

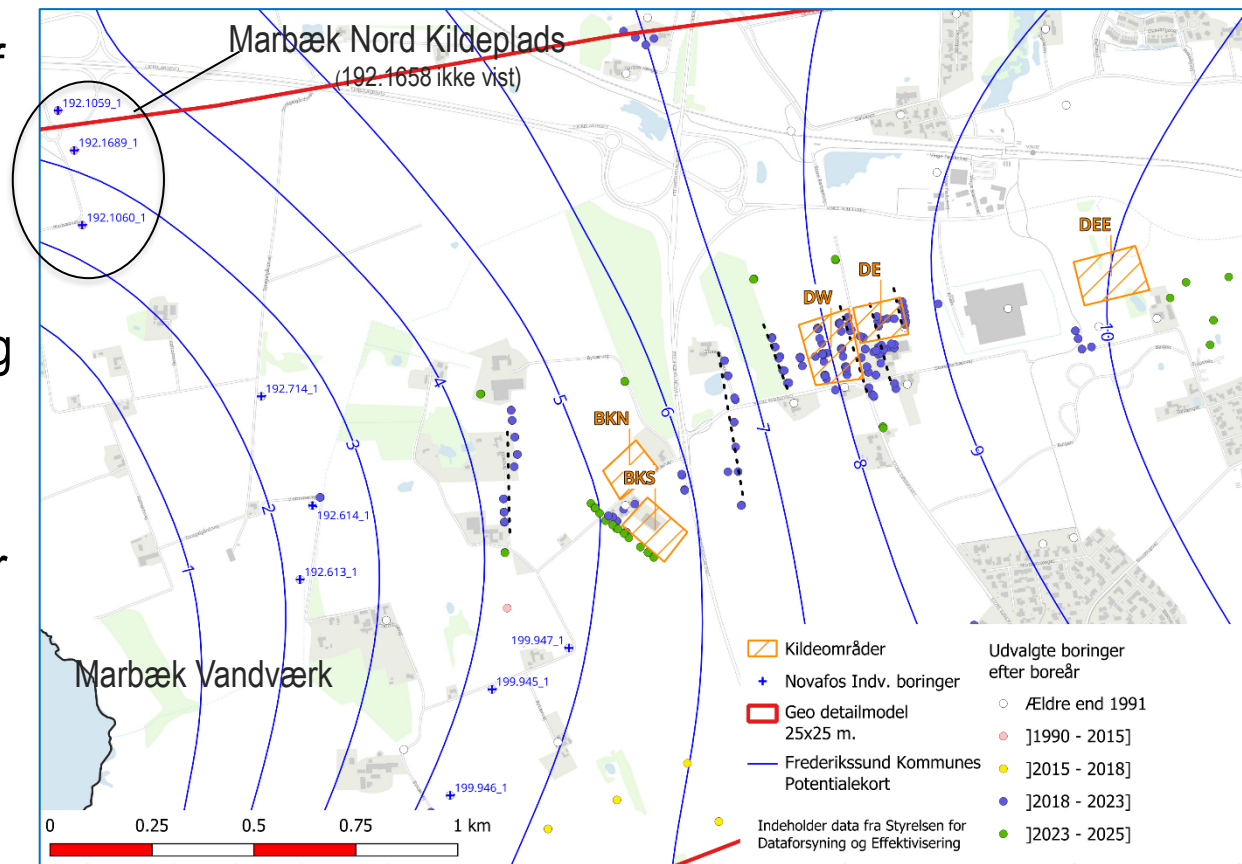
DMS i Marbæk

Granskning af Modellering

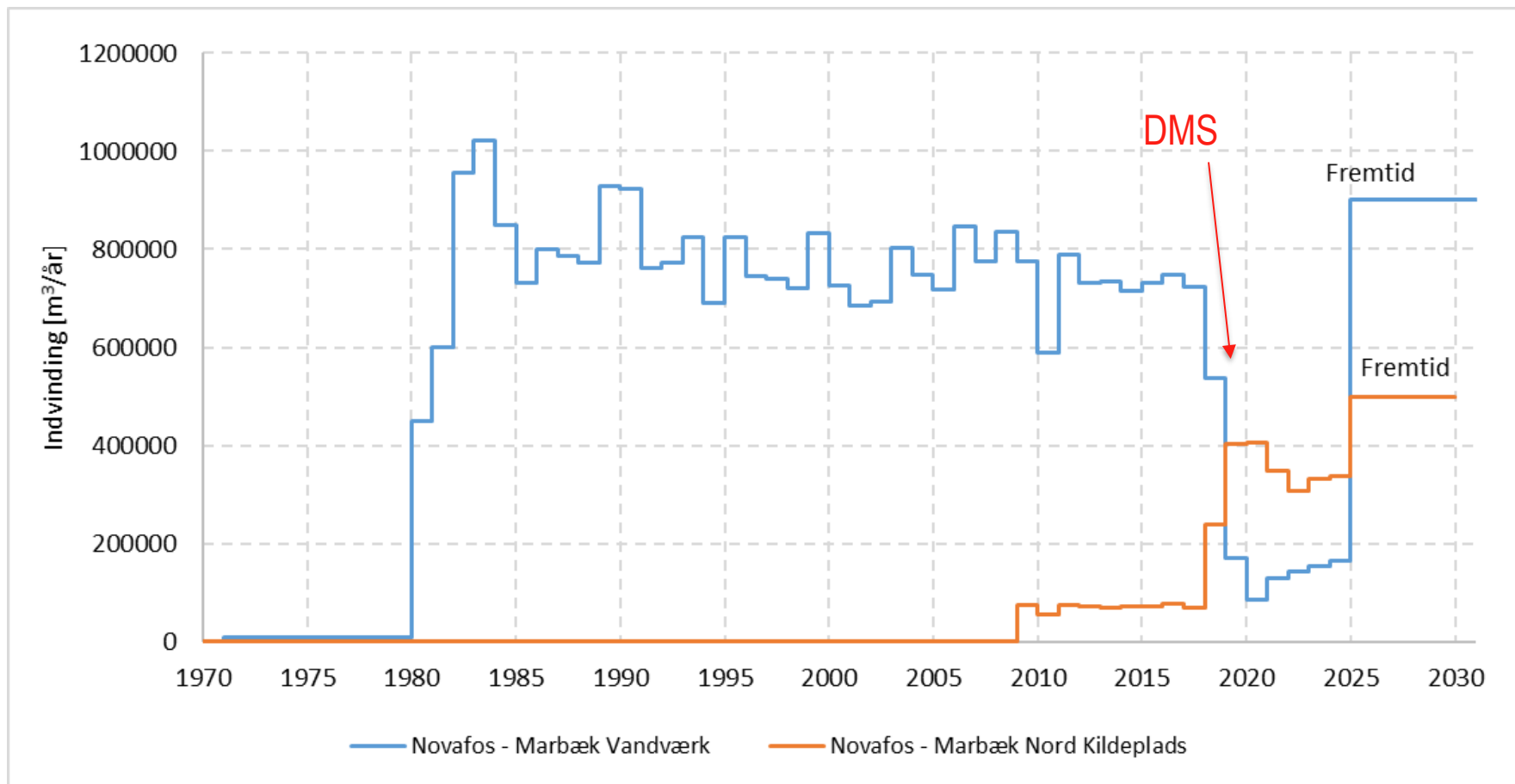
*Spække mellem en tæt moræneler og en opskudt kalkflange.
Der er udfældet iltet jern i den aktive sprække, mens leret er reduceret.*

