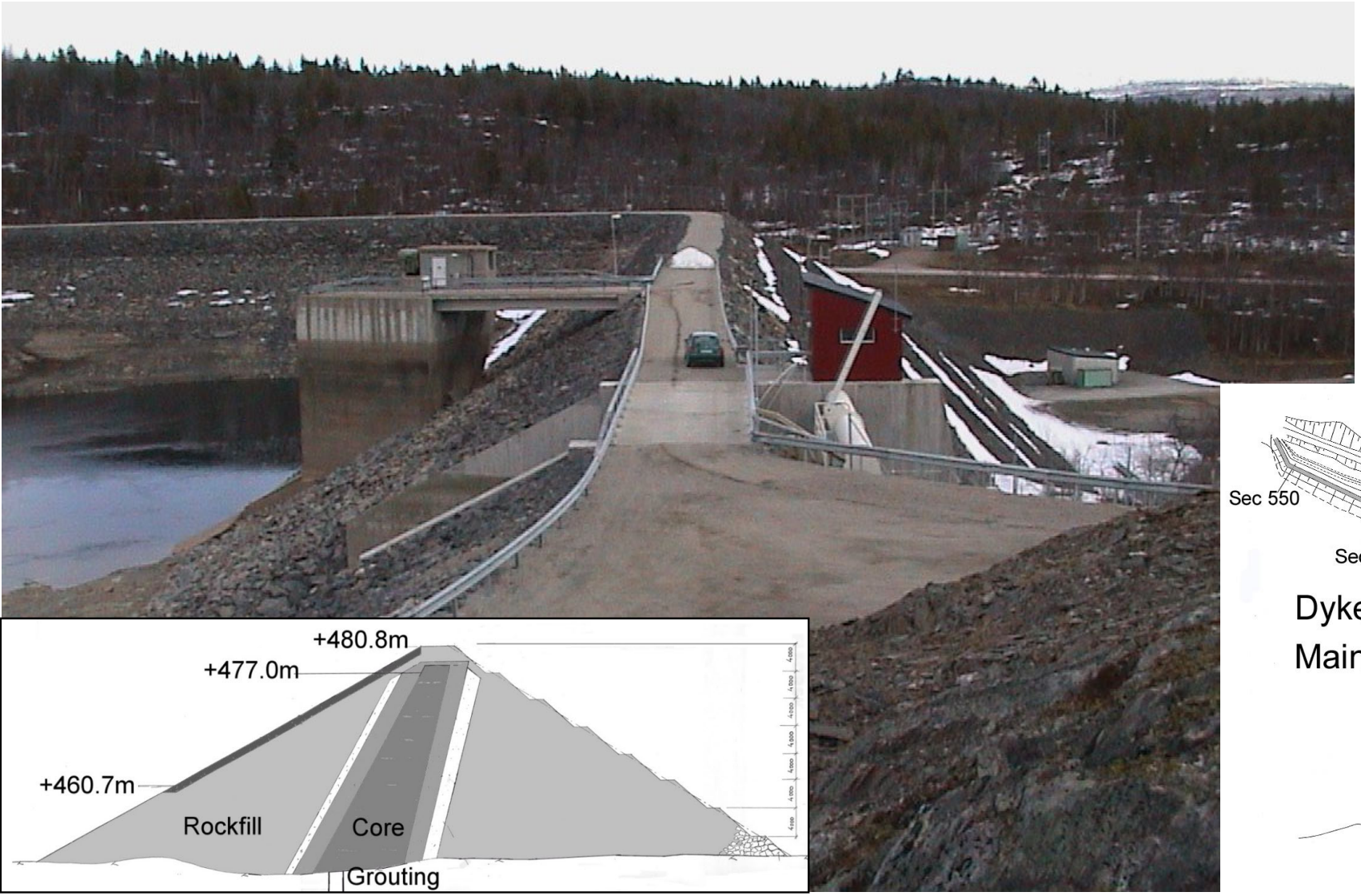




Sektion –44m: Större årstidsvariation och ökande resistivitet

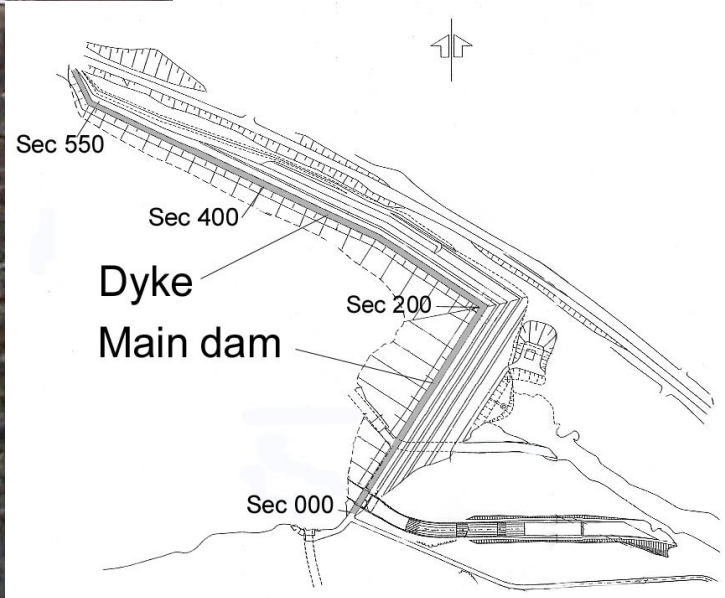


