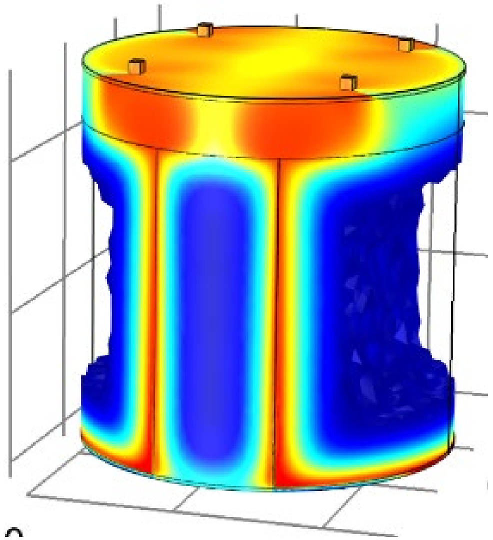
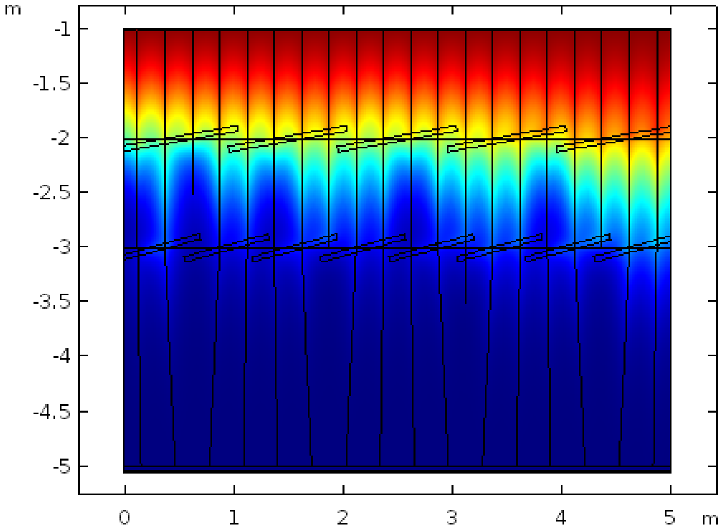
Modelbaserede indsigter i pesticidtransport gennem sprækket moræneler





Formål, processer og metoder

Undersøgelse af **transportveje** og **sårbarhed** af forskellige morænelerområder til pesticidudvaskning, **mættet zone (> 1m dybde)**

Processer

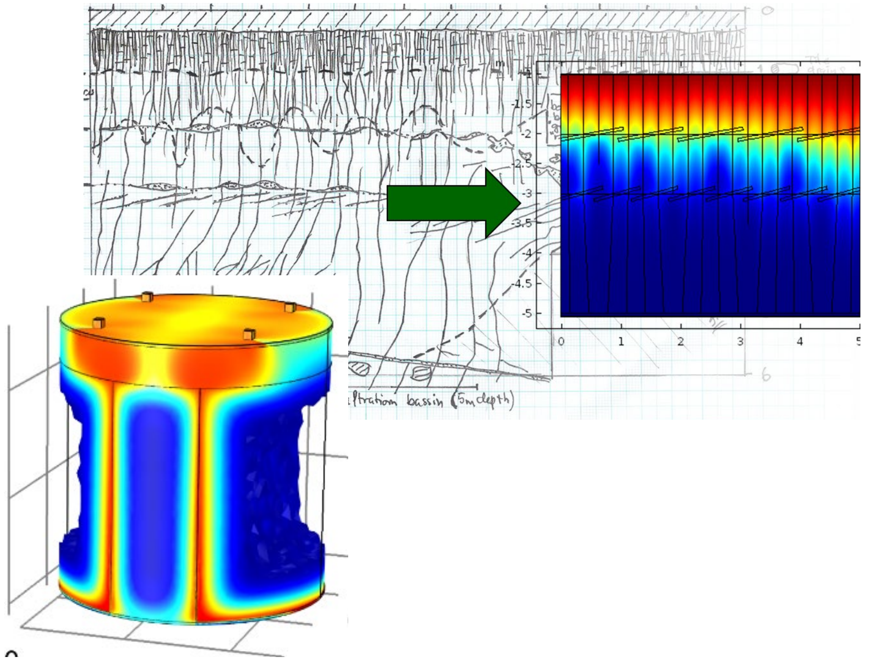
→ Mættet flow
→ Pesticidtransport

- Advektion (sprækker)
- Matrixdiffusion
- Sorption
- Nedbrydning

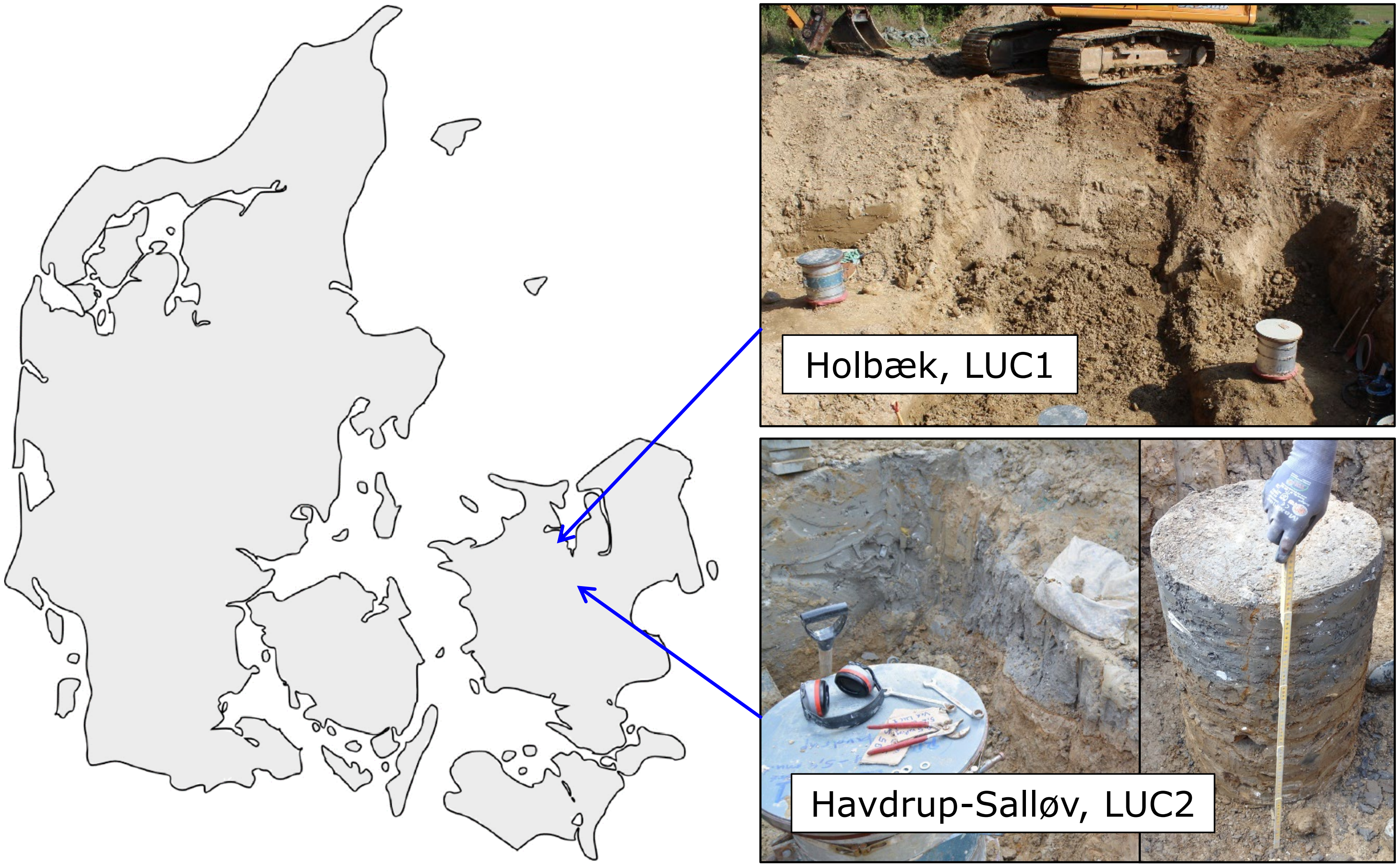
Metoder

- Felt og lab eksperimenter
- Large Undisturbed Columns (LUC)
- Tracer tests
- Geologiske karakterisering
- Sorption/nedbrydningsforsøg

