

Dykkende faner i dybe sandmagasiner – en overset trussel?

Sine Thorling Sørensen, Region Hovedstaden, Center for Regional Udvikling, Miljø

Thomas Hauerberg Larsen, Orbicon

Mads Trolborg, The James Hutton Institute

Mads Georg Møller, Orbicon

Lars C. Larsen, Orbicon

Preben Bruhn, Miljøstyrelsen

Jens Aabling, Miljøministeriet

ATV Vintermødet 2019,
modul 4, spor 3

Outline

- Motivation
- ”Tekstbogen”
- Eksempler/cases på forureningsfaner der ikke dykker og faner der gør
- Hypoteser
- Geologiske forklaringer og erfaringer fra målinger i felten
- Modelopsætning og resultater (Test af hypoteser)
- Hvad viser vores cases?
- Konklusioner og pointer



Tekst bog – hvordan opfører faner sig?

Risikovurdering i forhold til grundvandet (JAGG)

Regnearket indeholder en risikovurdering opdelt i tre trin, som gradvis nuanceres mere og mere.

Trin 1

er en kildenær opblandingsmodel dvs., hvor der regnes med opblanding i **de øverste 0,25 m** af grundvandsmagasinet umiddelbart under forureningskilden.

Trin 2

er en kildefjern opblandingsmodel, hvor tykkelsen af opblandingen i grundvandsmagasinet bestemmes i en afstand svarende til af grundvandet har strømmet 1 år, dog maksimum **100 meter fra forureningskilden**. Princippet er, at jo længere grundvandet strømmer, jo større bliver opblandingstykkelsen og dette vil føre til en mindre forureningskoncentrationen.

<https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2016/09/978-87-93529-09-0.pdf>

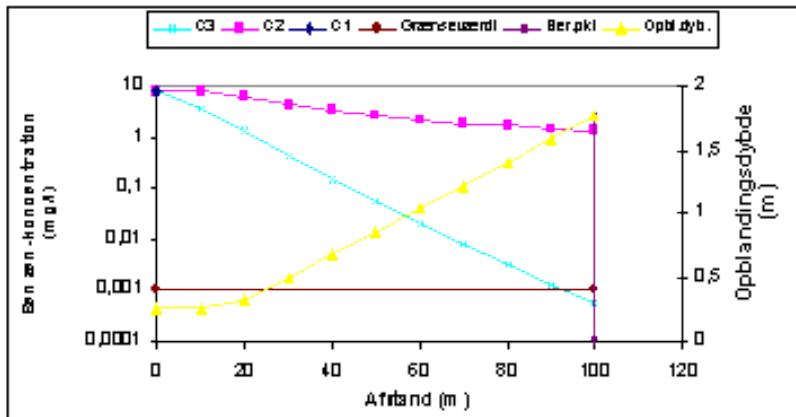
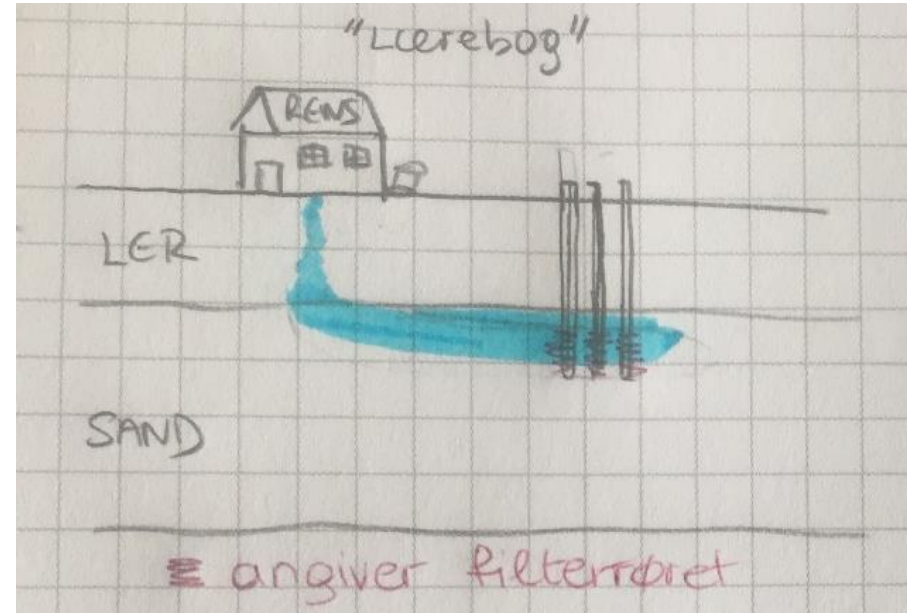
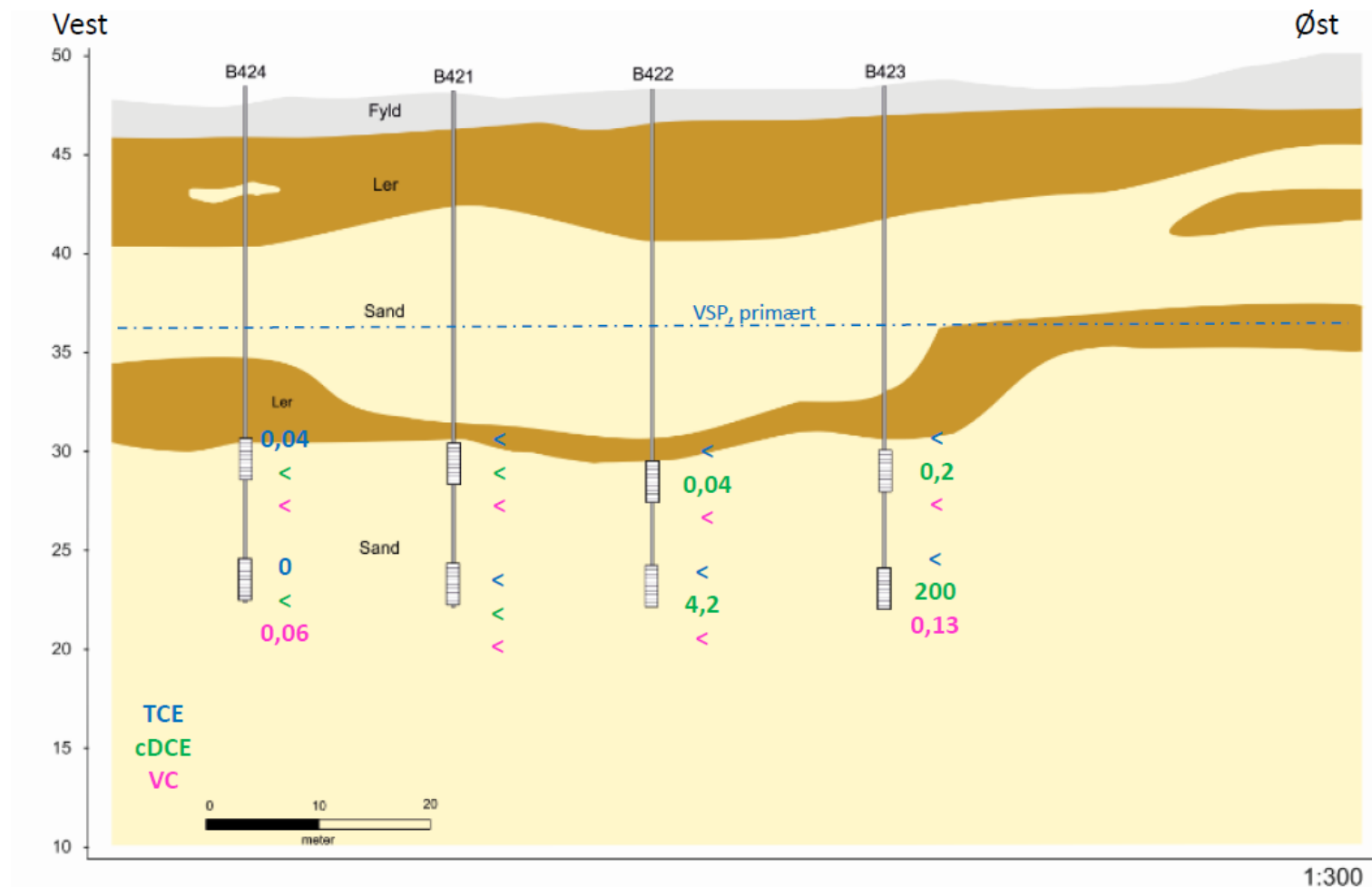


