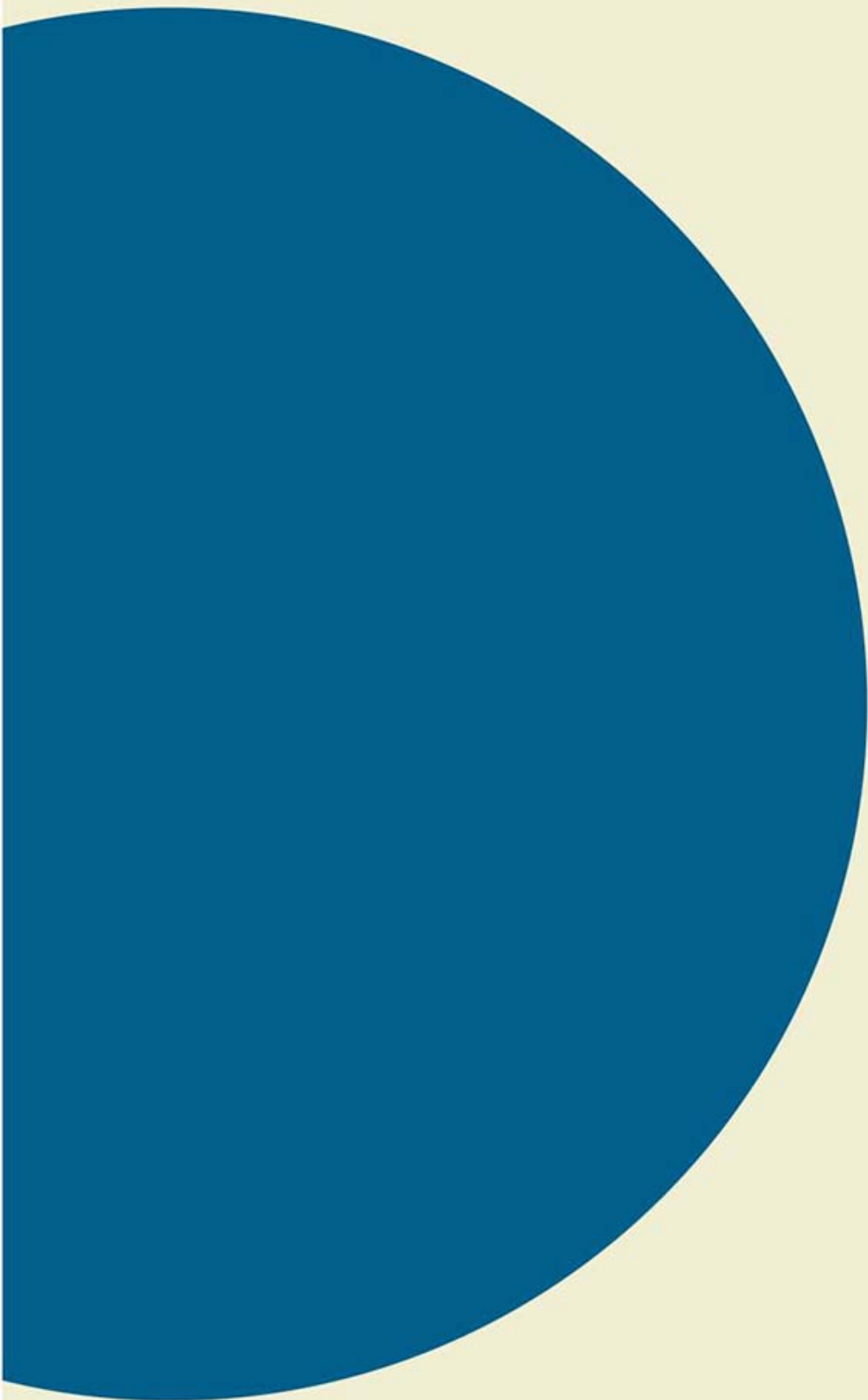


3D geologisk model for Egebjerg

Rasmus Rønde Møller & Flemming Jørgensen



3D geologisk model for Egebjerg

Rasmus Rønde Møller & Flemming Jørgensen

Indholdsfortegnelse

1.	Indledning	5
2.	Sammenfatning og konklusion	7
3.	Baggrund og formål	9
3.1	Modelområdet	10
3.2	Uddrag af den geologiske forståelsesmodel fra Trin 1	11
4.	Datagrundlag	15
4.1	Boringer	16
4.2	Geofysiske data	17
4.2.1	SkyTEM	18
4.2.2	PACES	18
4.2.3	Seismik	18
4.2.4	MRS	18
4.3	Øvrige data	18
5.	Beskrivelse af modelkoncept	21
5.1	Modelkonceptet – en kombineret voxel- og lagmodel	21
5.2	Geologisk forståelsesmodel	22
5.3	Rumlig geologisk model – definition og formål	22
5.4	Lithologisk model – definition og formål	23
5.5	Forskelle i forhold til standard for geologisk modellering	24
5.6	Principper for punkttolkning, interpolation og voxeltolkning	25
5.7	Gridmodellering	26
5.8	Anvendt voxel-tolkningsteknik	27
5.9	Principper omkring usikkerheder	30
5.10	Udvikling af GeoScene 3D som en følge af projektet – en kortfattet beskrivelse	31
6.	Forberedelse og anvendelse af de enkelte datatyper	35
6.1	Boredata	35
6.2	SkyTEM og TEM	39
6.3	Seismik	42
6.4	PACES	42
6.5	Øvrige data	43
6.5.1	MEP	43
6.5.2	Terrænmodel	43
6.5.3	Jordartskort m.m.	43
6.5.4	Hydrogeologi	43
6.5.5	Hydrokemi	44
6.5.6	MRS	44
7.	Forsøg med anvendelse af SSV	47

7.1	SSV konceptet.....	47
7.2	SSV i Egebjerg-modellen.....	48
7.3	SSV-resultater	49
8.	Geologisk forståelsesmodel	51
9.	Den rumlige geologiske model	53
9.1	Sammenfatning – områdets overordnede stratigrafiske opbygning.....	53
9.2	Modellerede geologiske enheder.....	54
9.2.1	Kalk.....	54
9.2.2	Forkastninger	56
9.2.3	Top Palæogen	56
9.2.4	Miocænet	61
9.2.5	Begravede dale.....	63
9.2.6	Erosionsflade	65
9.2.7	Holstein Interglacial.....	67
9.2.8	Glaciale lagflader og lag	68
9.2.9	Glacialtektonik	71
9.2.10	Postglacial	74
10.	Beskrivelse af lithologisk model (hydrostratigrafisk model)	75
10.1	Modellerede lithologiske enheder	76
10.2	Forekomst og fordeling af de enkelte lithologiske enheder i modellen.....	77
10.2.1	Kalk.....	77
10.2.2	Det palæogene ler	78
10.2.3	Miocæn	79
10.2.4	Smeltevandsler	81
10.2.5	Moræneler	82
10.2.6	Smeltevandssand og -grus	82
10.3	Profilér	85
10.4	Lertykkelseskort.....	86
10.5	Volumenberegninger for lithologier	87
10.6	Angivelse af hydrauliske parametre	87
11.	Diskussion	89
12.	Erfaringer og anbefalinger	91
12.1	Voxelmodellering	91
12.2	Tolkningsteknikker	92
12.3	Anvendelse af SSV til beskrivelse af lithologi	92
13.	Overdragelse til hydrologisk model	93
14.	Referencer	95

