

# Geologisk model ved Ølgod og Skovlund – eksempel på effektiviseret modellering i et heterogent geologisk miljø

Flemming Jørgensen, Rasmus Rønde Møller, Anne-Sophie Høyer  
& Anders Vest Christiansen

DE NATIONALE GEOLOGISKE UNDERSØGELSER  
FOR DANMARK OG GRØNLAND,  
KLIMA-, ENERGI- OG BYGNINGSMINISTERIET



**GEUS**

# Geologisk model ved Ølgod og Skovlund – eksempel på effektiviseret modellering i et heterogent geologisk miljø

Flemming Jørgensen, Rasmus Rønde Møller, Anne-Sophie Høyer  
& Anders Vest Christiansen



## Indholdsfortegnelse

<b>1.</b>	<b>Indledning</b>	<b>7</b>
<b>2.</b>	<b>Modelområde</b>	<b>9</b>
<b>3.</b>	<b>Eksisterende viden</b>	<b>11</b>
<b>4.</b>	<b>Datagrundlag</b>	<b>15</b>
4.1	Boringer .....	16
4.2	Geofysiske data .....	17
4.2.1	SkyTEM.....	18
4.2.2	Seismik.....	19
4.2.3	Øvrige data benyttet ved den geologiske modellering.....	19
<b>5.</b>	<b>Modelkoncept</b>	<b>21</b>
<b>6.</b>	<b>SSV-konceptet</b>	<b>25</b>
6.1	Videreudvikling til geologisk modellering .....	25
6.2	Oversigt over SSV-konceptet.....	26
6.3	Geofysik og jordarternes elektriske egenskaber. ....	29
6.4	Geofysik og boringer.....	29
6.5	Lerindhold vurderet fra boredata.....	30
<b>7.</b>	<b>Databehandling og -tolkning</b>	<b>31</b>
7.1	Boredata .....	31
7.1.1	Lithologi og fordeling .....	31
7.1.2	Boringsevaluering til SSV.....	32
7.2	SkyTEM .....	34
7.3	SSV-kørsler.....	40
7.3.1	Datagrundlag – boringer og geofysik .....	40
7.3.2	Modelopsætning.....	42
7.3.3	Fra SSV-kørsler til voxelmodel.....	43
7.3.4	Eksempler på SSV-kørsler .....	44
7.4	Seismik .....	46
7.5	Hydrologiske data .....	48
<b>8.</b>	<b>Konstruktion af geologisk model</b>	<b>51</b>
8.1	Konvertering af SSV griddet til et lithologisk grid .....	51
8.2	Modellering af lagflader.....	53
8.3	Indlejring af seismiske tolkninger i modellen .....	53
8.4	Manuel tilretning.....	54
8.5	Digital modelstruktur .....	56
<b>9.</b>	<b>Modelindhold - beskrivelse</b>	<b>59</b>
9.1	Prækvartæroverflade .....	59

9.2	Top Palæogen .....	60
9.3	Miocæn.....	61
9.4	Kvartæret.....	63
9.5	Lithologisk fordeling.....	64
<b>10.</b>	<b>Re-inverterede SkyTEM-data</b>	<b>69</b>
10.1	Re-inversion af SkyTEM og betydningen for den udarbejdede model .....	69
<b>11.</b>	<b>Udtræk af korttemaer</b>	<b>75</b>
11.1	Lertykkelseskort.....	75
11.2	Magasinkort .....	76
<b>12.</b>	<b>Fra geologisk model til grundvandsmodel</b>	<b>77</b>
<b>13.</b>	<b>Resume og konklusion</b>	<b>79</b>
<b>14.</b>	<b>Referencer</b>	<b>81</b>

## Liste over bilag

Bilag 1.	Boringsevaluering – liste over samtlige boringer .....
Bilag 2.	Notater, manuel gennemgang.....
Bilag 3.	Profilsnit gennem den lithologiske model.....
Bilag 4.	Horizontale snit gennem den lithologiske model.....
Bilag 5.	Lertykkelseskort .....
Bilag 6.	Magasintykkelseskort .....

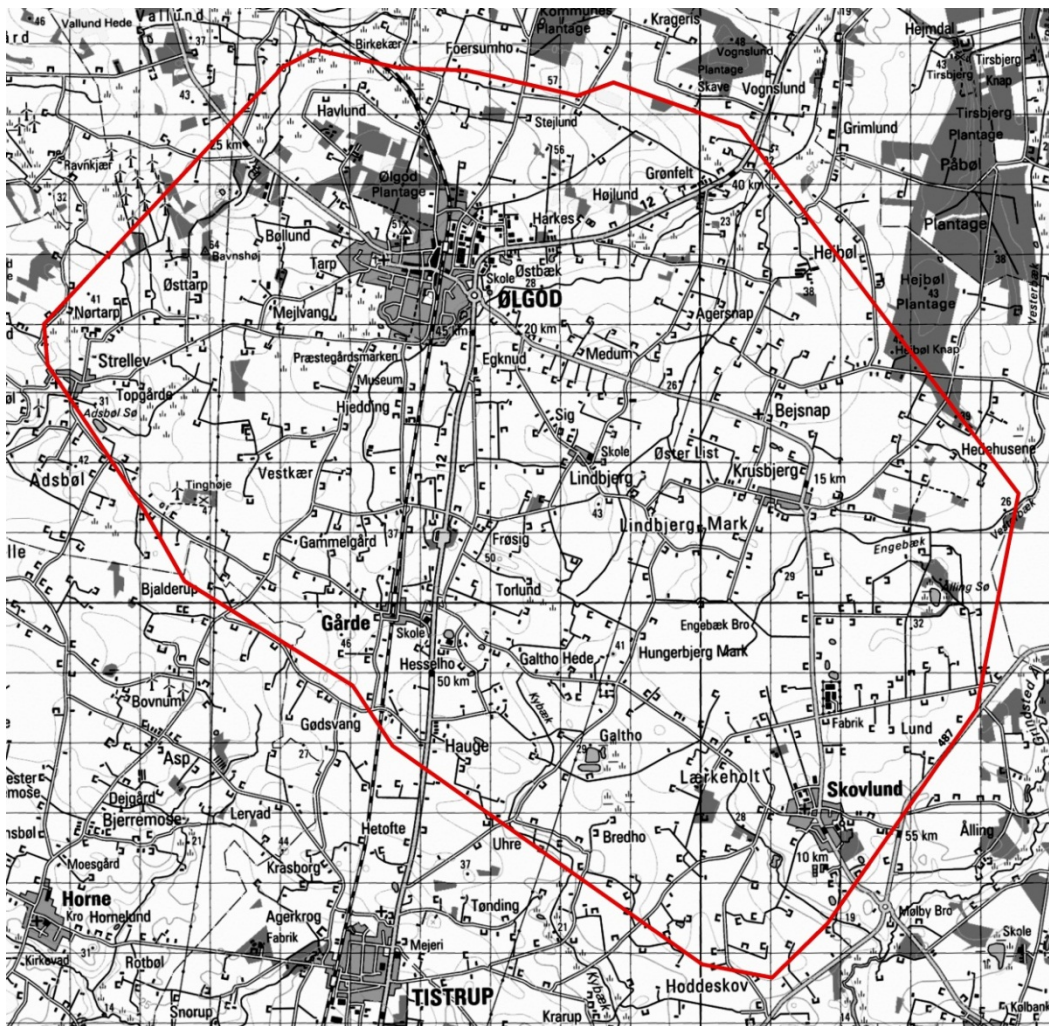


# 1. Indledning

Nærværende rapport beskriver et udviklingsprojekt gennemført i samarbejde mellem Naturstyrelsen Ribe og GEUS. Målet med projektet har været at udvikle og implementere innovative metoder til optimeret geologisk modellering i et område med kompleks geologi. Desuden har der været følgende delformål med opgaven:

1. At opstille en geologisk model baseret på eksisterende og nyindsamlet datamateriale, hvor der vha. en nyudviklet metode produceres en rumlig geologisk model, der er i stand til at beskrive geologiske variationer på en effektiviseret måde samtidig med at detaljeringsgraden bevares, og
2. at kvantificere grundvandsressurens størrelse og sårbarhed samt usikkerheden på disse, og at udpege indvindingsoplande til udvalgte kildepladser samt alder af indvundet vand.

Denne rapport omhandler delformål 1, opstillingen af en geologisk model. Projektområdet er området omkring Ølgod og Skovlund, se Figur 1.



Figur 1 Modelafgrænsning for Ølgod Skovlund geologisk model. Gridcellerne på kortet er 1 x 1 km.



Området udgør samtidigt undersøgelsesområdet for Geocenterprojektet "Kompleks". I regi af dette projekt er der indsamlet mange geofysiske data, især tætliggende SkyTEM-flyvelinjer og mange seismiske linjer. Formålet med Kompleks er hovedsageligt at undersøge nødvendigheden af at indsamle geofysiske data samt tætheden af denne indsamling. Området er udvalgt fordi borer og tidligere indsamlede TEM data viste en meget heterogen lagserie.

De nyindsamlede geofysiske data har bekræftet dette billede af geologien, og derfor ville det være en yderst omfattende opgave at opstille en traditionel, manuel 3D geologisk model over området. Med de i dag anvendte metoder for geologisk modellering (lagfladebaserede modeller) er det tvivlsomt, om det overhovedet vil kunne lade sig gøre at opstille en anvendelig model.

En mulighed kunne dog være at anvende voxelmodellering /20/. Naturstyrelsen Ribe har i samarbejde med GEUS ønsket at få modellen opstillet på en mere effektiv måde end det kan gøres ved manuel modellering. GEUS er i andre projekter i gang med at udvikle værktøjer til automatisering af den geologiske modelopstilling og har på denne baggrund ønsket at indgå nærværende samarbejdsprojekt med Naturstyrelsen. En af metoderne, der er blevet udviklet på, er SSV-konceptet, der oprindeligt er udviklet til estimering af lertykkelse. Konceptet er blevet videreudviklet til anvendelse i geologiske voxelmodeller, således at lerindhold estimeres i hver enkelt modelvoxel. Foreløbige tests blev udført i /20/, hvorefter konceptet er blevet yderligere udviklet i forbindelse med dette projekt.

Konceptet skal ses som et værktøj i den geologiske modelleringsproces. Værktøjet skal kunne forbedre det informationsgrundlag den, geologiske modellør baserer sine geologiske fortolkninger og dermed selve modelleringen på. Det er ikke hensigten, at konceptet skal kunne overtage den manuelle modelleringsproces, da det er vigtigt at forståelsen af den geologiske dannelseshistorie, og de geologiske dannelsesprocesser inddrages i det samlede tolkningsgrundlag. Konceptets output bør derfor anvendes som et forbedret grundlag for modelleringen og ikke som et endeligt modelresultat. Det er med dette for øje, at projektet er gennemført.

Det blev aftalt, at den geologiske model skulle omfatte et rumligt voxelgrid, hvori der for hver celle er defineret et forhold mellem sand og ler. For at frembringe dette, skulle SSV-konceptet videreudvikles og anvendes i modelleringsprocessen sammen med de indsamlede geofysiske data, boredata og den geologiske forståelse fra området.

Rapporten omfatter både resultaterne af den konkrete geologiske model for Ølgod-Skovlund-området, og en beskrivelse af den udvikling projektet har afstedkommet. Der er lagt vægt på at vise og beskrive de udviklede modelkoncepter og tolkningsteknikker.

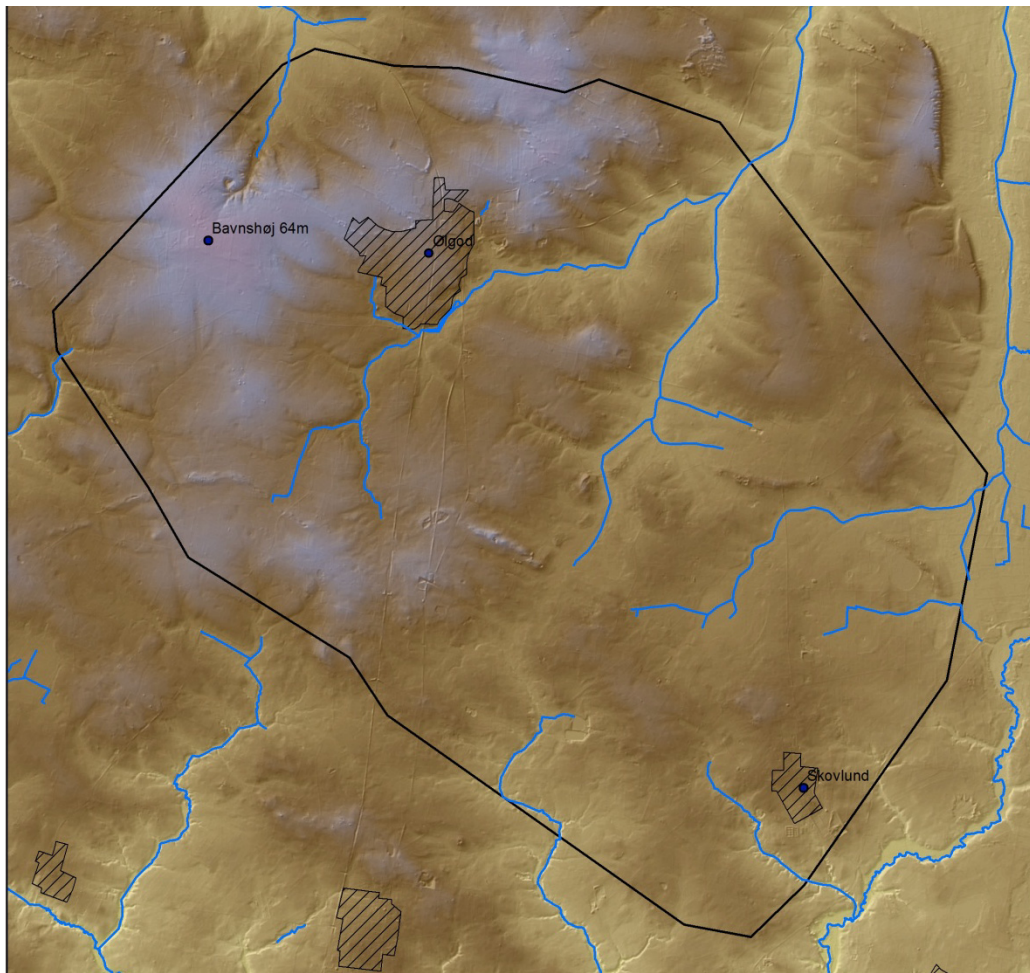
Rapporten er skrevet af Flemming Jørgensen, Rasmus Rønde Møller, Anne-Sophie Høyer og Anders Vest Christiansen, alle GEUS.

## 2. Modelområde

Modelområdet omfatter området mellem og omkring byerne Ølgod og Skovlund, se Figur 7. Modellens areal udgør ca. 150 km<sup>2</sup> og er bestemt af afgrænsningen af SkyTEM kortlægningerne. Desuden er afgrænsningen af grundvandsmodellen foretaget i samarbejde med de hydrologer, der udfører den numeriske grundvandsmodellering. Grundvandsmodellens område udgør et areal på i alt ca. 415 km<sup>2</sup>. Ved afgrænsningen af grundvandsmodellen er der lagt særlig vægt på, at grundvandsmodellen skal kunne beregne en velafstemt vandbalance. Afgrænsningen er baseret på GIS-temaer for vandløb og grundvandspotentiale.

### Området udgøres af et let kuperet bakkeølandskab (se

Figur 2) med det højeste punkt på 64 m.o.h. (Bavnshøj) i den nordvestligste del af modelområdet og de laveste dele mod sydøst (ca. 20 m.o.h.). Området udgør oplande for en række mindre vandløb. Den nordlige del af området afdræner til Skjern Å-systemet primært via Gundesbøl Å, mens den sydlige del afdræner til Varde Å.

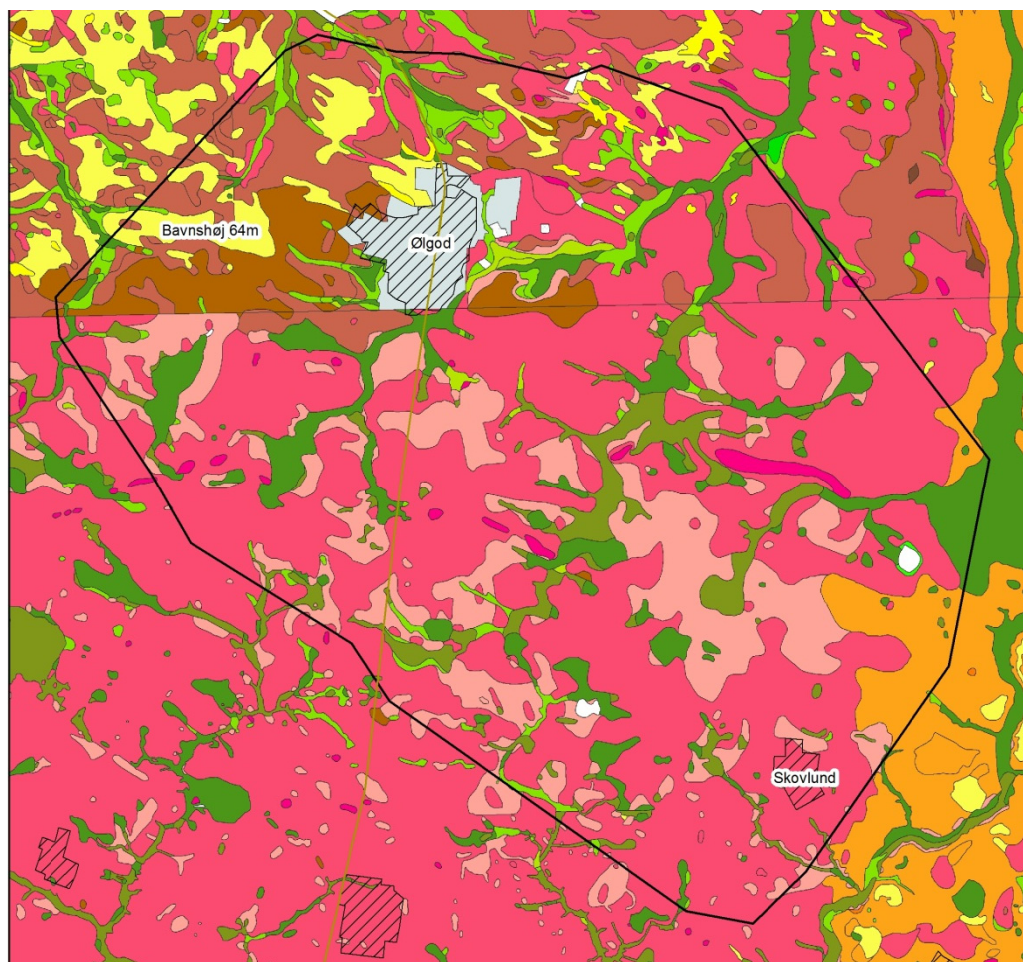


Figur 2 Laser højdemodel (COWI) i 1,6 meter horisontal opløsning med modelafgrænsningen vist med sort polygon og vandløb vist med blå. Koterne varierer fra mellem kote 19 og 65 m indenfor modelområdet. Violet farve er høje områder og gulbrun farve er lave.



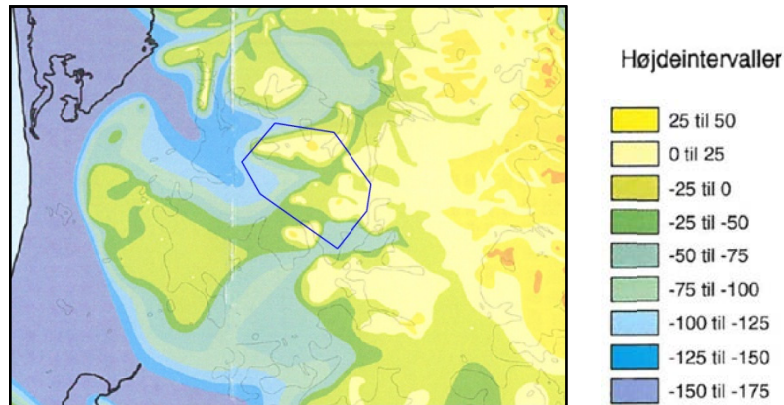
### 3. Eksisterende viden

Model-området ligger på Varde Bakkeø udenfor Weichsel-isens hovedopholdslinje i det vestligste Jylland /18/ og består således hovedsageligt af moræneaflejringer fra Saale istiden. I følge jordartskortet (Figur 3) består store dele af overfladen i den sydlige del af området af smeltevandssand. På det yngste kortblad som dækker den nordvestlige del /21/, ses dog store mængder af moræneler og -sand. På de ældre kortblade er moræneaflejringerne tolket og beskrevet som værende smeltevandsaflejringer – mest smeltevandssand. Disse forskelle ses tydeligt som en Ø-V-gående grænse gennem området. I øvrigt ses forekomster af flyvesand i den nordlige del samt gytje og tørv i dalene.



Figur 3 Jordartskort for modelområdet.

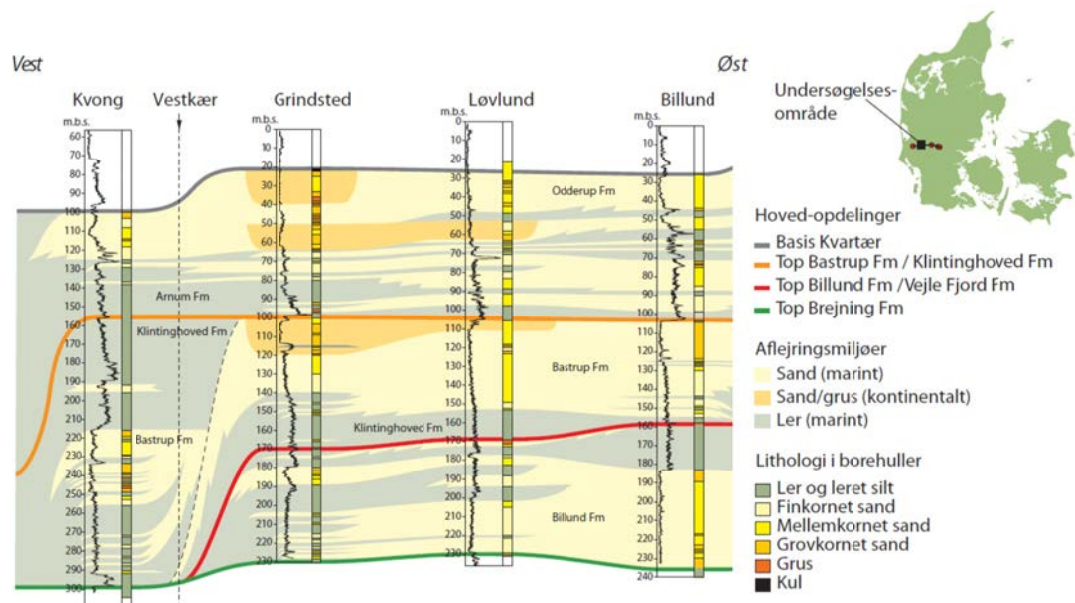
Prækvartæroverfladen for hele det danske område er kortlagt af Binzer og Stockmarr /10/. Ifølge denne kortlægning ligger Top Prækvartær i et niveau fra kote 0 til kote -125 meter i området (Figur 4).



**Figur 4: Prækvartæroverfladen i Ølgod-området. Fokusområdet i modelleringsprojektet er vist med en blå polygon.**

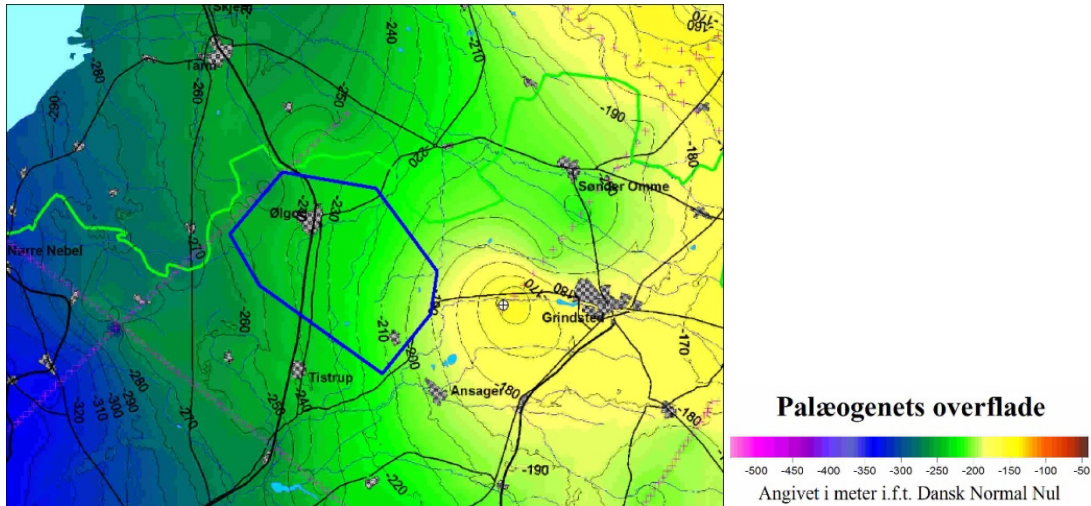
Ved Ølgod findes typelokaliteten (Østbæk Teglværksgrav) for Elster interstadialerne Ølgod I og Ølgod II /7/. På denne lokalitet findes meget gamle dislocerede is- og mellemistids-sedimenter af Menap, Cromer og Elster liggende helt ved terræn /9/. Istryksretningen er bestemt til at være fra en sydlig retning.

I Miocæn-projektet /5/ blev der lavet korrelationspaneler på baggrund af seismik-data og data fra udvalgte dybe borer. Et af disse paneler stryger forbi undersøgelsesområdet, og en modificeret udgave af panelet ses på Figur 5, hvor beliggenheden af undersøgelsesboringen ved Vestkær er markeret. Det fremgår, at der sker betydelige ændringer imellem Grindsted og Kvong borerne – blandt andet i kraft af en udkilning af Billund formationen.



**Figur 5 Modificeret figur fra /17/ der viser korrelationspanelet fra Miocæn-projektet, der løber forbi undersøgelsesområdet. Placeringen af undersøgelsesboringen ved Vestkær er vist med stiplede linje. De tolkede dybder til Top Billund og Top Bastrup er vist.**

Toppen af Palæogenet er tidligere kortlagt af Friborg og Thomsen /25/. I Figur 6 ses et udsnit af kortet fra denne kortlægning. Kortet angiver, at toppen af palæogenet befinder sig mellem kote -190 m og -255 m. I samme kortlægning er toppen af kalken angivet til at befinde sig mellem kote -325 og -350 m. Kortlægningerne er primært foretaget på baggrund af oliegeologiske data.



**Figur 6 Toppen af palæogenet. Fra /25/.**

Et særligt kendetegn ved borerne i området er, at de viser tegn på, at lagfølgen er kraftigt forstyrret, se bl.a. /22/, /23/ og /24/. Ifølge borerne findes der i området meget blandede aflejringer. En stor del af lagserien består af miocæne lag af glimmersand, kvarts-sand, glimmersilt og glimmerler. Desuden er der i området store forekomster af glaciale sedimenter bestående af smeltevandssand, smeltevandsler og moræneler, nogle steder til store dybder.

I et par nedlagte lergrave ved Hesselho sydøst for Gårde, midt i området, er der bl.a. blevet gravet Søvind Mergel og Gram Ler, og der er beskrevet glacialt forstyrrede lagserier med overskudte flager /26/, /27/. Søvind Mergelen, som er en del af Palæogenet, stammer fra stor dybde (se ovenfor).

## 4. Datagrundlag

Data, der indgår i modellen er listet op i **Tabel 1** med navn på projektet og navngivning af database/fil. For detaljerede beskrivelser og dokumentation, kvalitet og usikkerheder henvises til de anførte referencer i tabellen.

Datatype	Navn	Database/Filer	Bemærkning
Jupiter boringer	geus_dk_1376639170_pcjupiter_20112102	Jupiter databasen/ geus_dk_1376639170_pcjupiter_20112102.mdb	Udtræk 2011-21-02
<b>Geofysik</b>			
SkyTEM Ølgod, Skovlund	dk.grv-oelgodskovlund-skytem.skytem2.Oelgod_2009 <sup>1</sup>	GERDA databasen/ Gerda_Bias_5_lag.gdb  /Gerda_30llc_grid.gdb <sup>2</sup>  /Gerda_S_30lag.gdb <sup>2</sup>  /Gerda_6lag_grid_I01.gdb <sup>2</sup>  /Gerda_6-lag_I01.gdb <sup>2</sup>	Udtræk 2011-02-16: Samlet SCI tolkning af SkyTEM data fra: Ølgod2006, Skovlunde2006 Ølgod 2009  Anvendt til SSV-beregninger og geologisk modellering  Anvendt til geologisk modellering  Anvendt til geologisk modellering
Seismik	Rapport om refleksionsseismiske målinger ved Ølgod 2008-2009	Line oelgod-1_mtolk_uterr.jpg .... Line oelgod-24_mtolk_uterr.jpg	24 seismiske profiler
<b>Hydrologi</b>			
Synkronpejledata	Synkronpejlerunde forår 2010	Borforår2010.csv	Leveret af Miljøcenter, Ribe. Tilpasset af GEUS til indlæsning i GeoScene3D
<b>GIS</b>			
Terrænoverflade	Grid_Ribe_Amt_25m_UTM32Euref89	Grid_Ribe_Amt_25m_UTM32Euref89.grd	Terrænoverflade (diskretisering 25 m) leveret af Naturstyrelsen, Ribe
Jordartskort	Danmarks digitale jordartskort	Jordartskort1_25000_Version3.jpg	Målestok: 1:25.000

**Tabel 1** Oversigt over anvendte data i den geologiske model.

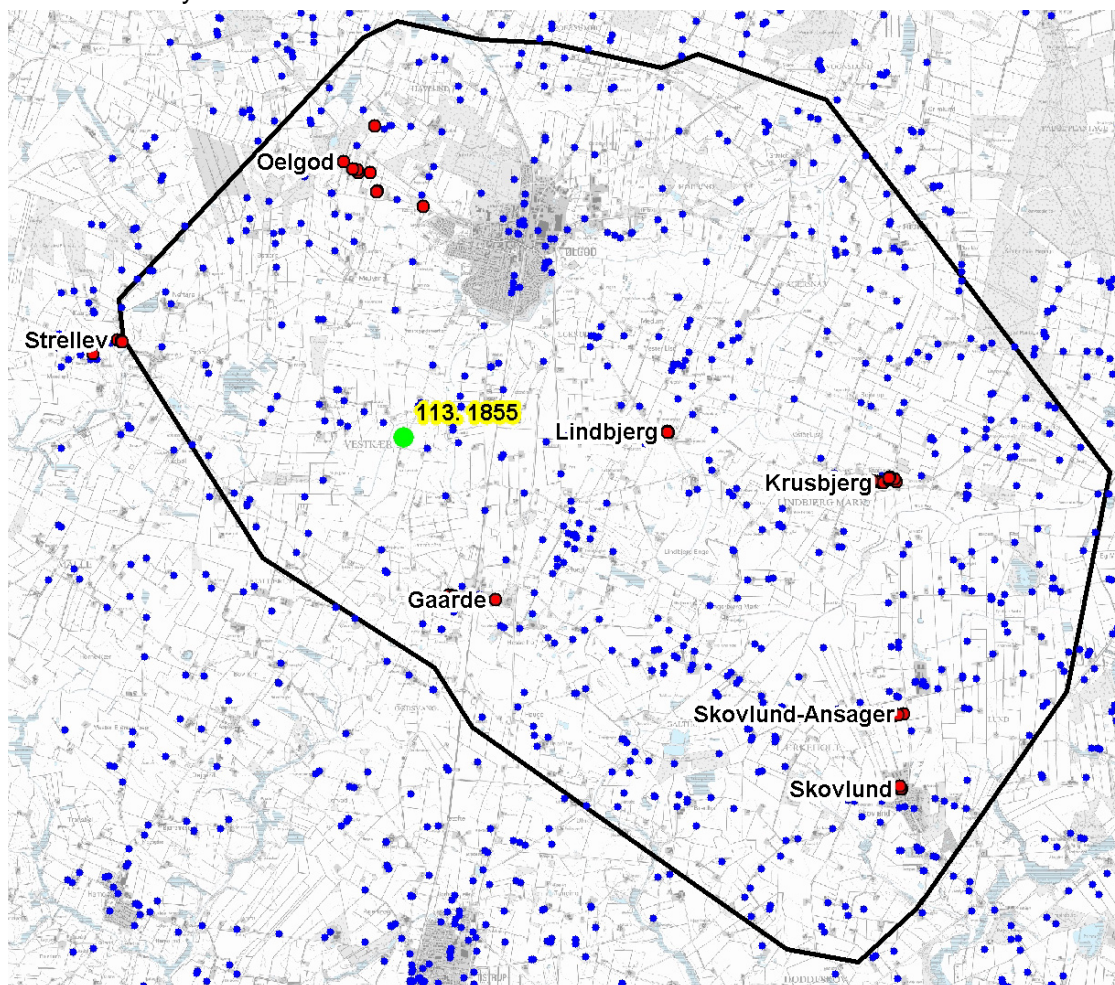
<sup>1</sup> De oprindelige data fra Gerda-databasen der indeholder 5 og 19 lagsmodeller.

<sup>2</sup> Alternative tolkninger der er udført og anvendt i projektet.



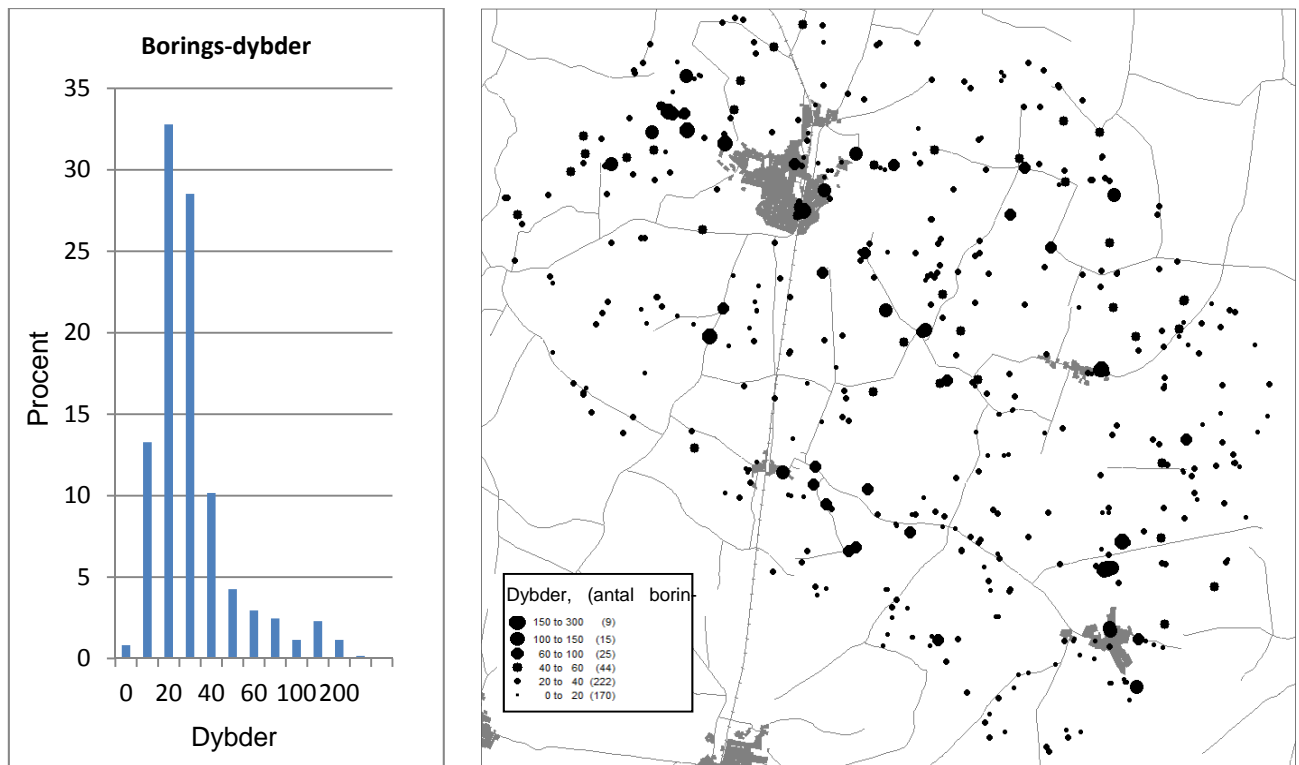
## 4.1 Boringer

Boringer er udtrukket fra Jupiter boringsdatabasen til en lokal Access PCJupiter-database den 21. februar 2011. Databasen er navngivet geus\_dk\_1376639170\_pcjupiter\_20112102.mdb, og boringernes placering er vist på Figur 7. De dybe boringer, der findes i området er typisk udført af vandværker og findes som oftest i klynger. Der findes store områder med mangelfuld dækning af dybe boringer. Den dybeste boring er den nye undersøgelsesboring ved Vestkær (DGU nr. 113.1855; placeringen er angivet med en grøn prik på Figur 7), som er 294 meter dyb.



Figur 7 Boringer i modelområdet - vandværksboringer er vist med rød farve, den nye undersøgelsesboring DGUnr. 113.1855 er vist med grøn farve og de øvrige boringer med blå farve.

I forbindelse med boringsgennemgangen udførtes en statistik over dybderne af boringer i området, se Figur 8. Som ventet er langt hovedparten af boringerne relativt korte - således er 90 % af alle boringer under 50 meter dybde. Samtidig fremgår det, at de dybe boringer er meget ujævnt fordelt i området, hvilket skyldes, at de hovedsageligt befinder sig i relation til Ølgod og Skovlund vandværker. Den ujævne fordeling af dybe boringer vanskeliggør tolkningen af geologien i de dybere dele af lagserien.



Figur 8 Dybder af boringer i undersøgelsesområdet. T.v.: Diagram, der viser boringernes dybder. T.h.: Dybder af boringerne vist på kort. Legenden viser dybdeintervallerne, mens det numeriske antal af boringer ses i parenteser bag kategoriangivelserne.

## 4.2 Geofysiske data

Den geografiske fordeling af de geofysiske data er vist på Figur 9. Der er anvendt geofysiske data fra SkyTEM og fra seismisk. De geofysiske data er listet i **Tabel 1**, hvor projektidentiteten og navnet på databasefilerne også er angivet.



Figur 9 SkyTEM (små lyseblå prikker) og seismik linjer (røde linjer), der er benyttet ved udarbejdelse af den geologiske model.

#### 4.2.1 SkyTEM

Der er fløjet SkyTEM i området i to omgange (/13/, /28/). I første omgang blev der fløjet omkring både Ølgod og Skovlund med en linjeafstand på omkring 250 m. Dernæst blev der fløjet i mellem disse områder med en linjeafstand på 200 m, og der blev endvidere fyldt ud mellem de eksisterende linjer i området SV for Ølgod, således at der her er opnået en linjeafstand på ca. 125 m. Alle data er samlet inverteret med SCI-metoden. Ved processeringen er koblede og støjede data kasseret, hvilket særligt omkring højspændingsledninger og over bymæssig bebyggelse giver større afstand mellem datapunkterne. Generelt er der en god datadækning, hvor der er fløjet SkyTEM. Sammen med borerne udgør SkyTEM og seismiske data det primære datagrundlag ved de geologiske tolkninger.

## 4.2.2 Seismik

De reflektionsseismiske data er indsamlet, processeret og tolket af Aarhus Universitet i 2008 og 2009 i henhold til samarbejdsaftale med Miljøcenter Ribe. Formålet med de seismiske undersøgelser er at bidrage til at belyse de geologiske forhold i området som på basis af eksisterende data (TEM, MEP og boringer) vurderes at være usædvanlig kompleks. Den seismiske undersøgelse er udført som en del af Geocenterprojektet "Kompleks". Der er indsamlet 24 seismiske linjer, hvor af 17 er indsamlet på fast underlag på vej, mens 7 linjer er indsamlet på fri mark. Linjernes placering er vist på Figur 9. For yderligere informationer om de seismiske undersøgelser henvises til /14/.

## 4.2.3 Øvrige data benyttet ved den geologiske modellering

### *Hydrogeologiske data*

Hydrologiske data fra Jupiter er udnyttet ved modelleringen. Vandspejl og filterplacering er visualiseret på boringerne. Vandspejlsniveauer i forskellige boringer kan give information om manglende sammenhænge mellem magasiner. Trykniveauer fra synkronpejlerunden for Ølgod i foråret 2010 /15/ er vist på profiler og i kort, ligesom også potentialekortet /15/ der er udarbejdet på baggrund af trykniveauerne er visualiseret på kort og i 3D.

### *25 meter højdemodel*

Den anvendte højdemodel er genereret ud fra KMS Lidar 1,6 m diskretisering, interpoleret til et 25 meter grid og er den samme som anvendes i grundvandsmodellen. Dette sikrer, at der er overensstemmelse mellem terræn i grundvandsmodellen og i den geologiske model.

### *Jordartskort*

Jordartskortet i 1:25.000 er draperet på højdemodellen og brugt til overordnet sammenligning med lithologier i modellen.



## 5. Modelkoncept

Modelområdet er ifølge de eksisterende borer, råstofgrave og indsamlede data meget heterogent og komplekst opbygget. Således viser borerne, at hele området er glacialtektonisk forstyrret, idet ældre lag er skubbet op over yngre lag. Glacialtektoniske strukturer kan også ses i SkyTEM- data, MEP-data, georadar-data og til dels i de seismiske data. I de seismiske data kan den heterogene strukturelle opbygning tydeligt ses. Strukturerne er forholdsvis små og korrelationsafstanden lille. Derfor er der indsamlet data langs tætliggende SkyTEM-linjer, men strukturernes størrelse er på grænsen af, hvad metoden kan opløse, også i 2D. De seismiske linjer har ikke samme tæthed som SkyTEM-linjerne, og derfor kan geologien heller ikke opløses rumligt heri (imellem linjerne).

De heterogene forhold optræder fortrinsvist i den kvartære del af lagserien, mens den tertære del er mere homogent opbygget med udbredte lagfølger.

Den heterogene kvartære geologi kan ikke beskrives i en traditionel lagmodel, og det er derfor valgt, at den skal opstilles som en voxelmodel. Modellen består af et voxelgrid, der beskriver den rumlige fordeling af sand og ler i et voxelgrid med diskretiseringen 100 x 100 x 5 m. Ved tildelingen af sand eller ler i de enkelte voxler er en videreudvikling af SSV-konceptet (*geoStatistical estimation of Structural Vulnerability*) benyttet. Efterfølgende er resultatet af SSV-inversionen blevet underkastet en viderefølgende tolkning, hvori seismiske data indgår i en tolkning af prækvartæret. Den færdige sand/ler-model danner basis for den hydrogeologiske modellering.

Modellen er udarbejdet i følgende step:

1. *Integreret geologisk tolkning:* Der er foretaget en integreret tolkning af de geofysiske data. Bl.a. er der udført flere forskellige geofysiske tolkninger (inversioner) af SkyTEM-data tilpasset den tolkede geologi og med a priori viden om toppen af palæogenet. Dette arbejde er foretaget i Aarhus Workbench og visualiseret i GeoScene 3D.
2. *3D resistivitetsgrids:* Der er udarbejdet 3D-resistivitetsgrids på baggrund af de indsamlede SkyTEM-data til brug ved SSV-tolkningen og til den senere manuelle gennemgang og udbygning. Der er fremstillet både mangelags- og fålagsgrids i flere udgaver.
3. *Boringsevaluering:* Alle borer i området er gennemgået manuelt og rangeret efter usikkerhed. Der er udviklet en fast fremgangsmåde for dette, inden gennemgangen er påbegyndt, således at subjektiviteten i usikkerhedsvurderingerne er minimeret. Boringusikkerheden indgår i SSV-modelleringen.
4. *SSV-viderudvikling:* SSV-modulet er videreudviklet således, at andelen af ler er beregnet for hver enkelt voxel i et voxelgrid.
5. *SSV-modellering:* Der er udført SSV-modellering. I modelområdet er det antaget, at de aflejringer, der ikke består af ler og har høje elektriske modstande, primært består af sand. Herved giver det færdige SSV-resultat et estimat på forholdet mellem sand og ler i hver enkelt voxel i modellen (hvor SkyTEM data forefindes). SSV-resultatet har efterfølgende gennemgået en iterativ proces, hvor modellen er genkørt gentagne gange efter begrundet tilretning i dårligt tilpassede områder.
6. *Manuel udbygning:* Modellen er herefter udbygget med geologisk information opnået fra de seismiske undersøgelser i området samt øvrig geologisk viden fra andre dataty-

per. Den mere homogene tertiære del er således ikke baseret på SSV-resultatet, men alene på traditionel modellering af lagflader, der afgrænser lag, som efterfølgende er blevet indbygget i voxelgriddet.

7. *Manuel gennemgang.* SSV-resultatet er kritisk gennemgået og tilrettet for manglende konsistens i forhold til geologisk viden og i forhold til øvrige data (kun for den kvartære del – se ovenfor). Den manuelle gennemgang og udbygning er foretaget i GeoScene 3D.
8. *Udbygning i randområder:* Udenfor det med geofysik kortlagt område anvendes allerede opstillede hydrostratigrafiske modeller som input til den hydrologiske model. Dette vil ikke blive videre behandlet i denne rapport, men beskrives i den efterfølgende rapport for den hydrologiske modellering.

### Usikkerheder

For de kvartære lag, som er baseret på SSV-modellering er der sammen med estimatet af lerindhold beregnet en usikkerhed. Denne usikkerhed er således tilskrevet i hver voxel og findes som et 3D grid, se Kap. 7.3.4.

Der er desuden som udgangspunkt tilskrevet usikkerhedsværdier for lagfladernes tolkningspunkter. Her opereres der altid med 3 usikkerhedskategorier: usikker, middelsikker og sikker, se i Figur 10.

Usikkerheds kategori	Farve	Benævnelse
1		Sikker
2		Middelsikker
3		usikker

**Figur 10** Symbollisten for usikkerhedsgriddet

I Tabel 2 vises de kriterier, der ligger til grund for usikkerhedsvurderingerne. Usikkerhedskriterierne danner basis for subjektive vurderinger af usikkerheden på den geologiske tolkning, og de 3 kategorier for usikkerhed afspejler modellørens vurdering af den samlede usikkerhed på et tolkningspunkt/en voxel. Der er ikke skelnet mellem forskellige typer af usikkerhed, f.eks. usikkerhed på kote/kordinat, datausikkerhed, usikkerhed på elementets eksistens, eller f.eks. på om elementets oprindelse er korrekt angivet.

	1	2	3	4
	Dokumentation for tolkning	Datagrundlag	Dannelsesmodel	Heterogenitet i forhold til skala
1: Sikker	Veldokumenteret	Belæg i data af høj kvalitet	Robust dannelsesmodel	Lille heterogenitet
2: Middelsikker	Dokumenteret	Belæg i mange data af mindre god kvalitet eller få data af høj kvalitet	Sandsynlig dannelsesmodel	Lille til stor heterogenitet
3: Usikker	Svagt dokumenteret	Ringe belæg i data	Ingen eller svag dannelsesmodel	Stor heterogenitet

**Tabel 2** Kriterier for usikkerhedsvurdering. Der arbejdes med 3 usikkerhedskategorier sikker, middelsikker og usikker.

Anvendelsen af SSV er en approksimativ fremgangsmåde, hvor der opstilles en overordnet inddeling af lithologien. Flere faktorer spiller dog en rolle for oversættelsen fra elektriske modstande til lithologi: Silt, salt porevand og heterogenitet. Silt kan have høje modstande og vil kunne fremstå som sand i modellen. Fint silt, særligt i form af glimmersilt, kan imidlertid have hydrauliske egenskaber, der er mere sammenligneligt med ler end med sand, hvilket potentielt kan resultere i ikke-eksisterende sandforekomster i modellen og give problemer ved grundvandsmodelleringen. Salt porevand, derimod, kan resultere i ikke-eksisterende lerforekomster i modellen. Salt porevand forventes dog ikke at være til stede i modelområdet. Endelig kan heterogeniteten i områder være for høj i forhold til afstanden mellem TEM-data og boredata. Ovennævnte usikkerhedsforhold er af stor betydning for resultatet i dette modelprojekt, men det vurderes, at de ikke har væsentlig indflydelse på modelresultatet set i forhold til målet med projektet.

#### *Sammenligning med retningslinjer i vejledning*

Modellen er som udgangspunkt ikke opstillet i henhold til de retningslinjer vedr. underopdeling af modeltyper, der er angivet i GeoVejledning 3 /1/. I vejledningen opereres med 3 grundlæggende modeltyper: den geologiske forståelsesmodel, den rumlige geologiske model og den hydrostratigrafiske model. Modellen kan siges, at bestå af en blanding af både rumlige geologiske model og den hydrostratigrafiske model. Dog er delen, der omfatter den rumlige geologiske model begrænset til tertiære lag i modellen, hvor der er konstrueret geologiske lagflader. Modellen kan derfor bedst sammenlignes med en hydrostratigrafisk model, idet den beskriver den rumlige fordeling af sedimenternes hydrauliske egenskaber (lerindhold), og da den dækker hele modelrummet og ikke kun begrænser sig til dele, der med en vis sikkerhed kan modelleres rumligt.





## 6. SSV-konceptet

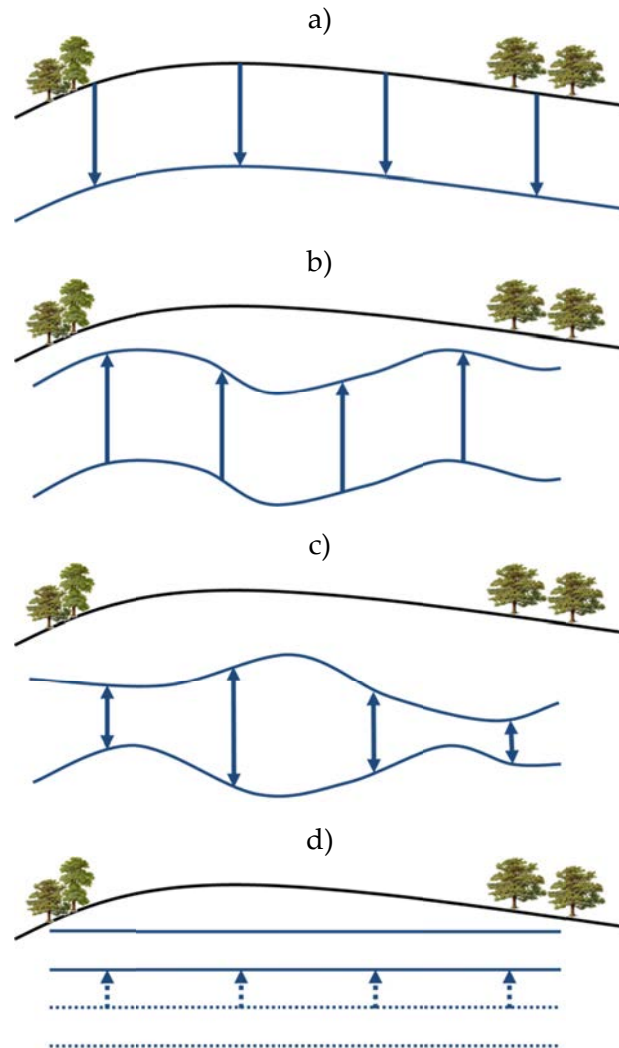
### 6.1 Videreudvikling til geologisk modellering

Helt grundlæggende beskriver SSV-konceptet en måde, hvorpå man kan optimere samtløbet af geofysiske og geologiske data i forbindelse med beregning af den akkumulerede tykkelse af lerlag inden for et valgt beregningsinterval. SSV-modulet udregner en funktion, der er i stand til at oversætte de geofysiske målinger til lerlagstykkelser på en måde, så der opnås bedst mulig overensstemmelse mellem den SSV-beregnete lertykkelse og de lerlagstykkelser, der helt konkret er observeret og beskrevet i det enkelte områdes boringer. Resultatet af SSV-beregningerne er således afhængigt af både tæthed og kvalitet af et områdes boringer såvel som af tæthed, type og kvalitet af de geofysiske målinger.

I SSV-konceptets oprindelige implementering var det tænkt som et værktøj til kortlægning af den samlede lerdæklagstykkelse. Begrebet *dæklag* referer til, at man har fokuseret på beskyttelsesgraden af lag, der ligger nedenunder, naturligvis specielt de lag, der udgør grundvandsmagasinerne i et område.

Med nyudviklingerne i SSV-konceptet udført i dette projekt og sideløbende i andre projekter kan metoden blive anvendt til generelt at udtale sig om ler-andelen i et givent volumen i stedet for specifikt at fokusere på dæklag over en ressource. Nyudviklingerne er i oversigtsform vist i Figur 11. Alle elementer i programmet er opdateret til at kunne håndtere koter i stedet for kun dybder som tidligere. Yderligere er metoden blevet generaliseret, således at man kan beregne imellem to vilkårlige grids. Det er en særlig udgave af denne implementering, der anvendes i nærværende projekt:

- Der foretages beregninger i individuelle faste koteintervaller (f.eks. koteintervallet 20-25 meter over havniveau). Ved at stække koteintervaller fås en fuld dækning af modelvolumenet.
- Hvert interval er beregnet individuelt, dvs., at der ikke bliver overført information om lagenes værdier (svarende til en mangelags-model ved inversion af geofysiske data – her er lagene bundet sammen så lag 3 f.eks. kun vil afvige lidt fra lag 2 og 4). Dette er pt. under implementering (efterår 2011).



Figur 11. Grafisk oversigt over nyudviklingerne i SSV-konceptet. I a) ses den oprindelige dybde-refererede funktionalitet. I b) ses en funktionalitet, der opererer et antal meter over/under et givent grid, mens c) viser den helt generelle implementering, hvor der regnes imellem 2 givne grids. I d) vises funktionaliteten, der anvendes i dette projekt (særlig udgave af b)), hvor der beregnes i en række faste koteintervaller for at fylde hele rummet ud.

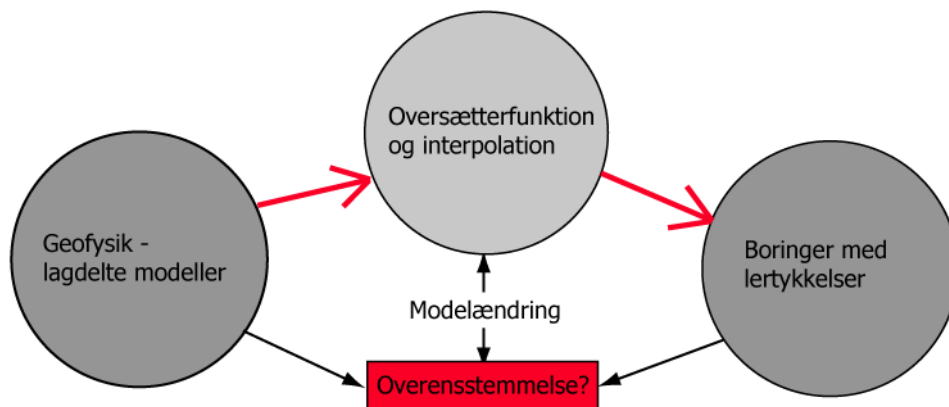
SSV-modulet kan benyttes, uanset hvilke dybder/koter der fokuseres på. Jo større dybde lerindholdet skal beregnes for, jo vanskeligere bliver det imidlertid. Dette hænger sammen med både boringstæthed og geofysikkens begrænsninger. Dette vil blive diskuteret yderligere i afsnittet om de konkrete SSV-kørsler i kap. 7.3.