Sädva – Resistivitetsövervakning 2001 - 2005

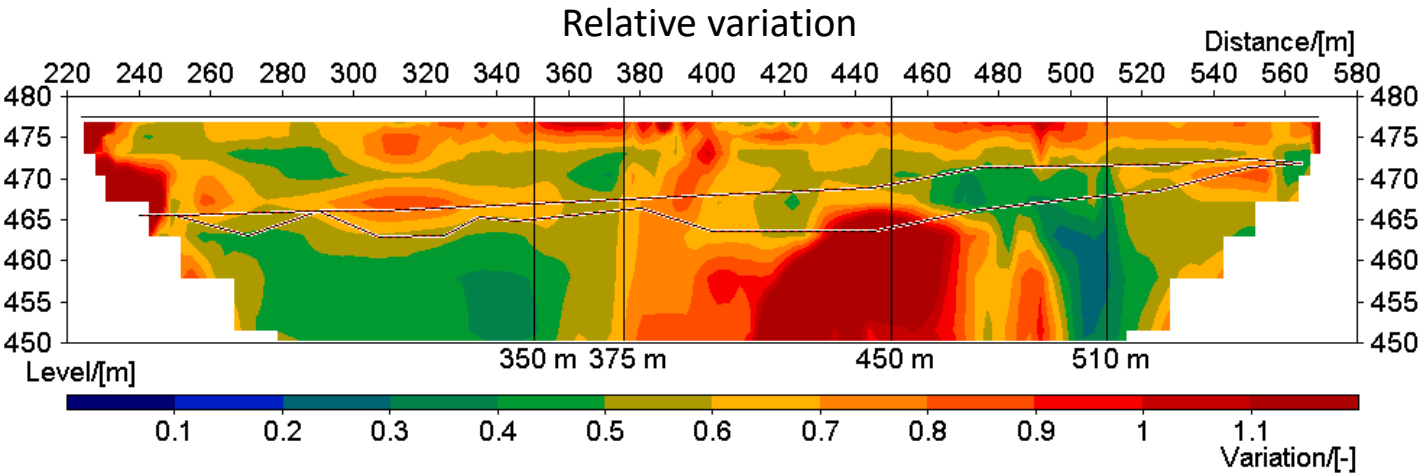


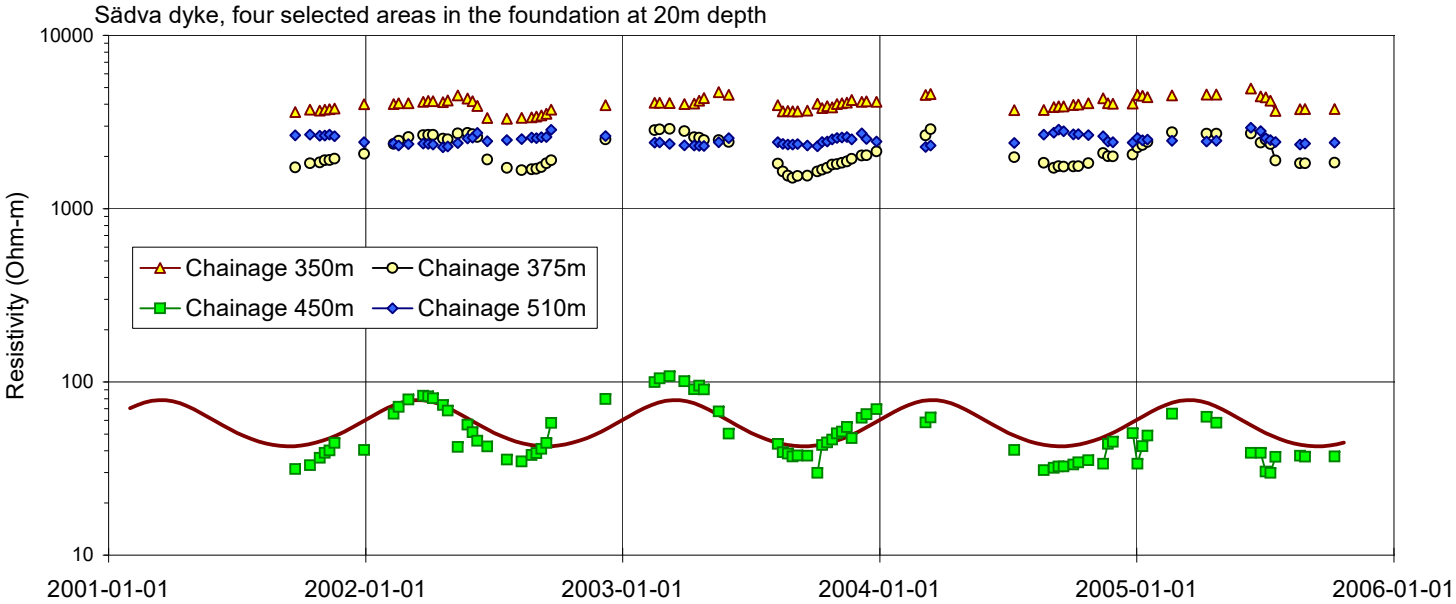
Elektrodutlägg:

