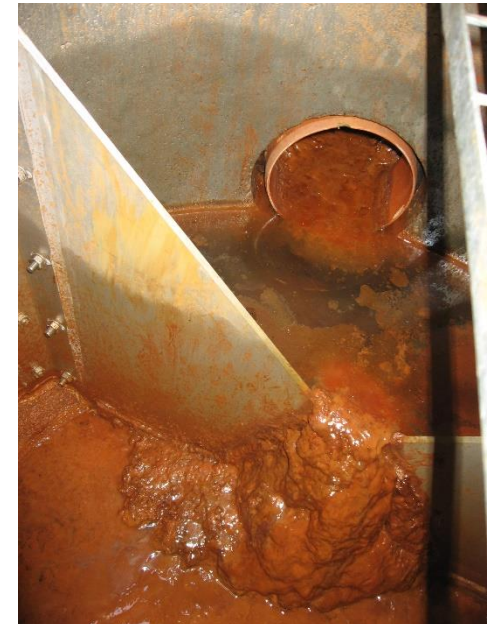


# Undersökningsmetoder, geofysik.

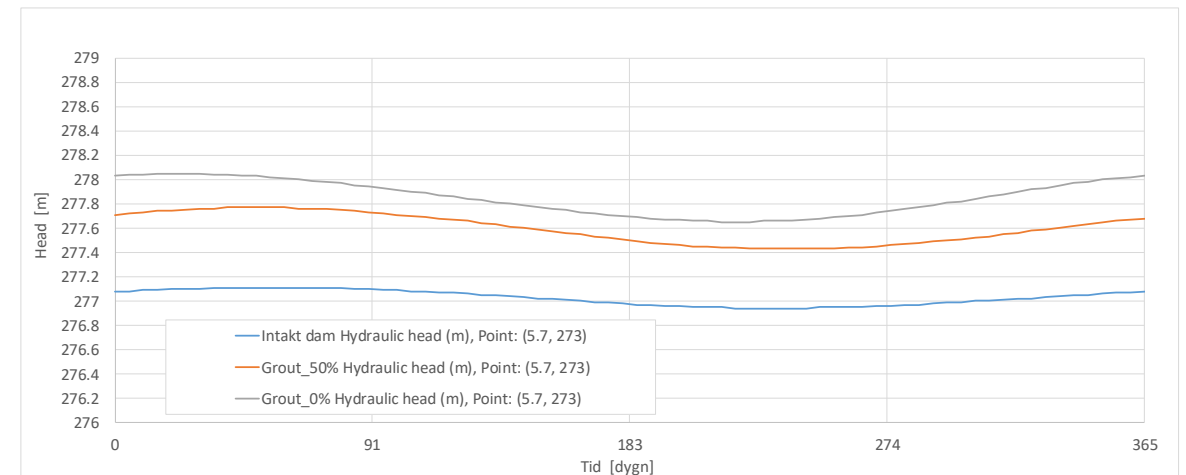
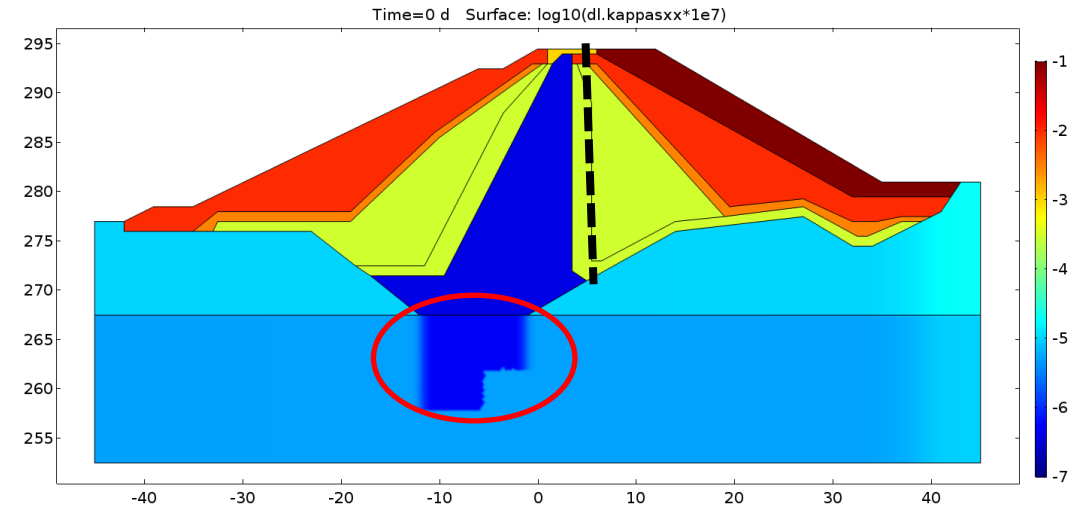
Pontus Sjödahl

- Permeabel undergrund
  - Vattenströmning i jord eller berg
- Injektering i berg, urlakning
- Injektering i jord, nedsatt funktion
- Panur
  
- Undersökning (statusbedömning, skadeutredning)
- Övervakning
  - Flödesförändringar (läckagemätning)
  - Tryckförändringar (tryckmätning)
  - Indirekta metoder (geofysik)

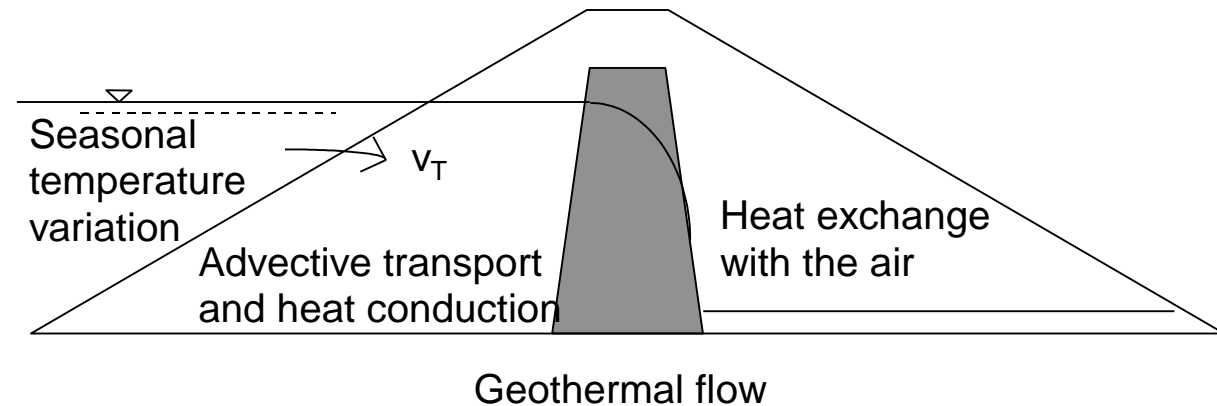
- Vår bästa metod! Direkt mätning av den viktigaste parametern! Relativt lättolkad!
- ...men finns utmaningar:
  - Påverkan från nederbörd, spill, grundvatten, etc
  - Sektionering, lokalisering av läckageökning
  - Mäts allt flöde genom dammen?
  - När läckage i undergrunden mätbrunnarna?
  - Igensättning, utfällningar, etc