## 6.2 Oversigt over SSV-konceptet.

SSV-konceptet baserer sig som allerede beskrevet på integration af boringer og geofysik. Overordnet set kan man inddele konceptet i tre dele, der er internt forbundne som vist i

Figur 12. På den ene side har vi de geofysiske lagdelte modeller, og på den anden side har vi boringsinformation med de beskrevne lertykkelser. Ideen er herefter:

- Ud fra en given oversætterfunktion eller vægtfunktion kan vi lave den geofysiske lagmodel om til en lertykkelse.
- Ved at interpolere den fundne lertykkelse fra geofysik-punkterne til boringspunkterne har vi et mål for den *geofysiske* lertykkelse i boringspunkterne.
- I boringspunkterne kan vi nu sammenligne den forudsagte lertykkelse fra geofysikken med den beskrevne lertykkelse i borerne.
- Ud fra graden af overensstemmelse opdateres oversætterfunktionen ("Modelændring") i et iterativt forløb, således at der for hver iteration fås en bedre overensstemmelse mellem lertykkelsen fra geofysikken og lertykkelsen som beskrevet i borerne.



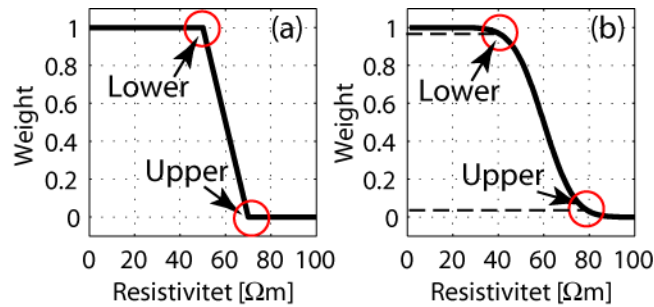
**Figur 12. Grafisk fremstilling af SSV-konceptet.**

Hvis man tænker på SSV-modulet ud fra en inversionsmæssig tankegang er de beskrevne lertykkelser i borerne *data* og funktionen der oversætter geofysikken til lertykkelser er *modellen*. Vi *inverterer* for den optimale model ved at bruge de geofysiske modeller i *forwardberegningen*

Et par begreber forklares yderligere i det følgende.

#### *Oversætterfunktion - model*

Oversætterfunktionen, der omdanner de geofysiske lagdelte modeller til lertykkelser, er egentlig en vægtfunktion, der tildeler den elektriske modstand en vægt afhængig af afskærmingsværdien. I Figur 13 ses to eksempler på oversætterfunktioner. Af beregningsmæssige årsager er det den bløde variant i Figur 13b, der anvendes i SSV-modulet. Funktionen er defineret af to værdier. Den øvre (upper) modstandsværdi angiver den højeste elektriske modstand for ler (vægt 0), mens den nedre (lower) angiver den grænse hvorunder alt er ler (vægt 1). Imellem den øvre og den nedre værdi er vægten mellem 0 og 1, og altså en blanding af ler og ikke-ler.



**Figur 13. Oversætterfunktionen. I a) ses en funktion som typisk blev anvendt inden SSV-konceptet, hvor værdier under 50 ohm-m er 1, over 70 ohm-m er 0, og funktionen er lineær derimellem. I b) ses den bløde funktion, der anvendes i SSV-modulet.**

### Grid

For at oversætter-funktionen kan variere over undersøgelsesområdet, tilskrives de to værdier i funktionen til et grid hvis tæthed kan varieres. I et grid med 8 x 7 nodepunkter er der altså 8 x 7 x 2 (112) modelparametre. Imellem nodepunkterne bestemmes værdierne for oversætterfunktionen ved lineær interpolation fra de fire omkringliggende nodepunkter. I nærværende projekt er det en række af disse beregnings-grids, der er stakket oven på hinanden for at beskrive modelrummet fuldstændigt fra overfladen og ned.

### Bånd

Geofysiske data inverteres ofte med LCI-konceptet, hvor der tilføres bånd imellem nabomodeller, således at den laterale modelvariabilitet svarer til den forventede variation i geologien. Helt tilsvarende er der også i SSV-konceptet indført bånd imellem noderne i gridet.

### SSV trin-for-trin

Følgende er en trin-for-trin oversigt over en SSV-beregning:

- I hvert geofysik-punkt beregnes en lertykkelse baseret på værdierne i den aktuelle oversætterfunktion.
- For de fundne lertykkelser beregnes det eksperimentelle semivariogram, hvortil der tilpasses et analytisk semivariogram. Det fundne semivariogram udtrykker, hvordan lertykkelserne i geofysikpunkterne afhænger af afstanden.
- Ved hjælp af det fundne semivariogram bruges kriging-metoden til at forudsige lertykkelsen i boringspunkterne. Til denne forudsigtelse inddrages kun geofysik-punkter indenfor en angivet søgeradius. I kriging medtages usikkerheden på lertykkelsen bestemt fra geofysikken og usikkerheden på selve interpolationen.
- De beregnede lertykkelser sammenlignes med de beskrevne værdier for boringen.
- Oversætterfunktionen ændres herefter i en retning, så der kan opnås en bedre overensstemmelse mellem geofysikken og borerne.
- Og så startes der forfra igen.

Ovenstående løkke gentages, indtil der er en tilfredsstillende overensstemmelse mellem geofysikken og borerne (eller til den ikke kan blive bedre).

### 6.3 Geofysik og jordarternes elektriske egenskaber.

Forudsætningen for at geofysiske metoder i det hele taget kan anvendes til SSV-beregninger er, at forskelle i specifik elektrisk modstand (herefter blot benævnt elektrisk modstand) også afspejler geologiske forskelle, og at bestemmelse af sedimenternes (jordlagenes) elektriske modstande i et vist omfang muliggør en geologisk identifikation af de aktuelle sedimenter.

Et sediments elektriske egenskaber afspejler først og fremmest de indgående jordpartiklers (mineraller/bjergartsfragmenter) og vandindholdets elektriske modstand.

I et lag af rent sand er matrix, dvs. jordpartiklerne, isolatorer, og her er det først og fremmest porøsiteten, vandindholdet og porevandsmodstanden, der tilsammen afgør lagets elektriske egenskaber. Tørt, rent sand udviser således en meget høj elektrisk modstand ofte på adskillige tusinde  $\Omega\text{m}$ , medens vandmættet sand har en betydeligt lavere modstand, der afhænger af vandets mineralindhold og porøsiteten i laget. Sand under grundvandsspejlet kan ofte have elektriske modstande på et godt stykke under 100  $\Omega\text{m}$ .

I sedimenter med et vist lerindhold bidrager både lermængde og lertype til at reducere lagets elektriske modstand. Derfor har fede tertiære lerlag meget lave elektriske modstande på nogle få  $\Omega\text{m}$ , medens moræneler med sit indhold også af grovere partikler har højere modstande.

### 6.4 Geofysik og boringer

Geofysik giver først og fremmest strukturelt overblik og kan binde informationer fra spredte boringer sammen. Den optimale udnyttelse af geofysik forudsætter, at der findes pålidelige, lithologiske beskrivelser fra et antal jævnt fordelte boringer, for at transformationen fra geofysiske parametre til meningsfulde geologiske informationer skal kunne foretages med et tilfredsstillende resultat.

Fladedækkende geofysiske målinger giver mulighed for i SSV-modulet at beregne lerindhold. Jo mere spredt de geofysiske datapunkter ligger og jo færre boringer, der er til rådighed, jo tyndere bliver det datagrundlag, som beregningerne i sidste ende hviler på. I princippet er der to yderpunkter, når man diskuterer datagrundlag og lertykkelsesberegninger.

Det ene yderpunkt er, at der næsten ingen geofysiske data er i et område. Så bliver resultatet tæt på, hvad man ville opnå udelukkende ved gridning af lerindhold fra de eksisterende boringer. Man ender altså stort set med en boringsbaseret beregning.

Den anden yderlighed er, at der findes en tæt datadækning med geofysik og næsten ingen boringer. Her vil resultatet nærme sig det, man ville få ved benyttelse af en simpel omregning fra elektrisk modstand til ler eller ikke-ler (eksempel: ved modstande under 50  $\Omega\text{m}$  omregnes lag til ler og ved modstande over 70  $\Omega\text{m}$  omregnes lag til ikke-ler, medens lag med mellemliggende modstande omregnes med et gradvist aftagende bidrag til den sam-

lede lertykkelse). I denne situation ender man med en næsten ren geofysikbaseret beregning.

## **6.5 Lerindhold vurderet fra boredata**

I det aktuelle projekt er beskrivelsen af lerindholdet foretaget vha. de automatiske værktøjer, der nu er tilgængelige i Aarhus Workbench. Den automatiske beskrivelse er baseret på udtræk direkte fra Jupiter-databasen baseret på litologi-benævnelser (ml, l, dl, osv). Usikkerheden på det beskrevne lerindhold er en meget vigtig parameter, hvorfor alle boringer er gennemgået manuelt og tilskrevet et kvalitetstal, der har ligget til grund for usikkerheds-estimatet anvendt til SSV-kørslerne, se Kap. 7.1.2.

## 7. Databehandling og -tolkning

### 7.1 Boredata

Boredata er dels anvendt ved SSV-modelleringen, men også ved den efterfølgende manuelle gennemgang, samt ved tolkningen og modelleringen af de prækvartære lag. Boredata er i modelarbejdet primært visualiseret på profilsnit med en maksimal bufferafstand på 100 m. Den anvendte farvekode for lithologi er vist i Figur 14.

4_B_Brønd
6_C_Kul, brunkul
12_D_Diatom+af. (ikke postglaciale), diabas, basalt
13_DG_Smeltevandsgrus
14_DI_Smeltevandssilt
16_DL_Smeltevandsler
17_DS_Smeltevandssand
18_DV_Vekslende små smeltevandslag
23_ES_Postglacial flyvesand
29_FP_Postglacial ferskvandsgytje (inkl. diatom+gytje)
30_FS_Postglacial ferskvandssand
33_G_Grus, sand og grus
34_GC_Oligocæn - miocæn - pliocæn brunkul
35_GI_Oligocæn - miocæn - pliocæn glimmersilt, silt i Vejle fjord formationen
37_GL_Oligocæn - miocæn - pliocæn glimmerler, ler i Vejle fjord formationen
38_GP_Oligocæn - miocæn - pliocæn omlejret brunkul
39_GS_Oligocæn - miocæn - pliocæn glimmersand, sand i Vejle fjord formationen
40_GV_Oligocæn - miocæn - pliocæn vekslende små lag
48_I_Silt
53_IP_Interglacial ferskvandsgytje
59_K_Kalk, kridt, kalksten
60_KG_Miocæn kvartssand
63_KS_Miocæn kvartssand
64_L_Ler, mergel
66_LL_Eocæn ler, Lillebælt ler, plastisk ler
67_M_Muld
68_MG_Morænegrus (gruset till)
69_MI_Morænesilt (siltet till)
70_ML_Moræneler (leret till)
71_MS_Morænesand (sandet till)
72_MV_Vekslende små morænelag (till)
77_O_Fyld
83_P_Gytje
91_Q_Sandsten
99_S_Sand
101_SL_Eocæn Søvind Mergel
102_T_Tørv
110_U_Ler, sand og grus
112_V_Vekslende små lag
122_X_Ukendt lag, oplysninger mangler
128_Z_Flint, sten

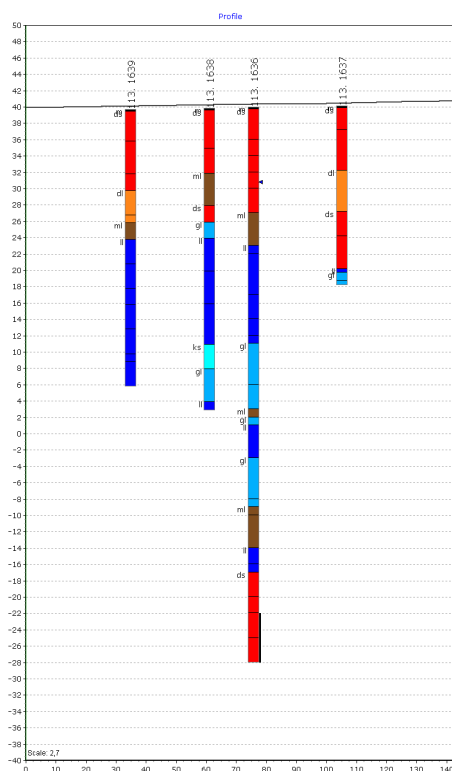
Figur 14 Anvendt farvekode for lithologi i boredata.

#### 7.1.1 Lithologi og fordeling

Som nævnt viser boredata meget blandede aflejringstyper i området og der ses tegn på glacialtektonisk aktivitet. I Figur 15 ses flager af Lillebæltsler tæt på terræn og højere i lagserien end glaciære lag bestående af bl.a. let genkendeligt moræneler. Flagerne stammer fra palæogenet, som her findes mere end 250 m under terræn. Meget ofte ses der i de dy-



bere borer og så miocæne lag sammenblandet med glaciale lag. Stort set hele modelområdet er præget af disse forhold.



**Figur 15** Profilsnit gennem 4 borer ved Lindknud sydøst for Ølgod. Lagene er kraftigt forstyrrede, idet der findes Lillebæltssler tæt på terræn – over glaciale lag.

### 7.1.2 Boringsevaluering til SSV

Ved gennemgangen af boringsbeskrivelserne i Jupiter er det tydeligt, at der er store forskelle på kvaliteten af borearbejdet, og det er derfor nødvendigt at forholde sig til de varierende grader af troværdighed i forbindelse med, at borerne skal benyttes direkte i SSV-modelleringen. Boringsevalueringen er foretaget ved at gennemgå de tilgængelige borerapporter fra Jupiter databasen.

I arbejdet med at vurdere boringskvaliteterne er der taget højde for en lang række af faktorer, se /1/ og /19/. Specielt er nedenstående forhold blevet vurderet i den manuelle gennemgang af samtlige borer i undersøgelsesområdet:

- Prøvebeskrivelse
- Boremetode
- Formål
- Brøndborer

Vurderingerne af ovenstående fire faktorer, samt andre relevante forhold (som f.eks. alder), danner dernæst basis for en samlet subjektiv kvalitetsvurdering, der rangerer fra 1 (meget god) til 4 (meget dårlig). Borer, uden information om jordlag eller med andre åbenlyse fejl, kom i kategori 0, benyttes ikke i SSV arbejdet.

Prøvebeskrivelserne er inddelt i 4 kategorier fra "rigtig god" til "meget dårlig". I denne vurdering indgår en bedømmelse af mængden af boringsprøver, samt hvordan disse prøver er fordelt i boringen. Selve beskrivelserne er blandt andet vurderet på baggrund af detaljeringsgraden af beskrivelserne, specielt med fokus på opdelingen mellem lerede og sandede sedimenter. Endvidere er graden af overensstemmelse mellem brøndborerens og GEUS' beskrivelser betragtet, idet eventuelle uoverensstemmelser dels kan give udtryk for fejlvurderinger i arbejdet, men også være et udtryk for prøvemateriale af ikke entydig observans.

Boremeterne er også inddelt i tre kvalitetskategorier, hvilket er gjort på basis af erfaringer, der bl.a. er beskrevet i /11/. Således er snegl-, tør- og slagboringer placeret i den bedste kategori, mens lufthæve- og omvendte skylleboringer er tilskrevet mellemkategorien og rotaryboringer og direkte skylleboringer er placeret i den dårligste kategori. Desværre er boremeterne ikke altid angivet i borerapporterne, men der er taget højde for dem i det omfang, det har været muligt.

Ved kvalitetsvurderingen er der skelet til formålet med boringerne, idet der er en tendens til forskel i omhu ved udførelsen af boringer til forskelligt formål, som f.eks. ved forskningskontra markvandingsboringer.

Den generelle kvalitet af de forskellige brøndboreres arbejde er endvidere blevet inddraget i kvalitetsvurderingen.

I notefeltet er det noteret, hvorvidt der er lag uden beskrevne litologier i boringen. Ikke-beskrevne lag indgår ikke i SSV beregningen, hvis de udgør mere end halvdelen af en SSV-celle, og kvalitetsvurderingen af selve boringen er derfor foretaget på basis af den beskrevne del af boringen.

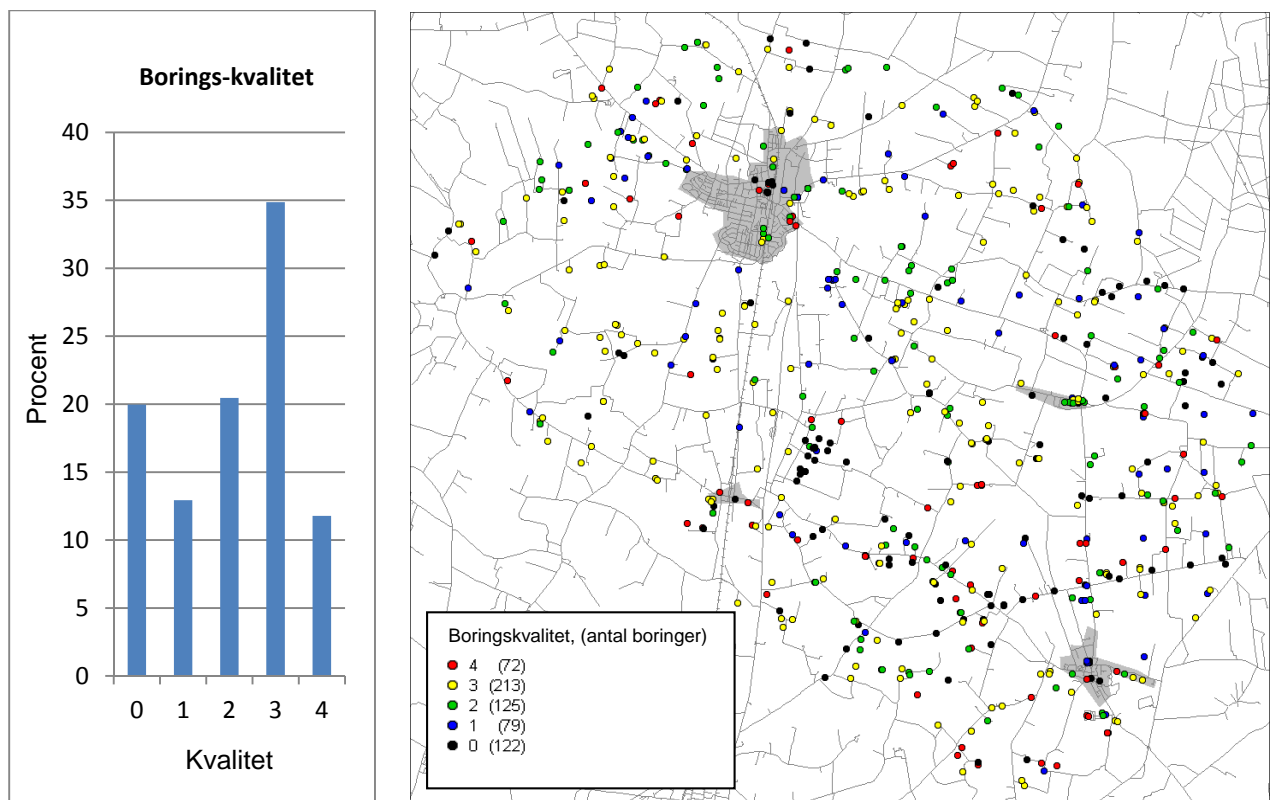
Som tidligere nævnt er selve kvalitetsvurderingen foretaget på baggrund af en subjektiv samlet vurdering af ovenstående faktorer samt eventuelle andre relevante faktorer. Selvom metoden er subjektiv, har den vist sig at være anvendelig til formålet, idet test med forskellige personer har vist ensartede resultater og dermed, at resultaterne kan reproducere.

Efter udførelsen af den første SSV kørsel er afvigelsen mellem SSV resultatet og boringernes lithologi blevet udregnet. Ved en 'gennemsnitsafvigelse' på over 5 er boringerne blevet genevalueret. Denne afvigelse udtrykker det gennemsnitlige misfit mellem boringen og SSV resultatet, idet der også er taget højde for antallet af kote-intervaller, hvori boringen indgår i SSV beregningen.

I alt 611 boringer er blevet evalueret indenfor det SkyTEM-kortlagte område. Omtrent en femtedel af disse boringer var ubrugelige (kategori 0). Derfor indgår kun de tilbageværende 489 boringer i SSV beregningerne.

Som det fremgår af Figur 16 er der flest boringer i kategori 3 ('under middel'), efterfulgt af kategori 2 ('over middel'), mens de resterende boringer tilhører kategori 1 ('god') og 4 ('dår-

lig'). Figuren viser desuden fordelingen af borerne i undersøgelsesområdet. Det ses, at der er en del kategori 4 borer langs veje, hvilket skyldes "Dapco-boringer".



**Figur 16 Boringskvalitet.** T.v.: Diagram, der viser den procentvise fordeling af boringernes kvalitet. Kvalitetskategori 1 er bedst, mens 4 er dårligst. Ubrugelige borer har kategori 0. T.h.: Kvaliteter af borerne er markeret med farvekoder på kortet. Farvekoderne ses nederst til venstre og det antallet af borer ses i parenteser bag kategoriangivelserne.

Efter udførelsen af den første SSV- kørsel var antallet af borer med en afvigelse på mere end 5 mellem SSV resultatet og boringernes lithologi 17 stk. Disse er blevet genevalueret før næste kørsel. De berørte borer er markeret på Bilag 1 med angivelse af afvigelser samt kommentarer foretaget i forbindelse med den anden gennemgang af borerne. I langt de fleste tilfælde kan afvigelserne tilskrives heterogenitet, der ikke kan opløses af TEM data. Tre gamle velbeskrevne brunkulsboringer er dog blevet tilskrevet en dårligere kvalitetskategori pga. usikkerhed i lokaliseringen.

## 7.2 SkyTEM

### 3D-modstandsgrids

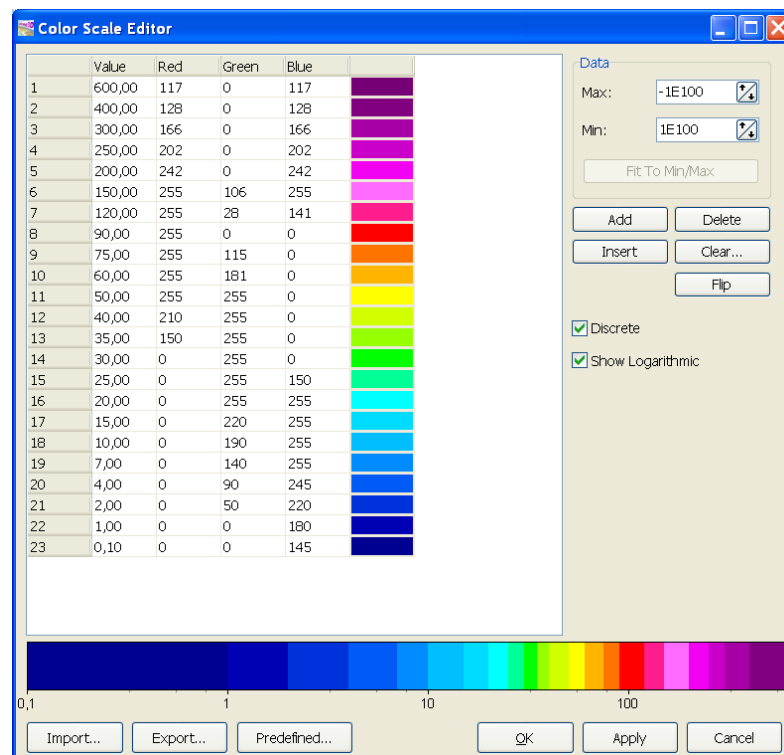
Der er udarbejdet 3D-modstandsgrids for både mangelagsversionerne og fålagsversionerne. Dette arbejde er gjort i Aarhus Workbench og i GS3D. I Workbench er der først lavet et databaseudtræk, hvorefter der er beregnet middelmodstande fra kote -335 m og op til kote 65 m med en vertikal diskretisering på 5 m. Der er anvendt vertikale modstande og middelmodstandende er interpoleret ved brug af kriging med cellestørrelsen 100 m og søgeradius 500 m.. Der er anvendt 'logaritmisk data transform'. Proceduren gav en serie på i alt 81

grids som blev stakket til et 3D-grid i GS3D Toolbox. De udarbejdede 3D-grids har samme beliggenhed og diskretisering som modellens voxelgrid.

De udarbejdede modstandsgrids visualiseres på profiler og fladekort ved hjælp af en farveskala som beskrives nedenfor. Da grids, sammenlignet med enkeltsonderingerne, beskriver den interpolerede modstand (inklusive modelrummet mellem sonderingerne), vil de fremstå som en kontinuert repræsentation af data. De interpolerede grids kan således let visualiseres rumligt i både horisontale snit og i vertikale snit. De horisontale snit svarer til middelmodstandskort, mens gridcellerne i de vertikale snit (profiler) svarer til snit gennem hele stakken af middelmodstandskort. Oven på de kontinuert visualiserede modstandsgrids kan andre data, f.eks. boredata let visualiseres. Der er dog også behov for løbende at få vist enkeltsonderingerne ved at vælge disse til og fra. Dette gøres typisk for at kontrollere detaljer i data, og for at tage højde for interpolationsafstanden til profilsnittet er det også vigtigt hele tiden at holde kontrol med afstanden til sonderingspunkterne (kan gøres i kortvinduet).

### Farveskala

Farveskalaen, der er benyttet ved visualisering af TEM data i dette projekt, er vist i Figur 17. Farveskalaen er særligt detaljeret ved de lave modstande. De blå farvenuancer repræsenterer især lerlag af tertiær oprindelse, men også smeltevandsler er repræsenteret. Grønne og gule farver svarer især til moræneler og blandede lag af ler og sand. Rødlige farver angiver sandede lag. Value angiver modstand i ohm-m.



Figur 17 Farveskala benyttet ved visualisering af TEM-data, hvor "value" angiver modstand i ohm-m.

### *Processering, inversion og tolkning*

SkyTEM-dataene er indsamlet ad to omgange – således er det første survey, der dækker den vestligste og østligste del af området, blev indsamlet tilbage i 2006 /13/, mens et nyere survey dækkende den centrale del af området blev indsamlet i 2009 /28/. I området syd-sydvest for Ølgod overlapper de to surveys hinanden. I forbindelse med processeringen af det nyeste datasæt blev det ældste datasæt reprocesseret, således at begge datasæt blev behandlet med samme indstillinger med den hensigt at lave en samainversion af data. I forbindelse med samainversionen forekommer dog den tolkningsmæssige problemstilling, at der er benyttet forskellige optageparametre i de to surveys. Således er 2009-data optaget med et 'super lavt moment', der medfører at første brugbare gate er 12  $\mu$ s, mens det høje moment er tilstrækkelig højt til at give brugbare data helt ud til 5-6 ms. Tilsvarende er de første data i 2006-surveyet først brugbare fra 18  $\mu$ s, mens data kun kan bruges ud til 2-3 ms. Specielt for de dybeste dele af lagserien er der derfor betydelig mere information i de nyeste data, hvilket også kan ses i kraft af en markant bedre indtrængning tydeliggjort ved klare forskelle i beregnet DOI (Depth Of Investigation).

De miocæne sedimenter i området er hovedsageligt lerede og viser gradvist faldende resistiviteter med en middelværdi omkring 10 ohm-m /16/. Miocænet overlæjrer det Palæogene ler, der ifølge resistivitetsloggen /16/ samt mini-wenner målinger (på boreprøver fra Vestkær boringen) har en meget lav resistivitet på omtrent 2,5 ohm-m. Seismikdata viser, at Palæogen-overfladen hælder mod vest (Figur 37) med en niveauforskel på omtrent 60 meter fra koteniveau -210 m i øst til -270 m i vest.

Den gode leder, bestående af det Palæogene ler, ligger altså på en dybde af omtrent 310 meter i det vestligste område, hvilket er under indtrængningsdybden for de ældste data. På datakurverne ses den faldende tendens således først på de allersidste tidsgates, hvorfor opløsningen af den gode leder er ekstremt følsom overfor støjniveauet. De oprindeligt af-rapporterede SkyTEM modeller /13/ viste derfor i det vestligste område kun pletvise tegn på en dybtliggende god leder (Figur 18).

Med udgangspunkt i den ikke helt tilfredsstillende repræsentation af data i det vestligste område blev der eksperimenteret med at finde indstillinger, der kunne producere forbedrede SkyTEM modeller. I denne forbindelse benyttedes eksisterende viden om geologien og information fra andre datakilder. Slutteligt blev der udvalgt 4 modeller (listet i Tabel 3) ud-over de allerede af-rapporterede modeller. Modellerne vil blive kommenteret i det følgende.

**Afrapporterede SkyTEM modeller:**

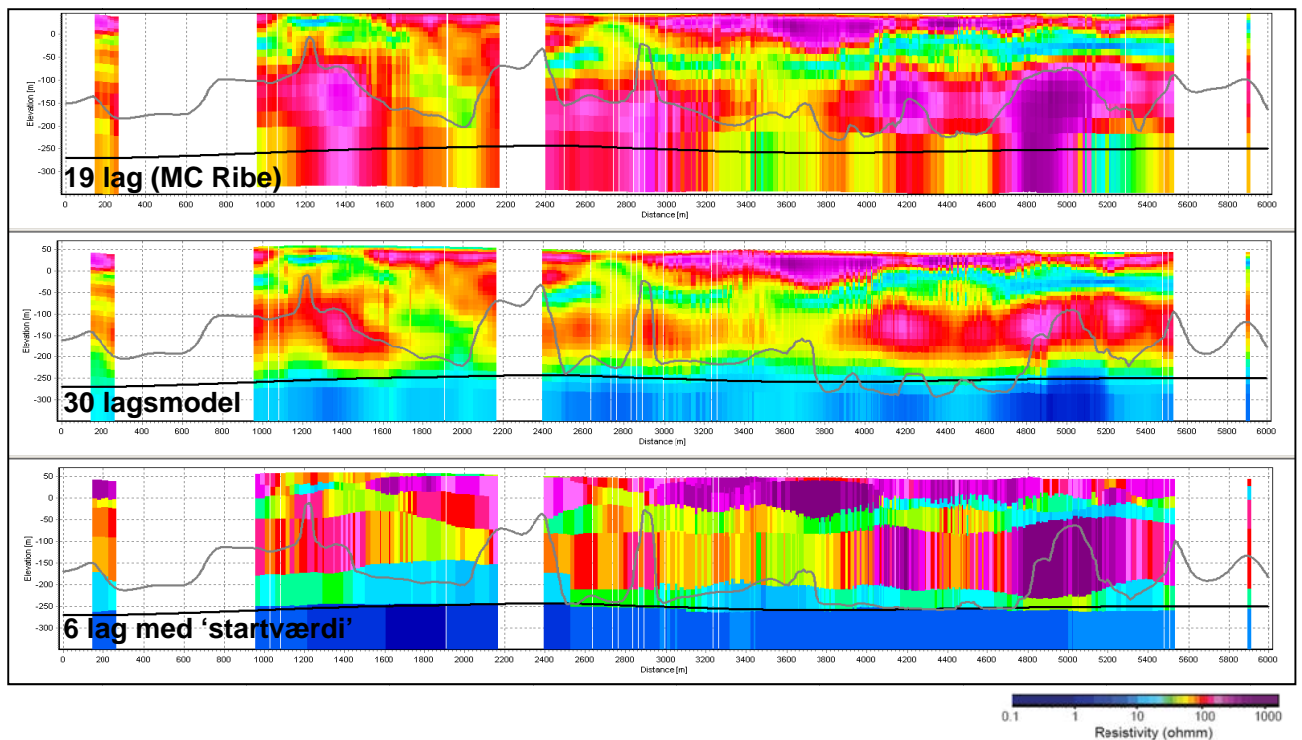
- 19 lagsmodel
- 5 lagsmodel

**Videreudviklede SkyTEM modeller:**

- 30 lagsmodel – startet med homogent resistivitets-halvrum
- 30 lagsmodel – startet med lav resistivitet (2,5 ohm-m) under *Top Palæogen grid*
- 6 lagsmodel – startet med homogent resistivitets-halvrum
- 6 lagsmodel – *Top Palæogen grid* udgør grænse mellem 5. og 6. lag. Nederste lag startet med 2,5 ohm-m.

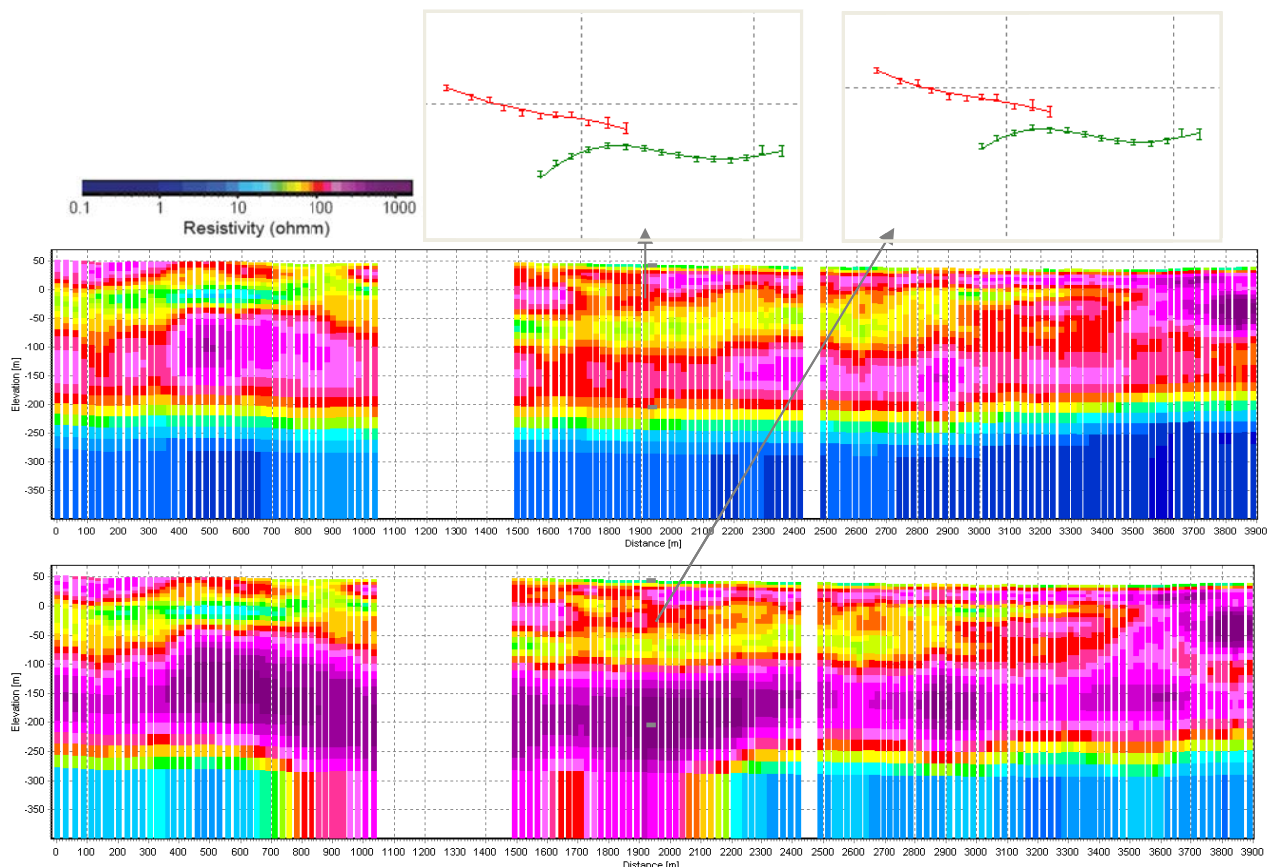
**Tablet 3 Forskellige SkyTEM modeller anvendt i arbejdet**

Fælles for alle viderudviklede SkyTEM modeller er, at der blev valgt en betydeligt dybere diskretisering, for at kunne opløse det meget dybtliggende palæogene ler. For at undgå tab af detaljeringsgrad i overfladen blev mangelagsmodellerne gennemført med 30 lag, således at de øverste lag kunne beholde samme tykkelse som i 19-lagsmodellerne. Takket være den dybe diskretisering viste 30-lagsmodellen en betydelig forbedring. I denne model blev den gode leder således opløst i næsten hele området, ligesom DOI'en også viste en forbedring af dybdeindtrængningen (Figur 18). Enkelte steder viste 30-lagsmodellen dog stadig høje modstande i stor dybde, hvilket blev tolket til at være urealistisk, da det palæogene ler er en sammenhængende enhed uden markante resistivitetsændringer. Det blev derfor besluttet at udføre en ny 30-lagsmodel, hvor lagene under Top Palæogen (som grid-det ud fra seismikdata) blev tildelt en startværdi på 2,5 ohm-m. Den resulterende SkyTEM model viste en sammenhængende god leder i hele området, se Figur 19. Figuren viser i øvrigt, hvordan det begrænsede datagrundlag danner basis for to ækvivalente modeller, der repræsenterer data lige godt, hvilket er forklaringen på, at tilføjelsen af en startværdi (uden bindinger) førte til en markant model-ændring uden at forværre datatilpasningen.



**Figur 18 SkyTEM sonderinger langs et 6 km langt profil fra den vestligste del af undersøgelsesområdet. Overhøjning ca. 2. De grå kurver på de enkelte profiler angiver DOI'en for de forskellige modeller. Den sorte linje viser beliggenheden af Top Palæogen (griddet fra seismik). Resistivitetsskala ses til højre. Øverst: 19-lagsmodellen, der er afrapporteret til Miljøcenter Ribe /13/. Midterst: 30-lagsmodel, der er startet med et homogent resistivitetshalvrum. Nederst: 6-lagsmodel, hvor resistivitetsværdien er startet på 2,5 ohm-m under Top Palæogen-griddet (fra seismikken).**

For at opnå en tilsvarende forbedring af fålagsmodellerne blev der også lavet en 6 lagsmodel, der fik tildelt en startværdi på 2,5 ohm-m under Top Palæogen griddet (Figur 18) Det blev fundet nødvendigt at gøre brug af de 6 lag for at kunne repræsentere den komplekse lagserie, idet det ene lag mistede frihedsgrader. For at have et sammenligningsgrundlag blev der endvidere lavet en 'almindelig' 6-lagsmodel med samme lagtykkelsesdiskretisering. Ligesom det var gældende for mangellagsmodellerne var det tydeligt, at tilføje af startværdien ikke forringede datatilpasningen, men tværtimod forbedrede modellerne ud fra en geologisk opfattelse.



**Figur 19 SkyTEM-modeller langs et 3,9 km langt profil. Overhøjning ca. 2x. Resistivitetsskala øverst til venstre. Øverst: 30-lagsmodellen uden a priori. Nederst: 30-lagsmodel, hvor resistiviteten er startet på 2,5 ohm-m under Top Palæogen griddet. Data og tilhørende model fra samme sondering er vist på modelkurver øverst.**

Ved den geologiske tolkning har SkyTEM-dataene bidraget betydeligt til forståelsen af lithologifordelingen i 3D-rummet, hvor der ikke haves boringsinformationer. Til gengæld har dataene kun sparsomt bidraget med stratigrafiske oplysninger. Specielt er det vanskeligt at benytte SkyTEM-dataene til at afgrænse kvartæret fra prækvartæret i områder med sandede sedimenter ved grænsen. Dette skyldes, at SkyTEM-metoden ikke er i stand til at skelne mellem miocænt og kvartært sand. I områder hvor den øverste del af Miocænet består af glimmerler, er der til gengæld den fordel, at glimmerleren har en lavere resistivitet end kvartært ler. Udnyttelsen af denne kontrast til stratigrafisk brug besværliggøres dog af det faktum, at kvartæret flere steder indeholder dislocerede miocæne sedimenter. Med hensyn til palæogenet er der den problemstilling, at den nedre del af miocænet består af lerede sedimenter med lave resistiviteter i størrelsesordenen 10 ohm-m. Resistiviteten falder dermed gradvist, hvilket gør det vanskeligt præcist at fastlægge grænsen mellem miocænet og palæogenet ved hjælp af SkyTEM dataene.

I det manuelle tolkningsarbejde er der skiftevis gjort brug af de forskellige SkyTEM inversioner, mens den endelige SSV kørsel er baseret på 30 lagsmodellen med a priori fra seismik griddet.



## 7.3 SSV-kørsler

SSV-beregningerne for Ølgod-Skovlund er blevet foretaget flere gange i et iterativt forløb, hvor resultaterne hver gang er importeret til GeoScene3D for visualisering og verificering med andre data. I de efterfølgende afsnit fokuseres udelukkende på det endelige resultat, men det bemærkes, at der ligger en række iterationer til grund for det endelige resultat.

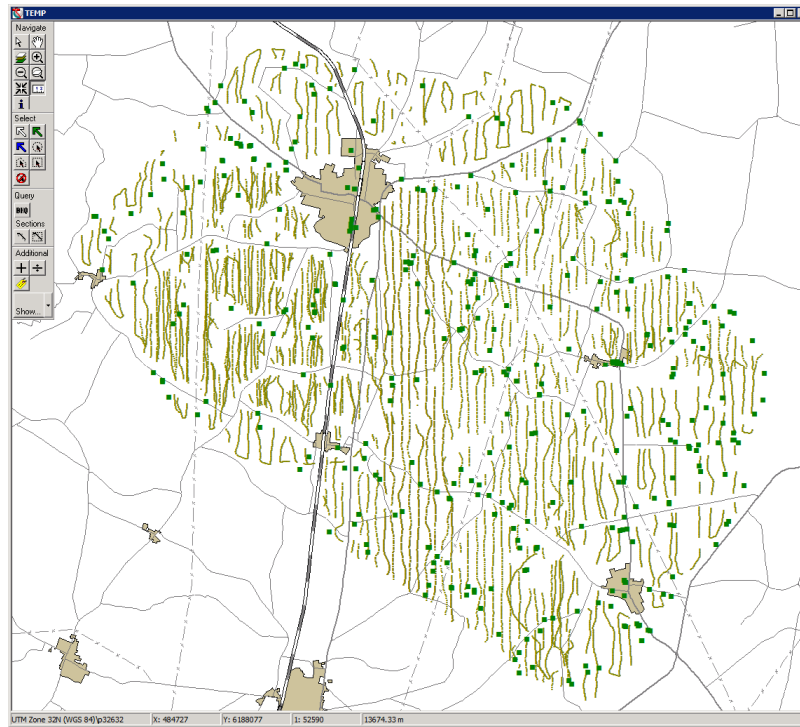
En af udfordringerne har været at overskue hele modelrummet med alle de individuelle beregningslag. Rent beregningsmæssigt har udfordringen været, at få de meget varierende data-tætheder til at spille sammen til et homogent resultat. I de terrænnære beregningslag var der knap 400 boringer hvor der for de sidste 100 meter af modellen kun fandtes én boring at holde hele områdets geofysik op imod. Nogle af disse udfordringer bliver diskuteret i det følgende.

### 7.3.1 Datagrundlag – boringer og geofysik

Antallet af boringer inkluderet i boringsbeskrivelsen er 611. Af disse har 123 dog fået kvaliteten 0, hvilket betyder at de ikke bliver inddraget i beregningerne.

Boringstætheden aftager desuden kraftigt med dybden som det ses i Figur 20 og i opsummeret form i Tabel 4. Således er der i koteintervallet 20-25 m 385 boringer, der indgår i beregningerne. I koteintervallet -15- -20 m er dette tal reduceret til 52 boringer. Det er derfor oplagt vanskeligere at foretage SSV-beregningerne for de dybereliggende dele af modellen, hvor datagrundlaget bliver meget tyndt. I de dybeste dele af modellen er resultatet af SSV-beregningerne derfor meget afhængig af bruger-input, og som det fremgår af Tabel 4 er der anvendt et stadigt kraftigere a priori-bånd med dybden. Dette modsvarer faldet i borings-information, og betyder at startmodellen tillægges mere og mere vægt i det endelige resultat.

I Figur 20 er desuden vist placeringen af de 18.785 geofysiske mangelags-modeller fra SkyTEM-målingerne.



Figur 20. Boringstætheder for to udvalgte intervaller. Øverst ses boringerne (grønne prikker) i intervallet 20-25 m, mens der nederst vises boringstætheden for intervallet - 15- -20 m. De olivengrønne markeringer viser placeringen af de geofysiske modeller i området.

### 7.3.2 Modelopsætning

Der er anvendt i alt 36 individuelle beregningslag til SSV-kørslerne. Fra kote +60 m til kote -55 m er intervallerne 5 meter tykke. Fra kote -55 m til kote -115 m er de 10 meter tykke og endelig fra kote -115 m til kote -255 m er de 20 meter tykke, som det også ses i boringsoversigten i Tabel 4. Denne gradvise forøgelse af beregningslagene er foretaget for til nogen grad at afspejle de geofysiske datas evne til at opløse lagene i en given dybde.

**Tabel 4 Opsummering af datagrundlaget på boringssiden og modelopsætning mht. a priori faktor.**

Boringsdata og modeldata			
Interval		Antal boringer	A priori faktor
60	55 m	5	3.0
55	50 m	10	3.0
50	45 m	30	3.0
45	40 m	57	3.0
40	35 m	114	3.0
35	30 m	269	3.0
30	25 m	366	3.0
25	20 m	385	3.0
20	15 m	316	3.0
15	10 m	244	3.0
10	05 m	174	3.0
05	00 m	128	3.0
00	-05 m	92	3.0
-05	-10 m	74	3.0
-10	-15 m	62	3.0
-15	-20 m	52	3.0
-20	-25 m	46	3.0
-25	-30 m	43	3.0
-30	-35 m	35	3.0
-35	-40 m	34	3.0
-40	-45 m	28	3.0
-45	-50 m	26	3.0
-50	-55 m	26	2.8
-55	-65 m	22	2.6
-65	-75 m	22	2.4
-75	-85 m	18	2.2
-85	-95 m	16	2.0
-95	-105 m	14	1.8
-105	-115 m	12	1.6
-115	-135 m	4	1.4
-135	-155 m	3	1.3
-155	-175 m	1	1.2
-175	-195 m	1	1.2
-195	-215 m	1	1.2
-215	-235 m	1	1.2
-235	-255 m	1	1.2

Funktionen der oversætter geofysik til lerindhold er for hvert lag beskrevet ved et grid med dimensionen 11 x 11 noder svarende til 1650 meter imellem node-punkterne. I hvert node-punkt er oversætter-funktionen beskrevet ved den øvre og nedre afskæringsværdi, hvilket giver totalt  $11 \times 11 \times 2 = 242$  modelparametre pr. beregningslag, eller 8712 parametre for de 36 lag i alt. Til at bestemme disse parametre findes i alt 2732 boringsobservationer, dækkende 385 boringer i det tættest dækkede interval ned til 1 boring i de 5 nederste beregningslag.

Til at styre modellen er der tilføjet både laterale bånd imellem modelparametrene og i nogle tilfælde a priori bånd direkte på nodepunkterne:

- Startmodellen for oversætter-funktionen er sat til 30-80 for *lower* hhv. *upper* afskæringsværdi som illustreret i Figur 13.
- De laterale bånd er sat til en faktor 2,5, ens for alle beregningslag.
- På grund af den svage datadækning i forhold til antal model-parametre, der skal bestemmes har det været nødvendigt, at lægge a priori-bånd på modelparametrene for de nedre beregningslag. A priori-båndet stiger gradvist i styrke fra en faktor 3.0 i toppen til en faktor 1,2 for det nederste lag, som angivet i Tabel 4. En faktor på 1,0 indikerer, at værdien er bundet helt fast til startmodellen.

Som en sidste indstilling skal det nævnes, at der i SSV-kørslerne er anvendt en søgeradius på 500 m. Det vil sige, at geofysik-punkter der ligger indenfor 500 meter bliver inddraget til at forudsige lerindholdet i den givne boring. Søgeradius afspejler de korrelationslængder, der er fundet i data.

### 7.3.3 Fra SSV-kørsler til voxelmodel

Det egentlige resultat af en SSV-kørsel er en optimeret oversætter-funktion fra geofysiske modeller til lertykkelse. Det er dog i denne sammenhæng ikke selve oversætter-funktionen, der er interessant, men derimod den lertykkelse man får, når man anvender funktionen på geofysik-modellerne i området. Til at frembringe den endelige 3D voxel-kube med lerindhold er der derfor yderligere et par skridt:

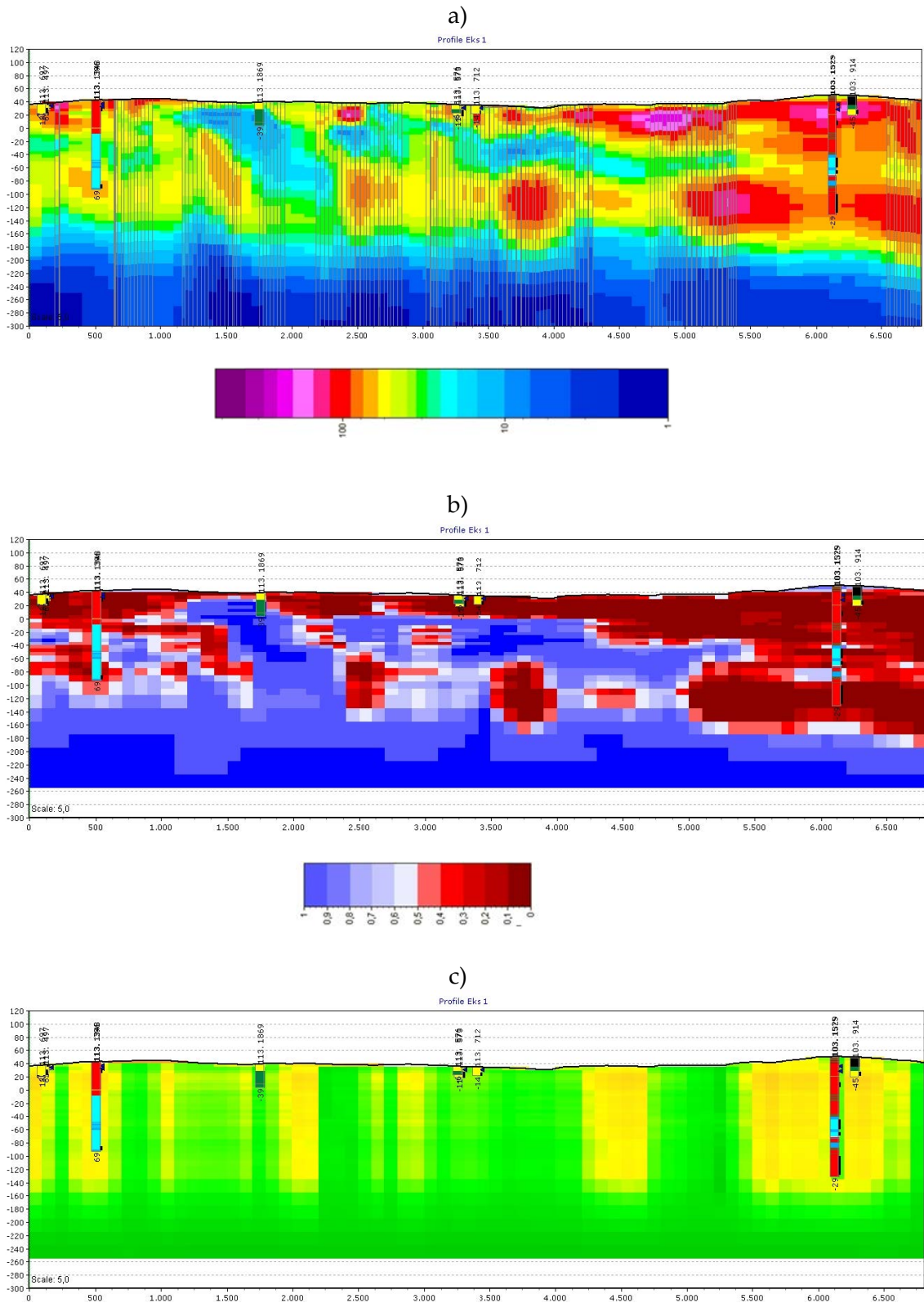
- For hvert beregningslag, som vist i Tabel 4, anvendes for hvert geofysik-punkt den lokale optimerede oversætter-funktion til at udregne en lertykkelse for den givne geofysik-model i det givne beregningsinterval. Dette vil for et 5 meter tykt beregningslag være et tal mellem 0 m (ingen ler) og 5 m (kun ler).
- For hvert beregningslag anvendes kriging-interpolation til at udregne værdier for lertykkelsen i et regulært 100 x 100 m grid identisk i udstrækning med det, der anvendes i GeoScene3D.
- De beregnede lertykkelser for hvert regulært grid normaliseres med beregningslagets tykkelse (5, 10 eller 20 m), således at alle værdier nu er mellem 0 (ingen ler) og 1 (kun ler). Der er herefter ikke tale om en lertykkelse, men snarere om et relativt ler-indhold.
- De 36 regulære grid stakkes og underinddeles, så der frembringes en 3D-kube med 100 x 100 x 5 meter voxler. Dette 3D-grid er herefter grundlaget for den videre tolkning i GeoScene3D.

### 7.3.4 Eksempler på SSV-kørsler

#### *Profiler*

Profilen i Figur 21 viser et eksempel på resultatet af SSV-kørslerne. I resistivitetssektionen i Figur 21a er der tydelige strukturer, der skelner lag med høje modstande fra lag med lave modstande. Det kan dog være vanskeligt, ud fra geofysikken alene, at placere grænserne for lerlagene, da meget af geofysikken ligger i det gul-grønne farvespektrum, som angiver resistivitetstværdier, der kan være både ler og sand. I Figur 21b er vist SSV-resultatet langs den samme profil-linje. I SSV-profilen er grænsen mellem ler og sand blevet skarpere, og man kan bemærke, at selv tynde lerlag i den dybe boring ved koordinat 6.100 m giver aftryk i ler-sand-fordelingen i SSV-resultatet. Nogle steder kan man se vekslende lag med ler hhv. sand (f.eks. omkring profilkoordinat 3000 i kote -30 m). Dette er et udtryk for forskellen i de enkelte beregningslag ved oversættelsen af geofysikken til lerindhold hvor tynde lag i lokale borer giver sig udslag i variationer i oversættelsen af geofysikken. I den nærværende implementering er de enkelte lag beregnet helt individuelt, og der er derfor ikke overførsel af information vertikalt imellem de enkelte lag, men dette er under implementering p.t.