- Huvuddamm
- Sidodamm



Sädva sidodamm - läckageutvärdering





Grundläggning sektion 0/450:
Antar att variationen endast beror på temperatur;
- Q = 30ml/s·m,
- Bredd = 30m,
- Höjd = 10m

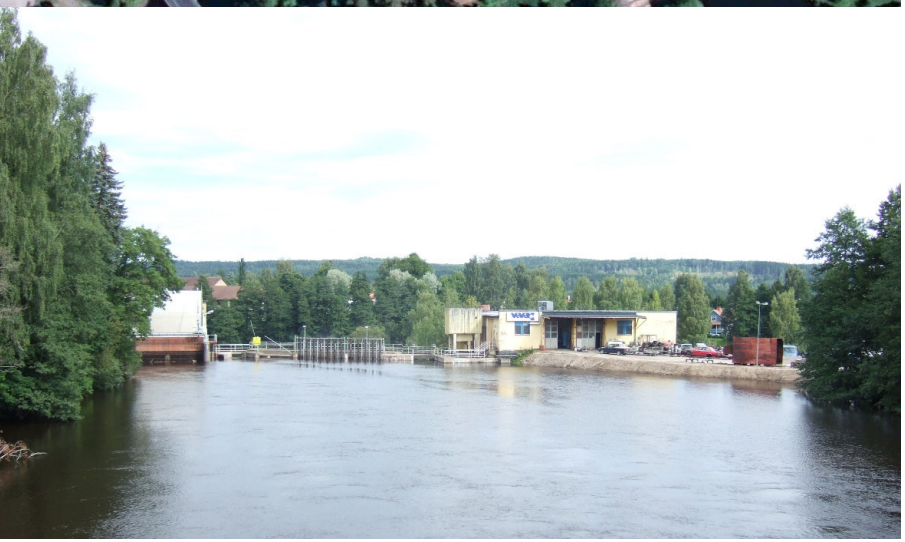
=> Qtot ≈ 1 l/s

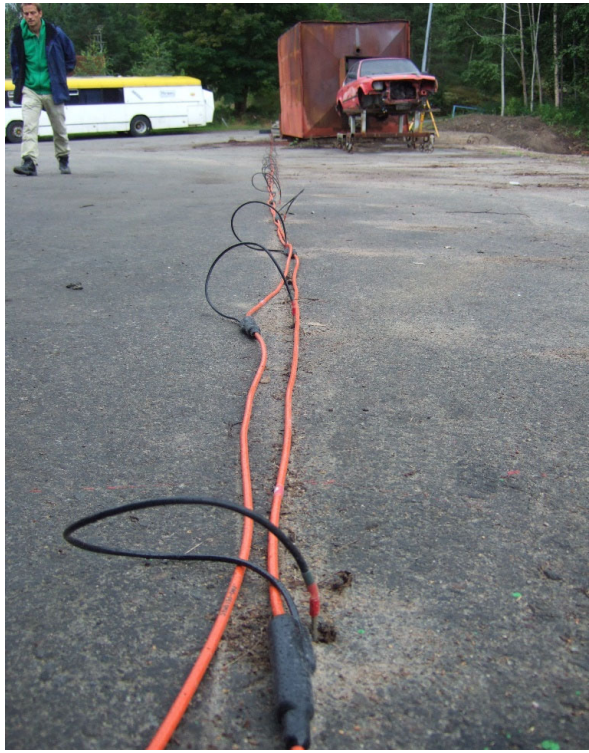
Detektering av dammläckage i mindre damm