Numerisk modellering

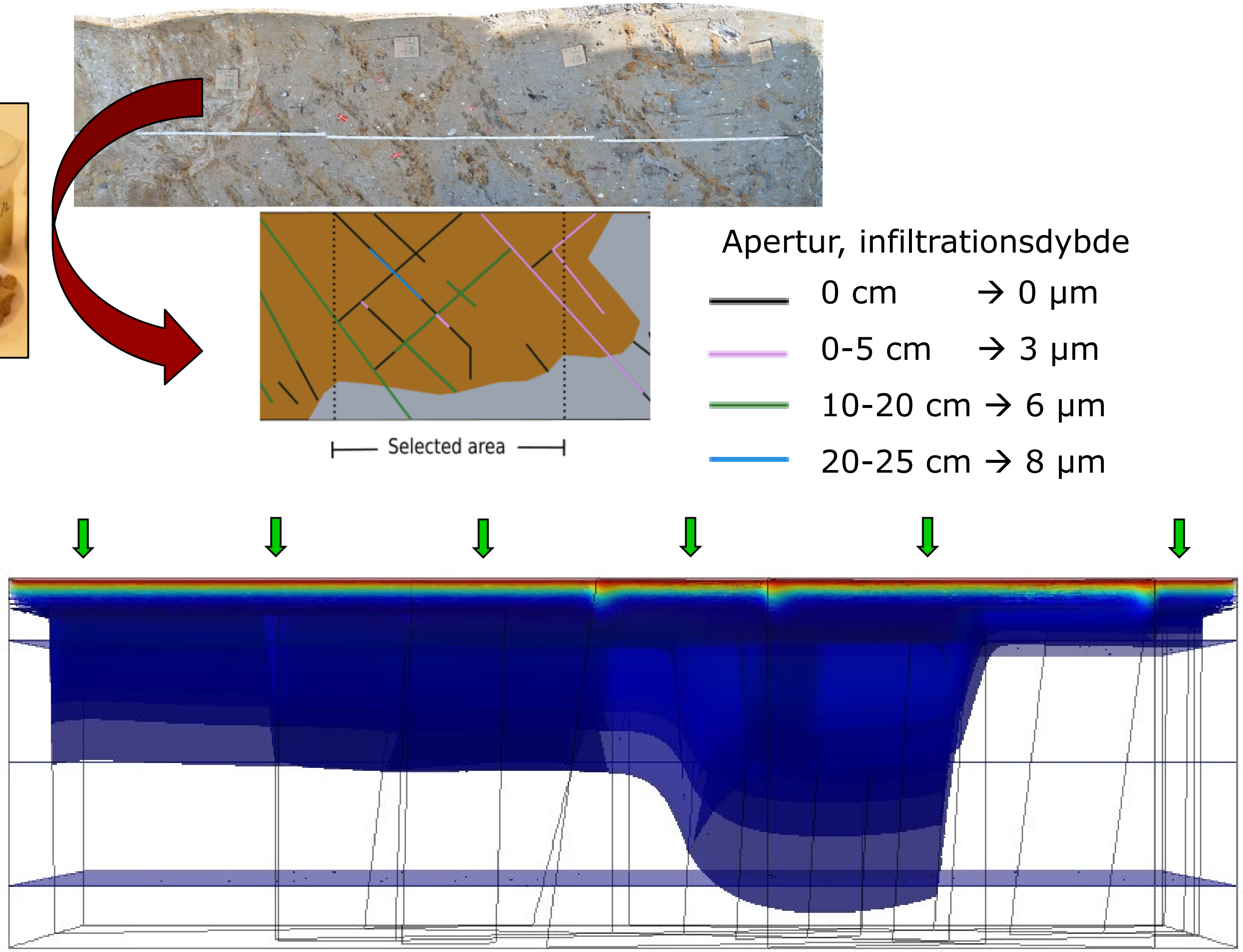


Undersøgelsesområder



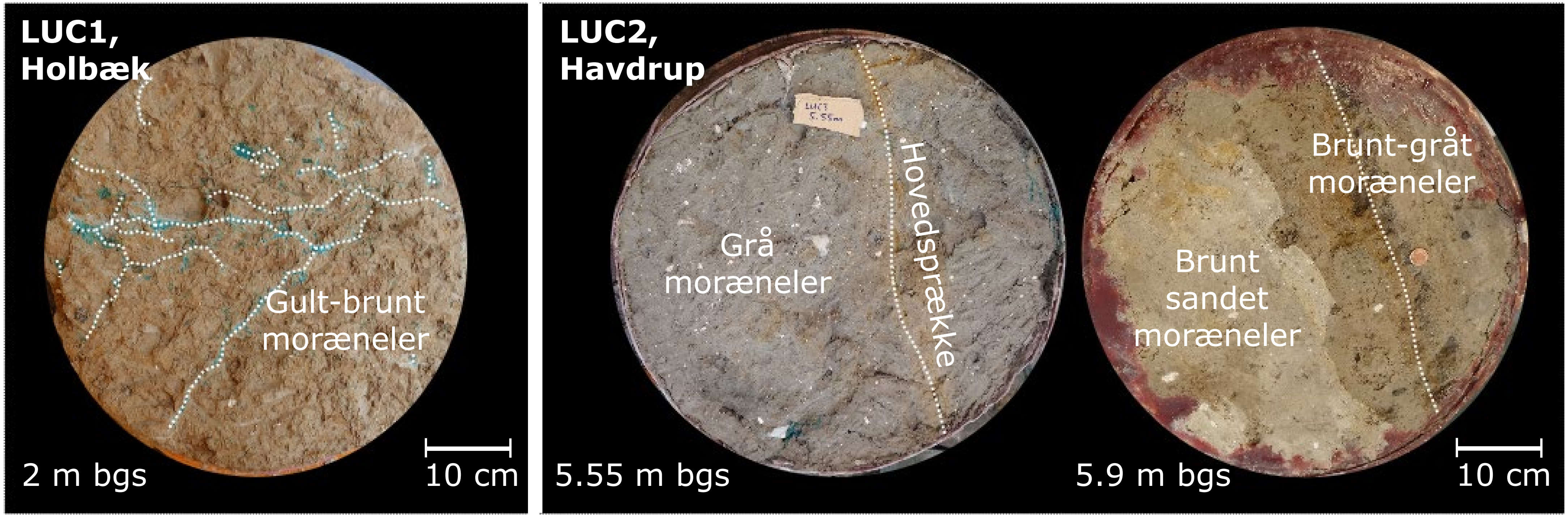
3-D modellering

Modellering af tracer infiltrationstests i Havdrup



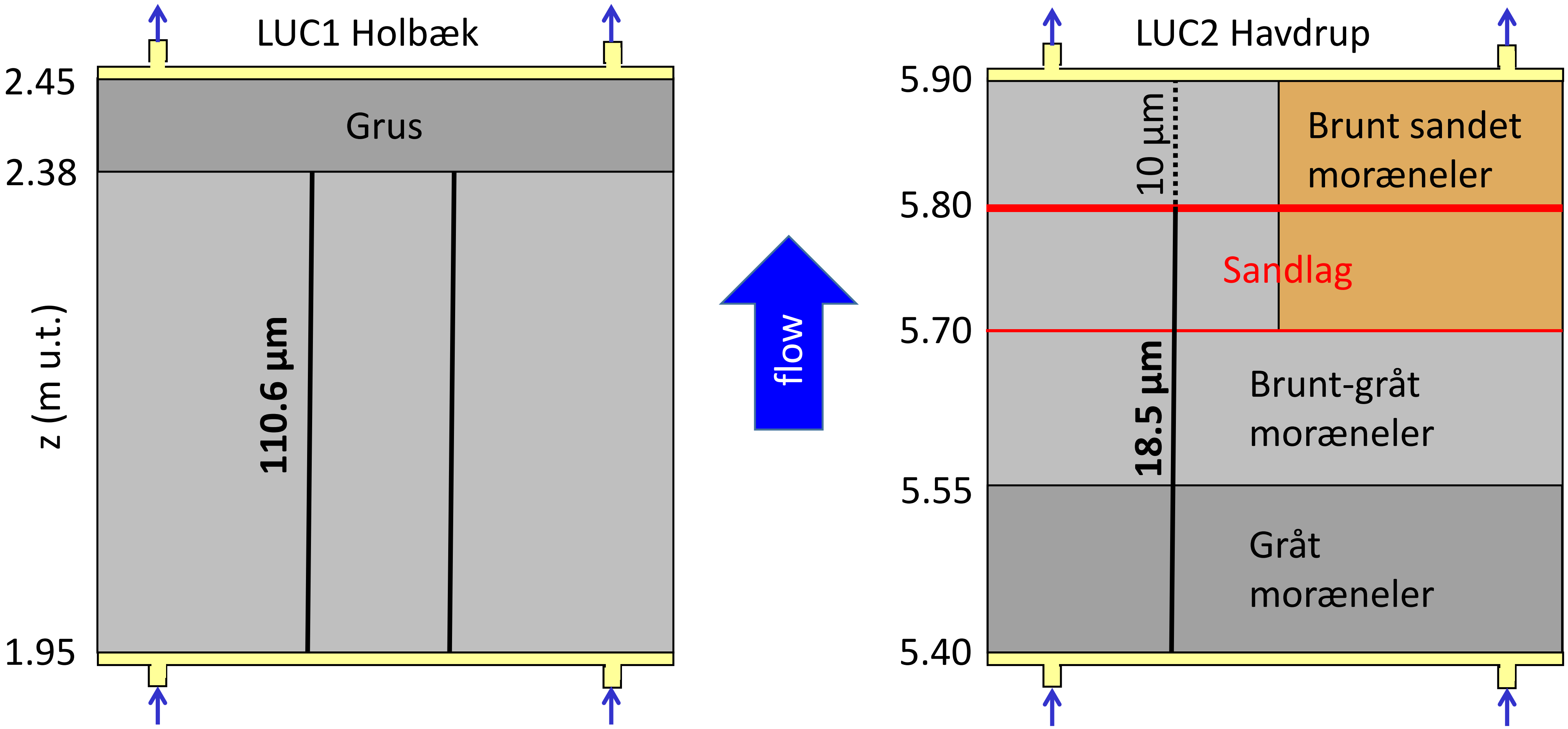
→ Master speciale Rasmus Thalund-Hansen

Top view af LUC1 og LUC2 slices

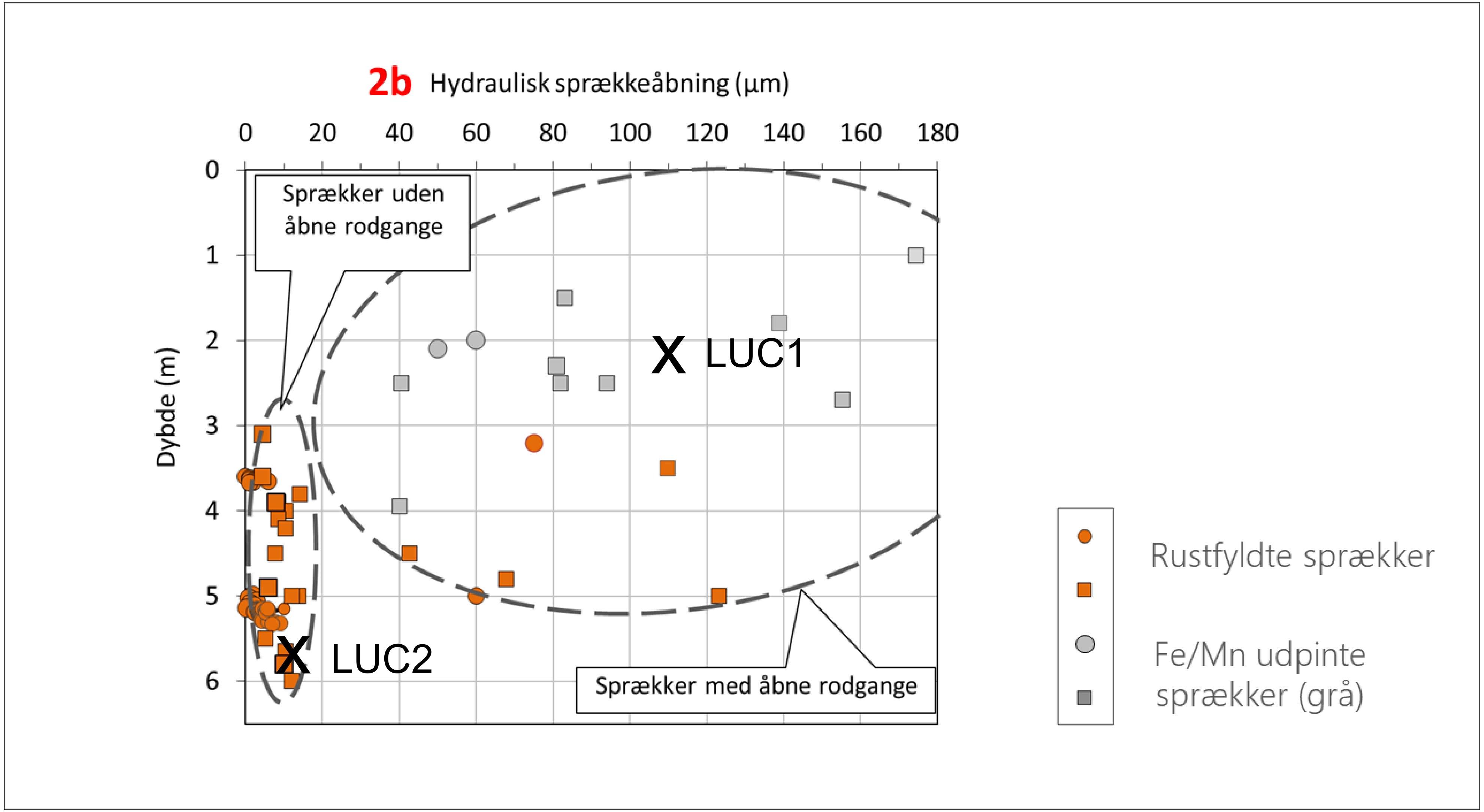


Makroporer (rodkanaler)
med jernudfældninger

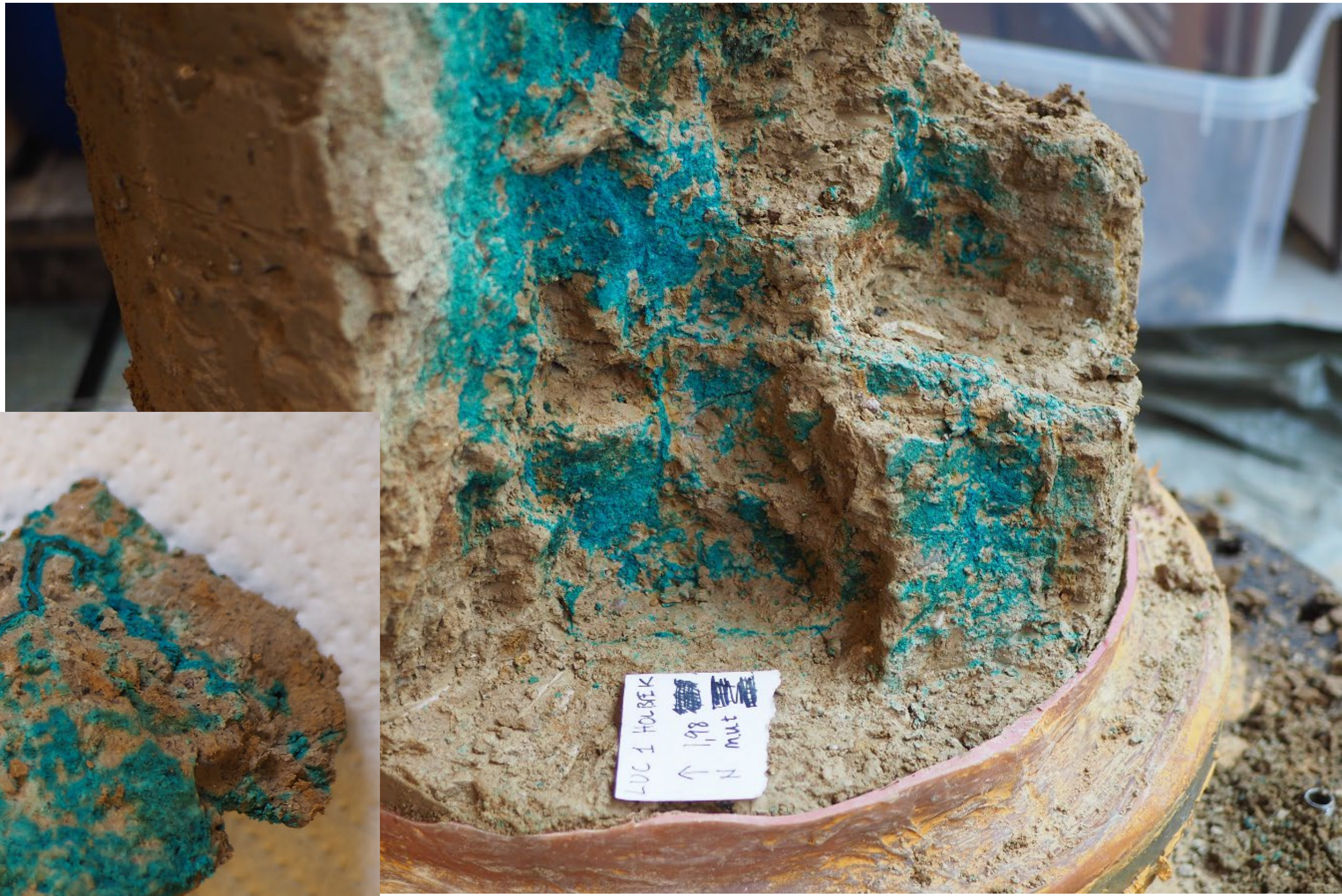
Konceptuelle opsætninger LUC1 og LUC2



Konceptuelle opsætninger LUC1 og LUC2



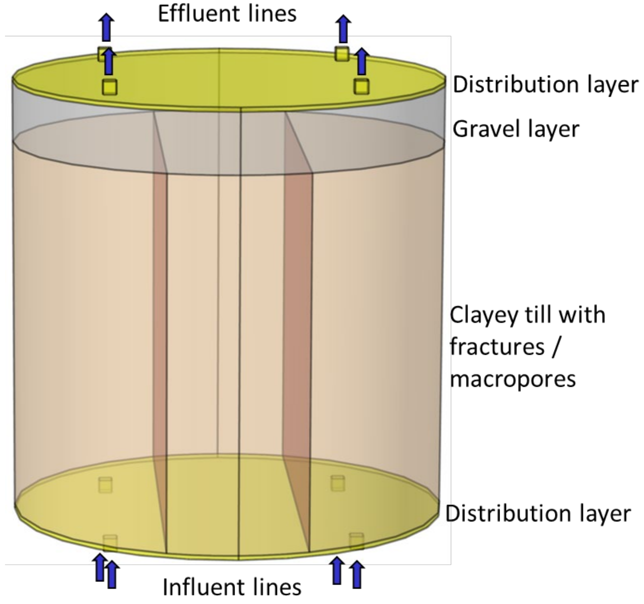