Den nederste sektion i Figur 21c viser et grid over usikkerheden for SSV-beregningerne. Farveskalaen er arbitrær med rødlige og gullige farver som det mest usikre og grønne farver som mere sikre. Den primære usikkerhedsfaktor i SSV-resultatet er afstanden til de geofysiske målepunkter. Dette fremgår tydeligt, ved at de grønne områder er sammenfaldende med, der hvor der er geofysik, og de gule områder er der, hvor der ikke er geofysik i nærheden af profil-snittet. Endelig bemærkes det, at usikkerheden generelt falder med dybden, hvilket umiddelbart er modstridende med den stigende usikkerhed i geofysikken. Forklaringen er, at der med dybden tilføres en stigende andel a priori information, se Tabel 4. Denne tilførsel af information gør, at den relative usikkerhed fremstår som mindre.

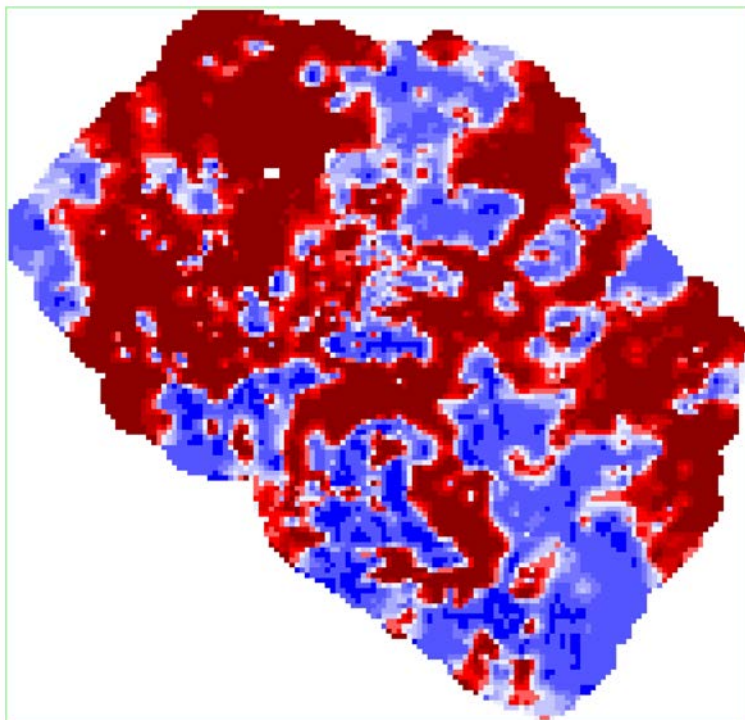


Figur 21 Profilsnit til illustration af SSV-resultatet. Panel a) viser et snit igennem 3D grid-det for geofisikken sammen med bars, hvor disse ligger inden for 100 m af profillinjen. I b) vises et snit igennem 3D-griddet med SSV-resultatet og i c) vises et snit i usikkerhedsgriddet for SSV-resultatet. Farveskalaen for usikkerhedsgriddet er arbitrær, med

grønne farver som det mest sikre og røde farver som det mest usikre. Farvekode for boredata kan ses i Figur 14.

#### *Fladekort*

Man kan naturligvis også visualisere SSV-kørslerne som fladekort. I Figur 22 er vist et fladekort for kote 7,5 meter. Også her ses tydelige afgrænsninger af de sandede hhv. lerede formationer.



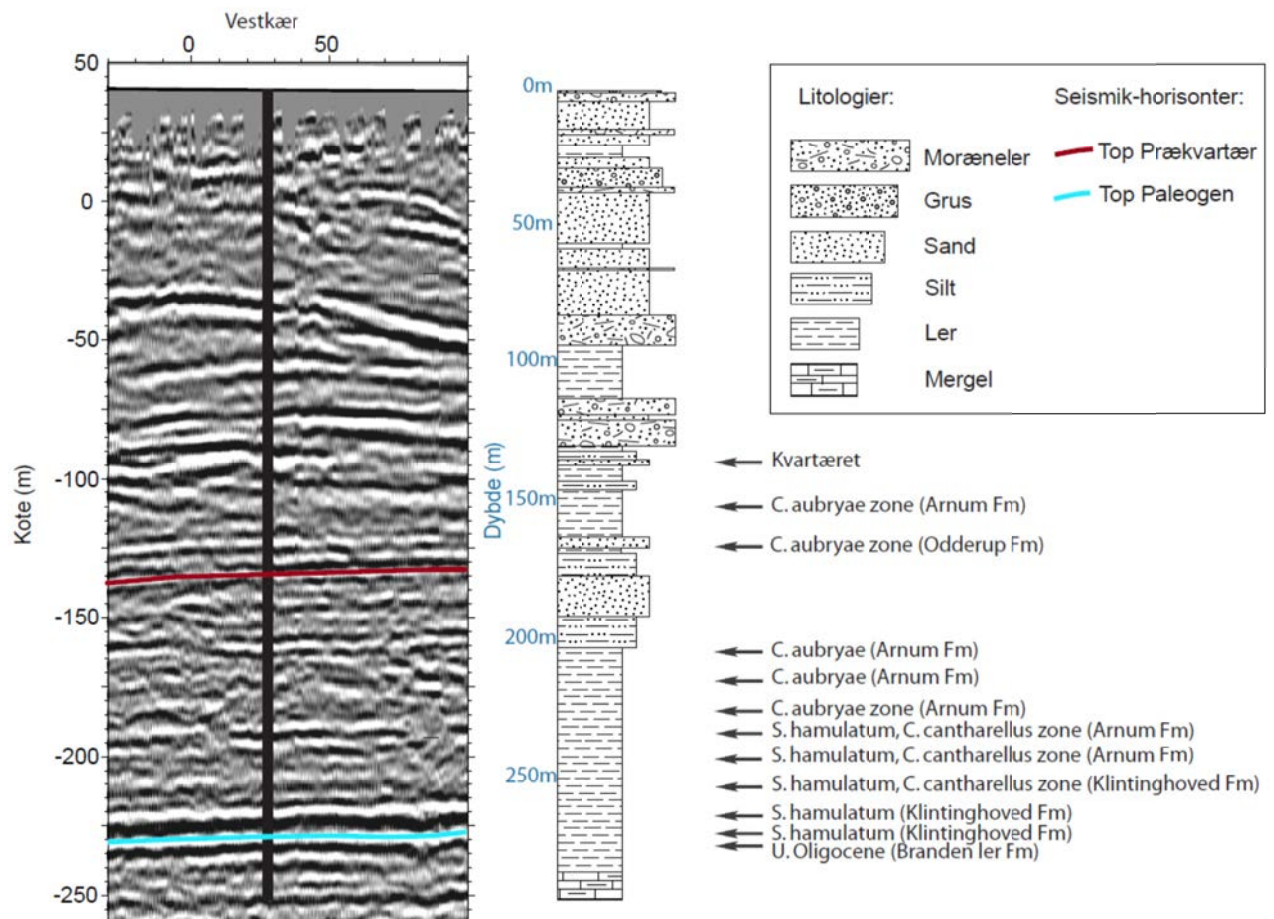
Figur 22 SSV-fladekort for kote 7,5 m.

## 7.4 Seismik

Den seismiske databehandling og -tolkning er foretaget af Aarhus Universitet og er beskrevet i /14/. De seismiske data er dybdekonverteret ved hjælp af hastigheder beregnet på grundlag af et vertikalt seismisk profil i undersøgelsesboringen (Vestkær, DGU-nr 113.1855). De dybdekonverterede og kotesatte profiler kunne herefter indlæses i Geoscene3D. Bortset fra nogle modifikationer af Top Prækvartær-horisonten (se Kap. 9.1) svarer seismik-tolkningerne i Geoscene3D til de reflektorer, der kan ses i /14/.

Overordnet set er seismikken opdelt i to enheder, hvor den nedre del er kendetegnet af sammenhængende svagt vest-hældende reflektorer, mens den øvre del er karakteriseret af mere uregelmæssige reflektorer med et mindre sammenhængende forløb. Dinoflagellat undersøgelser af prøver i Vestkær boringen /12/ er brugt til at lave en relativ datering af sedimenterne. Ifølge disse undersøgelser er den nedre sektion af Neogen og Palæogen alder (Figur 23), mens den øvre del repræsenterer sedimenter af Kvartær alder. Siden tolk-

ningsarbejdet beskrevet i /14/ er der udført nye dinoflagellat dateringer, der rykker ved den formodede dybde af Prækvartær grænsen. Dette er grunden til, at den tolkede Top Prækvartær-horisont ligger omtrent 30 meter dybere ved boringen end den anbefalede maksimumsdybde jævnfør de nyeste dateringer (Figur 23). Der er ikke ændret ved seismiktolkningen efter fremkomsten af de nyeste dateringer, idet ændringen ikke ville have en regional betydning grundet vanskeligheder ved at følge horisonten væk fra boringen. Vanskeligheden skyldes, at Top Prækvartær-grænsen ikke fremstår som nogen reel refleksion, hvorfor tolkningen er baseret på ændringen i refleksionsmønsteret mellem den Prækvartære og Kvartære del, hvilket gør den særdeles vanskelig at følge i praksis (se Kap. 9.1).



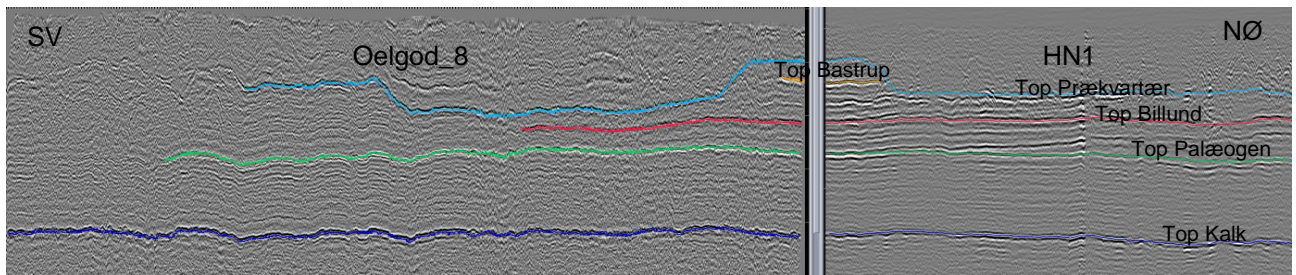
**Figur 23** Seismisk sektion tæt gennem Vestkær boringen. Lithologierne i boringen kan ses på den sedimentære log til højre for den seismiske sektion. Daterede prøver /12/ med angivne dinoflagellat zoner og dertilhørende tolkede formationer er vist i de relevante dybder. De tolkede seismik horisonter Top Prækvartær og Top Palæogen er vist på den seismiske sektion.

I den Prækvartære del af lagserien fremstår Top Kalk horisonten som en tydelig dobbeltrefleksion, der hælder svagt fra sydøst (380 m dybde) mod nordvest (420 m dybde), mens Top Palæogen grænsen ligeledes fremstår som en tydelig dobbeltrefleksion (Figur 23), der hælder fra 260m dybde i øst til 320 meter i vest (kap. 9.2).

Ved tolkningen af den miocæne lagserie er de palynologiske dateringer fra Vestkær boringen samt den opnåede viden fra Miocæn-projektet om nærtliggende data (/5/, /6/) blevet



benyttet. I denne forbindelse blev det fundet, at det var meget vanskeligt at føre tolkningerne af de omkringliggende linjer fra Miocæn-projektet ind i modelområdet. Blandt andet blev det forsøgt at korrelere med HN1-linjen /29/, som overlapper linje 8 i dennes nordøstlige forlængelse udenfor modelområdet (Figur 9, Figur 24). I Figur 24 kan det ses, hvorledes Top Bastrup-tolkningen på HN1-linjen ikke kan følges ind i undersøgelsesområdet, mens også Top Billund-horisonten er vanskelig at følge ind i området. Efter videre tolkning af Top Billund er det dog fundet, at horisonten kiler ud på Top Palæogen-horisonten, hvilket stemmer overens med, at Klittinghoved Formationen overlæjrer det Oligocæne Branden Ler direkte i Vestkær-boringen (Figur 23). Observationerne omkring Top Billund harmoniserer rimeligt med de regionale observationer, der indikerer, at horisonten kiler ud i området (Figur 5), men til gengæld er det mere vanskeligt at forene de regionale tolkninger af Top Bastrup med dybden i Vestkær boringen. Denne flade, der adskiller formationerne Klittinghoved og Arnum, blev således i boringen bestemt til at have en minimumsdybde på 242 m (Figur 23), hvilket er markant dybere end de regionale observationer, der placerer grænsen omkring 100 meter tættere på terræn (Figur 5). Grundet disharmonien mellem boringsresultaterne og de regionale tolkninger er det derfor besluttet, at undlade at tolke Top Bastrup i den seismiske del af undersøgelsen.

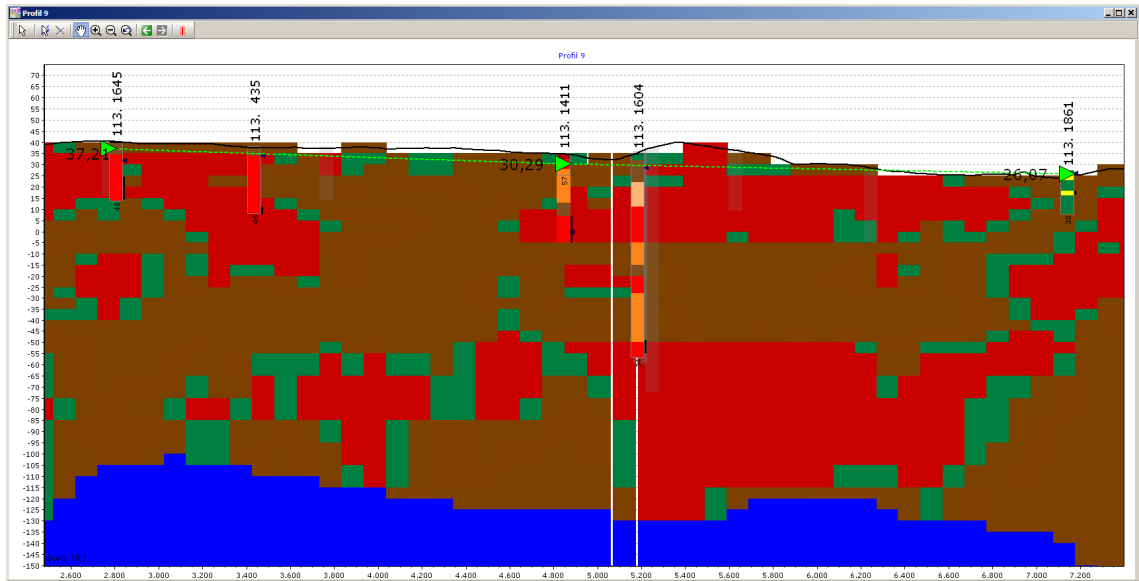


**Figur 24 Seismik linje 8 samtolket med HN1-linjen. Samlet længde ~ 9,2 km, ca. 4 gange overhøjning. Dybde ~ 500 m.**

Den kvartære lagserie er i hele undersøgelsesområdet præget af meget komplekse strukturer med hældende reflektioner, der i den vestlige del i /14/ hovedsageligt er tolket som aflejringsbetingede strukturer, mens der er tolket glacialtektoniske overskydninger i den nordlige og østlige del af området.

## 7.5 Hydrologiske data

I den manuelle gennemgang af modellen er trykniveauer visualiseret på profiler med det formål, at vurdere om der kan være spring i trykniveauer og måske derfor manglende hydrauliske sammenhænge indenfor større områder med mere eller mindre sammenhængende sandenheder. Områderne kan u hensigtsmæssigt være koblet sammen i SSV-beregningen og derved videregivet til det lithologiske grid. Et eksempel på et profiludsnit med store spring i trykniveauerne er visualiseret ovenpå det lithologiske grid i Figur 25.



**Figur 25** Profiludsnit med trykniveauer angivet med grønne trekanten. Farvekode for boredata kan ses i Figur 14 og farvekode for det lithologiske grid kan ses i Figur 28.

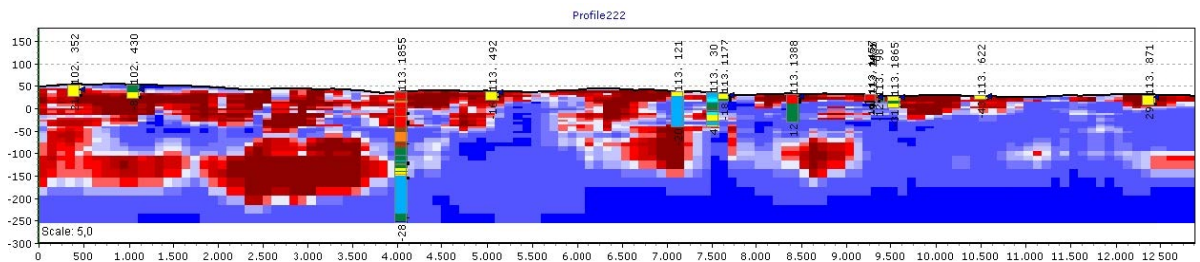


## 8. Konstruktion af geologisk model

I dette kapitel beskrives hvorledes SSV-resultatet gennemgår en transformering fra et SSV-grid til en færdig geologisk sand/ler-model. Processen består overordnet i, at SSV-griddet først bliver konverteret til et diskret lithologisk grid, der efterfølgende tilpasses og udbygges med geologisk information fra de seismiske undersøgelser samt geologisk viden fra andre datatyper. Til sidst tilrettes det lithologiske grid ved en manuel gennemgang, hvori fejl udrykkes og supplerende geologisk viden indføres.

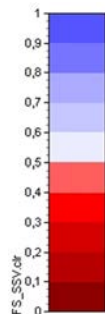
### 8.1 Konvertering af SSV griddet til et lithologisk grid

Den beregnede lerfordeling fra SSV'en er leveret i 63 grids, der hver især dækker et interval svarende til en voxelykkelse på 5 meter, se eksempel i Figur 26. Voxlerne er 100 x 100 meter i X- og Y-retningen og dækker et vertikalt spænd fra kote -252,5 meter til kote 57,5 meter. De 63 grids stakkes indledningsvist til et 3D "single floating point grid" i GeoScene3D Toolbox'en og indlæses efterfølgende til GeoScene 3D.



**Figur 26** Tilfældigt eksempel på SSV-griddet med 10 intervaller, se farveskala i Figur 27. Boringerne på profilet har en buffer på 50 meter. Farvekode for boredata kan ses i Figur 14.

Griddet indeholder det eksakt beregnede lerindhold i hver voxel, angivet i decimaltal fra 0,00 til 1,00. I GeoScene 3D kan lerindholdet visualiseres ved en farveskala (Figur 27) med intervaller på 0,10 (10 %). Blå farve betyder at lerindholdet er stort indenfor voxlen (op til 100 %), mens rød farve betyder, at der kun er lidt ler i voxlen.



**Figur 27** Farveskala for SSV-griddet – fra 0 til 100 % ler.

For at gøre det muligt at udføre manuel tolkning og editering af griddet i GeoScene 3D er det nødvendigt at konvertere SSV griddet til et diskret grid (i 10 % intervaller), da man ikke kan udføre manuel gridredigering i et "floating point grid". Konvertering af SSV-griddet til et diskret grid gør det samtidigt muligt, at arbejde med lithologiske betegnelser og beskrivelser i symbollisten.

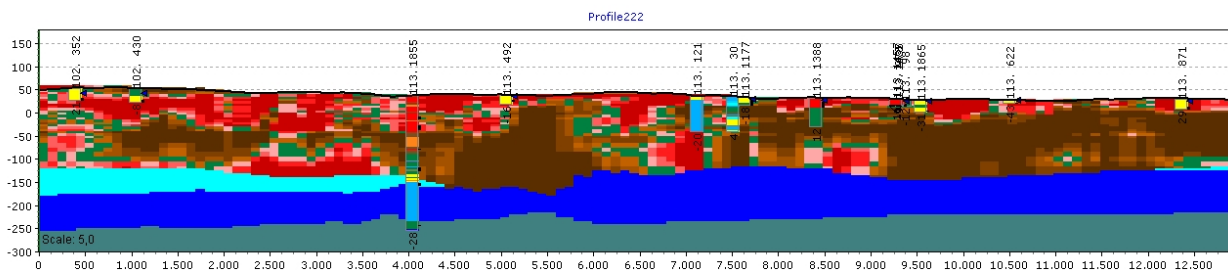
På Figur 28 ses en symbolliste med 13 forskellige lithologi-klasser. Disse 13 enheder udgør indholdet af den færdige geologiske model. Kvartære voxler, der indeholder mellem 0 og 40 % ler betegnes som sand og er angivet i symbollisten med røde nuancer (symbolerne 1 til 4). Voxler der indeholder mellem 40 til 60 % ler vises med grønne nuancer (symbol 5 og 6). Voxler med 60 til 100 % ler har brune nuancer og betegnes ler (symbol 7 til 10).

Symbolisten transformerer SSV-griddets %-fordeling af lerindhold til repræsentative lithologier i hver voxel. Der er defineret 10 kvartære enheder og 3 prækvartære enheder, idet de fra seismikken tolkede prækvartære lag også indarbejdes i griddet. De prækvartære bjergarter i modellen udgøres af det palæogene ler, af miocænt glimmerler og -sand.



**Figur 28** Symbolliste for de 10 kvartære (1 til 10) og 3 (12 til 14) prækvartære lithologier, der indgår i den lithologiske model.

Figur 29 viser et profilsnit gennem den resulterende geologiske model. Nederst ses med blågrå farve det fede palæogene ler, som udgør bunden af modellen. Denne enhed overlejres af miocænt ler vist med blåt efterfulgt af miocænt sand vist med turkis farve. Da de prækvartære enheder har en større udbredelse og er lateralt sammenhængende, har de kunnet indlægges i modellen ved hjælp af interpolerede laggrænser modellereret på baggrund af de seismiske tolkninger, boringer og SkyTEM, se Kap. 9. Ovenover følger så de kvartære aflejringer beregnet ved hjælp af SSV'en.



**Figur 29** Tilfældigt eksempel på profil gennem lithologi-griddet med 10 kvartære og 3 prækvartære lithologiske enheder. På griddet er der vist boringer med bufferafstand på 50 m. Profilet er identisk med profilet gennem SSV-griddet vist i Figur 26. Farvekode for boredata kan ses i Figur 14.

## 8.2 Modelling af lagflader

I modellen er der indlagt tre lagflader, som repræsenterer henholdsvis 'Top Prækvartær', 'Bund Sand' (Miocænt) og 'Top Palæogen'. Kun få af borerne er dybe nok til at bidrage til tolkningen af fladerne, og udover disse er fladerne hovedsageligt tolket på basis af grid-dede seismiktolkninger (Kap. 9). De tolkede refleksioner i Kingdom Suite blev transformeret til fladetolkningsspunkter og dernæst eksporteret fra Kingdom Suite og lagt ind i Geoscene3D, hvor usikkerhedsværdier blev tilskrevet.

Med udgangspunkt i boringsinformationer er der foretaget nogle enkelte omtolkninger af den Top Prækvartær-flade, der oprindeligt blev tolket i seismikprojektet (Kap. 9.1). På nær disse boringsrelaterede modifikationer er lagfladen udelukkende baseret på seismiktolkningerne. Dette blev valgt, idet SkyTEM-dataene desværre ikke kunne bruges til at afgrænse fladen (Kap. 7.2). Desværre er Top Prækvartær også meget vanskelig at tolke på seismikken, hvorfor heller ikke seismikken bidrager med et særlig sikkert bud på beliggenheden af grænsen. De fleste af seismiktolkningsspunkterne fra denne flade har derfor fået tilskrevet en høj usikkerhedsværdi på 3, mens delområder, hvor tolkningen er mere sikker har fået tildelt en middel usikkerhedsværdi på 2.

Top Palæogen er ligesom Top Prækvartær-fladen baseret på seismiktolkningerne (kap. 9.2). I modsætning til vanskelighederne ved at tolke Top Prækvartær horisonten var det til gengæld meget entydigt at tolke Top Palæogen på seismikken, hvorfor tolkningsspunkterne har fået tilskrevet en sikker usikkerhedsværdi (1). SkyTEM-dataene var desværre ikke brugbare i tolkningsproceduren, idet fladen ligger så dybt, at dataene har meget lidt information om laget. SkyTEM dataenes opløsning af laggrænsens beliggenhed besværliggøres endvidere af det gradvise resistivitetsfald fra de Miocæne lersedimenter over i de Palæogene lersedimenter (se Kap. 7.2). Fladen hælder jævnt mod vest, og der hverken forventes eller ses nogle markante tegn på topografi af fladen, og den kan derfor med en vis rimelighed tolkes på basis af de griddede seismiktolkningsspunkter.

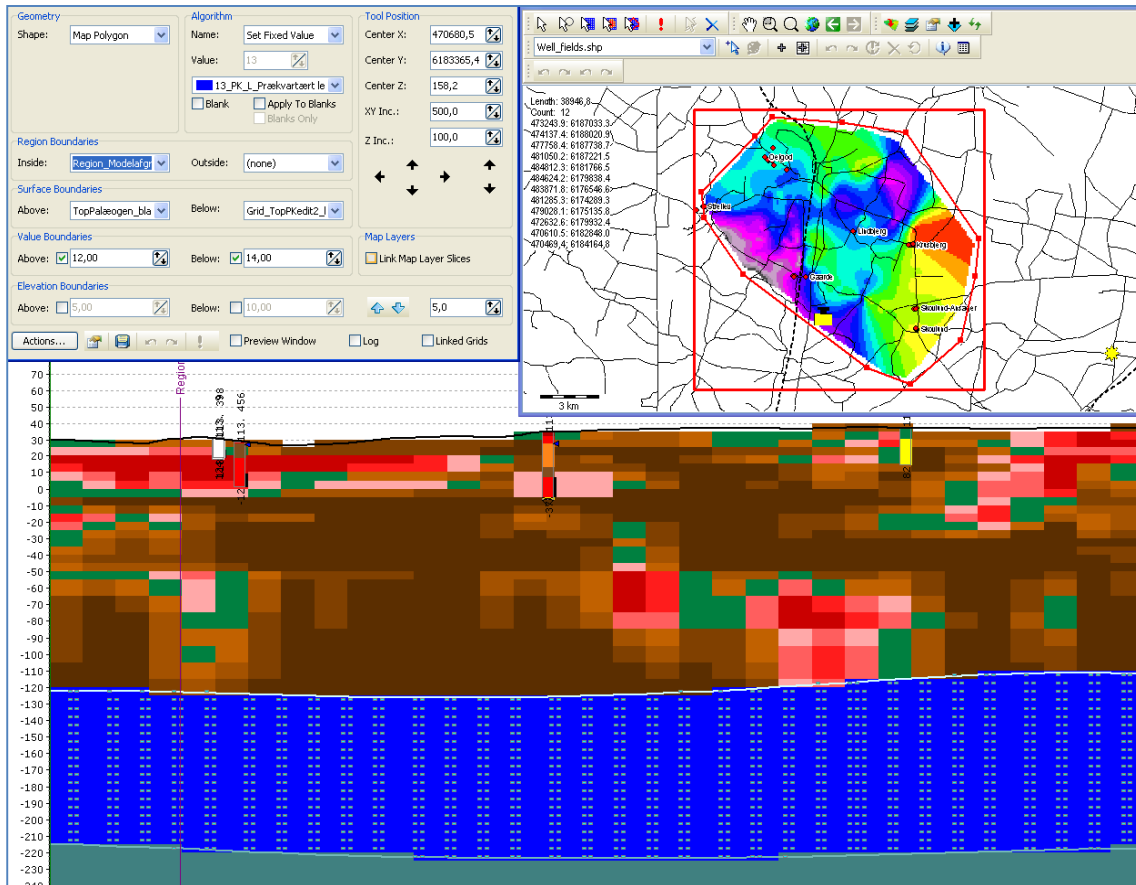
Den flade, der afgrænser det miocæne sand nedadtil ('Bund Sand'), blev tolket på basis af en samtolkning af seismik og SkyTEM (Kap. 9.3). Udover seismiktolkningsspunkterne ('middelsikre') er der derfor indført fladetolkningsspunkter mellem seismiklinjerne. Eftersom der kun er ganske få borer, der når den relevante dybde, er disse tolkningsspunkter nærmest udelukkende baseret på SkyTEM data. Disse punkter har derfor fået tildelt en stor usikkerhed svarende til '3' (se Kap. 6).

## 8.3 Indlejring af seismiske tolkninger i modellen

De geologiske informationer fra seismikken er blevet indlejret og anvendt i modellen ved at udnytte modellerede laggrænser som afgrænsning for udvælgelsen af voxler. Udvalgelsen kan foregå både på fladeniveau (som vist øverst til højre i Figur 30), på profil og i 3D. Aktivering af forskellige filtre der afgrænser udvælgelsen, styres i Grid Editoren (øverst til venstre i Figur 30) i GeoScene3D. Filtre kan være lagflader, regioner, symbolværdier m.fl. Efter udvælgelsen af voxler angives den ønskede lithologi og handlingen udføres, hvorved de udvalgte voxler overskrives med den valgte lithologi. Nederst i Figur 30 er der vist et profil-

udsnit, hvor fladerne for Top Palæogen og toppen af miocænt glimmerler er anvendt som nedre og øvre grænse for udvælgelsen. De udvalgte voxler er vist med turkise prikker, og lithologien for miocænt ler (blå) er tildelt lithologigriddet.

Som det bl.a. fremgår af Figur 29 og Figur 30 er de dybere dele af modellen revideret og erstattet med tolkninger fra de seismiske data. Toppen af palæogenet når ned til kote -280 meter, og det har derfor været nødvendigt at udbygge det lithologiske grid i dybden med yderligere 9 voxellag på 5 meter i bunden (i forhold til SSV-griddet). Se forskellen på vertikalakserne på Figur 26 og Figur 29.



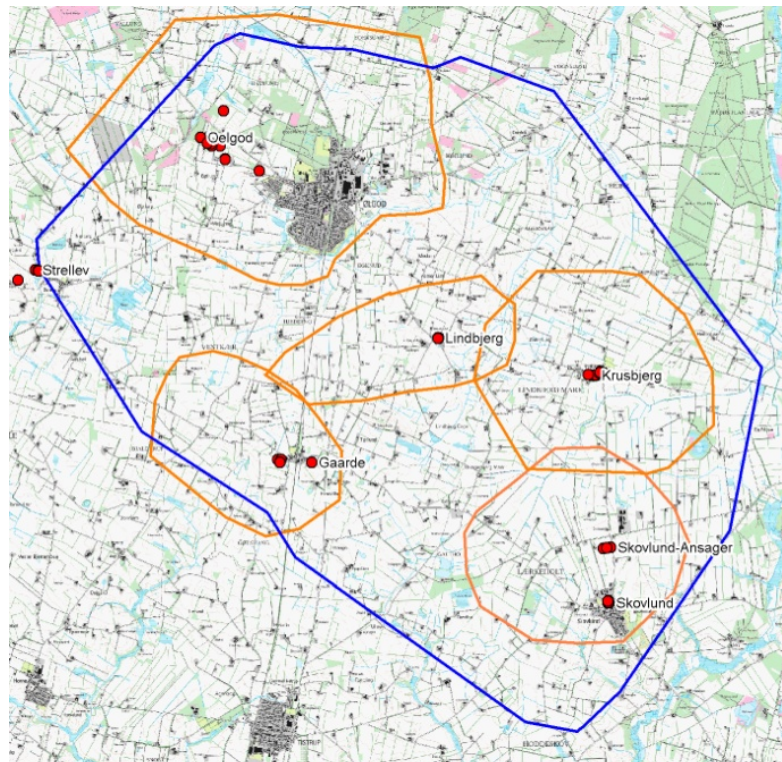
Figur 30 Screen dump fra GeoScene3D der viser udvælgelse af voxler i kortplan med Top Palæogen og toppen af glimmerler som nedre og øvre afgrænsning for udvælgelsen. De udvalgte voxler er vist med turkise prikker, og den tildelte lithologi er blå og har overskrevet SSV-griddet. Farvekode for boredata kan ses i Figur 14.

## 8.4 Manuel tilretning

Efter indlejring af den seismiske tolkning i modellen består det næste trin i, at griddet gennemgås manuelt. I denne proces inddrages alle datatyper, herunder boringsdata, SkyTEM dataene (få- og mangelagsmodeller med forskellige a priori værdier udført med henblik på opløsning af særlige geologiske elementer) samt trykniveauer fra synkronpejlerunden i foråret 2010.

Hele modelrummet er gennemgået manuelt dels langs 16 faste profiler (se Bilag 3), dels ved at bevæge et flytbart profil 100 meter ad gangen gennem området. Der har været et særligt fokus på den manuelle tilretning indenfor de 6 polygoner på Figur 31. Polygonerne afgrænser områderne omkring de 6 kildepladser.

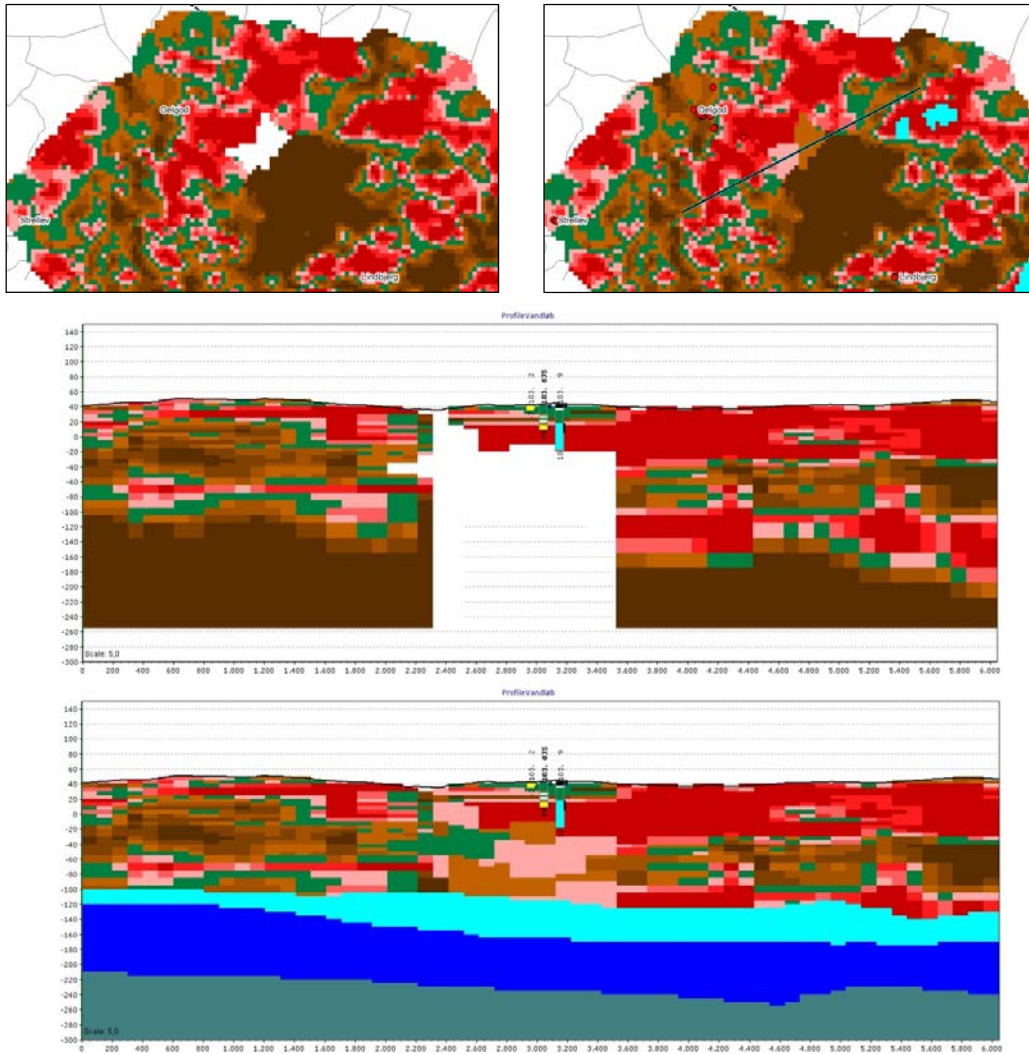
Som dokumentation er de manuelle tilretninger dokumenteret på prosaform i Bilag 2. Det er i hovedtræk beskrevet, hvor der er lavet ændringer i modelgriddet, hvad der er ændret, samt hvilke overvejelser der ligger bag ændringerne. Notatet er inddelt i kapitler som refererer til polygonerne, samt et kapitel for det resterende modelområde. De 6 regioner udgør over halvdelen af modelområdet.



**Figur 31 Afgrænsning af områder omkring kildepladser med fokus for den manuelle gennemgang. Indvindingsboringer er angivet med røde prikker.**

I nogle områder er SSV griddet ikke udfyldt, da der er for stor afstand mellem data. Dette gælder f.eks. området under Ølgod by, hvor der ikke er fløjet SkyTEM. Figur 32 øverst viser i et horisontalt snit i kote – 97,5 m gennem modellen, hvordan området ved Ølgod by er blevet manuelt udfyldt i byområdet. Nederst ses det samme på et profil gennem byen.





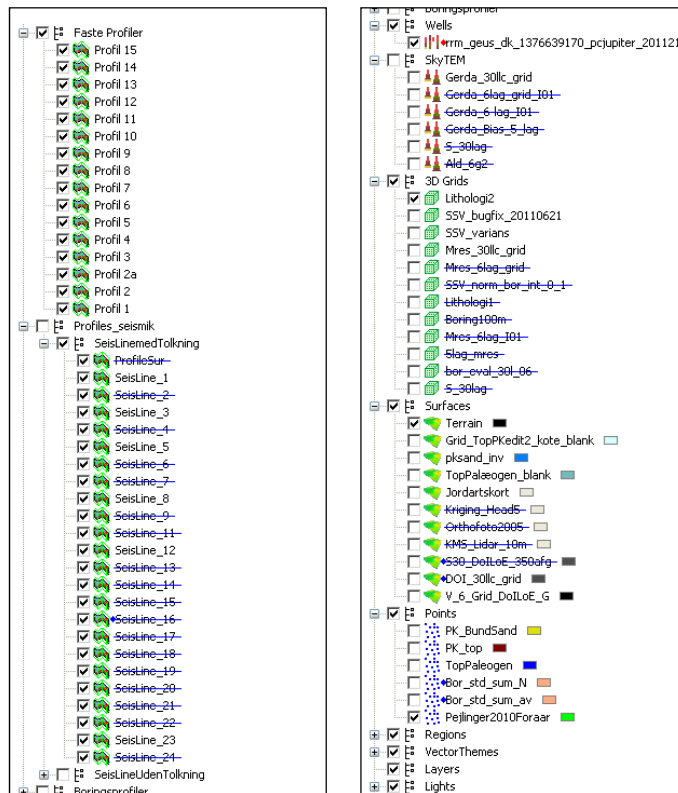
**Figur 32** Øverst: Horisontalt snit i kote - 97,5 meter i modellen før og efter den blev manuelt udfyldt i hullet ved Ølgod by. Nederst: Vertikalt profilsnit gennem området ved Ølgod by der viser den manuelle udfyldning. Profilets position ses på det horisontale snit til højre.

Som en følge af at SSV-kørslerne foretages i uafhængige horisontale lag forekommer der nogle steder uhensigtsmæssig distribuering af meget tynde lag fra boringer og ud i modelgriddet. De mest tydelige af disse "fejl", samt andre åbenlyse fejl er tilrettet ved den manuelle gennemgang af griddet og er beskrevet nærmere i Bilag 2. Der er også tilrettet i forhold til potentialer i boringerne, se Kap. 7.5.

## 8.5 Digital modelstruktur

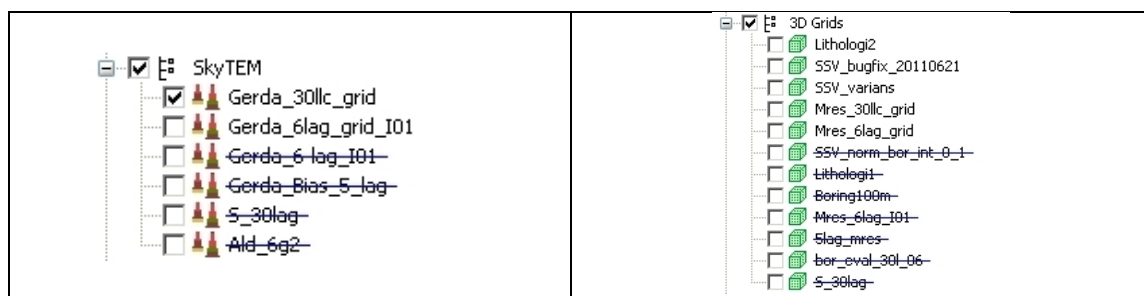
Den digitale model består af et GeoScene3D-projekt, som omfatter en lang række objekter (Figur 33), der administreres og visualiseres via indstillinger for de enkelte objekter i Object manageren i GeoScene3D. De enkelte objekter kan have status som aktiv eller inaktiv alt efter behov. Det anbefales, at der kun aktiveres de 3D grids og SkyTEM 1D sonderinger, der er i brug, og at der kun vises 1D SkyTEM sonderinger på profiler. Med en ukritisk til-

gang til hvilke objekter der er i anvendelse og hvordan, vil det kunne opleves, at modellens performance forringes.



**Figur 33** Screen dump af “Object manager” i GeoScene 3D-projektet.

GeoScene3D’s brugerflade består i hovedtræk af et 3D-view, kortvinduer og profiler, der komplimenterer hinanden og giver righoldige muligheder for visualisering af data og den opbyggede model.



**Figur 34** Objekter med SkyTEM-sonderinger og 3Dgrids i GeoScene3D projektet. Objekter med strek igennem er frakoblet.

Objekterne i modellen læser data fra to databaser, hvor den ene håndterer datasæt (data-set manager) og den anden datakilder (data source manager). En række objekter er medtaget i GeoScene3D projektet, selvom de alene har været vigtige led i at nå frem til de endelige inversionsresultater for henholdsvis, resistivitets-, SSV- og lithologigrids. Disse er som udgangspunkt inaktiveret i modellen, og det er kun de objekter, der direkte indgår i modelarbejdet, der er aktiveret, se Figur 34.

De centrale objekter er med navn listet i Tabel 5, og for at den eksakte datakilde kan findes er navnet på data sourcen også angivet i tabellen.

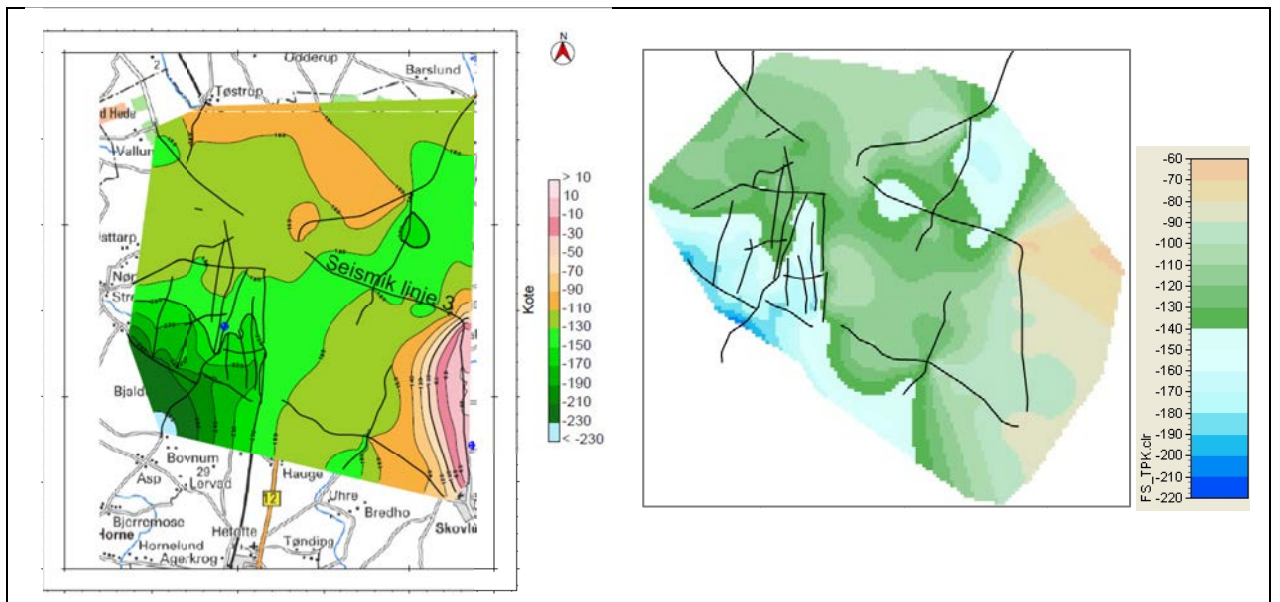
Objekttype	Objektnavn	Data Source	Beskrivelse
Boringer	geus_dk_137663 9170_pcjupiter_2 0112102	rrm_geus_dk_137663 9170_pcjupiter_20112 102.mdb	Udtræk fra Jupiter databasen i form af et PC jupiter udtræk
SkyTEM 1D sonderinger	Gerda_30llc_grid	Gerda_30llc_grid.gdb	Det anvendte objekt med SkyTEM sonderinger – der indgår 18779 modeller i PC-Gerda-databasen
3D resistivitetsgrid	Mres_30llc_grid	Mres_30llc_grid\Mres_30llc_grid.grd3	Det primære resistivitetsgrid brugt i den geologiske modellering
3D SSV-grid	SSV_bugfix_20110621	SSV_bugfix20110621_dyb.grd3	Det endelige SSVgrid der ligger til grund for det lithologiske grid
3D lithologigrid	Lithologi2	Ltho2_num1_bor_int_0_1_dyb.grd3	Den endelige sand/ler model
Profiler	Profil 1, profil 2, profil 2a,,profil 15		16 faste profiler gennem den geologiske model og hovedparten af kv. 1 boringerne
	Seisline_1 til Seisline_24		24 seismik profiler uden tolkning
	Seisline_1_uTolk til Seisline_24_uTolk		24 seismik profiler med tolkning
Punktemaer		XYZ_tolkningspunkter.mdb	Alle punktemaer ligger i samme database
	PK_top	Top_PK	Prækvartæroverfladen (miocænt ler og sand)
	PK_BundSand TopPalæogen	PK_BundSand TopPalæogen	Bund af miocænt sand Overfladen af palæogent ler
Gridflader	PK_top	Grid_TopPKedit2_kote_blank.grd	Prækvartæroverfladen (miocænt ler og sand)
	PK_BundSand TopPalæogen	pksand_inv.grd TopPal_ng_blank.grd	Bund af miocænt sand Overfladen af palæogent ler

**Tabel 5 Centrale objekter i GeoScene3D projektet for Ølgod-Skovlund modellen**

## 9. Modelindhold - beskrivelse

### 9.1 Prækvartæroverflade

Top Prækvartær-grænsen er kortlagt med udgangspunkt i tolkningen i /14/, hvor horisonten blev tolket til at afgrænse de sammenhængende reflektorer i Prækvartæret fra det mere kaotiske refleksionsmønster i Kvartæret (se Kap. 7.4). Den griddede flade ses på Figur 35 og viser, at der er en stor variation i koteniveauerne med de største forskelle fra 'lavningen' i sydvest (kote -230 m) til højdepunktet i sydøst (kote 10 m). Det fremgår endvidere, at der er betydelig forskel i detaljeringsgraden som følge af forskelle i seismiklinjernes tæthed. Horisonten er blevet udsat for enkelte modifikationer i forbindelse med, at fladen er benyttet i modelleringsarbejdet, og det resulterende Top Prækvartær grid (Figur 35 th). Den oprindelige tolkning samt de foretagne ændringer er kommenteret i det følgende.

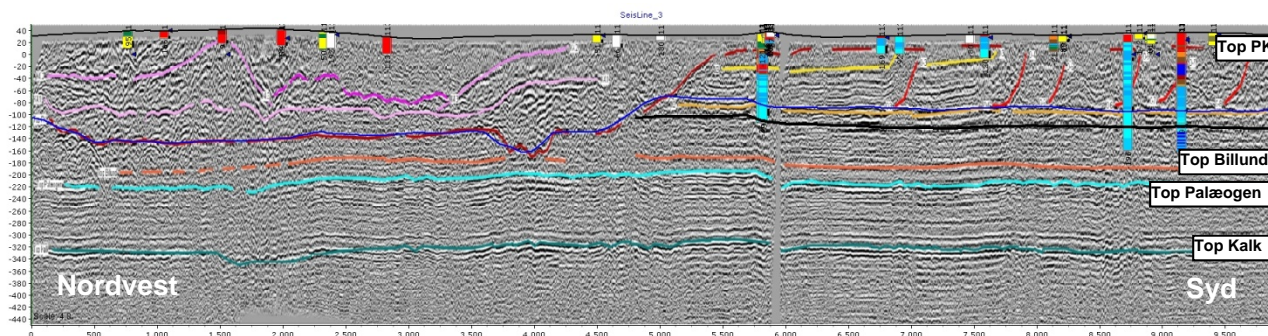


**Figur 35 Tv.:** Den griddede Top Prækvartær horisont fra seismikken /14/. **Seismik-linje 3** (se Figur 36) er markeret på figuren. **Th.:** Grid af den modificerede Top Prækvartær horisont, der er blevet benyttet i modelleringsarbejdet.

I forbindelse med tolkningen af seismikken var der en del diskussion om, hvordan Top Prækvartær-grænsen skulle tolkes på seismik-linje 3, der løber fra Ølgød til Skovlund (Figur 35). På det nord-syd gående linjetranssekt ses således overskydninger (Figur 36) i sedimentet af overvejende prækvartære aldre jævnfør dybe borer langs linjen (bl.a. DGU nr. 113.1235). Horisontens beliggenhed afhænger derfor af, hvordan grænsen defineres. Man kan således dels lægge vægt på, at lagpakken har været udsat for kvartære processer i form af overskydninger eller fokusere på de prækvartære aldre af sedimentet. I /14/ blev sidstnævnte valgt, hvorfor horisonten blev ført op over de glaciære overskydninger (Figur 36).

Tolkningen af Top Prækvartær-horisonten blev revurderet, da fladen skulle benyttes i modelleringsarbejdet, og det blev således besluttet at lade Top Prækvartær svare til decolle-

mentplanet for overskydningerne på linje 3. På Figur 36 ses det, hvorledes den revurderede Top Prækvaltær horisont (Top PK mod. - lilla) ligger omtrent 80 meter dybere end den oprindelige tolkning (Top PK - rød) langs med det berørte linjestykke.

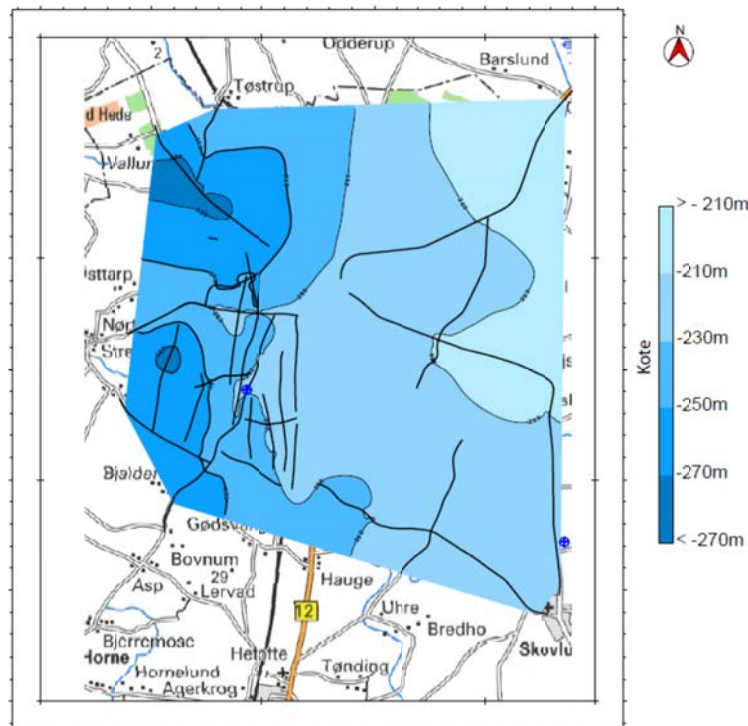


**Figur 36 Seismiklinje 3 (beliggenhed er vist på Figur 35). Vertikal skala er omtrentlig kote. Tolkede horisonter og overskydninger (røde) er fra /14/. Den oprindelige Top Prækvaltær horisont ('Top PK') er rød, mens den nytolkede Top Prækvaltær horisont ('Top PK mod.') er vist med en tynd lilla linje. Boringer indenfor en afstand af 100 m er vist på det seismiske profil. De blå litologibetegnelser indikerer prækvartære sedimenter, mens rød-brune farver repræsenterer kvartære sedimenter. Overskydningerne ses også i boringerne. Farvekode for boredata er vist i Figur 14.**

Udover ovennævnte tolkningsændring blev der kun foretaget få modifikationer af den oprindelige tolkning i /14/. Kun få boringer i området penetrerer faststående Miocæn, og den gennemførte seismiktolkning, der også tager højde for de dybe boringer repræsenterer et 'bedste bud' på beliggenheden af Top Prækvaltær. Dog skal det i denne forbindelse nævnes, at Top Prækvaltær-horisonten flere steder er endog meget vanskelig at tolke på de seismiske sektioner, hvorfor der er en betydelig usikkerhed forbundet med tolkningen. Endvidere betyder fordelingen af de seismiske linjer, at der er meget store forskelle i detaljeringsgraden af horisontens forløb. Dette fremgår også af Figur 35, hvor der ses relativt store lokale dybdevariationer i det sydvestligste område, hvor linjerne ligger tættest, mens der ikke ses lignende lokale variationer i området i øst, hvor datatætheden er lavere. Usikkerheden af Top Prækvaltær-griddet er derfor betydeligt større i områderne med lavest datatæthed. I forhold til den eksisterende fortolkning af prækvartæroverfladen (Figur 3) er der store forskelle, idet den gamle overflade befinder sig mellem kote -125 m og +50 m, mens den nye befinder sig væsentligt dybere mellem kote -220 m og -60 m.

## 9.2 Top Palæogen

Top Palæogen er kortlagt ved hjælp af seismikken, og der er ikke foretaget nogen ændringer i tolkningen i /14/. Refleksionen, der repræsenterer toppen af Palæogenet, blev udpeget i Vestkær boringen på baggrund af boringsdata (Figur 23), og reлектoren er let at erkende på seismikken, da den fremstår som en let-genkendelig dobbeltrefleksion (Figur 36). Et grid over horisonten ses på Figur 37, hvor det fremgår, at horisonten hælder mod vest fra kote -210 m i øst til -270 m i det vestligste område. Ligesom det er gældende for Top Prækvaltær-griddet ses der en tendens til større lokale grid-variationer i det vestlige område, hvor der er større linjetæthed i seismikken.