Liste over bilag

- Bilag 1. Kalkoverfladen – interpoleret grid
- Bilag 2. Kalkoverfladen – fladetolkningspunkter med usikkerhed
- Bilag 3. Forkastringszone med meget inhomogen geologi.
- Bilag 4. Palæogenoverfladen – interpoleret grid
- Bilag 5. Palæogenoverfladen – forskel mellem koten for god leder og modelleret grid
- Bilag 6. Palæogenoverfladen – fladetolkningspunkter med usikkerhed
- Bilag 7. Miocænoverfladen – fladetolkningspunkter med usikkerhed
- Bilag 8. Overfladen af GL1 – fladetolkningspunkter med usikkerhed og interpoleret grid
- Bilag 9. Overfladen af KS – fladetolkningspunkter med usikkerhed og interpoleret grid
- Bilag 10. Miocænoverfladen – interpoleret grid
- Bilag 11. Dalbeskrivelser for dale i SkyTEM-kortlægningsområdet
- Bilag 12. Alle begravede dale – udtræk fra voxelgrid.
- Bilag 13. Begravede dale – generation a. Udtræk fra voxelgrid.
- Bilag 14. Begravede dale – generation b. Udtræk fra voxelgrid.
- Bilag 15. Begravede dale – generation c. Udtræk fra voxelgrid.
- Bilag 16. Begravede dale – generation d. Udtræk fra voxelgrid.
- Bilag 17. Begravede dale – generation e, f, g. Udtræk fra voxelgrid.
- Bilag 18. Alle begravede dale - usikkerheder
- Bilag 19. Erosionsflade – interpoleret grid m. fladetolkningspunkter
- Bilag 20. Holstein Interglacial diatomit - fladetolkningspkt. m. usikkerhed
- Bilag 21. Overfladen af DS1 (TopDS1) – fladetolkningspkt. m. usikkerhed og interpol. grid
- Bilag 22. Overfladen af DL (TopDL) – fladetolkningspkt. m. usikkerhed og interpol. grid
- Bilag 23. Undersiden af ML (BundML) – fladetolkningspkt. m. usikkerhed og interpol. grid
- Bilag 24. Overfladen af ML (TopML) – fladetolkningspkt. m.usikkerhed og interpol. grid
- Bilag 25. Glacialtektonisk forstyrret område.
- Bilag 26. Isopach-kort for palæogent ler
- Bilag 27. Isopach-kort for miocænt sand
- Bilag 28. Isopach-kort for smeltevandsler
- Bilag 29. Isopach-kort for moræneler
- Bilag 30. Isopach-kort for enhed 32
- Bilag 31. Isopach-kort for enhed 33
- Bilag 32. Isopach-kort for enhed 34
- Bilag 33. Profiler, positionskort
- Bilag 34. Profiler, syd-nord
- Bilag 35. Profiler, vest-øst
- Bilag 36. Profiler, dale
- Bilag 37. a: Akkumuleret tykkelse af sand ovenpå det plastiske ler (og lokalt kalk)
- Bilag 37. b: Akkumuleret tykkelse af sand mellem kote -250 og -100 meter
- Bilag 37. c: Akkumuleret tykkelse af sandlag mellem kote -100 og -50 meter
- Bilag 37. d: Akkumuleret tykkelse af sandlag mellem -50 meter og terræn
- Bilag 37. e: Akkumuleret tykkelse af sandlag mellem terræn og kote 50 meter
- Bilag 37. f: Akkumuleret tykkelse af sandlag mellem kote 50 og 100 meter
- Bilag 37. g: Akkumuleret tykkelse af sandlag mellem kote 100 og 165 meter
- Bilag 38. a: ler mellem terræn og 5 meters dybde
- Bilag 38. b: Akkumuleret tykkelse af ler mellem terræn og 10 meters dybde
- Bilag 38. c: Akkumuleret tykkelse af ler mellem terræn og 15 meters dybde
- Bilag 38. d: Akkumuleret tykkelse af ler mellem terræn og 30 meters dybde

- Bilag 38. e: tykkelse af ler mellem 5 og 10 meters dybde
- Bilag 38. f: Akkumuleret tykkelse af ler mellem 10 og 20 meters dybde
- Bilag 38. g: Akkumuleret tykkelse af ler mellem 20 og 30 meters dybde
- Bilag 39. Tabel med volumenopgørelser for modellerede lithologiske enheder
- Bilag 40. Startværdier for hydrauliske ledningsevner for lithologiske enheder i voxelgriddet

1. Indledning

Nærværende rapport beskriver et udviklingsprojekt gennemført i et samarbejde mellem Naturstyrelsen Århus og GEUS. Målet med projektet har været at udvikle og implementere innovative metoder til analyse af klimaændringernes effekt på hydrologien og specielt grundvandet i områder med begravede dale. 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 et detaljeret niveau, og
- (2) at kvantificere grundvandsressourcens størrelse, udbredelsen af indvindingsoplande til udvalgte kildepladser samt alder af indvundet vand for både nuværende og fremtidigt klima, hvor der benyttes de seneste resultater og metoder til opgørelse af klimaændringernes effekt på det hydrologiske system.

Denne rapport omhandler delformål 1, opstillingen af en geologisk model. Projektområdet er et delområde af kortlægningsområde Hovedgård, nordøst for Horsens kaldet Egebjerg.

Det blev indledningsvist aftalt, at den geologiske model skulle omfatte en rumlig geologisk model samt en hydrostratigrafisk model. Den geologiske forståelsesmodel er udarbejdet i forbindelse med trin 1-kortlægningen af området umiddelbart inden projektets iværksættelse /4/.

Det var på forhånd kendt, at modelområdet indeholdt et komplekst netværk af begravede dale, og at denne type geologi stiller særlige krav til detaljeringsgraden af den geologiske modellering, hvis denne effektivt skal kunne give brugbare resultater til grundvandsmodellen. En mulig metode, som vurderedes at være effektiv samtidig med at den ville kunne opløse geologien i stor detalje, var geologisk voxelmodellering. Ved voxelmodellering diskretiseres geologien i kasser (voxler) med størrelser, der afspejler tolkningernes detaljeringsgrad. Hver voxel kan tilskrives valgbare parametre (f.eks. lithologi, dannelse og usikkerhed). Det blev i en tidlig fase af projektet besluttet, at modellen skulle opstilles som en sådan voxelmodel; dog med støtte fra lagflader – dvs. en kombineret voxel- og lagmodel.

En risikofaktor ved denne beslutning var dels, at erfaringsgrundlaget på voxel-området er mangelfuldt og dels, at gennemførelsen ville blive afhængig af nyudviklet og uprøvet software (nyt tolkningsmodul i GeoScene 3D-udviklet af I-GIS). Ved projektets begyndelse forelå således et råt og simpelt modul til voxelmodellering.

Voxelmodelmetoden er således blevet testet i projektet. Opgaven med at udvikle et koncept for hvorledes dette bedst og mest effektivt kan udføres er blevet meget større end forventet. Hverken planlagt arbejdsomfang eller tidsplan har kunnet holde sig inden for de fastsatte rammer. Årsagerne hertil har været,

- 1) at det har taget længere tid at opnå den fornødne erfaring med programmet end forventet,

- 2) det har været tidskrævende at pilotteste det nye software,
- 3) tillægsmoduler til GeoScene 3D har været nødvendige at få leveret af I-GIS,
- 4) det har taget længere tid at finde frem til brugbare modelleringskoncepter end forventet.