- Direkt mätning av viktig parameter.
  - Lokal information.
  - Inte alltid så lättolkat som vi tror.
- 
- Ett exempel...
    - Simulering med och utan injektering
    - $K=5e-7 \rightarrow K=5e-6$  ger tryckökning på ca 0,8 m i nedströmsfiltret



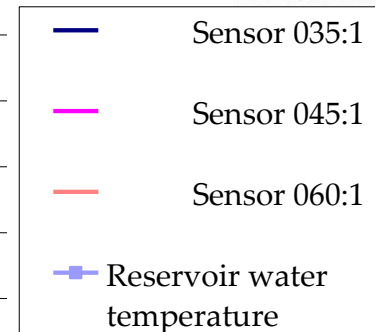
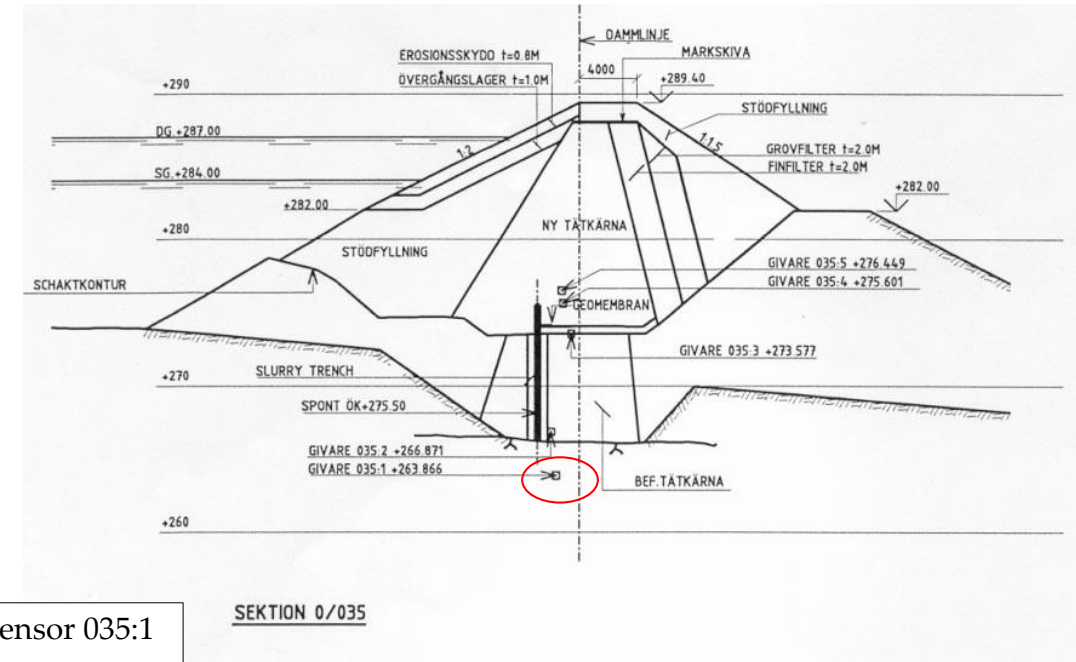
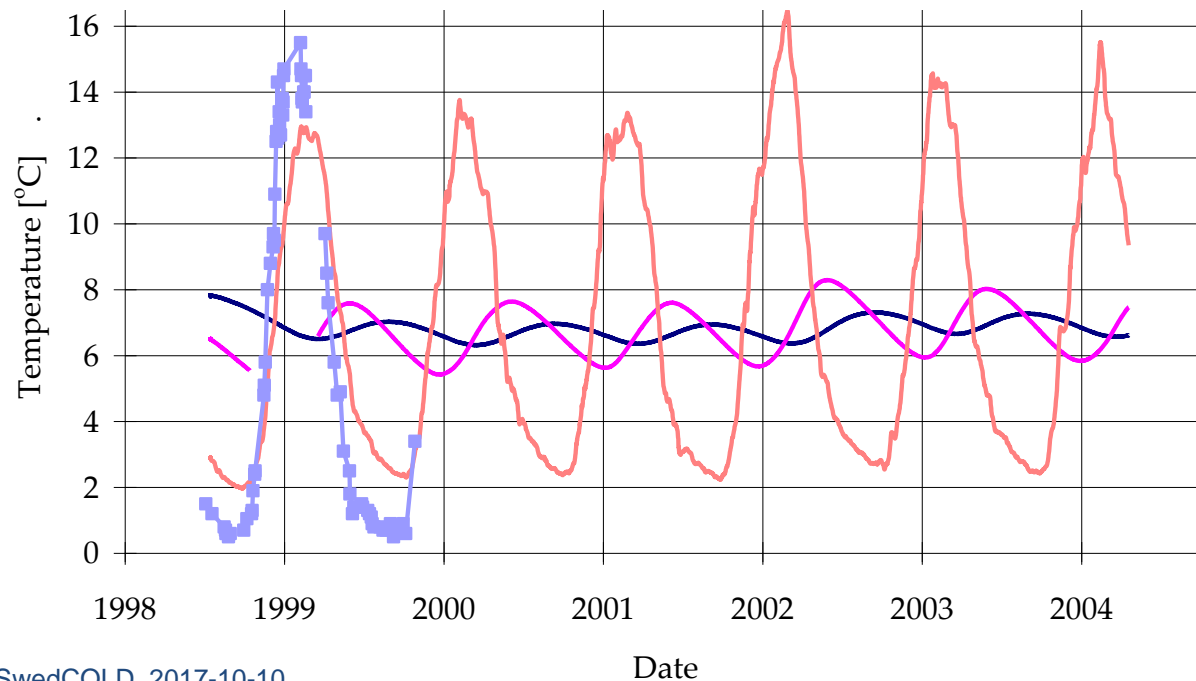
- Indirekt metod, där temperaturen beror av flödet genom dammen.
- Känslig metod, kan upptäcka små läckage.