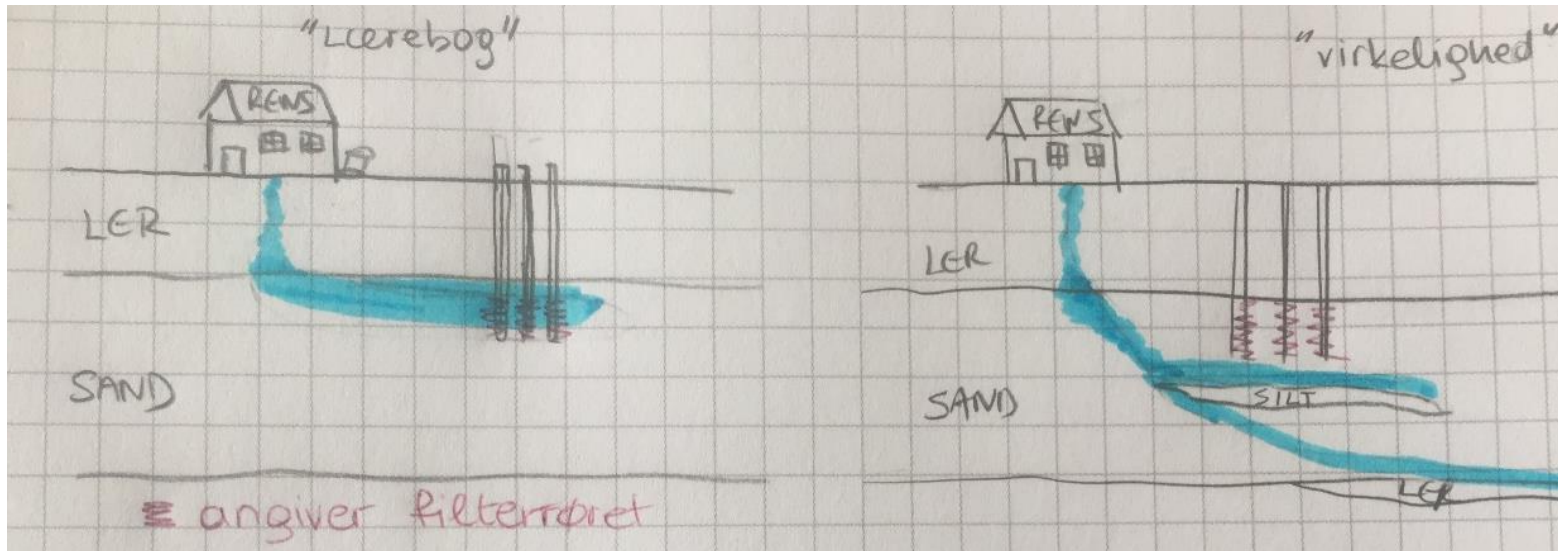
Fig. 1. eksempel (JAGG): Grafisk afbildning af de beregnede forureningskoncentrationer i grundvandet som funktion af afstanden. Ci angiver forureningskoncentrationen beregnet ved risikovurderings trin i.

Motivation for projektet

Nedstrøms transekt - primært magasin



Motivation for projektet

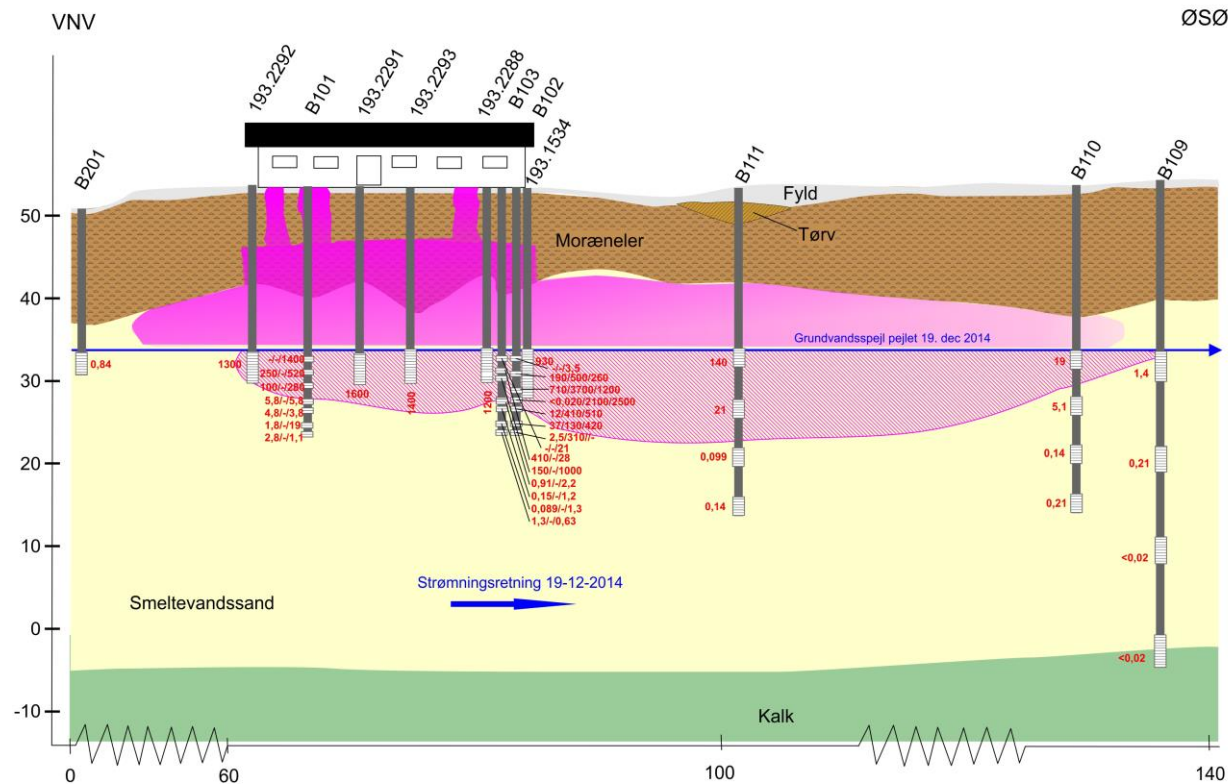


- Dykkende faner observeret i en række sager i uventet stor grad.
 - Stiller krav om større boreddybde ved undersøgelser, flere filtre etc.
 - Giver risiko for at overse både den horisontale og vertikale udbredelse
- Sandmagasiner findes i hele DK i større eller mindre grad.

Formål

At forbedre den konceptuelle forståelse af forureningstransport i dybe sandmagasiner og undgår at misse dykkende faner i vores undersøgelser og hvordan gør vi det bedst?

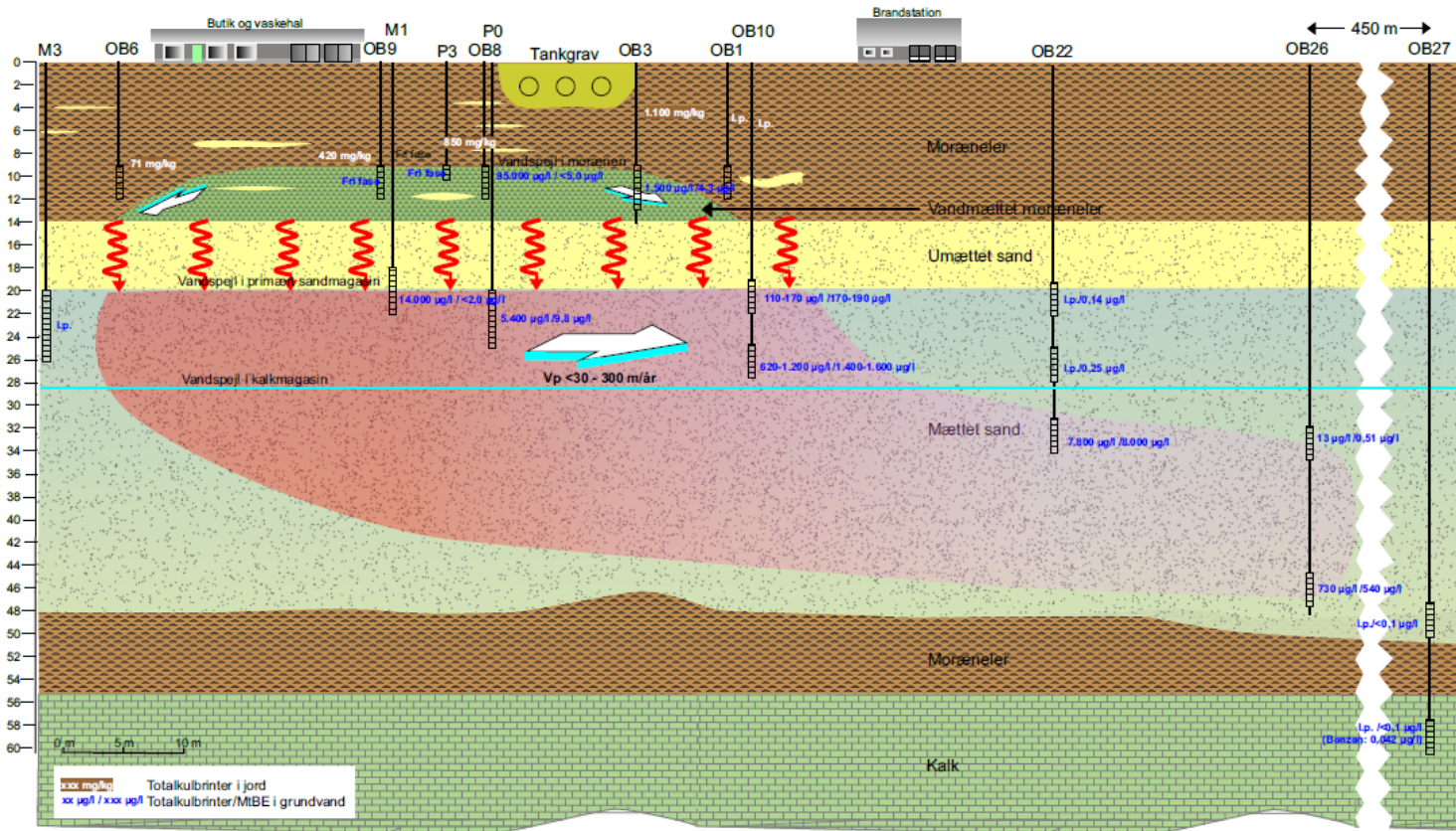
”Tekstbogs eksempel” Birkerød Industrikravter