Problem med vattenläckage och sättningar

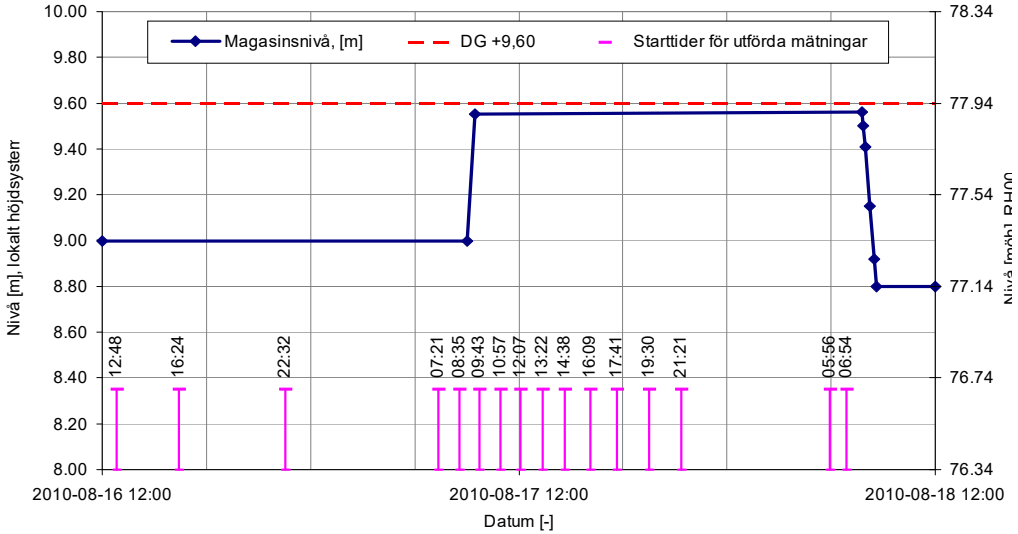
Korttidsövervakning genom:

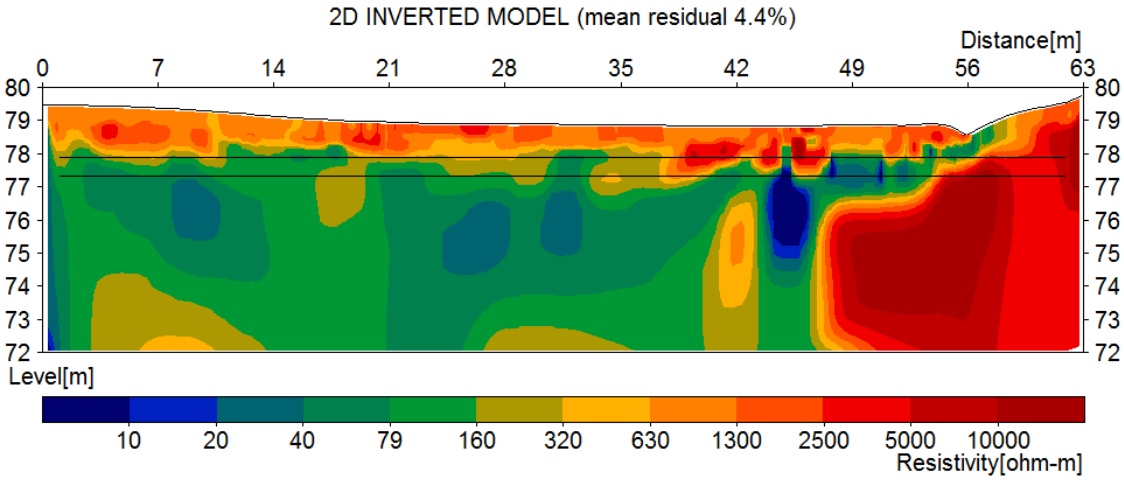
- Borrning genom asfalt
- Bentonite + vatten i hålen för elektrodkontakt
- Mätning före, under och efter höjning av magasinsnivå