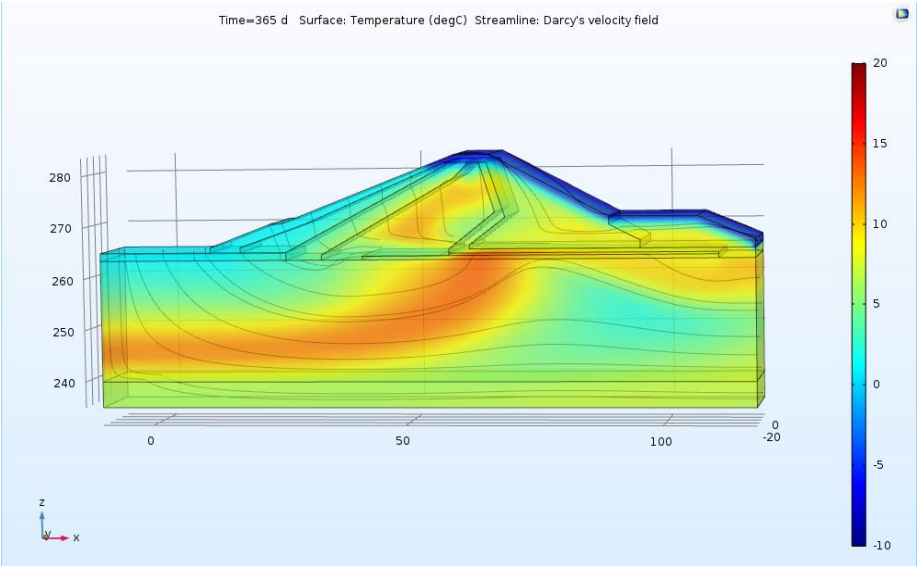
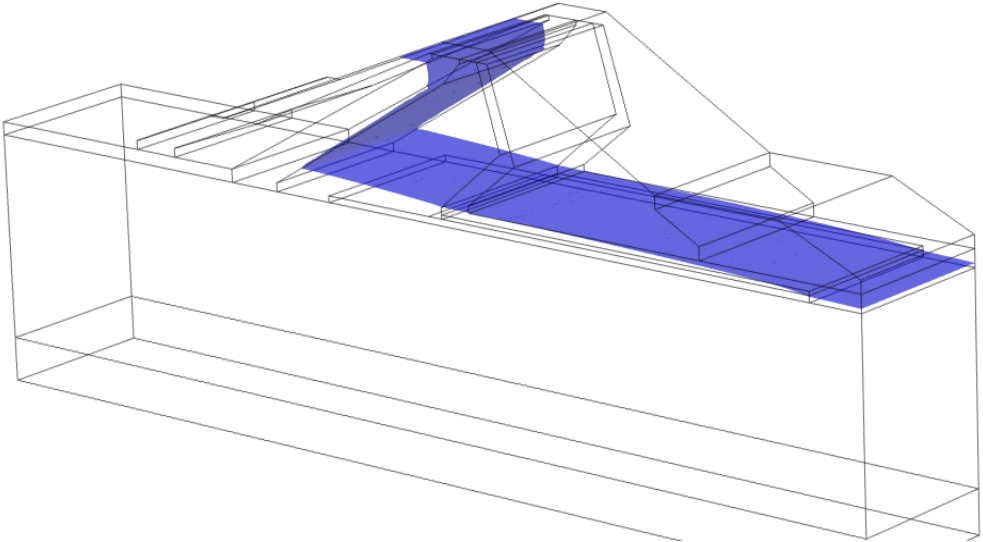
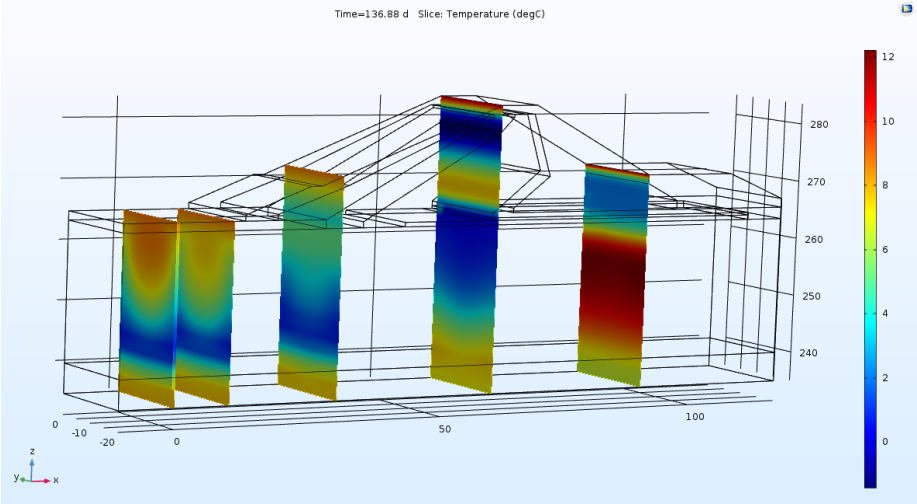
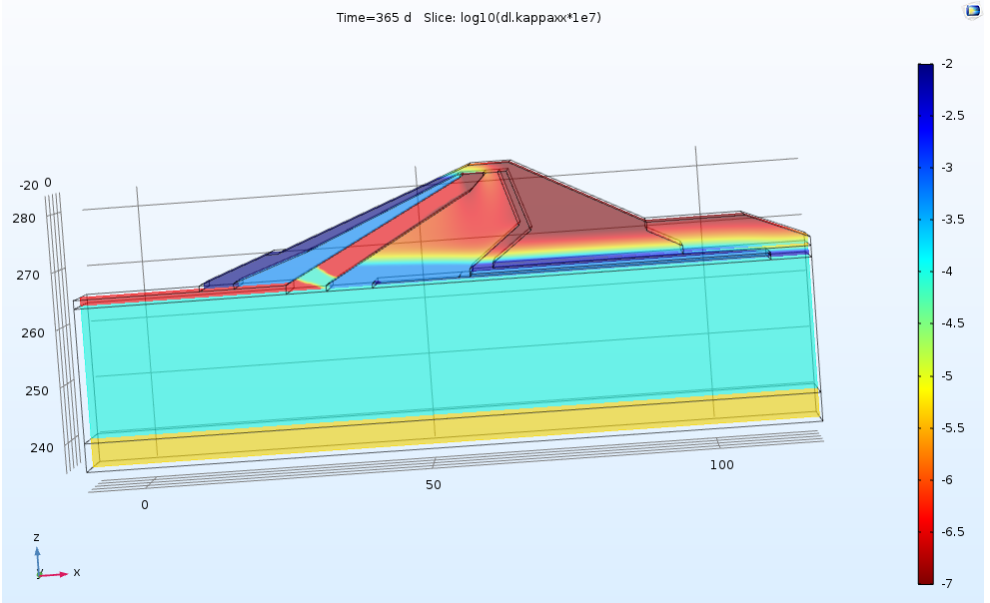
- Lokal information med temperaturgivare, men DTS med optiska fibrer möjliggör heltäckande mätning.
- Passiv mätning utnyttjar naturlig temperaturvariation (årlig, dygn,..)
- Aktiv mätning tillför värme och analyserar avsvalningsförloppet.