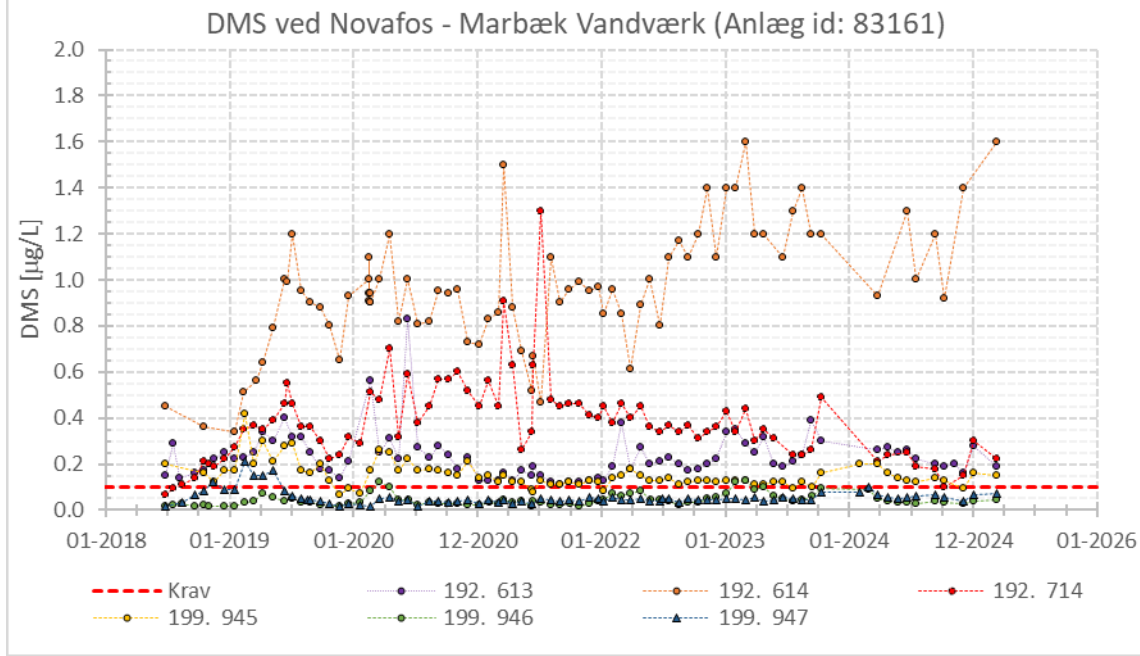
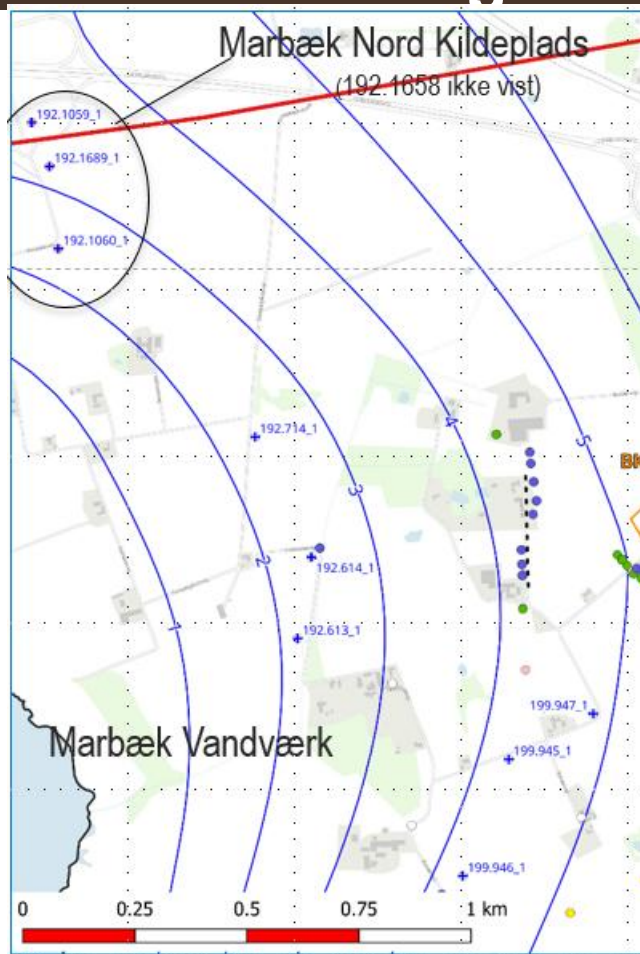
Skrænten ved Bageskov. – Stevns.
Foto. Flemming Damgaard Christensen

- Marbæk Kildepladser er truet af en ældre DMS forurening
- Stor indsats fra Region Hovedstaden og Forsyningen for at kortlægge mulige kilder og risikovurdere indvindingen ved Marbæk
- Forskellige modelvurderinger er udført på varigheden
- Geo har fået til opgave at granske de indledende modelvurderingerne i efteråret 2025



Indvinding ved Marbæk





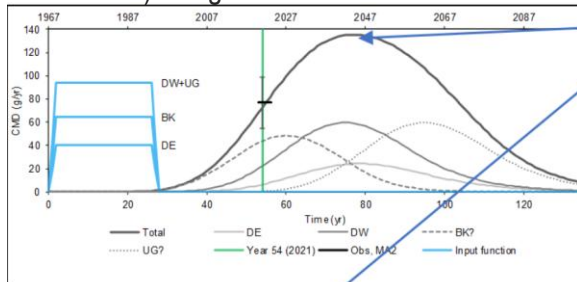
Der er overordnet udført 3 vurderinger af varigheden af DMS

- 1) DR1 rådgiver med 1D /2D model
- 2) R2 rådgiver: Opdateret lokal 3D model baseret på GKO model FEAR
- 3) HFR3 rådgiver: Baseret på lokal 3D model af HOFORs regional model baseret på DK-modellen for Sjælland

Resultater

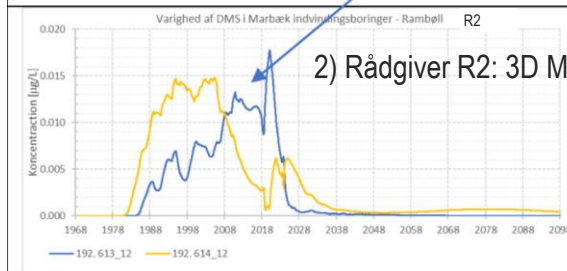
- 20-40 års forskel i maks. gennembrud
- Forskel i varigheden
- Stor forskel i koncentrationsniveauer af DMS

1) Rådgiver DR1: 1D/2D model:

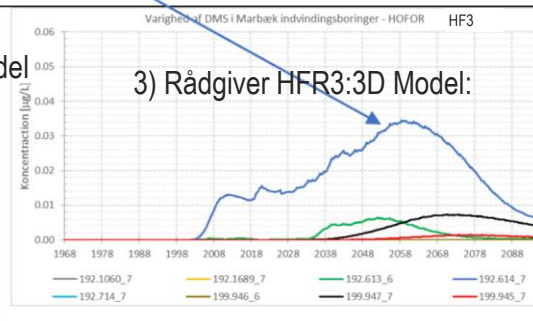


- 20-30 års forskel i maks. gennembrud.
 - Stor forskel i koncentrationsniveauer af DMS.
- ⇒ Kan være afgørende for Novafos' fremtidige indvindingsstrategi.

