

ATV Vintermøde 2022

Geofysiske metoder kan reducere usikkerheder på beregning af forureningsflux

Rasmus Thalund-Hansen & Poul L. Bjerg, *DTU Miljø*

Mads Trolborg, *The James Hutton Institute, Aberdeen, Skotland*

Anders Vest Christiansen, *HGG, Aarhus Universitet*

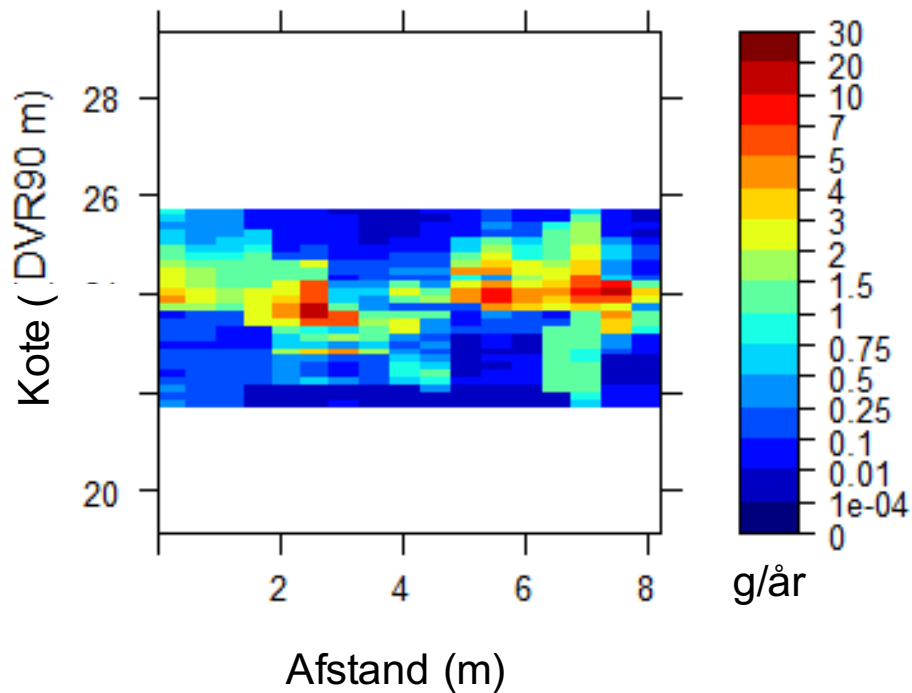
Léa Levy, *Lunds Universitet, Sverige*

Kirsten Rügge, Morten Dreyer, Lærke Brabæk Ildvedsen, *COWI*

Maria Hag, Nina Tuxen, *Region Hovedstaden*

Motivation og mål

- Tværsnitsbaseret forureningsflux (J) er blevet et vigtigt redskab:
 - Risikovurdering
 - Evaluering af oprensning



$$J = c \cdot K \cdot \frac{dh}{dy} \cdot A$$

Forurenings-koncentration
 [$\mu\text{g/L}$ eller $\mu\text{mol/L}$]

Hydraulisk ledningsevne
 [m/s]

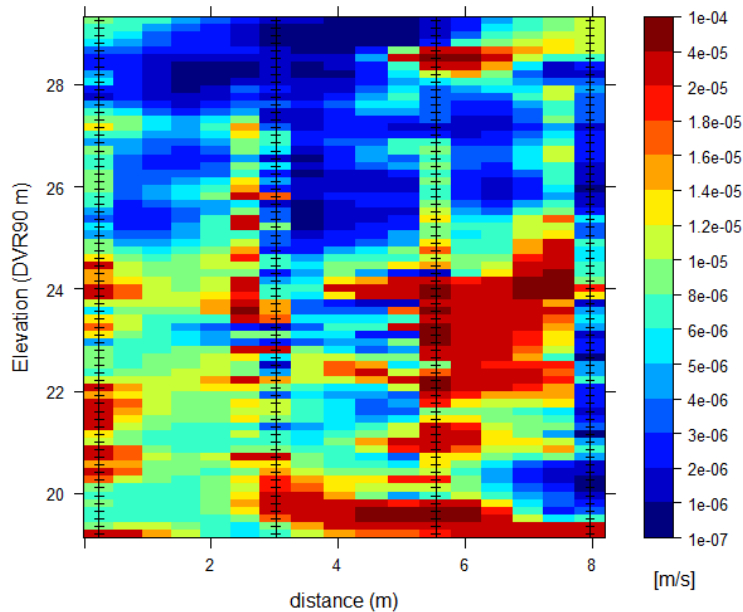
Hydraulisk gradient [-]

Areal af tværsnit / område af tværsnit [m^2]

Motivation og mål

Alternativ metode til bestemmelse af K:

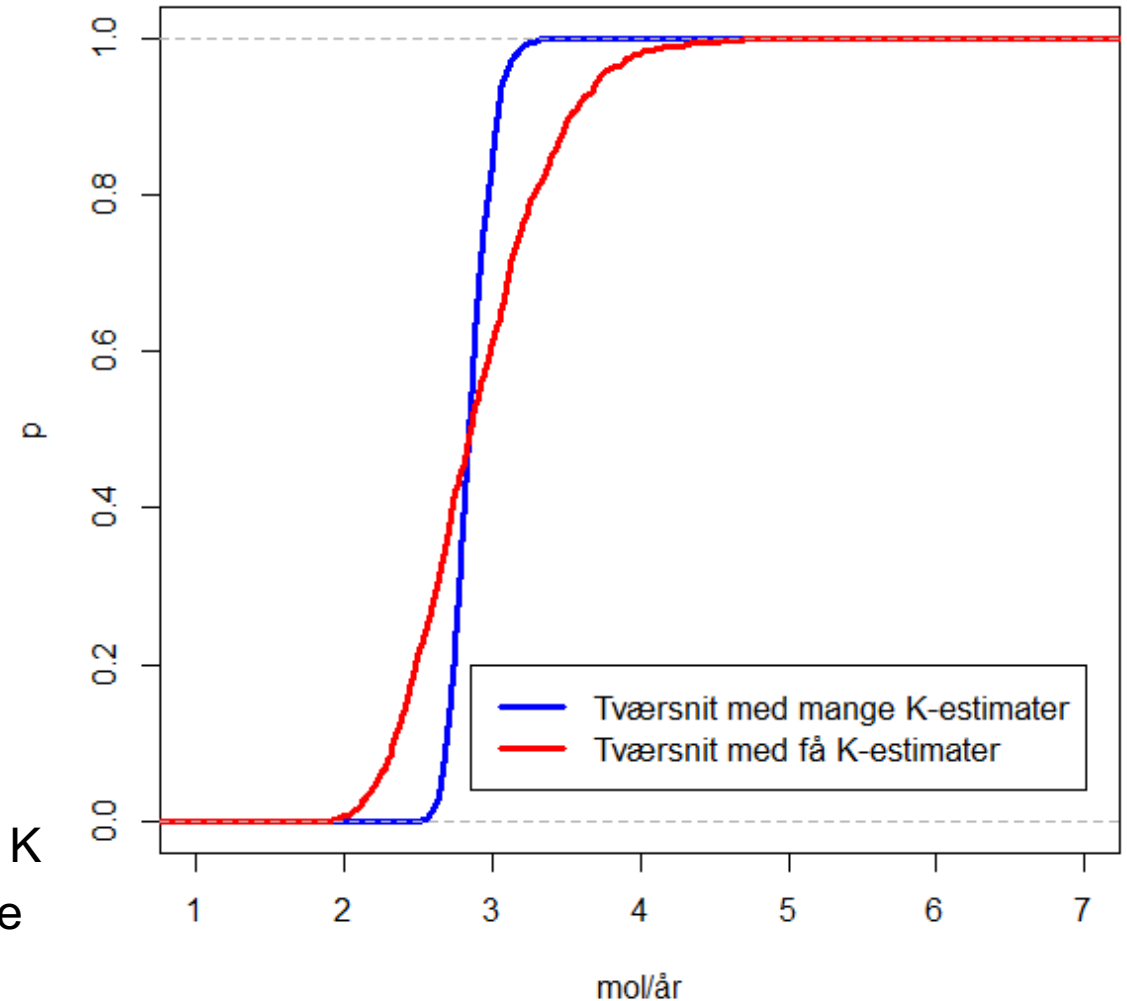
- Cross borehole DCIP K-estimering



Målsætning:

- Reducer usikkerheden på J-estimerer med DCIP K
- Monitor oprensning nedstrøms for en reaktiv zone

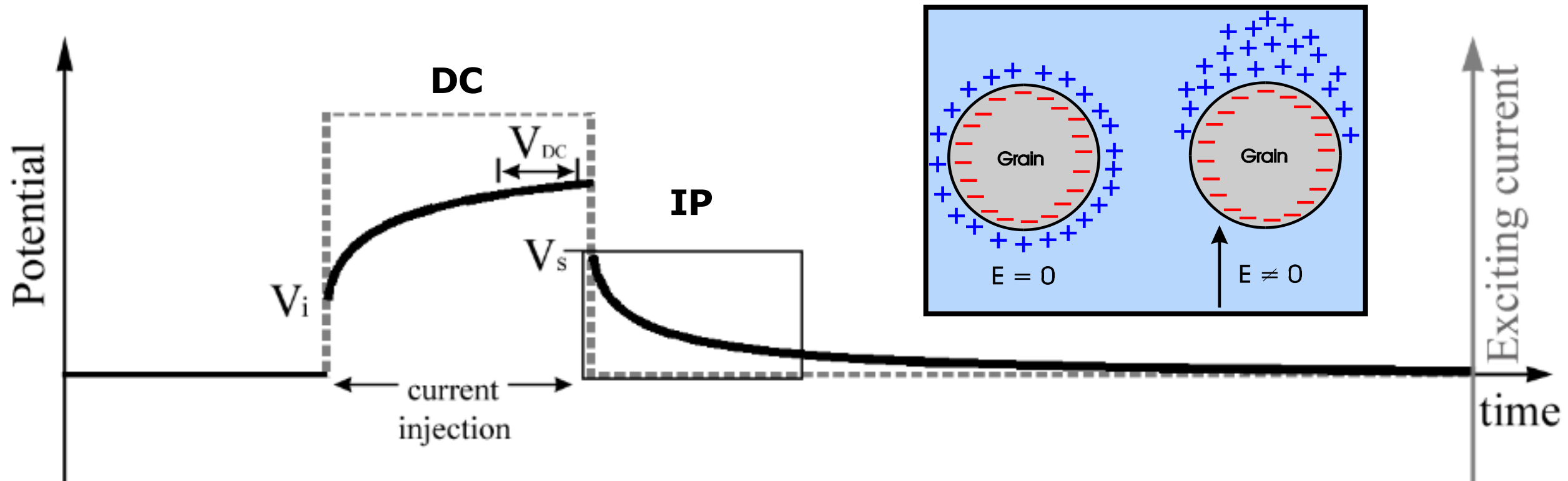
Konceptuel kumulativ sandsynlighedsfordeling af flux ved geostatistisk simulering



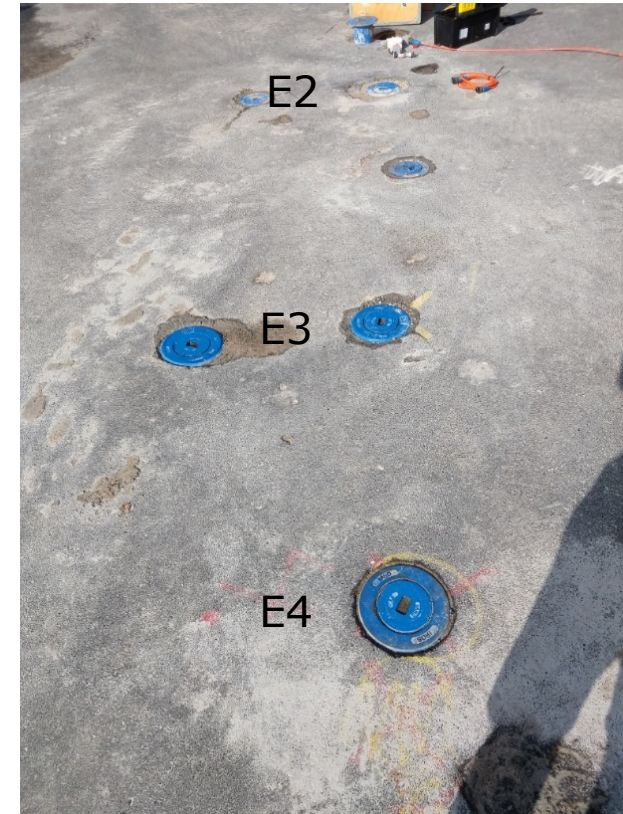
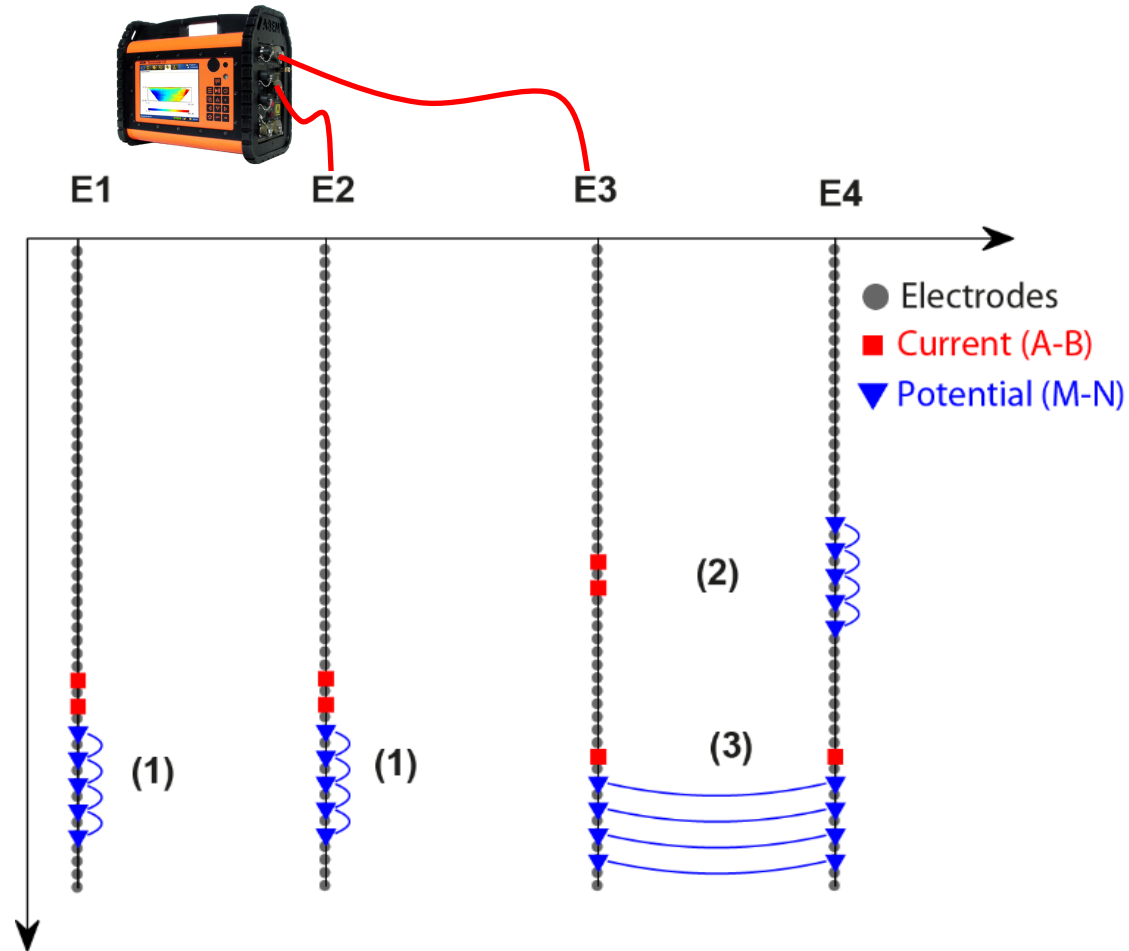