Kanalisering i sprækker og makroporer (LUC1)



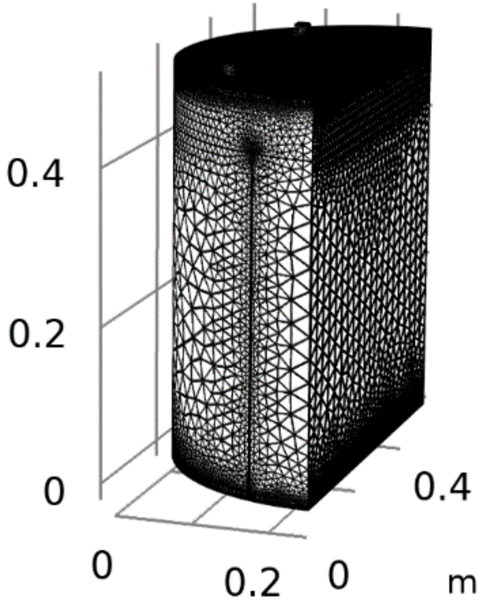
Overflæde af en sprække

3D modellering af LUC eksperimenter

- Sprækkemodel (DFM) med idealiserede sprækker, samme sprækkelængder som i eksperiment
- Parametre fra hydraulisk karakterisering af søjler og jordprøver (matrixegenskaber)
- Hydraulisk sprækkeapertur kalibreret til vandflux og hydraulisk gradient i LUC eksperiment
- Transportparametre af sporstoffer og pesticider, input fra sorptionsforsøg
- Ingen nedbrydning i søjlerne påvist