Fanen med TCE dykker kun lidt, måske 7-8 m på 100 m – som forventet ☺

Eksempel på fane

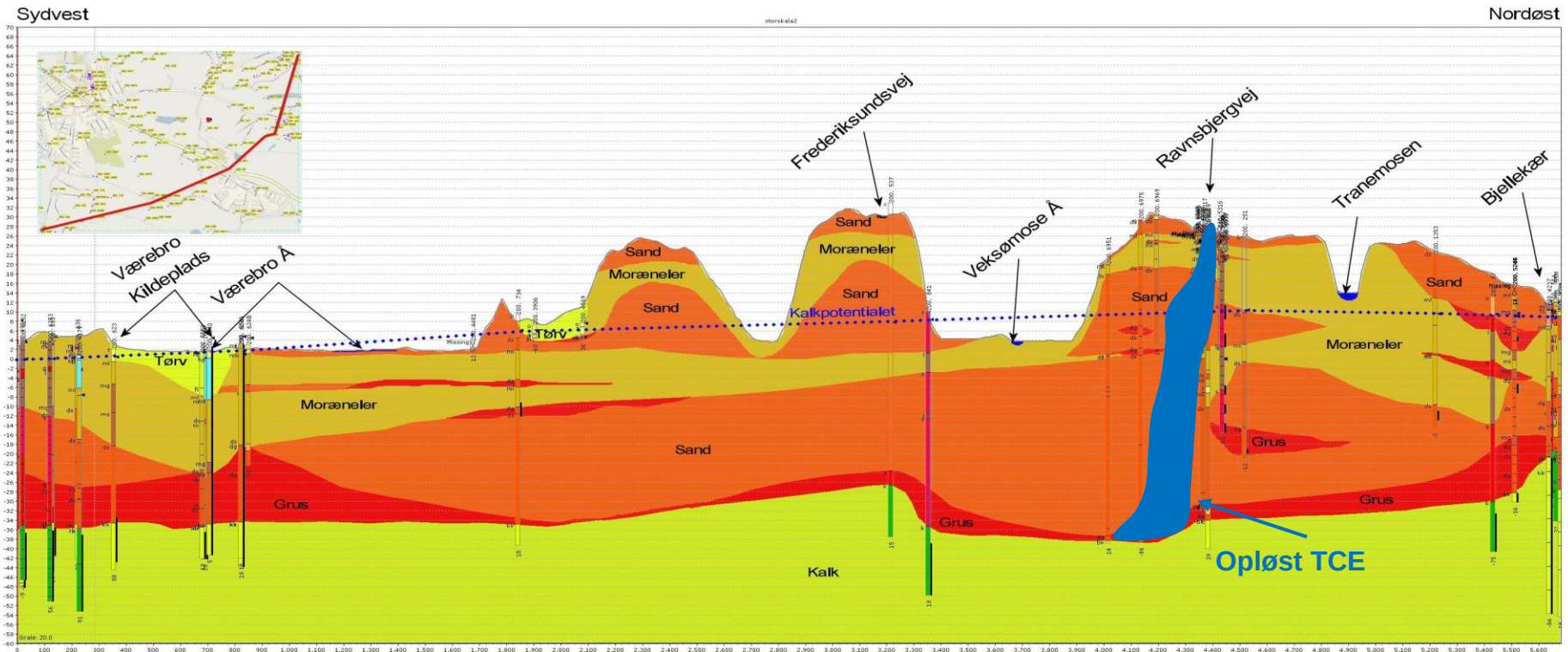
Case: Birkerød Kongevej 158



Fanen med MTBE dykker 14 m på ca. 85 m ned til umiddelbart over moræneleren

Eksempel på dykkende fane

Case: Ravnsbjergvej 1 - Veksø



Fanen med TCE dykker 40 m på ca. 50 m ned til umiddelbart over kalken

Eksempel på stærkt dykkende fane

Hvad kan have en betydning for om en forureningsfane vil dykke?

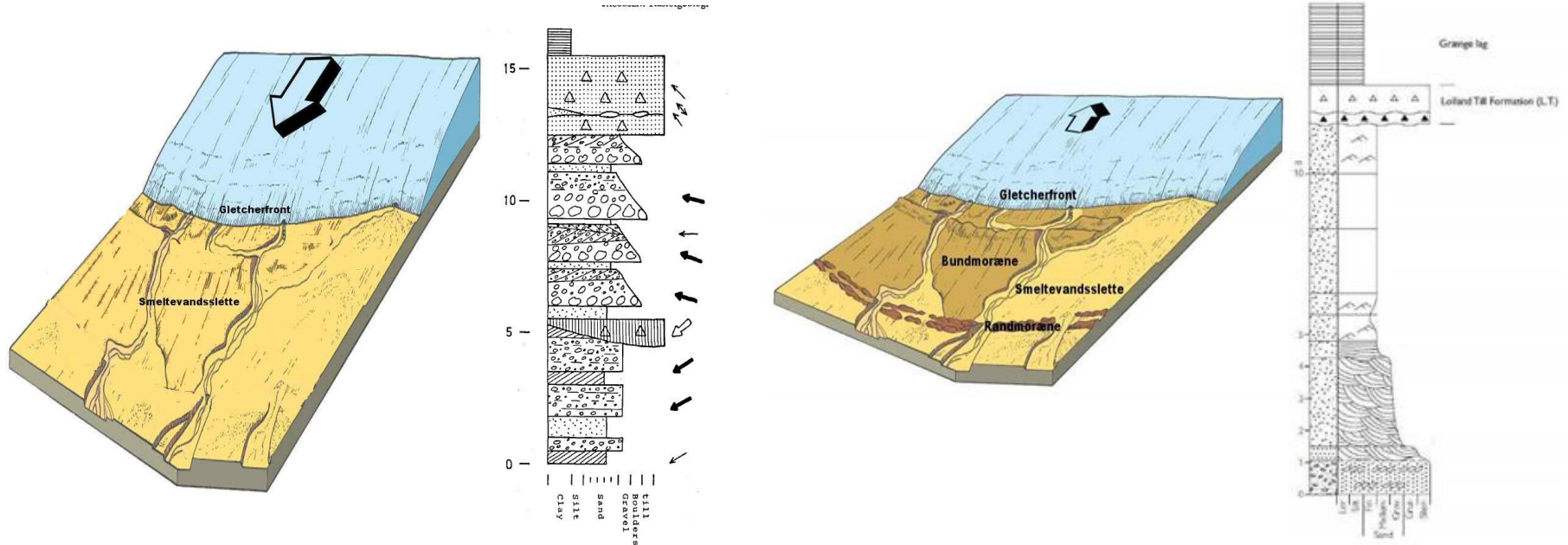
(det kigger vi ikke på i det her projekt)

- ~~DNAPL- fri fase der afsmitter ned gennem lagene,~~

- 
- Vandskel (placeringen af kilder i strømningsregimet?)
 - K – hydraulisk ledningsevne (vand vil løbe hvor K er størst)
 - Anisotropi/isotropi - tilstedeværelse af inhomogeniteter i K over dybden
 - Q – indvinding/Oppumpning i systemet
 - Betydning af højpermeable lag
 - Infiltrationen
 - Barrierer (ler/silt)
 - Andre faktorer (...)

- 
- Hvad betyder den geologiske genese, og kan vi bruge den til prædiktion?