Rapporten omfatter både resultaterne af den konkrete geologiske model for Egebjerg og en beskrivelse af den udvikling projektet har afstedkommet. Der er lagt særligt vægt på at vise og beskrive de udviklede tolkningskoncepter og tolkningsteknikker. Denne rapport indeholder dog ikke en udtømmende vejledning i hvordan voxelmodellering kan udføres – en sådan vejledning planlægges udarbejdet i en særskilt rapport, der er uafhængig af Egebjerg-modelprojektet.

Projektet er gennemført og rapporten er skrevet af Rasmus Rønde Møller og Flemming Jørgensen, GEUS. I-GIS har stillet sig til rådighed for projektet med løbende support og parallelle udviklinger af nødvendige softwaremoduler. Peter Sandersen, Grontmij|Carl Bro har deltaget i workshops og har givet faglig sparring undervejs. Klaus Petersen og Stine Rasmussen, Naturstyrelsen Aarhus, har bidraget med faglig sparring på workshops og hele vejen gennem projektet.

2. Sammenfatning og konklusion

Projektresultaterne kan opdeles i to dele:

- 1) Den konkrete geologiske model for området til anvendelse i grundvandsmodelleringen og andre grundvandsrelaterede formål,
- 2) 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 meget detaljeret, ligesom de komplekse geologiske elementer er blevet rumligt modelleret. En nærmere vurdering af modellens validitet vil det pågående arbejde med grundvandsmodelleringen evt. kunne give et fingerpeg om. Vedrørende resultaterne omkring udvikling af modelkoncepter og modelleringsteknikker vurderes målet også at være blevet nået. Her er der fundet frem til en nyttig metode til effektiv modellering af detaljeret geologi, ligesom en lang række tolkningsteknikker er blevet udviklet.

Den geologiske model består af en rumlig geologisk model og af en hydrostratigrafisk model. Den rumlige geologiske model er udarbejdet som en kombineret voxel- og lagmodel og er opstillet i henhold til GeoVejledning 3 /2/. Den består således grundlæggende af sværme af fladetolkningspunkter, der beskriver forskellige lagflader. Desuden er de begravede dale modelleret, men for at kunne indarbejde deres kompleksitet rumligt, er de modelleret i et voxelgrid. Dale og lagflader er kun modelleret i de områder, hvor geologien er rimeligt kendt og tolkbar. Generelt er geologien forholdsvist godt kendt på trods af, at kompleksiteten er stor. Det skyldes først og fremmest indsamlingen af SkyTEM i en stor del af området. Hvor disse ikke er indsamlet – i den sydlige del af området – er usikkerheden generelt stor. Der er tolket på lagflader fra Palæogen, Miocæn, Kvartær samt et stort antal kvartære begravede dale fordelt i 7 forskellige generationer. Den kvartærgeologiske lagserie er inddelt i to sekvenser, hvoraf den ældste sekvens indeholder langt de fleste begravede dale. De to sekvenser er adskilt af en formodet erosionsflade. Over denne horisont findes stedvist søaflejringer fra Holstein Interglacial. Området gennemskæres i den sydlige del mod Horsens af en kraftigt deformeret forkastningszone, og en relativ stor del af aflejringerne er glacialtektonisk forstyrret. Sidstnævnte forstyrrelser er sket meget sent i områdets dannelseshistorie, og hele lagserien ned til palæogenet er dermed forstyrret i dette område.

Den hydrostratigrafiske model udgøres i dette projekt af en såkaldt lithostratigrafisk model. Denne model er udelukkende opstillet som en voxelmodel, hvor voxlerne definerer hele modelområdets lithologi. Der er anvendt en diskretisering på 100 x100 m horisontalt og 5 m vertikalt. De grovklastiske geologiske aflejringer, der har vandindvindingsinteresse, udgøres af miocæne eller kvartære lag. De miocæne lag forekommer kun i et par mindre dele af området, og overvejende består de af glimmerler. Der forekommer dog områder i Miocænet der overvejende består af glimmersand og kvartæssand. Størstedelen af de kvartære lag består af glacialt ler, især moræneler, men også en del smeltevandssler. Indlejret i dette ler findes hovedparten af områdets grundvandsmagasiner, som består af smeltevandssand og –grus, og som findes i meget varierende koter pga. det store terrænelief i området. Sand-

og gruslagene findes i adskilte, usammenhængende enheder, nogle i de nedre dele i de ældre dale i større dybder på 120 til 180 meter, men der ses også mere terrænnære enheder af smeltevandssand ned til 80 meter under terræn.

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 nyttige har været de data, der giver information om de rumlige forhold, dvs. SkyTEM og PACES-data.

Til brug ved voxelmodelleringen er både SkyTEM- og PACES-datasættet konverteret til 3D-resistivetsgrids. Disse grids har identisk diskretisering med de modellerede voxelgrids og har været et nyttigt element i den benyttede tolkningsmetode. Voxeltolkningen er gennemført i dynamiske tolkningsprofiler, der hele tiden flyttes stepvist gennem modelrummet, samt på horisontale snit, der flyttes op og ned gennem lagserien. Der er i projektet udviklet forskellige metoder til udvælgelse af voxelgrupper med identiske egenskaber. Bl.a. er der udviklet en metode, hvori rumlige regioner med bestemte egenskaber i andre grids kan udvælges (f.eks. resistivetsforhold).

Den overordnede konklusion på projektet er, at der er opstillet en geologisk model for Egebjerg med en stor detailrigdom. Den er opstillet på en måde, der i højere grad end en traditionel lagmodel er i stand til at beskrive de reelle geologiske forhold. Desuden er der i projektet udviklet koncepter og tolkningsteknikker til anvendelse i områder, hvor der er behov for en detaljeret opløsning af geologien. Endvidere vurderes det, at koncepterne og tolkningsteknikkerne generelt vil være relevante at anvende, da teknikkerne potentielt vil kunne medføre en mere tidsmæssigt effektiv geologisk modellering.

3. Baggrund og formål

Nærværende rapport beskriver arbejdet med at opstille den geologiske model i delområdet Egebjerg under Trin 2 kortlægningen som et led i den Nationale Grundvandskortlægning for Hovedgård OSD-område. Modelleringsprojektet er samtidig en del af CLIWAT /1/; et EU-klimatilpasningsprojekt som indgår i Interreg IVB programmet for Nordsø-regionen og udføres som et samarbejdsprojekt mellem GEUS og Naturstyrelsen Århus. Den geologiske model skal fungere som input til den efterfølgende grundvandsmodel.

Det overordnede formål med at opstille modellen (inklusive den numeriske grundvandsmodel) er:

- at udvikle og implementere metoder til analyse af klimaændringernes effekt på hydrologien og specielt grundvandet i områder med begravede dale
- at simulere fremtidige scenarier for klimaændringernes effekt på de lokale hydrologiske forhold i modelområdet
- at udpege robuste indvindingsoplande til vandværker og at kvantificere grundvandsressourcens størrelse.

Et af de nødvendige trin på vejen er at opstille en geologisk model baseret på eksisterende og nyindsamlet datamateriale. Ved hjælp af nyudviklede metoder produceres en geologisk model, der er i stand til at beskrive geologiske variationer på et detaljeret niveau.