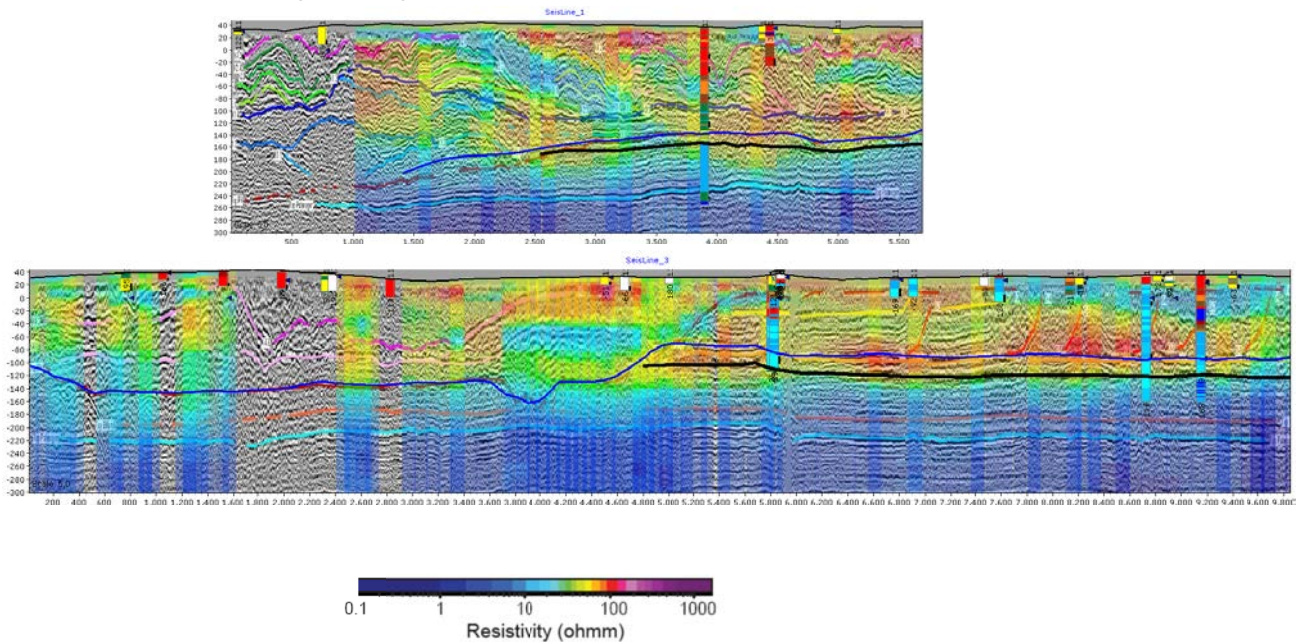
**Figur 37** Interpoleret grid over Top Palæogen-horisonten, fra /14/. Legenden viser kote, mens tal på kurverne angiver dybder under kote 50 m (pga. udtræk fra Kingdom Suite).

Seismik-tolkningen af horisonten er meget præcis langs linjerne takket være genkendeligheden af refleksionsmønstret sammenholdt med den præcise placering af dybden til Top Palæogen ved Vestkær-boringen. Interpolationen af tolkningerne medfører en mindre usikkerhed end det gjorde for Top Prækvartær horisonten pga. horisontens jævne forløb, der kun udviser mindre lokale variationer. Alligevel må usikkerheden af seismik griddet betragtes som værende størst i den østlige del af området, hvor der er størst afstand mellem seismiklinjerne. Der ses en meget god overensstemmelse med de eksisterende kort over toppen af palæogenet (se Figur 6).

### 9.3 Miocæn

Det er også udført manuel modellering af Miocænet; primært baseret på seismikken og de få borer, der penetrerer det faststående Miocæn (se Kap. 8.2). Denne fremgangsmåde er valgt, fordi den Miocæne lagpakke ligger i en dybde (150-200 meter), hvor SkyTEM-data kun i ringe omfang kan opløse denne. Seismikken bidrager imidlertid kun med få lithologiske informationer, og SkyTEM data er derfor blevet benyttet til at give indikationer om, hvorvidt der er tale om sandede eller lerede sedimenter.

I undersøgelsesområdet er hovedparten af de miocæne sedimenter lerede, og tolkningen er derfor foretaget på en måde, hvor sandede enheder blev forsøgt afgrænset langs de enkelte seismiklinjer. Ved tolkningen er relevante boringsdata indgået, mens der også er skelet til seismiske indikatorer som 'udbygningstendenser' i den miocæne lagpakke. Sådanne strukturer blev dog kun fundet i ganske få tilfælde. Ved at interpolere omkringliggende SkyTEM sonderinger ind på linjen (Figur 38) er SkyTEM resultaterne benyttet til at give en fornemmelse af resistivitetsniveauet af de givne sedimenter. På størstedelen af seismiklinjerne savnes boringsoplysninger til at bidrage med lithologioplysninger. Grundet den sparsomme opløsning af SkyTEM i de givne dybder, er der en relativ stor grad af usikkerhed forbundet ved litologitolkningerne.

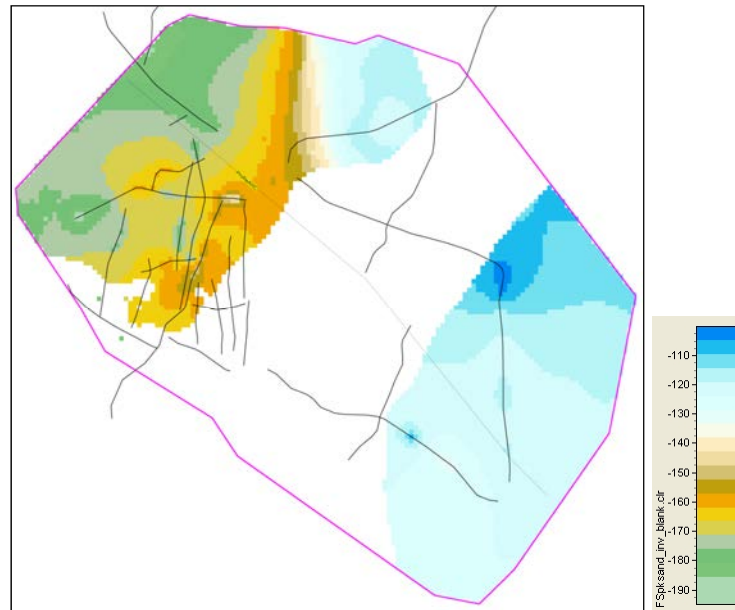


**Figur 38 Øverst: Seismik-linje 1, hvor Vestkær-boringen ses ved afstanden 3800 m. Nederst: Seismik-linje 3 med nærtliggende boringer. For begge profiler er nærtliggende TEM data interpoleret ind på linjen og vist i transparent form. Resistivitets-skalaen ses øverst til højre. En legende for lithologi er vist i Figur 14. De tykke sorte markeringer angiver bunden af tolket Miocænt sand. Begge profiler er vist med ca. 5 gange overhøjning og er orienteret med nord til venstre og syd til højre. Profilernes lokalisering fremgår af Figur 9.**

Sandlegemerne (kaldet 'Bund Sand', se Kap. 8.2) blev tolket i Kingdom Suite /30/, hvorfra fladetolkningerne blev overført til Geoscene3D. Imellem seismiklinjerne blev der lavet enkelte fladetolkningsskiver på basis af SkyTEM data og enkelte boringsoplysninger. Tolkningsskiverne mellem de seismiske linjer er registreret som havende en større usikkerhed end tolkningsskiverne på seismiklinjerne, se Kap. 8.2.

De tolkede Miocæne sandenheder, Bund Sand, fremgår af Figur 39. I hovedparten af området er der under Top Prækvartær-fladen højresistivitets-sedimenter, som i de fleste tilfælde fremstår som en fortsættelse af højresistivitets-områder i kvartæret. I den centrale del af undersøgelsesområdet var højresistivitetslaget kun sporadisk eksisterende, hvorfor grundlaget for en decideret sand-tolkning blev vurderet til at være utilstrækkelig. Imellem de to

områder er der en markant forskel, hvor sandlegemet ligger betydeligt højere (~kote -100 m) i det østlige end i det vestlige område (~kote -180 m).



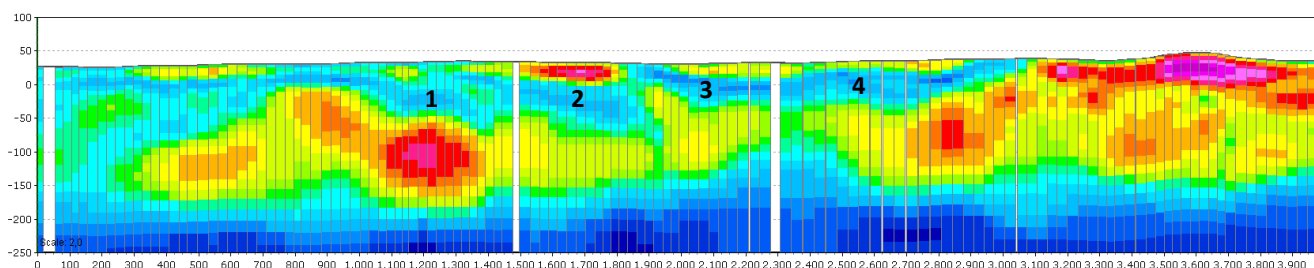
**Figur 39 Interpoleret grid over bunden af det miocæne sand (Bund Sand). Skala i kote. Enheden træffes ikke i den centrale del af området.**

## 9.4 Kvartæret

Kvartæret er som tidligere omtalt grundlæggende modelleret efter SSV-konceptet, og således er der i hver voxel estimeret et lerindhold, se Kap. 8.1. De forskellige geologiske lag der findes i kvartæret er beskrevet i Kap. 7.1.1. Idet der findes gamle kvartære aflejringer helt i terræn i lergravene ved Ølgod (Kap. 3) kan det forventes, at en del af de kvartære sedimenter også er gamle, dvs. muligvis Cromer, Elster og Holstein. På grund af glacialtektonisk aktivitet er disse sedimenter sammenblandet med miocæne og palæogene enheder, hvilket er årsagen til den komplekse geologi.

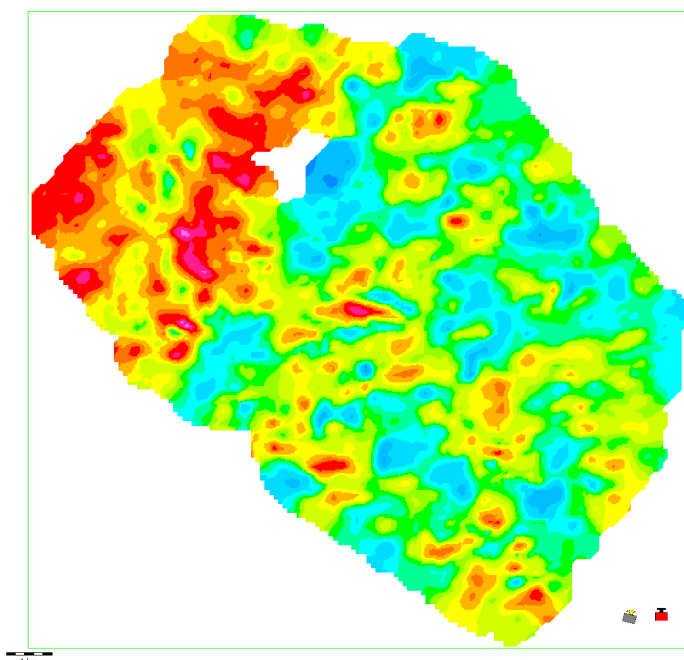
I Figur 40 ses et 4 km langt profilsnit fra den sydlige del af området langs en SkyTEM flyvelinje. Der kan her tydeligt iagttages overskydninger af lavresistivt materiale bestående af ler. Ved at sammenholde med nabolinjer kan istryksretningen bestemmes til at være fra NNØ. På de seismiske profiler ses kun få tydelige overskydningsstrukturer, men der hvor de vitterligt ses, er trykket ligeledes fra en nordlig retning (se Figur 36). Imidlertid er der iagttaget spor fra en is, der har deformeret aflejringerne fra en sydlig retning i lergraven ved Ølgod (se Kap. 3), og det vil dermed sige, at området er glacialt deformeret fra meget forskellige retninger. Dette kan være forklaringen på, at tydelige overskydningsstrukturer er svære at se både langs med de seismiske linjer, men også i de rumlige resistivetsgrids. Det er sandsynligvis også forklaringen på den meget stærke heterogenitet i området.





**Figur 40** Fire km langt profilsnit med sonderinger fra 30-lagsinversionen. 2 x overhøjning. Profilet er orienteret nord-syd med syd til venstre. Overskudte flager ses tydeligt – mindst 4 stk. markeret med tal. Istryk fra NNØ.

I Figur 41 ses et horisontalt snit gennem resistivitetsgriddet i kote -127,5 m. Heterogeniteten er tydelig med skiftende modstandsniveauer svingende fra omkring 10 ohm-m til over 100 ohm-m. Det formodes at de lave modstande skyldes opskudte flager af tertiært ler og eventuelt også fed smeltevandsler eller interglacialt ler. De høje modstande stammer fra smeltevandssand/-grus og miocænt sand. Der er også en del moræneler og –sand indblandet i komplekset.

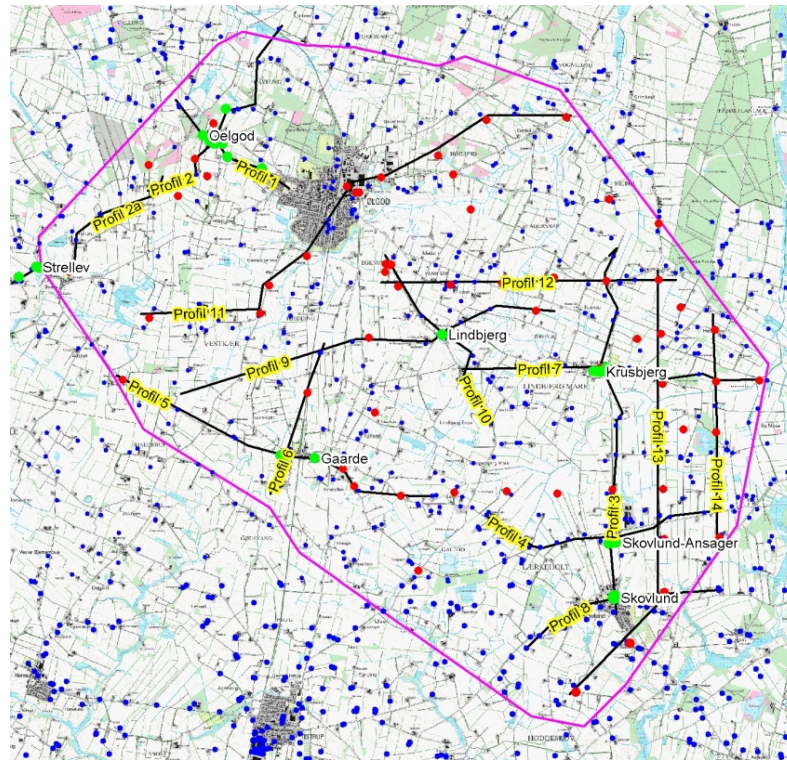


**Figur 41** Horisontalt snit i 30-lags resistivitetsgriddet i kote -127,5 m. Farveskala er vist i Figur 17.

## 9.5 Lithologisk fordeling

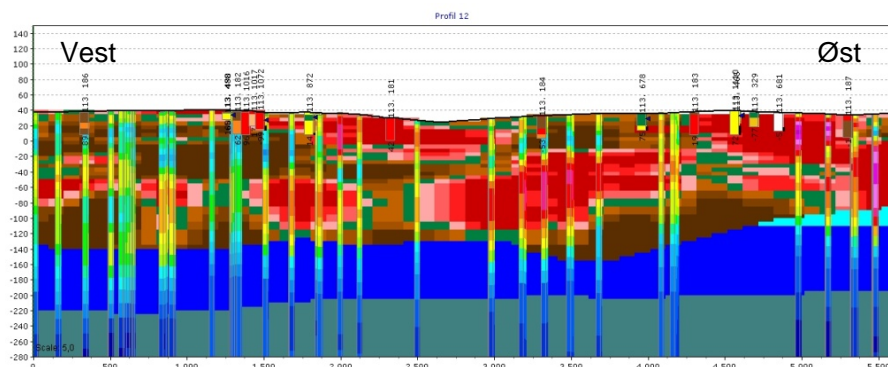
Den lithologiske fordeling er illustreret ved hjælp af 16 geologiske profiler og 12 horisontale snit gennem modellen. Placeringen af de 16 faste profiler er vist på Figur 42 sammen med alle borerne. En langt overvejende andel af kvalitet 1-boringerne og vandværksboringerne

er projiceret ind på de 16 profiler. Profilerne kan ses i Bilag 3 og giver et indblik i den vertikale fordeling af lithologierne i modellen og omkring kildepladserne.



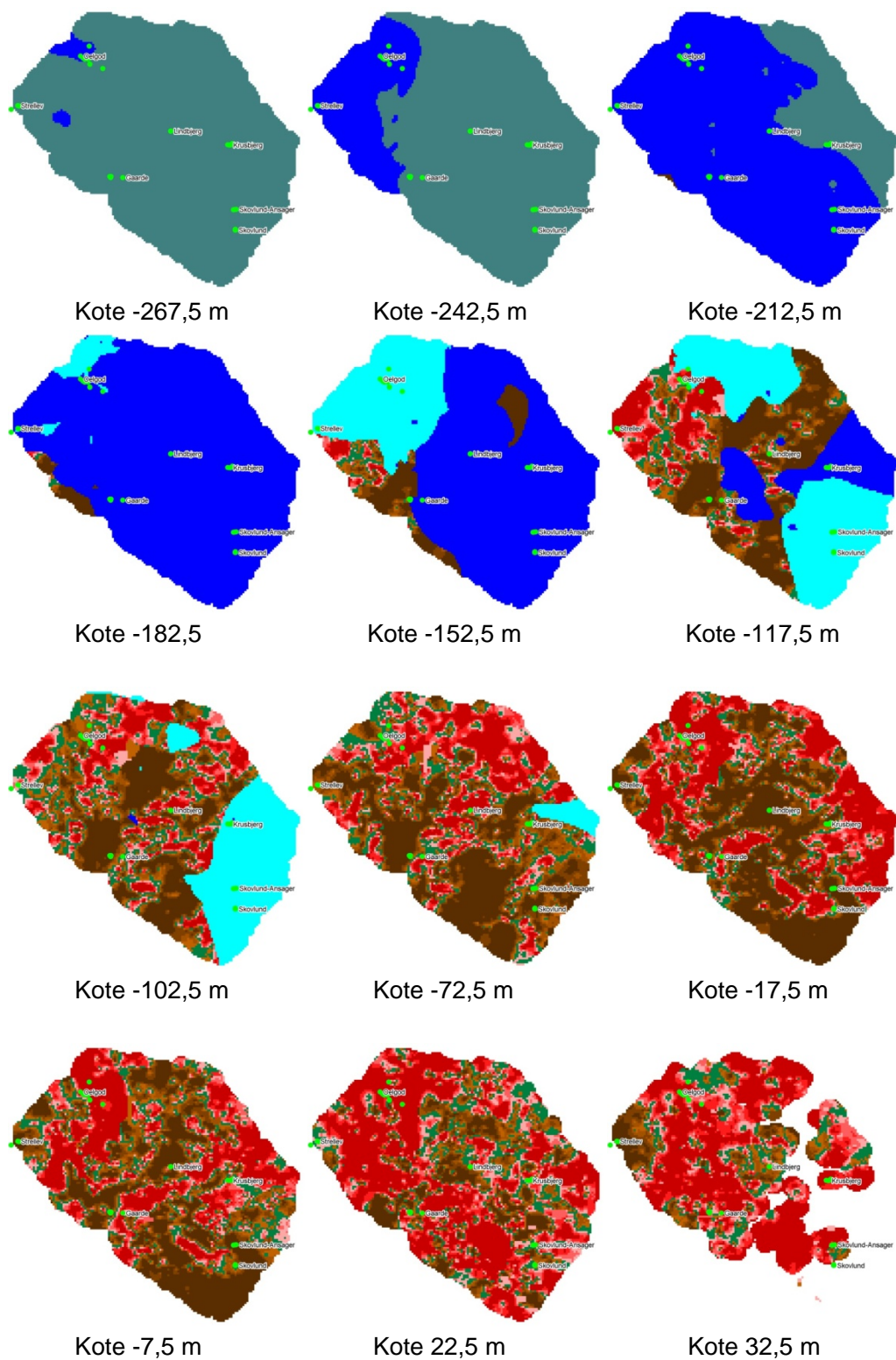
**Figur 42** Oversigtskort med placering af profiler til modelvisualisering. Alle borer vist med blå prikker, kvalitet 1-borer med røde prikker og vandværkers indvindingsboringer med grønne prikker.

På Figur 43 er profil 12 vist som eksempel på den lithologiske fordeling i V-Ø-orienteret snit gennem den østlige halvdel af modellen. Den lithologiske fordeling i modellen afspejler (som forventet) lithologien i borer og de målte resistiviteter. Det ses, at den samlede kvartære lagpakke i dette område har en tykkelse på mellem 140 og 200 meter. Den tykkeste kvartære lagpakke i hele området findes tæt på modelgrænsen syd for Gaarde kildeplads, hvor der er modelleret ca. 260 meter kvartære aflejringer.



**Figur 43** Profil 12 med fordeling af lithologien. Legende for lithologi-grid kan findes i Figur 28. Farvekode for boredata kan ses i Figur 14 og for SkyTEM i Figur 17. Akseenheder: Vertikalt i kote (m) og horisontalt i m.

På Figur 44 giver 12 horisontale snit fra kote -267,5 til kote 32,5 m et overblik over hvorledes de 13 lithologier er fordelt fra bunden af modellen til den øverste del, se også Bilag 4.



**Figur 44 Udvalgte horisontale snit, der viser fordelingen af lithologien i modellen. Legende for lithologi-grid kan findes i Figur 28.**

Fra bunden af modellen og op til kote ca. -240 m er der overvejende palæogent ler (grå-grøn) med gradvist større tilstedeværelse af miocænt glimmerler (blåt). Fra omkring kote -180 m er der overvejende miocænt glimmerler i hele modellens udstrækning med mindre områder med miocænt sand (turkis) mod nord og de dybeste kvartære aflejringer (brun) bestående af kvartært ler (brun) mod sydvest. Omkring kote -115 m er der kun nogle mindre områder med glimmerler i den centrale og østlige del af modellen. Det miocæne glimmersand optræder mellem kote -180 til kote -80 m. Det miocæne glimmersand findes ikke i den centrale del af modellen, men i to store sammenhængende områder mod nordvest og sydøst. Mod nordøst ligger mægtighederne typisk omkring 30 og 50 m, mens de i den sydvestlige del når helt op til 90 meters tykkelse.

De dybeste kvartære aflejringer findes mod sydvest og indtræder i kote -180 m men dominerer først modelrummet fra omkring kote -100 meter. Her består den centrale del af kvartært ler, mens der mod VNV ses større sammenhængende områder, hvor der overvejende er modelleret kvartært sand.

To store områder der er orienteret SSV-NNØ er iøjnefaldende i kote ca. -100 m. Opefter i modellen når områderne efterhånden sammen i den centrale del. Særligt i kote -102,5, -72,5 og -7,5 m er det iøjnefaldende, at der forekommer en foretrukken orientering (SSV-NNØ) af fordelingen af kvartært sand og ler. I kote -17,5 m består store områder af den centrale del af modellen af kvartært ler omend områderne nu er mindre sammenhængende, og billedet fremstår derfor mere spættet end det gjorde omkring kote -100 m.

Fra kote ca. -17,5 m ses der igen større partier af sammenhængende kvartært sand – særligt i den nordvestlige og nordøstlige del af modellen. Mod nord og syd når sandlagene i stor udstrækning terræn, mens det nogle steder afløses af kvartært ler 0 til 30 meter under terræn.

De sidste kotesnit, fra 22,5 m og op, viser store områder med sammenhængende sand, men også et meget varierende fordeling af sand og ler i den centrale og østlige del af modellen.

Lithologi	Andel i %
Kvartært sand - SSV-interval 0-50 % lerandel	29
Kvartært ler - SSV-interval 50-100 % lerandel	31
Miocænt glimmersand	8
Miocænt glimmerler	32

**Tabel 6 Procentvis volumenfordeling af lithologier i modellen**

I Tabel 6 er den procentvise fordeling af lithologier vist for henholdsvis kvartært og prækvartært sand og ler. Modellens indhold af palæogent ler er udeladt af beregningerne, da det fortsætter i større dybde end modellen. Det ses, at der er ca. lige meget kvartært sand og ler i modellen omkring 30 %, at det miocæne sand udgør 8% og det miocæne ler 32%.

Det skal understreges, at en 3D-model aldrig fuldt ud kan visualiseres og beskrives i rapportformat. Da modellen her er udarbejdet i GeoScene 3D, kan og bør den gennemses digitalt i dette program, hvor der er mulighed for at udnytte mange forskellige visualiseringsfaciliteter.

## 10. Re-inverterede SkyTEM-data

### 10.1 Re-inversion af SkyTEM og betydningen for den udarbejdede model

Efter arbejdet med modelopstillingen blev SkyTEM-data re-inverteret, som en følge af den opdaterede model på Aarhus teststed der medførte ændrede kalibreringskonstanter for SkyTEM-systemet. Teststedsmodellen er kun opdateret i de øverste dele af lagmodellen, hvorfor det også forventes, at det er her den største modelændring vil forekomme i re-inverteringen /31/.

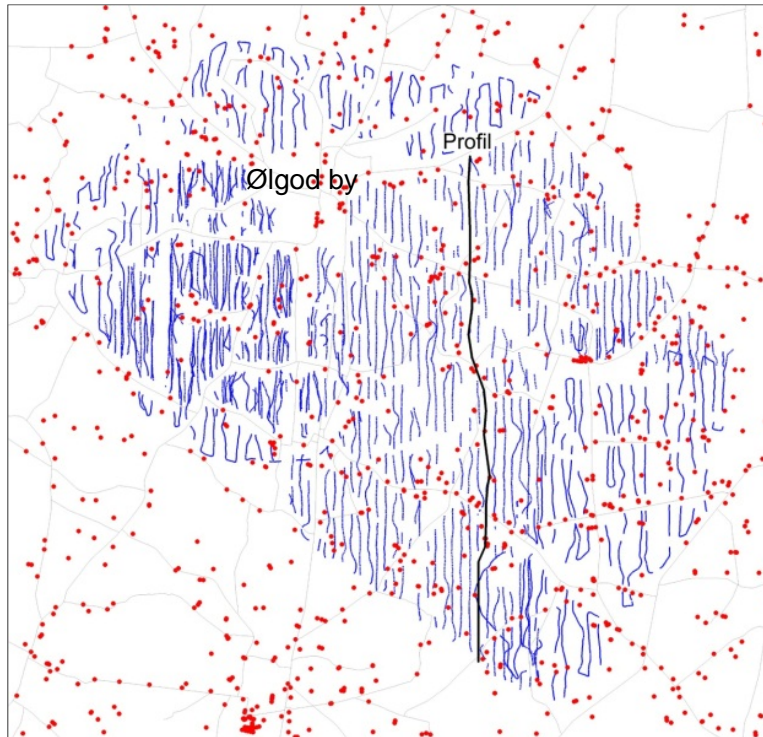
Dette arbejde er blevet gjort af Aarhus Universitet. Resultatet fra den nye inversion er ikke blevet indarbejdet i den geologiske model, men i det følgende findes en redegørelse for forskellene på de data, der er anvendt i modelopstillingen og på de nye data. Endvidere gives en vurdering af hvilken betydning det ville have for den geologiske model, hvis resultaterne var blevet anvendt.

Det er de re-inverterede data der er anvendt ved udarbejdelsen af lertykkelseskortene (se Kap. 11.1).

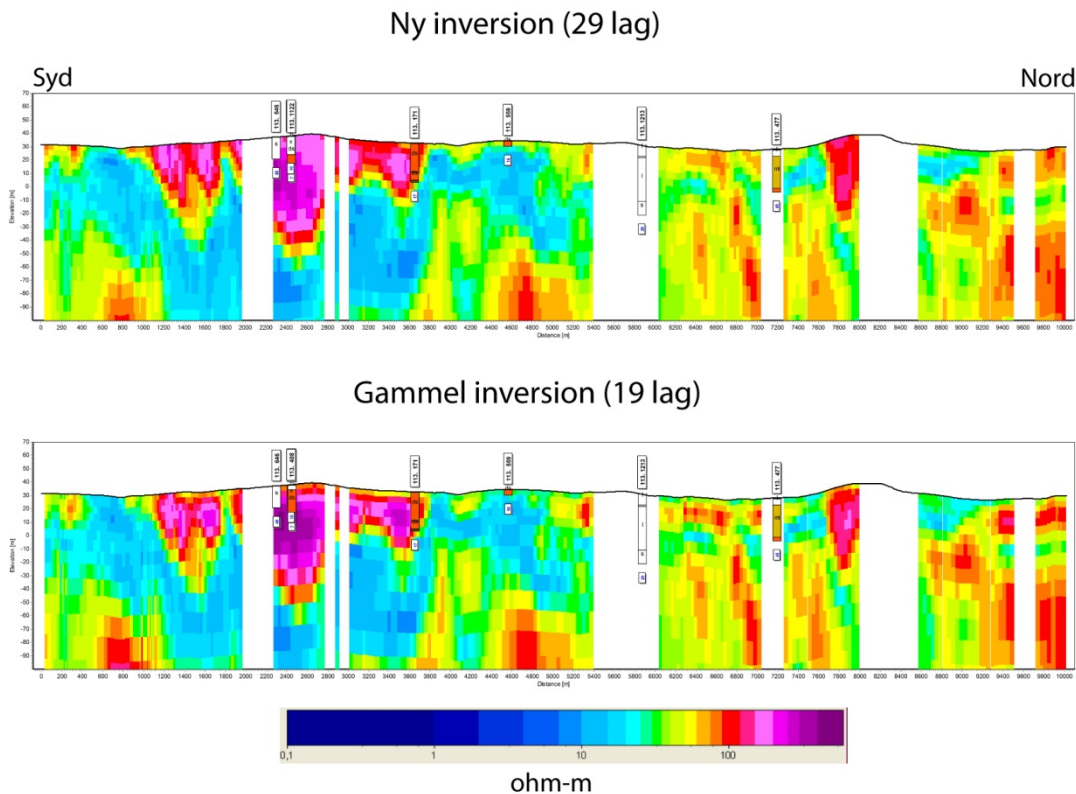
#### *Sammenligning mellem ny og gammel inversion*

Den nye inversion består af en 29-lags model uden a priori og i det følgende sammenlignes med den oprindelige 19-lagsmodel, også uden a priori. Lagtykkelserne for det øverste lag i modellerne er i begge tilfælde 4 m tykt.

Til sammenligningen er der produceret et profil og tre middelmodstands-dybdekort. Profils placering ses Figur 45 og selve profilet er vist i Figur 46. Profilet er kun vist til kote -100 m, idet der kun forventes at være overfladenære forskelle.



Figur 45 Kort med placeringen af profilet vist i Figur 46. SkyTEM-sonderinger (blå prikker) og boreriger (røde prikker) er også vist sammen med vejtema fra Top10DK.



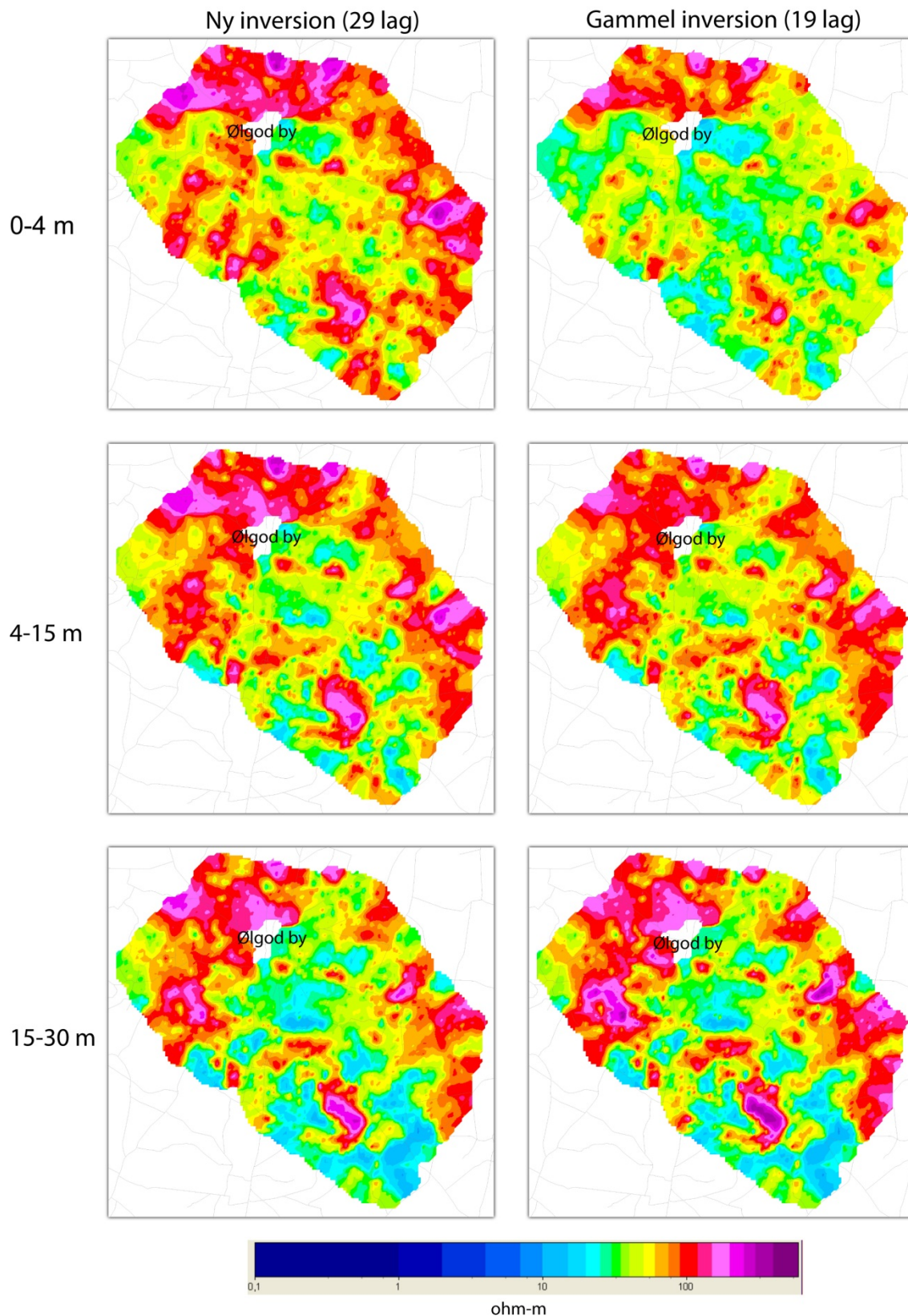
Figur 46 Profil gennem kortlægningsområdet langs en flyvelinje. Figuren viser resultaterne af den gamle inversion før kalibreringen samt resultaterne af re-inversionen. Lokalisering af profilet er vist i Figur 45.

Som forventet ses der i store dele af profilet et tyndt lavmodstandslag i toppen af den gamle inversion, som ikke findes i den nye inversion. Generelt ses et mere homogent modstandsbillede i de øvre lag ved den nye inversion i forhold til den gamle.

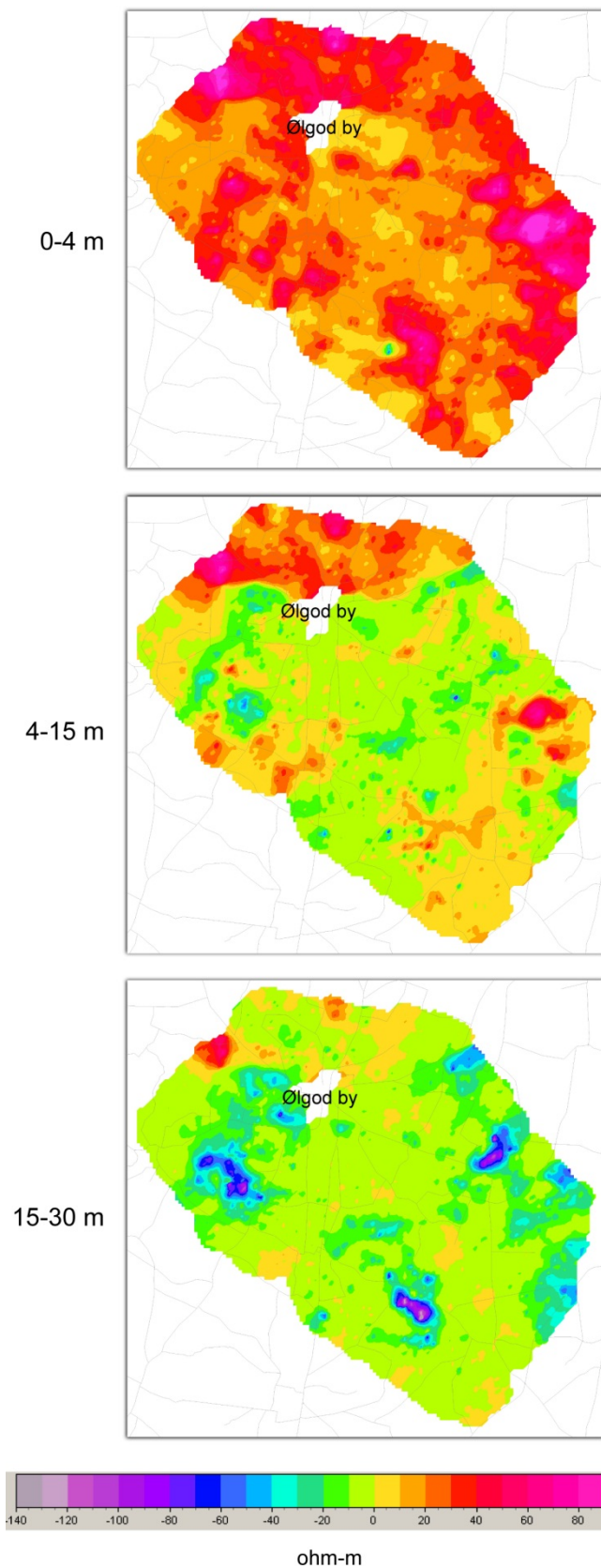
I Figur 47 ses tre middelmodstands-dybdekort. Den øverste række viser alene det øverste modellag fra 0 til 4 m. De næste intervaller integrerer over flere lag og går fra hhv. 4 til 15 m og fra 15 til 30 meters dybde. Der ses en bemærkelsesværdig men forventelig stor forskel i det øverste interval. Store dele af området viser nu høje modstande fremfor lave modstande i den tidligere inversion. Mange steder er modstanden steget fra værdier, der kan tolkes som værende ler (typisk under ca. 50 ohm-m) til værdier, der kan tolkes som sand (typisk over ca. 50 ohm-m). I de to næste intervaller er det umiddelbart svært at se nogle nævneværdige forskelle.

I Figur 48 er forskellen på de to inversionskørsler kvantificeret. Positive værdier viser områder hvor den nye inversion giver højere værdier og negative værdier viser områder hvor den giver lavere værdier. Som det kunne ses i profilerne og på dybdekortene var der generelt højere modstande helt i toppen. Figur 48 viser, at der stort set er højere modstande i hele området og at forskellen er mellem 20 og 50 ohm-m. For det næste lag (4-15 m) ses der til gengæld både lavere og højere modstande, men med en dominans af lavere modstande, hvilket er som forventet med den nye kalibrering /31/. Forskellene er typisk mellem -10 og +10 ohm-m. I den nordlige del af området, hvor der generelt er mere sandet ses dog typisk forskelle på +10 til +40 ohm-m. For det nederste interval (15-30 m) ses der generelt lavere modstande. Typisk er værdierne kun op til 10 ohm-m lavere.





Figur 47 Dybde-middelmostandskort. Figuren viser resultaterne af den gamle inversion før kalibreringen samt resultaterne af re-inversionen.



**Figur 48** Forskellen på de to inversionskørsler. Positive værdier viser områder hvor den nye inversion giver højere resistiviteter og negative værdier viser områder hvor den giver lavere resistiviteter.

#### *Sammenligning med boredata*

Der er ikke lavet en systematisk sammenligning med boredata, men en overordnet gennemgang tyder på en forbedret tilpasning mellem boredata og SkyTEM-data efter den nye inversion. På det viste profil (Figur 46) ses både boredata, der tyder på en forbedret tilpasning og en forringet tilpasning. Ved en sådan sammenligning skal der dog tages højde for både stærk heterogenitet og dårlige boredata.

#### *Betydningen af de nye inversionsresultater*

Der ses store forskelle i modstandsforholdene i de øverste 4 m, og disse forskelle har stor betydning for den resulterende fordeling af sand og ler i modellen. Det vurderes, at de nye inversionsresultater er mere troværdige end de gamle, og dermed at modellen burde være mere sandet helt i toppen. Denne fejlkilde er dog blevet delvist udglattet under SSV-kørslen, hvori boredata netop anvendes til at estimere grænseværdien mellem sand og ler. På større dybde (de næste to intervaller) ses der også forskelle, men disse er typisk relativt små (små værdiforskelle), og fordelingen mellem sand og ler vil derfor ikke ændres væsentligt her.

Ved kalibreringen af grundvandsmodellen kunne det ses, at det var vanskeligt at infiltrere den estimerede grundvandsdannelse i hele modelområdet, og at modellen derfor ikke kunne konvergere. Dette har sandsynligvis været forårsaget af, at modellen har været for leret i toppen.

Problemet er dog løst under kalibrering af modellen, hvor den hydrauliske ledningsevne af ler i det øverste

lag i grundvandsmodellen blev fastsat til en relativ høj værdi, hvilket afspejler resultaterne af re-inverteringen. Overordnet set er det derfor vurderet at modellen er brugbar og troværdig, også selvom de seneste inversionsresultater ikke er blevet inkorporeret i modellen.

Anderledes betydning har de nye inversionsresultater for sårbarhedsvurderinger baseret på lertykkelseskort. De udarbejdede lertykkelseskort i (Kap. 11.1) er derfor baseret på de nye inversionsresultater.

# 11. Udtræk af korttemaer

## 11.1 Lertykkelseskort

Til brug får efterfølgende sårbarhedsvurderinger er der produceret lertykkelseskort for følgende dybdeintervaller:

- 0-30 m
- 0-5 m
- 5-15 m
- 15-30 m

Da re-inversionen af SkyTEM-data (se kap. 0) har medført en væsentlig forbedret beskrivelse af de øverste lag, er den nye version af data anvendt ved beregningen af disse kort. Kortene er fremstillet ved hjælp af en traditionel SSV, hvor der beregnes i givne dybdeintervaller. De anvendte indstillinger for kørslerne er identiske med indstillingerne anvendt til SSV-griddet anvendt som basis for den geologiske model (startmodel, laterale bånd, a priori værdier, områdeafgrænsning, søgeradier og antallet af noder). Der er ikke efterfølgende udført manuel editering i lertykkelseskortene (subjektive tolkninger).

I en SSV optimeres den oversætterfunktion, der definerer modstandsgrænsen mellem sand og ler. Generelt set for SSV beregningerne i dette projekt ligger grænsen mellem sand og ler i intervallet 30-80 ohm-m, men med værdier nogle steder ned mod 20 ohm-m og op imod 120 ohm-m.

Kortene er vist i Bilag 5. Der er benyttet en rød-brun farveskala, hvor rød viser lidt ler og brun viser meget ler. Skalaen omfatter 5 intervaller for alle kortene, hver dækkende 20 % således at farverne viser de samme relative lerindhold for alle kortene. Til interpolation af SSV-outputtet er der anvendt Kriging med cellestørrelse på 50 m og søgeradius på 500 m.

### *Beskrivelse af kortenes indhold:*

0-30 m: Der ses et meget komplekst mønster med særdeles varierende lertykkelser. I nogle områder er der stort set kun ler og i andre områder er der kun lidt eller ingen ler. Overordnet set er der mere sand end ler i intervallet. Der ses et stort sandet området nord og sydvest for Ølgod. Ved kildepladsen er der dog lidt ler til stede. Ved de øvrige kildepladser ses også kun lidt ler, men lertykkelsesvariationerne er store tæt ved kildepladserne.

0-5 m: I dette interval ses generelt kun lidt ler. Det største område findes mellem Strellev og Ølgod Kildeplads i den vestlige del af området. Ellers ses der en forøget koncentration af spredte lerforekomster i den centrale del (mellem Lindbjerg, Krusbjerg og Skovlund kildepladser). I resten af området er der stort set ingen ler tilstede.

5-15 m: Dette interval er meget lig intervallet for 0-5 m. Det lerede område i den vestlige del, mellem Strellev og Ølgod, er dog blevet lidt mindre og koncentrationen af lerforekomster i den centrale del af området er blevet større.

15-30 m: I dette interval har forholdene ændret sig en del i forhold til de overliggende intervaller. Det lerede område i vest findes ikke her og lerforekomsterne i den centrale del har ændret karakter i deres mønster. I områdets sydlige del mellem Gaarde, Krusbjerg og Skovlund, ses ret store områder med ler i dette interval.

## 11.2 Magasinkort

Der er udarbejdet kort over sandtykkelser (i det følgende "magasintykkelser") i 20-m intervaller fra kote +40 m og ned til kote -180 m. Kortene er udtrukket fra den lithologiske model og repræsenterer således dennes indhold. Tykkelsen er beregnet på baggrund af antal voxler med sand i hvert interval, og da voxlernes tykkelse er 5 m kan tykkelsesværdien i hvert koteinterval antage 5 forskellige værdier: 0, 5, 10, 15 og 20 m. Disse summerede værdier er visualiseret med en farvekode i kortene (se Bilag 6). For den SSV-modellerede kvartære del af det lithologiske grid er voxler med en lerandel på under 50 % medtaget (se symbollisten i Figur 28), og for de prækvartære lag er det miocæne glimmersand medtaget.

I de øverste intervaller ses magasinerne at være sammenhængende med mindre områder kun med ler. Magasintykkelsen er størst i den nordvestlige del i det øverste interval. Ned gennem intervallerne bliver mønsteret af magasinforekomster mindre sammenhængende og magasinerne forekommer mere spredte. Generelt ses et komplekst mønster for den kvartære del, men for intervallerne, der dækker den miocæne del, ses mere sammenhængende magasiner. Først ses det miocæne glimmersand i den sydøstlige del omkring -80 m og senere også i den nordvestlige del fra omkring kote -120 m. Der er ingen magasinforekomster dybere end kote -200 m.

## 12. Fra geologisk model til grundvandsmodel

En stor fordel ved en geologisk voxelmodel er, at man kan importere den direkte til grundvandsmodellen med identisk diskretisering og derved bevare den lithologiske detaljeringsgrad. Overførslen af det lithologiske grid til den numeriske grundvandsmodel er udført ved at eksportere det lithologiske 3D-grid til en CSV fil. Denne indeholder 4 kolonner med en x,y,z værdi for hver voxel og en id (value) fra 1 til 14 (13 er ikke i brug), der angiver hvilken lithologi voxelen skal have. Som i den geologiske model er der en horisontal diskretisering på 100 x 100 meter og på 5 meter i vertikal retning. Et vilkårligt udsnit af CSV-filen er vist med Figur 49.

X	Y	Z	Value
483900	6180200	-77.5	4
484000	6180200	-77.5	3
484100	6180200	-77.5	4
484200	6180200	-77.5	12
484300	6180200	-77.5	12
484400	6180200	-77.5	12
484500	6180200	-77.5	12
484600	6180200	-77.5	12
472300	6180300	-77.5	4
472400	6180300	-77.5	5
472500	6180300	-77.5	5
472600	6180300	-77.5	6
472700	6180300	-77.5	7
472800	6180300	-77.5	9
472900	6180300	-77.5	8
473000	6180300	-77.5	7
473100	6180300	-77.5	5
473200	6180300	-77.5	3
473300	6180300	-77.5	1
473400	6180300	-77.5	1
473500	6180300	-77.5	1
473600	6180300	-77.5	4
473700	6180300	-77.5	6
473800	6180300	-77.5	8
473900	6180300	-77.5	9
474000	6180300	-77.5	10
474100	6180300	-77.5	10
474200	6180300	-77.5	10
474300	6180300	-77.5	10

**Figur 49** Det lithologiske grid eksporteret til en csv-fil, der anvendes ved import til MODFLOW.

Efter import til grundvandsmodellen er det ved hjælp af kontrol i profilsnit konstateret, at den geologiske model er importeret korrekt.

Der er angivet et startgæt på den hydrauliske ledningsevne, og en mere detaljeret beskrivelse af fastlæggelsen af beregningslag og startværdier for hydrauliske ledningsevner gives i rapporten for grundvandsmodellen.



## 13. Resume og konklusion

Projektresultaterne kan opdeles i to dele:

- Den konkrete geologiske model for området til anvendelse i grundvandsmodelleringen og andre grundvandsrelaterede formål,
- de mere generelle resultater vedrørende modelkoncepter og modelleringsteknikker (projektets udviklingsdel).

De konkrete modelresultater vurderes at opfylde de mål, der blev sat, idet det har kunnet lade sig gøre, at beskrive de lithologiske forhold væsentligt mere effektivt, end hvis modelarbejdet skulle have været foretaget på traditionel vis. Samtidig vurderes det umiddelbart, at modellens indhold kvalitetsmæssigt mindst er på linje med en traditionel models. Sidstnævnte er dog vanskeligt at kvantificere, da der endnu ikke kan gives fingerpeg om dette på baggrund af den hydrologiske modellering, og idet der i øvrigt ikke findes noget sammenligningsgrundlag.

Vedrørende resultaterne omkring udvikling af modelkoncepter og modelleringsteknikker vurderes målet at være blevet nået. Her er der opstillet og anvendt en nyttig metode til effektivt og detaljeret at modellere kompleks geologi, ligesom flere tolkningsteknikker er blevet udviklet.

Den geologiske model består af en voxel-model, der beskriver lerindholdet i området. Der er heri anvendt en diskretisering på 100 x100 m horisontalt og 5 m vertikalt. En identisk diskretisering er benyttet ved konverteringen af SkyTEM-data til 3D resistivitetsgrids. Voxelmodellen er opstillet ved hjælp af et i projektet videreudviklet SSV-koncept, der estimerer de enkelte voxlers lerindhold på baggrund af boredata og SkyTEM-data. SSV-resultatet er, efter en manuel tilretning, benyttet for den kvartære del af lagserien, mens den tertiære del af lagserien er modelleret på traditionel vis med efterfølgende indbygning i voxelmodellen. Inden modelarbejdet er der gennemført grundig samtolkning af alle relevante og tilgængelige data; herunder geofysisk re-inversion med toppen af palæogenet anvendt som a priori.

Den tertiære del af lagserien er forholdsvis homogen med udbredte lag og lagflader. Dette fremgår af seismikken, og SkyTEM-data har sammen med boredata understøttet den lithologiske tolkning af disse lag. Nederst er den palæogene leroverflade modelleret, og i miocænet (hvor dette er faststående) har det været muligt at modellere et lerlag nederst og et sandlag øverst. Der er dog en vis usikkerhed forbundet med denne opdeling, da lagene findes på stor dybde, og da der kun er få boredata til at underbygge de geofysiske data.

Områdets kvartære lag er relativt tykke og præges af kraftig glacialtektonik. Prækvartæroverfladen er defineret ved decollement-planet, som nogle steder befinder sig i den nedre del af miocænet og tæt på palæogenet. Dette betyder, at der i den kvartære lagserie stedvist findes mere eller mindre intakte lagpakker af prækvartært materiale, samt gentagelser af lagserien. Den kvartære del er således forstyrret i varierende grad, og i det meste af området i så høj grad, at en egentlig manuel 3D-modellering ikke har kunnet lade sig gøre indenfor en overskuelig tidsramme.



De grovklastiske geologiske aflejringer, der har vandindvindingsinteresse, udgøres af miocænt sand eller kvartære smeltevandsenheder. De miocæne lag forekommer i hele området, men nogle steder er de disloceret og findes derfor indlejret i den kvartære del. Foruden de magasinførende lag af smeltevandssand og -grus findes også store mængder af glacialt ler, især smeltevandsler, men også en del moræneler.

Områdets boringer giver langt fra den fornødne information til opstillingen af en brugbar geologisk model, så de geofysiske data har været et helt centralt grundlag for modellen. Særligt nyttigt har været kombinationen af seismiske data og SkyTEM-data, men også den dybe undersøgelsesboring har udgjort et værdifuldt grundlag.

Re-inversionen af SkyTEM data, som fandt sted efter modelopstillingen og således ikke blev benyttet, viste at det øverste SkyTEM-modellag på 4 meters tykkelse i den oprindelige datainversion havde for lave resistiviteter. Således vurderes det, at den geologiske models øverste lag områdevist er mere leret end det burde være. Lertykkelseskortene er dog udarbejdet på baggrund af de nye data, og grundvandsmodellens resultater vurderes ikke at være påvirkede i betydelig grad af denne datafejl.

## 14. Referencer

- /1/ Jørgensen, F., Kristensen, M., Højberg A.L., Klint, K.E.S., Hansen, C., Jordt, B.E. Richardt, N. & Sandersen, P. 2008: Opstilling af geologiske modeller til grundvandsmodellering. Geo-Vejledning 3, 176 pp. Copenhagen: Geological Survey of Denmark and Greenland.
- /2/ I-GIS 2010: GeoScene 3D. <http://www.i-gis.dk/Default.aspx?tabid=132>.
- /3/ Sandersen, P.B.E. 2008: Uncertainty assessment of geological models – a qualitative approach. In: Refsgaard, J.C. et al. (eds): Calibration and reliability in groundwater modelling: credibility of modelling. International Association of Hydrological Sciences Publication 320, 345–349.
- /4/ Jørgensen, F. & Sandersen, P. 2009: Kortlægning af begravede dale i Danmark - opdatering 2007-2009. GEUS rapport, særudgivelse.
- /5/ Rasmussen, E.S., Dybkjær, K., Piasecki, S., Kristensen, M., and Vangkilde-Pedersen, T., 2010: Stratigrafisk ramme for 3D modellering af den miocæne lagserie i Danmark, Rapport 2010/31, Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse, p. 56 pp.
- /6/ Kristensen, M., Vangkilde-Pedersen, T., and Skovbjerg, R.E., 2010: Miocæn 3D, Den rumlige geologiske model, Rapport 2010/91, Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse, p. 46 pp.
- /7/ Larsen, G & Kronborg, K. 1994: Geologisk Set. Det mellemste Jylland. Geografforlaget.
- /8/ Turner, A.K. 2006: Challenges and Trends for Geological Modelling and Visualisation, Bulletin of Engineering Geology and the Environment 65, 2, 109–127.
- /9/ Andersen, S. T.; Interglaciale og Interstadiale i Danmarks kvartær. 1965. Medd. fra Dansk Geol. Forening. København, 15, 486-506.
- /10/ Binzer, K., Stockmarr, J.; Geologisk kort over Danmark- Prækvarteroverfladens højdeforhold, Det danske landområde samt Kattegat, indre farvande og farvandet omkring Bornholm, 1994. Geological survey of Denmark, map series no. 44.
- /11/ Ditlefsen, C., Sørensen, J., Pallesen, T., M., Pedersen, D., Nielsen, O., B., Christiansen, C., Hansen, B. & Gravesen, P.; Jordprøver fra grundvandsboringer, Geovejledning 1, 2008, De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland, GEUS.
- /12/ Dybkjær, K., Palynologisk undersøgelse af 12 prøver fra boringen DGU nr. 113.1855 ved Vestkærvej, syd for Ølgod, 2011, GEUS-NOTAT.
- /13/ Foged, N. & Westergaard, J. H., SkyTEM kortlægning – Ølgod, Datarapport, 2006, Geologisk Institut, Aarhus Universitet
- /14/ Lykke-Andersen, H., Høyer, A.-S. & Nørmark, E., Rapport om refleksionsseismiske målinger ved Ølgod 2008-2009, 2011, Geologisk Institut, Aarhus Universitet.
- /15/ Alectia 2011: Boringsregistrering og synkronpejling i området "Ølgod – Skovlund + Krusbjerg og Lindbjerg".
- /16/ Orbicon, Vestkær, Ølgod Borehulslogging DGU nr. 113.1855, 2009, Orbicon
- /17/ Rasmussen, E., S., Dybkjær, K. & Piasecki, S. 2010: Lithostratigraphy of the Upper Oligocene – Miocene succession of Denmark, Geological Survey of Denmark and Greenland Bulletin 22.
- /18/ Smed, P.; Landskabskort over Danmark, Blad 2, 1982, Geografforlaget, 5464 Brendstrup.
- /19/ Jørgensen, F., Auken, E. og Christensen, A.V. 2005: Strukturel sårbarhedskortlægning – vurde-ring af lertykkelse i boringer. GeoFysikSamarbejdet, Århus Universitet. 16 p.

