

# NOTAT

Dato 2011-03-22

Projekt **Hydrostratigrafisk model for Beder-Østerby området**  
Kunde **Aarhus Kommune**  
Notat nr. **1**  
Dato **2011-08-17**  
Til **Charlotte Agnes Bamberg**  
Fra **Theis Raaschou Andersen & Jette Sørensen**

Rambøll  
Olof Palmes Allé 22  
DK-8200 Aarhus N

T +45 8944 7700  
F +45 8944 7625  
www.ramboll.dk

## 1. Indledning

Rambøll er af Aarhus kommune blevet anmodet om at opstille en dynamisk hydrostratigrafisk model for Beder-Østerby området, hvori nye samt eksisterende data og viden indgår.

Modellen er opstillet i GeoScene3D for et ca. 170 km<sup>2</sup> stort område syd for Aarhus – se Figur 1.1.

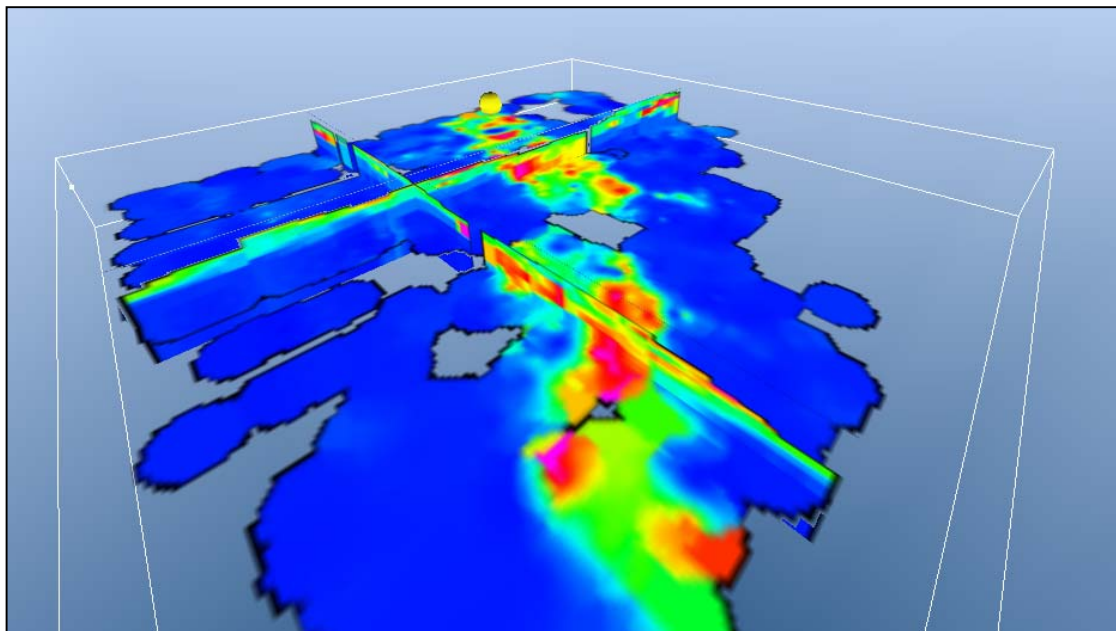


Figur 1.1: Modelområde for den hydrostratigrafiske model for Beder-Østerby området.

## 2. Formål og baggrund

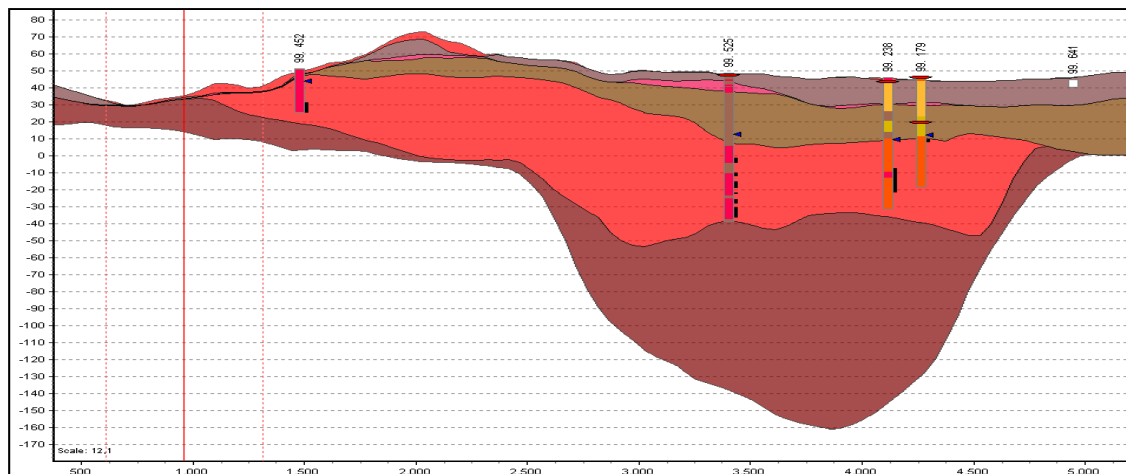
Formålet med opstillingen af den hydrostratigrafiske model er at danne input til en for området samlet dynamisk hydrostratigrafisk model, således at interessenter og Aarhus kommunes ansatte kan arbejde ud fra samme platform. Når ny viden opnås, er der meningen at modellen opdateres således at den fælles platform altid er up to date.