DCIP – hvad er det?

- Direct Current, **DC**: Resistivitet
- Induceret Polarisation, **IP**: Jordlagenes opladningsevne



Cross-borehole DCIP – hvad er det?



Nærmere beskrivelse i Léa Levys præsentation!

Beregning af K fra cross borehole DCIP data

Hydraulisk ledningsevne, K:

$$K = \frac{\rho g}{\mu} \cdot 3.47e^{-16} \cdot \frac{\sigma_0^{1.11}}{\sigma''^{2.41}}$$

Forudsætning for brug:

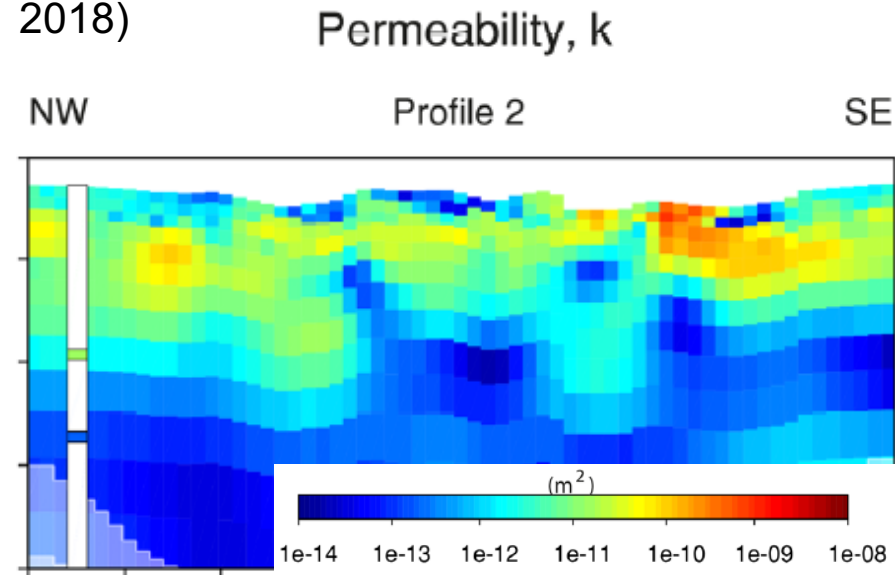
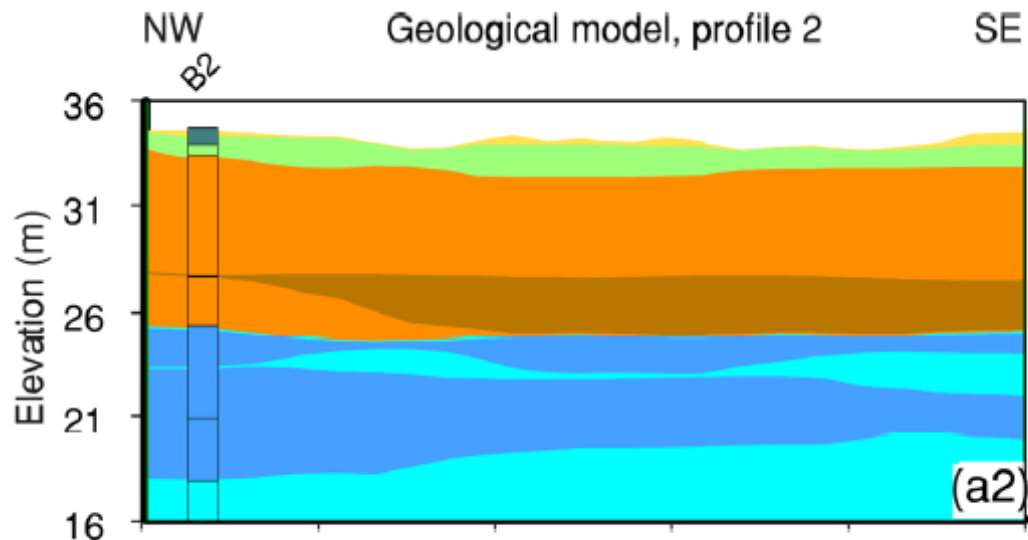
Sedimentær geologi

Relativt lav, helst rimelig homogen elektrisk ledningsevne for porevand

Ingen metalpartikler

Afspejler kornstørrelse, pore-overfladeareal og porestørrelse – men ikke sprækker.

Eksempel fra Grindsted å feltlokaliteten (Maurya et al. 2018)