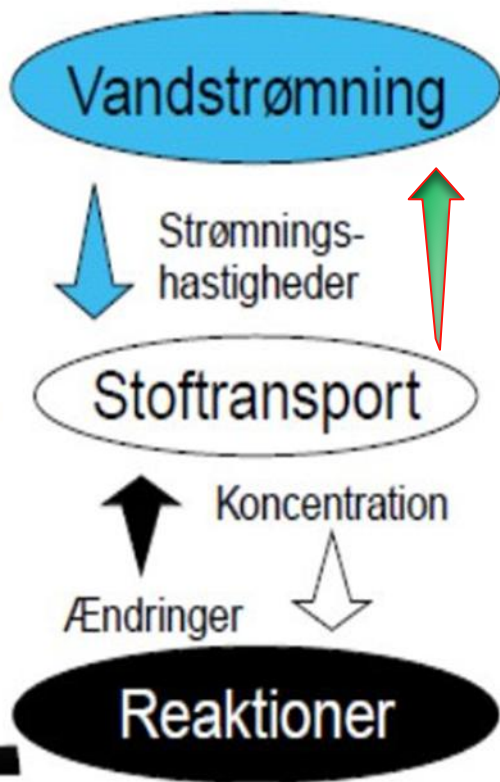
2) Rådgiver R2: 3D Model



3) Rådgiver HFR3: 3D Model:



usikkerhed



Kildestyrke – størrelse og variation

Porøsitet

Hydrodynamiske dispersion

$$D_L = \alpha_L \cdot v_p + D_{diff}$$

$$D_T = \alpha_T \cdot v_p + D_{diff}$$

- Model opstillet i COMSOL multiphysics
- Modellen består af to sektioner
 - 1D/2D Vertikal transport igennem dæklag
 - 2D transport i grundvandsmagasiner
- Flux igennem dæklaget

$$CMD = C \cdot A \cdot N, N = 120 \text{ mm/år}$$
- Flux i Grundvandsmagasin

$$CMD = C \cdot A \cdot i \cdot K$$
- Flux ved indvindingsboring (192.614)

$$CMD = C \cdot Q$$

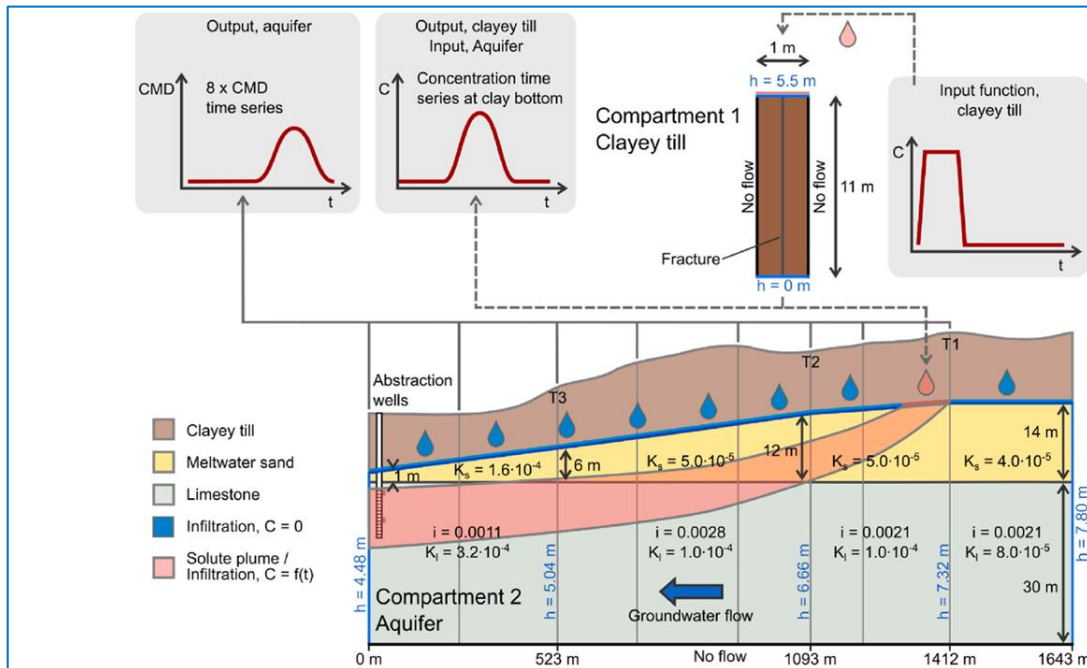


Fig. 3. Conceptual sketch of the 2D transect model and its outputs. The model is comprised of two compartments simulating flow and solute transport in 1) clayey till and 2) the aquifer. The aquifer compartment corresponds to a section from the upgradient property boundary of the main source area to the well field. The illustration shows application of the source function at source DW. The output is CMD over time calculated at 8 vertical sections. Blue lines mark hydraulic head (h) used as boundary condition or for calibration of K. Modified and extended after Frederiksen et al. (2023). (For interpretation of the references to colour in this figure legend, the reader is referred to the Web version of this article.)

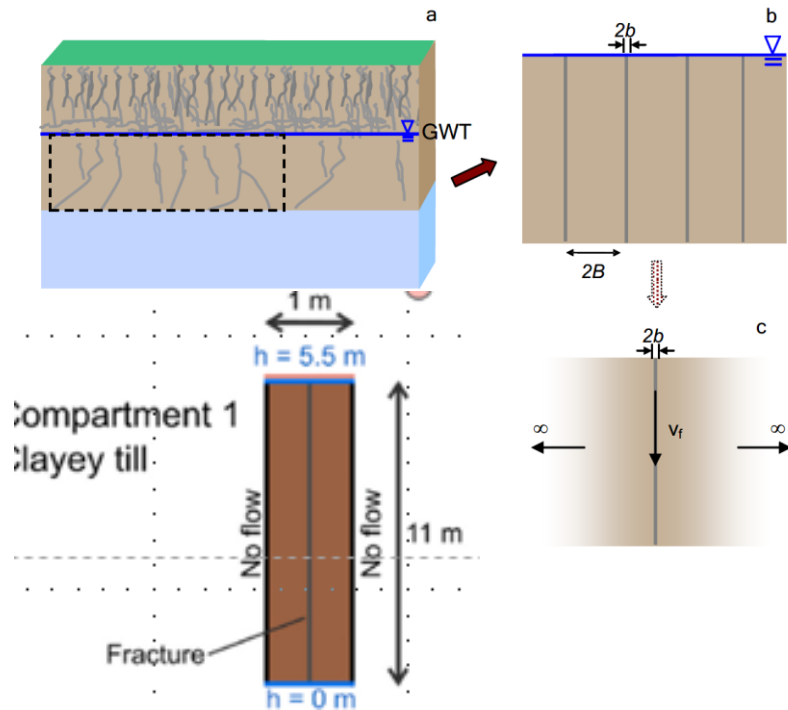
1D/2D model : Sprække transport

$$v_f = -K_f \cdot \frac{dh}{dl}, K_f = \frac{\rho \cdot g}{12 \cdot \mu} (2b)^2 \quad Q_f = -K_f \cdot 2b \cdot \frac{dh}{dl}$$

Parallelle sprækker med afstanden $2B$:

$$Q_{m+f} = -K_b \cdot 2B \cdot \frac{dh}{dl}, K_b = \frac{2b}{2B} \cdot K_f + K_m$$