Dannelseshistorie for mægtige sandlag



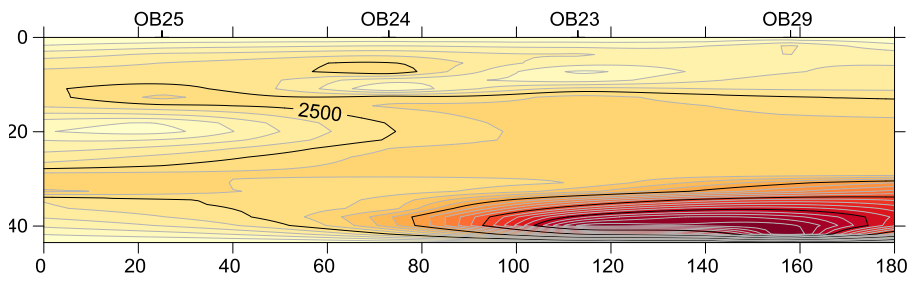
Fremrykkende is:
Coarsening upwards

Tilbagesmeltende is:
Fining upwards

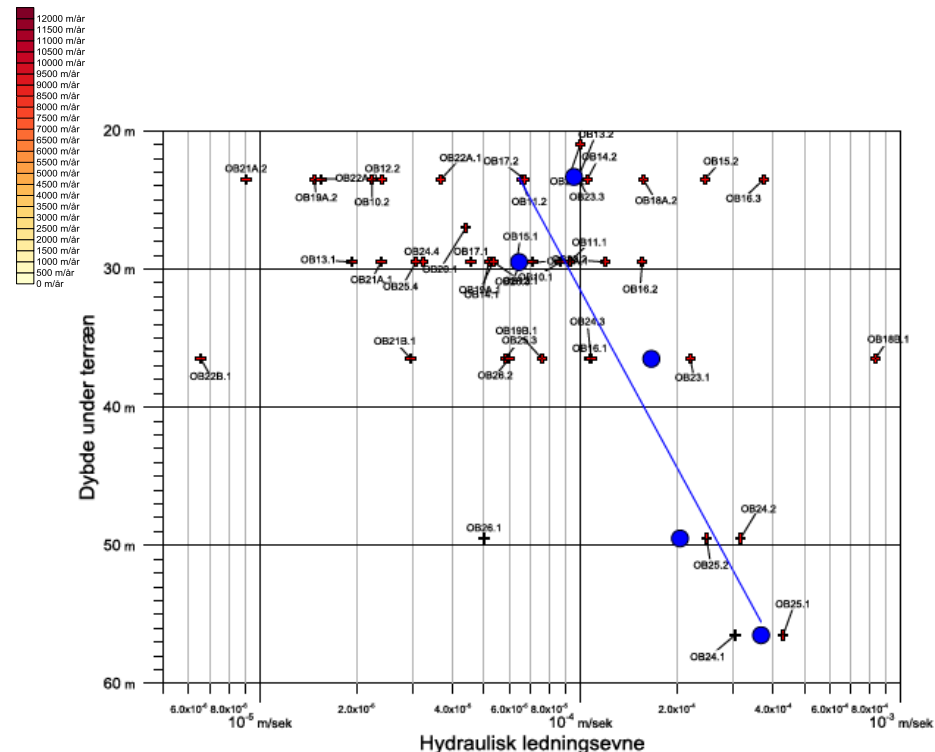
Normalt med både fremstød og afsmeltning over en periode – gør det svært at ekstrapolere over større områder ud fra genesen – mest sandsynligt er "Fining upwards".

Hvordan finder vi forskelle i hydrauliske ledningsevner?

- Interpolation af slugtest fra Ravnsbjergvej – variation ca. en størrelsesorden over dybden
- Efterfølgende pumpetest viste en absolut værdi ca. 10 gange højere end gennemsnittet.



Slugtest fra Birkerød Kongevej
 ca. en størrelsesorden i variation
 over dybden

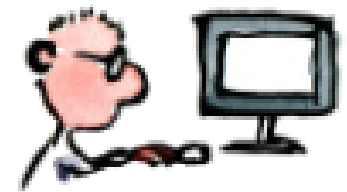


Model til mekanismestudie

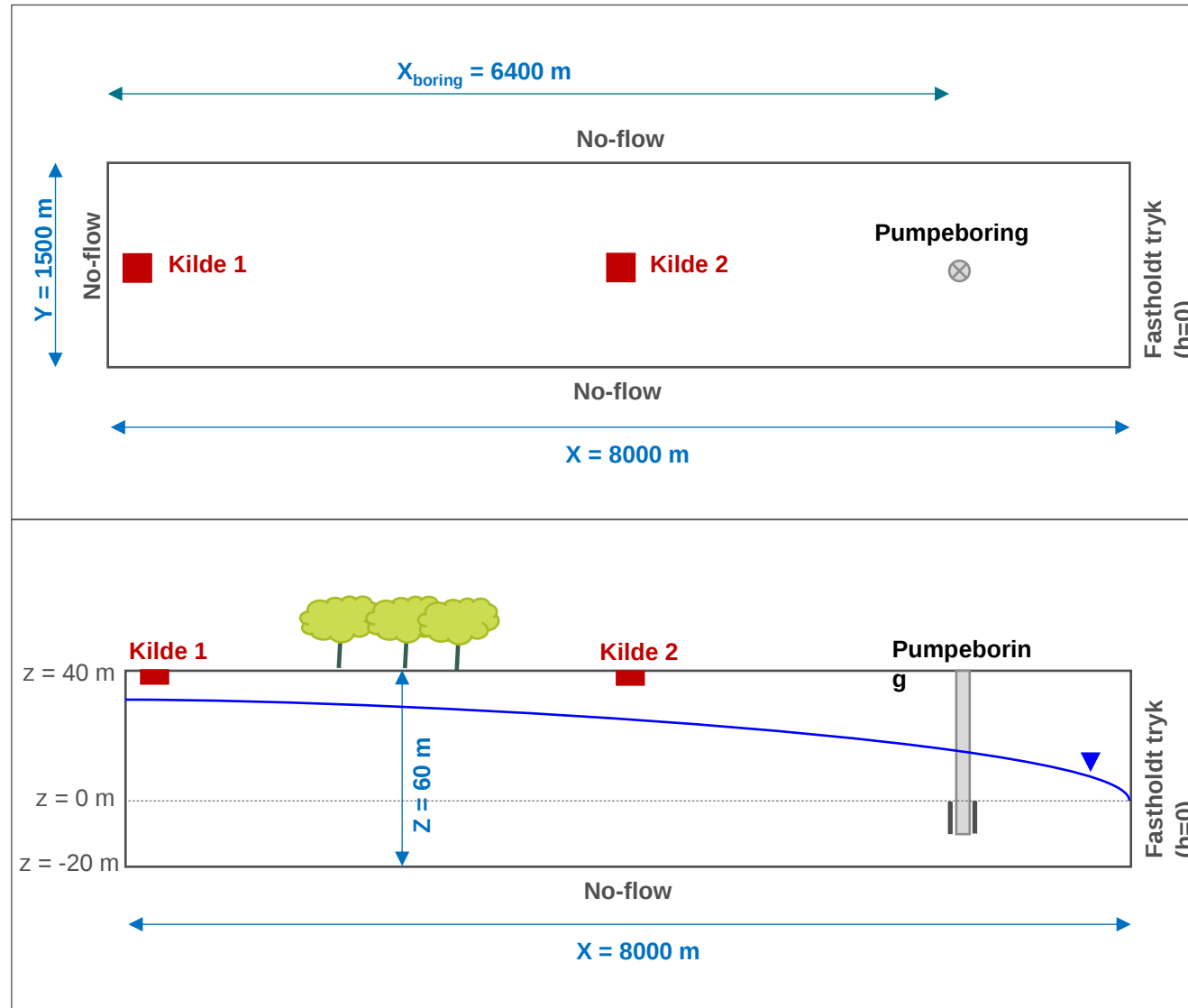
- Simulerer i princippet det såkaldte Sand 2 magasin udvalgte steder i Nordsjælland ☺
- Frit magasin (DTU Miljø har efterfølgende lavet sammenlignelige studier i spændt magasin)
- **Partikeltracking**, dvs. konservativt stof uden omsætning, sorption eller lignende
- Modelleret i Modflow-NWT, partikler modelleret i Modpath
- To modeller opstillet med variabel diskretisering omkring to kilder, en tæt på vandskel og en langt fra
- Længde 8000 m, Bredde 1500 m, højde 60 m. Diskretisering 1 m i Z akse, 2,5-12,5-50 m i X,Y

Parametre i Bassisscenarie:

- Nettoinfiltration er sat til $0,25 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ år}$
- Model kalibreret så trykniveau ved opstrøms rand er i kote +30, svarende til en K på $2,4 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ i udgangspunkt i alle lag.
- Anisotropi faktor som udgangspunkt $K_h = 10 \cdot K_v$
- Q oppumpning = $0 \text{ m}^3/\text{år}$