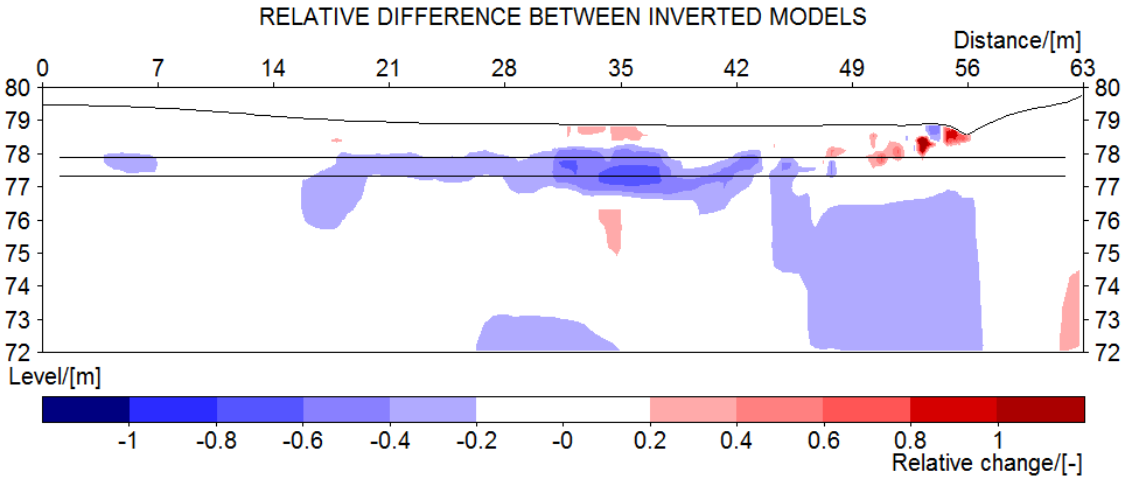




Mindre fyllningsdamm – Mättillfällen vs. magasinsnivå

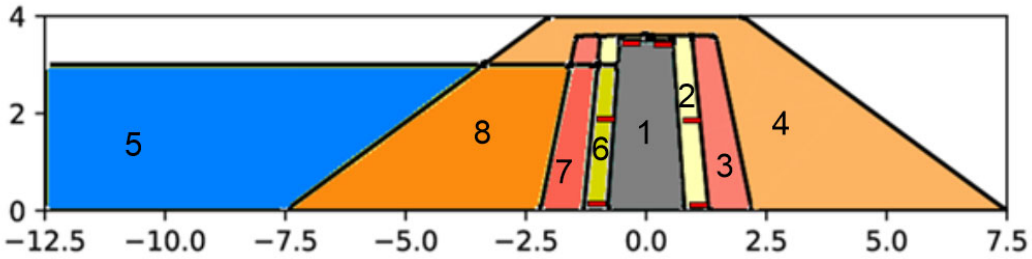






Älvkarleby test damm

- 20 m lång, 4 m hög, 15 m bred vid basen
- Byggs i betongbox (glasfiber som bottenarmering) med klimatskydd
- Byggd för att testa olika metoder för tillståndskontroll och övervakning:
  - DTS (fiberoptisk temperaturmätning)
  - ERT / DCIP
  - Seismik
  - Geotekniska sensorer
  - Piezometrar etc.
- Övervakningssystem installerade nov 2019



Elektrodpositioner markerade med röda rektanglar

Laboratorieresultat

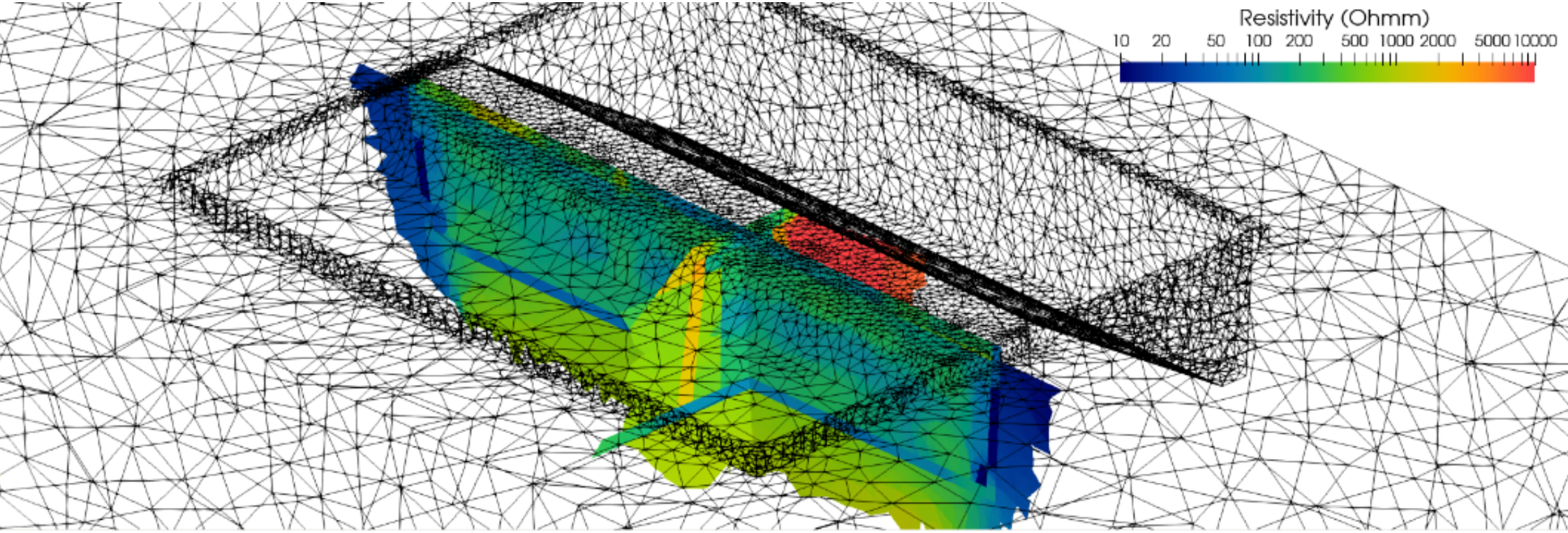
Material	Resistivitet vid 18°C[Ωm]
Vatten	243
A: Tätkärna	21
B: Finfilter	185
C: Grovfilter	-
D: Stödfyllning	-