Jørgensen, Mosthaf, Rolle, Groundwater (2019)



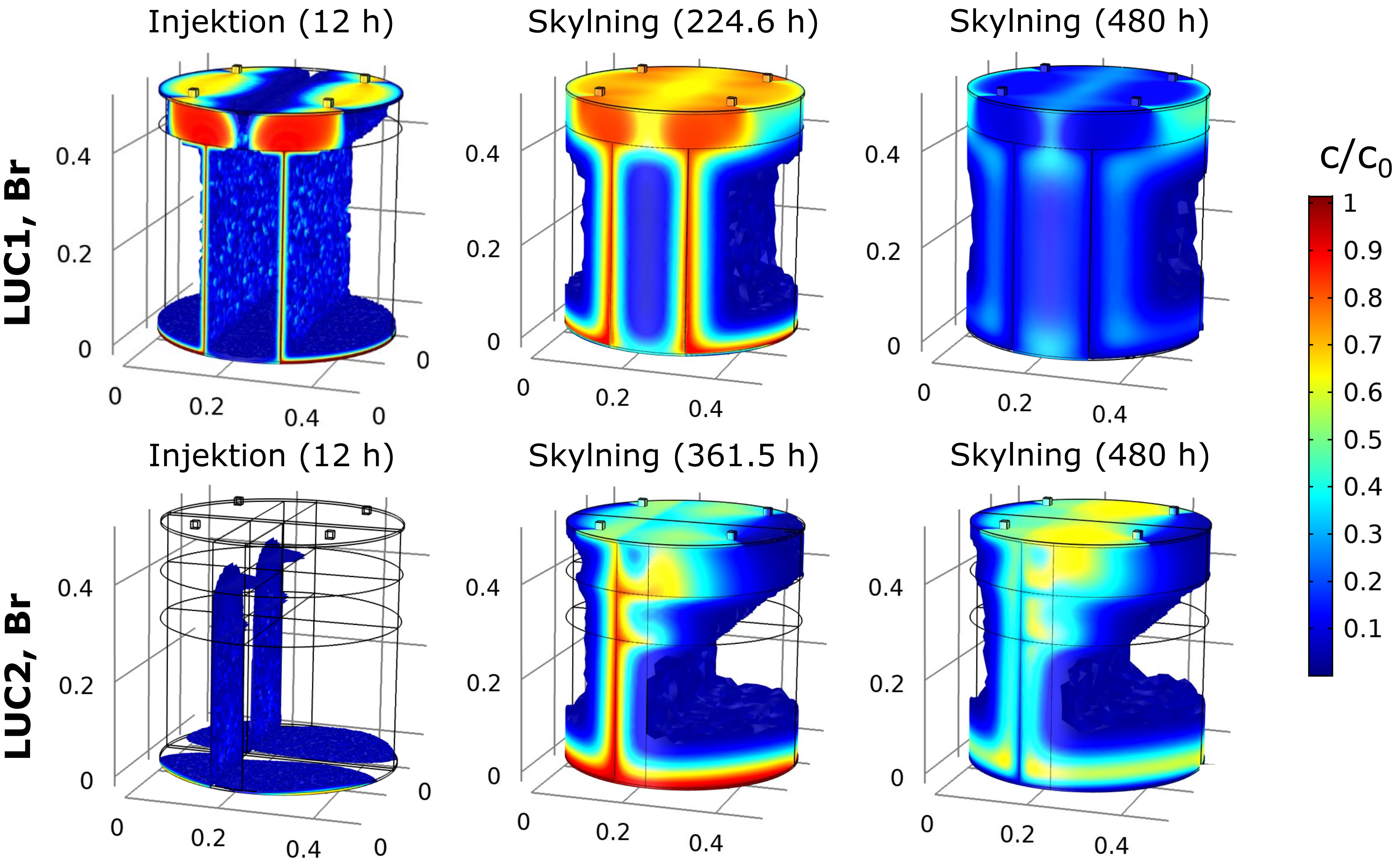
Simulation af halv søjle (symmetri)

Mesh med ca. 4.3 mio. elementer

LUC

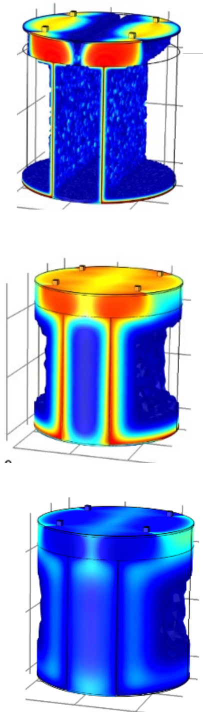
81 mm/dag for 29.6 h
grad H = 0.23
9.8 mm/dag bagefter
222 timer injektion,
så skylning

2.4 mm/dag
grad H = 3
Injektion i 360 timer,
så skylning

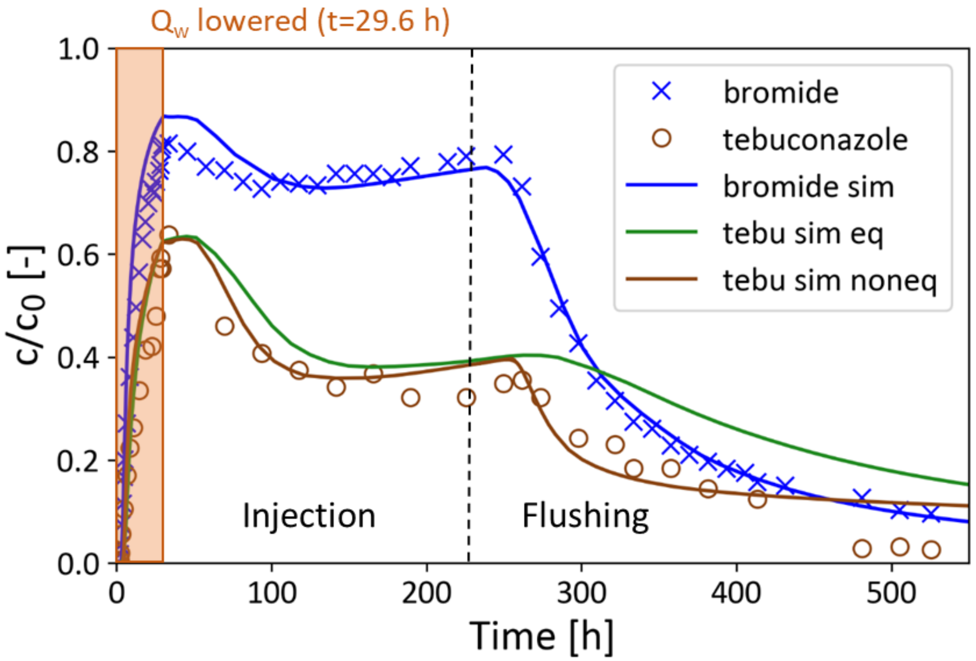


Mosthaf et al., WRR (2021)

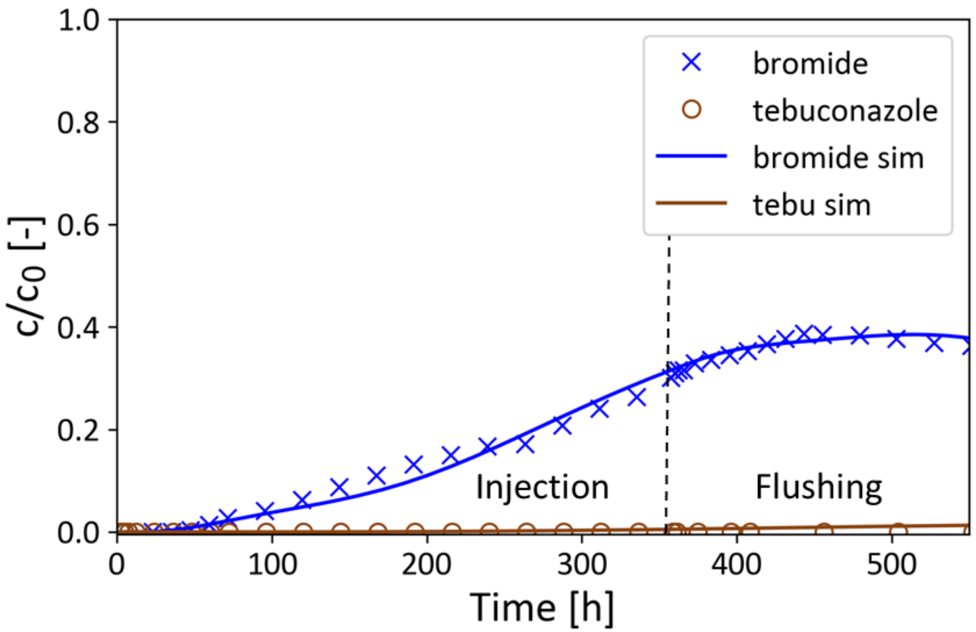
Simulerede gennembrudskurver LUC1 og LUC2