$$K_b = \frac{\rho \cdot g}{12 \cdot \mu \cdot 2B} (2b)^3 + K_m$$



1D/2D model : Sprække transport Vs. håndberegning

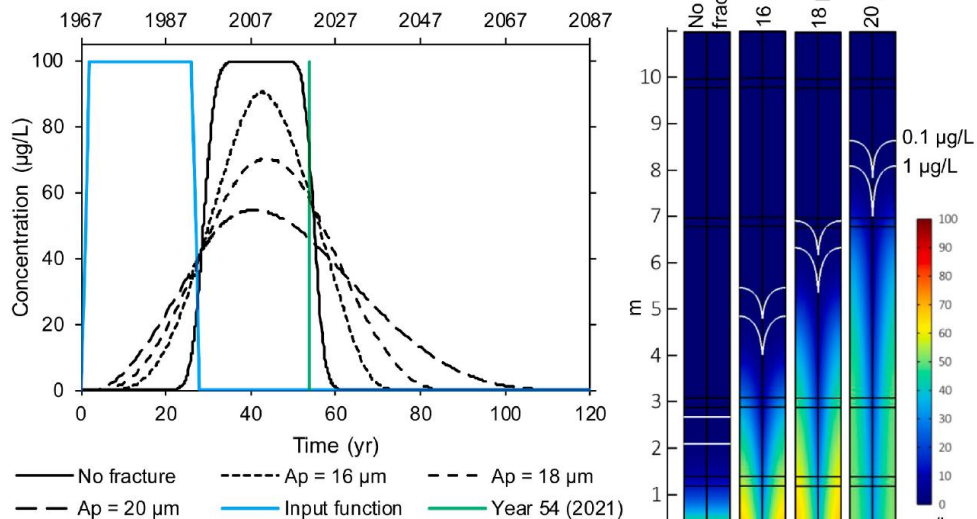


Fig. 6. Left: Breakthrough curves at the bottom of the clayey till with different hydraulic fracture apertures. $t = 0$ (year 1967) is the earliest year of pesticide application. Right: simulated contaminant distribution with different fracture apertures at $t = 54$ (year 2021), 26 years after last (simulated) pesticide application. Rectangles for the comparison with porewater concentrations of the suction cups are outlined in black at depths of 2.1, 5.1, 9.0 and 10.7 m bgs (the top of the model domain is at 1 m bgs). The colour indicates the concentration and white isolines show 1 µg/L and 0.1 µg/L.

Enhed	Ledningsevne [m/s]	$V_D (K \cdot I)$ [mm/s]	V_D [mm/år]	V_{stof} [mm/år]	Transporttid [år]
Matrix	$5,0 \cdot 10^{-9}$ (oplyst)	$2,50 \cdot 10^{-9}$	79	263	42
Sprækker	$2,58 \cdot 10^{-9}$ (beregnet)	$1,29 \cdot 10^{-9}$	41	1270 m/år	0,01
Infiltration:			120		27,6*/27,5

1D/2D model : Sprække transport Vs. håndberegning

Porøsitet [-]	Transporttid [år]			
	T1 ⇒ T2 (Sand)	T2 ⇒ T3 (Kalk)	T3 ⇒ Indv. bring (Kalk)	Sum
0,05	4,9	3,2	2,4	10
0,10	9,8	6,4	4,8	21
0,15	14,7	9,5	7,3	31
0,30	29,3	19,1	14,5	63

Ved de samme porøsiteter svarende til hhv. R2 og HFR3 modeller fås følgende transporttider (29,3 år + 6,4 år + 4,8 år) **41 år** og (29,3 år + 9,5 år + 7,3 år) **46 år**.

1D/2D modellen er beregnet til 73-81 år, idet transporten igennem ler-dæklaget er 28-30 år og derefter en transporttid på 45-50 år i grundvandsmagasinerne.

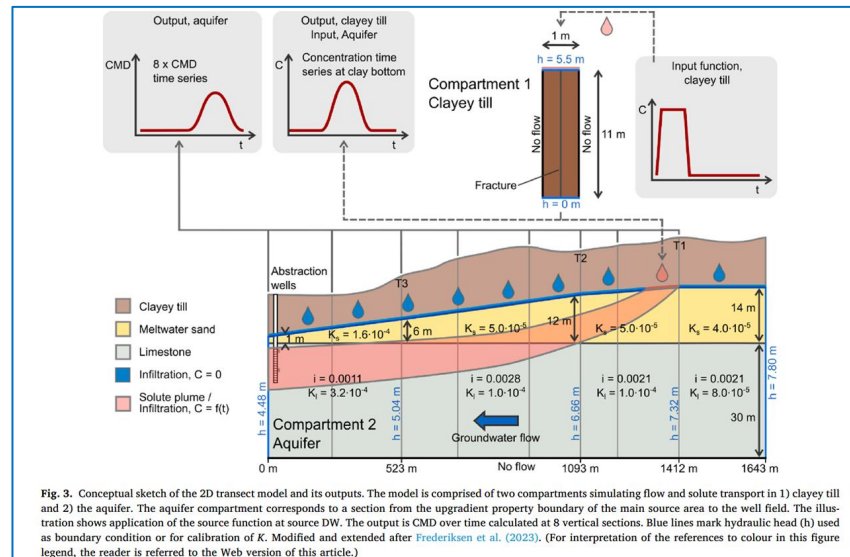
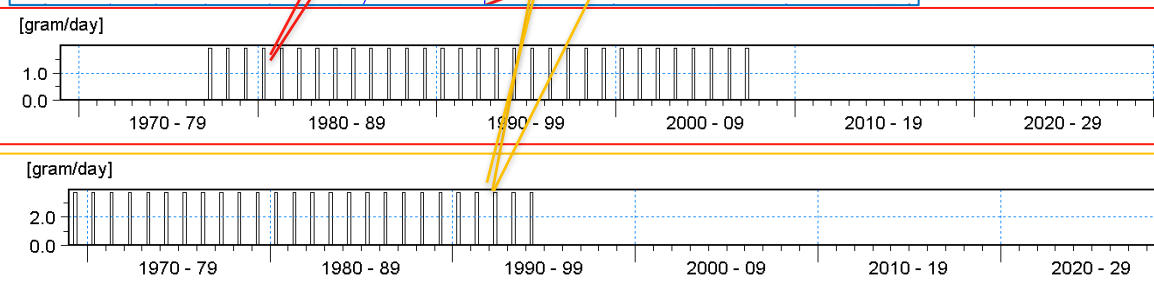
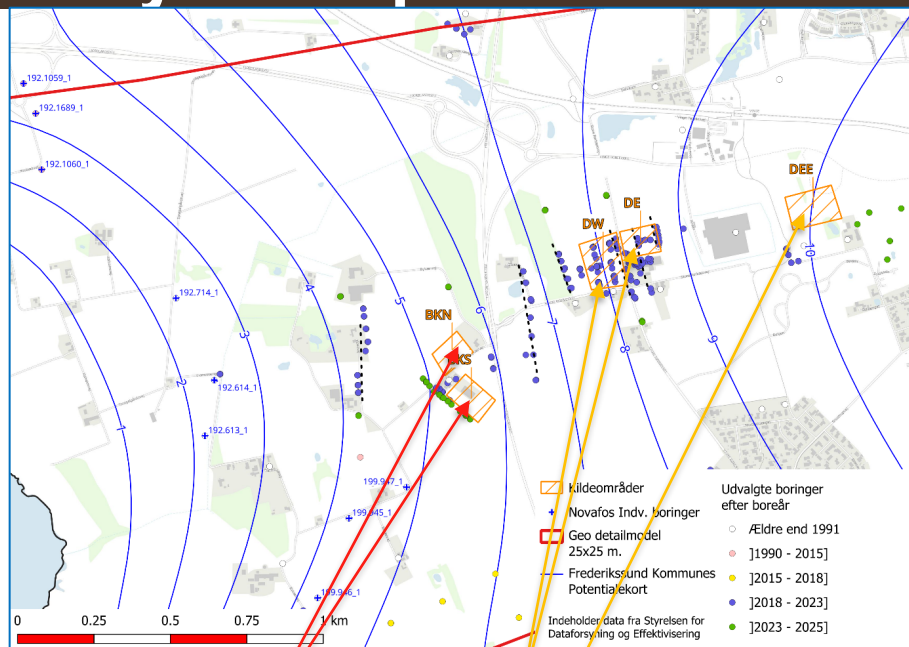