Materialzoner & beskrivningar

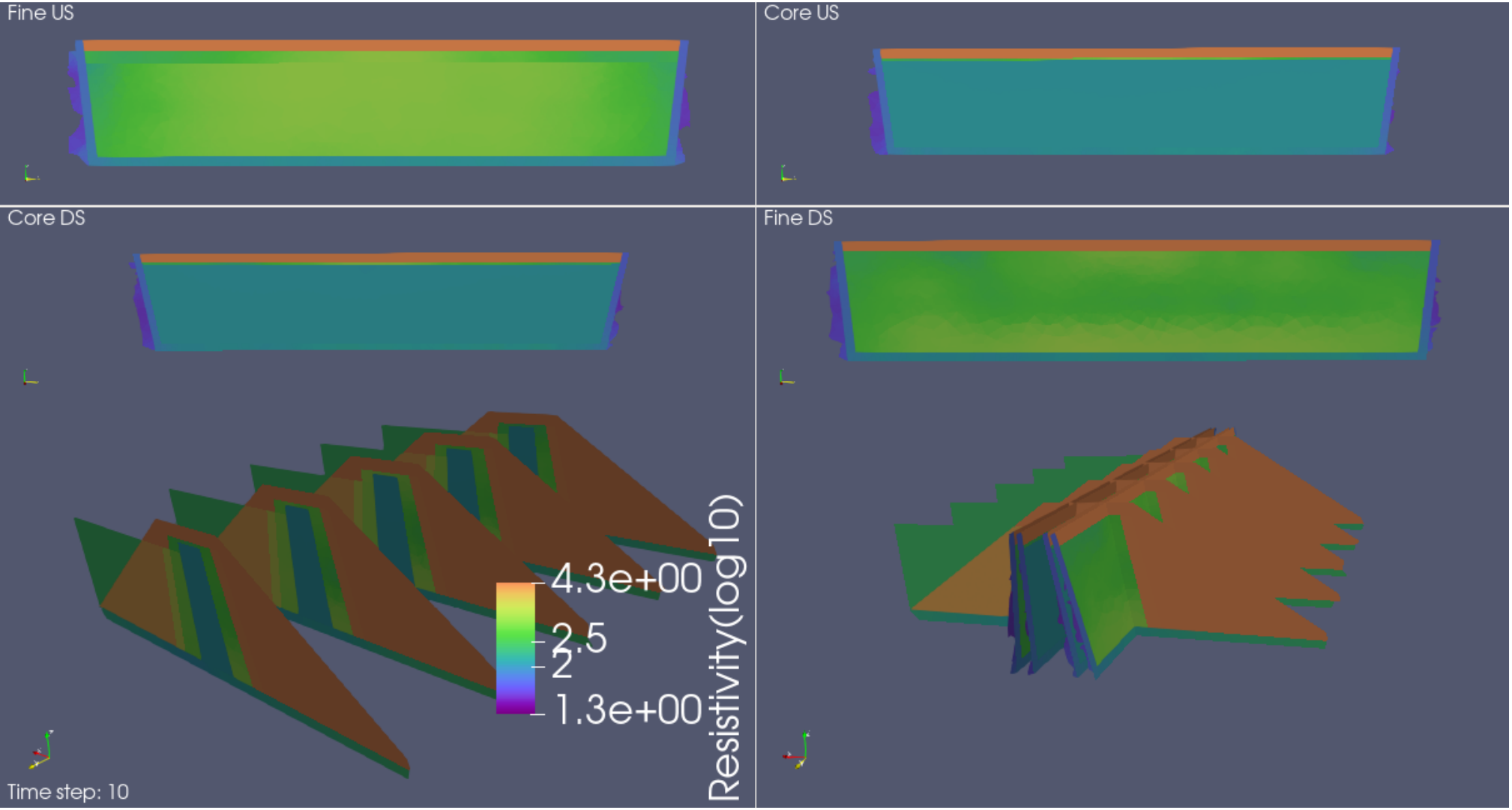
Label	Description
1	Tätkärna A Stödfyllning
2	Finfilter B omättat
3	Grovfilter C omättat
4	Stödfyllning D omättad
5	Magasinsvatten
6	Finfilter B mättat
7	Grovfilter C mättat
8	Stödfyllning D Stödfyllning