# Temperaturmätning

- Reparation 1998
- Temperaturmätning i tryckgivare
- Jämförelse mellan olika sektioner

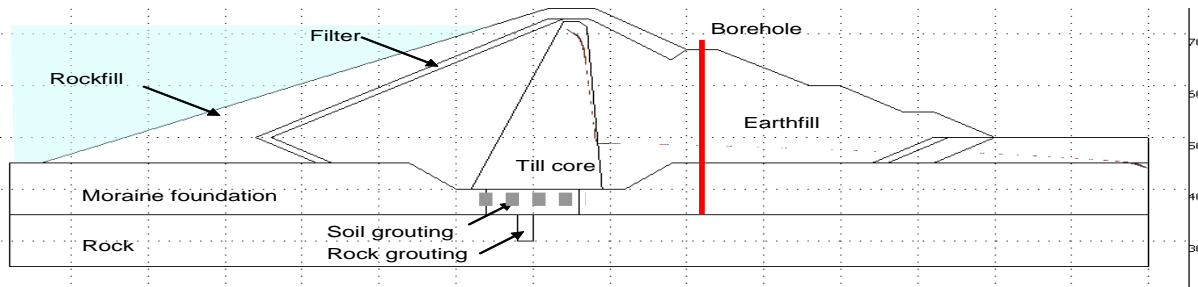


# Thermal simulations of internal erosion



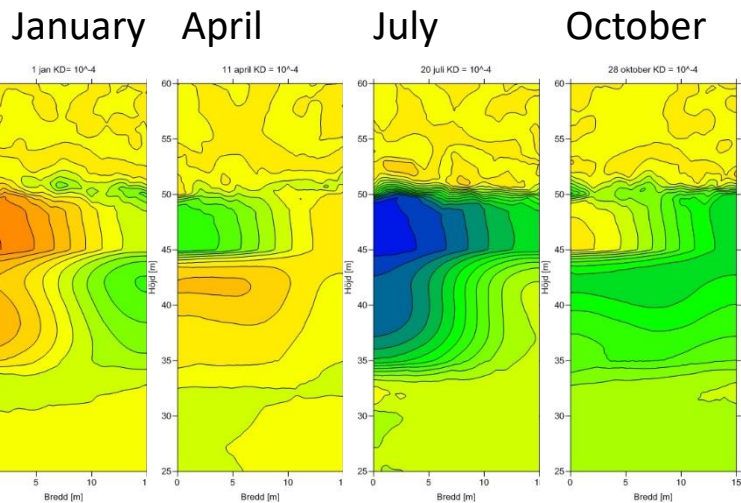
# Moforsen

## Simuleringar och mätningar

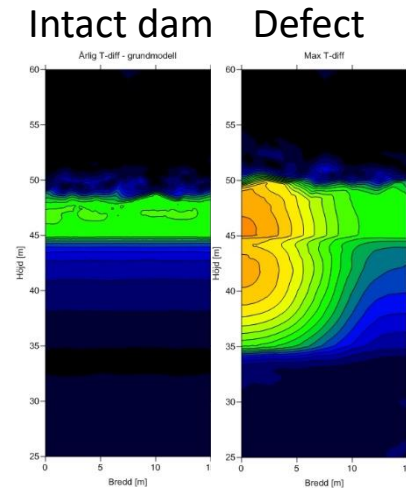


Simulated defect,  
Cylindrical zone,  
 $r = 2$  m,  $K$  increases  
from  $10^{-6}$  to  $10^{-4}$  m/s

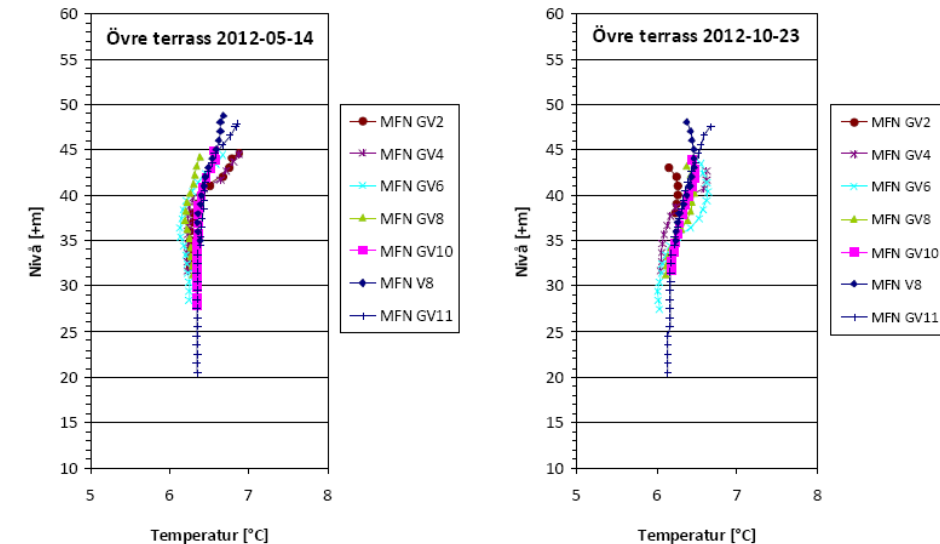
Temperature at borehole location  
(distance from center of zone)



Maximum temperature  
seasonal variation



Mätning 2012 (6-7°C i samtliga rör)