- /20/Møller, R.R. & Jørgensen, F. 2011: Geologisk model ved Egebjerg. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse Rapport 2011/37. 95 pp.
- /21/Jacobsen, P.R., Pedersen, S.A.S. and Petersen, K.S. 2003: Det geologiske kortblad Skjern. Geological map of Denmark, 1:50.000, Skjern. Copenhagen. Geological Survey of Denmark and Greenland.
- /22/Jacobsen, P.R., 1996. Distribution and intensity of glaciotectonic deformation in Denmark. Bulletin of the Geological Society of Denmark. 42, 175-185.
- /23/DGU 1983: Geologisk basisdatakort. 1114 II Sønder Omme
- /24/DGU 1982: Geologisk basisdatakort. 1113 I Grindsted
- /25/Friberg, R. og Thomsen, S. 1999: Kortlægning af Ribeformationen. Teknisk rapport.
- /26/Rasmussen, Leif Banke, 1966: Molluscan Faunas and Biostratigraphy of the Marine Younger Miocene Formations in Denmark, Part I: Geology and Biostratigraphy, DGU II. Rk. Nr. 88.
- /27/Jessen, A. 1922: Beskrivelse til geologisk Kort over Danmark. Kortbladet Varde. Oplag 14 af Danmarks geologiske Undersøgelse. 1. Rk., nr. 14.
- /28/Geologisk Institut – Aarhus Universitet, 2009, SkyTEM kortlægning Ølgod. Geofysisk af-rapportering
- /29/ COWI 2004: Ringkjøbing Amt. Seismisk kortlægning 2004.
- /30/ Kingdom Suite. IHS Kingdom, <http://seismicmicro.com/>.
- /31/Aarhus Geoscience, Aarhus Universitet 2011: Refinement of the TEM reference model at Lyngby.

## **Bilagsliste**

- Bilag 1. Boringsevaluering – liste over samtlige boringer**
- Bilag 2. Notater, manuel gennemgang**
- Bilag 3. Profilsnit gennem den lithologiske model**
- Bilag 4. Horisontale snit gennem den lithologiske model**
- Bilag 5. Lertykkelseskort**
- Bilag 6. Magasintykkelseskort**



# Bilag 1

















## **Bilag 2**

## **Bilag 2: Dokumentation for den manuelle editering samt beskrivelse af modelindhold ved kildepladser**

Modelområdet er gennemgået med henblik på kvalitetssikring og er tilrettet manuelt, hvor det er fundet nødvendigt. Der har været fokus på de 5 kildepladser indenfor modelområdet samt på Strellev kildeplads, der ligger umiddelbart vest for modelområdet. Notatet er baseret på i alt 19 figurer samlet i et separat bilag, benævnt Bilag 2a. Bilaget er udarbejdet i A3 format, stående. Alle henvisninger til figurer i det følgende refererer således til Bilag 2a med mindre andet er angivet.

I forbindelse med gennemgangen er der inddraget flere datatyper, herunder boringsdata, SkyTEM-data samt trykniveauer fra synkronpejlerunden i foråret 2010. Hele modelrummet er gennemgået manuelt, dels langs de faste profiler (jf. Bilag 2a), dels ved stepvist at bevæge flytbare profiler 100 m gennem området. Der har været et særligt fokus på den manuelle tilretning indenfor de orange polygoner Figur 1. Polygonerne afgrænser områderne omkring de 6 kildepladser.

Som dokumentation er de manuelle tilretninger dokumenteret i prosaform. Det er i hovedtræk beskrevet, hvor der er lavet ændringer i modelgriddet, hvad der er ændret, samt hvilke overvejelser der ligger bag ændringerne. Notatet er inddelt i kapitler som refererer til polygonerne, samt et kapitel for resten af modelområdet. De 6 polygoner omkring kildepladserne udgør over halvdelen af modelområdet.

### **1. Området omkring Lindbjerg Kildeplads**

Afvielser på lithologien i boringer i forhold til det SSV-beregnete lithologigridd, er visuelt identificeret ved trinvis at gennemse 3D voxelgriddet. Rent praktisk er det gjort ved at "slice" (vise lag i) voxelgriddet horisontalt, et voxelag af gangen samtidig med, at man viser et 3D boringsgridd ovenpå voxelgriddet, jf. Figur 2. Herved kan man nemt identificere afvielser på lithologi mellem SSV griddet og lithologier beskrevet i boredata. Overvejende er der en god overensstemmelse, jf. Figur 2 hvor et horisontalt snit gennem lithologi- og boringsgriddet er vist i kote 22,5 m. I overgangen mellem ler/sand forekommer der af og til lithologier som afviger, men det vurderes overvejende at skyldes, at der kan være en usikkerhed på voxelgriddets laggrænser på op til 2,5 m (jf. at et voxelags tykkelse er 5 m tykt).

Ydermere er der tilfælde (bl.a. ved kildepladsen), hvor lithologien i tæt placerede boringer ikke har identisk lithologi indenfor samme koteinterval. I disse områder vil lithologien i boringer med den laveste vægt i SSV beregningen afvige, mens lithologien i boringer med høj vægt typisk vil stemme overens med lithologien i lithologigriddet. Der kan være afvielser herfra hvis der er meget store uoverensstemmelser med SkyTEM data. Et eksempel kan være området omkring boring 113.235 på profil 10.

Ifølge synkronpejlerunden er grundvandsstrømningen fra vest mod øst i området. Det ser ud til, at der er ringe hydraulisk kontakt mellem det terrænnære sand i den vestlige del af profil 9 (0-3700 m), Figur 3 og magasinet der pumpes fra på Lindbjerg kildeplads, indvindingsboringer indrammet med profil på Figur 3. Ud fra profil 9, ser magasinet ud til at have en omtrentlig udbredelse mellem kote -50 til -120 m og mellem ca. 3800 og 6600 m. Mod øst kan magasinet have en sammenhængende udbredelse helt op til terræn (fra ca. 6600 til 7500 m).

Lindbjerg kildeplads er repræsenteret ved boring DGU-nr<sup>1</sup> 113.434, 113.1191 og 113.1604, der er filtersat relativt dybt, i ca. 80 meters dybde, jf. Figur 3 og 4. Sandlagene der indvindes fra udbreder sig 1 til 1,5 km

---

<sup>1</sup> Alle boringer nævnt i bilaget referer til DGUnr.

mod nord, men kun nogle få hundrede meter mod syd. Ovenpå ligger tykke lag af smeltevandsler, der ser ud til at adskille de dybe sandlag (magasiner) fra de terrænnære sandlag i området, jf. figur 4.

På profil 10, Figur 4 mellem 0 og 2500 m ses et sandlag ca. i kote -20 og 20 m. Der er tykke lerlag mellem dette forholdsvist terrænnære magasin og det dybe magasin, som Lindbjerg kildeplads pumper fra. Det vurderes, at der er ringe hydraulisk kontakt mellem det terrænnære sand og de dybereliggende sandlag der pumpes fra.

En visuel afgrænsning af det dybtliggende sandlag der indvindes fra (baseret på en gennemgang af lithologigriddet), er angivet ved den lyserøde polygon på Figur 5.

## **2. Området omkring Ølgod Kildeplads**

Figur 6 viser et horisontalt snit gennem lithologi- og boringsgriddet i kote 32,5 m. Lithologi i borerer er vist med voxler på 100\*100 m. Farvekoden er som vist på Figur 14 i rapporten, hvor rød og gul er sand, mens brun og grøn er ler. Det beregnede lithologigridd i området stemmer langt overvejende overens med fordelingen af sand og ler i borerer. I Figur 7 er et punkttema vist ovenpå lithologigriddet med henblik på at lokalisere afvigelser mellem boredata og lithologigriddet. Punkttemaet (trekanter) viser den gennemsnitlige standardafvigelse på antal meter ler i borerer, i forhold til lithologigriddet. Lysegrønne trekanter viser, at der er en god overensstemmelse, mens den røde trekant vest for kildepladsen viser en boring 102.727 med stor uoverensstemmelse mellem lithologi i boring og SkyTEM sonderinger. Figur 8 viser et profilsnit, der går gennem denne boring og Ølgod Kildeplads. I profilsnittet er standardafvigelsen vist som farvetematiserede punkter over profilet. Det ses på profilet, at boringen indeholder ca. 25 m smeltevandsler. Dette afviger fra SkyTEM-sonderingerne, som viser højmodstandslag med en stor standardafvigelse som følge, jf. Figur 8. Der er imidlertid stor afstand til sonderingerne, og det er besluttet, at lade boringens SSV-beregne lithologi gælde i et snævert område omkring boringen (altså ler som det er vist på profil 8), da der ikke er dækning af området med SkyTEM data helt lokalt.

Filtrene på Ølgod kildeplads er ifølge indvindingsboringerne overvejende placeret i miocænt sand, der dog er tolket som omlejret, og derfor er tildelt kvartært sand i den lithologiske model, jf. Figur 9 og 10. Der indvindes fra 2 niveauer, overvejende fra de dybere lag. Det forventes, at der primært trækkes vand sydvest og nordvest for kildepladsen, se fig. 9. Dog er hele det område, som er indrammet af den orange polygon på Figur 7 og 9 i spil. Lithologigriddet viser den omtrentlige maksimale udbredelse af relativt terrænnære sandlag i området omkring Ølgod kildeplads. Det vurderes, at de dybe sandlag som der indvindes fra, er i god hydraulisk kontakt til disse terrænnære sandmagasiner og som ifølge lithologigriddet har en stor og sammenhængende udbredelse i det meste af området.

## **3. Området omkring (den nye undersøgelsesboring 113.1855) Vestkær og Hjedding**

Et eksempel på manuel tilretning i området ved Vestkær og Hjedding kan ses ved Vestkær-boringen, 113.1855, jf. Figur 11 og 12. Ifølge en prøvepumpning i Vestkær-boringen 113.1855 er der god hydraulisk kontakt mellem filter 2 og 3, samt mellem filter 5 og 6. Det vurderes, at der er ringe hydraulisk kontakt mellem henholdsvis filter 2 og 3 i forhold til filter 5 og 6. Desuden viser prøvepumpningen, at der ikke er god hydraulisk kontakt mellem nogle af filtrene i Vestkær-boringen og filtret i boring 113.1128 ca. 550 m herfra.

SSV'en beregner et sammenhængende sandlag mellem filtrene i de to borerer og angiver en god hydraulisk kontakt, jf. Figur 11, øverst. Der er ikke andre dybe borerer mellem de 2 borerer, og der er ikke SkyTEM data i området. Til gengæld kan der være en positiv hydraulisk grænse pga. Vestkær bæks



beliggenhed mellem borerne, jf. 4 cm kort på Figur 11. Dette kan bevirke, at filteret i boring 113.1128 ikke påvirkes. En anden tolkning er, at det sandlag, som SSV'en beregner mellem borerne, ikke eksisterer og derfor bør erstattes med ler. Denne sidste tolkning er valgt i den endelige lithologiske model, jf. profilet med lithologigriddet nederst i Figur 11. Tolkningen understøttes af tolkningen på seismikprofil 1, Figur 12, der viser at sandlaget med de 2 øverste filtre i Vestkær-boringen kiler ud, op i mod en formodet begravet dal, der er kortlagt mellem 3900 og 4200 m på profilet. SkyTEM-sonderinger har resistiviteter svarende til et leret dalfyld.

Prøvepumpningen viser også, at der ikke er hydraulisk kontakt mellem Vestkærboringen og boring 102.725, som ligger nær et potentialetoppunkt ca. 3400 m syd for Ølgod. Sandlagenes beliggenhed og udformning understøtter dette.

Under Ølgod by er der ingen SkyTEM-data, og der er således ikke blevet produceret et SSV-grid her. Den lithologiske model er her udfyldt ved at sammenholde områdets boredata med SkyTEM-data i randen omkring byen. Generelt er der under Ølgod by modelleret dybe miocæne sandlag op til omkring kote -100 m, hvorefter at der kommer en sekvens præget af kvartært ler særligt i den sydlige-sydøstlige del af byen, hvor der findes borer (f.eks. boring 103.532) med glimmerler og kvartært ler. Mod nord og vest er der mere sammenhængede sandlag. Fra kote ca. 0 og op til terræn er der meget sand i modellen.

Flere steder i modellen – f.eks. som den kan ses ved boring 103.1032 sydøst for Ølgod kildeplads kan der være små afvigelser mellem boringens lithologi og lithologi-griddet. Det skyldes, at der kan være en unøjagtighed på 2,5 m på laggrænser, da voxel-griddet har en lagtykkelse på 5 m, jf. f.eks. boring 103.975 på Figur 8.

Lithologigriddet er manuelt tilrettet lokalt omkring følgende borer i området: Ved boring 102.544 er lithologigriddet tilrettet således, at der nu er sand omkring filteret. Ved boring 102.398 indeholder boringen moræneler oppe under terræn, og lithologien i lithologigriddet er tilrettet i overensstemmelse hermed. Boring 103.1602 indeholder silt og lithologigriddet er tilrettet således, at det nu har en større "lerandel" (lavere permeabilitet) end fra starten, hvor der var beregnet sand i området. På samme vis er områderne omkring boring 103.517 103.1602 tildelt en lithologi med mere ler i lithologigriddet for at opnå en lavere permeabilitet end det indledningsvist var beregnet til. Omkring boring 103.543 er lithologigriddet rettet til sand – SSV-metoden havde beregnet et intermedært (blanding af sand og ler jf. legende i Figur 2) interval. I boring 103.1050 er der ler ved terræn – lithologigriddet er også tilpasset hertil.

#### **4. Området omkring Skovlund kildeplads**

I den vestlige del af det område, der er afgrænset af polygonet omkring Skovlund kildeplads finder man overvejende kvartært sand, jf. profil 4 i Figur 13. Sandet kan nogle steder følges ned til ca. 50 - 60 meters dybde, men typisk har sandlaget tykkelser på omkring 20-40 m, jf. profil 4. Under det kvartære sand følger overvejende tykke lerlag, op til 50-60 m tykke, og under dette findes der prækvartært sand (miocænt sand), der igen underlejres af prækvartært ler. Sandlaget har en relativ ensartet tykkelse, selvom det bliver gradvist tykkere mod øst, hvor det kan blive helt op i mod ca. 70 meter tykt.

Profil 3 på Figur 14 viser bl.a. indvindingsboringerne for Skovlund kildeplads – de er indrammet med to polygoner. Der indvindes fra prækvartært sand, der nogle steder har kontakt til kvartære sandlag. Filtrene er placeret relativt dybt og med de tykke og ret udbredte lerlag i området formodes det, at grundvandet er relativt velbeskyttet.

I området omkring Skovlund findes der dog nogle "kvalitet 1 borer" med glimmerler som f.eks kontrolboring 113.1480 (600 meter) på profilet i Figur 15 samt indvindingsboringerne 113.1484, 113.1485 og 113.1486, der er indrammet på profil 3, Figur 14. Glimmerleret er i boringsjournalerne beskrevet til at være siltet, hvilket afspejles ved, at SkyTEM kortlægger højresistive lag i området. Profilerne på Figur 15 viser, at selv om der er en del SkyTEM sonderinger i området med højmodstandslag i kote ca. -40 til -120 m, så tildeles der ler i hele området.

Det endelige lithologiske grid fremgår af de 2 profiler i Figur 15. Det lithologiske grid bliver i dette område mere præget af ler og med en mere abrupt lagdeling, end hvis man tolkede på SkyTEM dataene alene. Oversætterfunktionen i det sydøstlige hjørne af modellen viser at grænsen mellem sand og ler er 140 ohmm, hvilket bevirker at store dele af modellen i dette område er tildelt ler. Laggrænserne i kvalitet 1 borerne er styrende for den lithologiske inddeling af sand og ler i området, og overgangen mellem sand og ler bliver derfor abrupt. Det kan diskuteres, hvor stor en vægt man bør tildele borerne i området, men det vurderes, at SSV-metoden overvejende har beregnet sand/ler fordelingen i området tilfredsstillende. Problemstillingen opstår fordi de i borerne beskrevne miocæne lerlag sandsynligvis er meget siltede i området. Dette betyder, at lerlagene har høje modstande. Med et deraf følgende højt niveau for sand/ler-grænsen.

I modellen er der ikke særlig god hydraulisk kontakt mellem de dybe sandlag og sandlagene tættere på terræn, og der er sandsynligvis ikke en stor nedsvivning og grundvandsdannelse ned i gennem de relativt tykke lerlag. Der forventes ikke en betydelig boringsnær grundvandsdannelse fra de terrænnære sandlag til det miocæne sand der oppumpes grundvand fra.

I forbindelse med grundvandsmodelleringen bør man vurdere resultaterne nøje i dette område, og med fokus på, at der er tilstrækkelig med grundvandsdannelse til magasinerne i området.

Helt lokalt er der lavet manuelle tilretninger omkring nogle af borerne i området. Omkring borerne har SSV lithologgridet indledningsvist beregnet ler omkring borerne – ofte pga. en lav prioritering af boringen. Borerne er manuelt gennemset og det er fundet relevant at rette lithologgridet til sand i følgende borer 113.584, 113.641, 113.657, 113.660, 113.738, 113.922, 113.1024, 113.1109, 113.1135 og 113.1325. Argumentationen i de fleste tilfælde, er at der er sand i boringen og i flere tilfælde med filtersætning. Omkring boring 113.704 og 113.1180 er lithologgridet rettet fra sand til ler i niveauer hvor der er ler i borerne.

## **5. Området omkring Krusbjerg kildeplads**

Krusbjerg kildeplads indvinder i glimmersand fra boring 113.1339 og 113.1522, jf. profil 7 på Figur 16. Glimmersandet tynder hurtigt ud mod vest, hvor det allerede forsvinder 600 m vest for kildepladsen. Der er meget tykke lerlag, helt op til 100 m tykke vest for kildepladsen og disse er sandsynligvis begrænsende for en dybere grundvandstrømning i den vestlige del af området mod kildepladsen (jf. profil 7 ca. 0 til 2300 m). Det prækværtære sand fortsætter til modelranden ca. 3500 m mod øst. Trykgradienten er ikke stor i området, men potentialekortet indikerer en overordnet grundvandsstrømning fra flere retninger mod kildepladsen, både fra nord, vest og sydvest. Det er derfor ikke muligt, at sige entydigt om kildepladsen primært trækker vand fra de prækværtære sandlag.

Der er tykke kvartære sandlag af stor horisontal udbredelse henover glimmersandet, dog adskilt af tyndere lerlag (10-20 m). Særligt nær terræn er der meget sand. Der er i flere borer bl.a. 113.122, 113.1161 og 113.1635 glimmersand og glimmerler i koter, hvor der er tolket kvartært sand. Skal den geologiske fortolkning af seismikken og SkyTEM følges i området (det er gjort i modellen), skal lagene henføres til

kvartæret, og lagene er derfor udtryk for overskydninger forårsaget af glacialtektoniske forstyrrelser, jf. også kapitel 10 i rapporten.

## **6. Området omkring Gaarde kildeplads**

Gaarde kildeplads' indvindingsboring 113.1348 er filtersat 128 m under terræn og er vist på 2 profilsnit på Figur 17. Boringen er filtersat i glacialtektonisk forstyrret miocænt sand. På profil 5 kan det se ud som om, at der indvindes fra et afgrænset magasin i relativ stor dybde, men på ProfilSN\_GaardeKildeplads ser man, at sandlaget sandsynligvis er sammenhængende med de terrænnære sandlag i profilet. Det vest-østorienterede profil 5 viser desuden, at der er tykke lerlag både øst og vest for kildepladsen, og at magasinet, der indvindes fra udbreder sig i nordlig og sydlig retning.

De 3 horisontale profilsnit i Figur 18 underbygger at magasinet er placeret i et sandlag der har relativ begrænset horisontal udbredelse i den sydlige del, men at det får en større udbredelse i nordlig retning. Snittet i kote -82,5 m svarer til filterdybden i boring 113.1348 og viser, at filteret er placeret i et sydvest-nordøst orienteret sandlag. Det midterste kort er et horisontalt snit i kote -57,5 m og er det niveau, hvor der i området findes mest kvartært ler i modellen, mens der ses meget store sammenhængende sandlag tættere på terræn i kote 32,5 m.

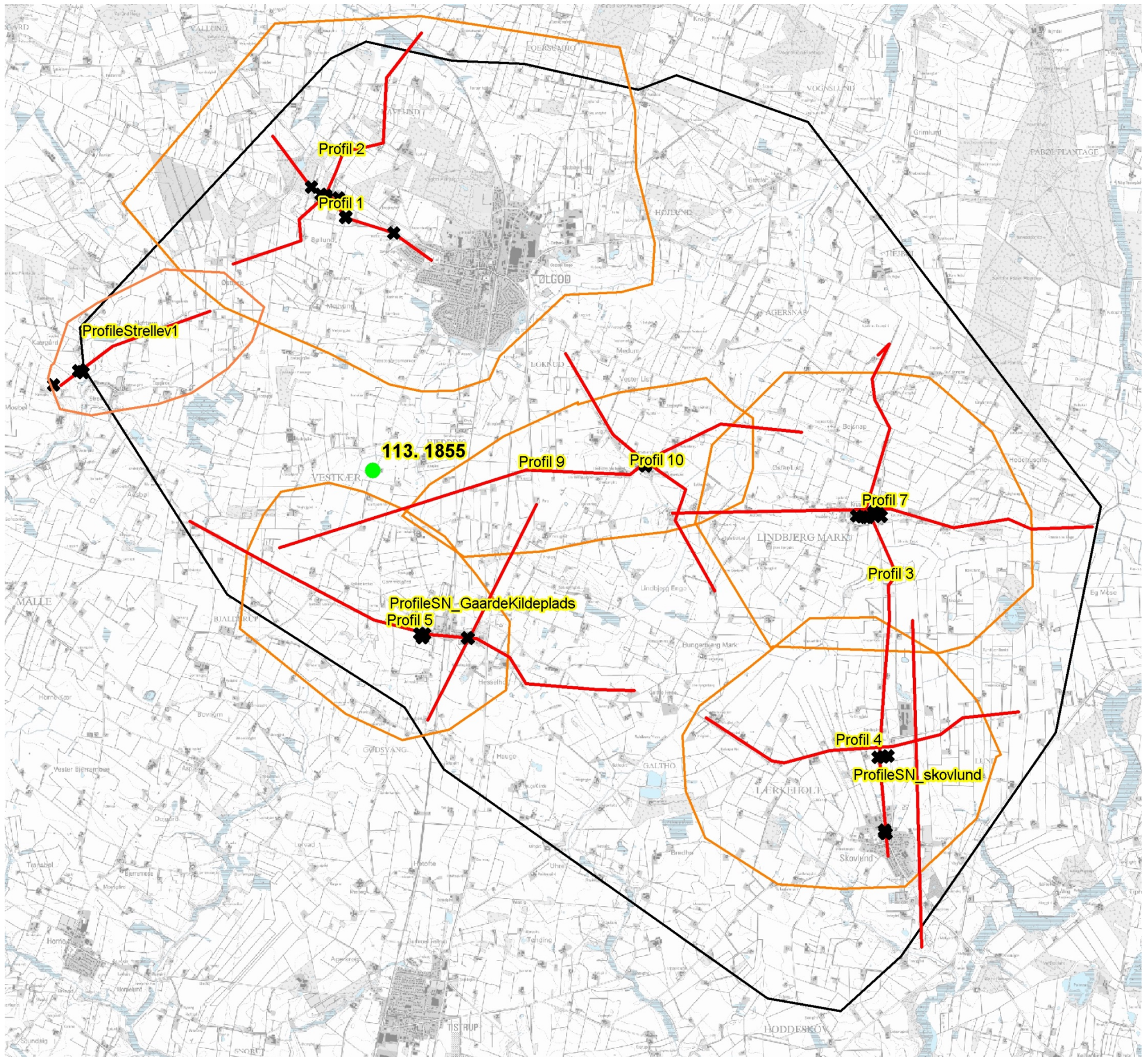
## **7. Strellev kildeplads**

Strellev kildeplads ligger umiddelbart udenfor det SkyTEM-kortlagte område, men lithologi-griddet inkluderer lige netop området omkring kildepladsen. Der indvindes fra 2 boringer 112.949 og 112.1010 som er filtersat omkring 35 m under terræn i kote ca. 0 til -10 m. Der indvindes fra et sandlag der sandsynligvis har kontakt til sandlagene mod øst, der udbreder sig op i mod Ølgod kildeplads. Lokalt er der ca. 15 m tykt kvartært ler ovenpå magasinet og nedefter afgrænses det af tykke lag af smeltevandsler. ProfileStrellev1 viser, at der kan være hydraulisk kontakt mellem de magasiner, der indvindes fra og op til de terrænnære sandlag i kildepladsområdet. Hvor sammenhængende sandlaget er med de store udbredte sandlag i nordøstlig retning er vanskeligt at afgøre, da der er meget få boringer i randzonen omkring kildepladsen, ligesom der også er langt mellem SkyTEM sonderingerne nær kildepladsen.

## **8. Øvrige lokaliteter**

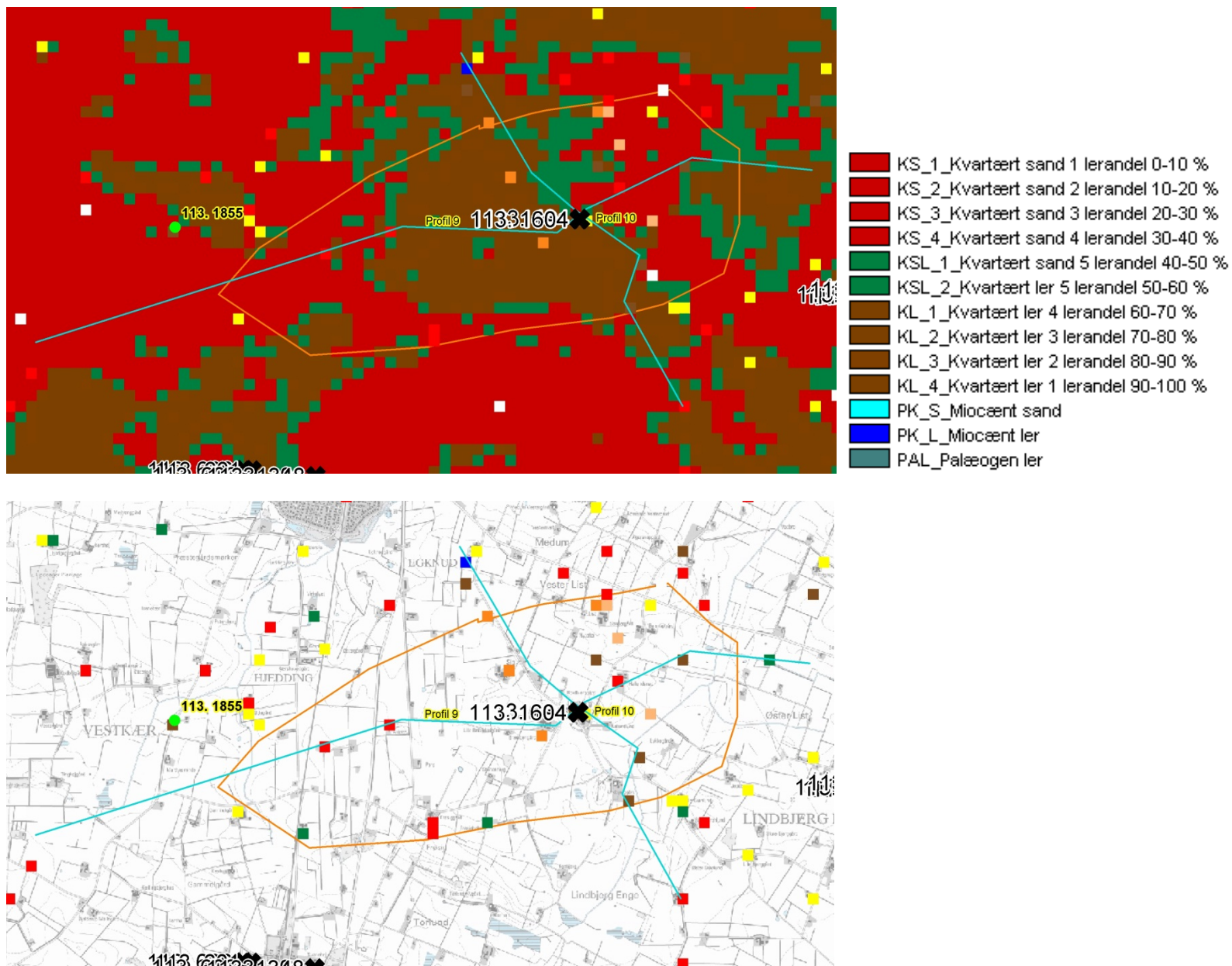
Omkring boring 103.1547, 103.1643 og 113.1023 er der ændret i lithologigriddet fra ler til sand. Ved boring 103.653 er der højmodstandslag tæt på boringen, hvor i der er siltet ler. SSV tildeler som ønsket ler i dette område. Boring 113.1477 er placeret for dybt på profilet – er dog håndteret korrekt i SSV beregningen.

## Bilag 2a, figurer

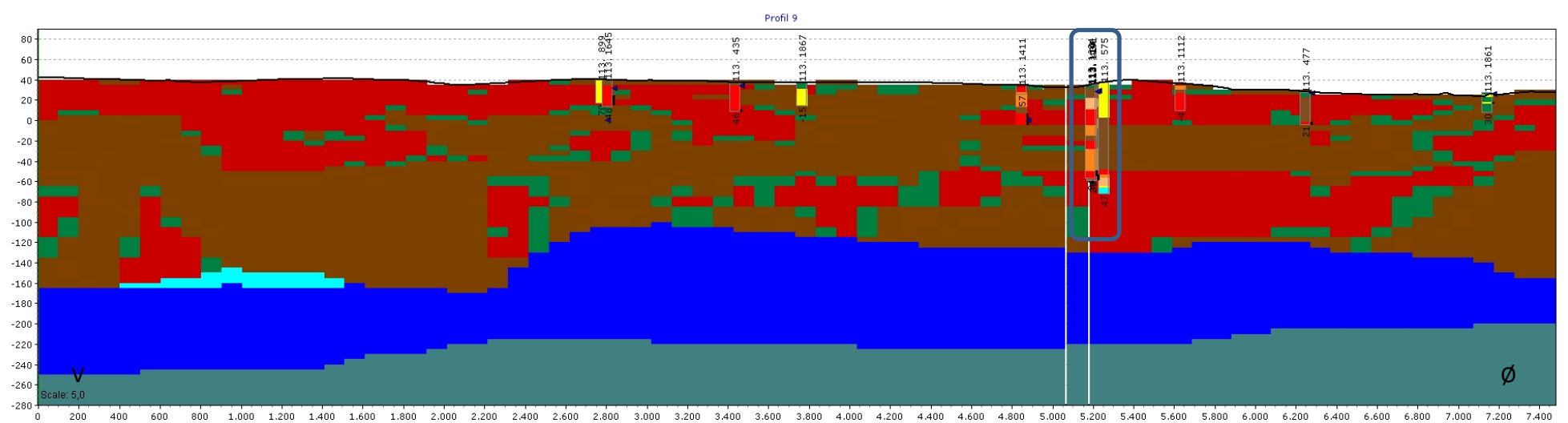


Figur 1 Oversigtskort med placering af statiske profiler (røde profilinjer), vandværksboringers placering angivet med sorte krydser og orange polygoner der afgrænser hvor der har været mest fokus på kvalitetssikring og manuel tilretning.

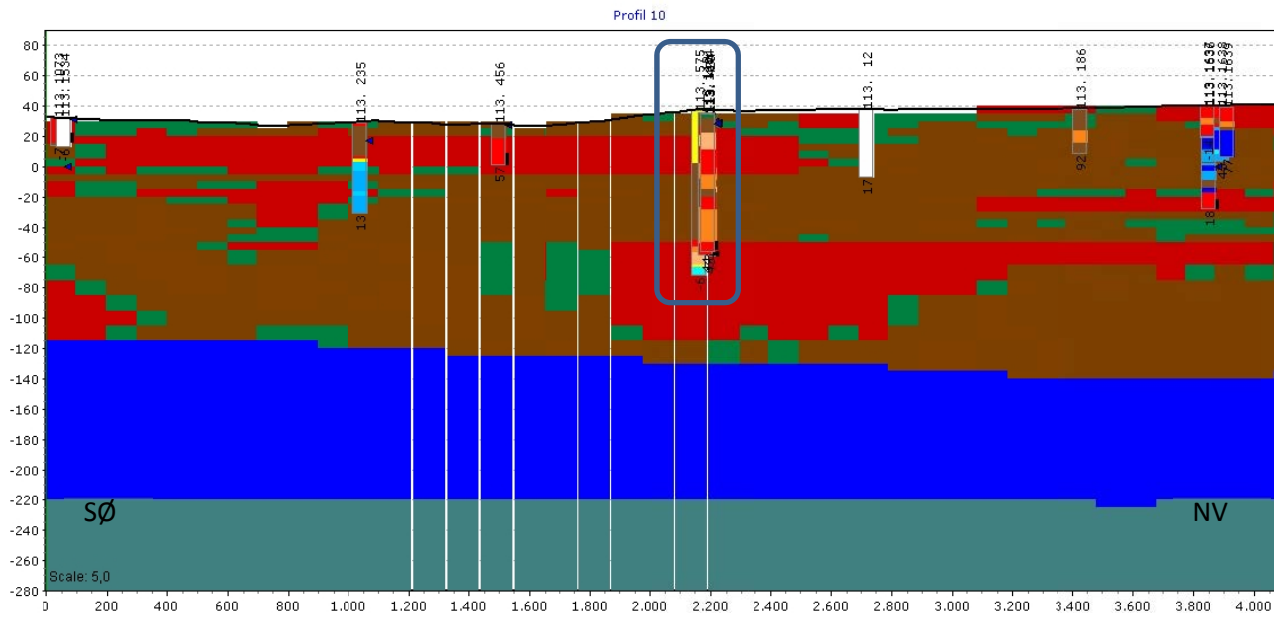
## Lindbjerg kildeplads



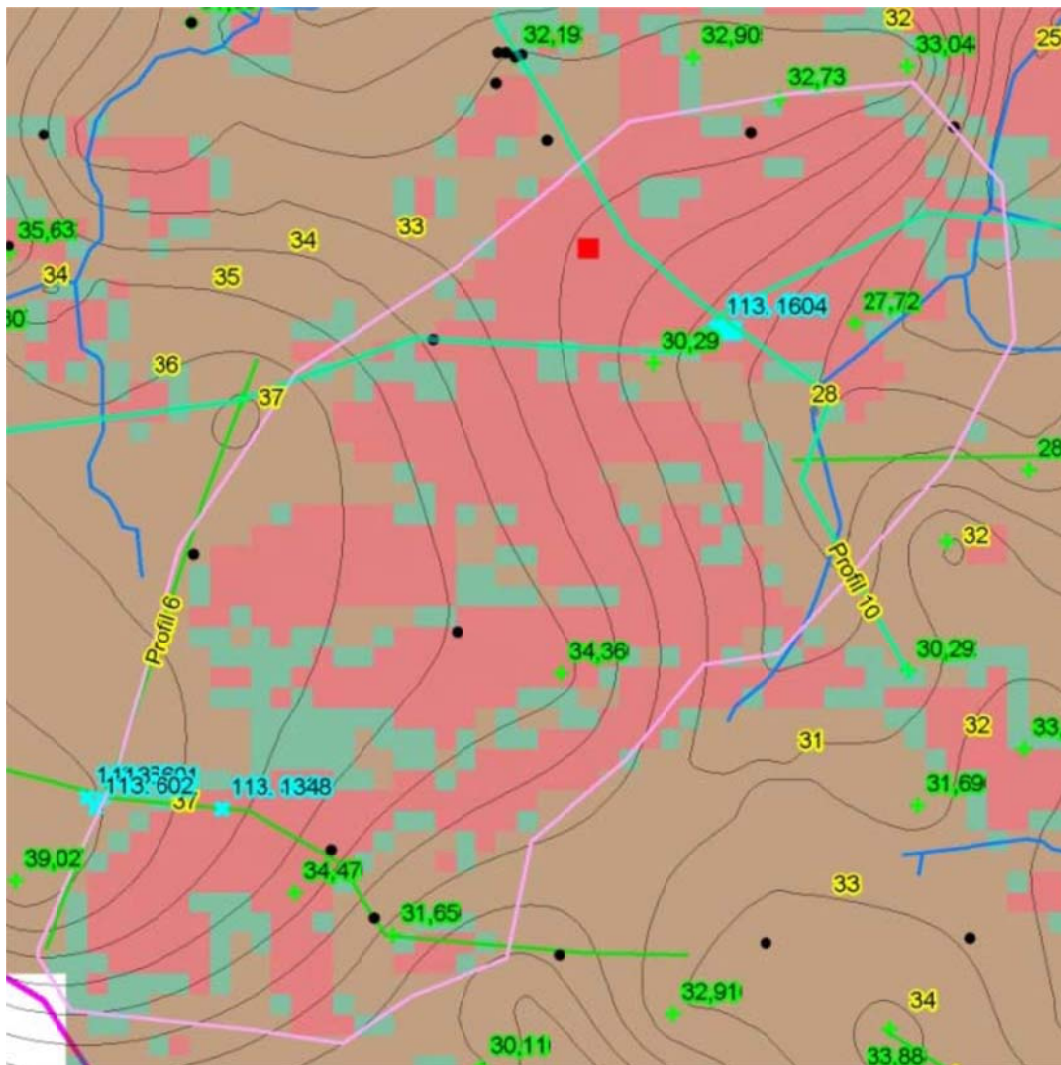
Figur 2 Øverst et horisontalt snit gennem lithologigriddet med boringsgriddet vist ovenpå i kote 22,5 meter i området omkring Lindbjerg kildeplads. Boringsgriddet er også vist på kortet nedenunder i samme kote. Gule og røde voxler er sand, mens brune og grønne er ler (farvekode svarende til Figur 14 i rapporten). Placering af Profil 9 (vest- øst-orienteret) og Profil 10 (sydøst – nordvest orienteret) er angivet med turkise profilinjer. Placering af indvindingsboring 113.1604 for Lindbjerg kildeplads er vist med et sort kryds, og desuden er Vestkjær-boringen 113. 1855 vist med en grøn prik. Det orange polygon afgrænser det område hvor der har været mest fokus på kvalitetssikring og manuel tilretning af lithologigriddet.



Figur 3 Profilsnit 9 gennem Lindbjerg kildeplads - med lithologigriddet og boringer. Indvindingsboringerne 113.434, 113.1191 og 113.1604 er indrammet af polygon.

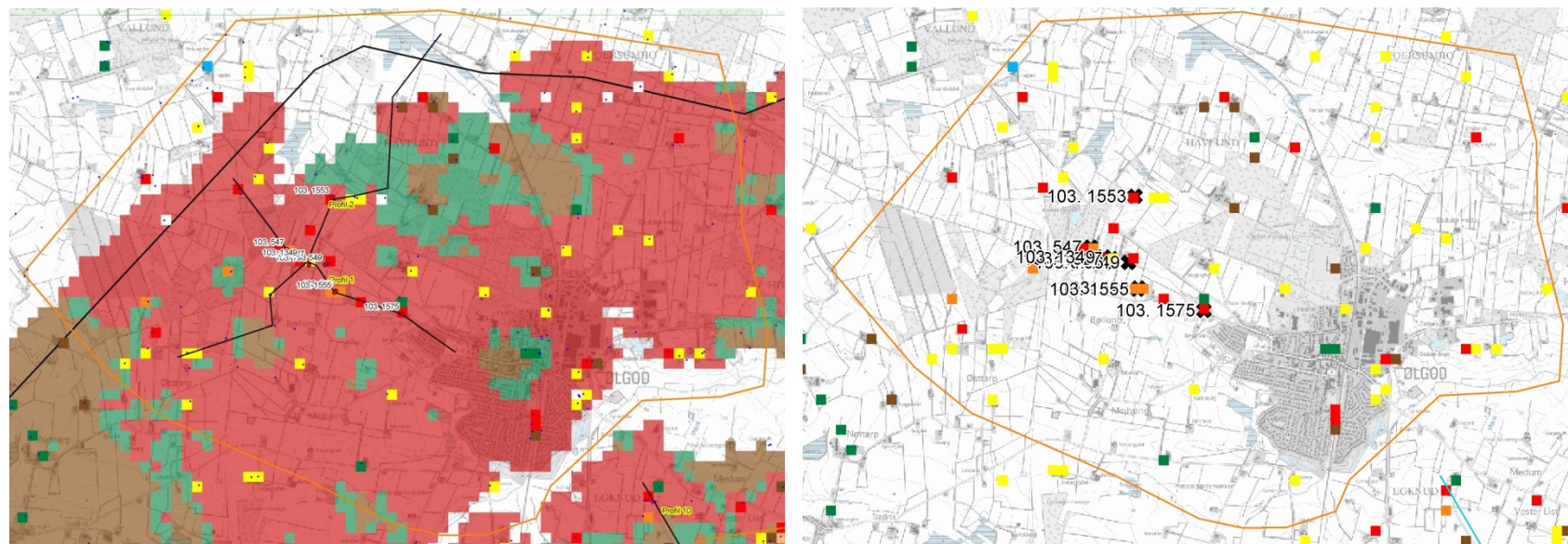


Figur 4 Profil 10 med lithologigriddet og borer. Indvindingsboringer 113.1604, 113.434 og 113.1191 er indrammet med polygon.

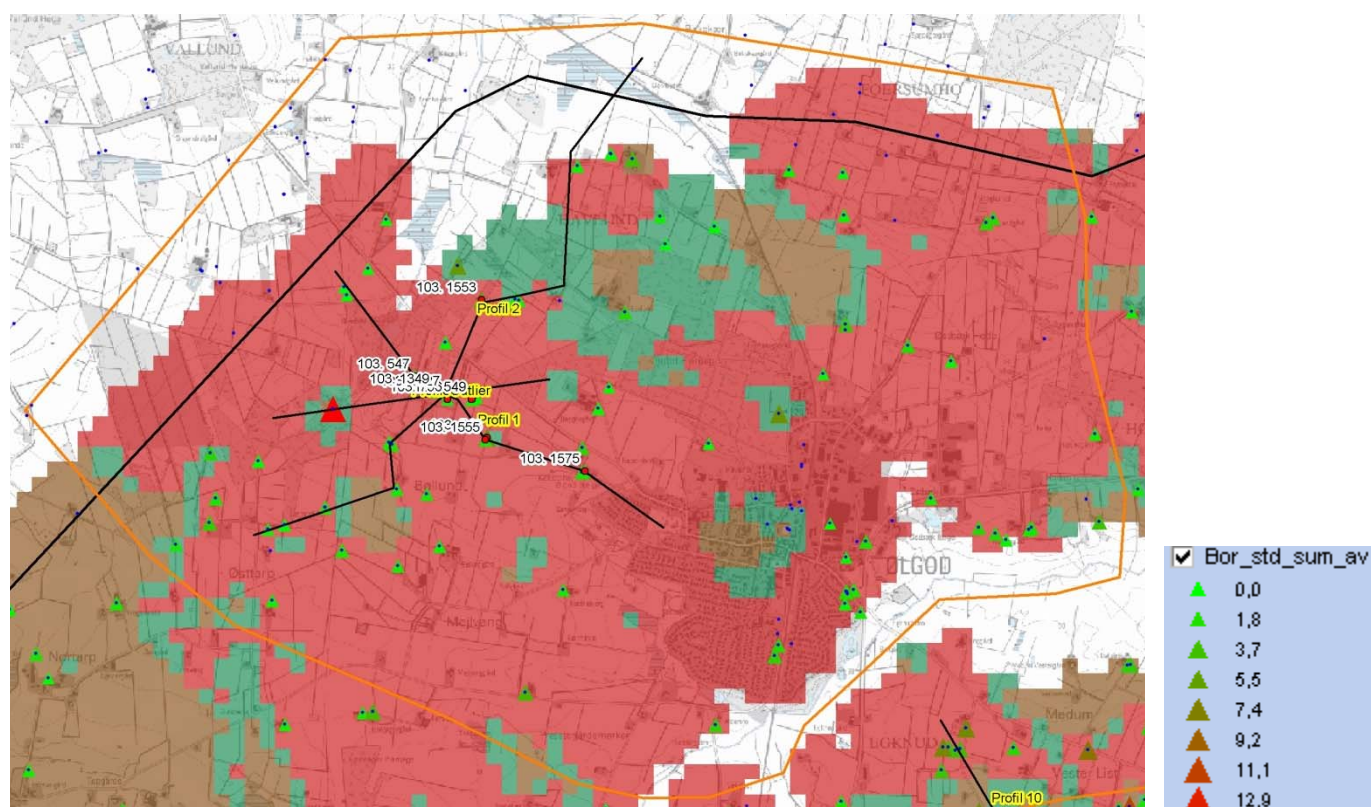


Figur 5 Horisontalt snit gennem lithologigriddet i kote -67,5 meter i området omkring Lindbjerg kildeplads – lokalisering se Figur 2. Indvindingsboring 113.1604 er angivet med turkis farve. Det lyserøde polygon angiver en omtrentlige afgrænsning af det sandlag der indvindes fra.

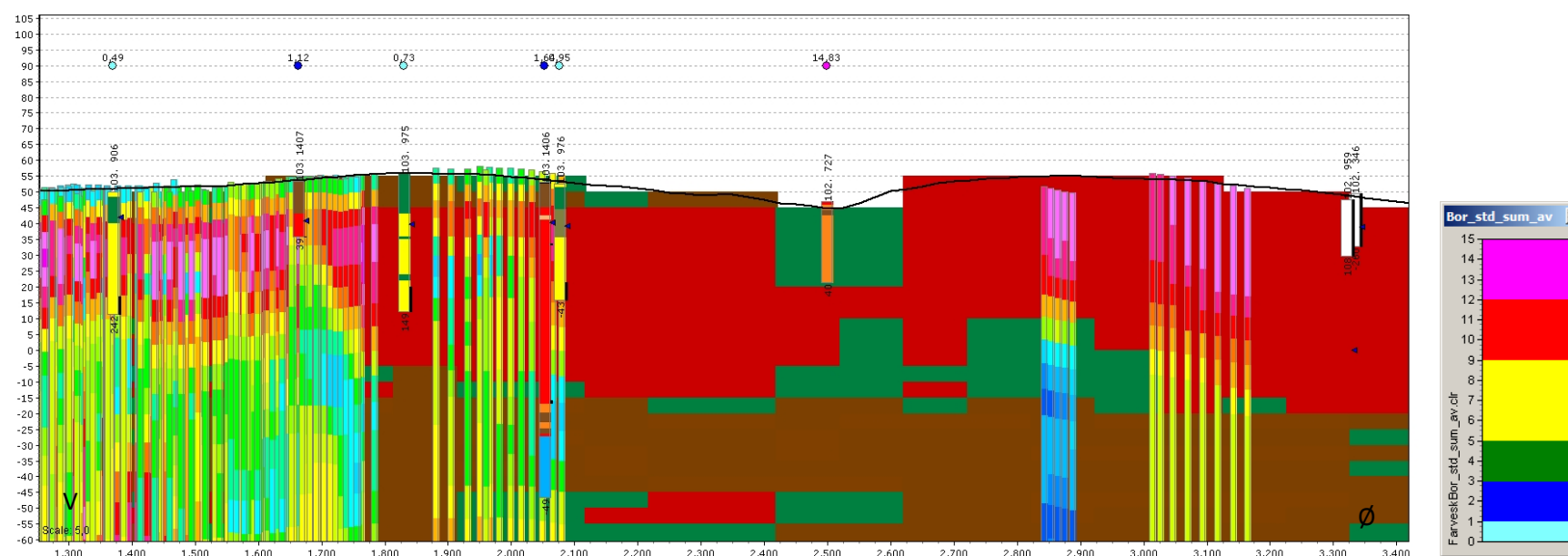
## Ølgod Kildeplads



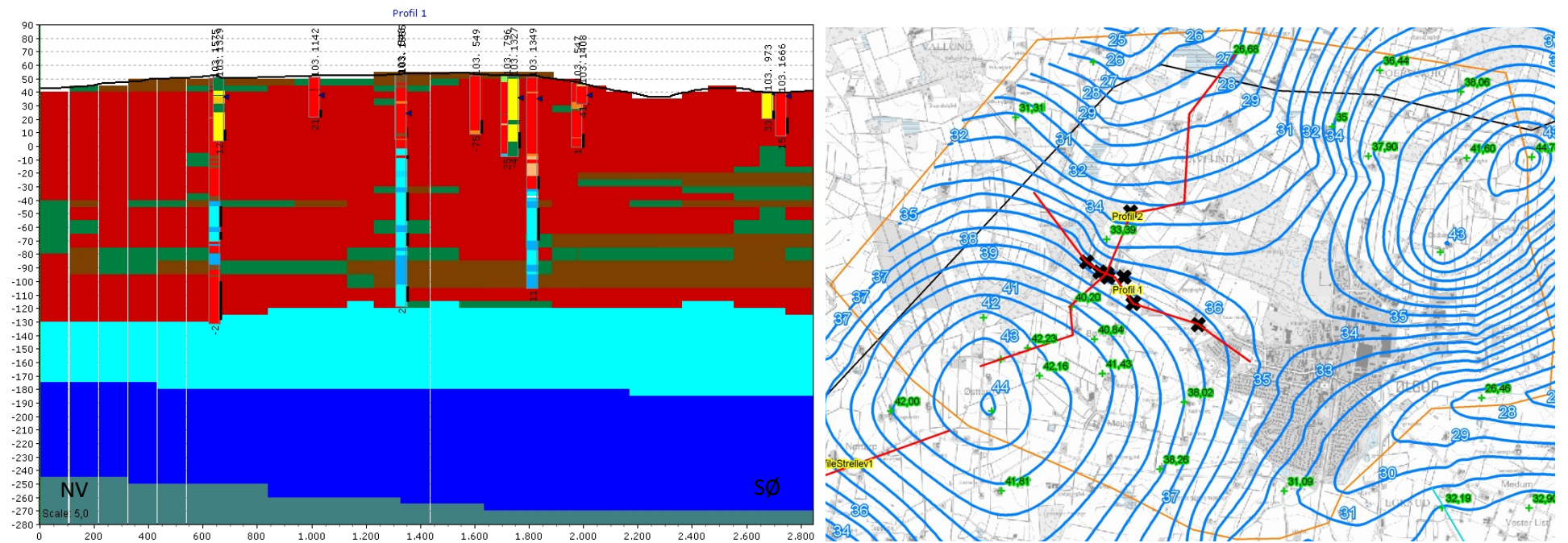
Figur 6 Til venstre er vist et horisontalt snit gennem lithologi- og boringsgriddet i kote 32,5 meter. Boringsgriddet er også vist på kortet til højre – farvekoder for lithologi svarer til Figur 14 i rapporten (rød og gul er sand, mens brun og grøn er ler). Placering af profil 1 og 2 er vist med sort på kortet til venstre, ligesom modelafgrænsningen også er vist med en sort polylinie. Den orange polygon angiver det område hvor der har været særligt fokus på gennemgang og manuel redigering af lithologigriddet. Placering af indvindingsboringer for Ølgod kildeplads er angivet på kortet til højre. Kortudsnittene er 7,5 km i vest-østlig retning.



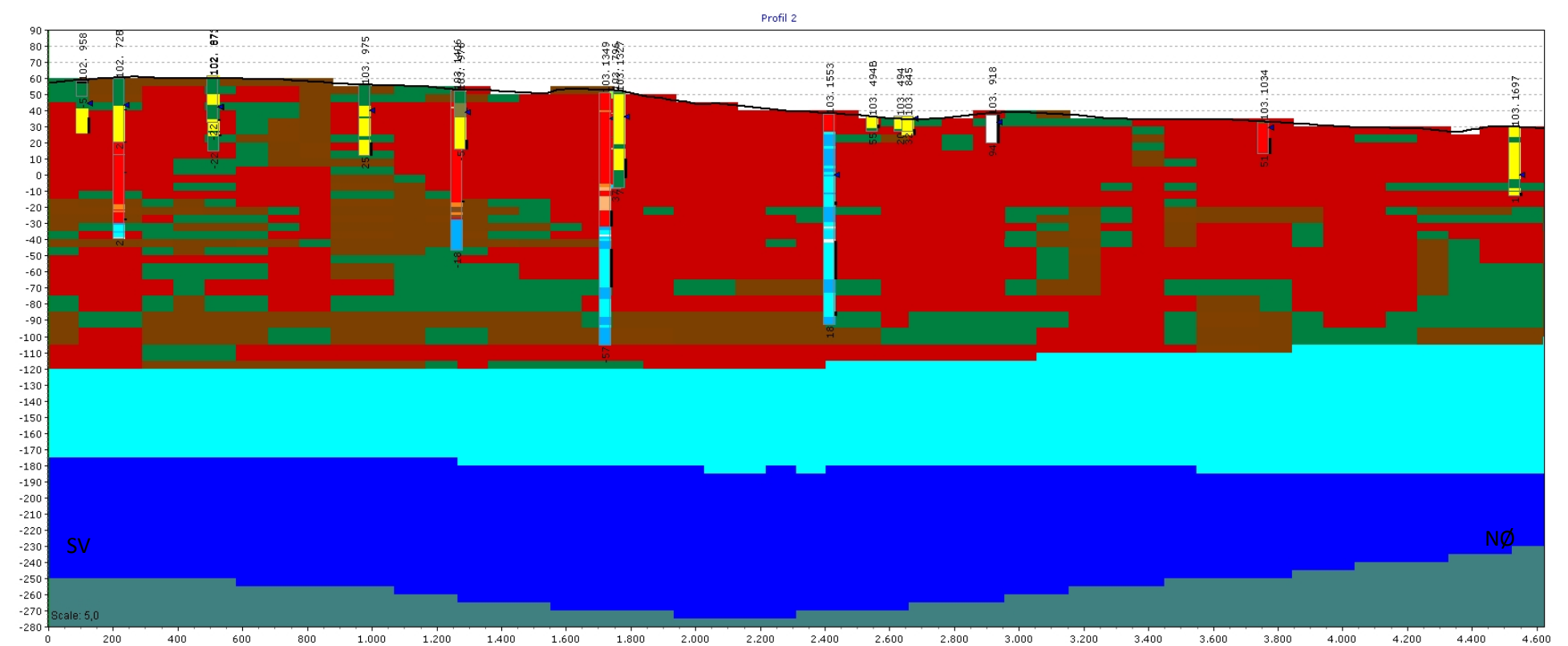
Figur 7 Horisontalt snit gennem lithologigriddet i kote 32,5 meter. En gennemsnitlig standardafvigelse for SSV beregnet lertykkelse sammenlignet med lertykkelsen i boringer er vist med farve-/størrelsestematiserede trekantede. Placering af profillet i Figur 8 gennemskærer den store røde trekant fra VSV til ØNØ – angivet med sort profilinie. Desuden er placering af de 2 faste profiler 1 og 2 også vist med sorte profilinjer. Den orange polygon angiver det område hvor der har været særligt fokus på gennemgang og manuel redigering af lithologigriddet.,



Figur 8 Profilsnit, der viser boring 102.727 med ca. 25 meter smeltevandsler sammen med lithologigriddet, der i stedet indeholder overgangslithologi mellem sand og ler (grøn farve). Det ses, at der ikke er SkyTEM sonderinger i umiddelbar nærhed af boringen. Punkttema med standardafvigelse fra Figur 7 er projiceret ind på profilet. En høj standardafvigelse indikerer en dårlig tilpasning mellem den SSV beregnede lertykkelse og den lertykkelse der er i en boring. Bemærk at der er en std.afv. på ca. 15 for boring 102.727 indikerende en meget dårlig overensstemmelse. Lithologigriddet er dog ikke manuelt redigeret omkring boringen (jf. Bilag 2), da der er stor afstand fra boringen til SkyTEM sonderinger i området.