Model til mekanismestudie

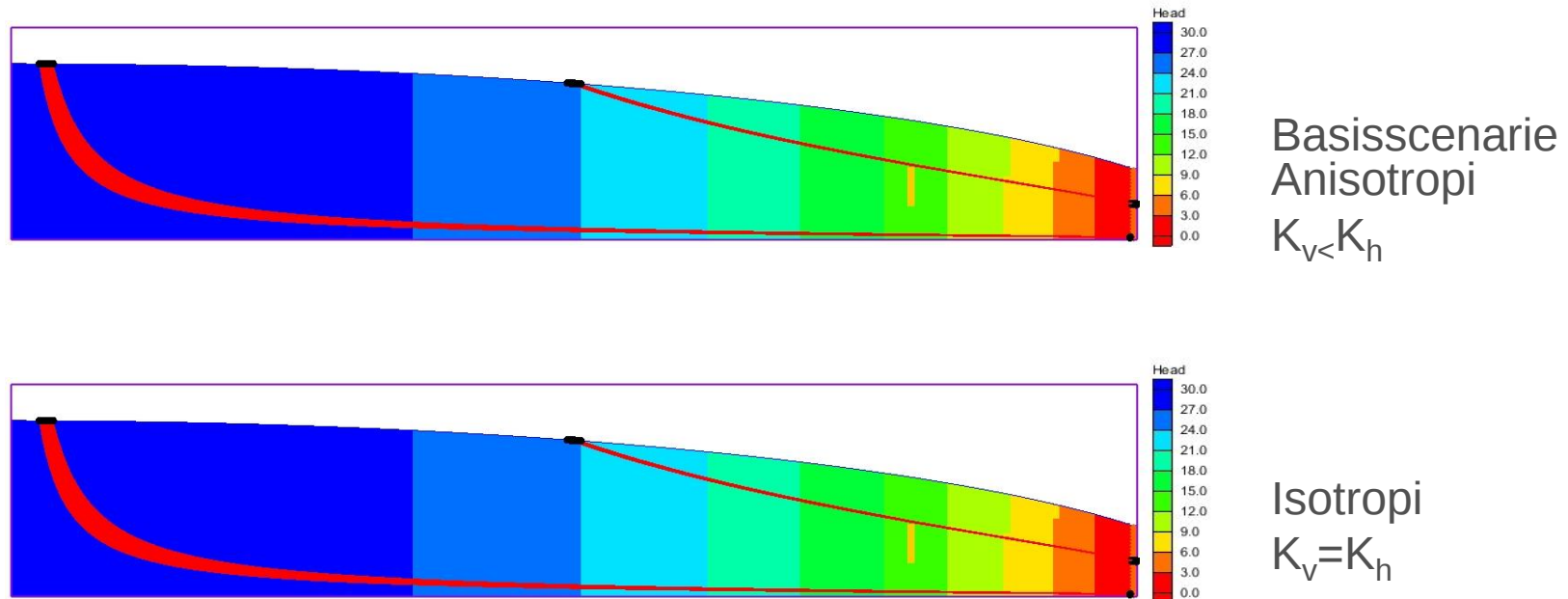


Model set oppefra

Model set fra siden

Resultater fra kørsler 1

Betydning af vertikal anisotropi

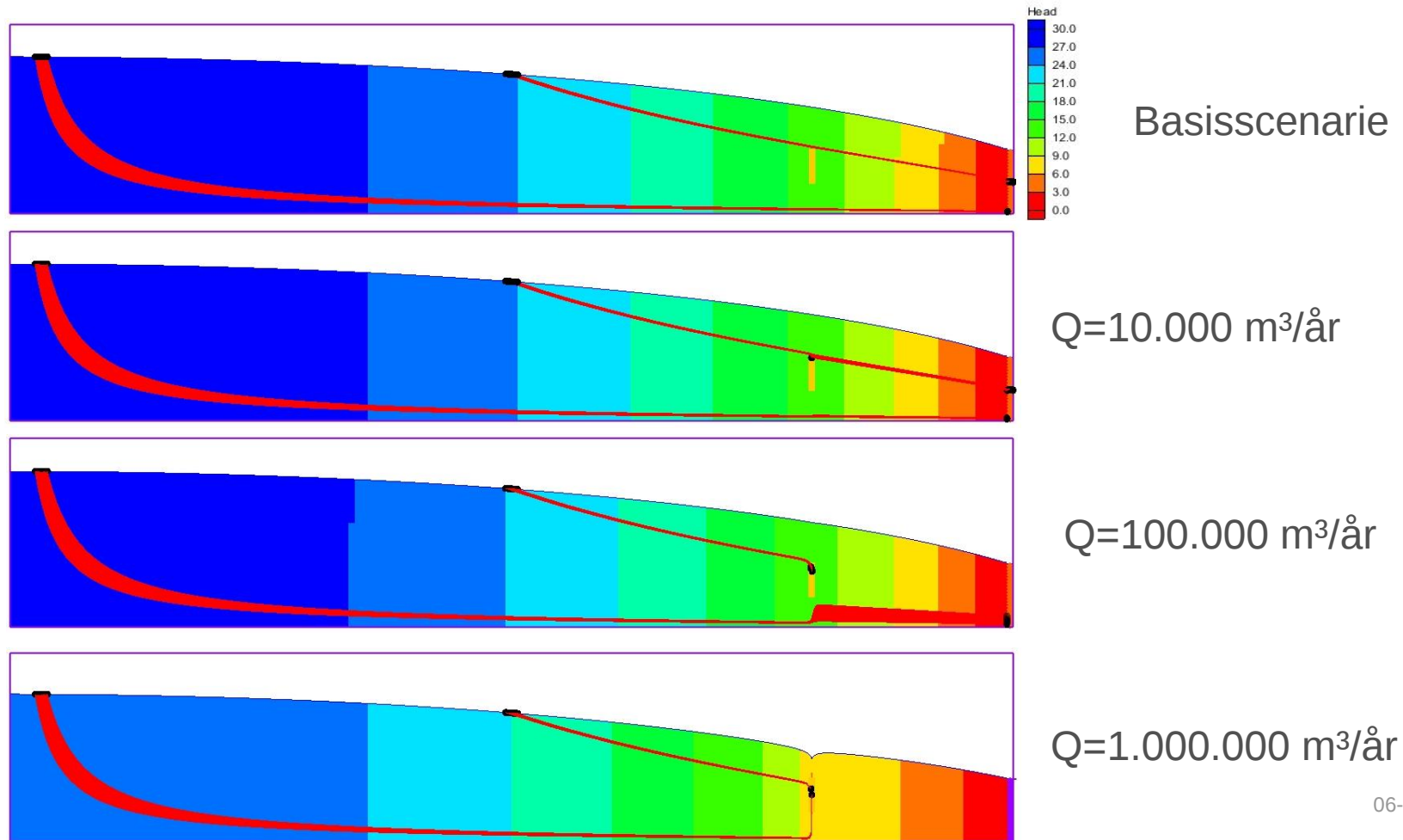


Ændring i den vertikale ledningsevne modsvares af ændringer i gradienten
Hastighedsvektor er dermed ens

Vertikal gradient størst ved opstrøms kilde. Størst simulerede vertikale gradient er omkring 0,3 ‰, svarende til 3 mm over 10 m