Modellen er som udgangspunkt opstillet i henhold til GeoVejledning 3 /2/, hvor der opereres med 3 grundlæggende modeltyper. Den geologiske forståelsesmodel, den rumlige geologiske model, og den hydrostratigrafiske model. Forståelsesmodellen er opstillet under Trin 1 og er rapporteret i /4/. Forståelsesmodellen ligger til grund for arbejdet med at opstille den geologiske model under Trin 2, hvorfor der i denne rapport indgår et review af forståelsesmodellen fra Trin 1. I nærværende geologiske modelopstilling er den hydrostratigrafiske model erstattet af en lithologisk model.

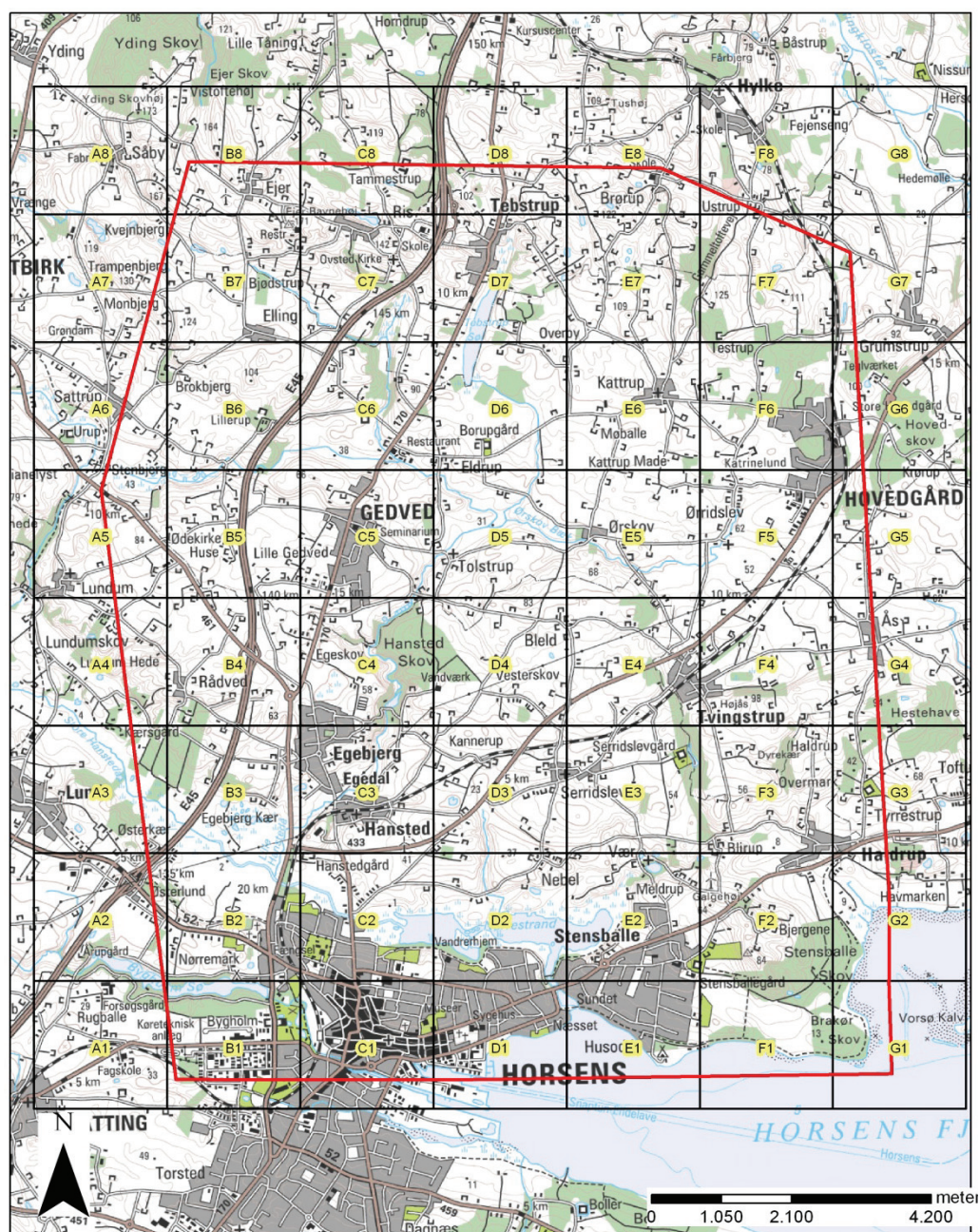
I denne rapport beskrives de resulterende geologiske modeller ligesom selve opstillingsprocessen beskrives. Modellen er opstillet som en kombineret lag- og voxelmodel i GeoScene3D (GS3D) /5/.

Voxelmodulet i GS3D er blevet videre udviklet af I-GIS sideløbende med modelopstillingen. Det har været en tidskrævende og til tider teknisk udfordrende proces i og med at det har været nødvendigt at teste programmet af, samtidig med at centrale procedurer og metoder i modelarbejdet ikke tidligere har været afprøvet. Der er således tale om en voxelmodel af 1. generation. Særligt har voxeludvælgelsesværktøjerne i GS3D i modelopstillingsperioden ikke været fuldt udviklede, hvilket betyder, at voxelgriddet stedvist har et lineært og kantet udseende. Det vurderes at denne fremtoning alene er af kosmetisk karakter, og at den ikke vil have betydning for resultaterne af de numeriske beregninger i grundvandsmodellen.

3.1 Modelområdet

Modelområdet omfatter den nordlige halvdel af Horsens by og bunden af Horsens fjord og breder sig 15 km mod nord op til lige nord for Tebstrup, jf. Figur 1. Modellens areal udgør ca. 200 km² med afgrænsningerne UTMx [584.400; 562.900] og UTM_y [6.190.000; 6.205.200]. Afgrænsningen er foretaget i samarbejde med de hydrologer, der udfører den numeriske

grundvandsmodellering. De hydrologiske randbetingelser for vandløbsoplande og grundvandsskel ligger til grund for afgrænsningen med særlig vægt på, at man i grundvandsmodellen kan beregne en velafstemt vandbalance. Afgrænsningen er baseret på GIS-tegninger for vandløb, potentialekort (1988), det aktive potentialekort (2005) samt fra synkronpejlerunden i april 2010 /2/. Desuden er afgrænsningen foretaget i henhold til de amtslige indsatsområder Tebstrup og Egebjerg.



Figur 1 Afgrænsning af Egebjerg modellen

3.2 Uddrag af den geologiske forståelsesmodel fra Trin 1

Trin 1 rapporten er udarbejdet af Carl Bro i juli 2009 /4/ og er en omfattende gennemgang og sammenstilling af eksisterende data fra området. Under Trin 1 er der i henhold til Geo-Vejledning 3 /2/ udarbejdet en geologisk forståelsesmodel baseret på eksisterende tolkninger. Forståelsesmodellen er opstillet på baggrund af en overordnet landskabsanalyse, en gennemgang af eksisterende geologiske tolkninger fra rapporter og udvalgt litteratur, en geologisk vurdering af de geofysiske kortlægninger samt overordnede vurderinger af bore-data.