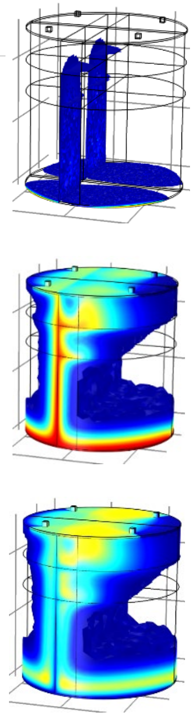


LUC1, 110.6 µm, hydr. grad. = 0.23



LUC2, 18.5 µm, hydr. grad. = 3





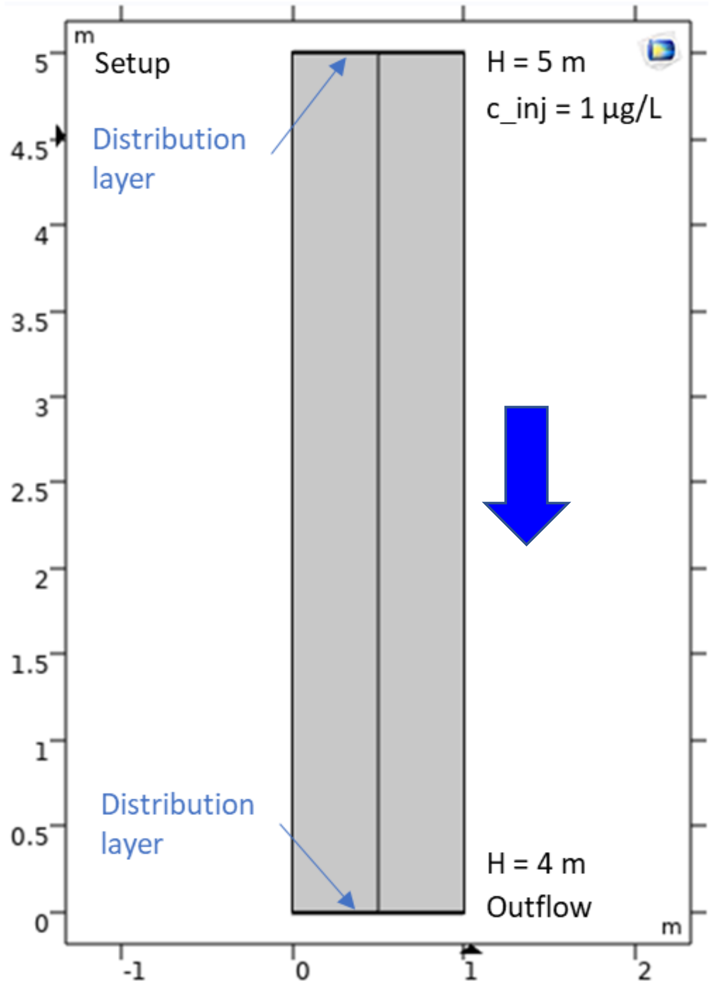
Hurtigt gennembrud, advektion i sprækker, uligevægts(de-)sorption for tebuconazol

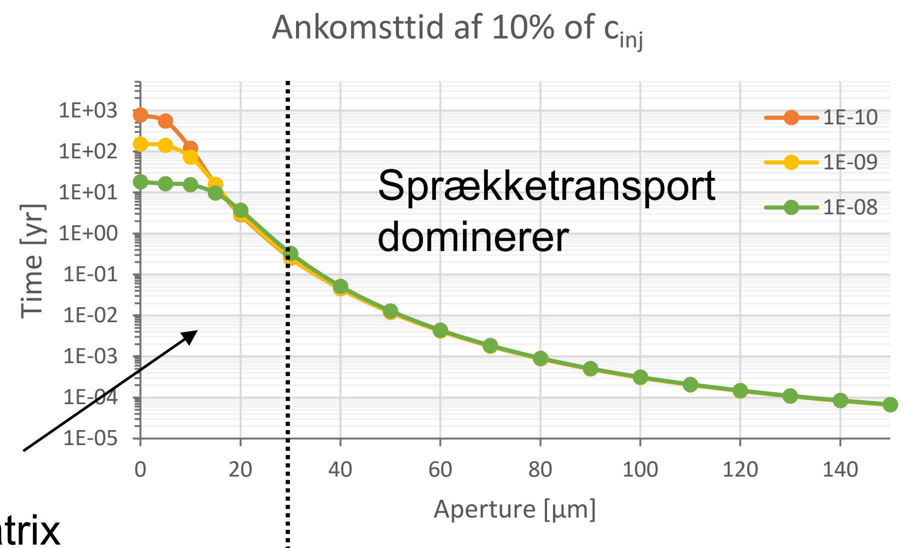
Langsommere gennembrud, mere kontakt med lermatrix og mere matrixdiffusion

Mosthaf et al., WRR (2021)