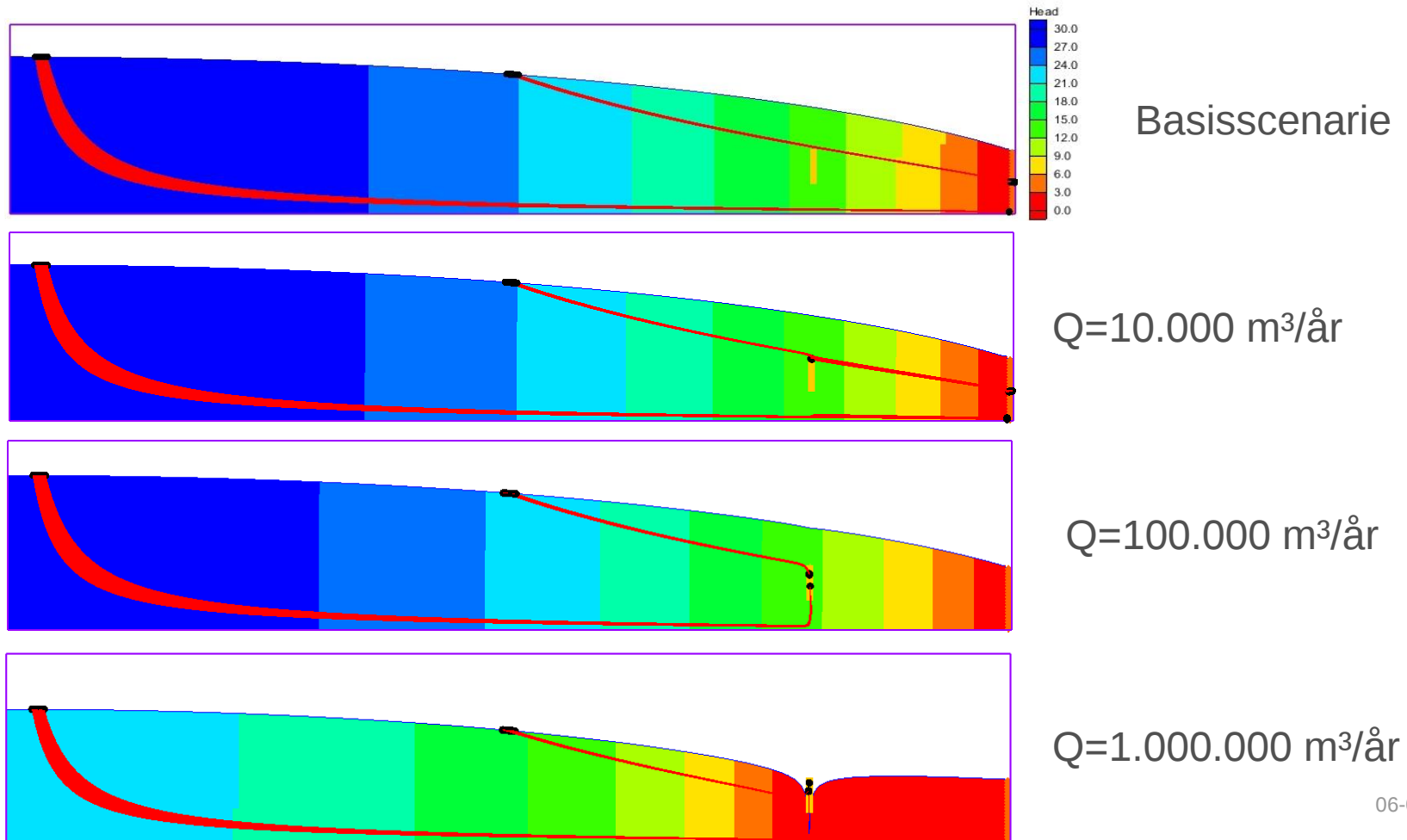
Resultater fra kørsler 2

Betydning af indvinding



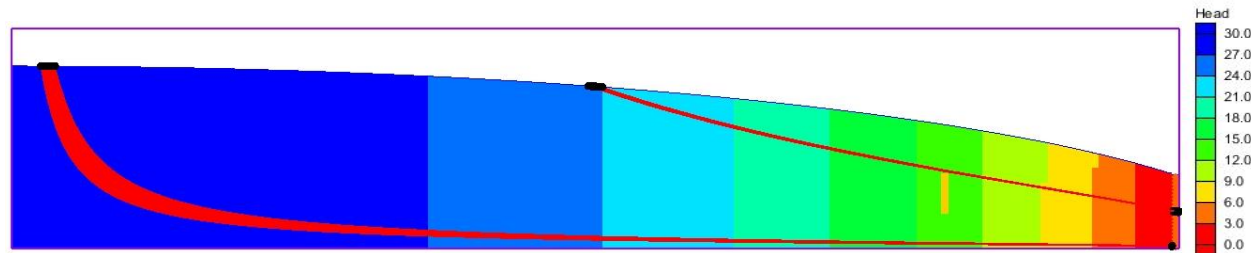
Resultater fra kørsler 3

Betydning af indvinding ifbm. lavere nettoinfiltration ($0,1 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ år}$) og mindre K_h ($9,7 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$)

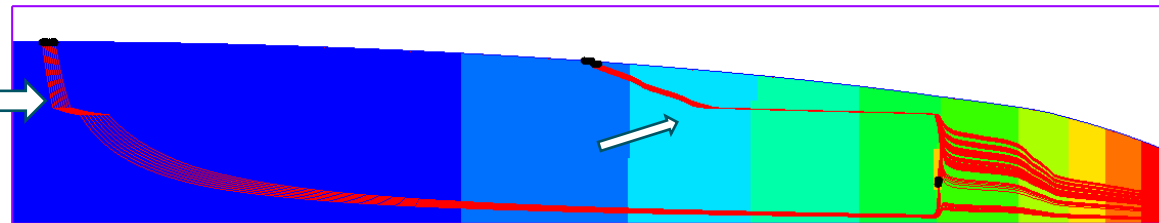


Resultater fra kørsler 4

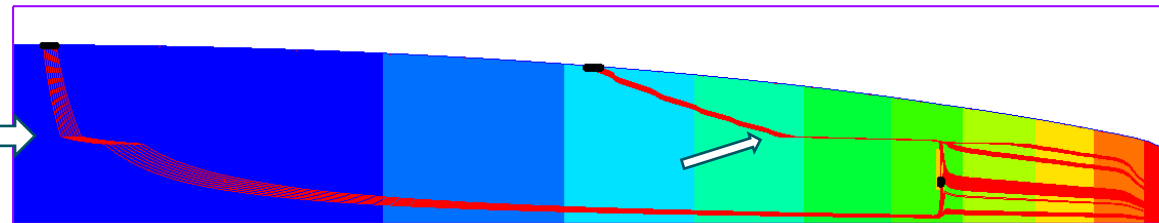
Betydning af højpermeabelt lag. $K_{høj}$ 10 gange generel K , fastholdt Transmissivitet. $Q = 100.000 \text{ m}^3/\text{år}$



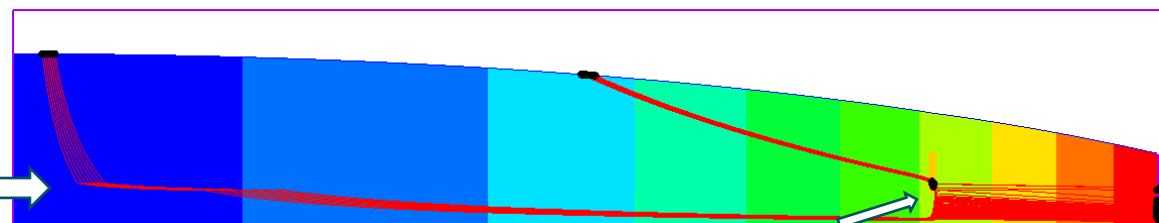
Basisscenarie



$K_{høj}$ i kote 12 til 10



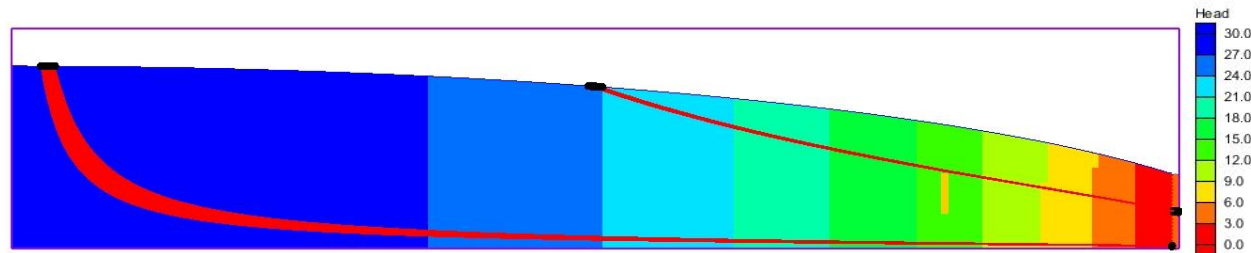
$K_{høj}$ i kote 4 til 2



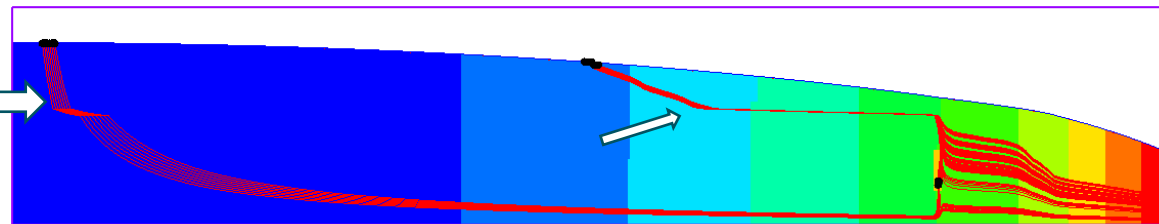
$K_{høj}$ i kote -8 til -10

Resultater fra kørsler 5

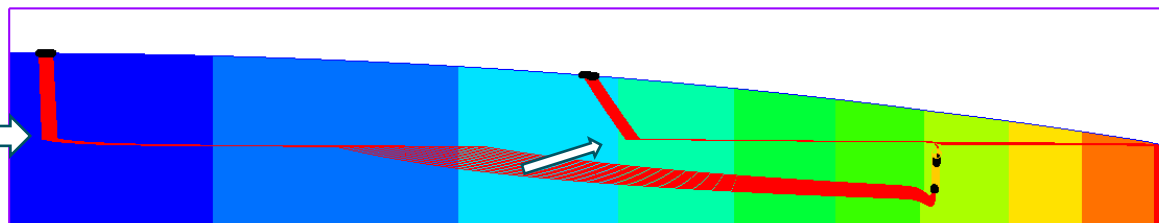
Betydning af højpermeabelt lag. $K_{høj}$ 100 gange generel K , fastholdt Transmissivitet. $Q = 100.000 \text{ m}^3/\text{år}$