Det konstateres at området er beliggende på nordflanken af Ringkøbing-Fyn højderyggen og sandsynligvis oven på en saltstruktur. Dybere bevægelser i undergrunden har resulteret i to store forkastninger, der ligger parallelt med henholdsvis nordkysten og sydkysten af Horsens Fjord, og som derved danner en depression i kalkoverfladen. Det markante relief i såvel kalkoverfladen, prækvartæroverfladen samt i terrænet indikerer en vis geologisk sammenhæng, og det er oplagt at anskue dannelsen og den geologiske opbygning af prækvartæret og kvartæret som et samlet hele.

Det fremhæves, at området er præget af flere dybe dale der gennemskærer modelområdet i et komplekst forløb, og at dalene har stor betydning for områdets vandkvalitet og beskyttelse.

Terrænet udviser store kotevariationer, og der kan iagttages storskalastrukturer som randmorænebakker, områder præget af glacial tektonik, tegn på israndsbakker, dødislandskaaber og issøaflejringer. Den foretrukne landskabsmæssige orientering er VNV-ØSØ, men der ses også orienteringer omkring N-S og NNØ-SSV. Overvejende viser landskabsformerne tegn på lerede aflejringer, men stedvist ses dybe nedskæringer, hvor skræntudformningerne viser tegn på sandede lagserier.

Flere steder ses ådale - af og til dybt nedskårne - som indikation på komplekse erosive forhold, der sandsynligvis har været påvirket af tilstedeværelsen af is i området, og som dermed er af senglacial oprindelse.

I den prækvartære del af lagserien indgår der Bryozokalk fra Danien, fedt ler og mergel fra Eocæn i form af Røsnæs ler, Lillebæltssler og Søvindmergel, samt glimmerholdige oligocæne og miocæne aflejringer. Grænsen mellem Palæogen og Neogen udgør en erosionsdiskordans og den oligocæne/miocæne lagserie adskiller sig ved at have stigende indhold af silt/sand opefter, organisk materiale der farver lagene mørke samt et varierende indhold af glimmer.

Den kvartære lagserie består af moræneler af varierende tykkelse i alle niveauer. Smeltevandssand og -grus findes spredt i lagserien. Det nævnes at andelen af smeltevandsler er lille.

I området ved Højballegaard er der fundet interglaciale aflejringer af diatomegytje og andet organisk materiale, som sandsynligvis er af Holstein-alder.

Det er konstateret at der er et forhøjet indhold af arsen i råvandet på 11 vandværker i området, og at der er en tendens til at indholdet af arsen stiger med dybden. Endvidere er der fundet nitrat i 22 ud af 108 borer; dog kun på lavt niveau. Jævnt ud over området ses der et stigende indhold af sulfat over tid, hvilket tages som indikation på, at dæklagenes reduktionskapacitet over for nitrat er faldende.

I Trin 1 anbefales det bl.a., at fokusområder for Trin 2 kortlægningen omhandler forbedring af den geologiske viden, opstilling af en geologisk/hydraulisk model og en opdatering af det hydrogeologiske grundlag. Endvidere bør der inddrages opdaterede vandkemidata for en-

keltindvindere, mens lertykkelseskort og sårbarhedsvurderinger bør revideres. Ligeledes bør plangrundlaget, i det omfang nye oplysninger betinger det, også revideres.

4. Datagrundlag

Data i modelområdet er nærmere beskrevet i rapporten for Trin 1 /4/, og kun de mest væsentlige data der indgår i modelarbejdet, nævnes derfor her.

I Tabel 1 er data listet med navn på projektet og navngivning af database/fil. For detaljerede beskrivelser og dokumentation, kvalitet og usikkerheder henvises der til /4/ og de anførte referencer i tabellen.

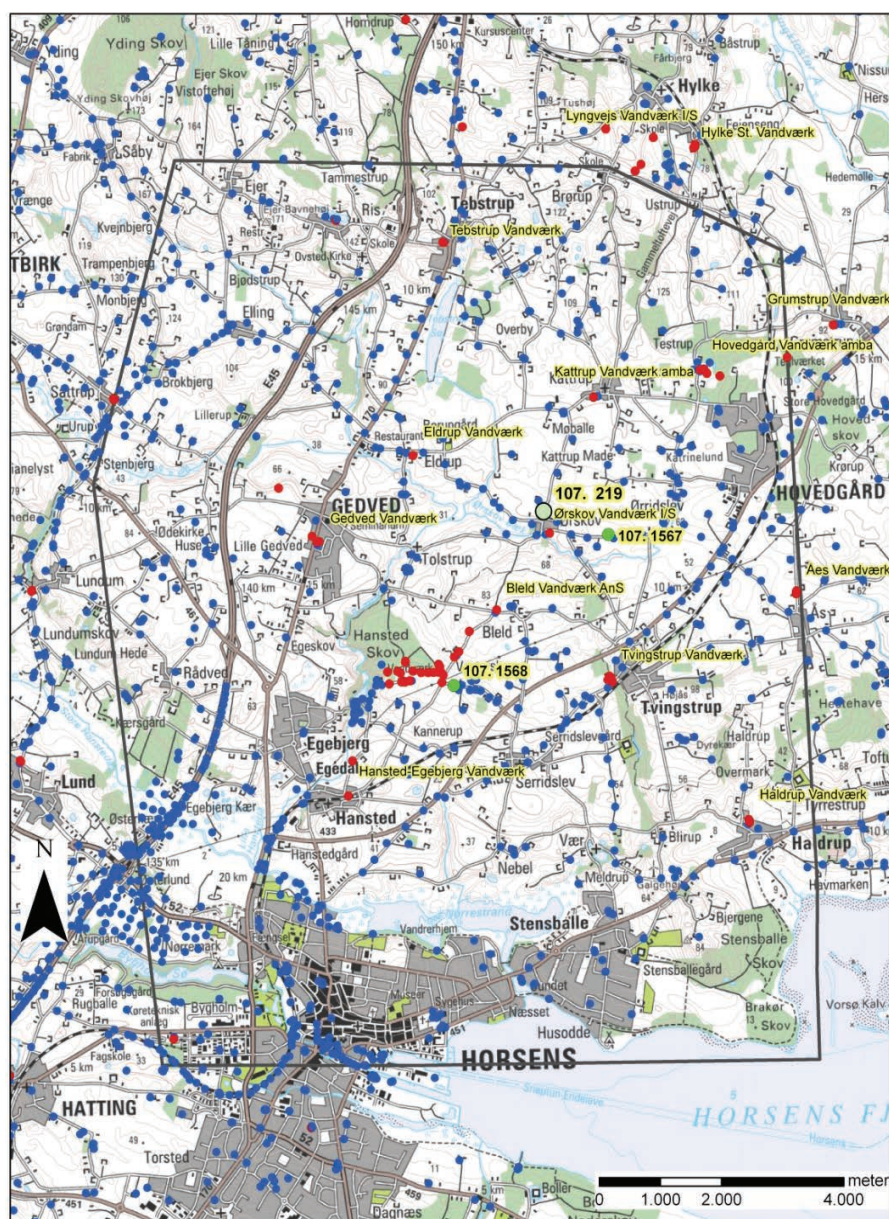
Tabel 1 Oversigt over de anvendte data i den geologiske model.