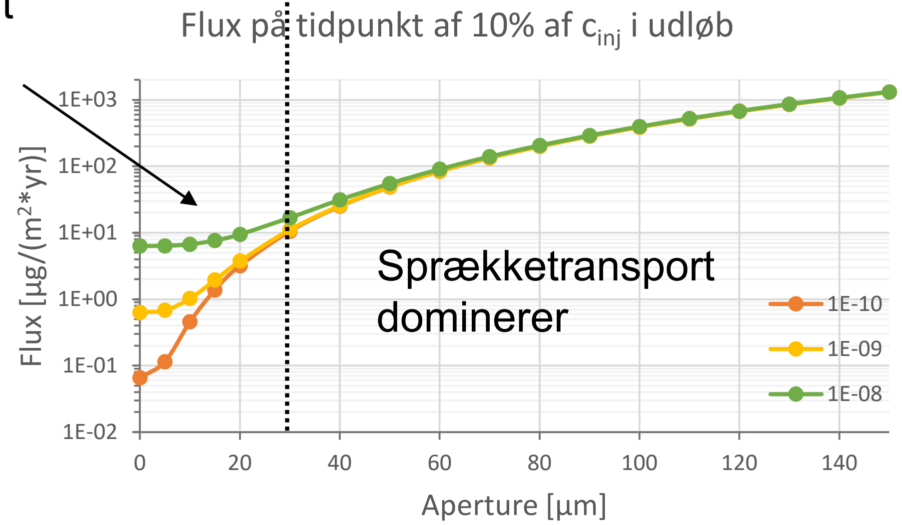
2-D studier af stoftransport

Ankomsttider, stofflux og aperturer



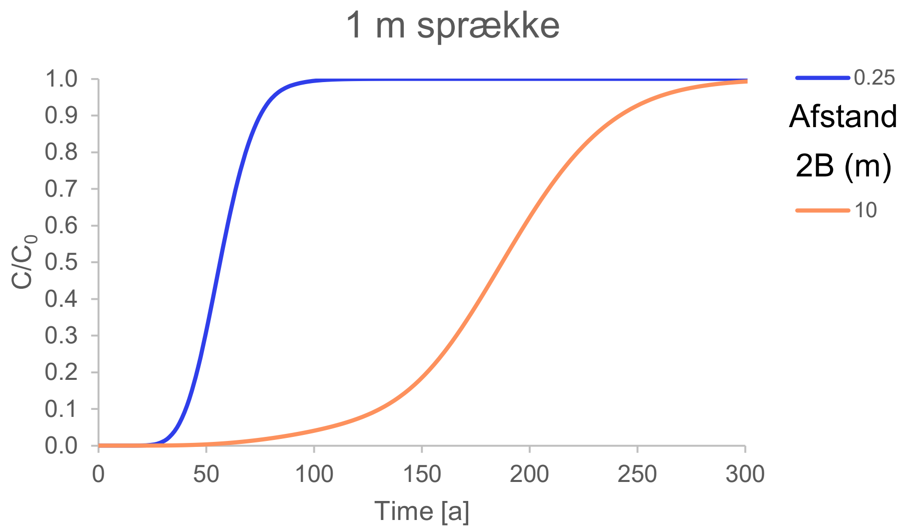


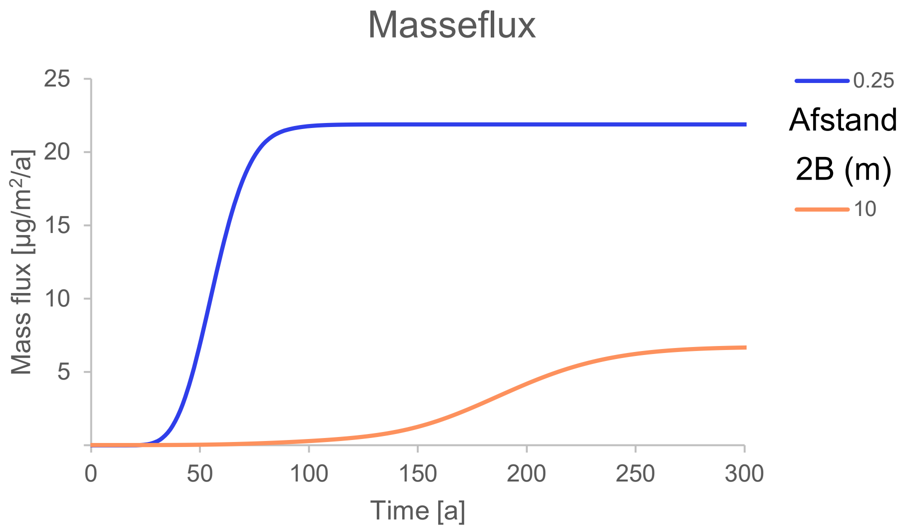
Effekt af matrix konduktivitet

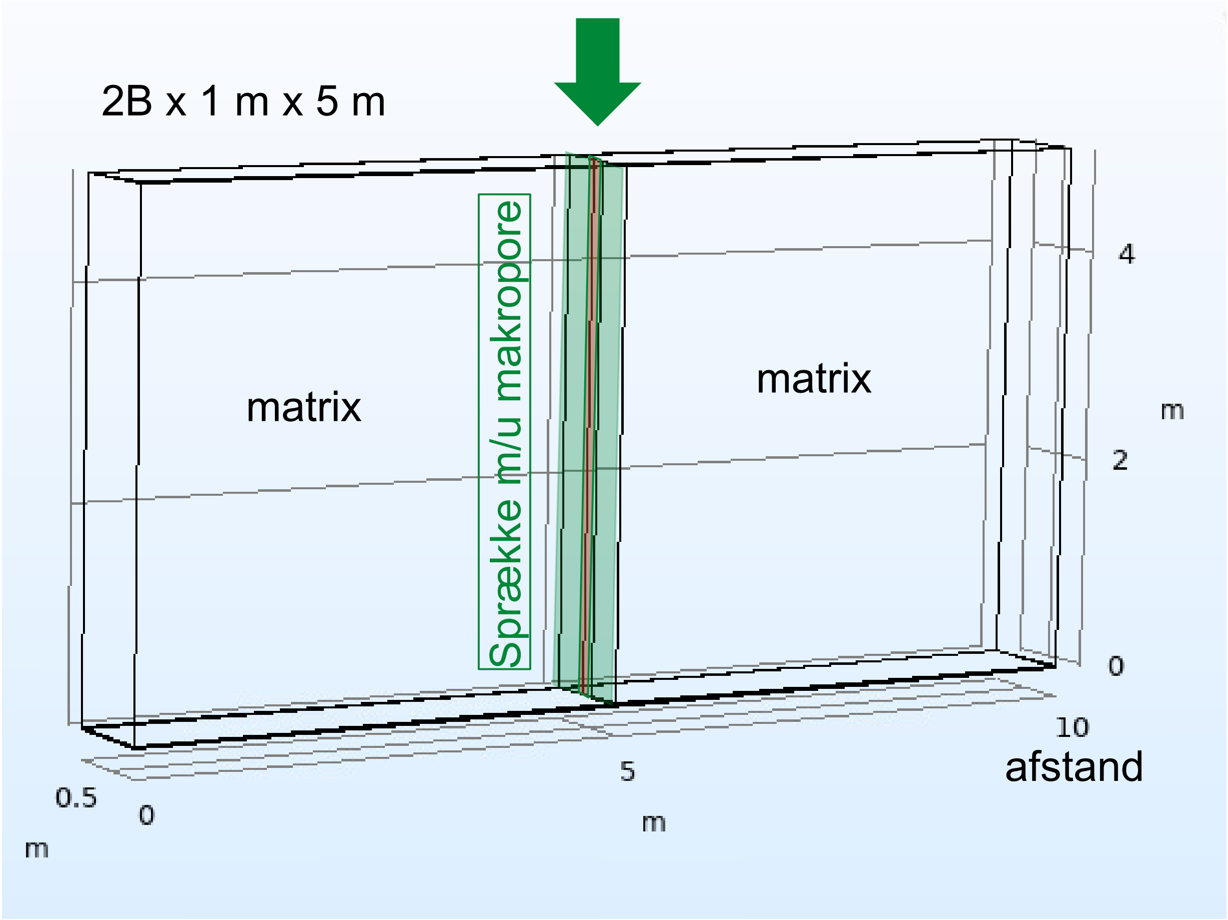


Indflydelse af sprækkeafstand med/uden makropore

1 m sprække, 10 µm

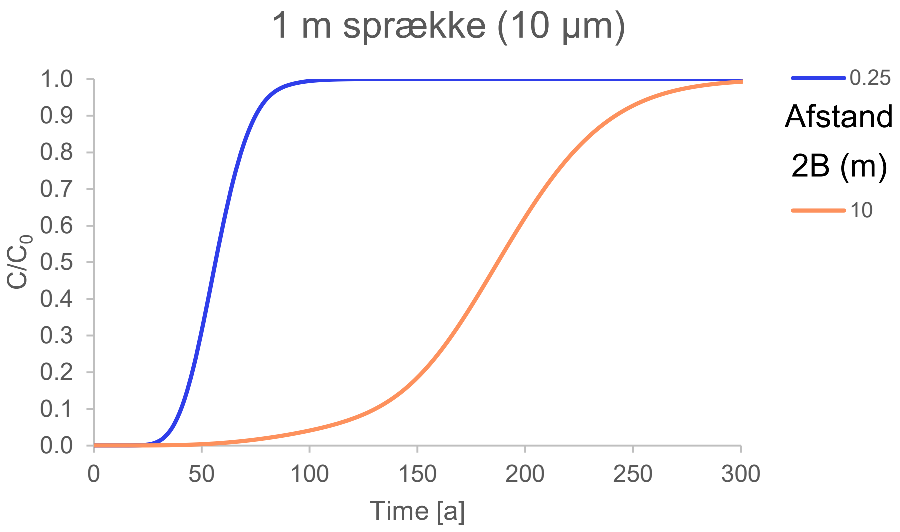


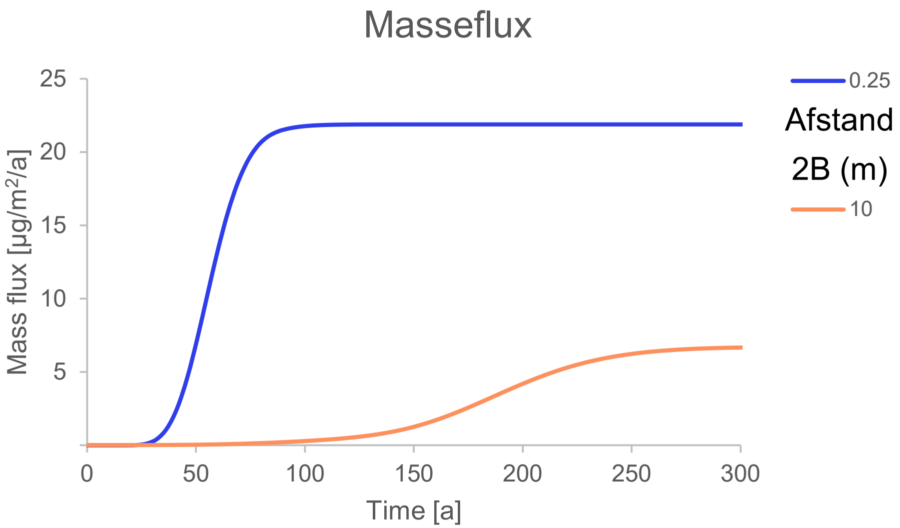




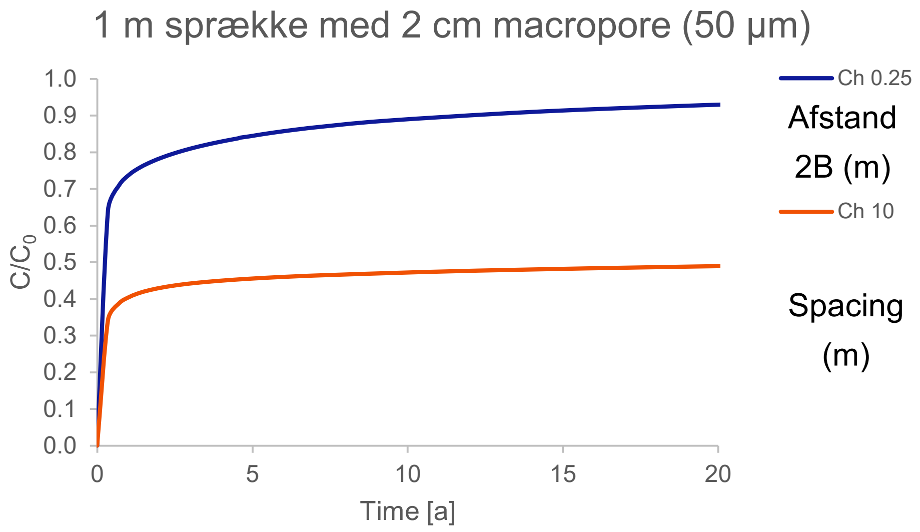
Indflydelse af sprækkeafstand m/u makropore