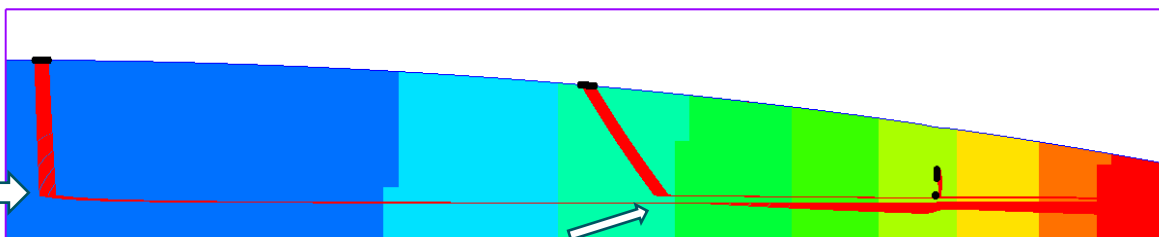
Basisscenarie



$K_{høj}$ i kote 12 til 10



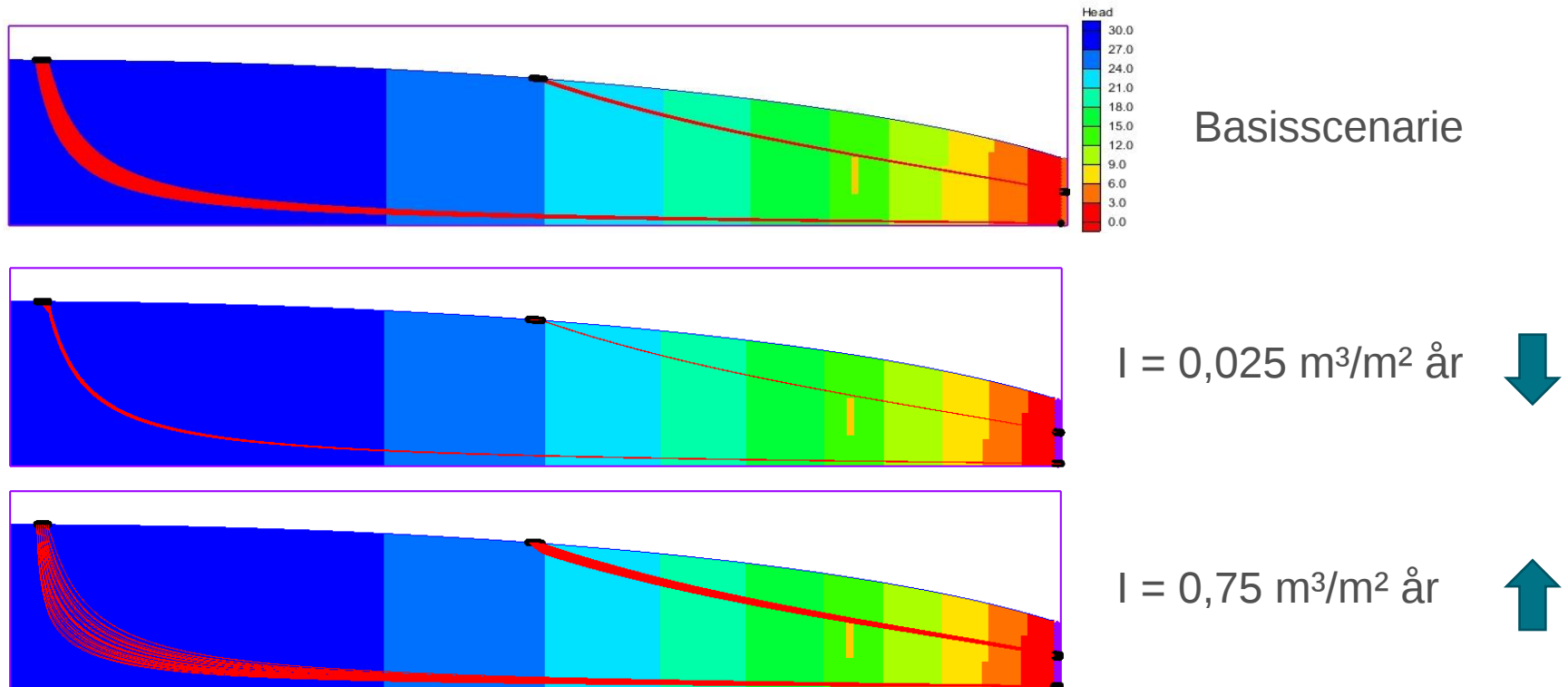
$K_{høj}$ i kote 4 til 2



$K_{høj}$ i kote -8 til -10

Resultater fra kørsler 7

Betydning af ændring i infiltration i kildeområdet



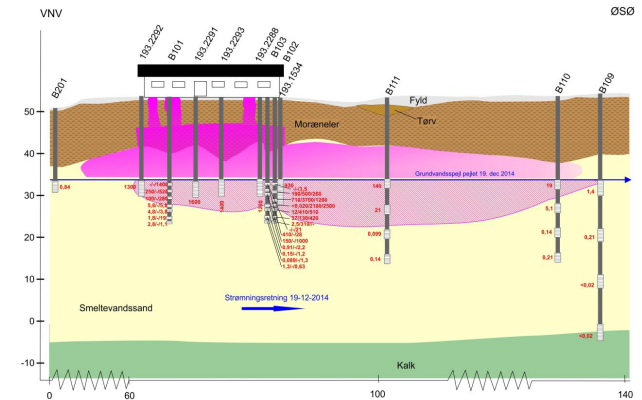
Andre ting testet i modellen

(læs selv 😊)

- Længden af domænet
 - Lille effekt på partikelbanerne
- Placering af højpermeabel zone over hele højden i en del af strømningsregimet
 - Giver en lidt mere lodret strømning opstrøms zonen
- Reduktion af udstrømningshøjden ved havet
 - Har en mindre indflydelse på partikelbanerne for den nedstrøms kilde
- Indvindingsboringens vertikale placering (dybere placering)
 - Har en meget begrænset effekt på strømningsretningen omkring kilderne
- Afsnøring af højpermeable lag – ser ud til at have en drastisk påvirkning, men skal undersøges nærmere.
- Introduktion af barriere – effekt!
- Læs mere i rapporten – indsendes til miljøstyrelsen forår 2019

”Tekstbogs eksempel” Birkerød Industrikrater

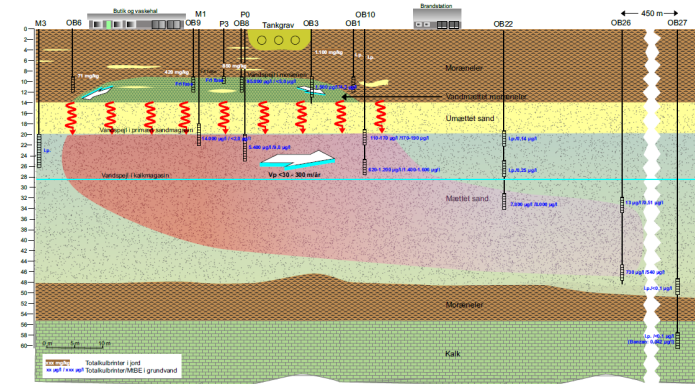
- Vandskel  midt ml. vandskel og recipient
- K – hydraulisk ledningsevne   slugtest viser højere K i dybden men kan ikke ses i prøverne felten
- Anisotropi/isotropi - tilstedeværelse af inhomogeniteter i K over dybden
- Q – indvinding/Oppumpning i systemet
- Betydning af højpermeable lag
- Infiltrationen
- Barriere  ingen barrierer i strømningsretningen nedstrøms



Fanen med TCE dykker kun lidt, måske 7-8 m på 100 m – som forventet ☺

Case: Birkerød Kongevej 158

- Vandskel  midt ml. vandskel og nærmeste recipient
- K – hydraulisk ledningsevne  K er væsentlig større i bunden af magasinet end i toppen
- Anisotropi/isotropi - tilstedeværelse af inhomogeniteter i K over dybden
- Q – indvinding/Oppumpning i systemet
- Betydning af højpermeable lag
- Infiltrationen
- Barriere  tydelig barriere (ML) der blokerer store dele af vandtransporten