Datatype	Navn	Database/Filer	Bemærkning
Jupiter borer		MC_Aar_pcjupiter_nov2009.mdb	Leveret af Naturstyrelsen Århus
Jupiter borer		pcjupXL20090819.mdb	Indeholder kemiske vandanalyseresultater
Jupiter borer		Egebjerg_foreløbig_pcjupiter.mdb	2 nye borer – Udført af MC Århus 2010
Geofysik			
SkyTEM	SkyTEM ved Egebjerg, Søvind, Tebstrup	GERDA20091027.fdb	Udtræk af GERDA-databasen 2010
SkyTEM	Hylke - SkyTEM		Udtræk af GERDA-databasen 2010
PACES	PACES ved Hovedgård	EGEBJERGPAACES.mdb	Udtræk af GERDA-databasen 2010
TEM-jordbaseret	Rugballegaard		Udtræk af GERDA-databasen 2010
MEP	MEP ved Rugballegaard		Udtræk af GERDA-databasen 2010
Seismik	Refleksionsseismisk opmåling mellem Torsted og Egebjerg	Hat_5_1.gsobj	Seismik profil
		Hat_5_2.gsobj	Seismik profil
		Hat_5_3.gsobj	Seismik profil
		Hat_5_4.gsobj	Seismik profil
		Hat_5_5.gsobj	Seismik profil
MRS	MRS Egebjerg 2009		Udført af Rambøll, 2009
GIS			
Terrænoverflade		DK_Terrain.grd	Terrænoverflade (diskretisering 50 m) som anvendes i NOVANA DK model, Hydrologisk afdeling, GEUS
Laserscannet højdemodel	DDH – Danmarks Digitale Højdemodel		Udtræk til MapInfo-filer
Jordartskort	Danmarks digitale jordartskort		1:25.000 og 1:200.000
Hydrogeologi	Det aktive potentialekort		Genereret 19-12-2005
Hydrokemi		pcjupXL20090819.mdb	Kemiske vandanalyseresultater – udtræk af PCjupiter

4.1 Boringer

Boringer er udtrukket fra Jupiter boringsdatabasen til en lokal Access PCJupiter-database. Databasen er navngivet MC_Aar_pcjupiter_nov2009.mdb, er leveret af Naturstyrelsen Århus og boringernes placering er vist på Figur 2. De dybe boringer, der findes i området er typisk udført i forbindelse med vandværksundersøgelser og findes som oftest i klynger. Der findes store områder med mangelfuld dækning af boringer. Der er kun en enkelt dyb boring, som træffer kalken inden for modelområdet (DGU nr. 107.219; 217 – 469 m.u.t.).

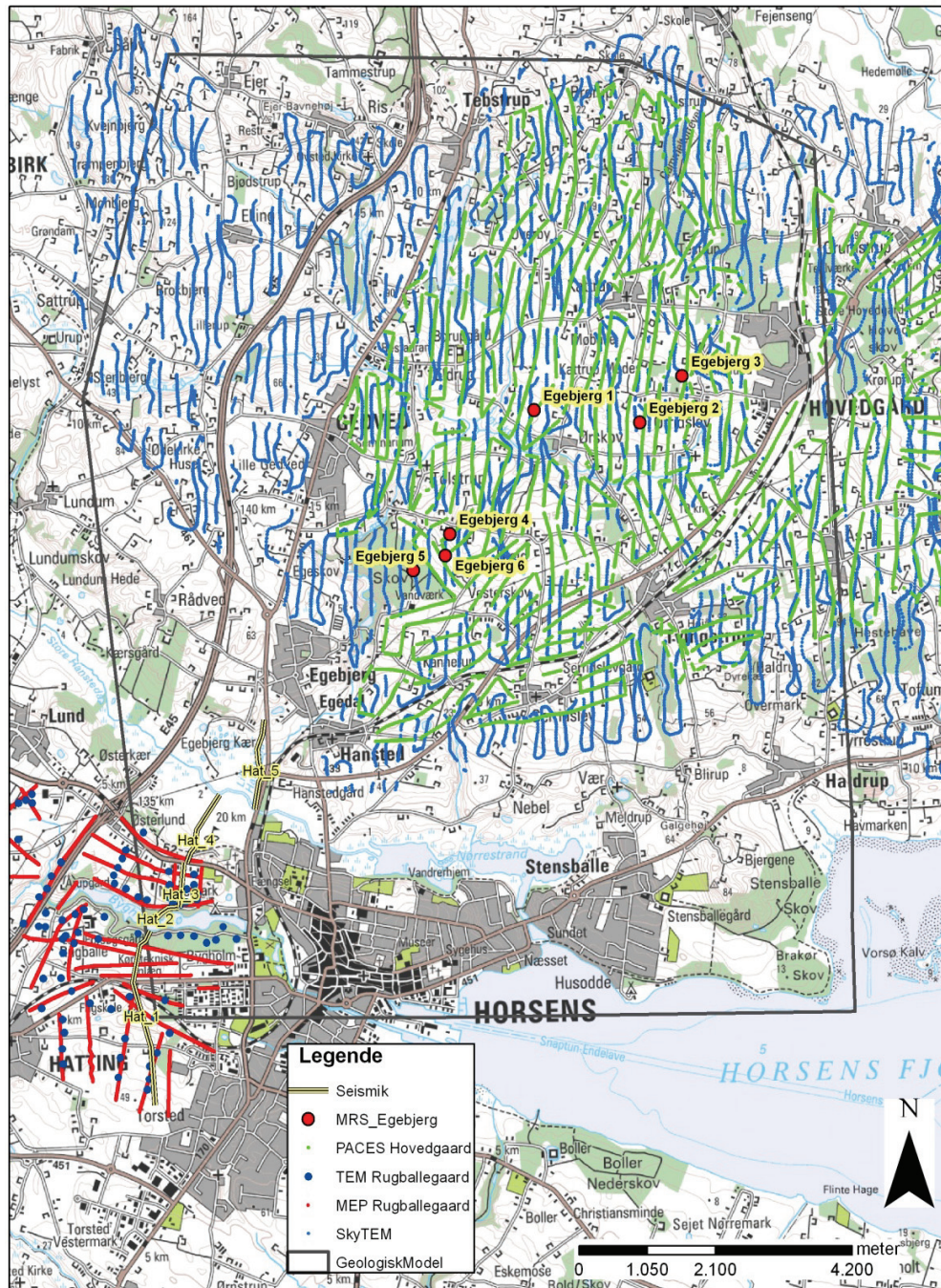
Naturstyrelsen Århus har i projektperioden lavet 2 dybe undersøgelsesboringer i området (DGU nr. 107.1567 og 107.1568). GEUS har udført boringstilsyn, prøvebeskrivelse og indlæsning til Jupiter. For begge boringer er der lavet geofysisk logging /6/.



Figur 2 Boringer i modelområdet - vandværksboringer er vist med rød farve, de to nye undersøgelsesboringer er vist med grøn farve, kalkboringen (DGUnr. 107.219) med lys grøn og de øvrige boringer med blå farve.

4.2 Geofysiske data

Den geografiske fordeling af hovedparten af de geofysiske data er vist på Figur 3. Der er anvendt geofysiske data fra SkyTEM, TEM (40x40), MEP, PACES, Seismisk samt MRS. De geoelektriske data er listet i Tabel 4.1 i /4/ hvor projektidentiteten angives, hvilken metode der er brugt, samt indsamlingsperioden mm.



Figur 3 Geofysiske data i modelområdet.