Tidligere undersøgelser har vist, at området er præget af et begravet dalsystem med en NV-SØ orientering under Tranbjerg, Mårslet og Beder /1/ /2/. Tilstedeværelsen af Beder – Mårslet - Stillingdalen erkendes tydeligt i TEM målingerne for området, idet der er stor modstandskontrast mellem dalens indfyldning af sand og de lerede aflejringer, som dalen er skåret ned i (se figur 2.1). Langs Beder – Mårslet - Stillingdalen er der fundet flere mindre dale med en overordnet NØ-SV orientering /1/. Alle dalene er eroderet ned i en varierende tertiær lagserie bestående hovedsagligt af Palæogent ler samt enkelte mindre områder med Miocæne aflejringer.



**Figur 2.1:** 3D visualisering af de målte resistiviteter i Beder-Østerby området. Beder – Mårslet - Stillingdalen erkendes tydeligt i data som den højrresistive (rødlige og grønne farver) langstrakte udbredelse i et ellers lavresistivt område (blålige farver).

På profilet i figur 2.2 ses et tværsnit af den formodede begravede Beder – Mårslet - Stilling dal i Beder-Østerby området. Nederst i dalen ses det nedre dalfyld som overlejres af det primære sandlag, hvori borerne på profilet er filtersat i. Herover følger det nedre dæklag med varierende tykkelse, et tyndt sekundært sandlag, det øvre dæklag og øverst i lagserien spredte forekomster af sand.



Figur 2.2: Geologisk tværsnit gennem Beder – Mårslet - Stillingdalen.

## 2.1 Software

Modellen er opstillet i GeoScene3D, som i tolkningsperioden løbende er blevet udviklet. Flere officielle versioner af programmet er derfor blevet anvendt. Modellen er afsluttet i version 8.2.0.321.

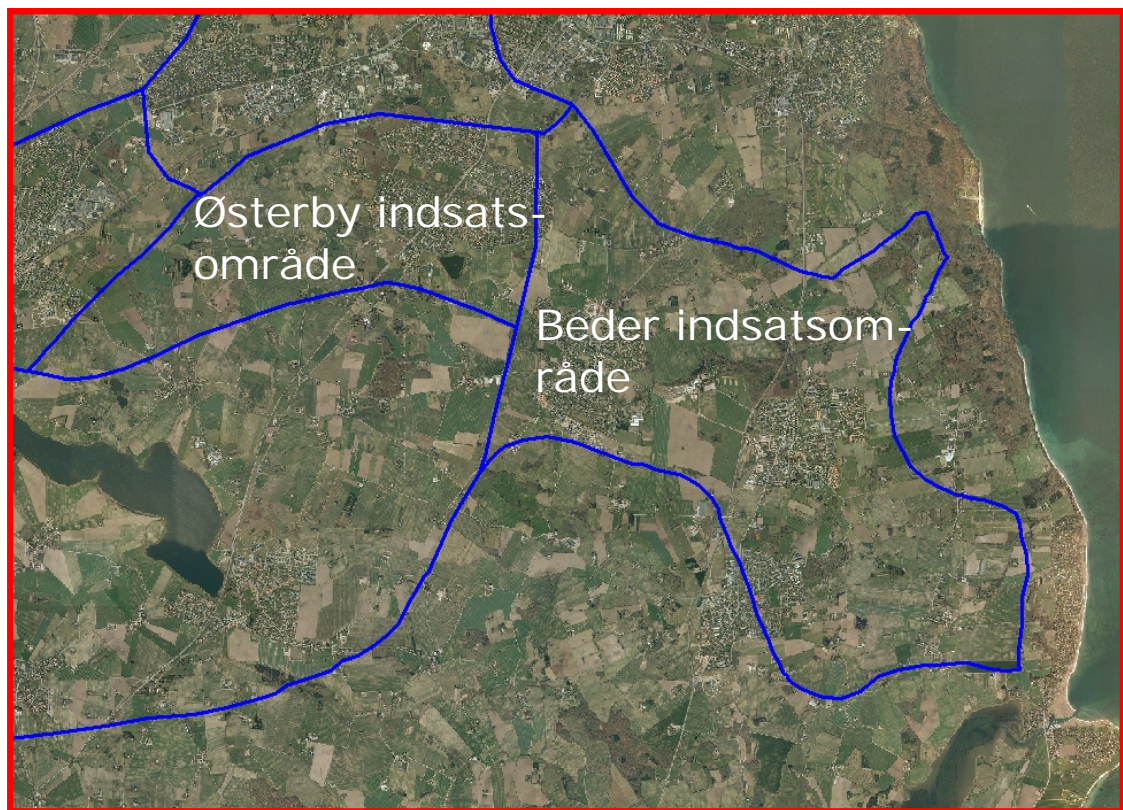
## 2.2 Modelparametre

### 2.2.1 Koordinatsystem

Det anvendte koordinatsystem er EUREF89 (UTM zone 32N), og DVR90 er benyttet som højdesystem.

### 2.2.2 Modelområde

Tolkningsarbejdet er udført indenfor en modelrand, hvis geografiske placering og størrelse er fastlagt i samarbejde med Aarhus Kommune ( $X_{min}=564300$ ,  $Y_{min}=6208100$ ,  $X_{max}=579700$  og  $Y_{max}=6219200$ ). Modelranden er afgrænset af Aarhus by mod nord og Aarhus bugt mod øst. På kortet i figur 2.3 ses scene extent samt de eksisterende OSD områder.



Figur 2.3: Oversigt over modelområdet (markeret med rødt) samt de to indsatsområder (markeret med blå).

## 2.3 Datagrundlag

Der er ved opstillingen af den hydrostratigrafiske model anvendt nye databaser for henholdsvis boringer og geofysik. Databaserne er stillet til rådighed af Aarhus Kommune.

### 2.3.1 Boredatabaser

Jupiter databasen blev downloadet d. 11. november 2010 fra GEUS' s hjemmeside af Aarhus Kommune.