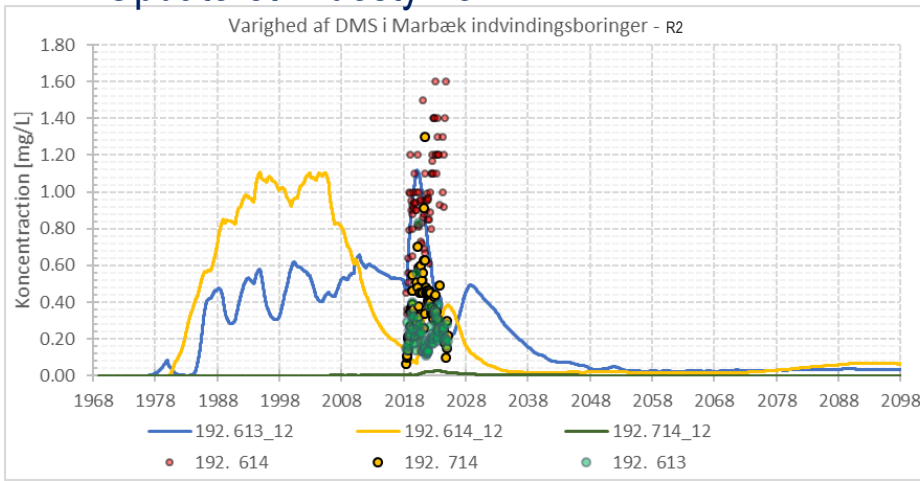
Figure 1 is a schematic diagram of the study area, showing the geological structure and groundwater flow. The diagram illustrates a cross-section of the ground with three main layers: Clayey till (top, brown), Meltwater sand (middle, yellow), and Limestone (bottom, grey). The top layer is 14 m thick, the middle layer is 12 m thick, and the bottom layer is 30 m thick. The total thickness is 56 m. The diagram shows the location of abstraction wells (T1, T2, T3) and the infiltration zone (blue area). The groundwater flow is indicated by a blue arrow pointing left, labeled "Groundwater flow". The diagram also shows the "Compartment 2 Aquifer" and the "Solute plume / Infiltration, C = f(t)" area. The diagram includes various parameters: T = 29 år, T = 38 år, T = 29 år, T = 10 år, T = 13 år, T = 10 år; $K_s = 1.6 \cdot 10^{-4}$, $K_s = 5.0 \cdot 10^{-5}$, $K_s = 5.0 \cdot 10^{-5}$, $K_s = 4.0 \cdot 10^{-5}$; $i = 0.0011$, $i = 0.0028$, $i = 0.0021$, $i = 0.0021$; $K_f = 3.2 \cdot 10^{-4}$, $K_f = 1.0 \cdot 10^{-4}$, $K_f = 1.0 \cdot 10^{-4}$, $K_f = 8.0 \cdot 10^{-5}$. The diagram also shows the "No flow" boundary at 1093 m. The diagram includes a legend: Clayey till, Meltwater sand, Limestone, Infiltration, C = 0, Solute plume / Infiltration, C = f(t). The diagram also shows the "Abstraction wells" and the "Infiltration zone".

- DMS indlægges i øverste lag fra 1 til 2 m u.t.

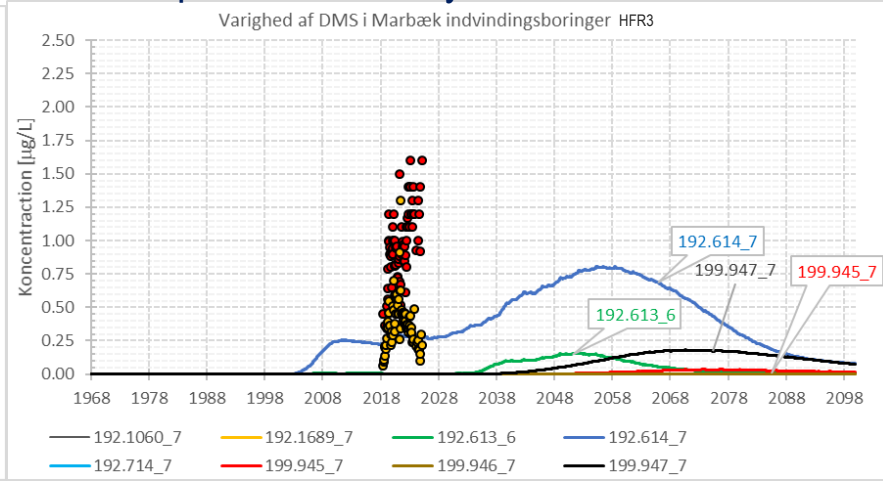


- Kildestyrken er implementeret forkert i begge 3D-modeller:
 - Opdateret kildestyrke har øget mængden af DMS i modeller
- Transporttiden i de øvre lag er hurtigere i 3D Modellerne end i 1D/2D modellen
 - Det kan ikke afgøres, hvilket modelkoncept er bedst. Det vurderes dog, at de numeriske modeller overestimerer transporttiden ned til første grundvandsmagasinet.

R2 – Opdateret kildestyrke:

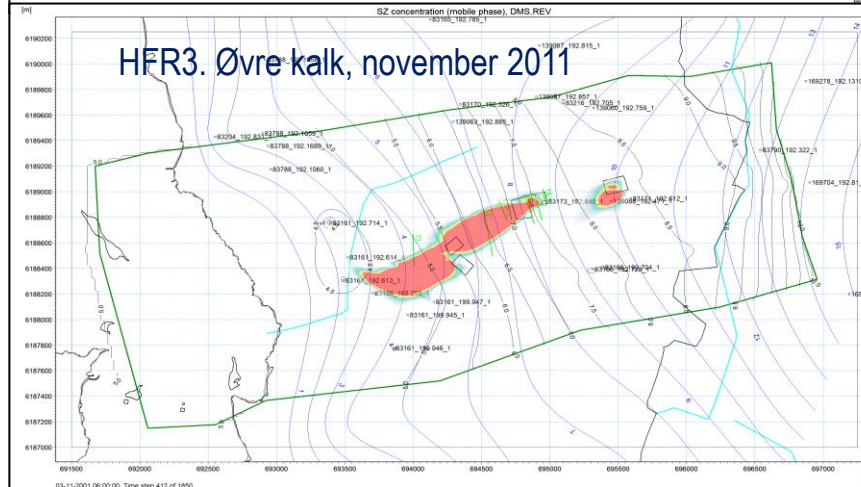
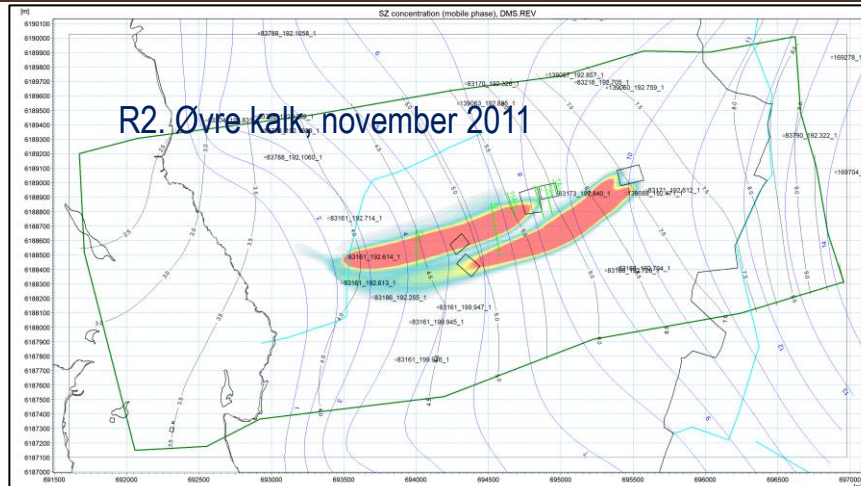
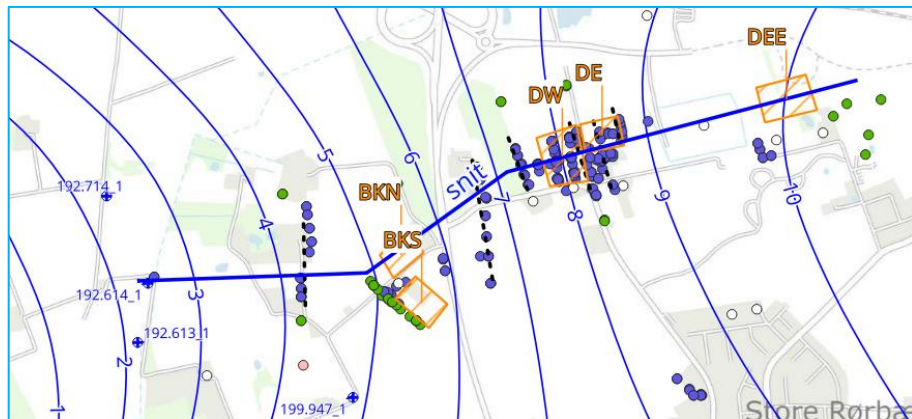