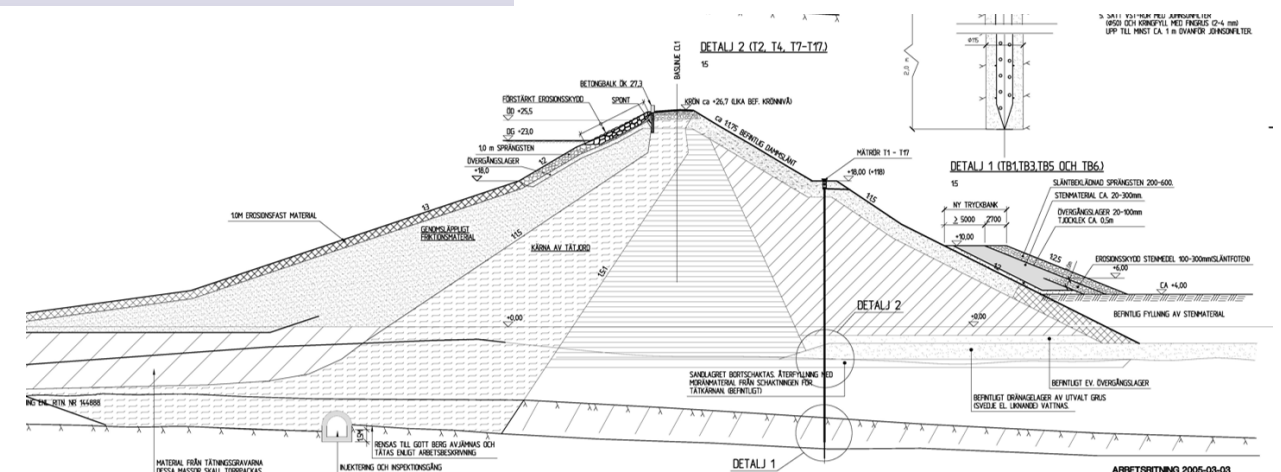
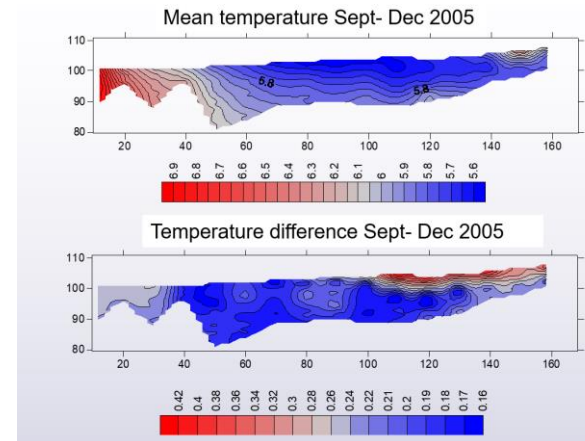
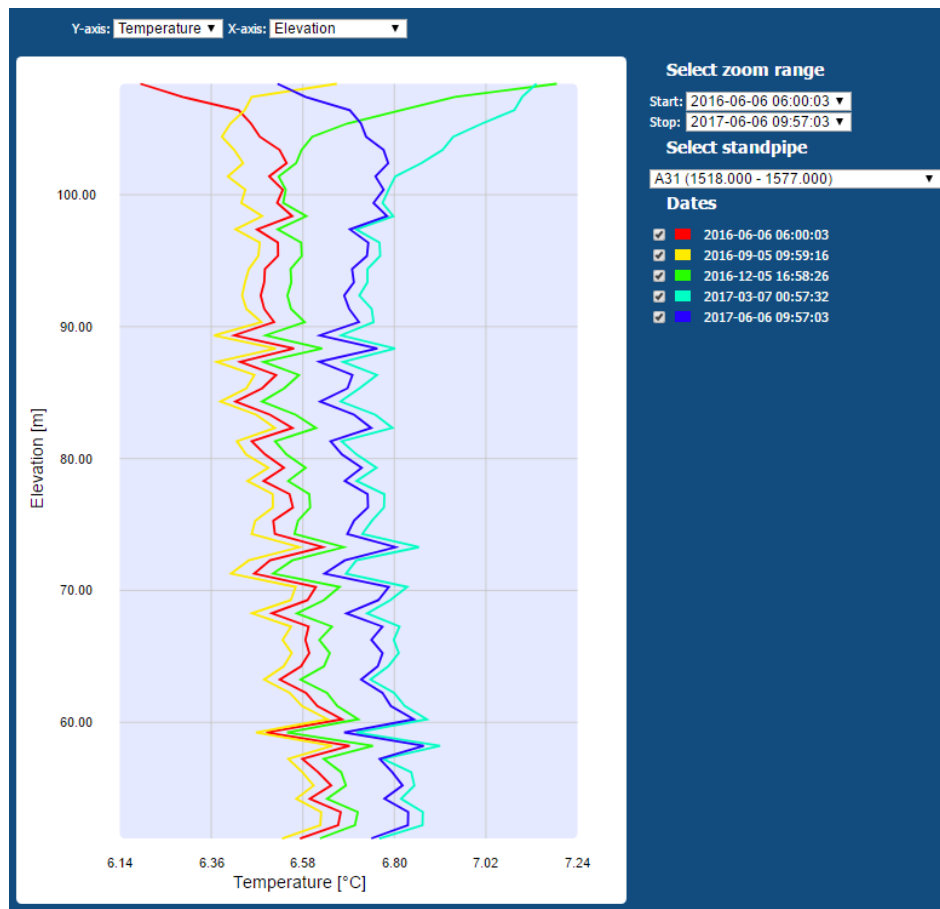