Der er udført tematiseringer i forhold til boreddybder og boringer med redoxgrænser. Disse tematiseringer er blevet anvendt i forbindelse med profillægningen samt i selve modelleringen.

En oversigt over de anvendte boringer kan ses i figur 2.4.



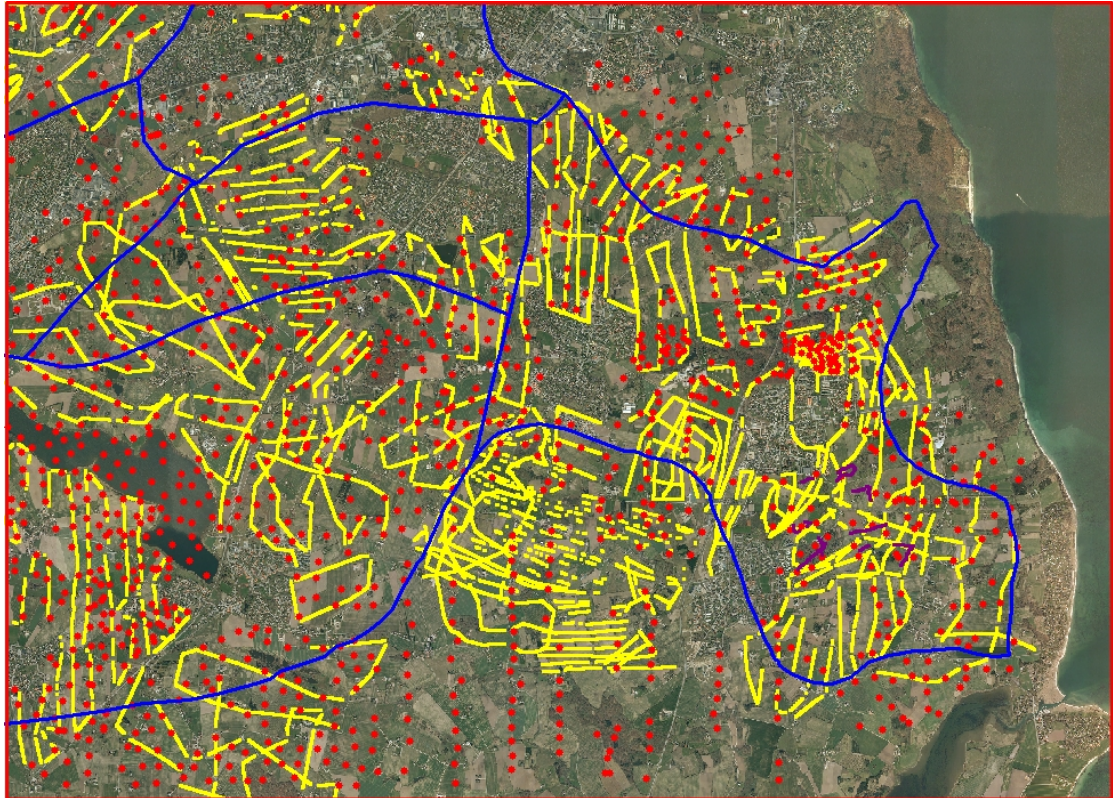
Figur 2.4: Oversigt over anvendte boringer (markeret med røde cirkler) brugt i tolkningsarbejdet.

### 2.3.2 Geofysik-databaser

Gerda databasen blev downloadet fra GEUS' hjemmeside i slutningen af oktober måned, 2010. Fra databasen er PACEP, PACES, TEM og SkyTEM (få-lagsmodeller) blevet indlæst i modellen. Ud fra TEM data er der fremstillet middelmotstandskort samt 3D-grids, som ligeledes er indlæst. Geofysiksarbejdets standarder for præsentation er anvendt.

Anvendelsen, begrænsningerne og mulige tolkninger af de geofysiske data som er anvendt i modelopbygningen er aftalt med Aarhus kommune.

I figur 2.5 ses en oversigt over de anvendte geofysikdata.



Figur 2.5: Oversigt over anvendte geofysikdata. PACES og PACEP linjerne er markeret med gult, TEM målingerne er markeret med røde prikker og SkyTEM linjerne med blå.

### 2.3.3 Jordartskort og andre basiskort

Jordartskort, topografi, drænoplysninger, jordklassificeringskort, mv. er indlæst digitalt i GeoScene3D, og er aktivt brugt ved tolkningsarbejdet og i den efterfølgende kvalitetssikring.

### 2.3.4 Begravede dale

GIS-temaer over begravede dale i Danmark /1/ er indlæst digitalt i GeoScene3D projektet.