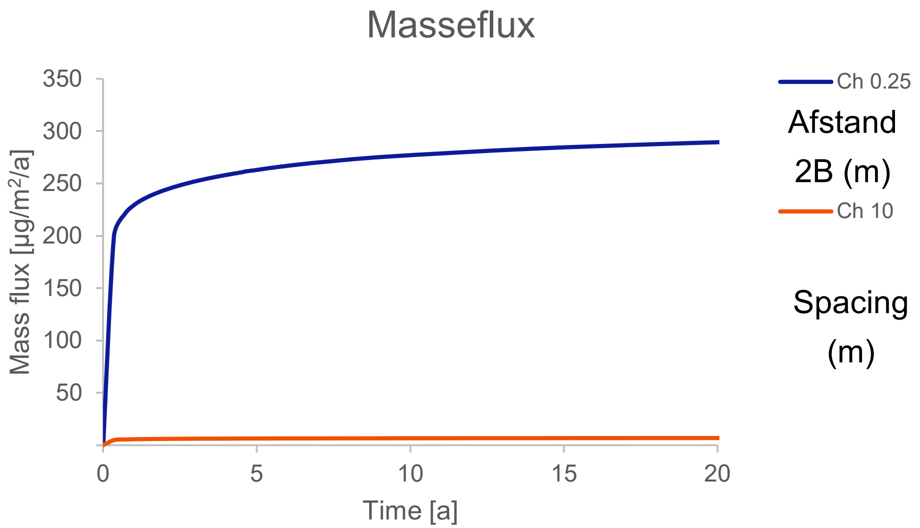
1 m sprække, 10 µm



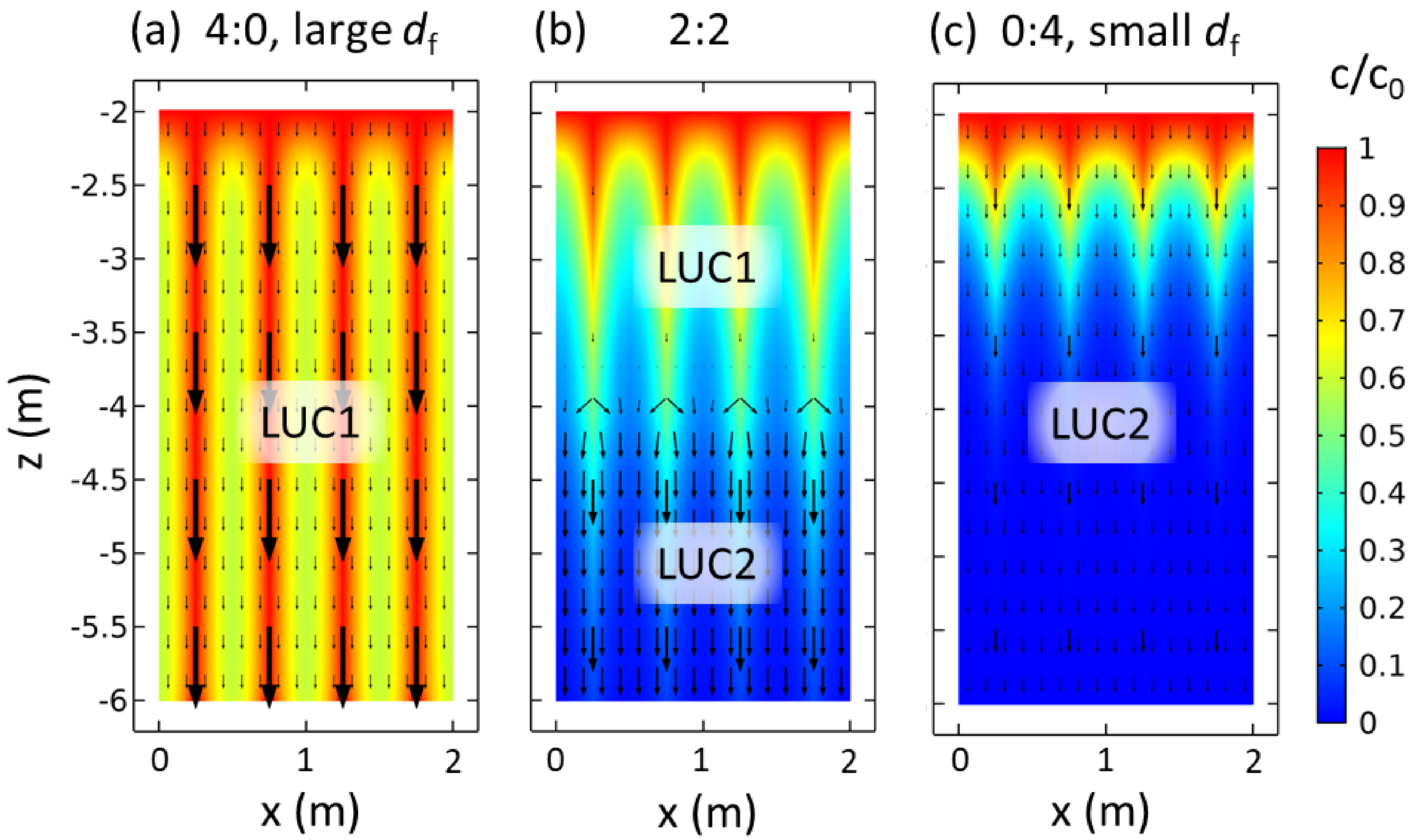


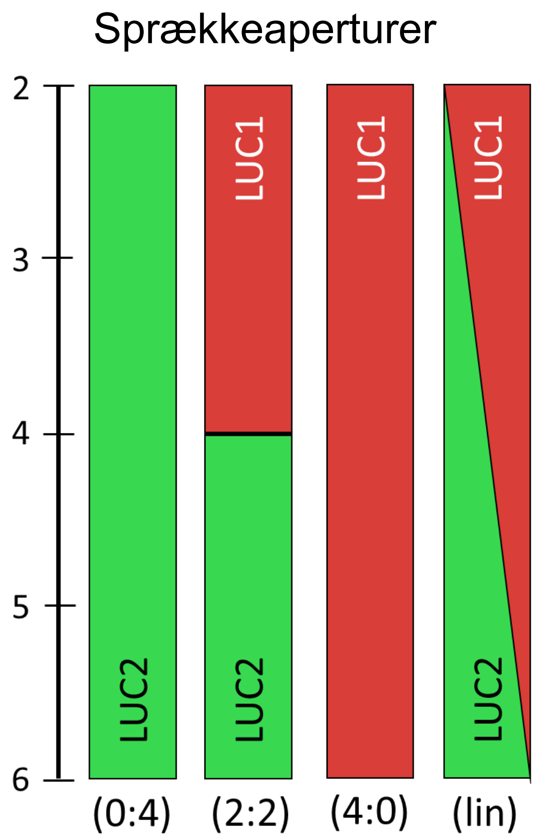
2 cm makropore på
1 m sprække, 10 µm



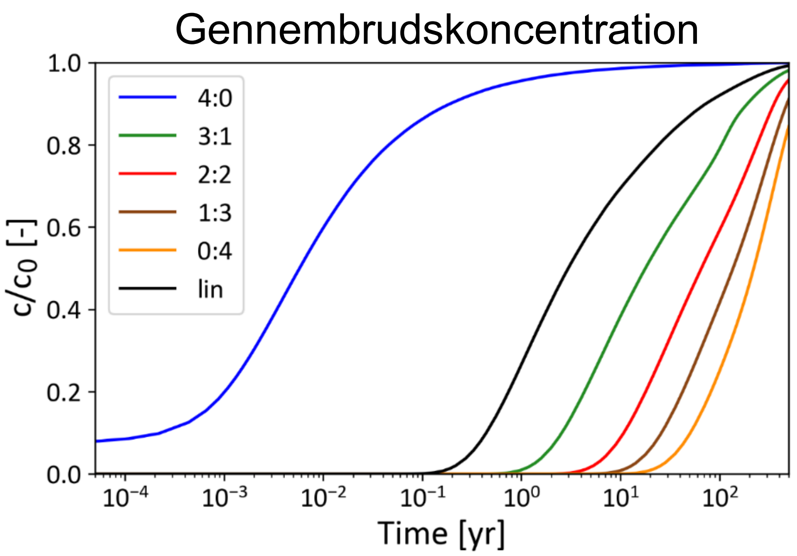


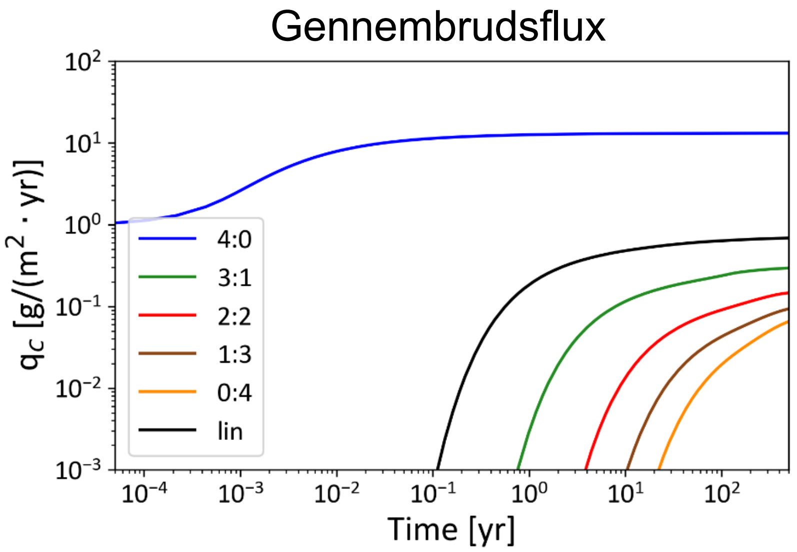
Variation af sprækkeapertur med dybden

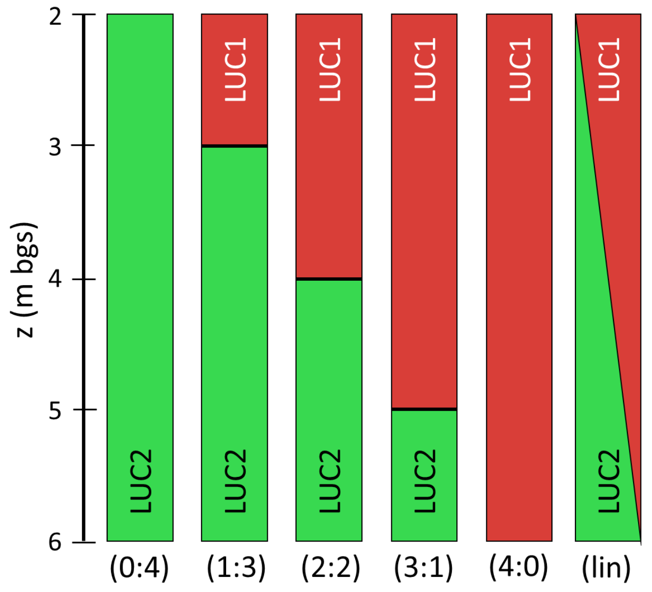




Variation af sprækkeapertur med dybden





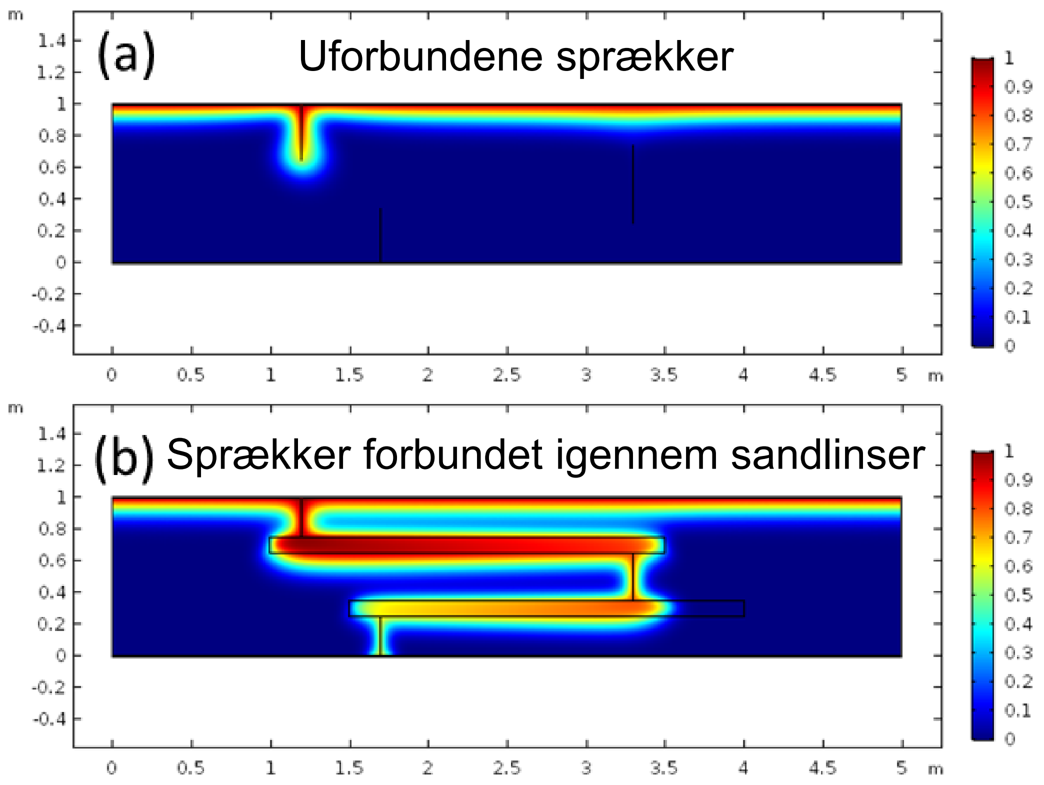


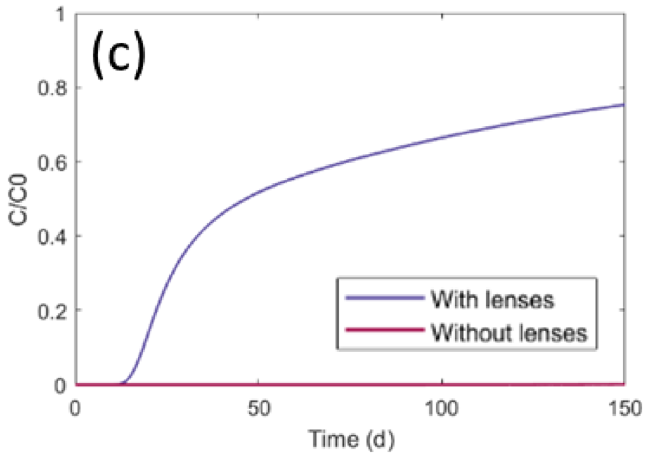
→ Hurtig transport igennem højpermeable lag med store sprækker (LUC1)

→ Mindre aperturer i dybden pga. healing eller udfældninger kan begrænse fluxen

→ Lag med en mindre konduktivitet har en stærk indflydelse på gennembrugsfluxer og –tider (dage – årtier)

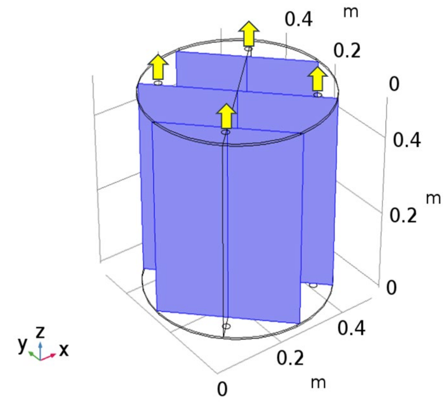
Sprækker forbundet igennem sandlinser

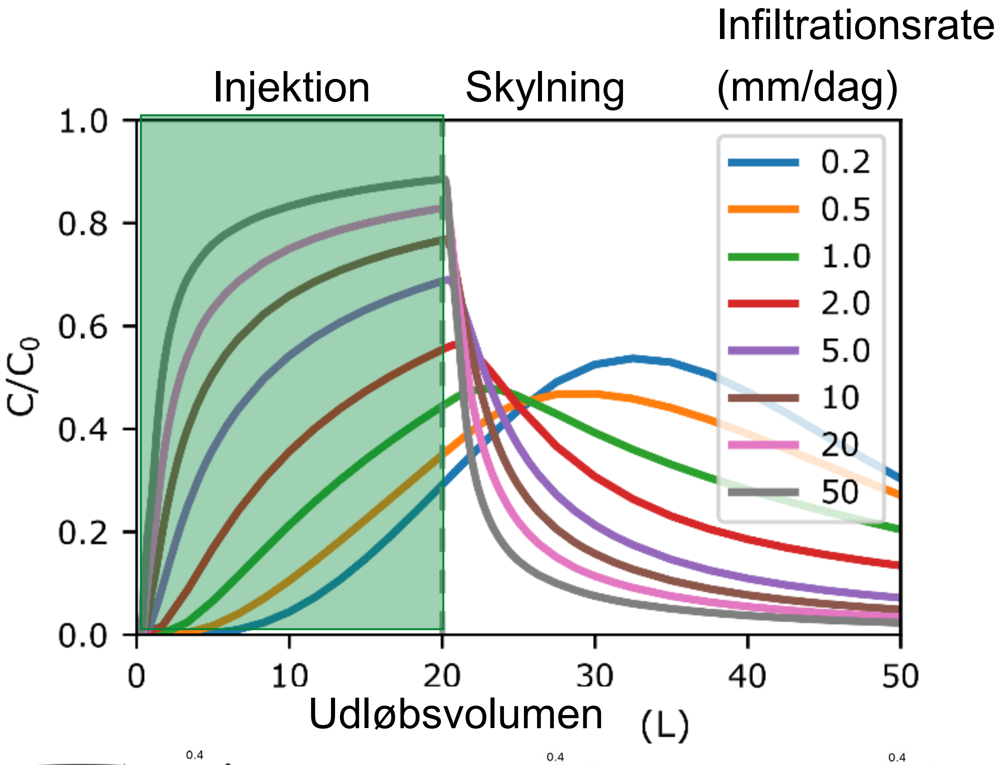


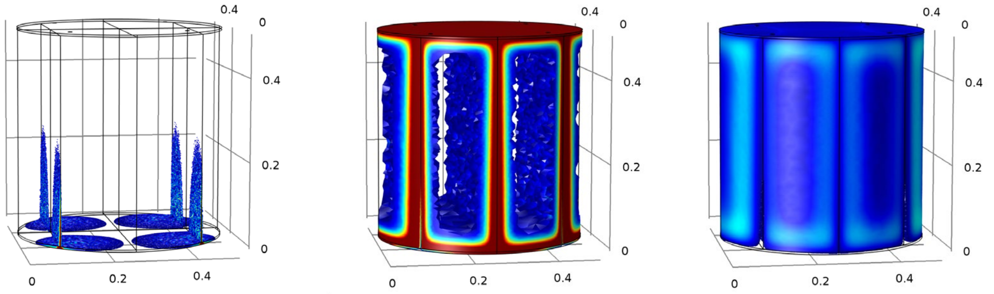


- → Sprækker som ender i ler bidrager meget begrænset til transporten
- → Sandlag eller linser kan forbinde sprækker og føre til mere vertikal transport

Gennembrudskurver fra en LUC med forskellige infiltrationsrater







- → Hurtigere ankomsttider, højere maks koncentrationer med mere grundvanddannelsen
- → Større indflydelse af matrixdiffusion for lave infiltrationsrater