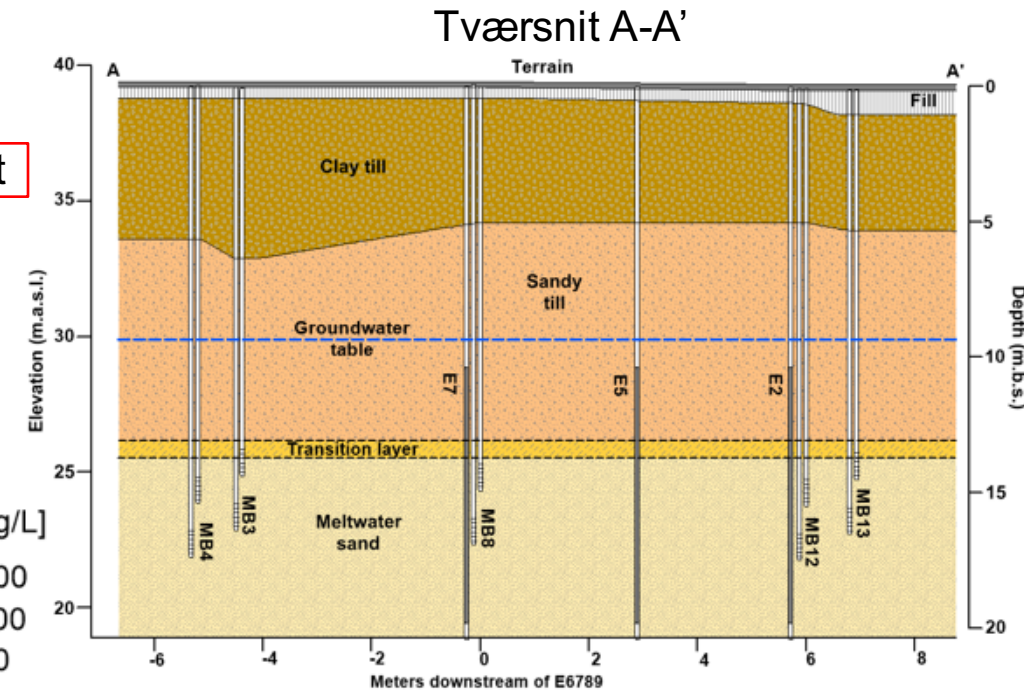
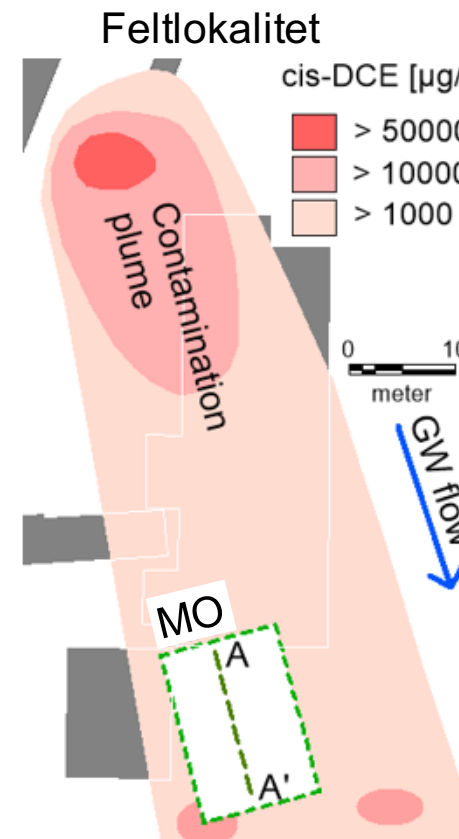


Sammenligning af

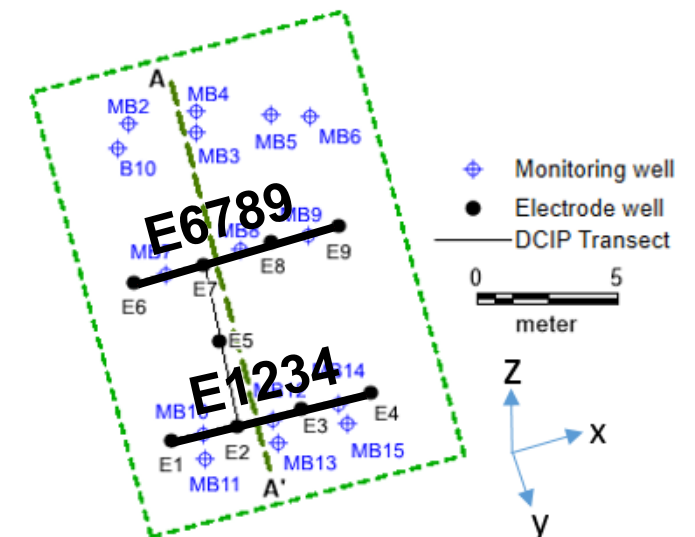
Tilgængelige K-værdier

- 3128 DCIP K-estimer
- 31 kornstørrelsesfordelings (GSA) K-estimer
- 30 slug test K-estimer

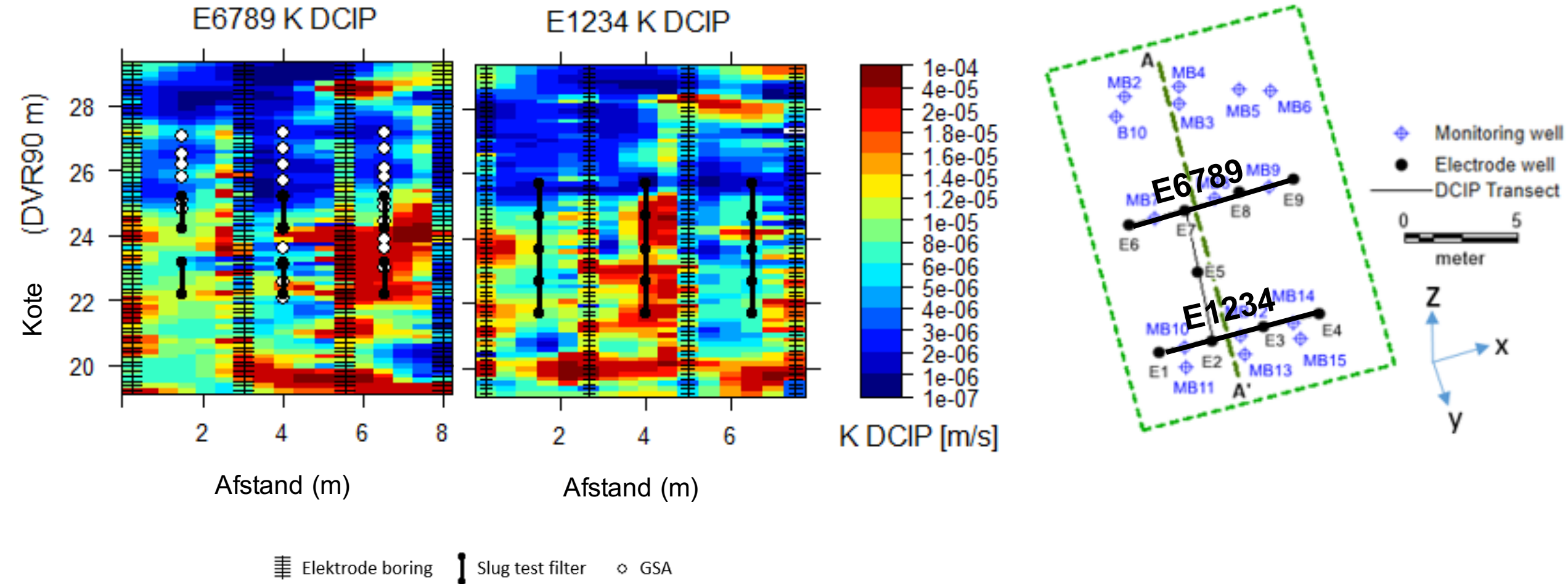
Metoder og resultater fra oprensning i Kirsten Rügges præsentation!