## 2.4 Geologiske profiler

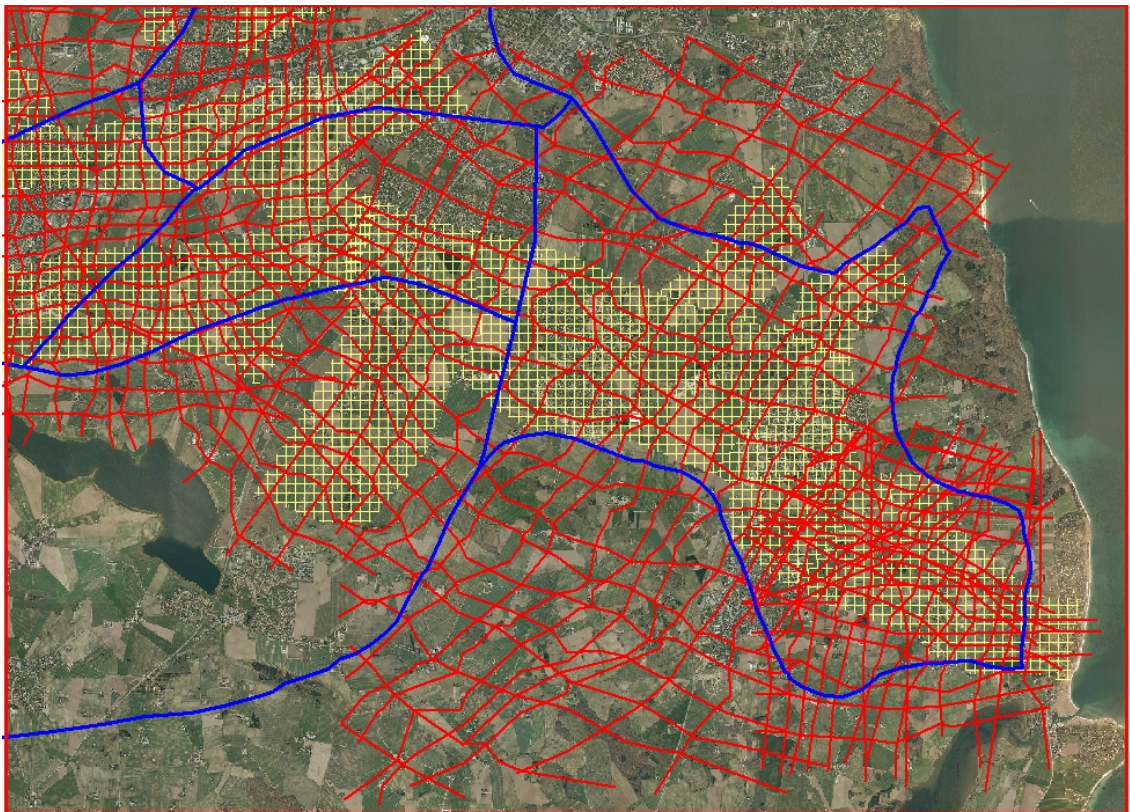
Der er i forbindelse med opstillingen af den hydrostratigrafiske model optegnet i alt 118 profiler i områderne. En oversigt over profilerne kan ses figur 2.6.

Profillægningen har primært været fra SV mod NØ samt NV mod SØ. Retningerne er valgt, for at have profiler på tværs samt på langs af de forventede begravede dalstrukturer. Profilerens udbredelse er valgt således at det meste af data er repræsenteret i profilerne. Det er

sikret, at hovedparten af alle boreriger med en dybde over 15 m er medtaget på mindst ét profil og dybere boreriger som udgangspunkt er placeret på krydsene profiler.

Områdets Sydøstlige hjørne blev valgt som testområde, hvorved densiteten af profiler er større her med en typisk afstand på 100-300 m mellem profilerne. I det resterende område er den indbyrdes afstand mellem profilerne på ca. 400-600 m. Lokalt er der optegnet yderligere, korte profiler dels med henblik på at inddrage data, som ikke blev medtaget af den primære profillægning, og dels med henblik på at danne grundlag for at kunne tolke i data-svage områder.

Alle profiler er tolket ud fra data, som er projiceret ind fra en bufferzone på 100 m.



Figur 2.6: Oversigt over tolkningsprofiler markeret med røde streger. De begravede dales udbredelse er vist gul skravering /1/.

## 2.5 Tolkning

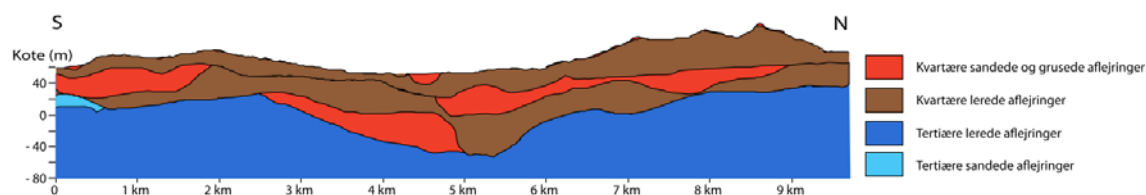
Efter aftale med Aarhus kommune indeholder den hydrostratigrafiske model otte laggrænser (incl. terrænoverfladen) og i alt seks lag. En oversigt over den hydrostratigrafiske lagserie kan ses i tabel 1.

I principskitzen i figur 2.7 ses en oversigt over lagseriens udbredelse og tykkelse set fra S mod N i den sydøstlige del af modelområdet. Nederst i profilet ses det plastiske palæogene ler, hvis grænse udgør modellens bund, og herover følger en kvartær lagserie som på de højere liggende plateauer har mægtigheder op mod 30-50 m, mens tykkelsen i de begravede dale kan være op til 200 m.

Lag
Terrænnært sand
Øvre dæklag
Sekundært sand
Nedre dæklag
Primært sandlag
Nedre dalfyld

**Tabel 1: Oversigt over den hydrostratigrafiske lagserie.**

En nærmere beskrivelse af resultaterne af den hydrostratigrafiske model kan ses i afsnit 3.



**Figur 2.7: Principskitse af områdets geologiske opbygning.**

Tolkningen af de enkelte lag er startet i områder, hvori laget har kunnet modelleres med stor sikkerhed. Herefter er modelleringen fortsat ud på de omkringliggende mindre "sikre" områder. Der er udelukkende tolket på faste profiler. For at sandsynliggøre eller afvise sammenhænge imellem magasiner, er filtre, hvorfra der foreligger pejledata, eller hvor vandtyperne er bestemt, inddraget som et vigtigt led i tolkningen.

Tolkningen af laggrænserne i modellen er foregået i en række overordnede trin, som beskrives i det følgende.

### 2.5.1 Bund model

Da modellen er en hydrostratigrafisk model er bund model tolket som den nederste impermeable grænse i modellen. Grænsen skal derfor ikke ses som grænsen mellem kvartære og prækvartære aflejringer. Bunden af modellen er tolket først, og primært på baggrund af koten til den dybe gode leder fra TEM tolkningerne samt de dybe borer i området.