- → Forskellen i infiltrationsraten (grundvandsdannelsen) giver en forskel til sårbarheden selvom lertykkelsen er konstant i et opland

Take-home messages

- Moræneler kan vise en **stor variation på en lille skala** (f.eks., på en mark med en lertype)
  - Bulk hydrauliske konduktiviteter mellem 10^{-9} m/s og 10^{-5} m/s (>1 m dybde)
  - Rodkanaler, makroporer, åbne sprækker og forbundene sandlag kan have stor indflydelse på bulk hydrdraulise konduktiviteter, grundvandsdannelsen og nedsivningen
  - Variation overskygger forskellene mellem undersøgte morænelerstyper
  - En generel rangordning i sårbarhed for pesticidnedsivning til grundvandet baseret på lertype ikke mulig på basis af projektets resultater

- **Forskellen i grundvandsdannelsen** giver en stor forskel for sårbarheden selvom lertykkelsen og –typen er konstant i et opland

- Typisk findes en **lavere hydraulisk konduktivitet i større dybder** (pga. mindre aperturer, lukkede sprækker, større sprækkeafstand) → begrænser stoftransport

Den sidste slide…

Tak!

Miljøstyrelsen for finansiering, CLAYFRAC projektgruppen (Jens Aamand, Massimo Rolle, Peter Jørgensen, Nora Badawi, Peter R. Jakobsen, Lars Troldborg, Bertel Nilsson), og de studerende Rasmus Thalund-Hansen, Una Petursdottir, Chloe Lanters og Mariam Ouf