4.2.1 SkyTEM

Der er fløjet SkyTEM i området, hvor det er tilstræbt at holde en afstand på ca. 150-200 m mellem flyvelinjerne. SkyTEM data er inverteret med LCI-metoden. Inden inversionen af data er der foretaget en udlugning af sonderinger med støj, hvilket betyder, at der stedvist inden for SkyTEM-områderne, er huller i data. Særligt omkring "kulturelle ledere", såsom vejanlæg, jernbane og højspændingsledninger er data sorteret fra. Ligeledes mangler der data i byerne, da der ikke er foretaget målinger her. Generelt er der en god datadækning, hvor der er fløjet SkyTEM. For yderligere informationer henvises til projektrapporterne. Sammen med borerer udgør SkyTEM-data det primære datagrundlag i forhold til de geologiske tolkninger.

4.2.2 PACES

Der er målt PACES (8 kanalslæb) i foråret 2009 i et ca. 63 km² stort område jf. Figur 3. Der er ca. 200 til 250 meter mellem profillinjerne og datadækningen vurderes generelt som værende god. PACES-data er anvendt til de terrænnære tolkninger og dermed modellering af sandets og lerets udbredelse helt oppe under terræn. PACES er anvendt ned til 15-20 meters dybde, og i niveauer herunder er SkyTEM-data tillagt størst betydning i forbindelse med den geologiske tolkning af geofysikken.

4.2.3 Seismik

Der findes to typer af seismiske data i eller tæt ved modelområdet: Olieseismiske data og grundvandsseismiske data. De olieseismiske data der findes fra området, er i forbindelse med projektet blevet indhentet fra GEUS' olieseismiske database. Der findes to linjer med forholdsvis god kvalitet (DNJ16 og 26), men disse forløber ikke direkte gennem modelområdet, men passerer tæt forbi vest herfor. Desuden findes en række meget gamle olieseismiske linjer (SSL6267) inden for selve området, men kvaliteten af disse er meget dårlig.

De grundvandsseismiske data er indsamlet af Århus Universitet for Vejle Amt i 2001. Der er tale om en enkelt linje bestående af flere sektioner i den vestlige del af modelområdet. Der er i /10/ foretaget afrapportering af denne seismik.

4.2.4 MRS

I 2009 har Rambøll udført 6 MRS (Magnetic Resonance Sounding) for Naturstyrelsen Århus /21/. MRS sonderingerne blev udført i et område ved Hansted skov og vest for Hovedgård.

4.3 Øvrige data

Øvrige data benyttet ved den geologiske modellering omfatter

- hydrokemiske data
- hydrogeologiske data
- laserscannet højdemodel
- jordartskort
- m.fl.

Se Kap. 6.5.

5. Beskrivelse af modelkoncept

5.1 Modelkonceptet – en kombineret voxel- og lagmodel.

For at imødekomme Egebjerg-Hovedgård-modelområdet komplekse geologiske opbygning, der bl.a. omfatter et komplekst system af begravede dale, forkastningszoner og glacialtektoniske elementer, er der blevet udviklet et 3D-voxel (**volumetric pixel**) modelkoncept. Modelkonceptet er løbende blevet udviklet og testet i forbindelse med opstillingen af den geologiske model i GS3D. Samtidig med modelarbejdet og til udviklingen af modelkonceptet er der blevet udviklet et voxel-modul i GS3D, der muliggør visualisering og redigering af voxler.

Erkendelsen af at modelområdet er gennemskåret af et kompliceret netværk af begravede dale og områder præget af glacialtektonik stiller særlige krav til både den geologiske modellering og til grundvandsmodelleringen. Grundvandsstrømningen i området er påvirket af de begravede dales udformning og sammenhænge, og da en meget stor andel af vandværkernes oppumpning af grundvand samtidig foretages i eller tæt ved de begravede dale, er det af stor betydning at de begravede dales udformning og sammenhæng modelleres så godt som muligt. Resultaterne af strømningsmodelleringen er således afhængige af at dalene bliver detaljeret og korrekt rumligt modelleret. En rumlig geologisk modellering af flere generationer af begravede dale, der hver især indeholder adskillige faser af både erosion og aflejring, er vanskelig at udføre med de traditionelt anvendte arbejdsgange. Udredningen af områdets geologi er derfor grebet an på en alternativ måde som er tilpasset de ventede udfordringer.

Efter en workshop hvor geologien blev studeret i detaljer, blev der på denne baggrund truffet endelig beslutning om at modellen skulle opstilles som en kombineret voxel- /lagmodel. Nogle geologiske lag/strukturer, såsom toppen af det fede ler, kunne med fordel modelleres som sammenhængende lagflader, mens de begravede dale bedst kunne modelleres, visualiseres og forstås i et 3D-voxelgrid.

Modelkonceptet omfatter den del af modelarbejdet der vedrører den rumlige geologiske model og den hydrostratigrafiske model. Sidstnævnte benævnes den lithologiske model i voxel-modelkonceptet. Den rumlige geologiske model består af både lagflader og 3D-voxelgrid, mens den lithologiske model alene udgøres af 3D-voxelgrids.

Lagflader er modelleret med gridredigering samt punktolkning. Usikkerheder er tildelt på fladetolkningspunkt niveau. På samme vis er der udarbejdet et særskilt 3D-grid for usikkerheder på den lithologiske model.

Voxlerne håndteres i 3D Surfer grids (*.grd3) og kan i GS3D visualiseres i 3D, på profiler, samt i horisontale planer. Det fleksible modelleringsmiljø i GS3D giver rig mulighed for at visualisere voxler sammen med lagflader og alle de forskellige datatyper der er til rådighed.

Den rumlige dimension for hver voxel er 100 x 100 m i X- og Y-retningen og 5 m i Z-retningen. Med en lateral udbredelse på ca. 14 x 15 km og et vertikalt kotespænd fra 247,5

til 162,5 m giver det et 3-D voxelgrid bestående af ca. 1,5 mio. voxler (ca. 1,1 mio. voxler under terræn¹) organiseret i 83 voxel-lag. Filformatet for voxelgriddet kan eksporteres til en CSV-fil i GeoScene3D og efterbehandles i eksternt GIS-programmel.

En stor fordel ved 3D-voxelgriddet er at man kan importere det direkte til griddet i grundvandsmodellen med den samme diskretisering og derved bevare den lithologiske detaljeringsgrad i grundvandsmodellens geologiske grid² – mere herom i Kap.13 der omhandler overdragelse af den lithologiske model til grundvandsmodellen.

5.2 Geologisk forståelsesmodel

Den geologiske forståelsesmodel følger anbefalingerne i /2/ og er beskrevet i /4/. Modeltrinnet er ikke beskrevet i nærværende rapport, men der er indledningsvis givet et kort review af trin 1 rapporten i Kapitel 3.1.

5.3 Rumlig geologisk model – definition og formål

Den rumlige geologiske model er en stratigrafisk 3-D model, hvor den geologiske historie for modelområdet er i fokus. Modellen er opbygget af et 3D-voxelgrid kombineret med punktsværme der repræsenterer laggrænser, og som efterfølgende er kontureret til flader. Geologiske elementer, såsom strukturer og stratigrafiske grænser, er modelleret og opdelt med hensyn til deres oprindelse. I modellen indgår laggrænser for Top Kalk, Top Palæogen, Miocæne laggrænser, kvartære laggrænser, en gennemgående erosionsflade og en interglacial enhed. Begravede dale er modelleret i voxelgriddet og udpegning/afgrænsning af glacialtektoniske områder og forkastningszoner er medtaget.