### 2.5.2 Bund primært sandlag til bund terrænnært sand

De øverste lag er primært blevet tolket ud fra boredata samt PACES og PACEP målinger. De nederste lag er hovedsagligt tolket ud fra TEM og SkyTEM data, og i mindre grad fra de få dybe borer i området.

Data er prioriteret således at borer vægtes højest, herefter PACES målinger samt TEM og SkyTEM sonderinger og sidst PACEP målingerne.



Der er endvidere valgt en konservativ tilgang til tolkningen. Dette betyder, at der er tolket sand de steder hvor dette er muligt. Modellen repræsenterer herved den størst mulige udbredelse af sand i området.

## 2.6 Interpolation og validering

Det er valgt ikke at anvende GeoScene3D's egne interpolationsfunktioner, men i stedet at eksportere tolkningspunkterne lagvis til SURFER (version 8). Her kan interpolationen af højdemodellen og laggrænserne bedre kontrolleres. Alle laggrænser er interpoleret med ens gridgeometri og en cellestørrelse på 50m x 50m.

Interpolationen er udført med Natural Neighbor med en søgeradius på 500 m. Efter interpolation er der foretaget en matematisk validering af laggrænserne i SURFER for at undgå krydsende laggrænser. Terrænnært sand er valideret i forhold til terræn, mens de øvrige underliggende laggrænser er valideret imod overliggende lag.

Efter interpolation og validering er alle lag importeret til GeoScene3D, og de interpolerede laggrænser er kontrolleret på alle tolkningsprofiler af Aarhus kommune i samarbejde med Rambøll. Justeringer af fejl og uhensigtsmæssig interpolation er udført ved flytning eller indsætning af supplerende tolkningspunkter. Herefter er tolkningspunkterne igen eksporteret, interpoleret og valideret, importeret til GeoScene3D og kontrolleret igen. Processen er gentaget indtil et tilfredsstillende resultat blev opnået.

De validerede laggrænser er til sidst benyttet til beregning af lagtykkelser i SURFER.

## 2.7 Kvalitetssikring

Kvalitetssikringen af modellen er sket ved modellens afslutning. Profilerne er gennemgået og diskuteret i et tæt samarbejde mellem Aarhus Kommune og modelløren. Eventuelle fejl-tolkninger er blevet gentolket, hvis nødvendigt, og efterfølgende godkendt af Aarhus Kommune. For nærmere information om kvalitetssikringen af modellen henvises til Aarhus Kommune.

## 3. Hydrostratigrafisk lagserie

I det følgende gives en kort beskrivelse af de enkelte hydrostratigrafiske lag. Da modellen er opstillet med gennemgående lag, kan der være en vis usikkerhed på laggrænserne de steder hvor de ligger tæt og alle lagtykkelser under 5 m er derfor blanket af. Det skal bemærkes at der langs modelrandene kan forekomme misvisende interpolationer. Dette er især udtalt i modellens sydvestlige hjørne.

### 3.1 Terrænnært sand

Det terrænnære sand er fundet sporadisk flere steder i området. Laget har en forholdsvis begrænset tykkelse i det meste af området, se figur 3.1. Enkelte steder, specielt i områdets nordøstlige del ses dog tykkelser på op mod 30 m. Sandet ligger de fleste steder i området over grundvandsspejlet, og er derfor tørt en stor del af året. I den ellers meget lerede overflade i Beder-Østerby området kan sandet dog have stor betydning for nedsivning af grundvand til dybere liggende magasiner.

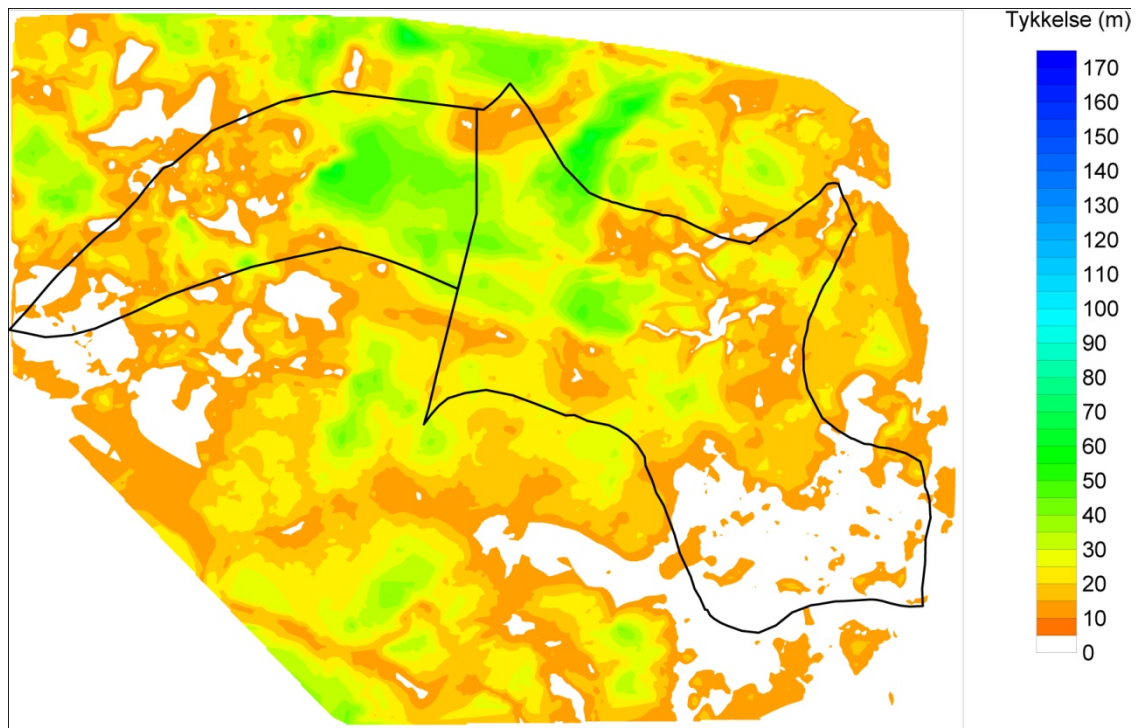


Figur 3.1: Tykkelse af terrænnært sand. OSD områderne er markeret med de sorte linjer.