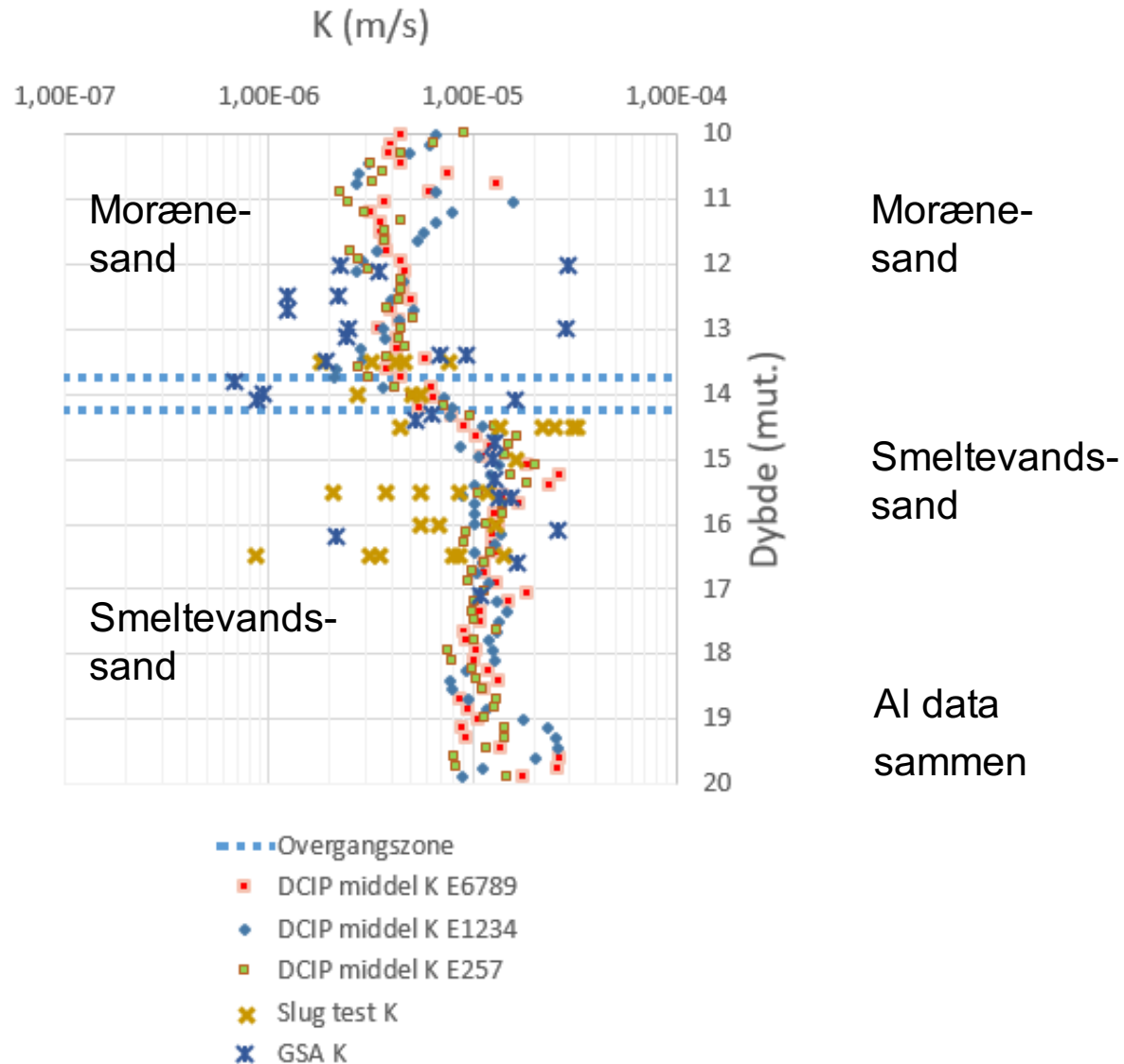
Måleområde (MO)



Sammenligning af K-værdier

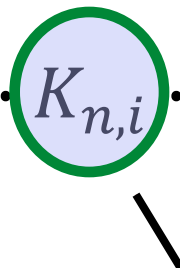


Sammenligning af K-værdier



Parameter	DCIP	GSA	Slug test
Geometrisk middel K: 10-13,75 mut [m/s]	3,24E-06	4,34E-06	3,26E-06
Aritmetrisk middel K [m/s]	4,52E-06	8,02E-06	3,82E-06
Antal datapunkter	1196	16	6
$\sigma (\ln(K))$	0,64	1,14	0,22
Geometrisk middel K: 13,75-19,9 mut [m/s]	9,75E-06	6,43E-06	7,44E-06
Aritmetrisk middel K [m/s]	1,24E-05	1,02E-05	9,48E-06
Antal datapunkter	1932	15	24
$\sigma (\ln(K))$	0,51	1,39	0,77
Geometric mean K 10-19,9 mut [m/s]	6,4E-06	5,19E-06	6,31E-06
Aritmetrisk middel K [m/s]	9,39 E-06	9,08E-06	9,21E-06
Antal datapunkter	3128	31	30
$\sigma (\ln(K))$	0,84	1,33	0,74

Usikkerhed af K-estimer generelt

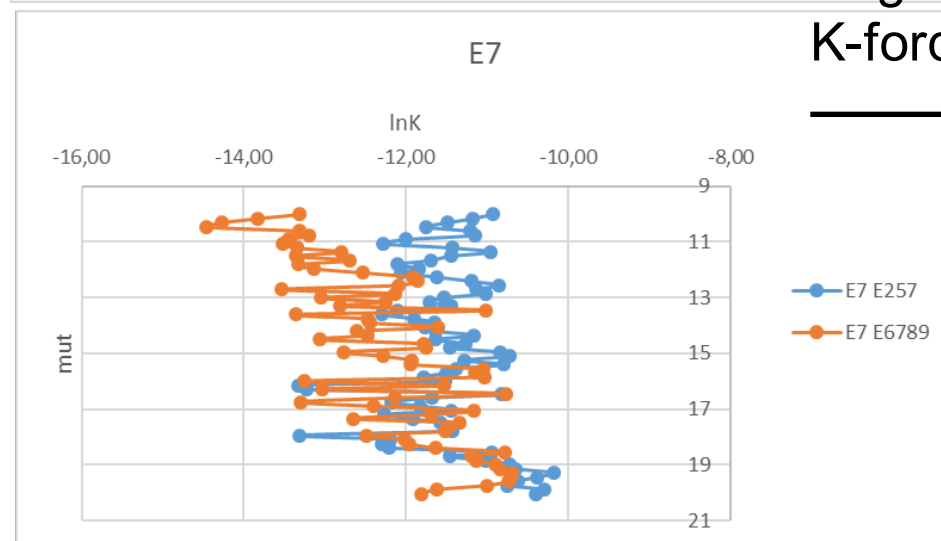
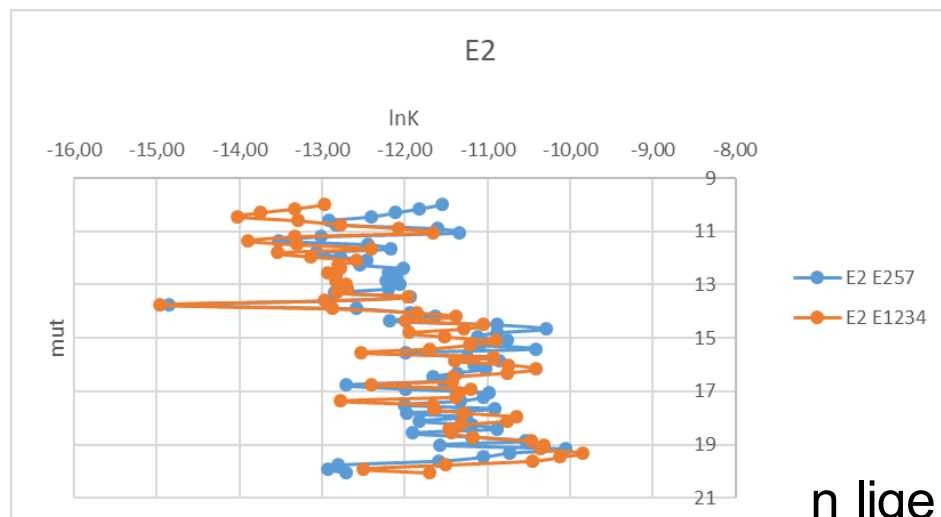
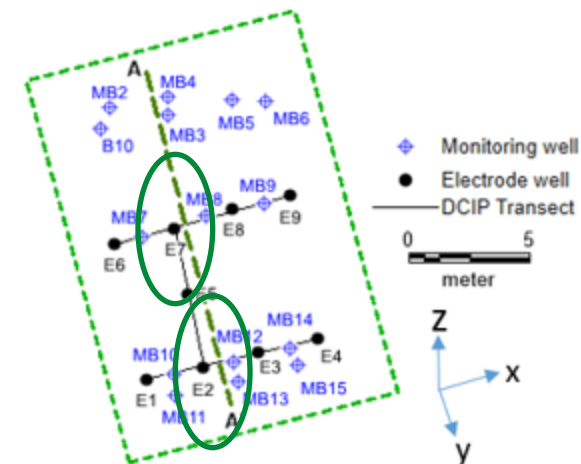
$$J_n = \sum_{i=1}^I c_n \cdot K_{n,i} \cdot \frac{dh}{dy} \cdot A_i \quad \left[\frac{M}{T} \right]$$


Overordnet koncept:

Fokus på K!