# Bergeforsen, 2005-2017...:

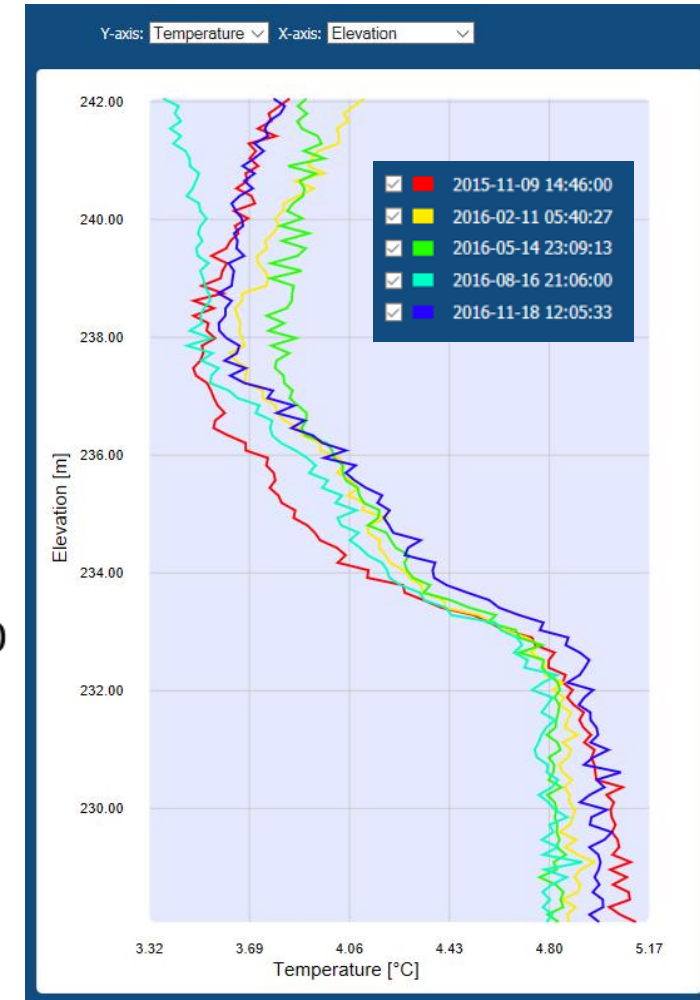
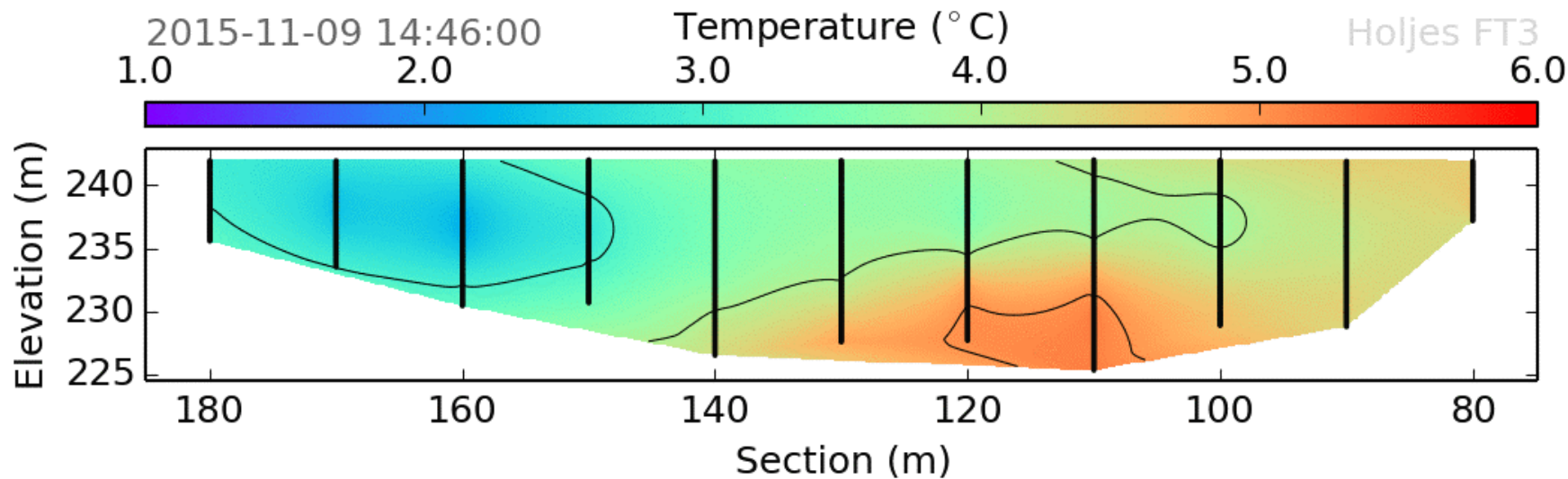
## Detection of Seepage flow changes in time and space

- 17 new standpipes cc 10m + 6 old standpipes (up to 70m deep).



## Detection of Seepage flow changes in time and space

- Similar temperature in the monitoring section
- Small annual temperature variation
- Areas with different behaviour



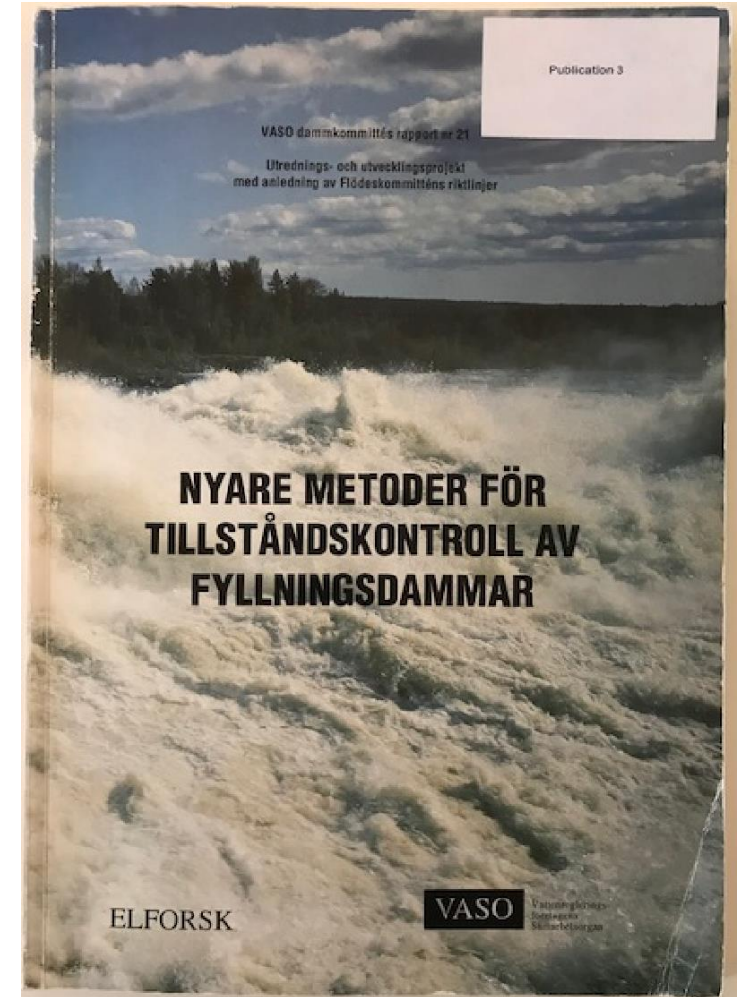
- Akustiska metoder
  - Refraktionsseismik
  - Reflektionsseismik
  - Ytvågsseismik
  - Ekolod
  - Läckljud
- Elektriska metoder
  - Resistivitet,
  - SP, Självpotential
  - IP, Inducerad Polarisation
- Elektromagnetiska metoder
  - Georadar, borrhålsradar
  - VLF, Slingram
- Magnetometri
- Gravimetri
- Radioaktiva metoder



Bild från Phil Sirles, FEMA 2016

Flera av dessa kan även användas i borrhål (reflektionsmätning eller mellanhålsmätning). Intressant på stora djup.