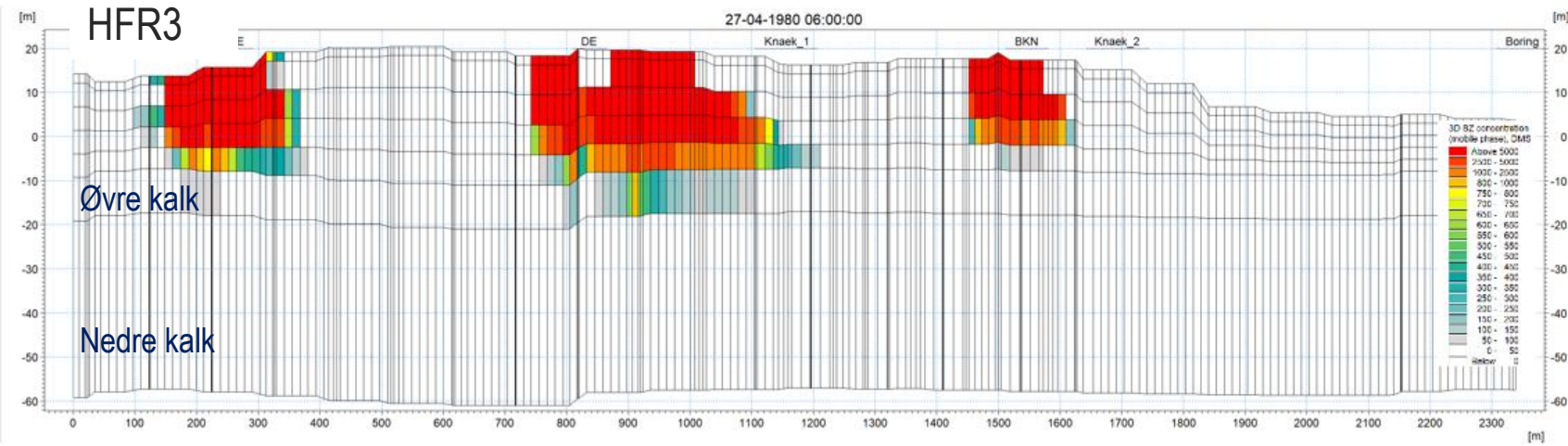
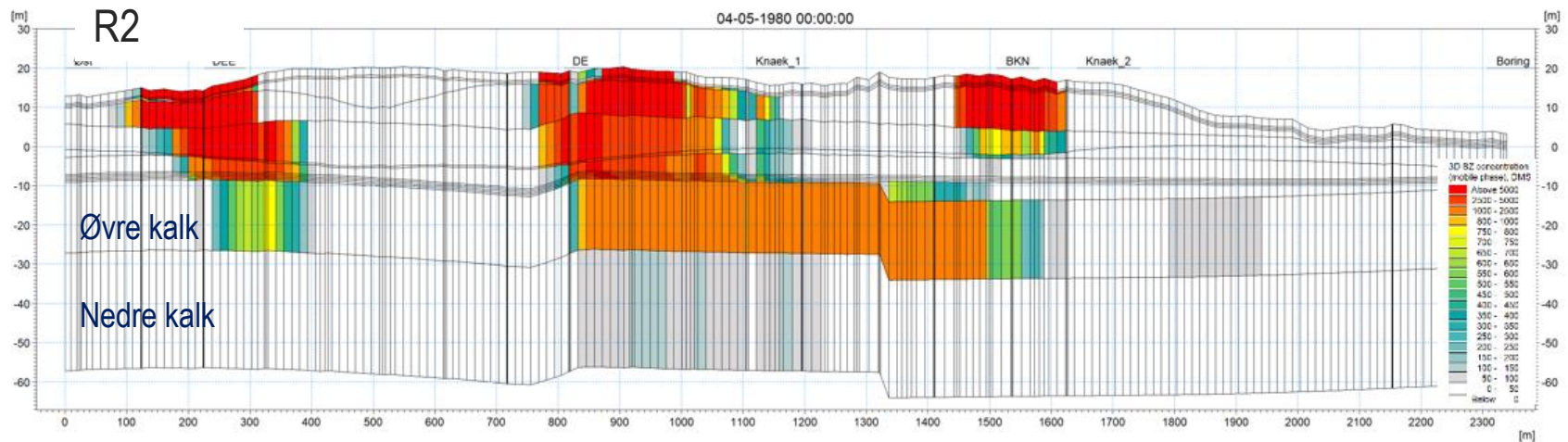
HFR3– Opdateret kildestyrke:



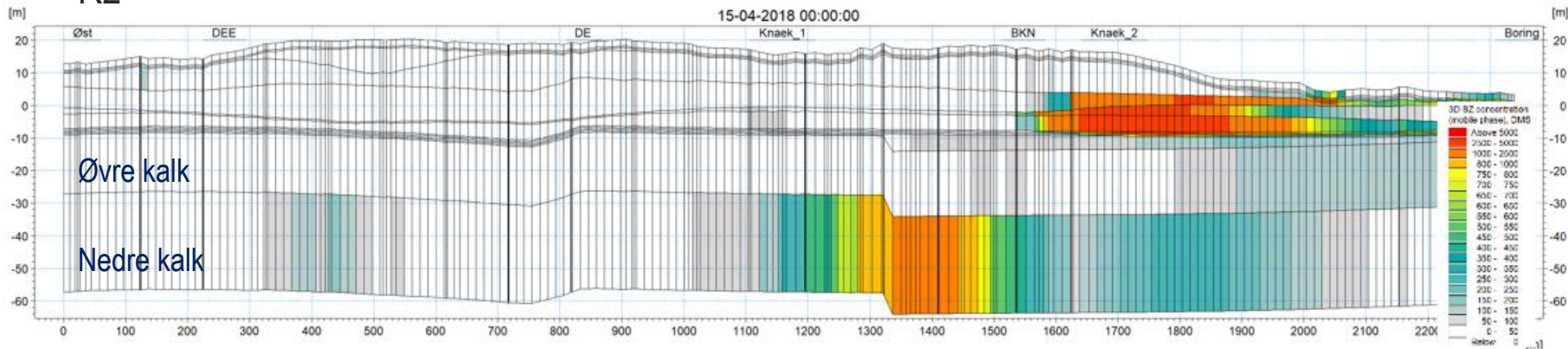
I modellen fra R2 transporteres DMS fra lokaliteterne DEE, DE og DW meget hurtigere i kalken end i HFR3 modellen, men til gengæld er DMS fra lokaliteterne BKN og BKS i R2-modellen ikke nået kalken.