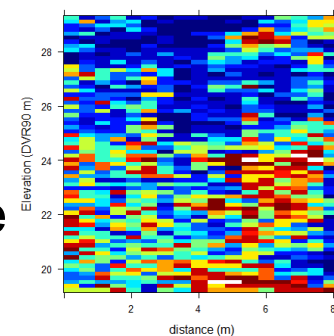
- n lige sandsynlige fordelinger af K over et tværsnit
 - For DCIP K
 - For slug test K
 - For GSA K
- Værdier i alle grid-celler i tværsnittet
- n lige sandsynlige estimer for J

DCIP K-estimator: Usikkerhed

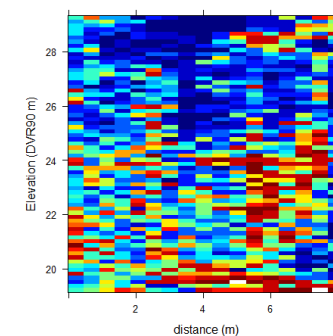


n lige sandsynlige
K-fordelinger

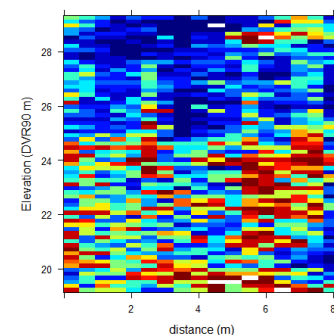
MC V1 K DCIP E6789



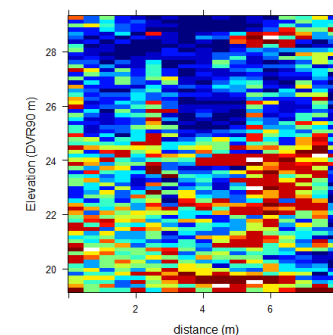