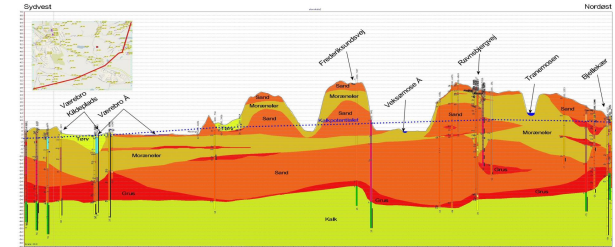


Fanen med MTBE dykker 14 m på ca. 85 m ned til umiddelbart over moræneleren

 Sandsynligvis primært barrieren der kan forklare den dykkende fane og i mindre omfang stigende K over dybden

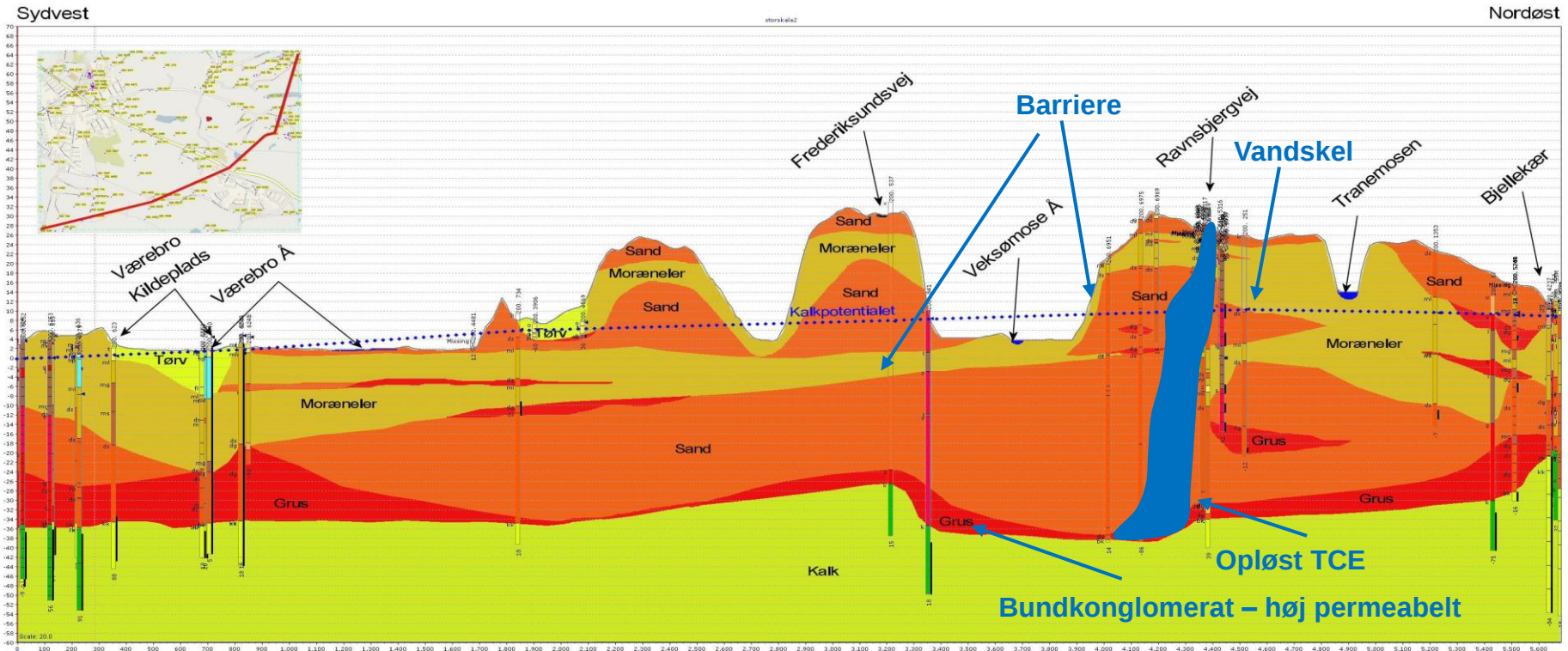
Ravnsbjergvej 1 - Veksø

- Vandskel ✓
- K – hydraulisk ledningsevne ✓
- Anisotropi/isotropi - tilstedeværelse af inhomogeniteter i K over dybden ✗
- Q – indvinding/Oppumpning i systemet ✓
- Betydning af højpermeable lag ✓
- Infiltrationen
- Barriere (gennemgående ML lag) ✓



Fanen med TCE dykker 40 m på ca. 50 m ned til umiddelbart over kalken

Ravnsbjergvej 1 - Veksø

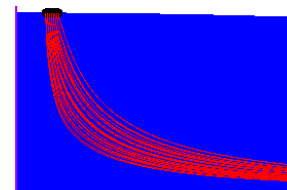
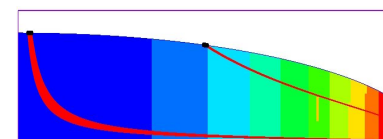
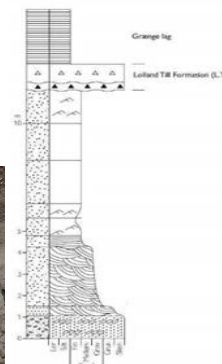


Fanen med TCE dykker 40 m på ca. 50 m ned til umiddelbart over kalken

- Vi er tæt på vandskel ✓
- Der er en barriere for dele af vandtransporten 300 m nedstrøms ✓
- Vi har et højpermeabelt bundkonglomerat ✓

Konklusion

- **Dykkende faner** observeret i en række cases - kræver dybe boringer for at følge fanen
- Det er vigtigt at tilegne sig stor viden om vores **sandmagasiner** – de er ikke homogene!
- Baseret på vurderinger af mekanismer i modellering er ting, der påvirker partikelbanerne følgende:
- **K** – Den hydraulisk ledningsevne er meget vigtig (vand vil løbe hvor K er størst)
- **vandskellet** (placeringen af kilden meget vigtig)
- Betydning af **højpermeable lag!** fanen kan dykke selvom "gruslaget" er dybt nede (motorvej/sugerør)
- Øget **infiltration** i kildeområdet (fx faskiner) giver mere vertikal spredning.
- Projektet har testet **andre parametre** som viste at have lille eller meget begrænset betydning herunder Q indvinding og anisotropi.
- Dykkende faner i dybe sandmagasiner – en overset trussel? – kræver fremadrettet planlægning



- Orbicons bud er, at der ligger nogle undersøgelser i skufferne, hvor tingene kan være "stukket" af. Typiske situationer kunne være:
 - ❑ MTBE/Benzen i reduceret miljø, hvor lave koncentrationer i toppen af magasinet er tolket som nedbrydning.
 - ❑ Chlorerede forbindelser, hvor der ikke er en stærk konceptuel forståelse af spildtidspunkt og hydraulikken, dvs. en kort udbredelse i toppen af magasinet er tolket ved at stoffet ikke er kommet så langt endnu.
 - Dykkende faner observeret i en række cases - kræver dybe borer for at følge fanen
 - Mest sandsynlige geologiske scenarie er "fining upwards", med et grovere bundkonglomerat
- Baseret på vurderinger af mekanismer i modellering er ting, der påvirker partikelbanerne følgende:
- Placering af kilden ift. vandskellet – meget vigtig
 - Tilstedeværelse af højpermeable lag i lagfølgen, ved en faktor 100 er betydningen meget vigtig, men allerede ved en faktor 10 betyder lagene noget for partikelbanen.
 - Øget infiltration i kildeområdet (fx faskiner) giver mere vertikal spredning.
 - Anisotropi (K_v/K_h) er af mindre betydning.
 - Nedstrøms indvinding (størrelse og dybde for indtag) har en begrænset indflydelse

Fremadrettet= Planlægning inden afgrænsende undersøgelse:

- Tjek placering af kilde på oplandsskala – tæt eller langt fra vandskel – tæt på så:
- Kig i oplandet for dybe borer med gode geologiske beskrivelser, er der fining upwards ?
- HUSK fanen kan dykke selvom "gruslaget" er langt nede (motorvej/sugerør)

Udførsel:

- Dybe borer, gerne helt til bund af sandlag. Tag prøver til kornstørrelse ned igennem profilet. Billigt og nemt som indikator på K_h .
- Lav evt. slugtest for at se en relativ fordeling.?
- Hvis der skal afværgepumpes, injiceres mm. så lav en rigtig god boring til pumpeforsøget med dybt filter og så mange observations filtre i afstand og dybde som muligt.