### 3.2

#### Øvre dæklag

Det øvre dæklag ses i det meste af området mellem kote +10 og -90 m. Laget udgøres overvejende af moræneler, men smeltevandsler ses også flere steder. Den største udbredelse ses mod nord i de begravede dale med tykkelser op til 60 m, figur 3.2. Med undtagelse af områdets sydøstlige del, hvor laget helt mangler, ses en jævn udbredelse af laget med tykkelser mellem 15 og 30 m. Laget udgør sammen med det nedre dæklag den primære beskyttelse af grundvandsressourcerne for området.



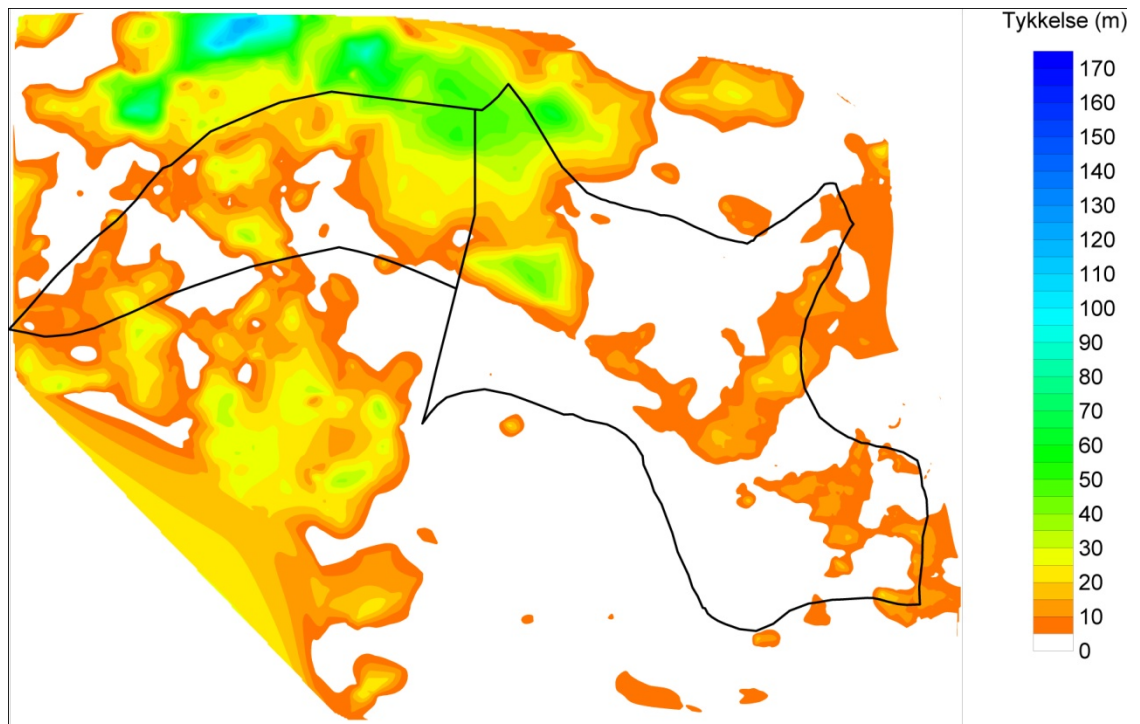
Figur 3.2: Tykkelse af øvre dæklag. OSD områderne er markeret med de sorte linjer.

### 3.3 Sekundært sandlag

Sandlaget findes i det meste af det nordlige og vestlige modelområde, se figur 3.3. Bunden af laget ligger typisk mellem kote 0 og -60 m. Laget mangler eller er meget tyndt på plateauet mellem Mårslet og Malling.

På kortet over lagets tykkelse, som ses i figur 3.3, fremgår det, at laget opnår tykkelser helt op mod 100 m i områdets nordlige del, hvor det ligger i en begravet dal løbene øst - vest syd for Aarhus. Ellers er tykkelsen overvejende begrænset til under 20 m. Det sekundære sandlag har flere steder kontakt til det underliggende primære sandlag som er beliggende i dalen, og grundet lagets store udbredelse på især plateauerne kan dette udgøre en potentiel risiko for hydraulisk kontakt mellem de to magasiner.

Sandlaget er filtersat flere steder, men generelt indvendes der ikke meget fra magasinet grundet den ofte ringe beskyttelse.