Älvkarleby datautvärdering – pågående arbete

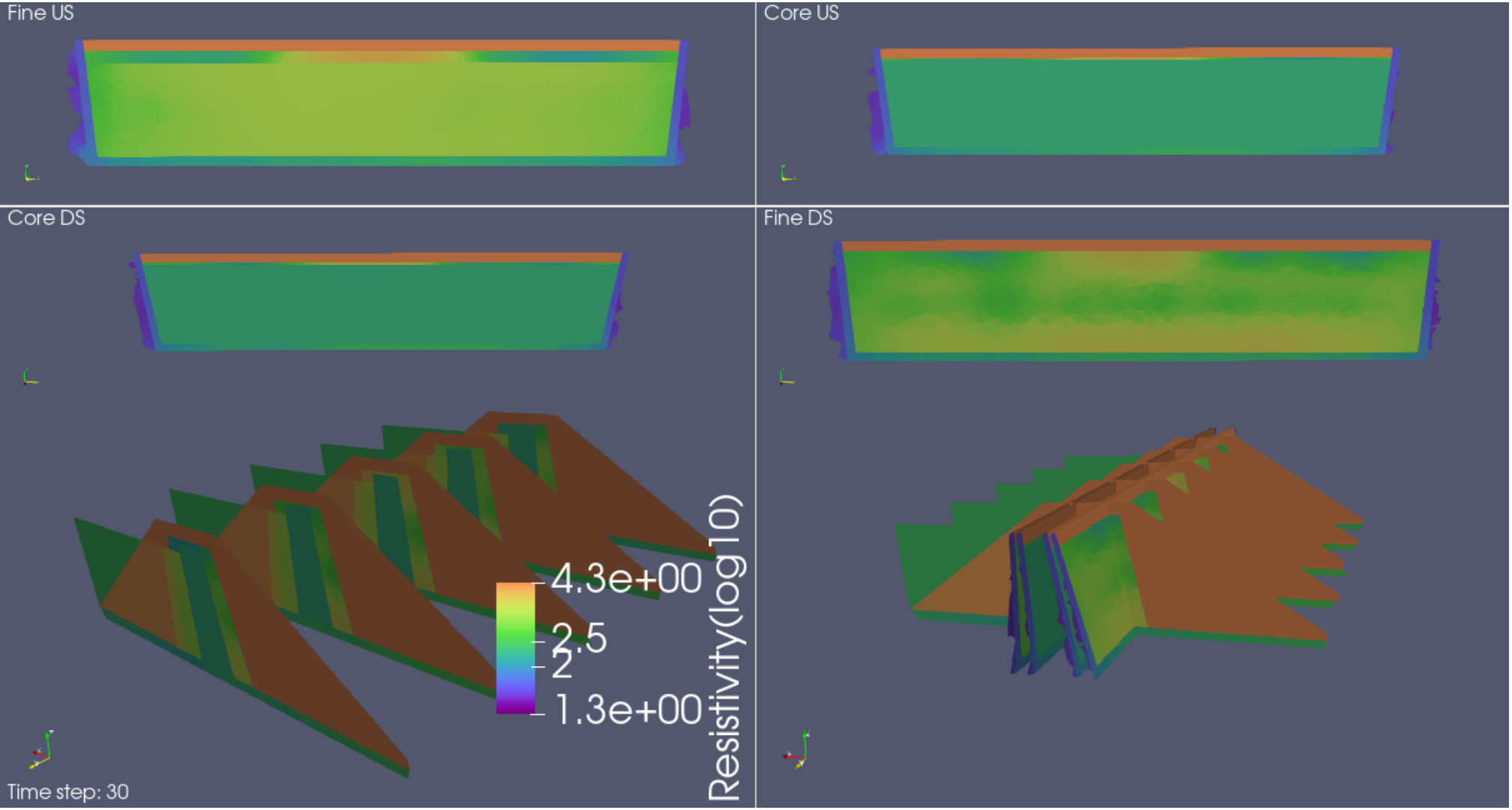
- FEM numerisk modellering med BERT-GIMLi
- Materialegenskaper från lab-mätning och publikationer
- Inversion med strukturell information