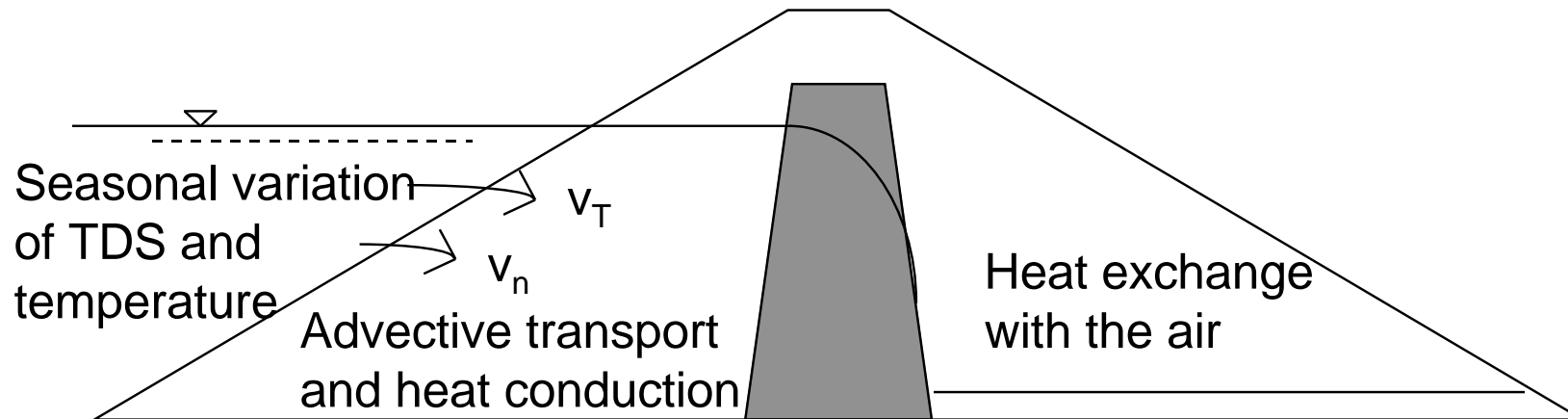
- Genomgång av **nyare** metoder för tillståndskontroll av fyllningsdammar, VASO Rapport 21 från **1995**.
- Strömningsrelaterade mätparametrar bättre än materialparametrar.
- Mest lämpliga nyare metoder för dammövervakning:
  - SP
  - Resistivitet
  - Temperatur
  - Hydrokemisk analys/turbiditet
  -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



- Fältanpassad utrustning
- 4 svenska dammar med permanent installation
- 2 dammar med kontinuerlig mätning



- Säsongsvariation i magasinet
- Flödet genom dammen orsakar säsongsvariation i dammen
- *Resistivetsvariationen* är mer intressant än resistiviteten



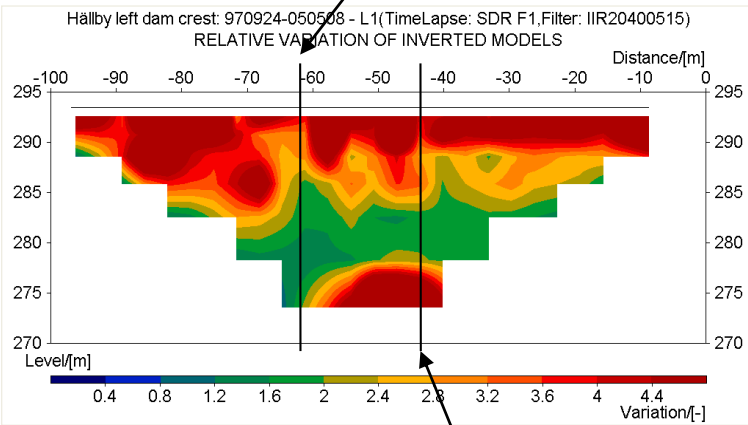
- Resistivetsmätning är i huvudsak kompletterande metod
- Övervakning är överlägset enstaka mätningar
- Kvalitativ utvärdering med fokus på trender och avvikande variation

- Installation 1996
- Förstärkning av dammen 2004-2006 (ominstallation)
- Mätningar 1997-2005 och 2006-2016
- Utvärderingsperiod har varierat (frekvens ca 1-5 år)