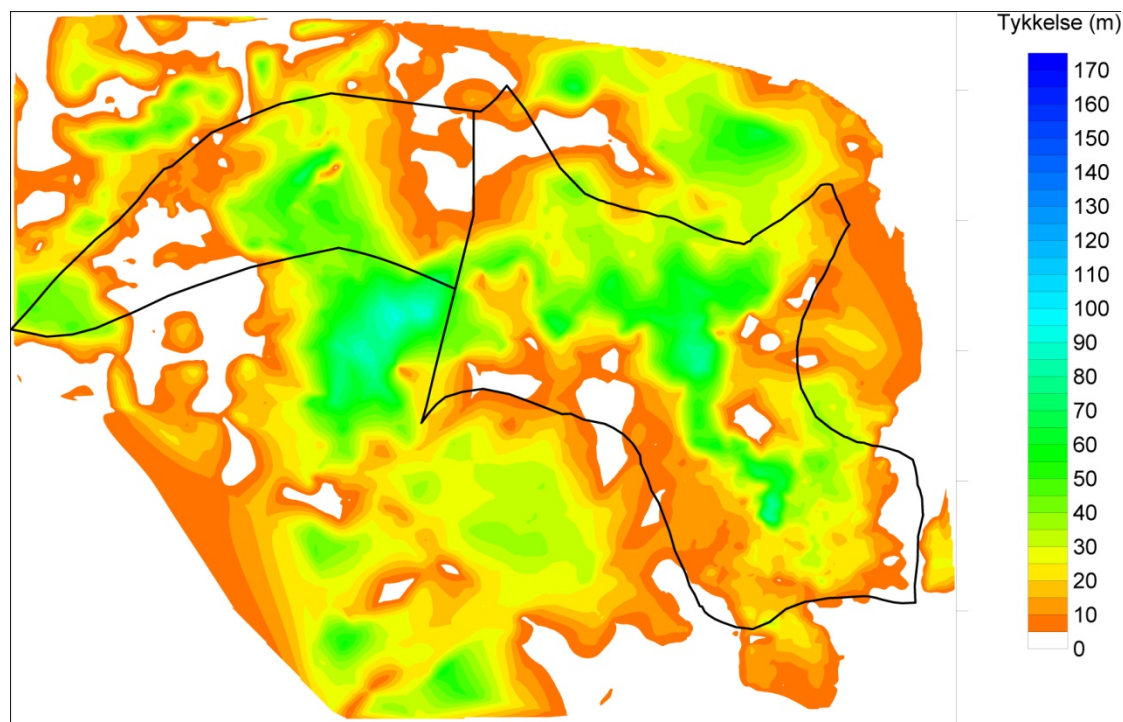
Figur 3.3: Tykkelse af sekundært sandlag. OSD områderne er markeret med de sorte linjer.

### 3.4

#### Nedre dæklag

Dette lerlag ses udbredt i det meste af området og specielt i de begravede dale, hvor bunden af laget når ned under kote -50 m. Uden for de begravede dale ligger lagets bund typisk mellem kote -20 og +20 m.

På kortet over lagets tykkelse i figur 3.4 kan det ses, at laget stedvist bliver meget tykt i de begravede dale, og her når tykkelser på op mod 60-80 m. Det Nedre dæklag udgøres primært af moræneler, men smeltevandsler og silt ses også flere steder, og udgør sammen med det øvre dæklag den primære beskyttelse af grundvandsressourcen.



Figur 3.4: Tykkelse af Nedre dæklag. OSD områderne er markeret med de sorte linjer.

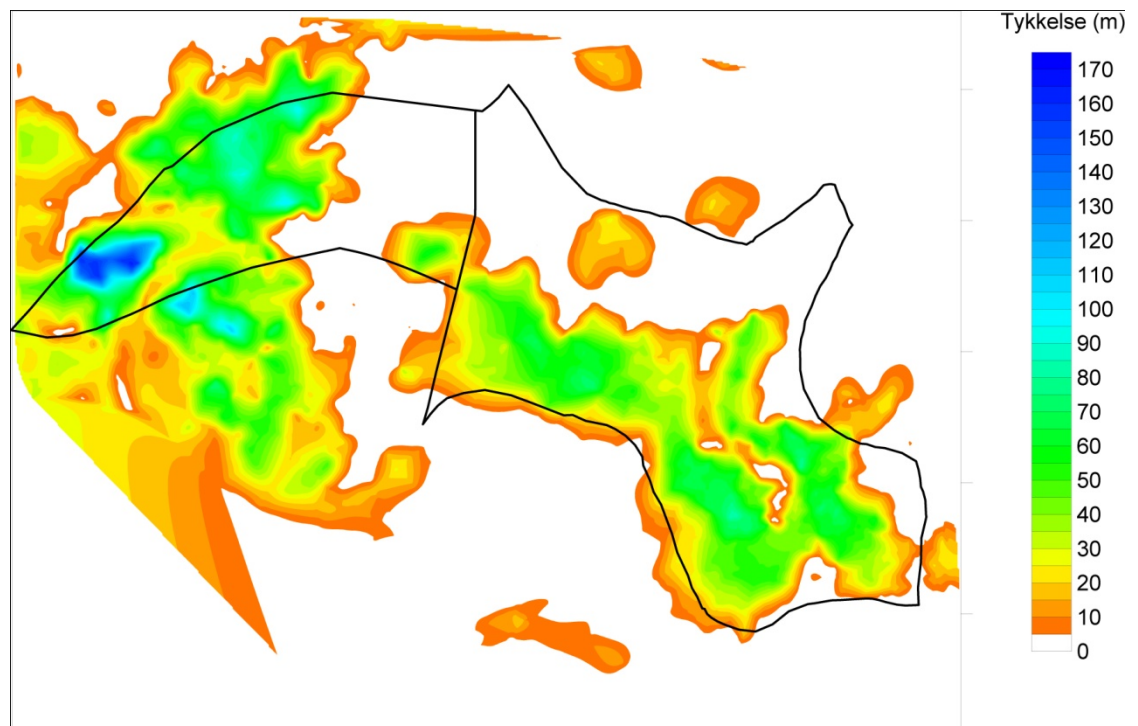
### 3.5 Primært sandlag

Det nedre sandlag udgør det vigtigste grundvandsmagasin for området, og er derfor filtersat i mange borer, specielt omkring Beder by. Der indvindes også fra dette magasin ved Tranbjerg, Mårslet, Malling og Østerby.