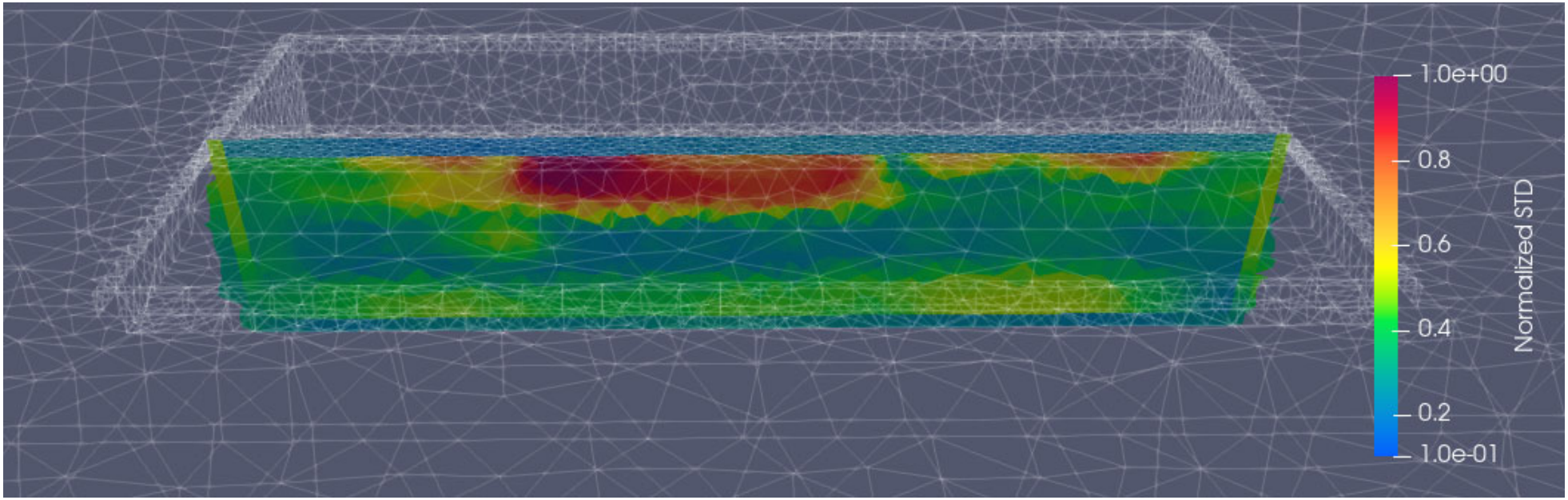
Älvkarleby – preliminära resultat 2020-07-02



Älvkarleby – preliminära resultat 2020-12-24



Älvkarleby – preliminära resultat
Tvärsnitt av relativ variation



Intrimning av inversionsinställningar pågår …

Långtidsmätningar med ERT i andra dammar

Instrumenterad damm #3

- Elektroder installerade längs krön och nedströmssida
- Optisk fiber för DTS (temperatur-mätning)
- ERT system i drift sedan 2007 – daglig mätning pågår

Instrumenterad damm #4

- Elektroder installerade längs krön, plus i botten av uppströms- och nerströmsfilter
- Optisk fiber för DTS (temperatur-mätning) installerad på flera nivåer
- ERT och DTS system installerade i november 2019, daglig mätning pågår

Sammanfattning / Slutsatser

- 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 kan ge stor påverkan på data - använda som elektroder?
- Enstaka ERT-undersökning ofta svårtolkad - mät tidsserier med förändring i magasinsnivå eller temperatur!
- Tidsserier / övervakningsdata för att hitta zoner med:
  - stora variationer (högt läckage)
  - långtidsförändringar (inre erosion, urtvättning av finmaterial)
  - ökande variationer (ökande läckage)
- Anpassning och metodutveckling behövs för rutintillämpning

Tack till …

- Pontus Sjödahl och Sam Johansson, HydroResearch AB, för mångårigt samarbete kring presenterade resultat och material till denna presentation.
- Bra samarbete med dammägarna i de olika projekten.
- Johan Lagerlund, Christian Bernstone, m.fl., Vattenfall, samt Jasmina Tomanovac, LTU, för bra samarbete i samband med testdammsprojektet.
- Reyhaneh Norooz, Per-Ivar Olsson, Matteo Rossi, Nikolas Höglund och Thomas Günther för 3D numerical modellering och inversion av data från testdammen.
- LUNARC / SNIC beräkningsresurser.
- Elforsk (nu Energiforsk), DSIG (Dam Safety Interest Group - CEATI) och damägarna för finansiering av tidigare arbete.
- Energimyndigheten och Vattenfall för finansiering av pågående arbete, med naturainsatser från HydroResearch och LTH/Lunds universitet.
- SVC för pågående och kommande arbete …

Tack för uppmärksamheten!

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