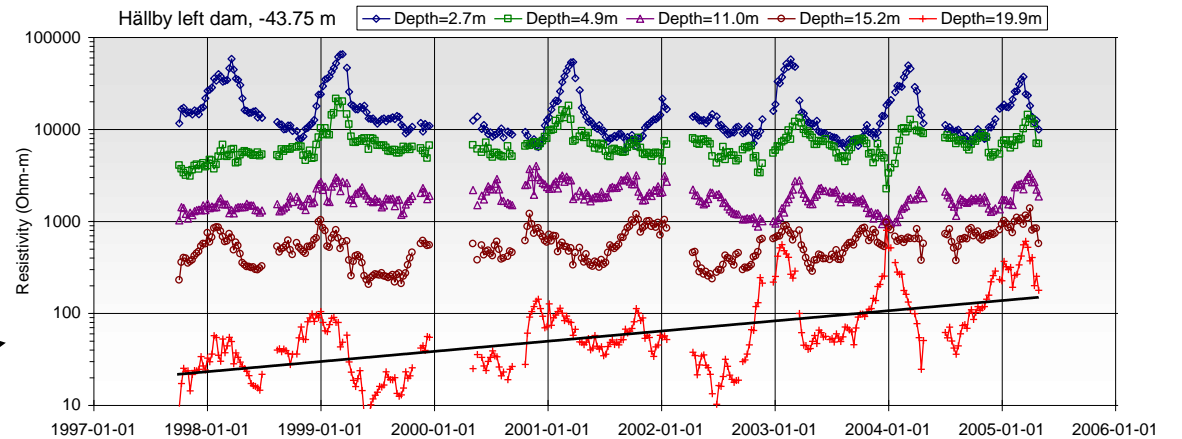
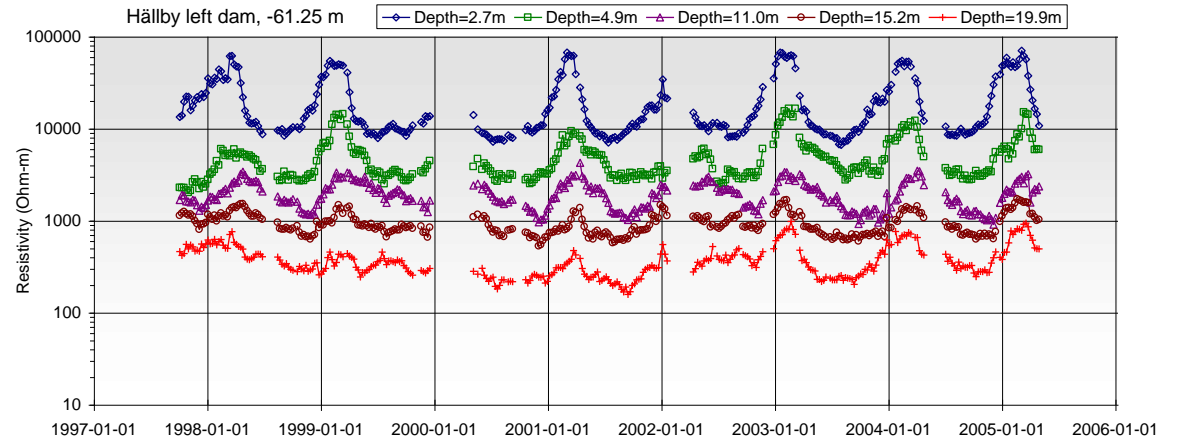


# Resistivetsmätning – Hällby Vänster dam 1997-2005

Sektion ~~0/061~~ 0/139:  
Säsongvariationer kring  
konstant nivå



Sektion ~~0/044~~ 0/156: Större  
säsongvariationer och  
ökande resistivitet

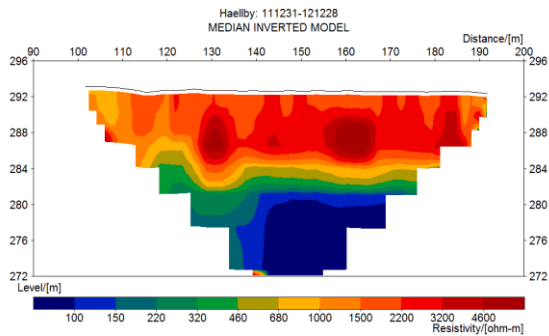




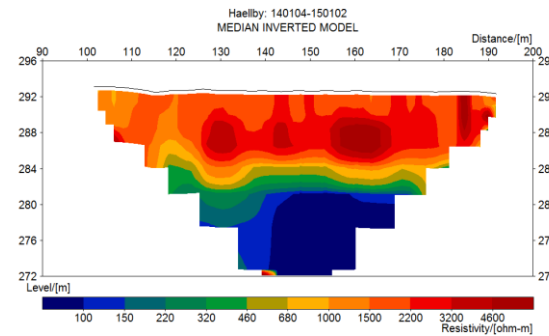
# Resistivetsmätning – Hällby

## Vänster damm 2012-2016

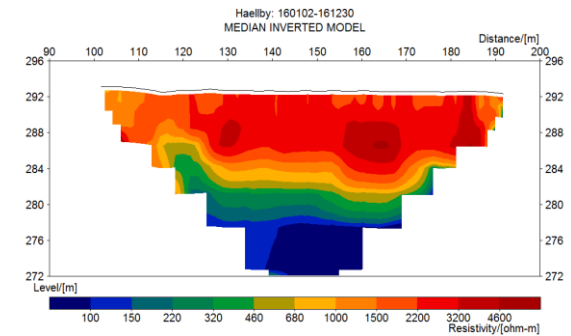
2012



2014

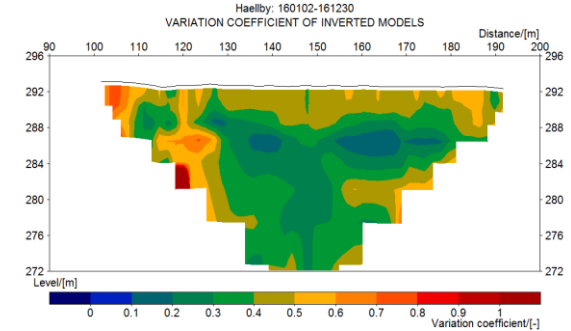
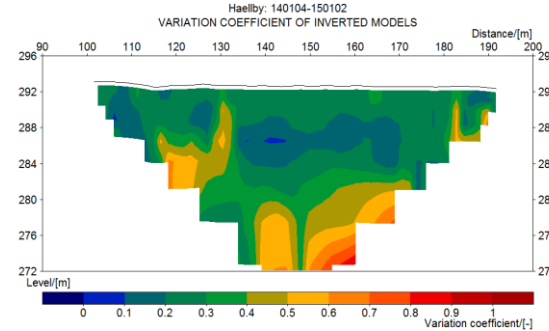
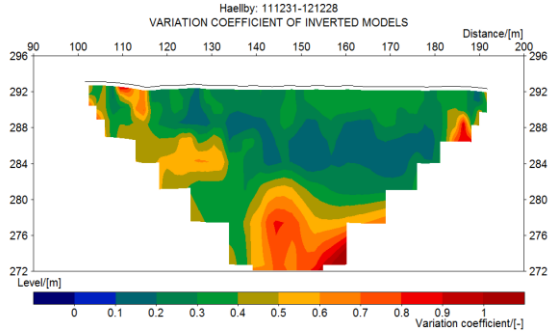


2016



Resistivitet  
Mediansektion

Resistivitet  
Variation



- Högre variation på stort djup i höger del.
- Inga långsiktiga signifikanta förändringar.

- Övervakning av undergrunden är utmanande men vi måste göra vårt bästa!
- Syfte? Tänk efter före! (även för etablerade metoder...)
- Utvärdera mera!
- Hela dammen hela tiden!
- Geofysik behöver referensdata!
- Sverige tidigt ute med mätning av temperatur och resistivitet på dammar. Unika installationer och tidsserier. Finns stora utvecklingsmöjligheter.