Sandet er primært placeret i Beder – Mårslet - Stillingdalen, men flere steder langs dalflankerne ses laget også at være beliggende på plateauerne, hvorved laget i flere tilfælde kommer i direkte kontakt til overliggende sandlag eller er beliggende under tynde dæklag med en dårlig beskyttelse til følge, se figur 3.5. Endvidere ses laget at tynde ud, og delvist forsvinde i den nordvestlige samt sydøstlige del af Beder – Mårslet - Stillingdalen.

Uden for de begravede dale er det primære sandlag beliggende i ca. kote +10 til -40 m, mens bunden af laget i de begravede dale er beliggende fra ca. kote -40 til under kote -60 m. Laget mangler helt i det nordøstlige og sydvestlige modelområde, hvorimod det i Beder - Mårslet - Stillingdalen når mægtigheder op på over 130 m. Laget repræsenterer derfor et forholdsvis tykt grundvandsmagasin i de begravede dale.

Magasinet udgøres af sandede smeltevandsaflejringer. Der er indikationer på, at dele af det primære sandlag muligvis er afskilt fra hinanden ved bla. Beder by, da der er observeret varierende trykniveauer på tværs af sandlaget. Denne variation kan skyldtes den mulige tilstedeværelse af en begravet lerfyldt dal som kan anes i flere profiler. Dalen er dog dårligt belyst i data.



Figur 3.5: Tykkelse af Primært sandlag. OSD områderne er markeret med de sorte linjer.

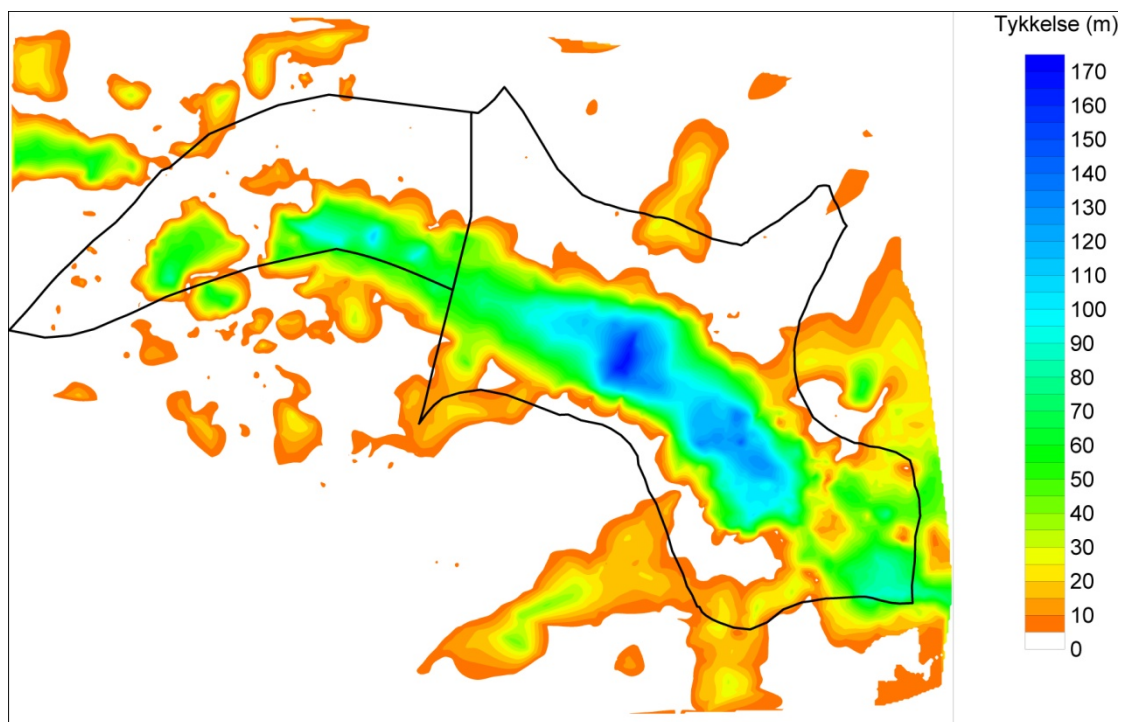
### 3.6 Nedre dalfyld

Det Nedre dalfyld er sammensat af såvel det nederste kvartære smeltevandsler og i mindre grad af moræneler. De to geologiske lagserier kan ikke adskilles på baggrund af de geofysiske data, og da de hydraulisk set er meget ens de er derfor slået sammen til ét hydrostratigrafisk lag.

Laget ses hovedsagligt i de begravede dale samt i den sydøstlige del af modelområdet, se figur 3.6. Dets bund er typisk beliggende fra ca. kote -40 til -120 m, men enkelte steder i den begravede dal er koten helt ned til ca. -200 m.

Uden for dalene er tykkelsen af laget forholdsvis begrænset med tykkelser omkring 30 m, hvorimod signifikante tykkelser op til 150 m ses i den centrale del af den begravede dal, se figur 3.6.

I de få borer, som gennemborer laget, beskrives det som vekslende smeltevandsler og morænelers aflejringer, der enkelte steder mellemljres af tynde sandlag.



Figur 3.6: Tykkelse af Nedre dalfyld. OSD områderne er markeret med de sorte linjer.

#### 4. Referencer

- /1/ Jørgensen, F. og Sandersen, P., 2009: Kortlægning af begravede dale i Danmark. Opdatering 2007-2009. De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland, GEUS, september 2009.
- /2/ Larsen, F. og Kjøller, C., 2000: Historien om Beder magasinet på en anden måde. ATV-møde om beskyttelse af grundvandsressourcen. D. 25. maj 2000.