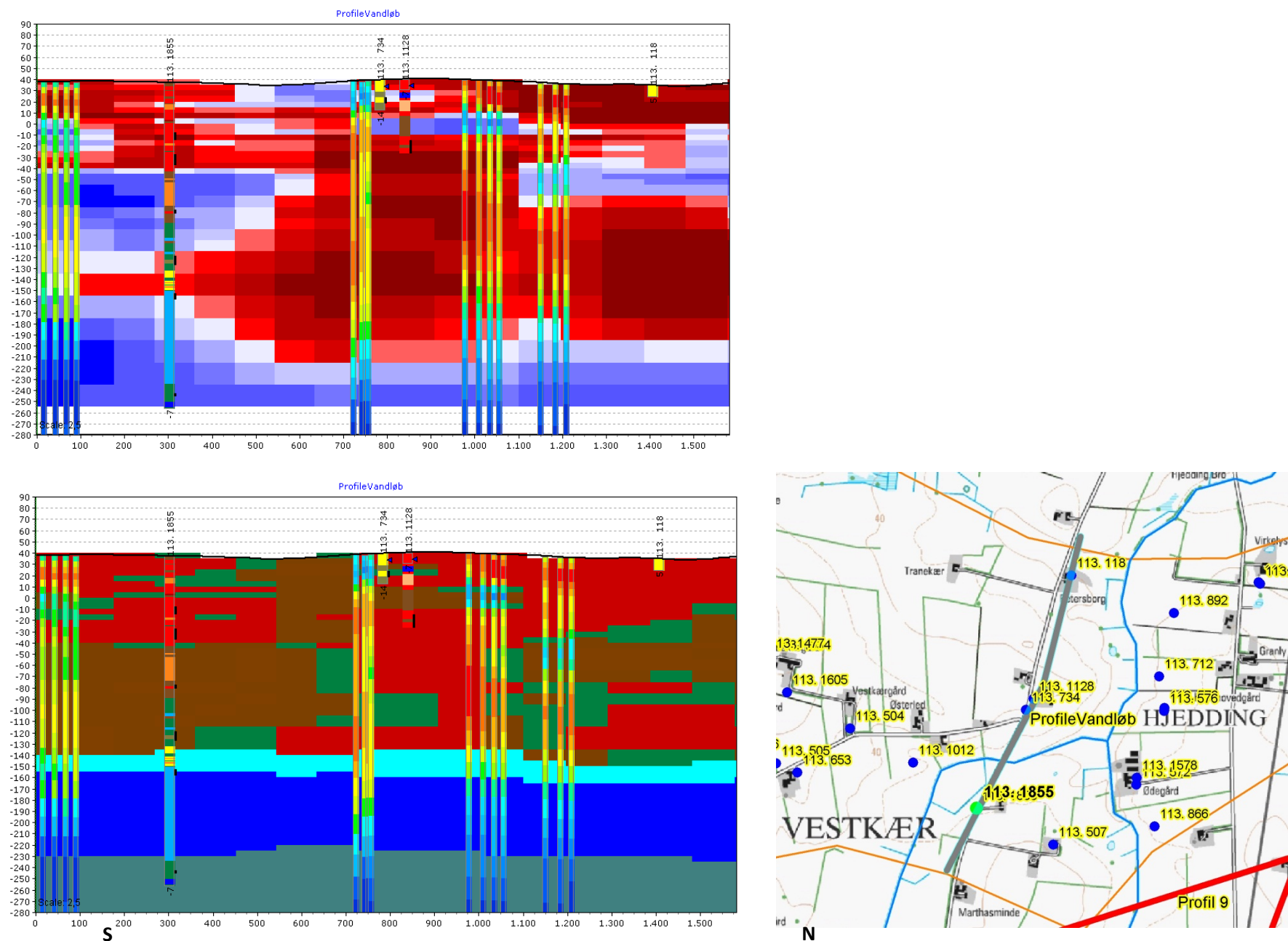
Figur 9 Profil 1 er orienteret i NV-SØ gennem Ølgod Kildeplads. Placering af profilet kan ses på kortet til højre hvor profil 2 nedenfor også er vist. Potentialkortet (blå) og koter fra synkronpejlerunde foråret 2010 (grøn). Placering af borer fra Ølgod kildeplads er vist med sorte krydser.



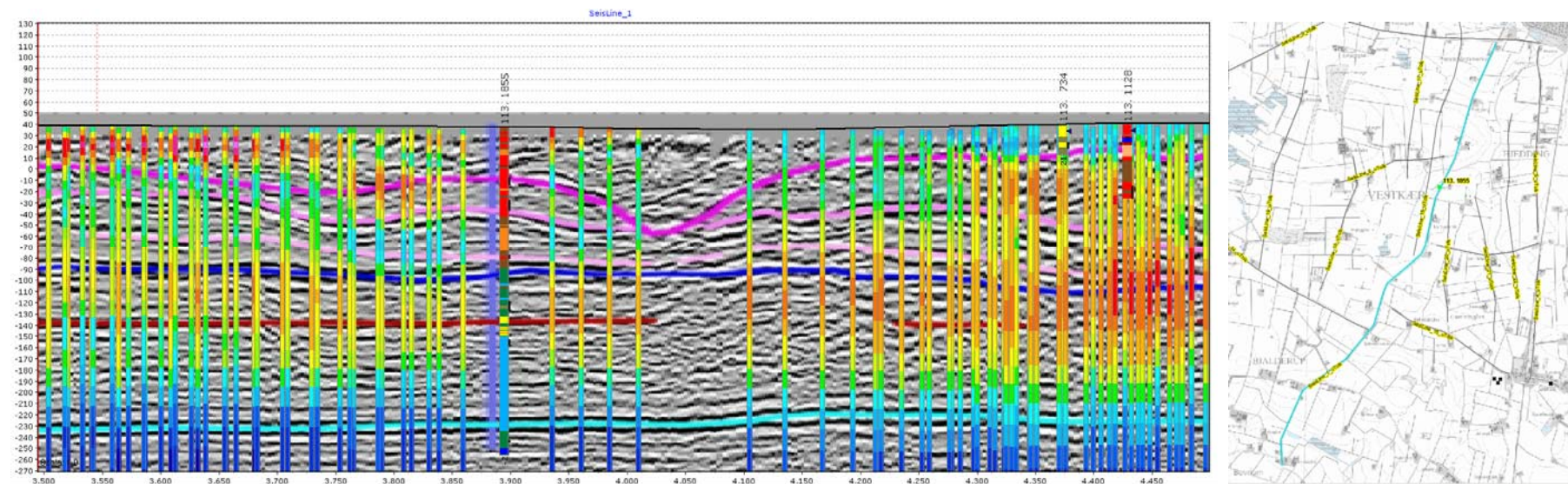
Figur 10 Profil 2 er orienteret i SV-NØ gennem Ølgod Kildeplads



## Området omkring Vestkær og Hjedding

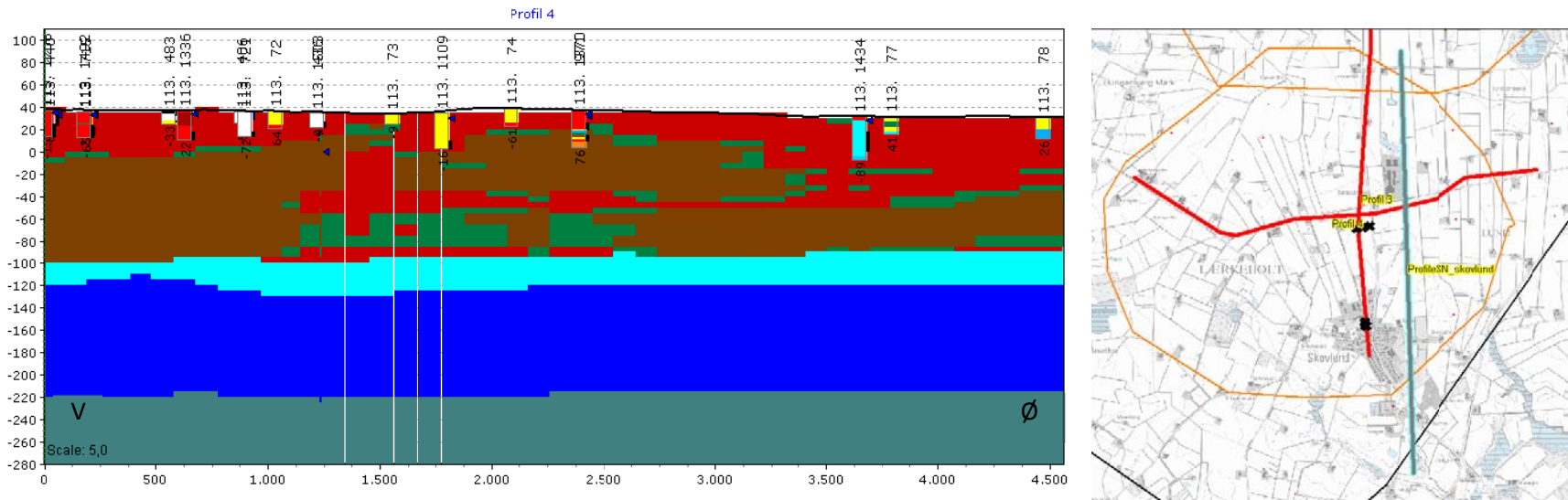


Figur 11 Øverst profil med Vestkær-boringen 133.1855 og SSV-griddet. Røde farver indikerer meget sand og blå farver meget ler. Nederst ses samme profil med lithologigriddet som baggrund. SkyTEM sondringer er også vist. Profillets placering er vist med den syd-nord orienterede profilinie (grå) på 4 cm kortet. Vestkær bæk er angivet med blå på 4 cm kortet, ligesom boringernes placering er vist med blå prikker og en grøn for den nye undersøgelsesboring 113.1855.

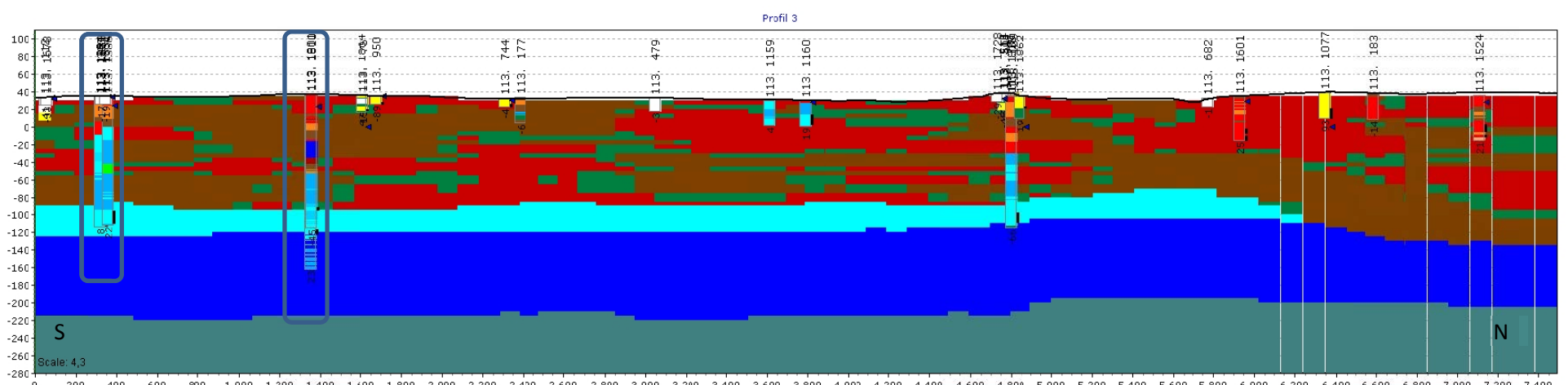


Figur 12 Udsnit af seismikprofil 1 (fra ca. 3500 m til 4500 m) med Vestkær-boringen DGUnr. 113.1855 og SkyTEM sondringer (mangelag). Placering af hele seismikprofil 1 er angivet med den turkise profilinie på kortet til højre.

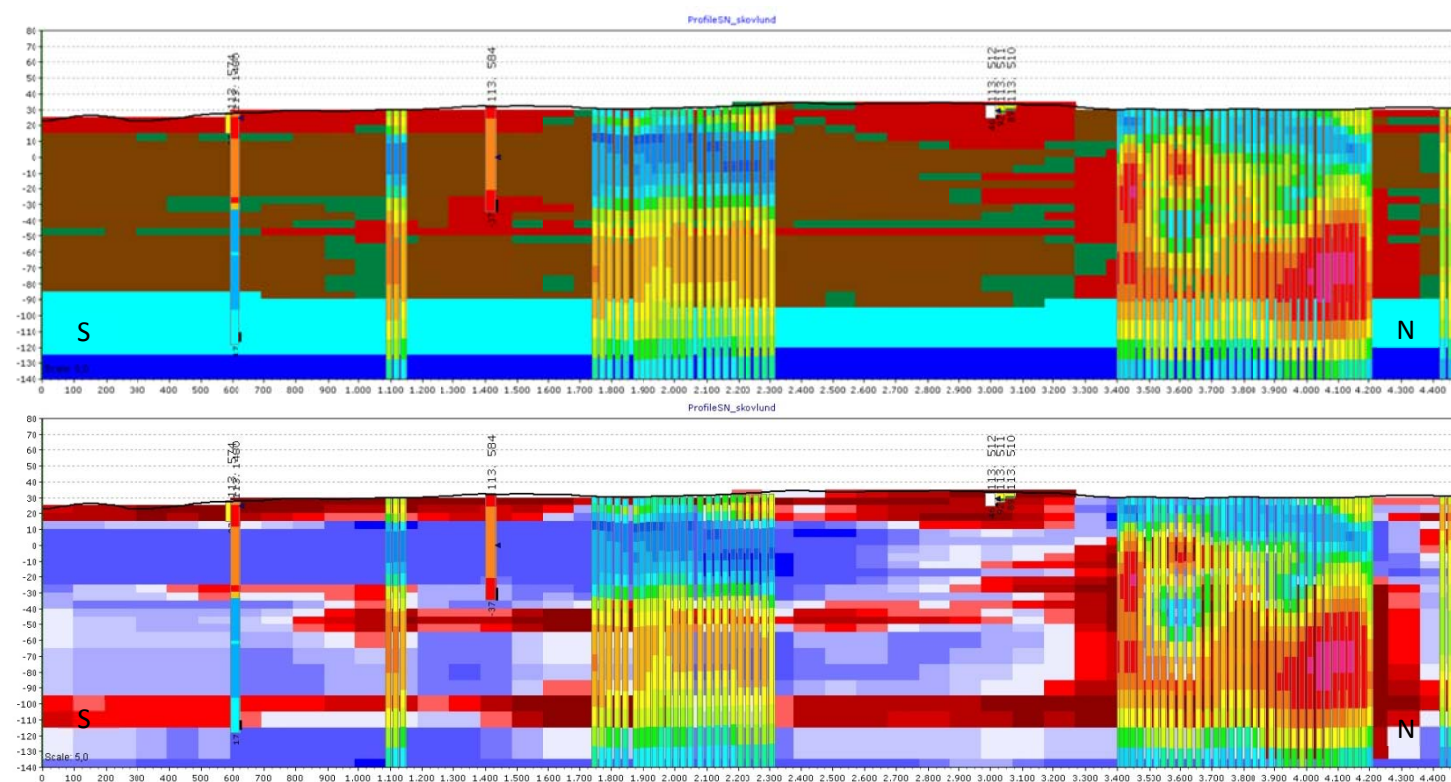
## Skovlund Kildeplads



Figur 13 Vest – øst orienteret profil 4 der gennemskærer området omkring Skovlund kildeplads og med lithologigriddet og boringer vist. Profils placering er vist med en rød profillinie på kortet til højre ligesom profil nord-syd orienterede profil 3 også vist med rød profillinie på kortet. Desuden er placeringen af ProfilSN\_skovlund også vist på kortet med en turkis profillinie.

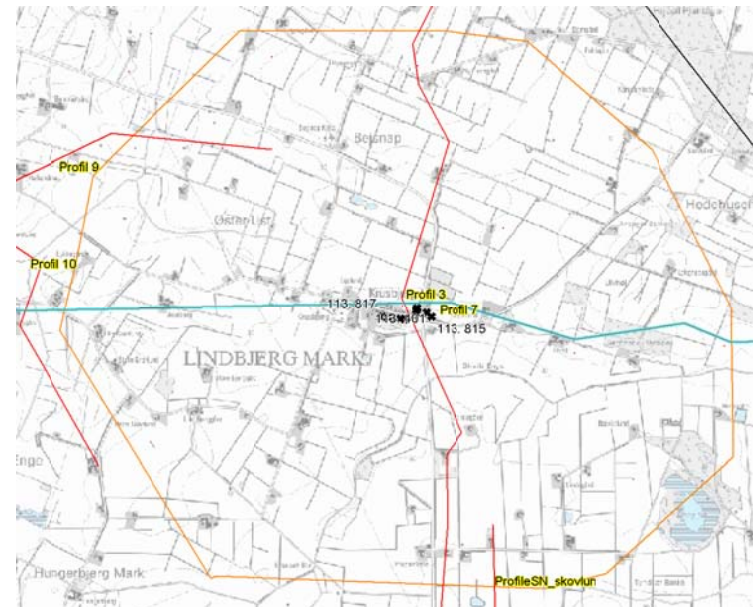
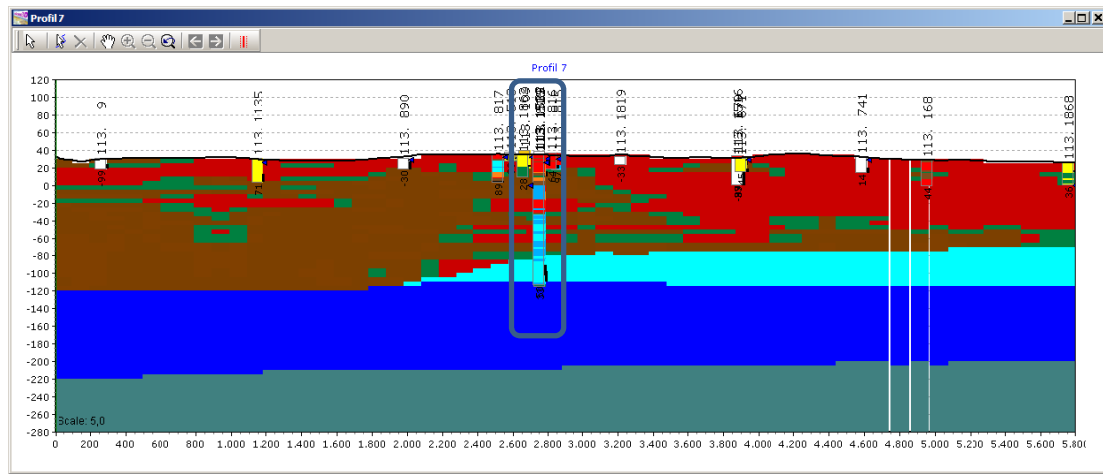


Figur 14 Syd-nord orienteret Profil 3 der går igennem Skovlund kildeplads, jf. kort i figur 15 nedenfor. Indvindingsboringer for Skovlund kildeplads er indrammet med polygoner.



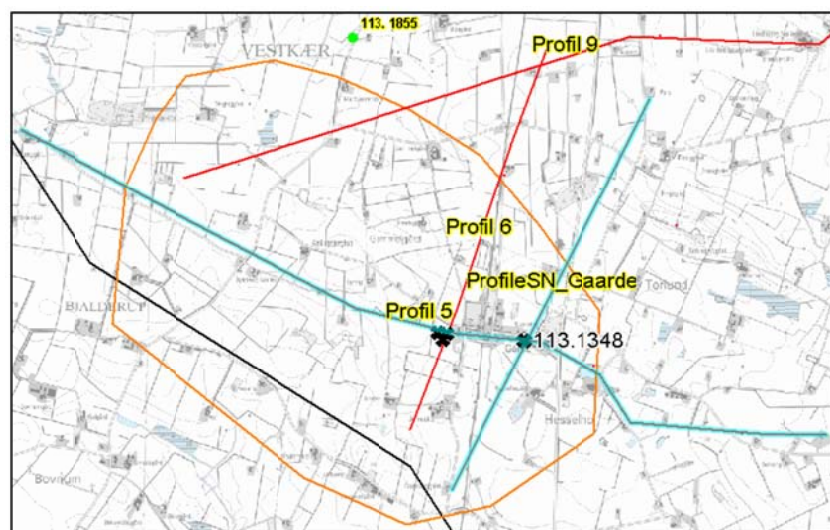
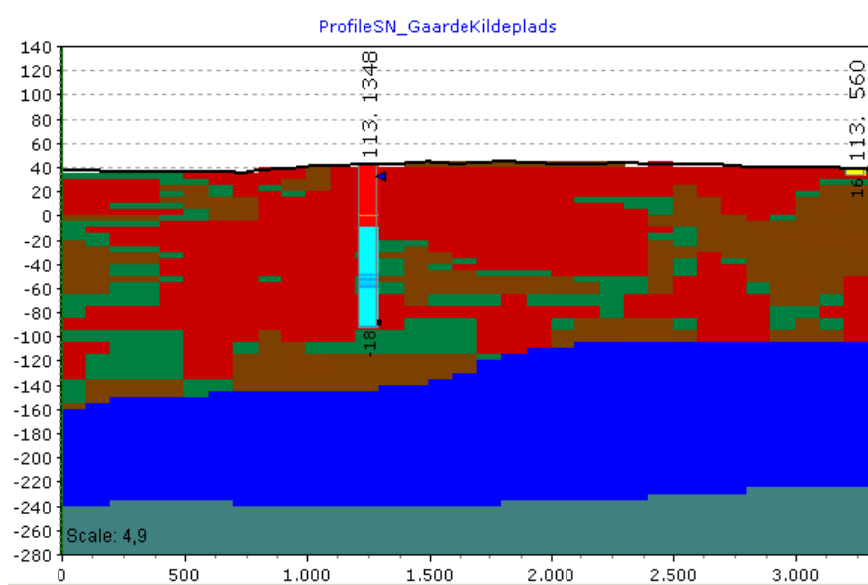
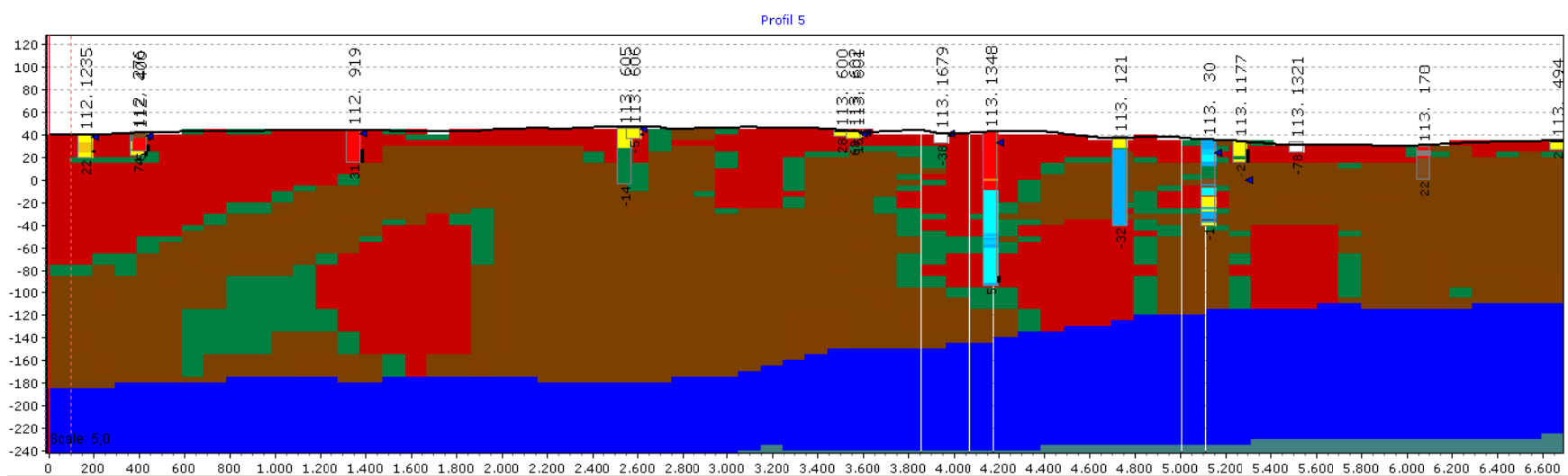
Figur 15 ProfileSN\_skovlund skærer fra syd mod nord gennem området ved Skovlund kildeplads – turkise profillinie på kortet i Figur 13. Øverst er lithologigriddet vist, og nederst ses SSV griddet. På begge profiler er boringer og SkyTEM- mangelslagsmodeller vist. Profils placering er vist på kortet i Figur 13.

## Krusbjerg kildeplads

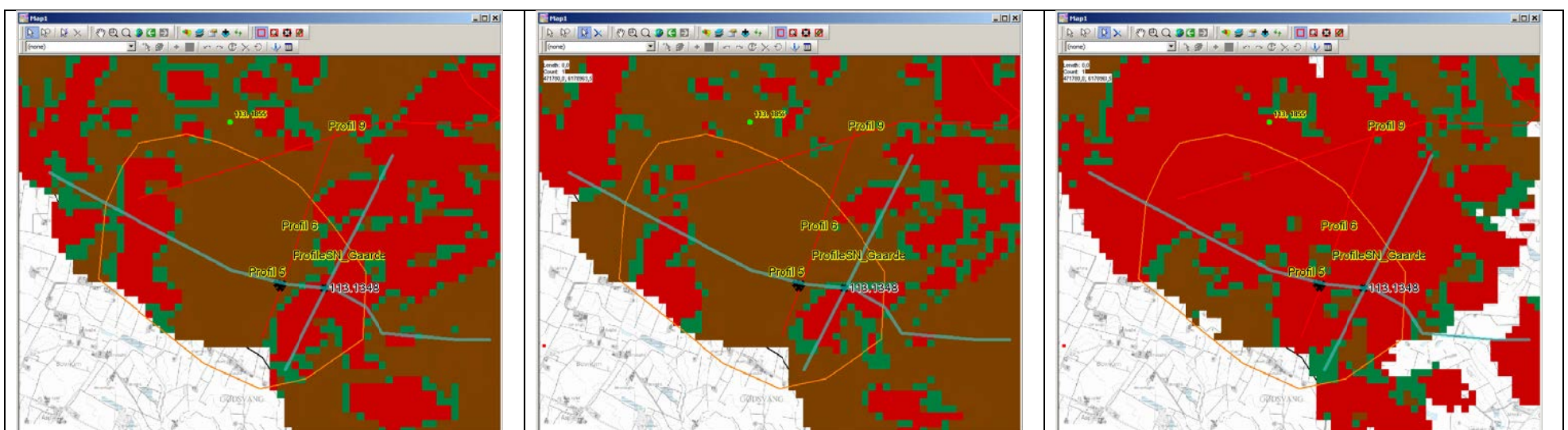


Figur 16 Vest- øst-orienteret profil gennem Krusbjerg kildeplads. Indvindingsboringerne 113.1339 og 113.1522 er indrammet med polygon.

## Gaarde kildeplads

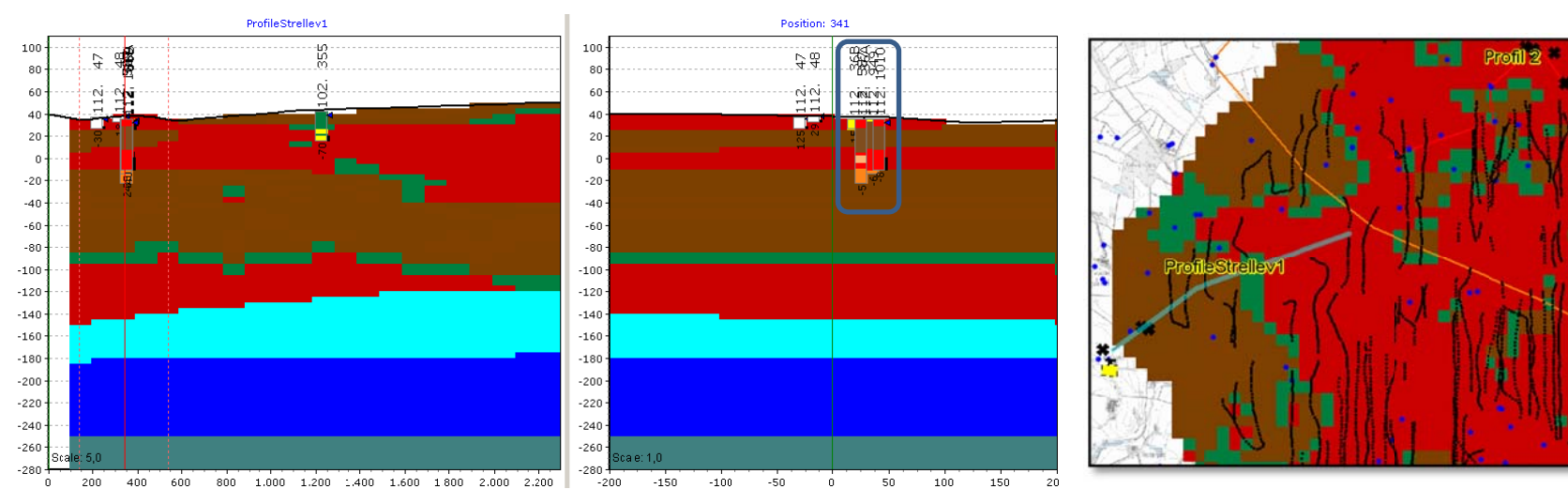


Figur 17 Øverst det lange vest- østorienterede profil 5 og nederst det syd- nordorienterede ProfileSN\_Gaarde. Indvindingsboringen 113.1348 er vist på kortet og på profil 5.



Figur 18 Horisontale snit gennem lithologigriddet ved Gaarde Kildeplads fra venstre mod højre i kote -82,5, -57,5 og 32 meter.

## Strellev Kildeplads

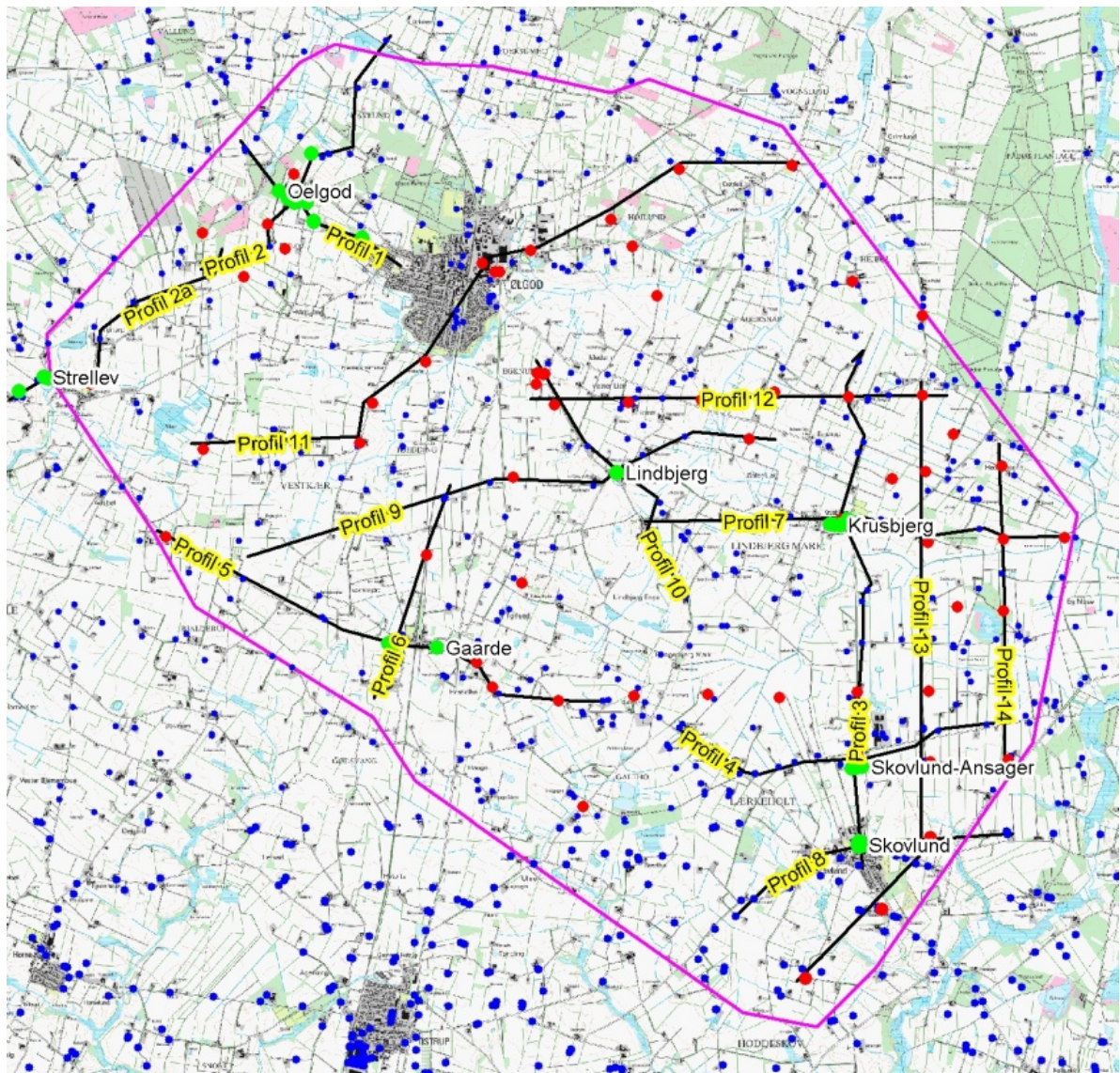


Figur 19 Profil gennem Strellev kildeplads med indvindingsboringerne 112.949 og 112.1010 indrammet på tværprofilet. Til højre et kotesnit i kote -2,50 meter svarende til filterdybden på indvindingsboringerne. Profilets placering er angivet med en turkis polylinie, indvindingsboringer med sorte krydser, blå for boringer og sorte prikker er SkyTEM sonderinger.



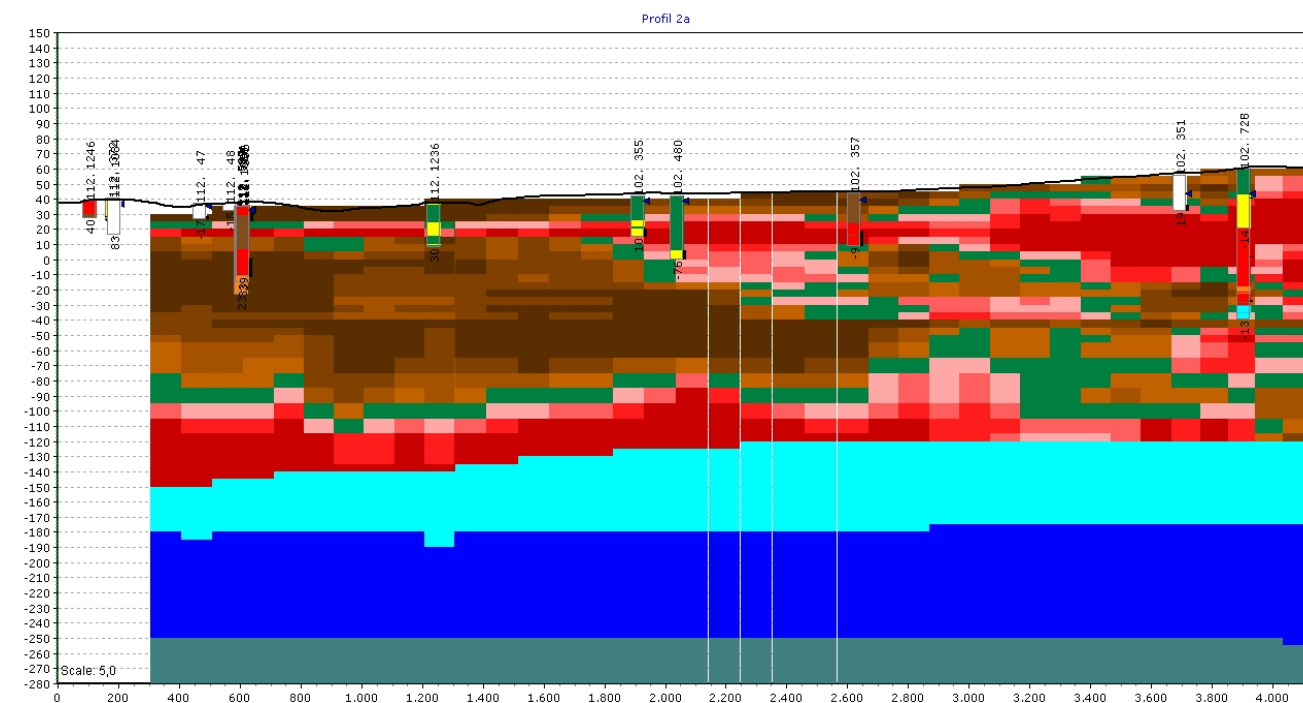
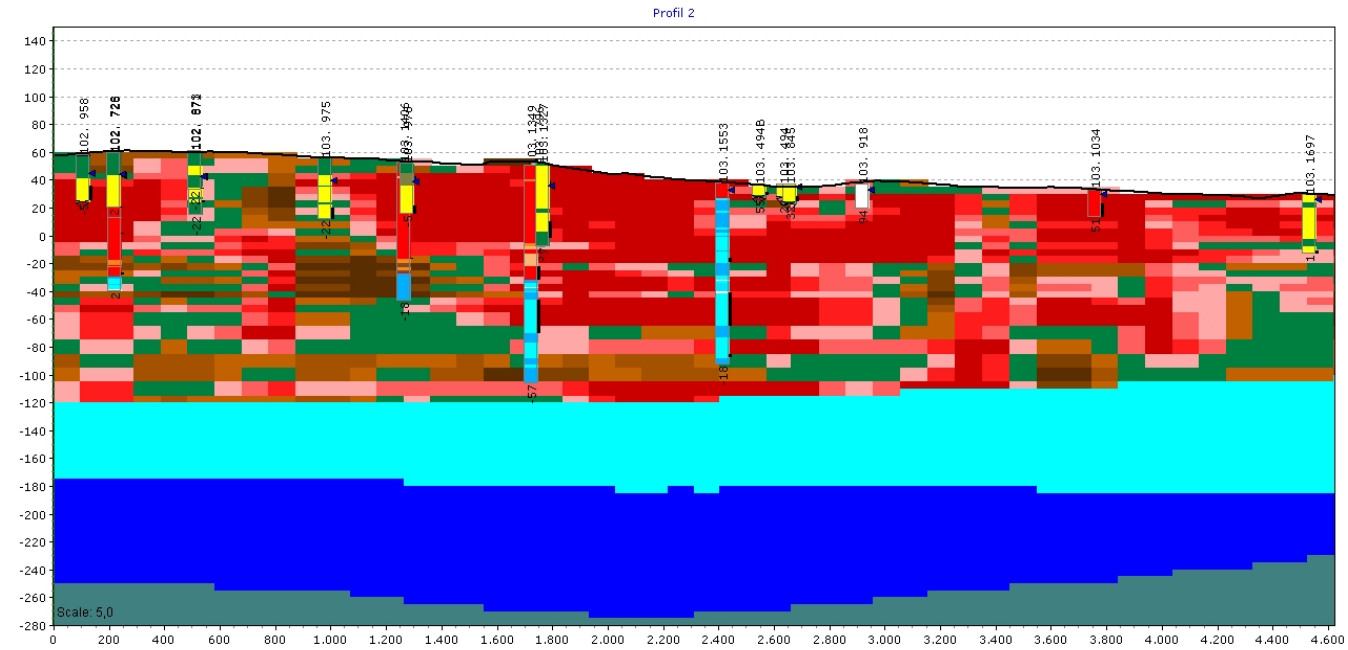
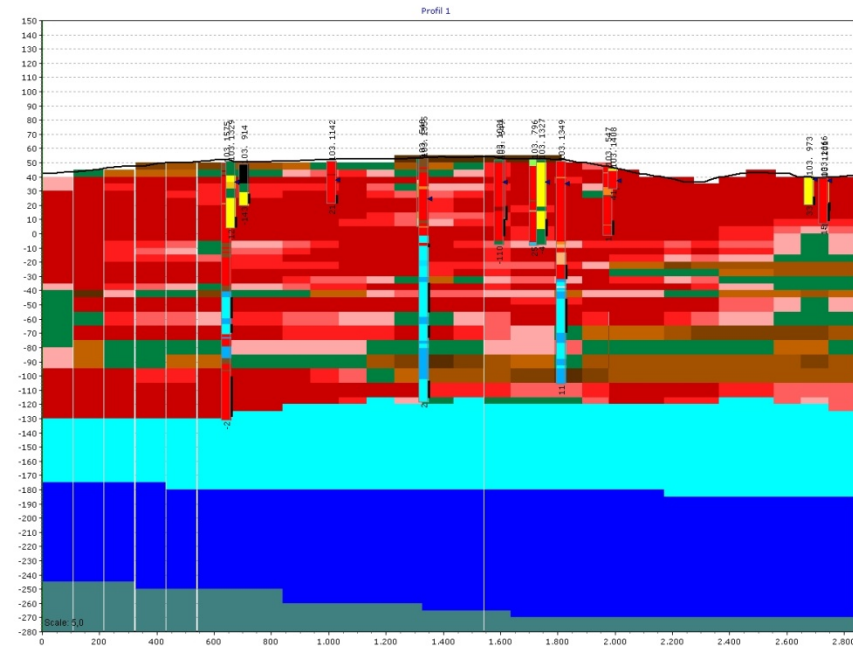
## **Bilag 3**

# Placering af fastholdte profilsnit i sand-ler modellen (det lithologiske grid)



Oversigtskort med placering af profiler til modelvisualisering. Alle boreringer vist med blå prikker, kvalitet 1-boreringer med røde prikker og vandværkers indvindingsboreringer med grønne prikker.

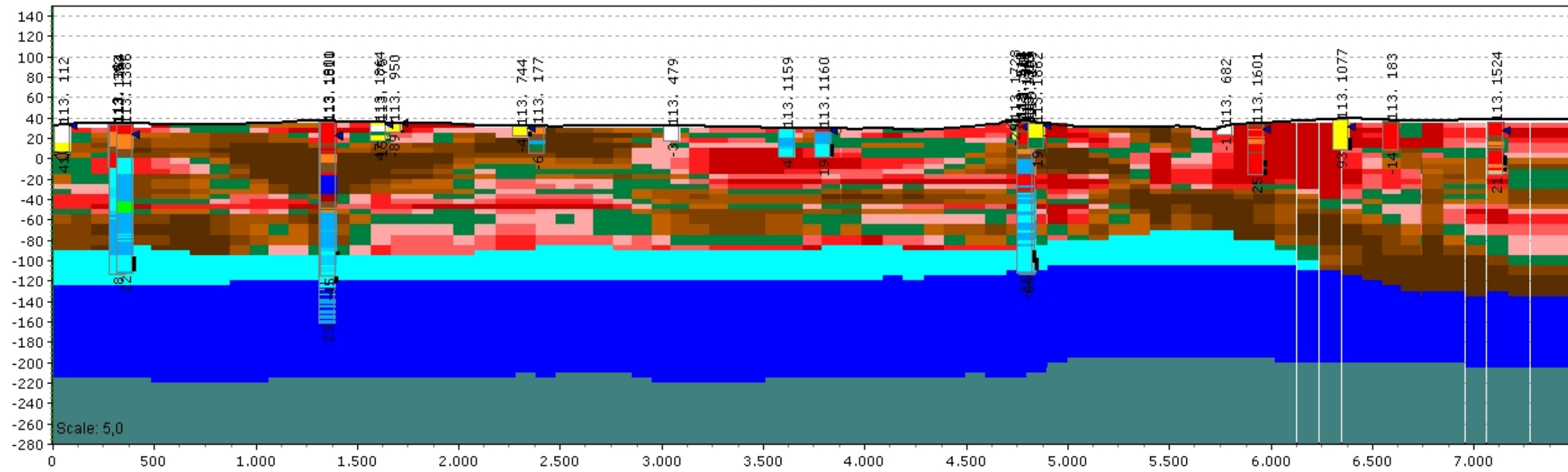
# Profiler i sand-ler modellen (det lithologiske grid)



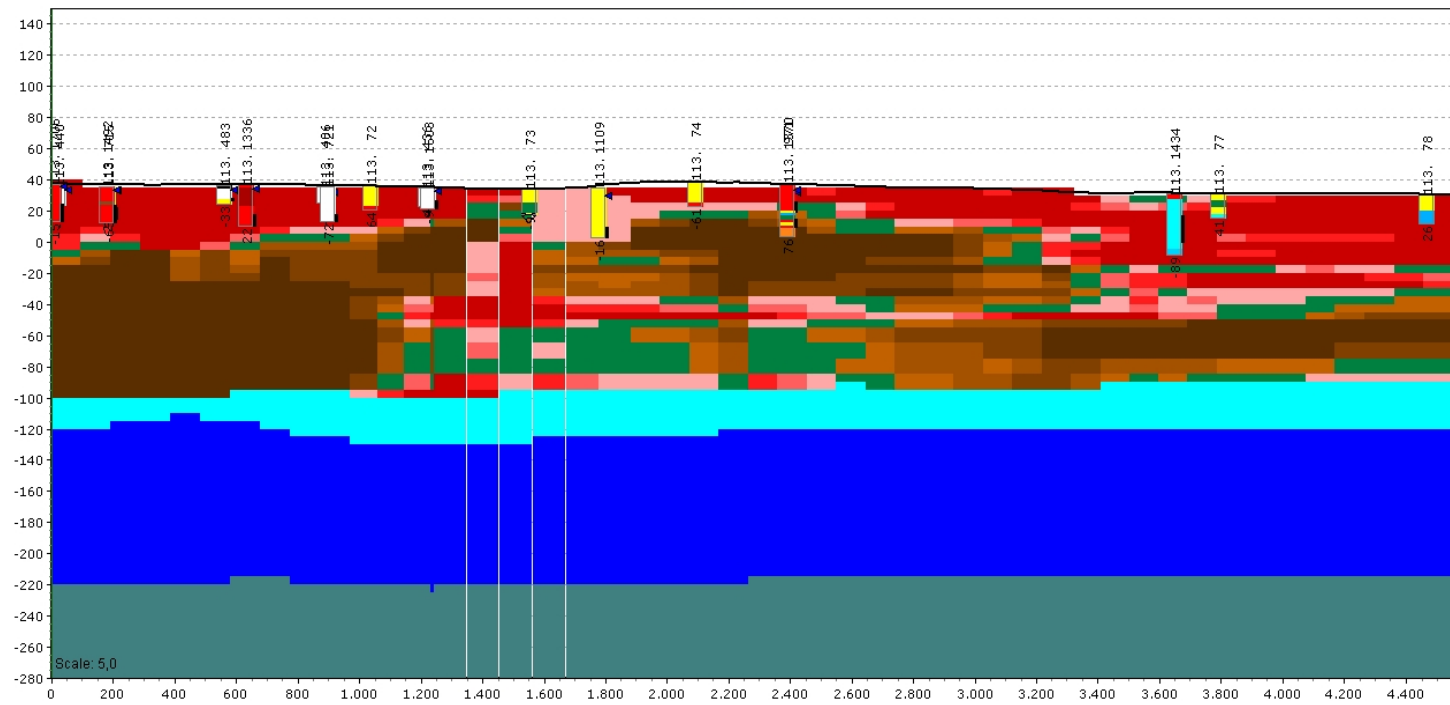
- 4\_B\_Brænd
  - 6\_C\_Kul, brunkul
  - 12\_D\_Diatom+af. (ikke postglaciale), diabas, basalt
  - 13\_DG\_Smeltevandsgrus
  - 14\_DI\_Smeltevandsilt
  - 16\_DL\_Smeltevandsler
  - 17\_DS\_Smeltevandsand
  - 18\_DV\_Vekslede små smeltevandslag
  - 23\_ES\_Postglacial flyvesand
  - 29\_FP\_Postglacial ferskvandsgytje (inkl. diatom+gytje)
  - 30\_FS\_Postglacial ferskvandsand
  - 33\_G\_Grus, sand og grus
  - 34\_GC\_Oligocæn - miocæn - pliocæn brunkul
  - 35\_GL\_Oligocæn - miocæn - pliocæn glimmersilt, silt i Vejleford formationen
  - 37\_GL\_Oligocæn - miocæn - pliocæn glimmerler, ler i Vejleford formationen
  - 38\_GP\_Oligocæn - miocæn - pliocæn omløjet brunkul
  - 39\_GS\_Oligocæn - miocæn - pliocæn glimmersand, sand i Vejleford formationen
  - 40\_GV\_Oligocæn - miocæn - pliocæn vekslede små lag
  - 48\_I\_Silt
  - 53\_IP\_Interglacial ferskvandsgytje
  - 59\_K\_Kalk, kridt, kalksten
  - 60\_KG\_Miocæn kvartssand
  - 63\_KS\_Miocæn kvartssand
  - 64\_L\_Ler, mergel
  - 66\_LL\_Eocæn ler, Lillebælt ler, plastisk ler
  - 67\_M\_Muld
  - 68\_MG\_Morænegrus (gruset till)
  - 69\_MI\_Morænesilt (siltet till)
  - 70\_ML\_Moræneler (leret till)
  - 71\_MS\_Morænesand (sandet till)
  - 72\_MV\_Vekslede små morænelag (till)
  - 77\_O\_Fyld
  - 83\_P\_Gytje
  - 91\_Q\_Sandsten
  - 99\_S\_Sand
  - 101\_SL\_Eocæn Søvind Mergel
  - 102\_T\_Terv
  - 110\_U\_Ler, sand og grus
  - 112\_V\_Vekslede små lag
  - 122\_X\_Ukendt lag, oplysninger mangler
  - 128\_Z\_Flint, sten
- 
- 1\_KS\_1\_Kvartært sand 1 lerandel 0-10 %
  - 2\_KS\_2\_Kvartært sand 2 lerandel 10-20 %
  - 3\_KS\_3\_Kvartært sand 3 lerandel 20-30 %
  - 4\_KS\_4\_Kvartært sand 4 lerandel 30-40 %
  - 5\_KSL\_1\_Kvartært sand/ler 5 lerandel 40-50 %
  - 6\_KSL\_2\_Kvartært ler/sand 5 lerandel 50-60 %
  - 7\_KL\_1\_Kvartært ler 4 lerandel 60-70 %
  - 8\_KL\_2\_Kvartært ler 3 lerandel 70-80 %
  - 9\_KL\_3\_Kvartært ler 2 lerandel 80-90 %
  - 10\_KL\_4\_Kvartært ler 1 lerandel 90-100 %
  - 12\_PK\_S\_Miocænt glimmersand
  - 13\_PK\_L\_Miocænt glimmerler
  - 14\_PAL\_Palæogent ler