Næste side er der plottet DMS udbredelse i tværsnittet herunder:

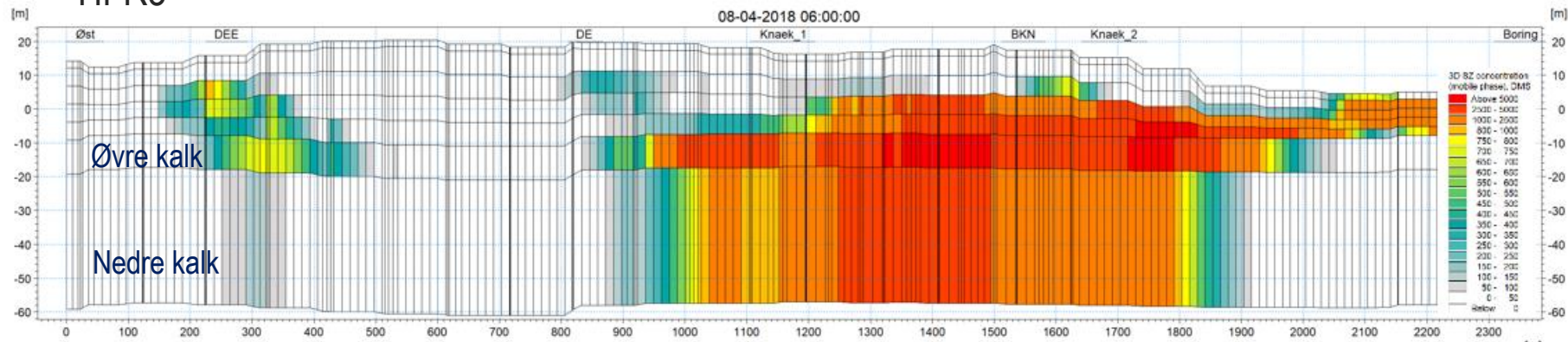




R2



HFR3

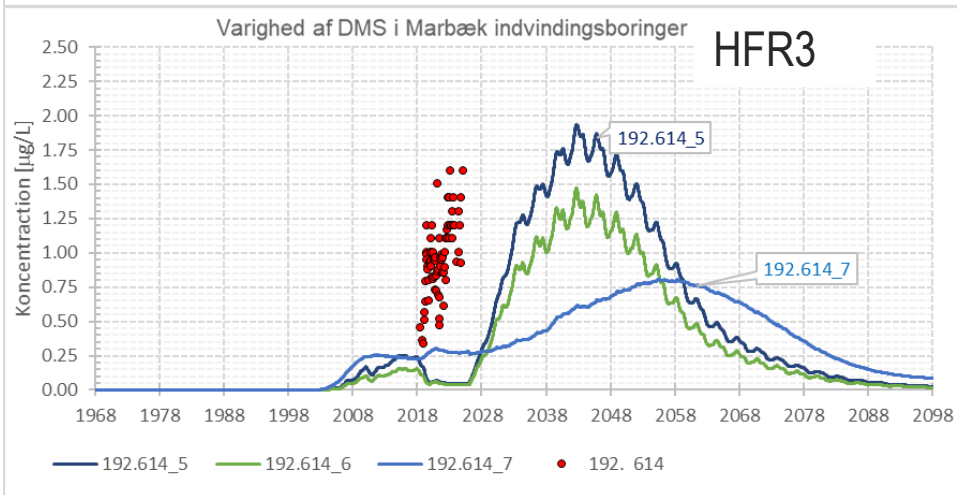
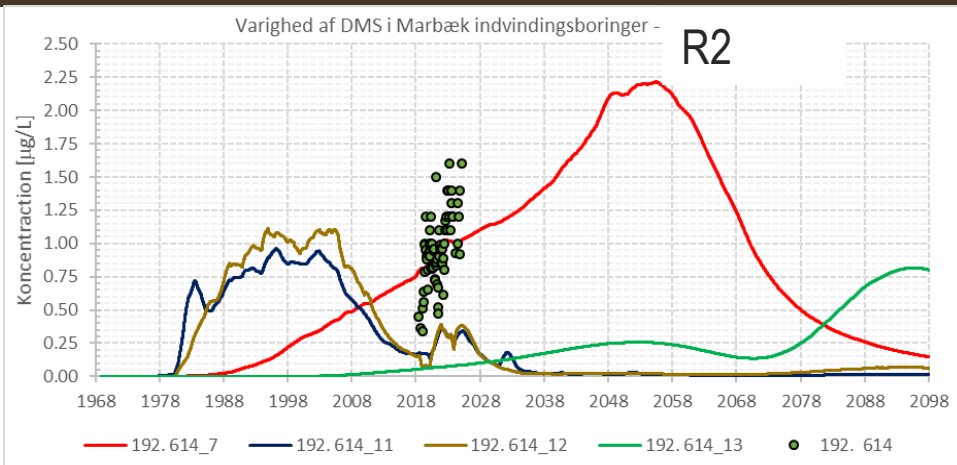


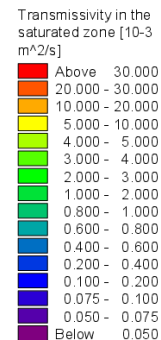
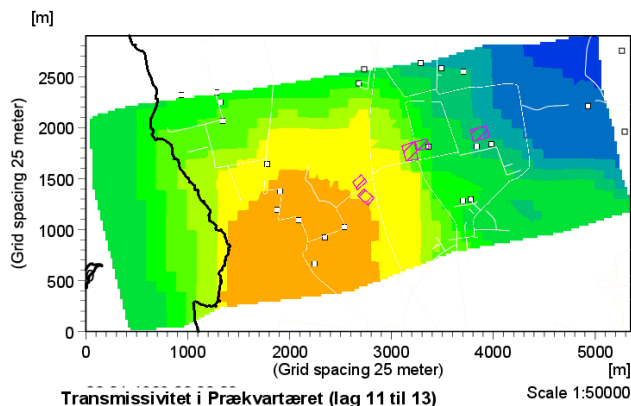
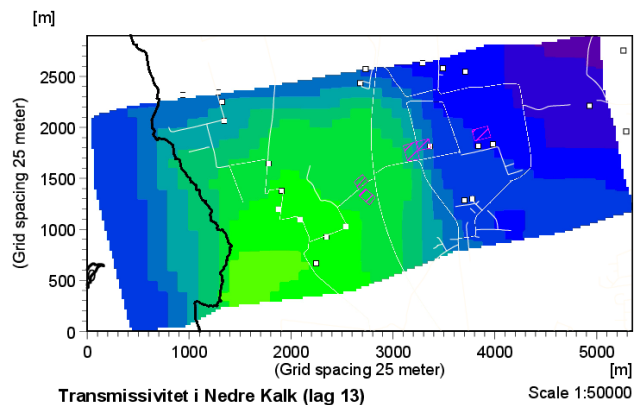
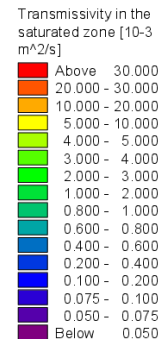
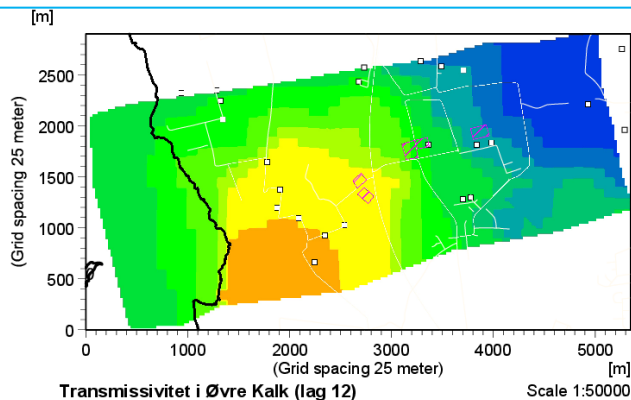
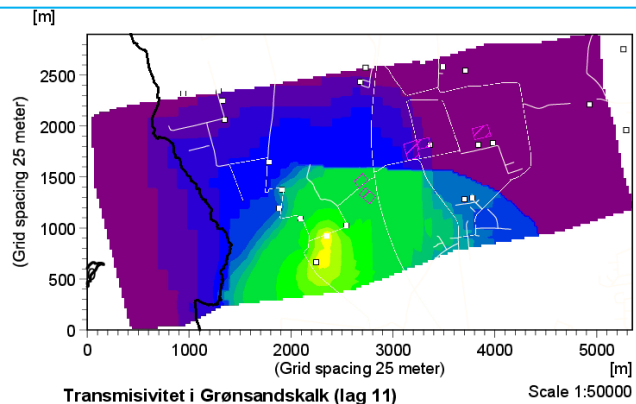
R2 (Øverste figur)