MC V2 K DCIP E6789



MC V3 K DCIP E6789

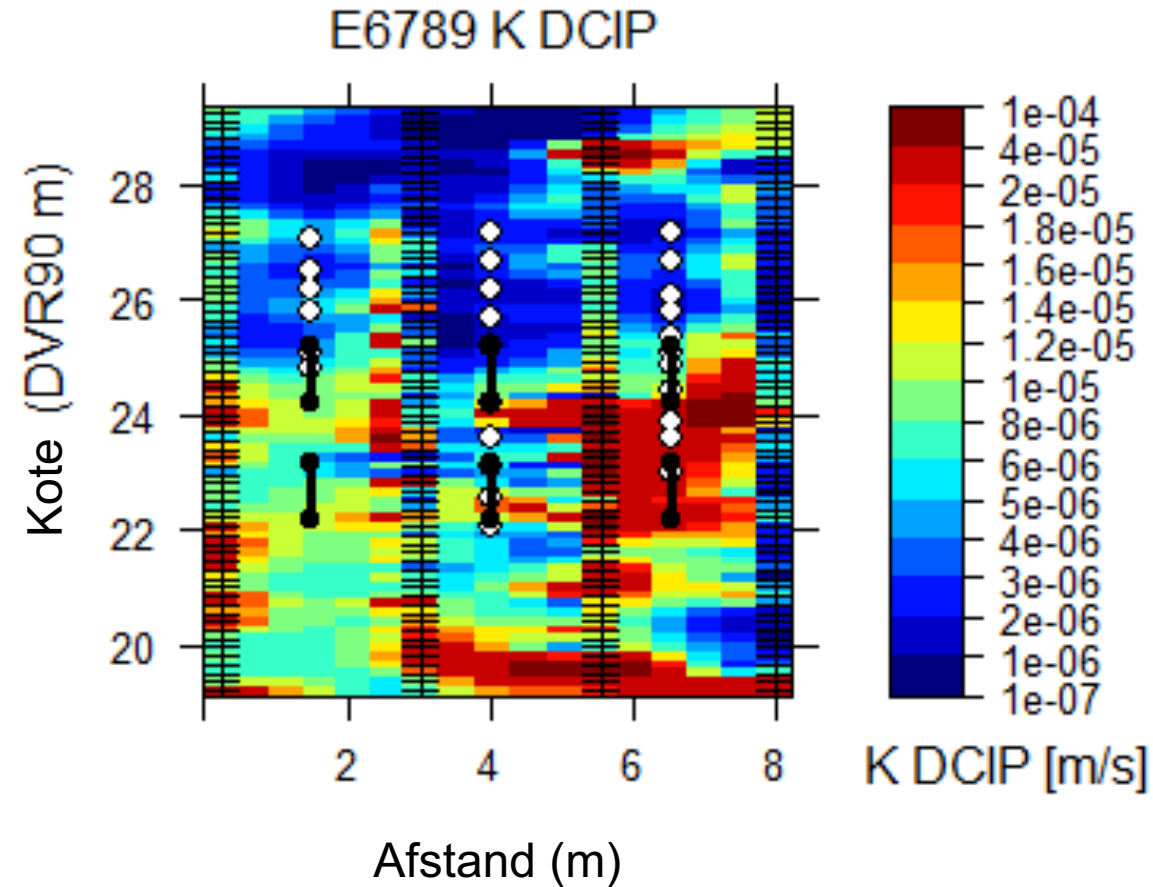


MC V4 K DCIP E6789

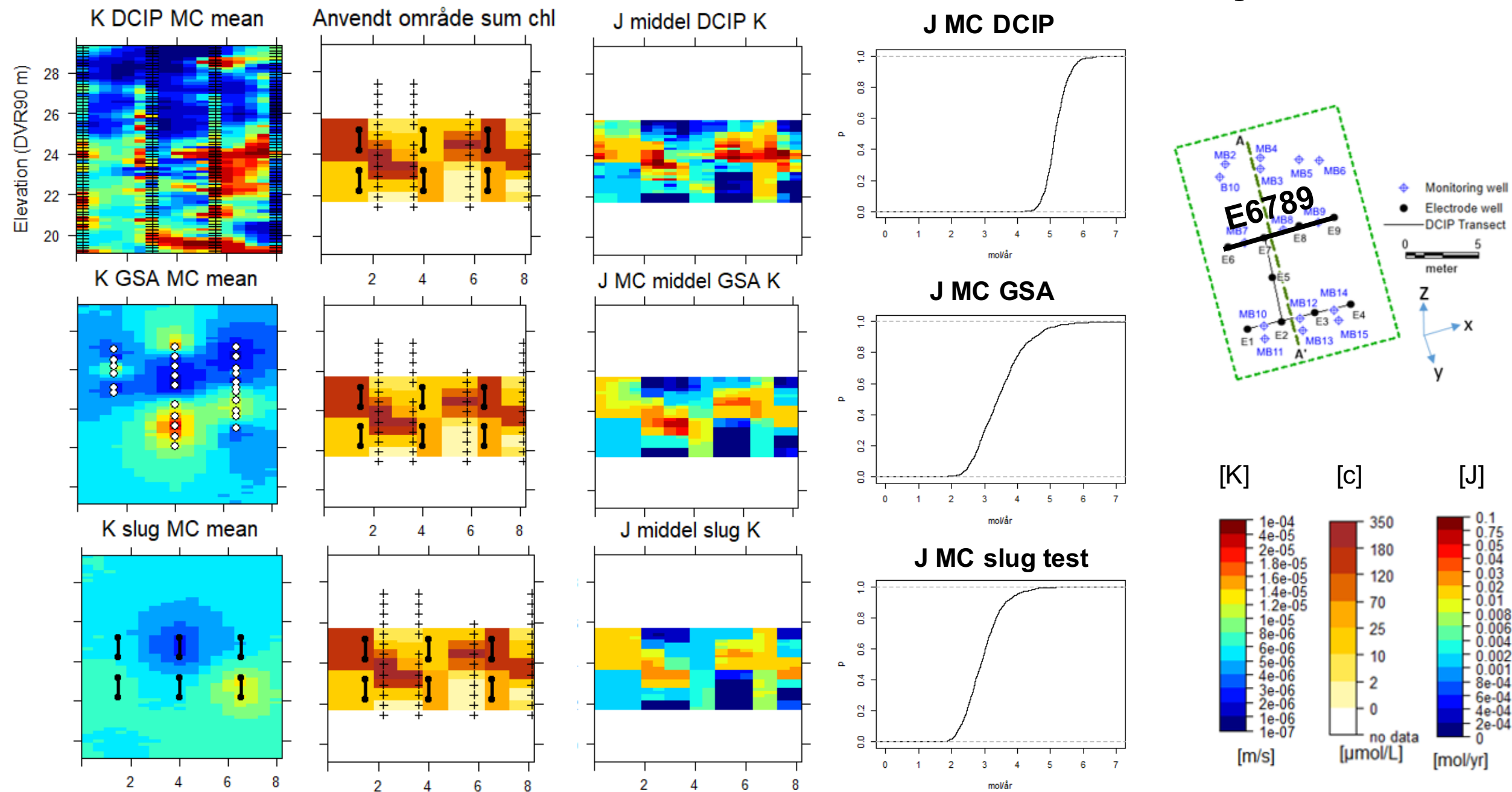


Slug test og GSA K-estimer: Usikkerhed

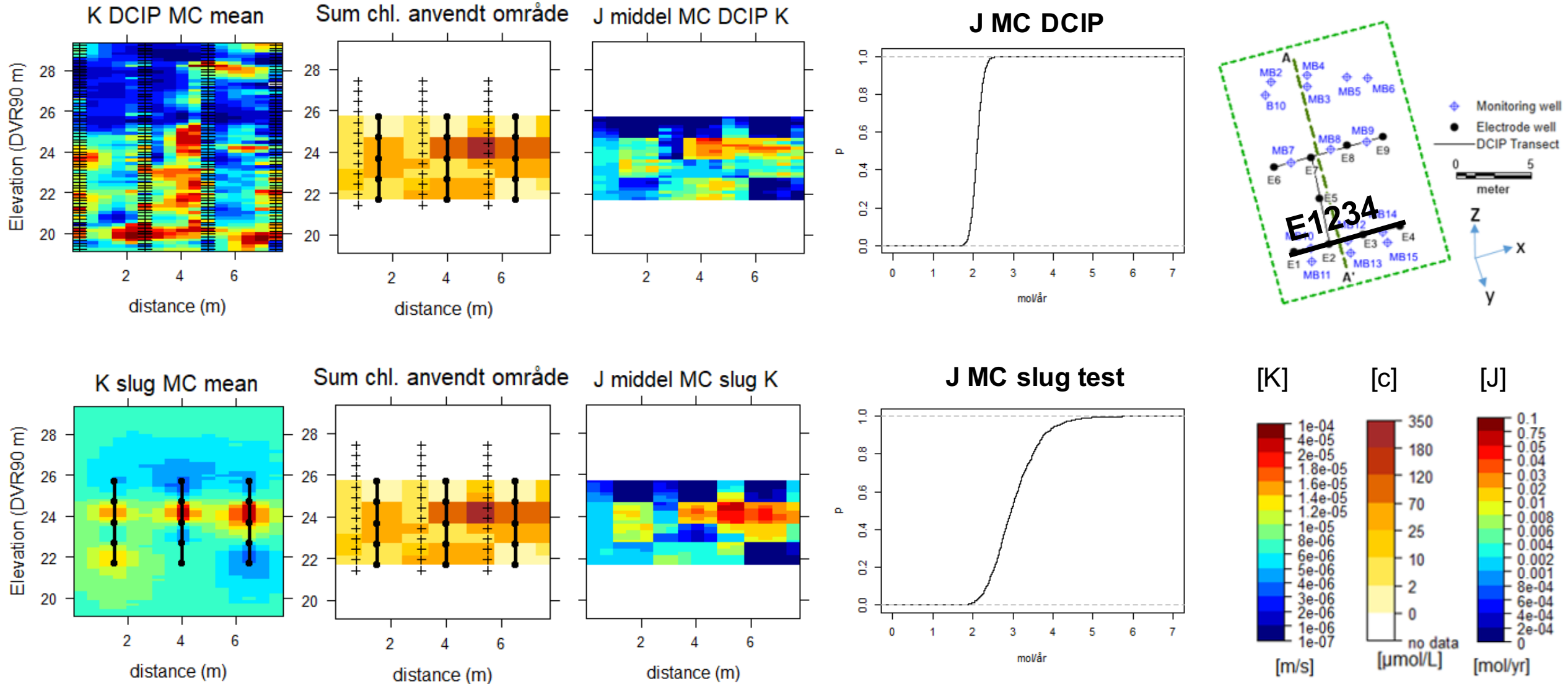
- **Konditionel simulation** på baggrund af K-estimerne og en **geostatistisk model**
- Geostatistisk model fra DCIP K-data
- n lige sandsynlige fordelinger af K
- Metode beskrevet yderligere af Anton Bo Bøllingtoft!