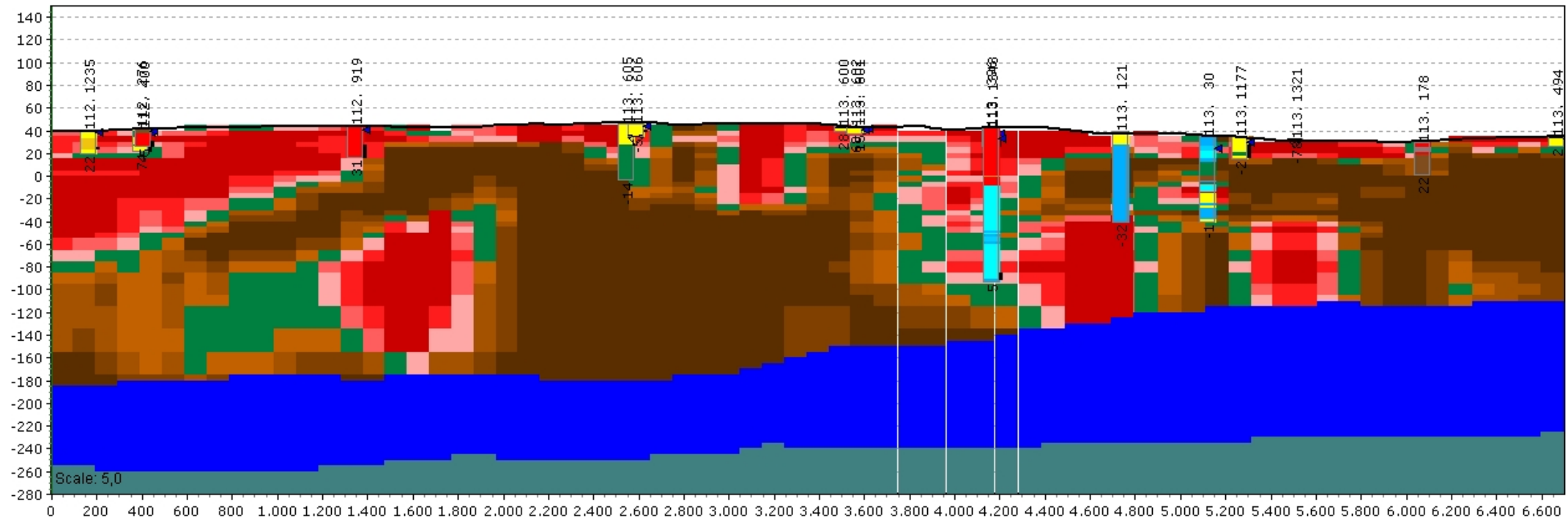
Profil 3



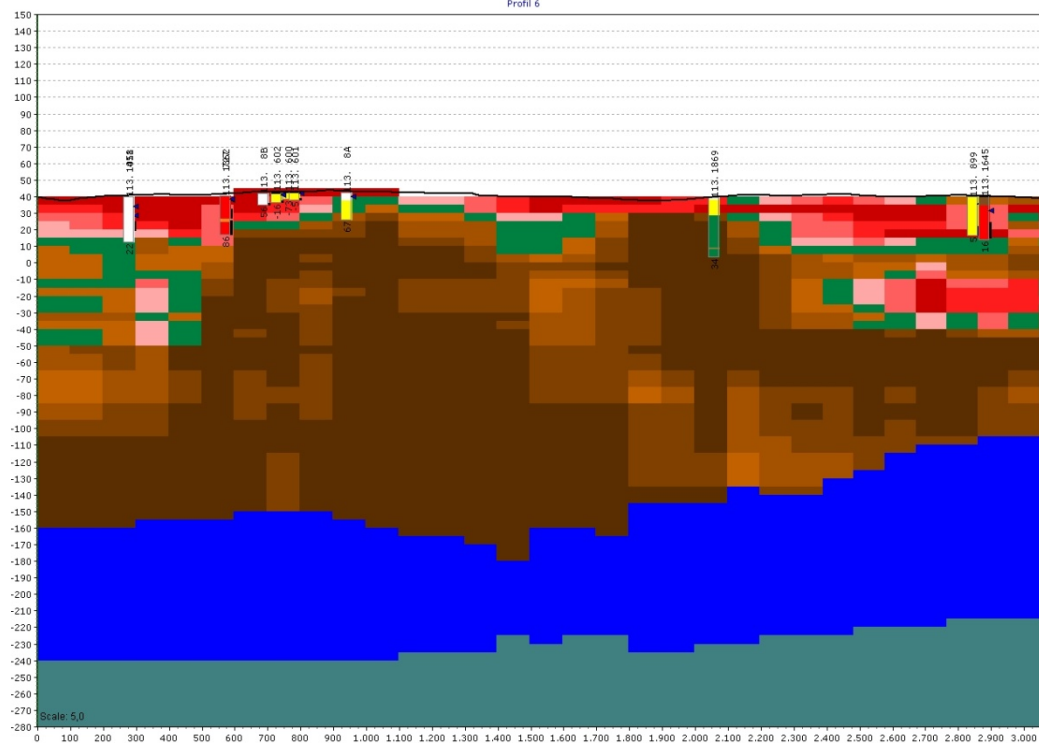
Profil 4

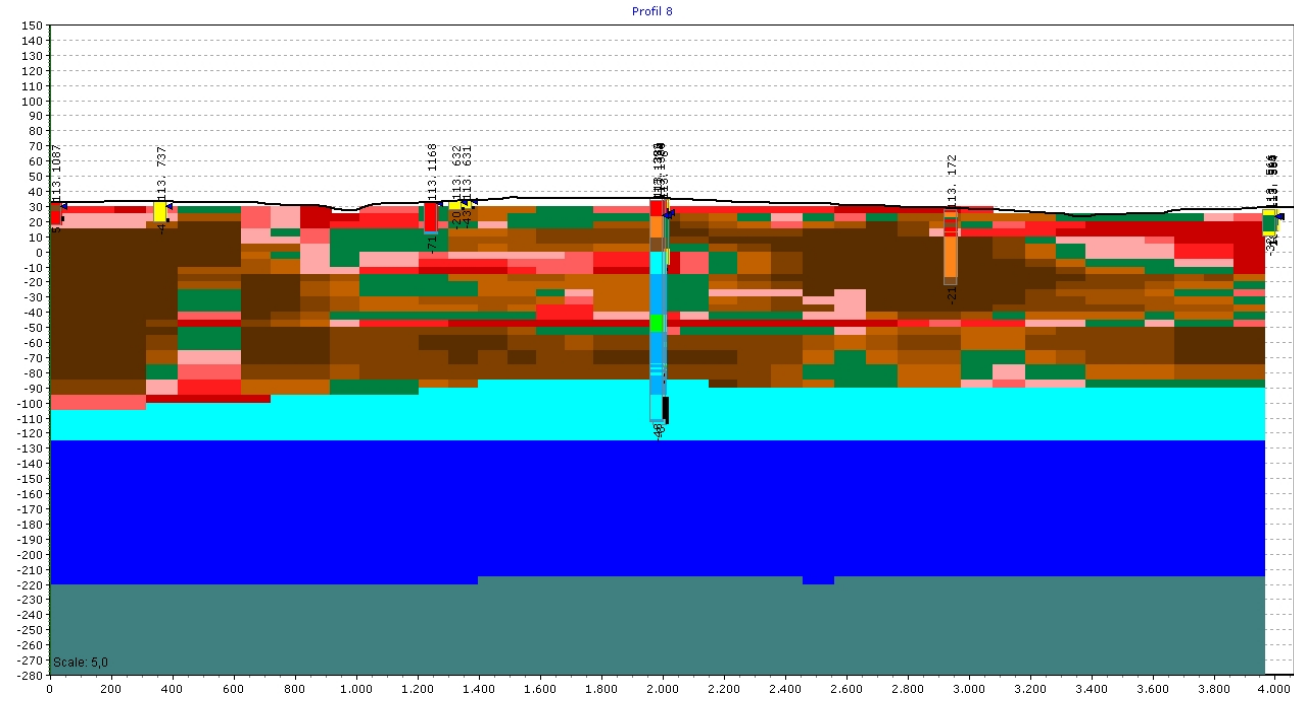
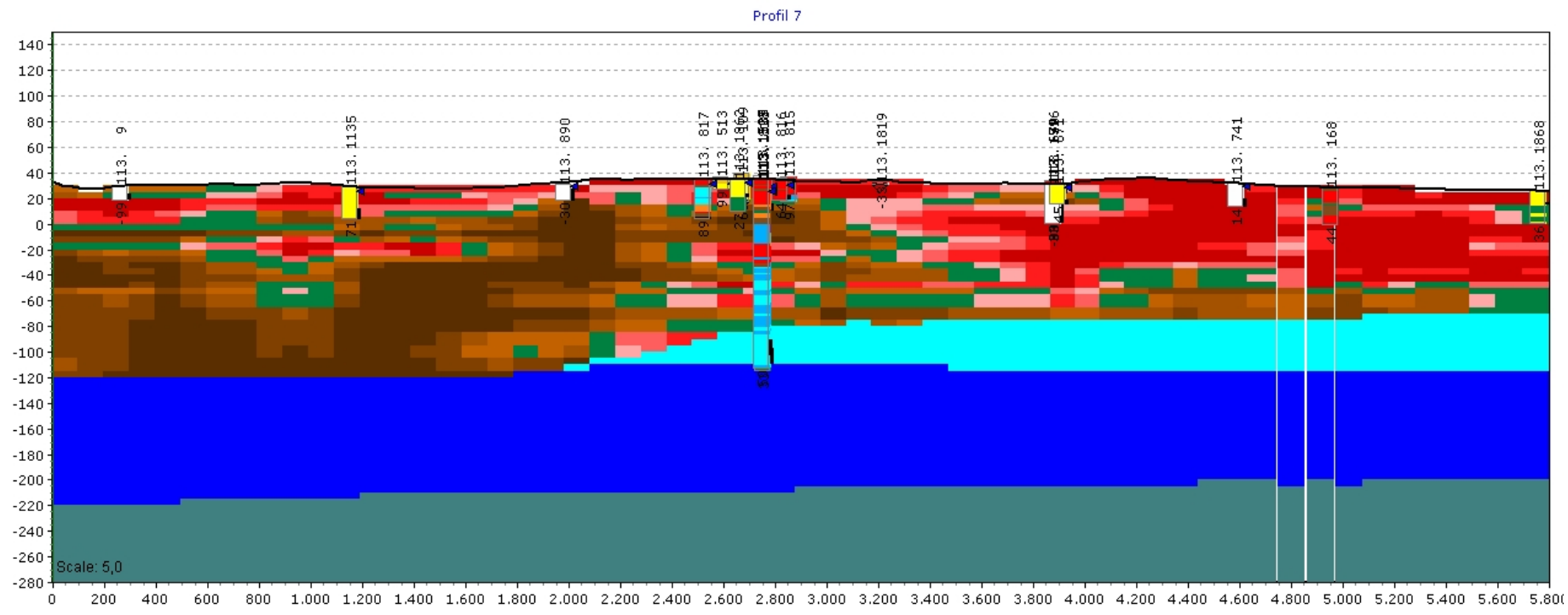


Profil 5

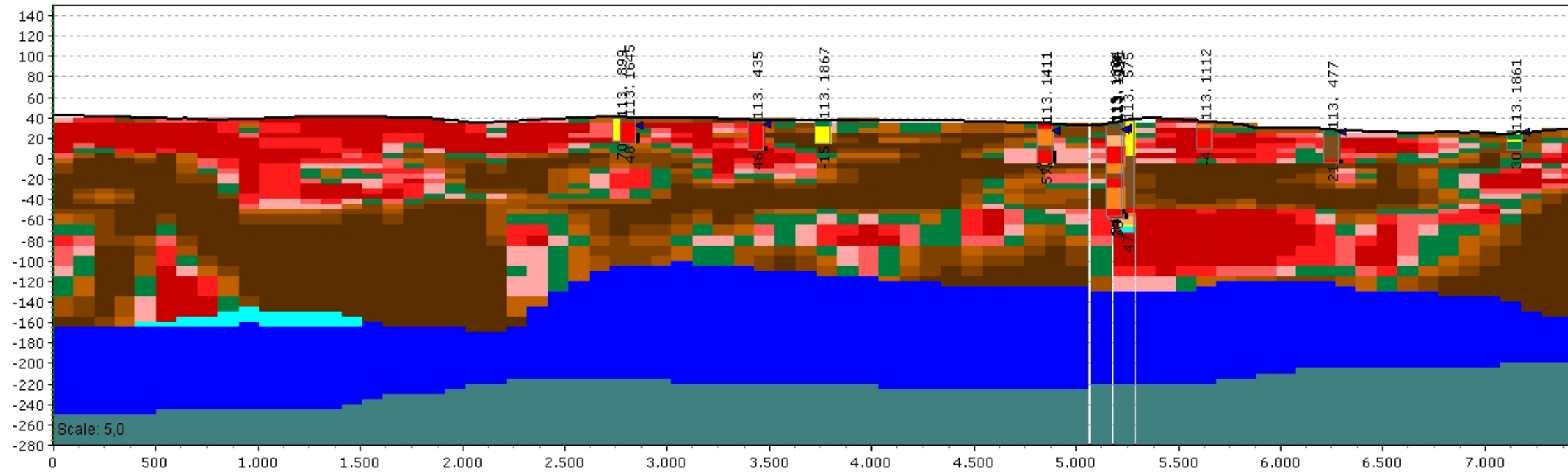


Profil 6

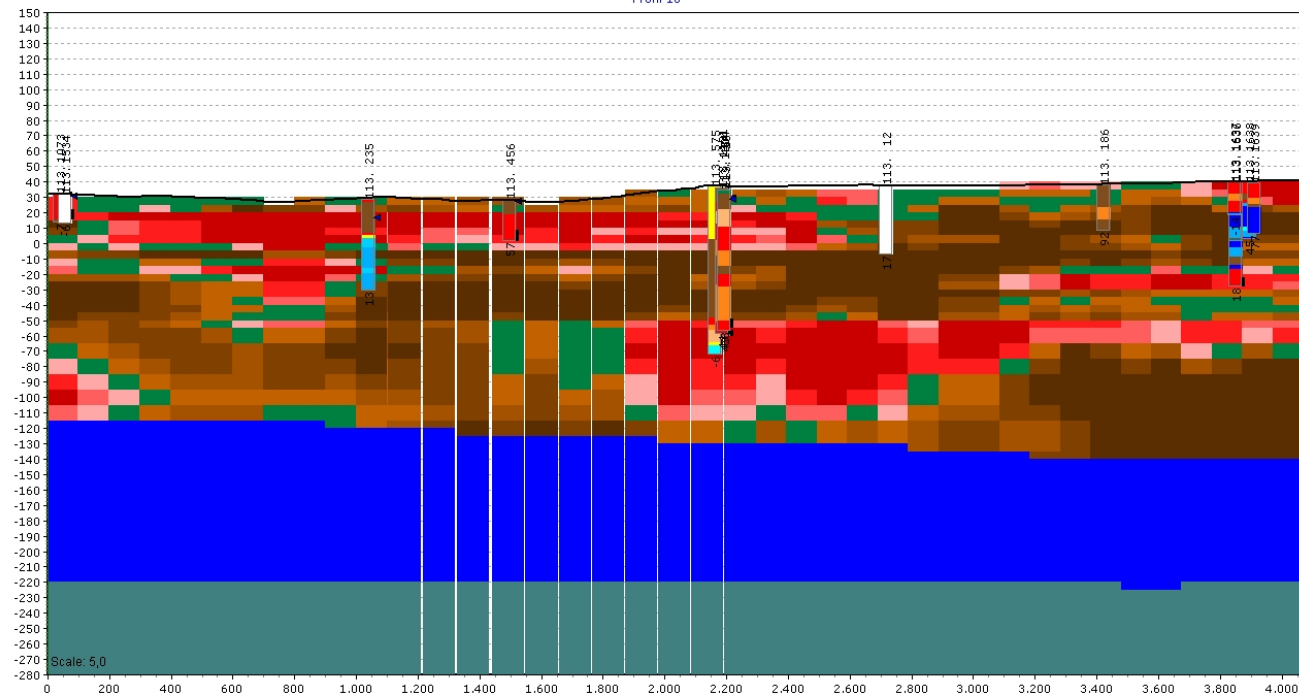




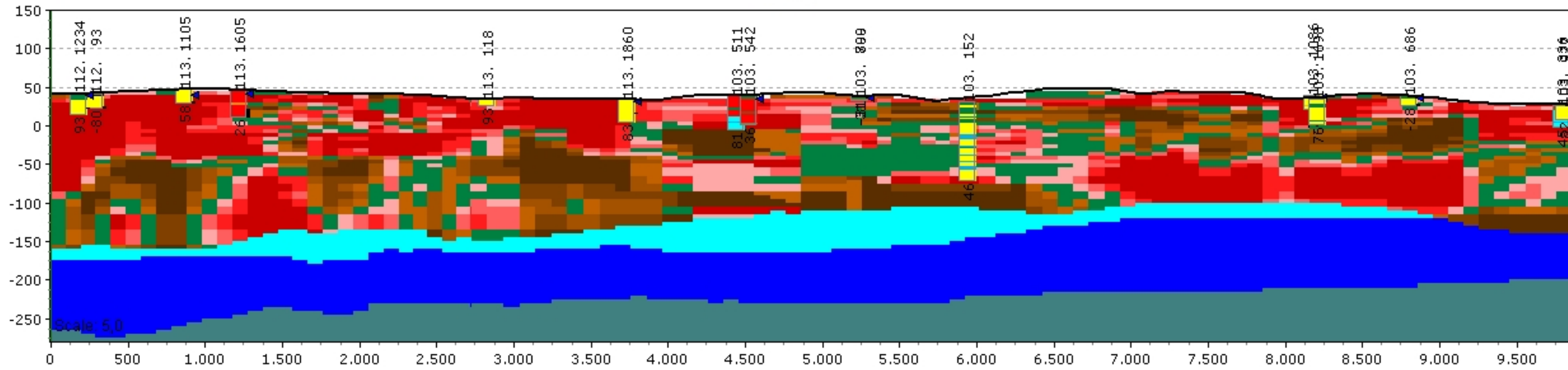
Profil 9



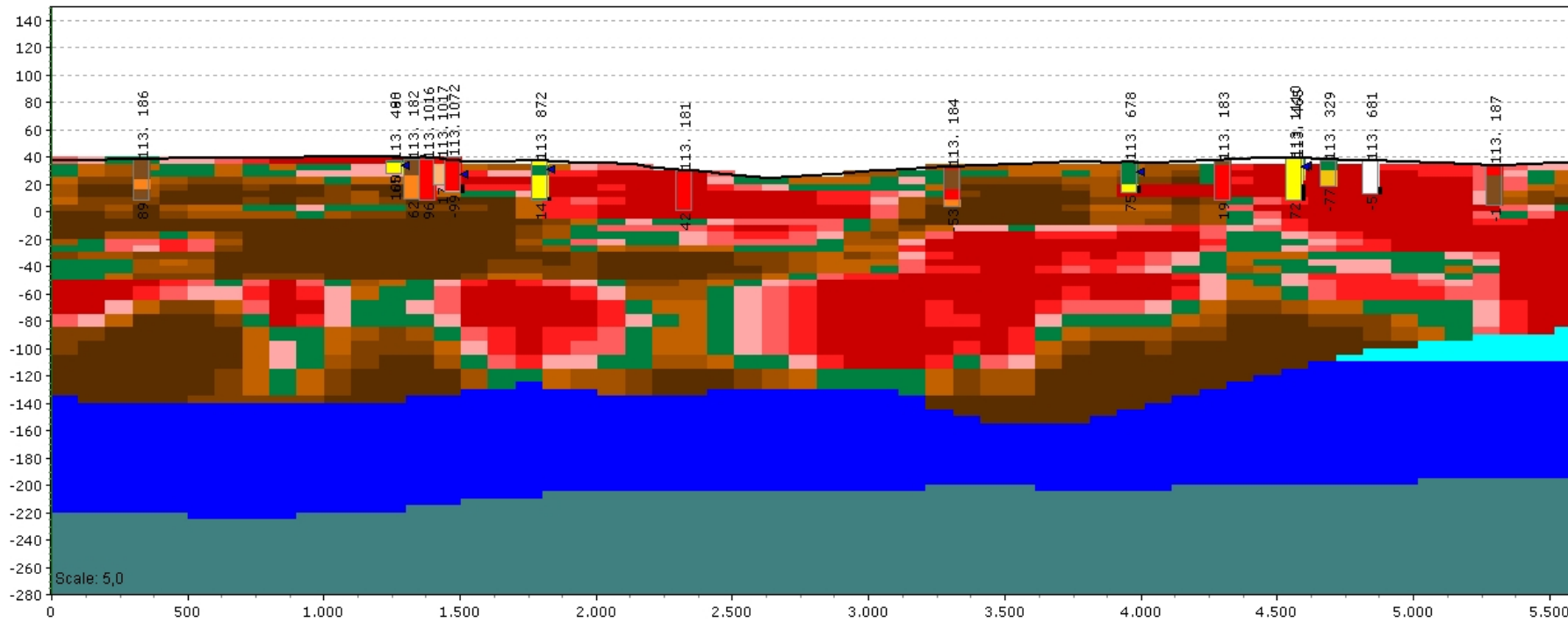
Profil 10



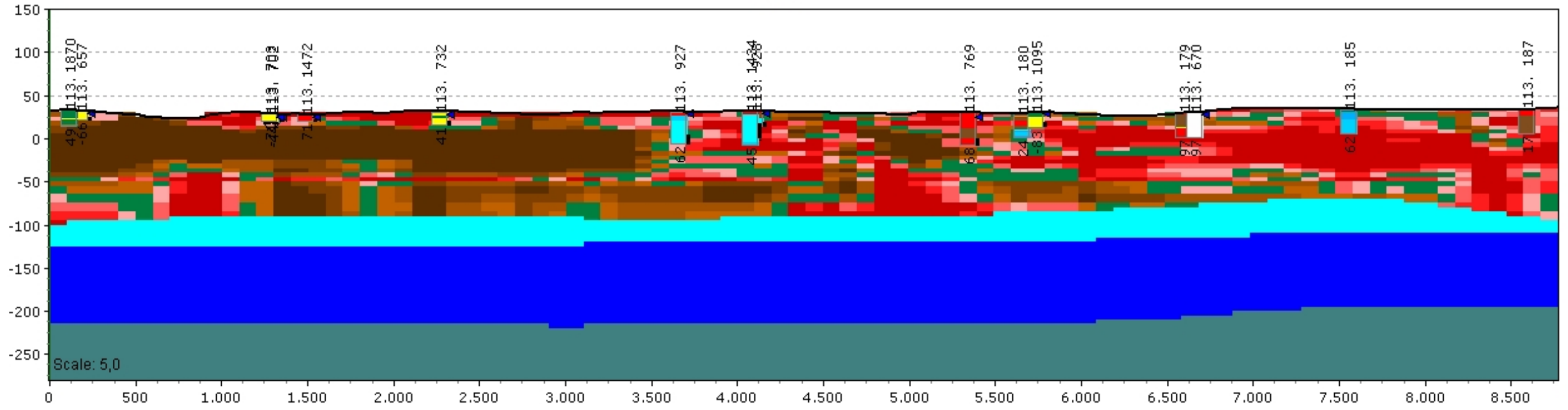
Profil 11



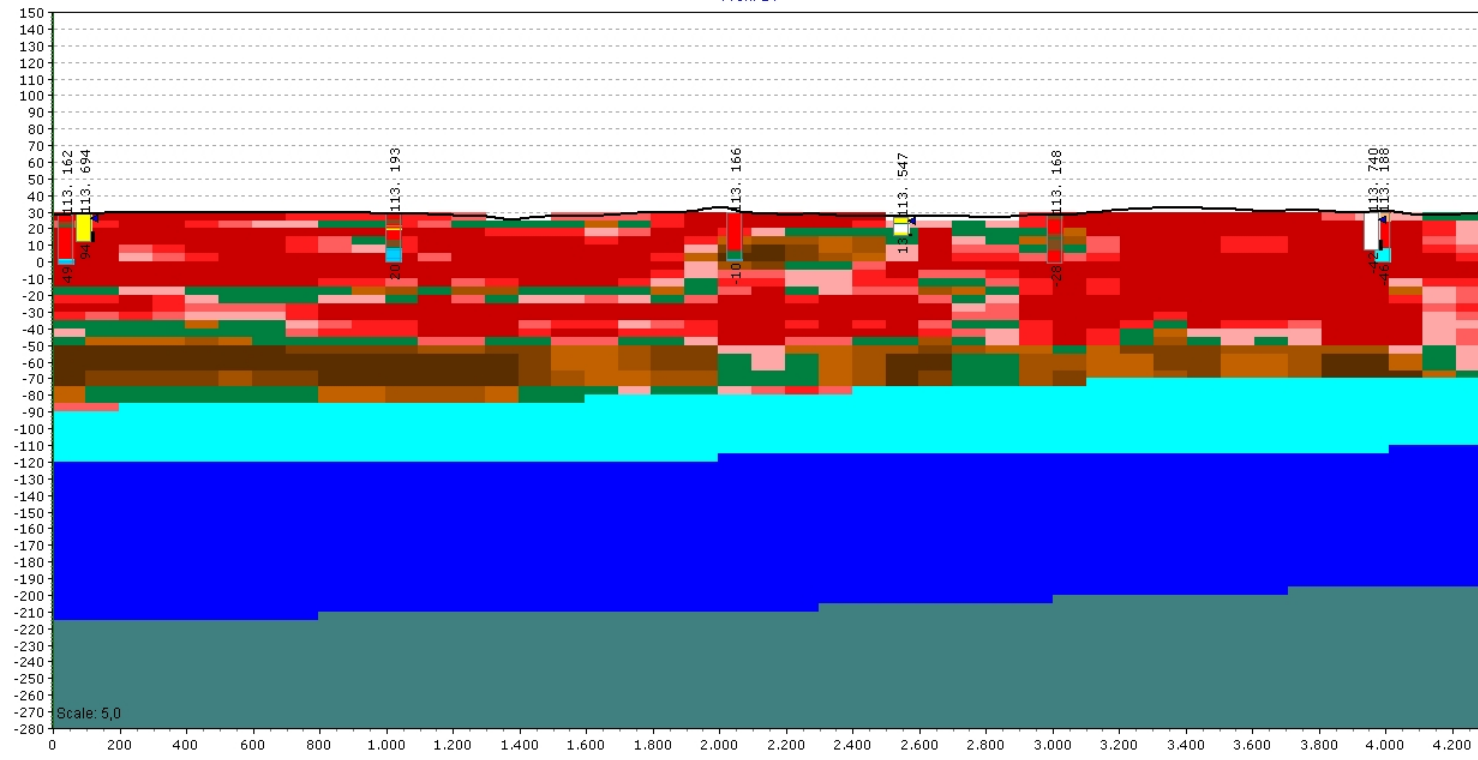
Profil 12

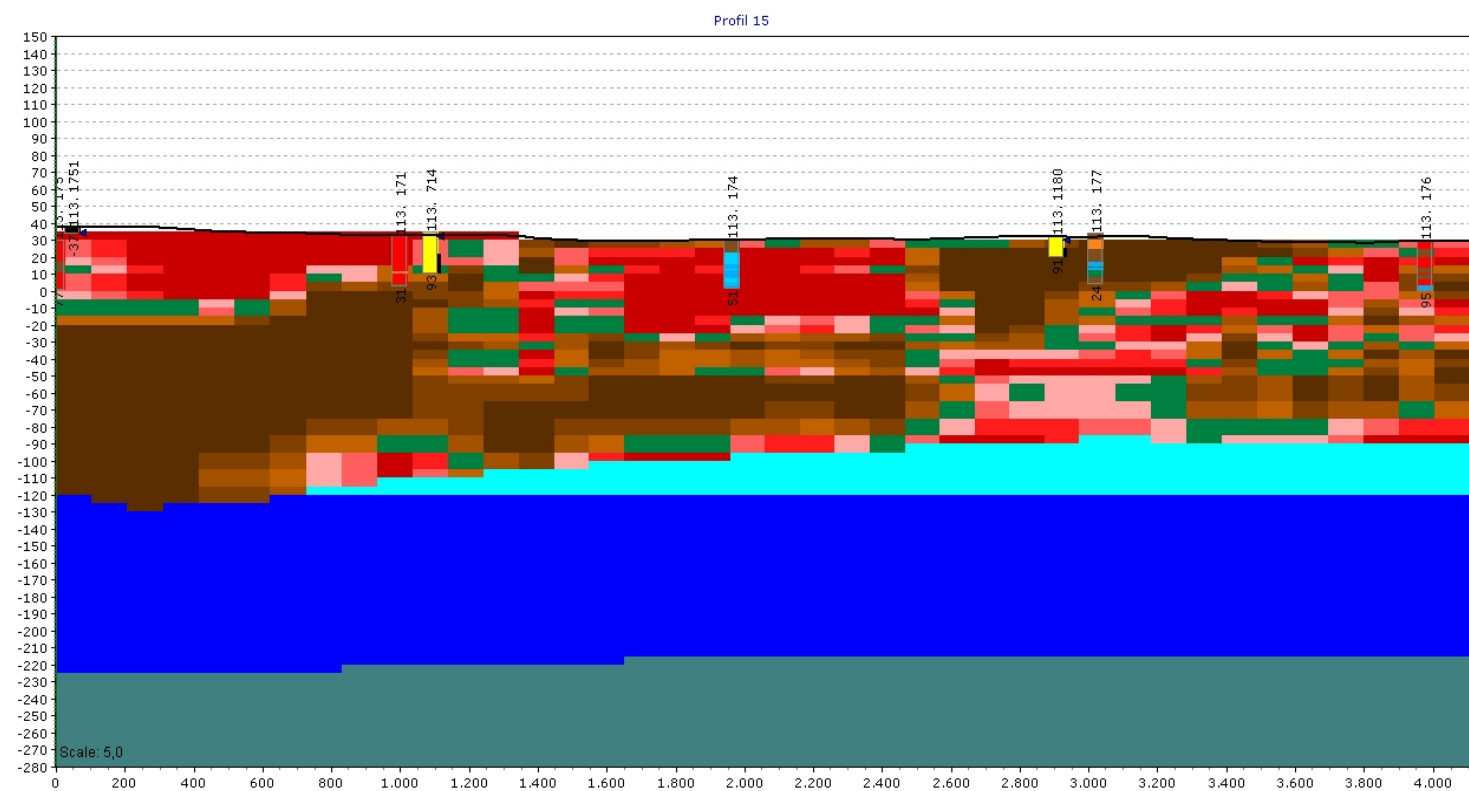


Profil 13



Profil 14

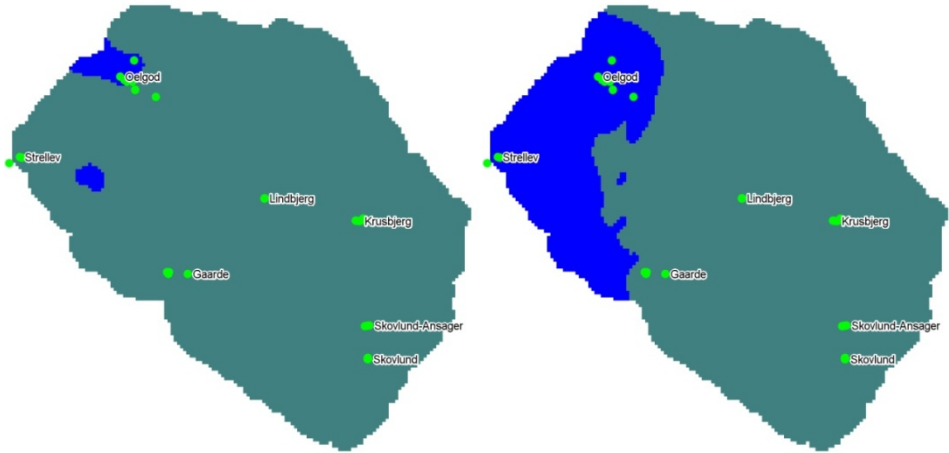




## **Bilag 4**

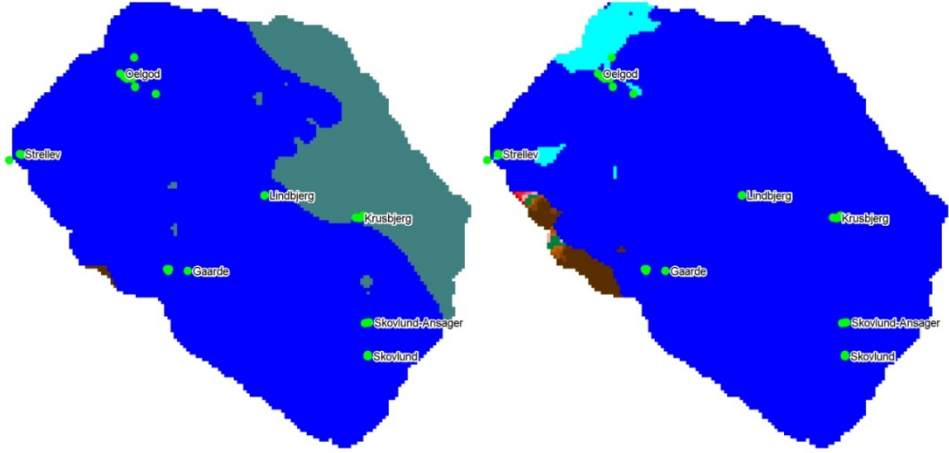


# Horisontale snit gennem modellen



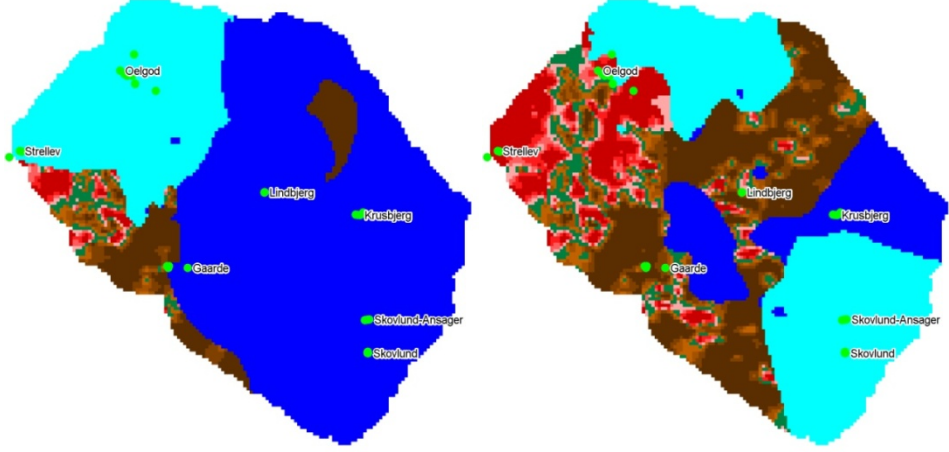
Kote -267,5 m

Kote -242,5 m



Kote -212,5 m

Kote -182,5 m

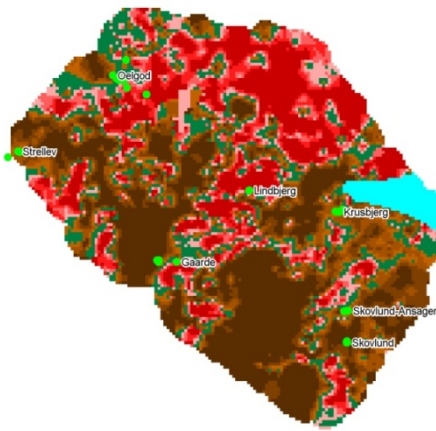


Kote -152,5 m

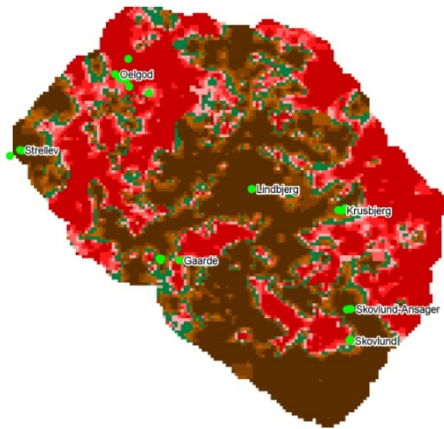
Kote -117,5 m



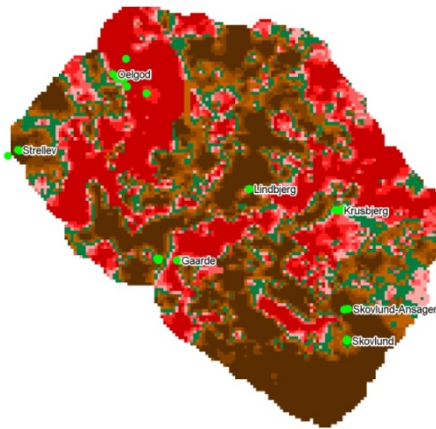
Kote -102,5 m



Kote -72,5 m



Kote -17,5 m



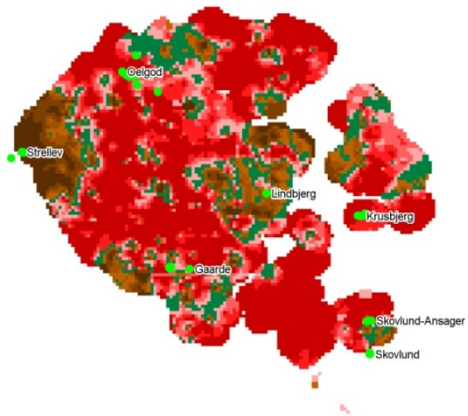
Kote -7,5 m



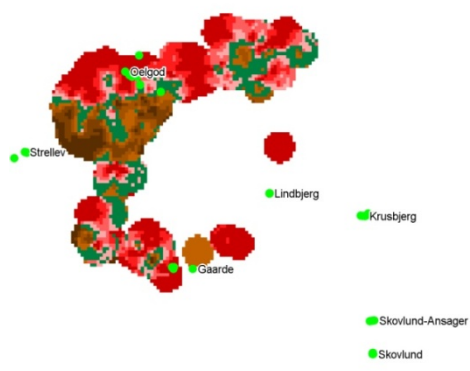
Kote 7,5 m



Kote 22,5 m

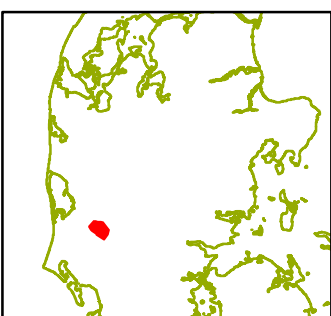
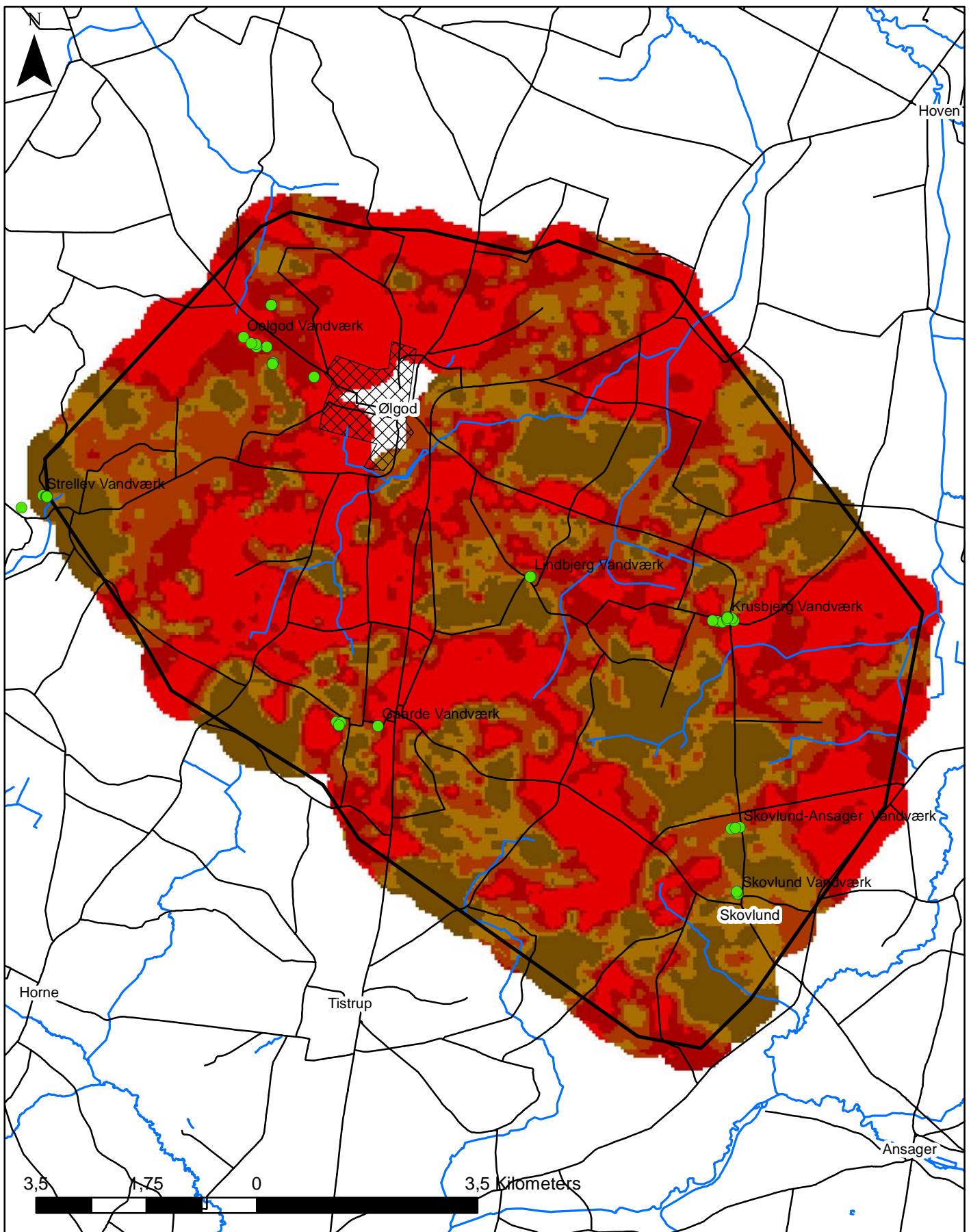


Kote 32,5 m



Kote 42,5 m

## **Bilag 5**

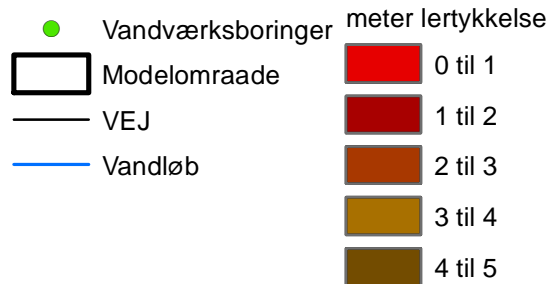
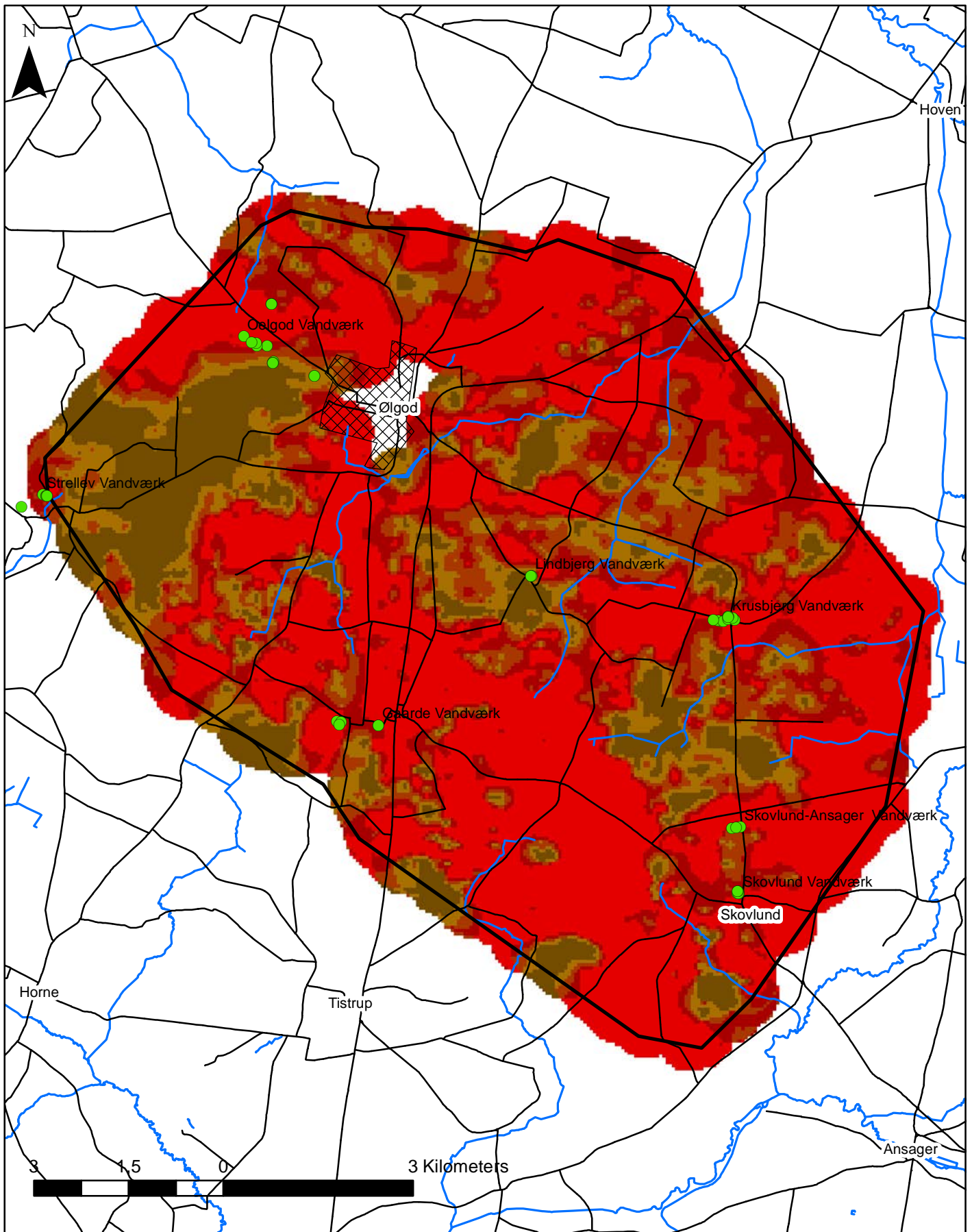


- Vandværksboringer
  - Modelområde
  - VEJ
  - Vandløb
- | meter lertykkelse |           |
|-------------------|-----------|
|                   | 0 til 5   |
|                   | 5 til 10  |
|                   | 10 til 15 |
|                   | 15 til 20 |
|                   | 20 til 30 |

**SSV-lertykkelse, mellem 0 og 30 meters dybde**

InterpolationType: 2D Kriging  
 SourceObjectName:  
 Lertykk\_0\_30.asc  
 Cellestørrelse 50 meter  
 Search Radius X: 500,00  
 Search Radius Y: 500,00

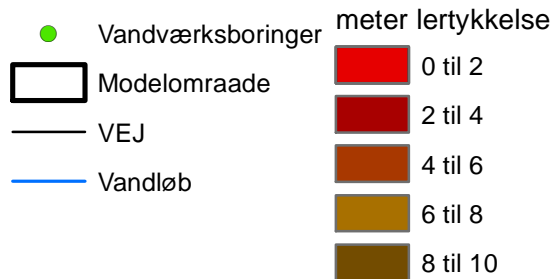
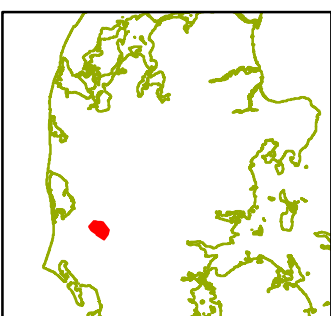
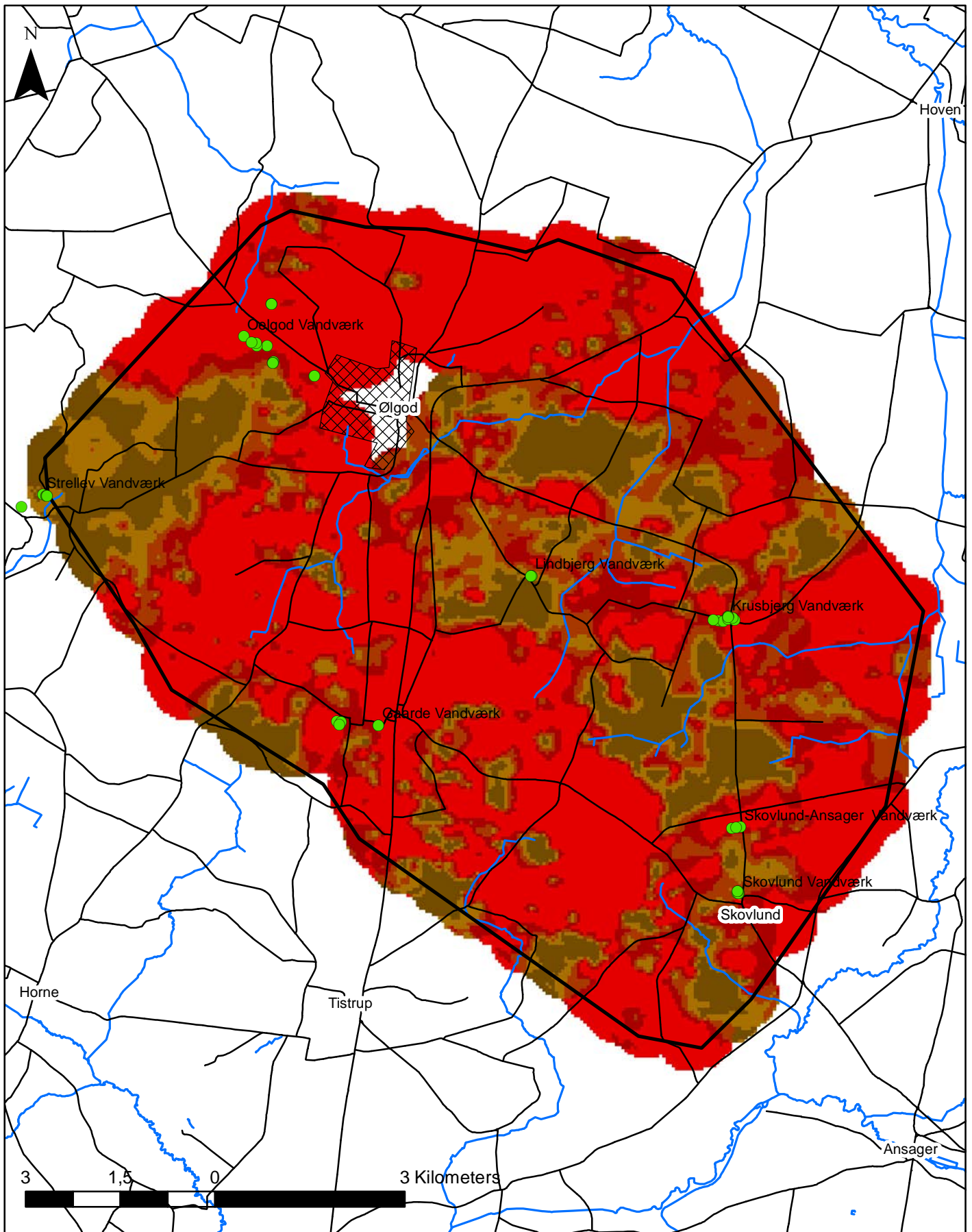




**SSV-lertykkelse mellem 0 og 5 meters dybde**

InterpolationType: 2D Kriging  
 SourceObjectName: Lertykk\_00\_05.asc  
 Cellestørrelse 50 meter  
 Search Radius X: 500,00  
 Search Radius Y: 500,00



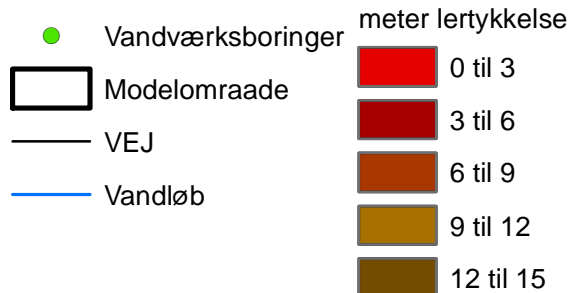
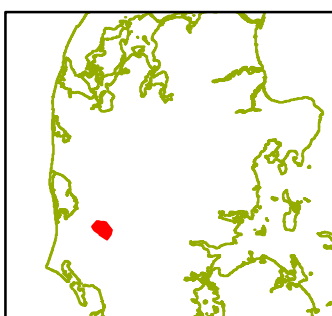
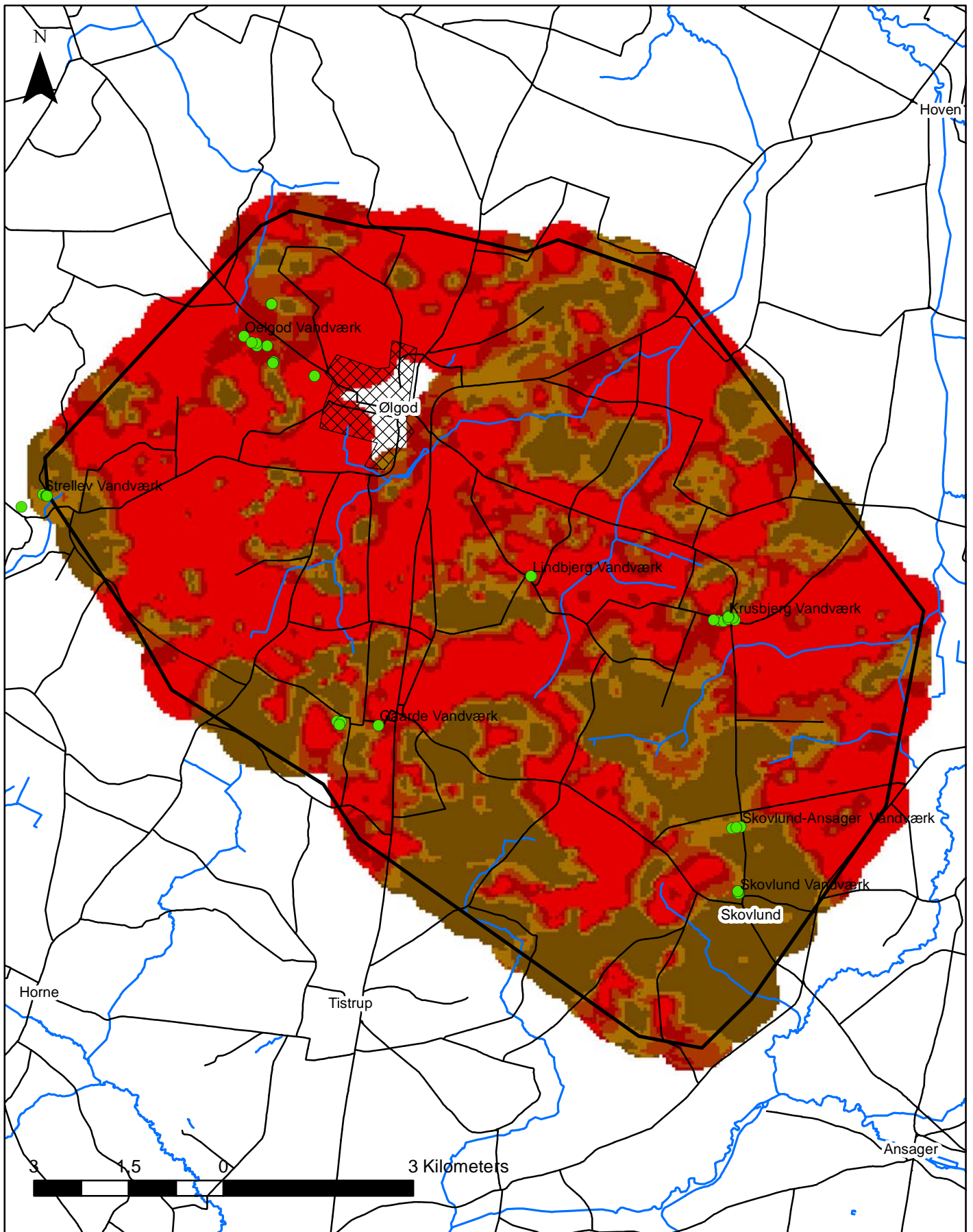


**SSV-lertykkelse, mellem 5 og 15 meters dybde**

InterpolationType: 2D Kriging  
 SourceObjectName:  
 Lertykk\_05\_15.asc  
 Cellestørrelse 50 meter  
 Search Radius X: 500,00  
 Search Radius Y: 500,00