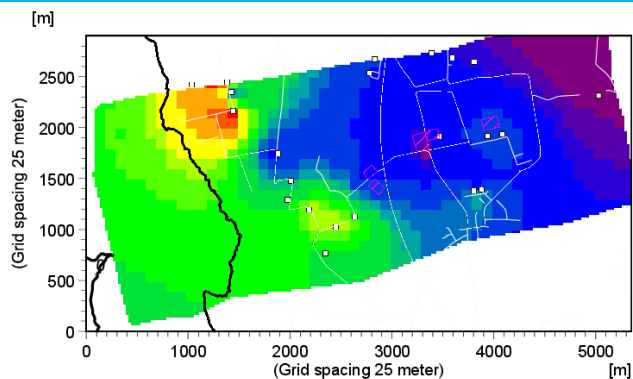
- Betydelig koncentration i sandlaget over kalk, kommer senere end i Øvre kalk
- I Nedre kalk kommer der ligeledes et gennembrud i slutningen af simuleringen.

HFR3 (Nederste figur)

- Høje DMS koncentrationer i Øvre kalk og i sandlaget lige over kalk
- HFR3 må tidligere alene have præsenteret DMS koncentration i Nedre kalk.
- Koncentrationsniveauer passer bedre med de målte niveauer i boringen – dog forskud i tid.

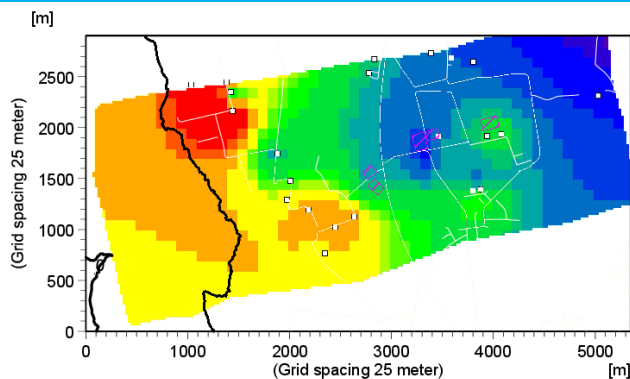






Transmissivitet i Øvre Kalk (lag 6)

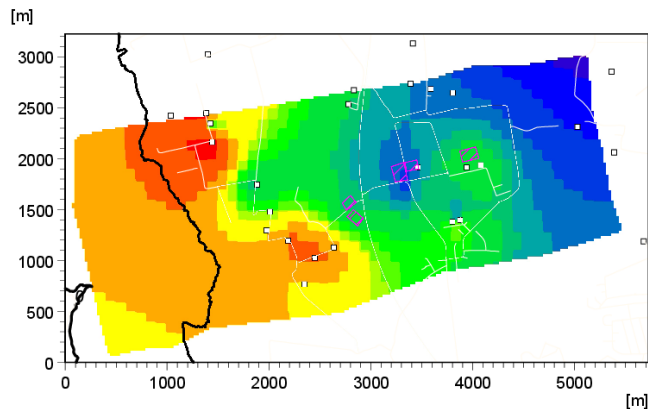
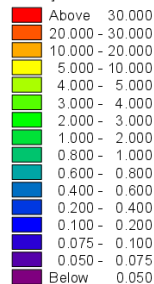
Scale 1:50000



Transmissivitet i Nedre Kalk (lag 7)

Scale 1:50000

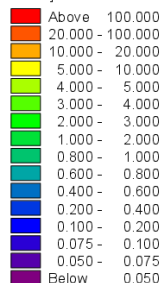
Transmissivity in the saturated zone [10⁻³ m²/s]

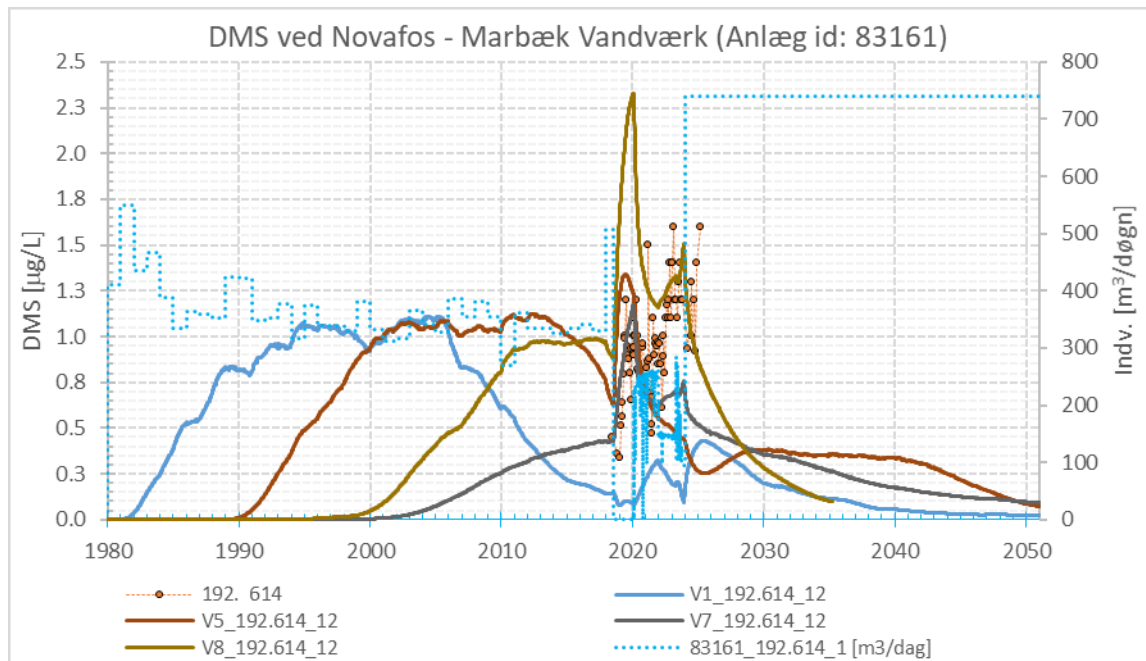


Transmissivitet i prækvarteret (lag 6 og 7)

Scale 1:50000

Transmissivity in the saturated zone [10⁻³ m²/s]





- Transporttiden i kalken er meget hurtigere i R2s model end HFR3 model, hvilket hovedsagelig skyldes, at der er lavere hydraulisk ledningsevner i HFR3 model.
- 1D/2D modellen er transporttiden i kalken på niveau med resultatet fra R2s model ved samme porøsitet, men ikke for sandmagasinet.
- Transporttiden igennem de øvre lag ned til kalken er ligeledes en smule hurtigere i R2s model end for HFR3 modellen.
- R2 model bygger på FEAR modellen, som er nyere med opdateret geologi og er anvendt oplandsberegninger og er baseret på en model godkendt af Miljøstyrelsen.

- Opbyg en konceptuel model for både vand og stof
- Anvend lokale data og udført en grov kalibrering
- Ekstern kildestyrke model, som tager højde for sprækker, makroporer og skift mellem mættede og umættede forhold'
- Brug flowlog og niveau-specifikke prøvetagning ved indvindingsboringerne
- Forfin modellens beskrivelse. Overvej håndtering af sprækker i kalk
- Finere diskretisering og inkludere dispersion
- Navngiv DMS i forhold til lokaliteterne. Bedre vurdering af de forskellige lokaliteter.