Flux-resultater: E6789 24 måneder efter 1. injektion

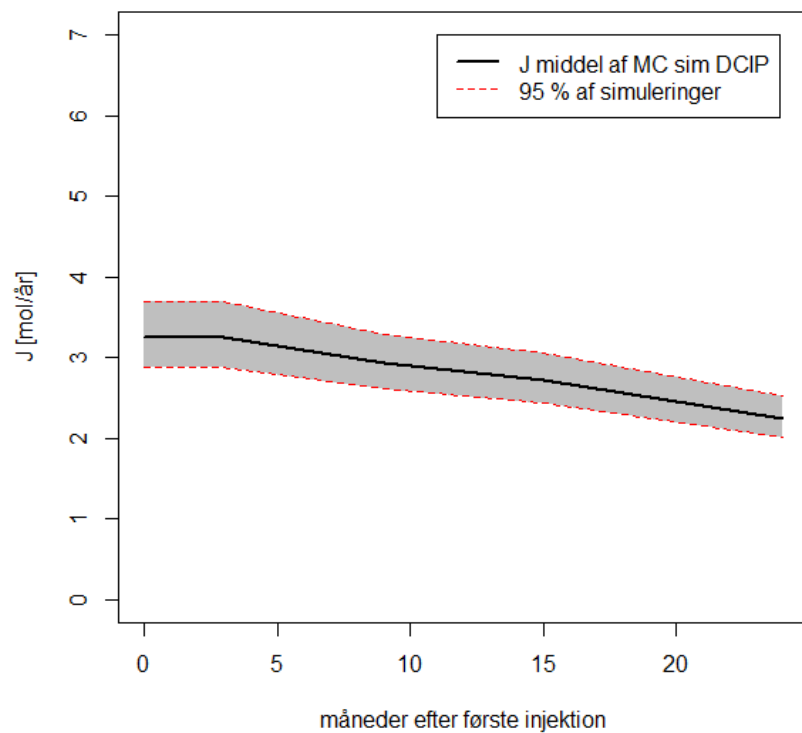


Flux-resultater: E1234 24 måneder efter 1. injektion

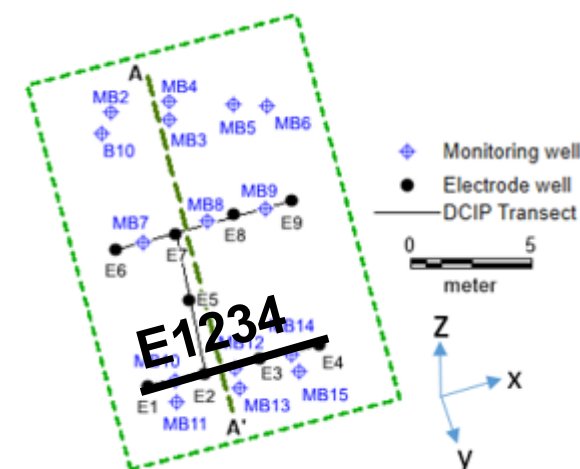
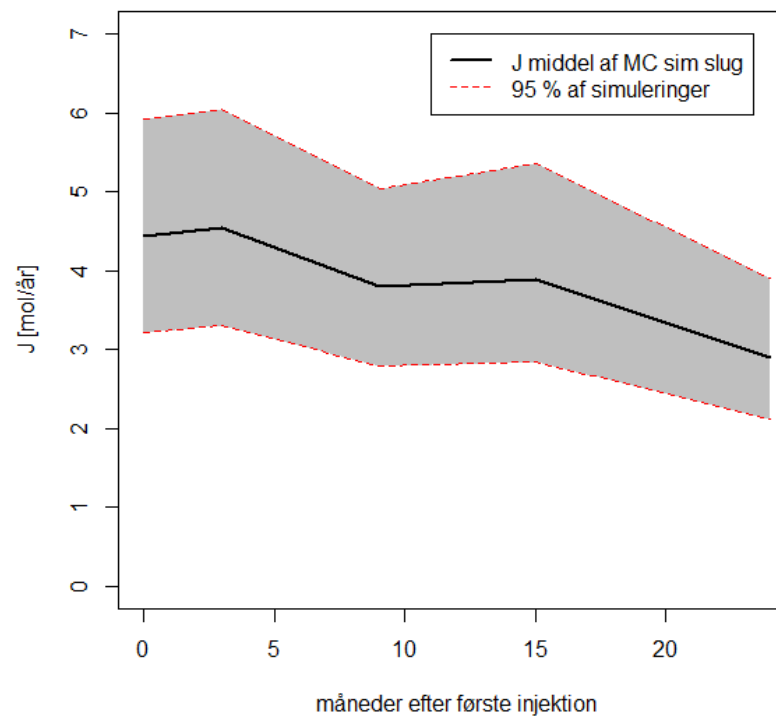


Flux resultater: E1234 – Nedstrøms for behandlingszone

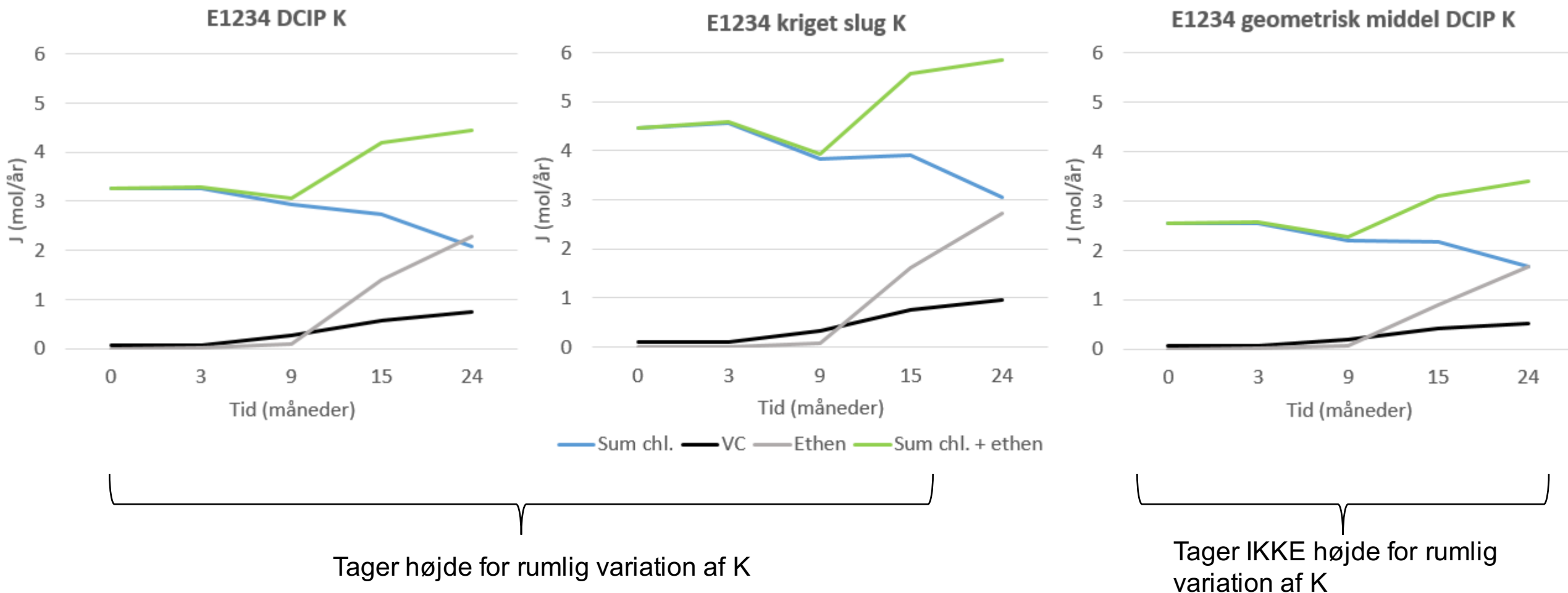
J sum chl DCIP E1234



J sum chl slug E1234



Flux-resultater: E1234 – Nedstrøms for behandlingszone



Konklusion

- K-estimer fra cross borehole DCIP målinger er blevet sammenholdt med estimer fra slug test og GSA
 - God overensstemmelse
- Usikkerheden for J baseret på forskellige K-inputs er blevet evalueret:
 - Rumlig kort-skala variation har stor indflydelse på middel-værdien for J
 - Usikkerhedsintervallerne er mindre for J baseret på cross borehole DCIP end for J baseret på slug test og GSA.
- Ved evaluering af in situ oprensning giver den anvendte metode:
 - Et estimat for fluxen, som tager højde for den rumlige variation af K
 - Et estimat for fluxen med lavere usikkerhed, end hvis der var benyttet slug test / GSA