**GEUS**



**SSV-lertykkelse, mellem 15 og 30 meters dybde**

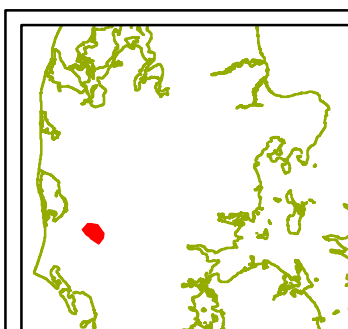
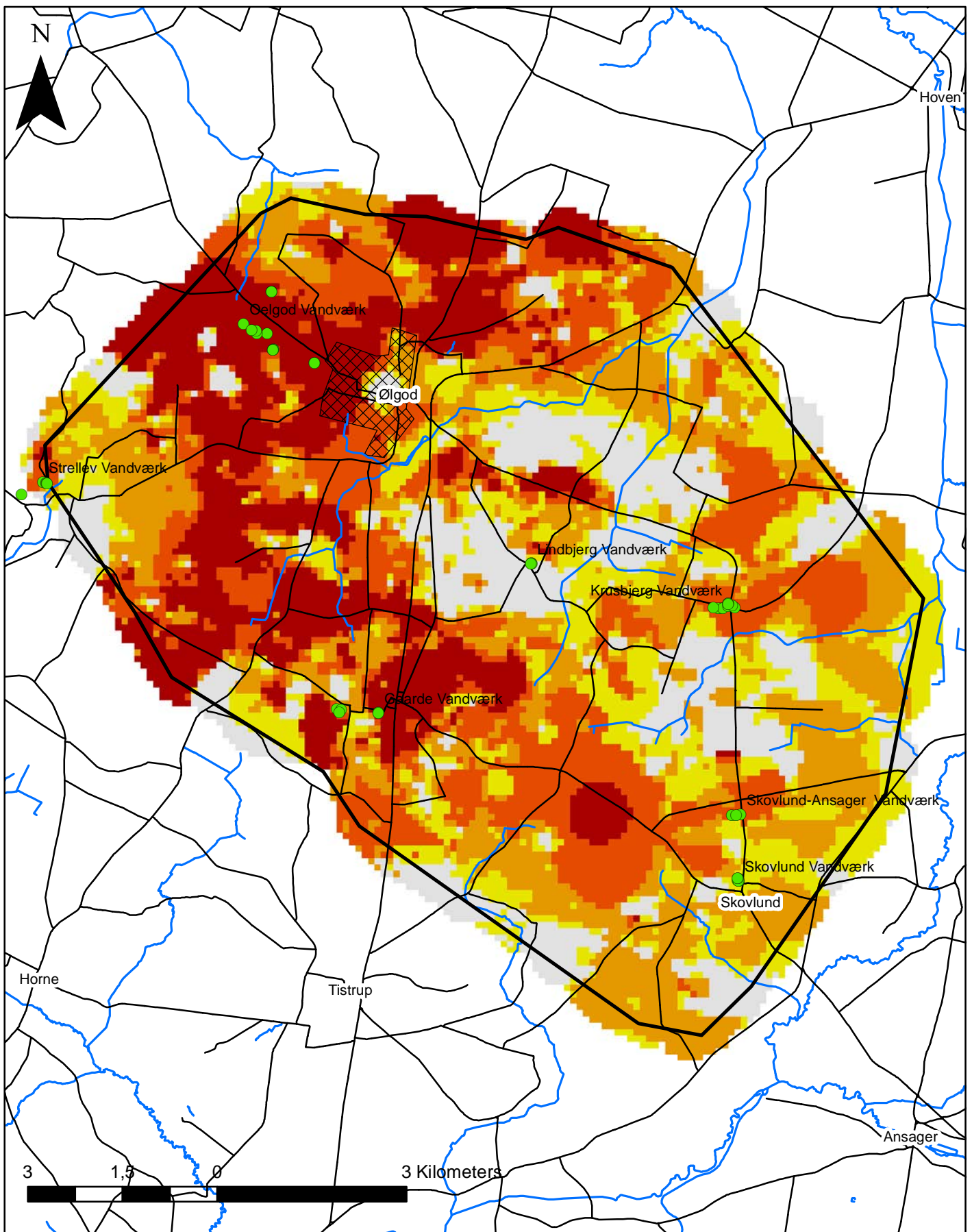
InterpolationType: 2D Kriging  
 SourceObjectName: Lertykk\_15\_30.asc  
 Cellestørrelse 50 meter  
 Search Radius X: 500,00  
 Search Radius Y: 500,00







## **Bilag 6**



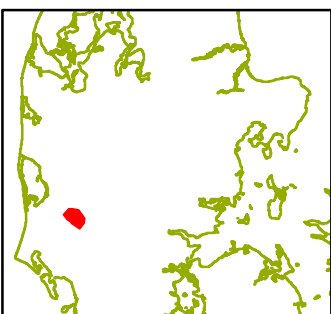
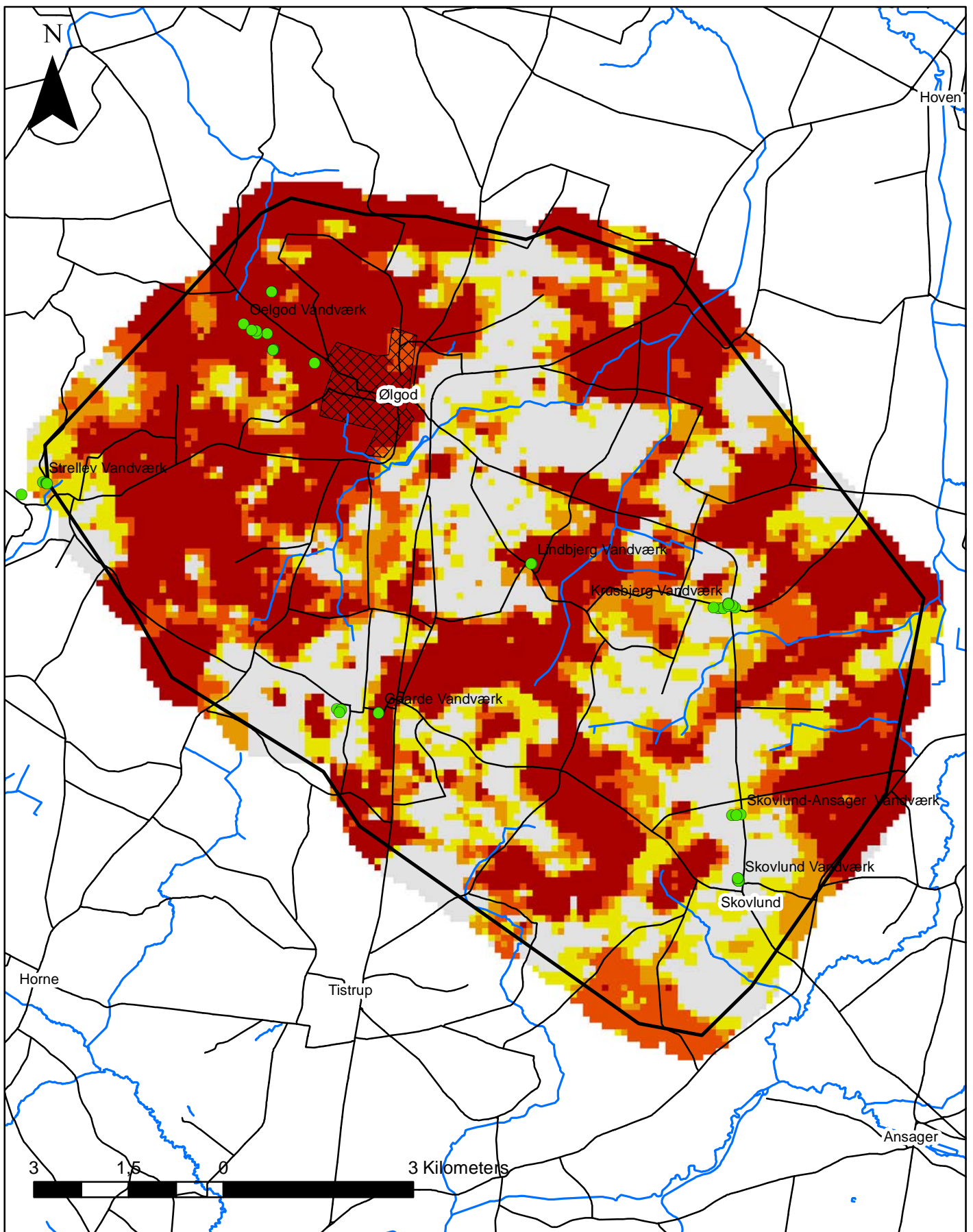
- Vandværksboringer
  - Modelområde
  - VEJ
  - Vandløb
- | meter magasintykkelse |    |
|-----------------------|----|
|                       | 0  |
|                       | 5  |
|                       | 10 |
|                       | 15 |
|                       | 20 |

### Magasintykkelse mellem kote 20 og 40 meter

Magasintykkelsen er beregnet ud fra den geologiske model (lithologisk grid)

Vist med en cellestørrelse XY på 100 meter





- Vandværksboringer
  - Modelområde
  - VEJ
  - Vandløb
- | meter magasintykkelse |    |
|-----------------------|----|
|                       | 0  |
|                       | 5  |
|                       | 10 |
|                       | 15 |
|                       | 20 |

### Magasintykkelse mellem kote 0 og 20 meter

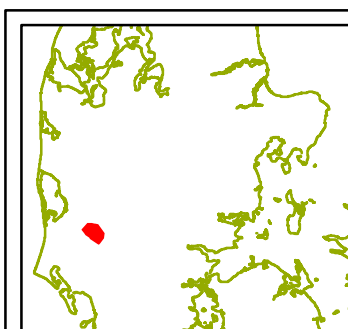
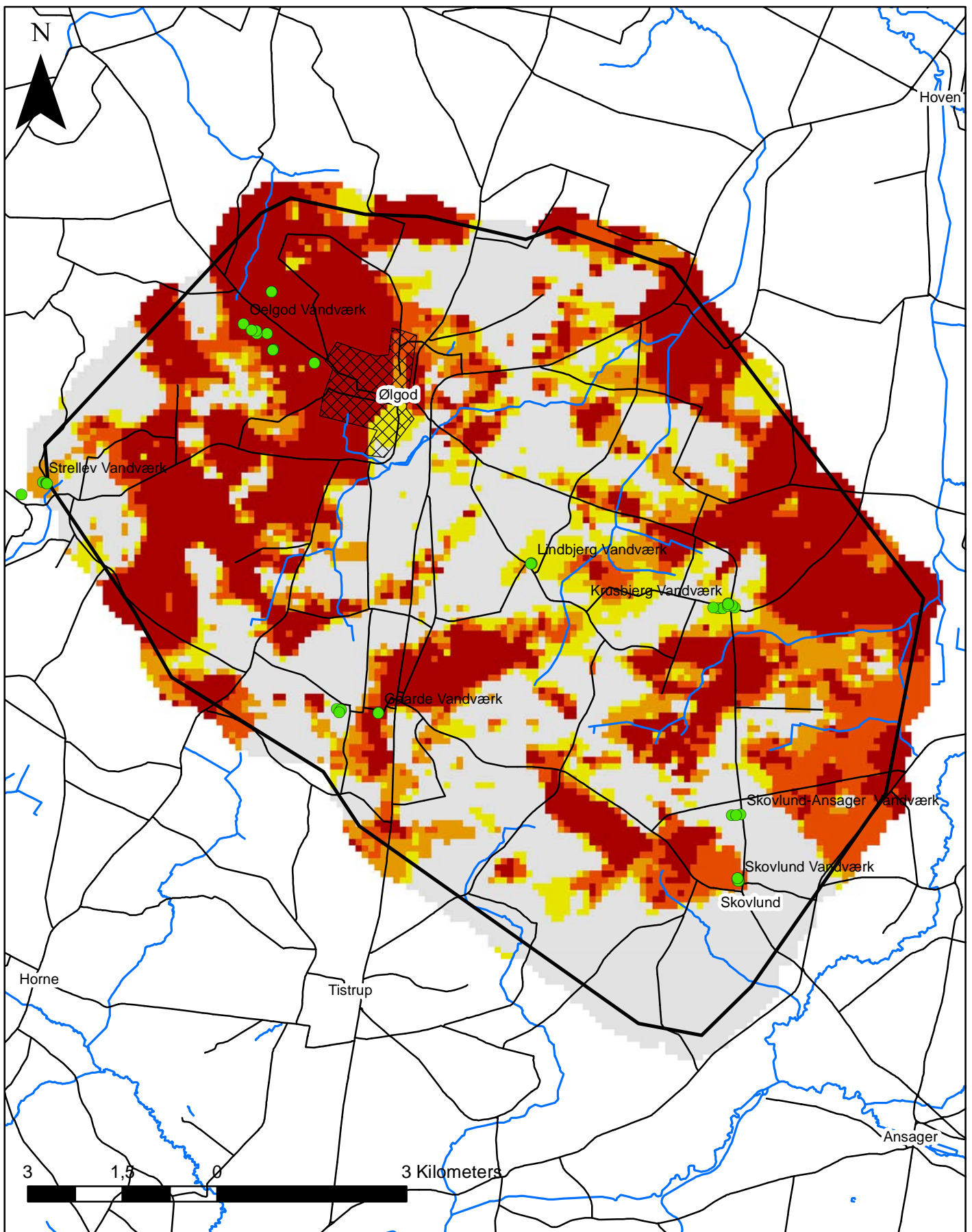
Magasintykkelse mellem kote 0 og 20 meter

Magasintykkelsen er beregnet ud fra den geologiske model (lithologisk grid)

Vist med en cellestørrelse XY på 100 meter



GEUS

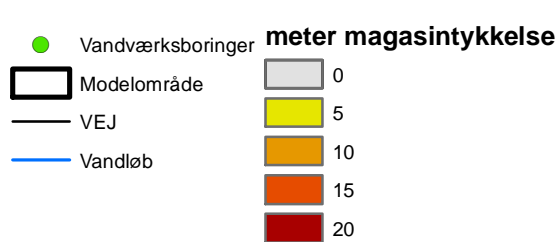
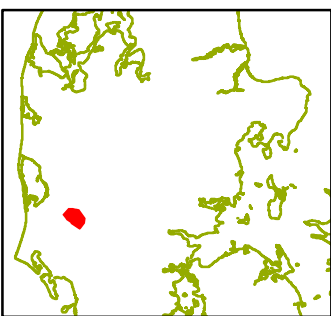
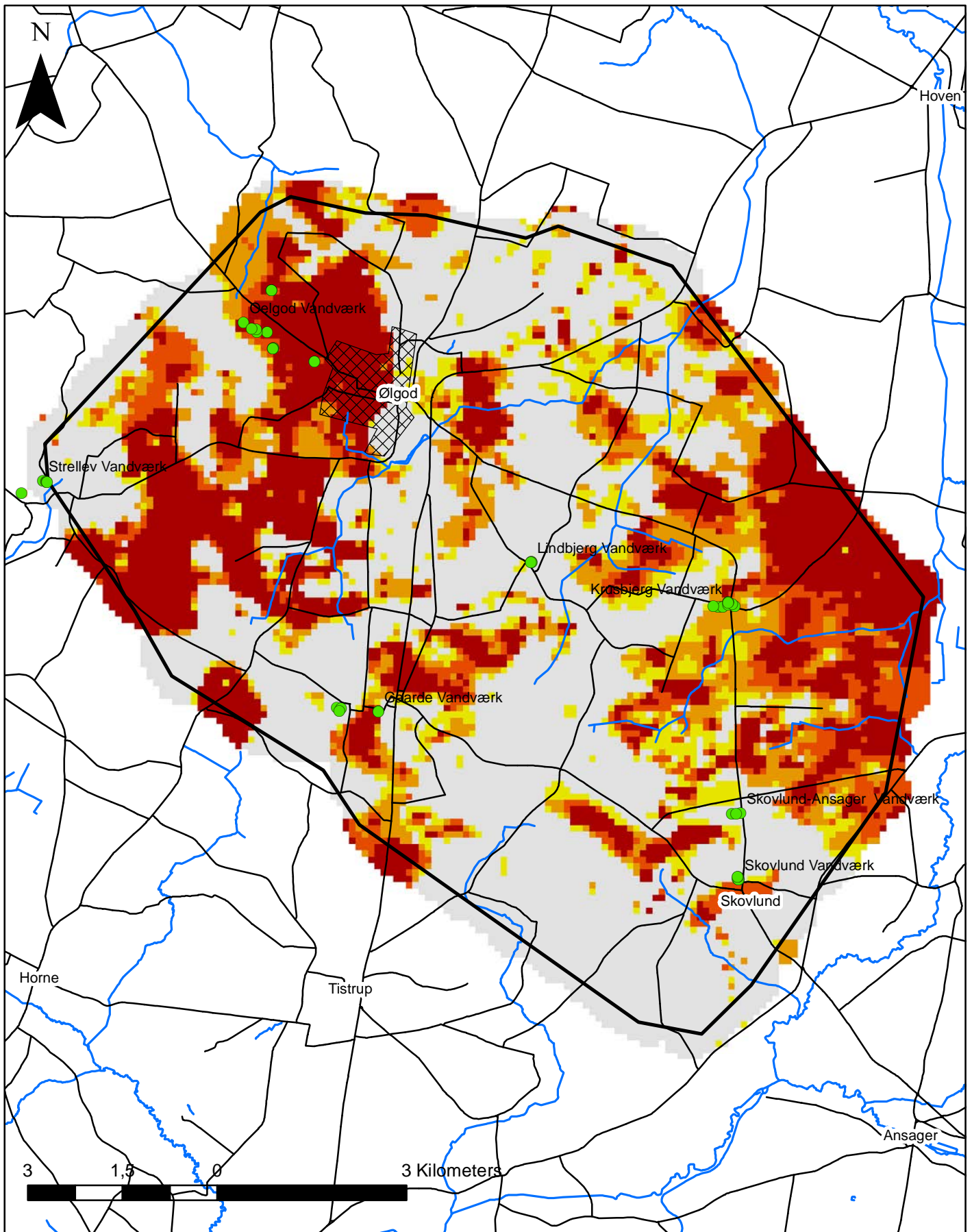


- Vandværksboringer
  - Modelområde
  - VEJ
  - Vandløb
- | meter magasintykkelse |    |
|-----------------------|----|
|                       | 0  |
|                       | 5  |
|                       | 10 |
|                       | 15 |
|                       | 20 |

### Magasintykkelse mellem kote -20 og 0 meter

Magasintykkelsen er beregnet ud fra den geologiske model (lithologisk grid)

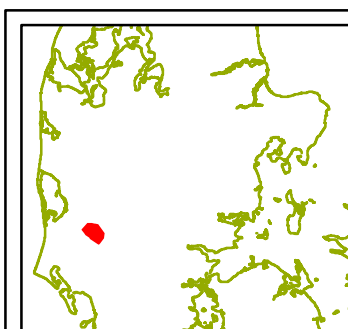
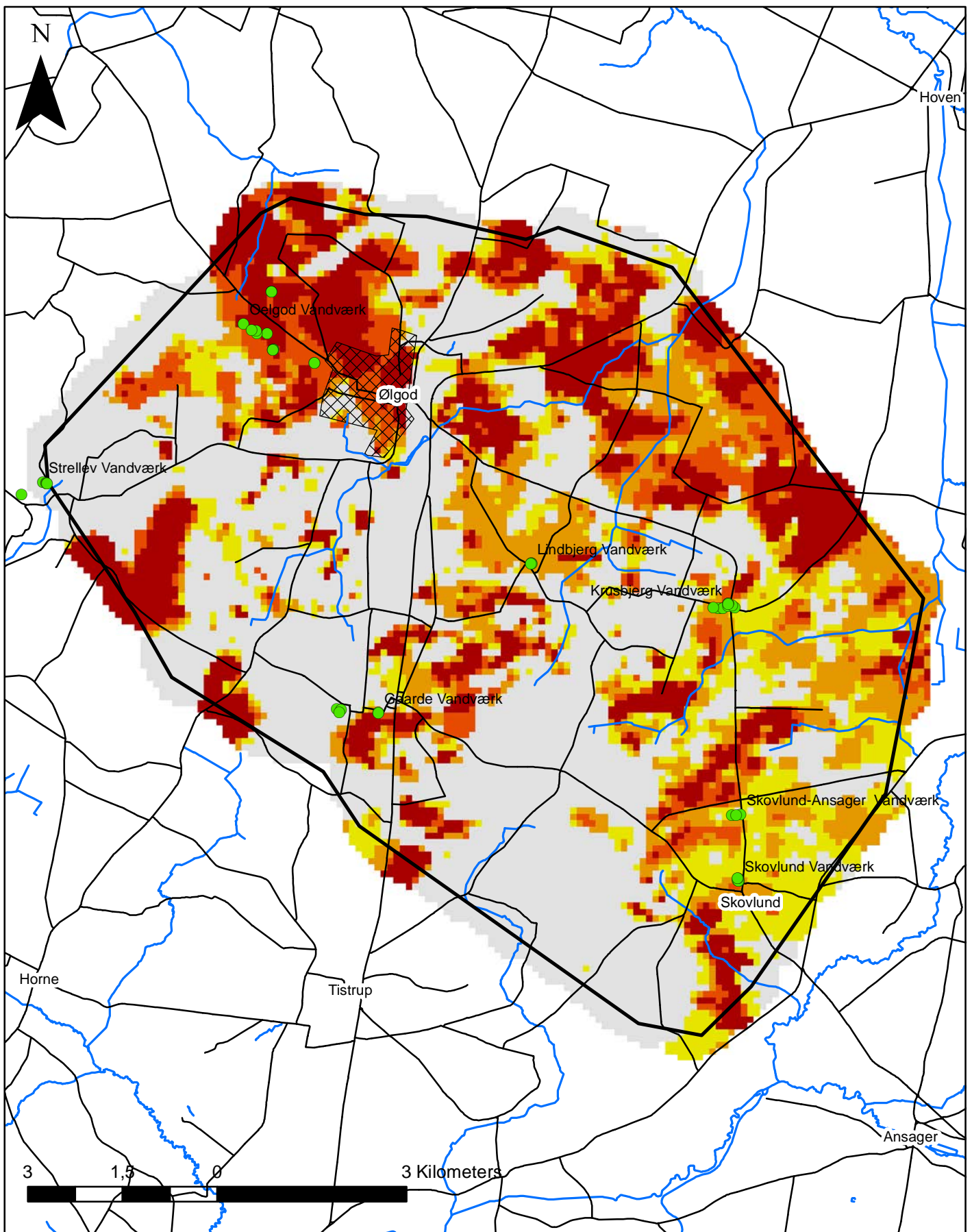
Vist med en cellestørrelse XY på 100 meter



### Magasintykkelse mellem kote -40 og -20 meter

Magasintykkelsen er beregnet ud fra den geologiske model (lithologisk grid)

Vist med en cellestørrelse XY på 100 meter



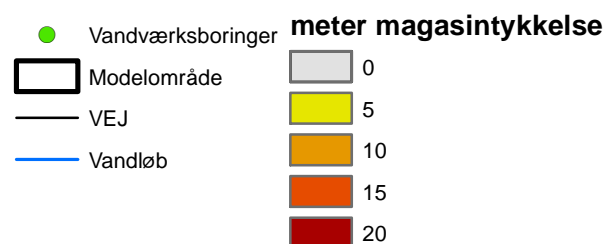
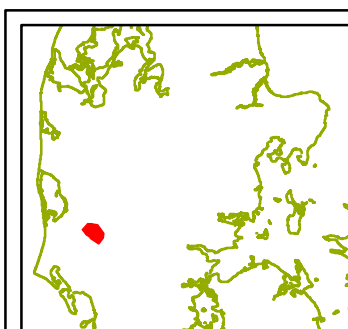
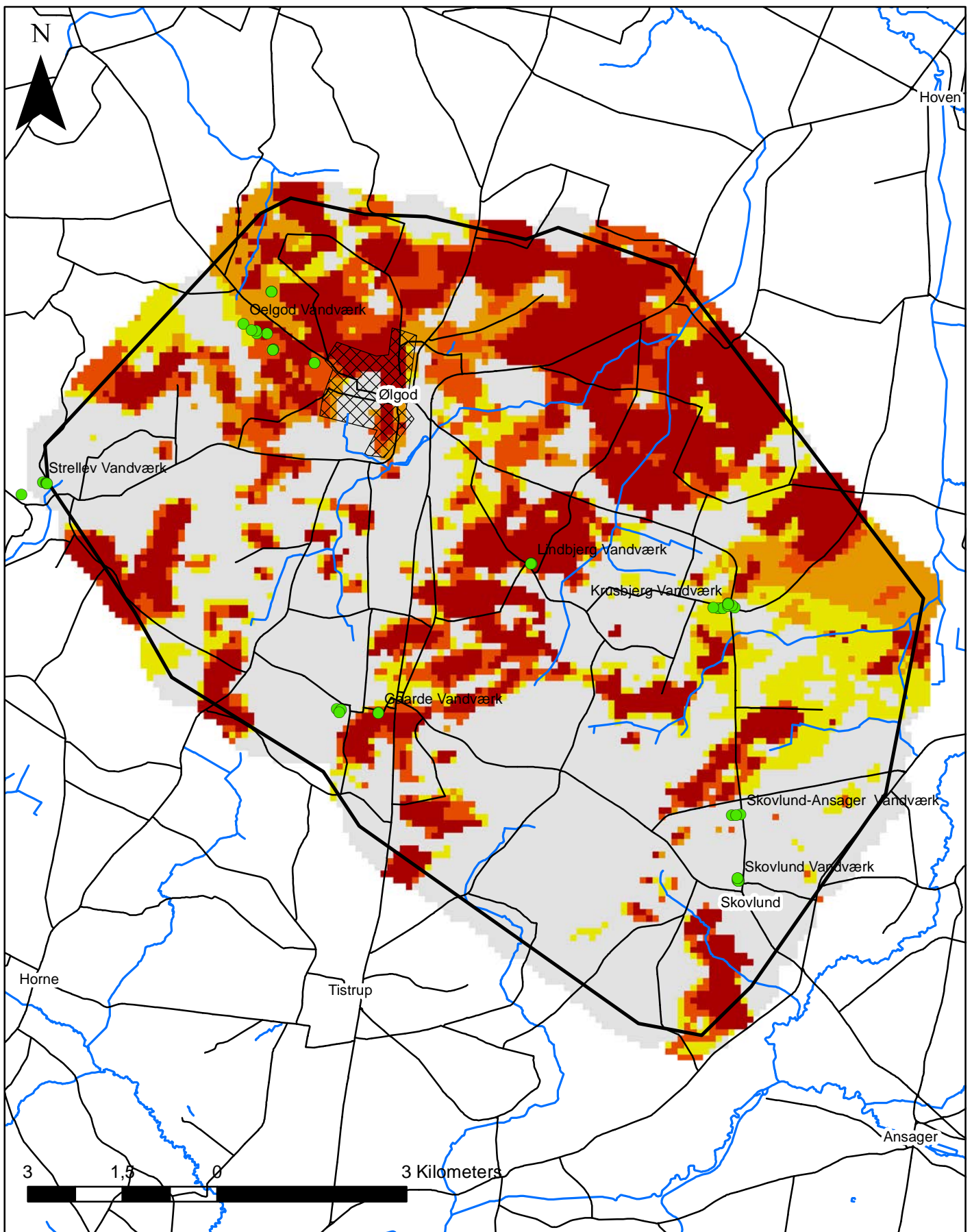
- Vandværksboringer
  - Modelområde
  - VEJ
  - Vandløb
- | meter magasintykkelse |    |
|-----------------------|----|
|                       | 0  |
|                       | 5  |
|                       | 10 |
|                       | 15 |
|                       | 20 |

### Magasintykkelse mellem kote -60 og -40 meter

Magasintykkelsen er beregnet ud fra den geologiske model (lithologisk grid)

Vist med en cellestørrelse XY på 100 meter





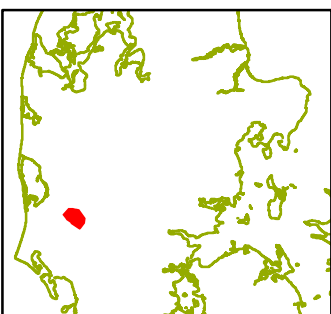
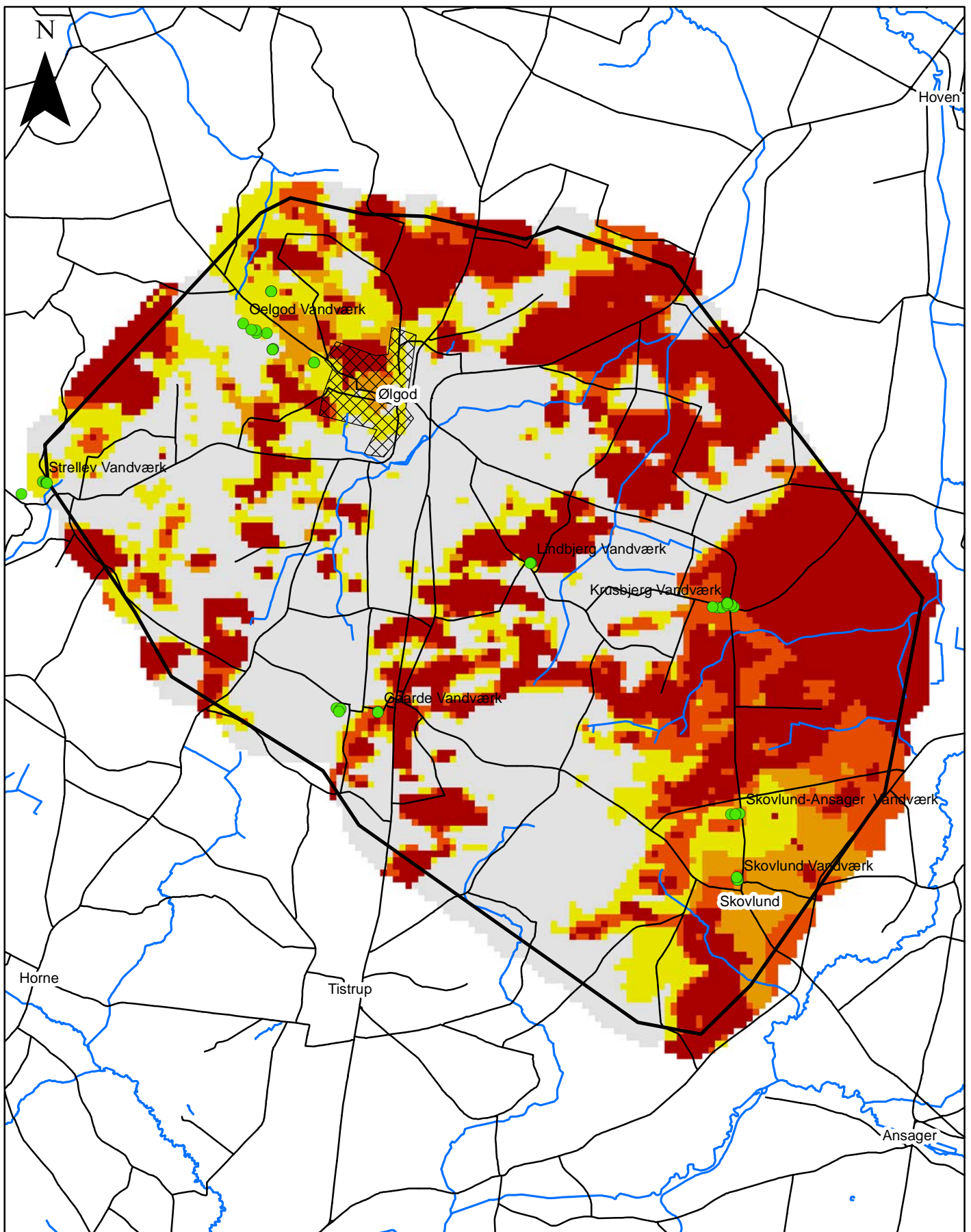
### Magasintykkelse mellem kote -80 og -60 meter

Magasintykkelsen er beregnet ud fra den geologiske model (lithologisk grid)

Vist med en cellestørrelse XY på 100 meter







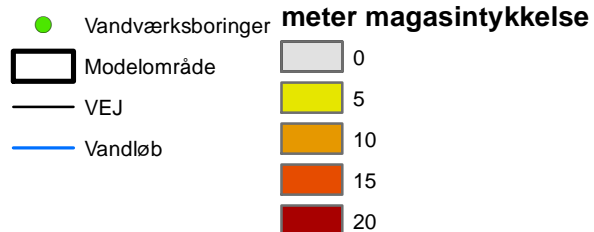
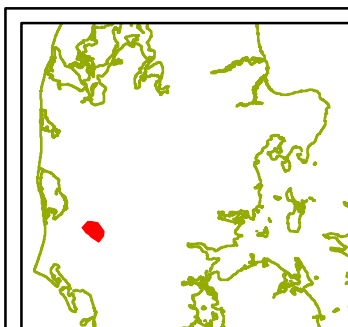
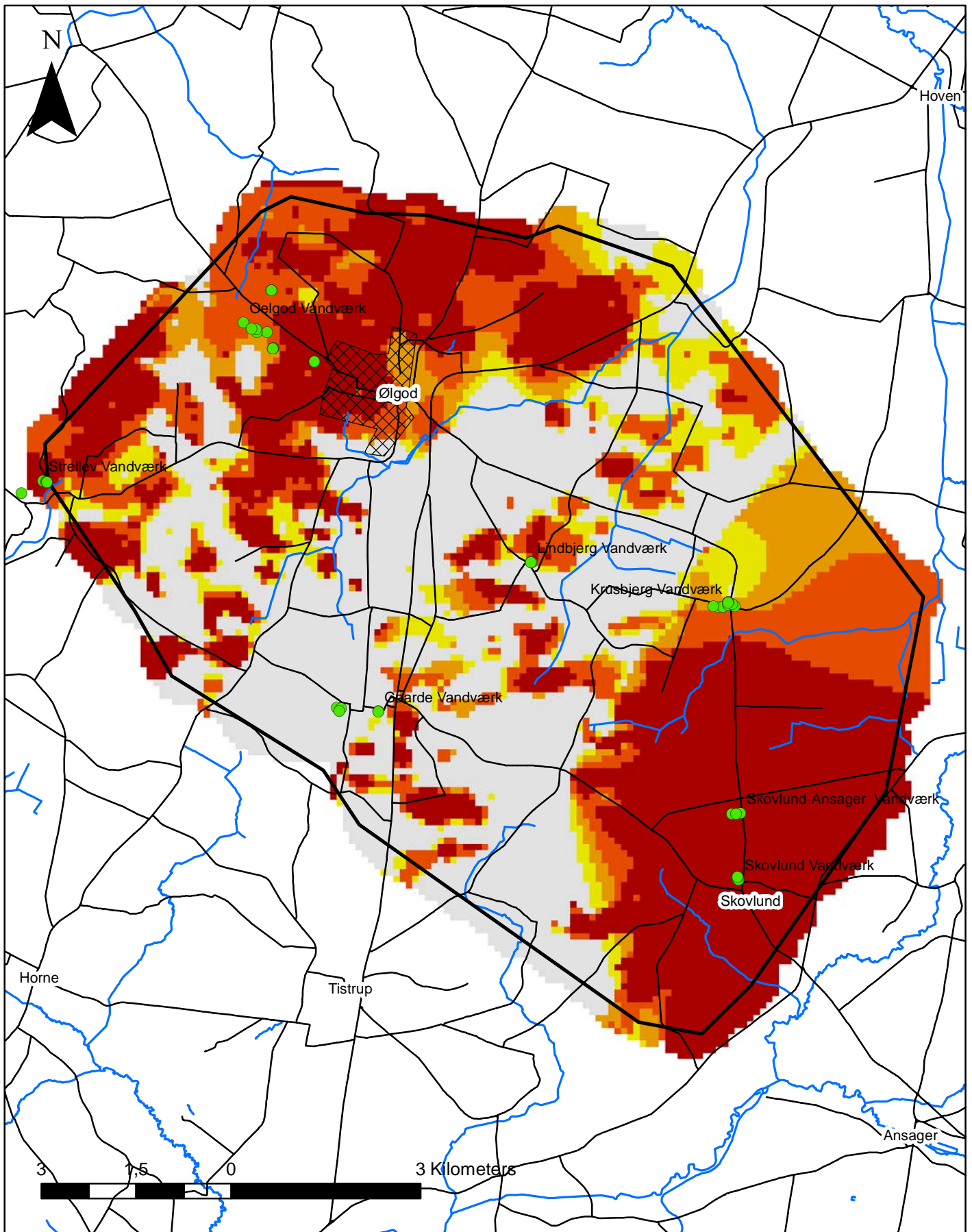
- Vandværksboringer
  - Modelområde
  - VEJ
  - Vandløb
- | meter magasintykkelse |    |
|-----------------------|----|
|                       | 0  |
|                       | 5  |
|                       | 10 |
|                       | 15 |
|                       | 20 |

### Magasintykkelse mellem kote -100 og -80 meter

Magasintykkelsen er beregnet ud fra den geologiske model (lithologisk grid)

Vist med en cellestørrelse XY på 100 meter



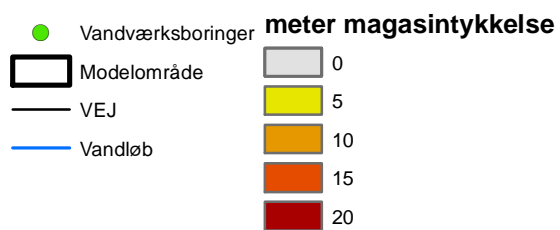
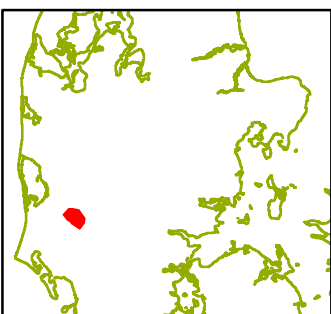
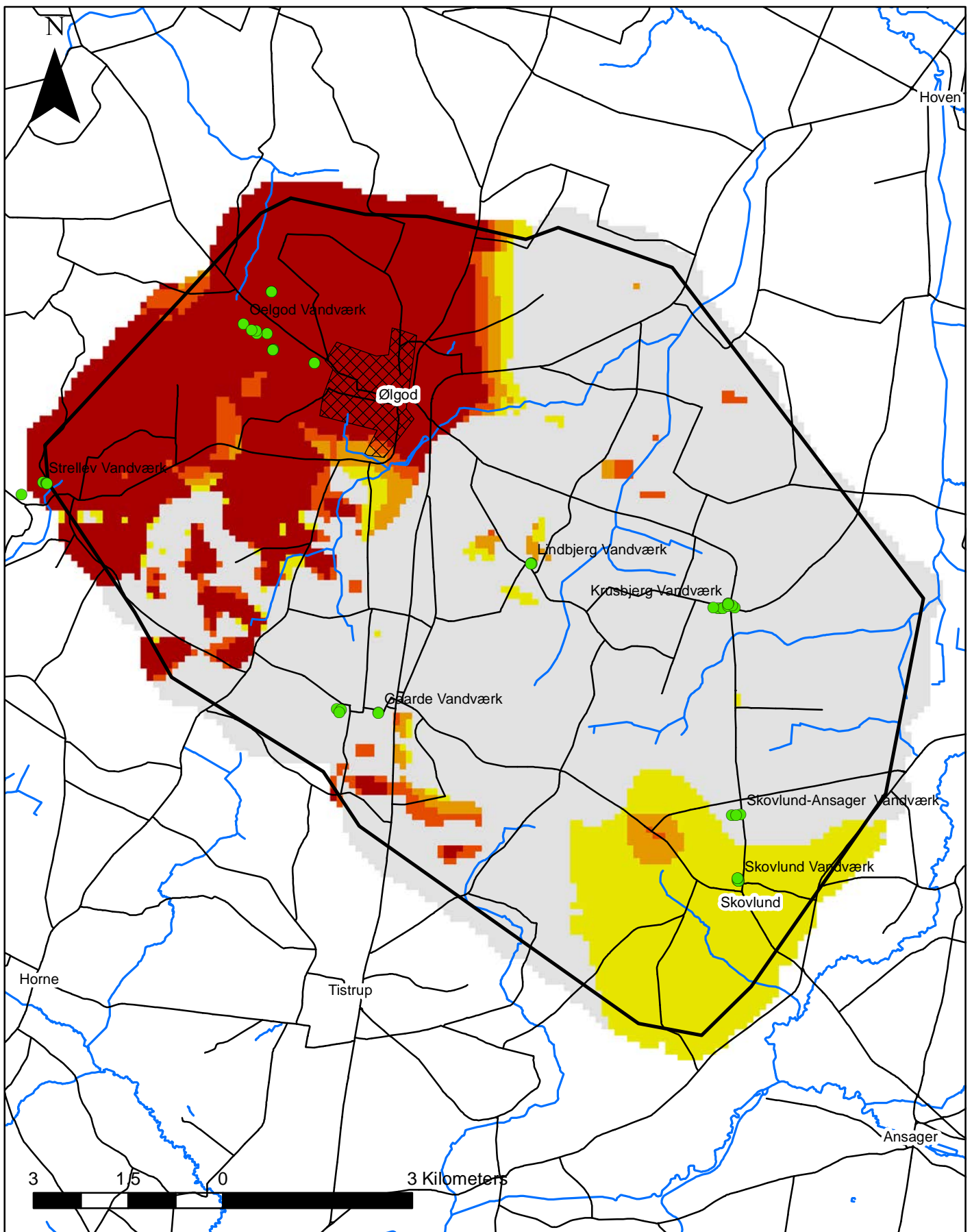


### Magasintykkelse mellem kote -120 og -100 meter

Magasintykkelsen er beregnet ud fra den geologiske model (lithologisk grid)

Vist med en cellestørrelse XY på 100 meter



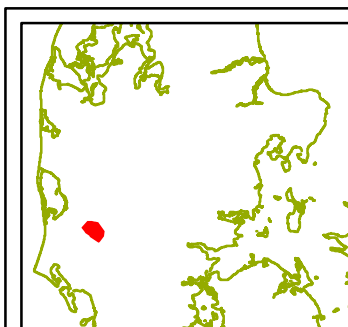
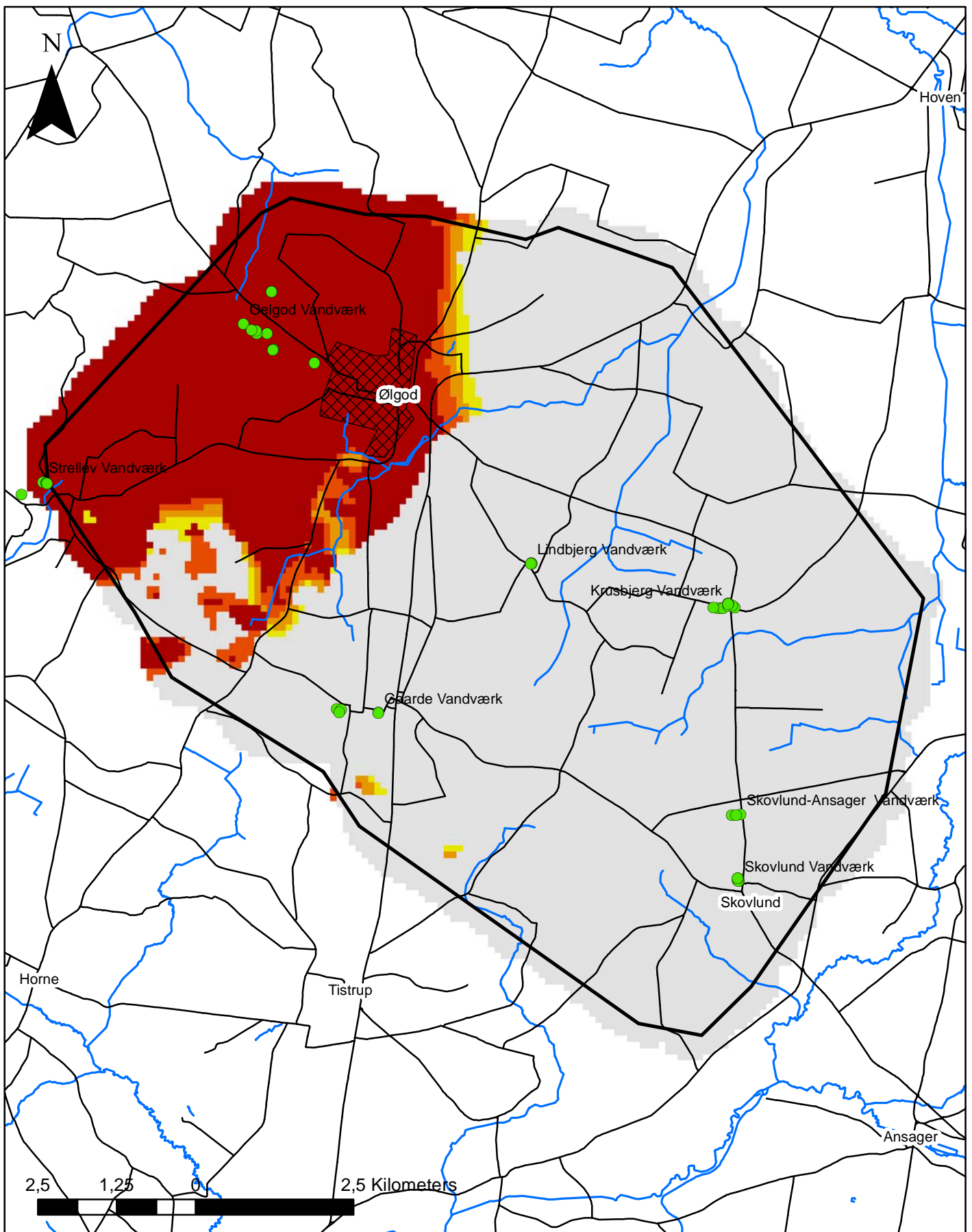


### Magasintykkelse mellem kote -140 og -120 meter

Magasintykkelsen er beregnet ud fra den geologiske model (lithologisk grid)

Vist med en cellestørrelse XY på 100 meter





- Vandværksboringer
- Modelområde
- VEJ
- Vandløb

**meter magasintykkelse**

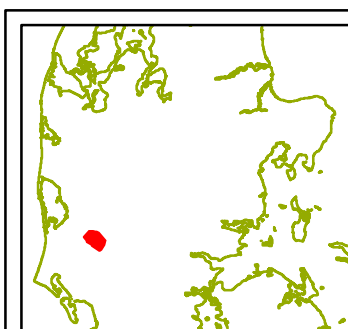
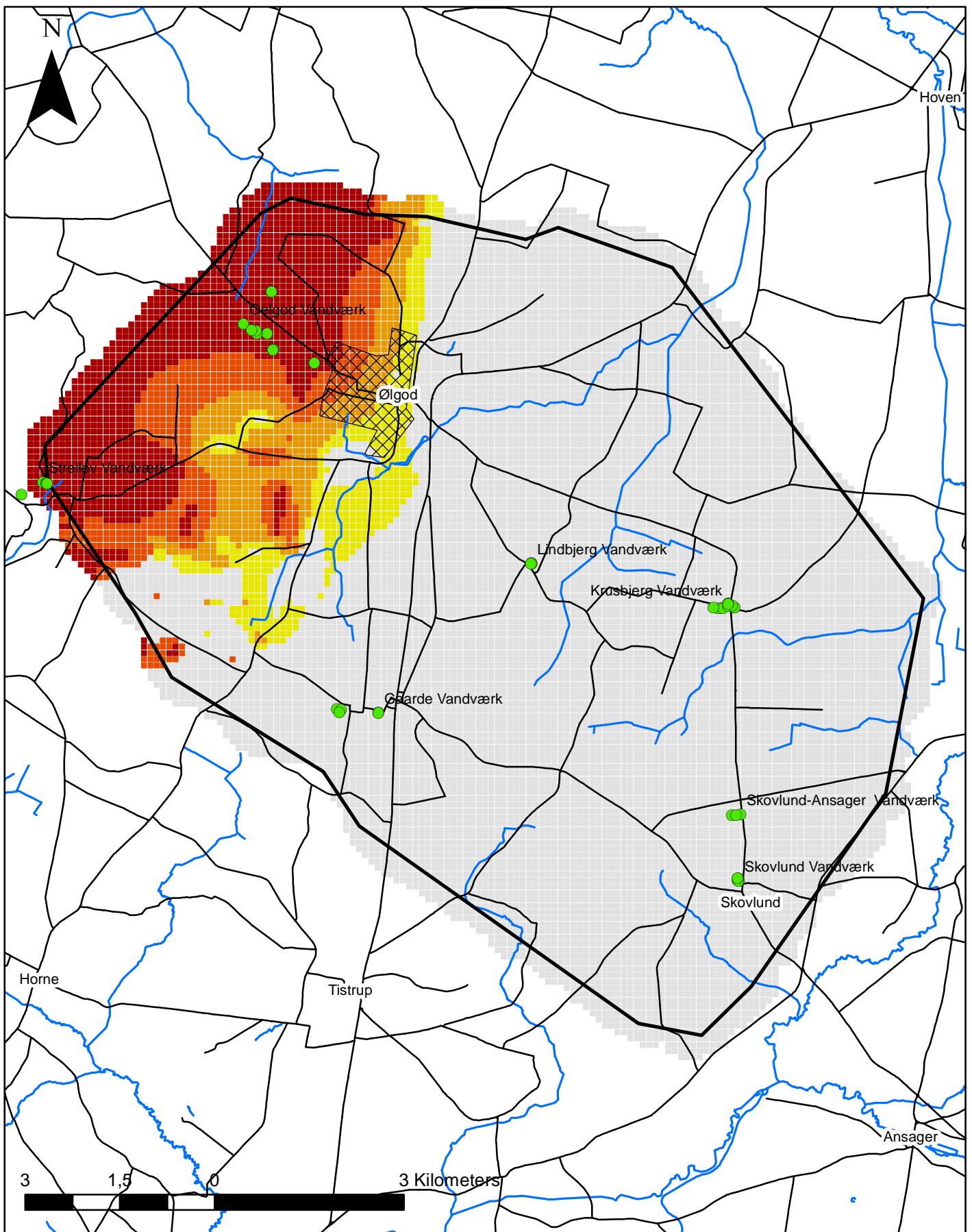
Value
0
5
10
15
20

**Magasintykkelse mellem kote -160 og -140 meter**

Magasintykkelsen er beregnet ud fra den geologiske model (lithologisk grid)

Vist med en cellestørrelse XY på 100 meter





- Vandværksboringer
  - Modelområde
  - VEJ
  - Vandløb
- | meter magasintykkelse |    |
|-----------------------|----|
|                       | 0  |
|                       | 5  |
|                       | 10 |
|                       | 15 |
|                       | 20 |

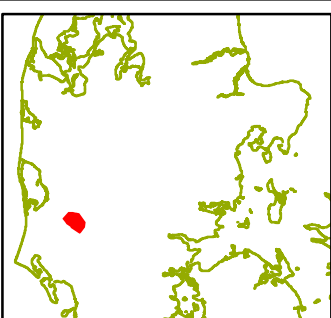
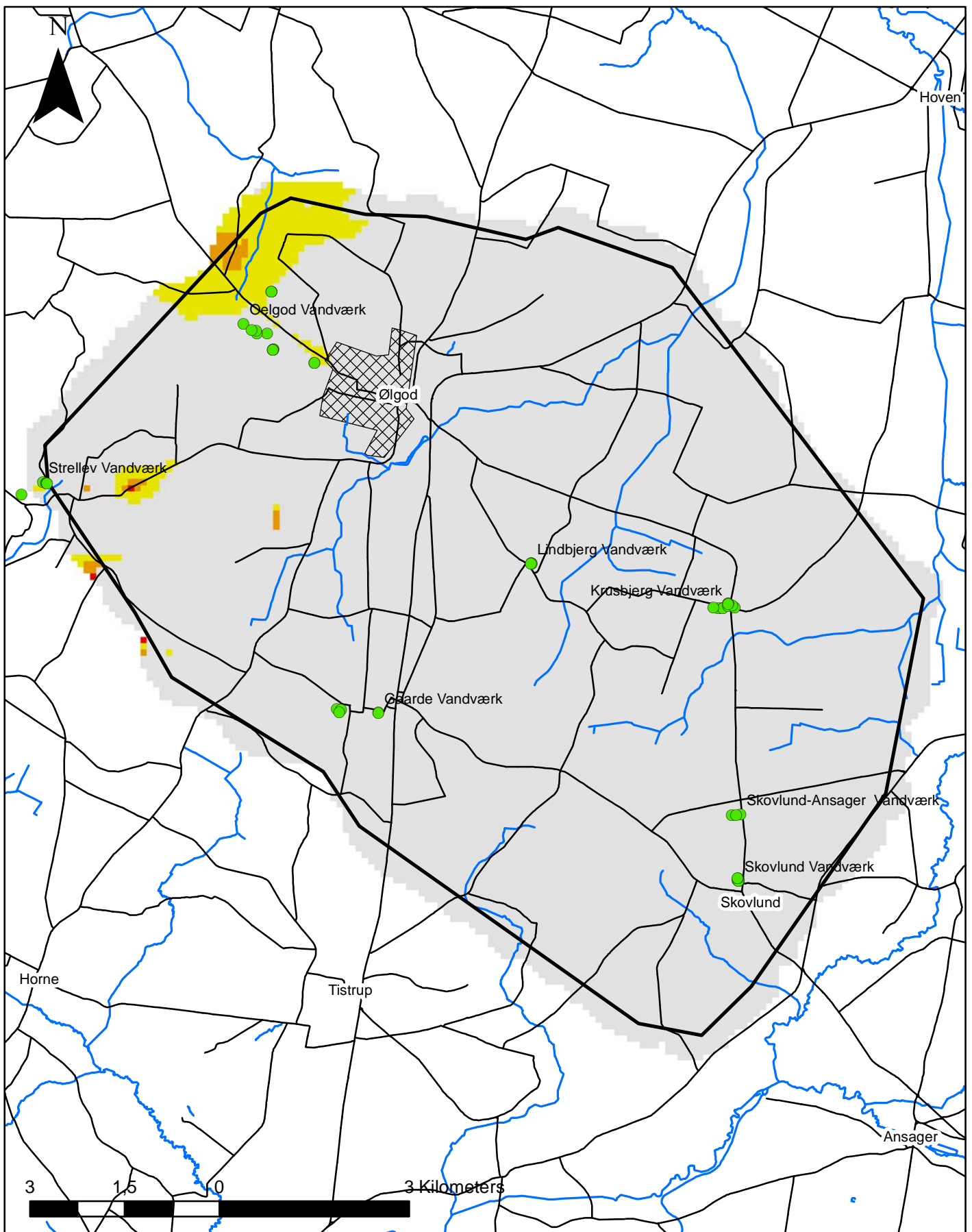
### Magasintykkelse mellem kote -180 og -160 meter

Magasintykkelsen er beregnet ud fra den geologiske model (lithologisk grid)

Vist med en cellestørrelse XY på 100 meter



GEUS



- Vandværksboringer
  - Modelområde
  - VEJ
  - Vandløb
- | meter magasintykkelse |    |
|-----------------------|----|
|                       | 0  |
|                       | 5  |
|                       | 10 |
|                       | 15 |
|                       | 20 |

### Magasintykkelse mellem kote -200 og -180 meter

Magasintykkelsen er beregnet ud fra den geologiske model (lithologisk grid)

Vist med en cellestørrelse XY på 100 meter