Ved at modellere de begravede dale i 3D, og ved at studere dalenes udformning og hvorledes de gennemskærer hinanden, har det været muligt at inddele de begravede dale i aldersgenerationer.

En tilgang til en kvalitativ vurdering af usikkerheden på (subjektive) fortolkninger /9/ er brugt, og usikkerheder er tildelt hver punkttolkning med henblik på at dokumentere og visualisere modellens usikkerheder. Usikkerheden er bl.a. anvendelig i forbindelse med den efterfølgende implementering af modellen i en numerisk grundvandsmodel. Den beskrevne metode for at beskrive usikkerhederne er også anvendt i voxelmodellen og beskrives mere udførligt i Kapitel 5.9.

¹ I grundvandsmodellen inaktiveres alle voxler over terræn. Det samme gør sig gældende for de voxler der befinder sig under den fastlagte bund i grundvandsmodellen.

² MikeSHE opererer med et geologisk grid med samme diskretisering som i den geologiske model, og et grovere beregningsgrid hvor de hydrauliske parametre for hver gridværdi (voxel) kan tildeles som en middel af strømningsparametre for de forskellige lithologier.

Ud over modellering af de begravede dale i 3D-voxelgriddet, er den rumlige geologiske model langt hen ad vejen sammenlignelig med modeltrin 2 som det er beskrevet i GeoVejledning 3 /2/.

5.4 Lithologisk model – definition og formål

I modsætning til den hydrostratigrafiske model /2/ der består af tolkede og sammenhængende flader, der dækker hele modelområdet, består den lithologiske model udelukkende af "linkede" 3D-voxelgrids³. Betegnelsen "hydrostratigrafisk" er derfor upassende til en voxelmodel da den ganske enkelt ikke indeholder stratigrafiske flader, men til gengæld består af et grid af voxler der i teorien alle kan antage sin helt egen individuelle lithologi eller anden beskrevet parameter, f.eks. usikkerheder.

Det ene voxelgrid består af voxler som er tildelt en attribut-værdi, der kobler voxlen med et beskrivende symbolnavn for den lithologi som voxlen repræsenterer. Og det andet er tildelt en attribut-værdi der kobler voxlen med en anslået usikkerhedsvurdering for de pågældende voxler.

Den lithologiske model inddeler jorden i lithologiske enheder uden at sondre mellem den genetiske dannelse af enheden for f.eks. forskellige sandlag i kvartæret. Der er således lagt stor vægt på at vise den fysiske beliggenhed af bjergarterne. Den er som den hydrostratigrafiske model baseret på tolkningerne i den rumlige geologiske model.

Den hydrostratigrafiske model er målrettet grundvandsmodelleringen og har fokus på jordens hydrauliske egenskaber. Den inddeler jorden i hydrostratigrafiske enheder, der er karakteriseret ved at have ensartede hydrauliske egenskaber; i princippet uden oplysninger om jordlagenes lithologi.

Den lithologiske model er ikke på samme måde endegyldigt målrettet grundvandsmodelleringen, idet den fokuserer på lithologiske enheder. Imidlertid er de hydrauliske egenskaber tæt knyttet til lithologien, så ved at viderebringe den lithologiske (mere grundlæggende) information til grundvandsmodellen opnås der en bedre sammenknytning mellem de to modeltyper.

I Kapitel 10.6 beskrives det hvordan de hydrauliske parametre indledningsvist er tildelt de lithologiske enheder.

Den lithologiske model skal, i så stort omfang som data og geologen formår det, afspejle den lithologiske sammensætning i modelrummet, og er som den hydrostratigrafiske model tolket ud i hele modelrummet. Den lithologiske model er digital og udgør grundlaget for grundvandsmodelleringen og bliver benyttet videre i grundvandssmodellen. I grundvands-

³ Linkede 3D-grids giver mulighed for at udvælge og redigere i to eller flere 3D-grids samtidigt, og anvende forskellige symbolister for de forskellige grids. I det ene grid kan man således modellere lithologi samtidig med, at man tildeler en valgt usikkerhed for de tilsvarende voxler i det andet grid.

modellen beregnes de hydrauliske parametre for de lithologiske enheder ud fra tilpasninger til de hydrologiske data.

Der er anvendt samme tilgang for usikkerheder på voxler som for punkttemaerne i den rumlige geologiske model /8//9/. Den beskrevne metode beskrives mere udførligt i Kapitel 5.9.

5.5 Forskelle i forhold til standard for geologisk modellering

Fremgangsmåden med en 3-trins strategi for geologisk modellering /3/ sikrer en grundig datafortolkning, og sikrer at man tilgodeser det potentiale der ligger i data, så der opnås en fuld forståelse for den geologiske historie i området. Med en 3-trins fortolkningsprocedure opnår man at modellerne i højere grad forberedes til senere anvendelse, både i forbindelse med numeriske grundvandsmodeller og i forbindelse med senere genanvendelse af modellen i nye projekter. Modelkonceptet for den kombinerede lag- /voxelmodel er tilpasset så det læner sig op af de 3 trin i GeoVejledning 3. Den kombinerede lag- voxelmodel består af:

1. Den geologiske forståelsesmodel, som defineret i Geovejledning 3.
2. Den rumlige geologiske model - kombination af lagflader og voxler, der kun er tolket og modelleret i områder, hvor der er datadækning til det.
3. Den lithologiske model – der er tolket og modelleret ud i hele modelområdet, indbygget et "bedste gæt" i områder med dårlig datadækning.

3D geologiske modeller beregnet til hydrogeologiske formål har traditionelt været opbygget som "lagkagemodeller" hvor de geologiske lag er blevet defineret som det volumen der er defineret mellem to grænser eller overflader. Hvert lag i modellen er derfor typisk defineret af mellemrummet mellem to flader. Sådanne modeller står over for nogle kritiske begrænsninger i områder med kompleks geologi hvor variationer kan være vanskelige eller umulige at modellere /22/. Geologien i Danmark er sjældent organiseret som lagdelte medier, og kan derfor ikke til fulde beskrives i en lagmodel, hvorfor voxel-modellen er interessant idet der ikke ligger nogle geometriske begrænsninger i forhold til lagenes 3-dimensionelle kompleksitet. Udfordringen er at tilgodese den heterogenitet der findes i geologien til et omfang, der tilfredsstiller de krav der stilles i forbindelse med den numeriske modellering af vandets strømningsveje. En måde at gøre dette på er at udføre voxel modellering /22/.

Når man anvender voxler, vil det medføre at der indbygget eksisterer en teknisk usikkerhed på lagflader på en ½ voxeltykkelse samt en halv voxel i horisontal udbredelse. For Egebjerg modellen vil det sige henholdsvis 2,5 meter i vertikal retning og 50 m i horisontalplanet.

5.6 Principper for punkttolkning, interpolation og voxeltolkning

Punkttolkning og interpolation

Overordnet er punkttolkningen udført i henhold til GeoVejledning 3. De i denne model anvendte typer er:

- **Snappede fladetolkningspunkter:** Definerer en tolket position af en flade i rummet. Et snapped fladetolkningspunkt er tilknyttet et datapunkt eller -profil i modelrummet. Dette er typisk en laggrænse i en boring, i en geofysisk sondering eller på et seismisk profil.
- **Frie fladetolkningspunkter:** Definerer en tolket position af en flade eller et lag i rummet. Et frit fladetolkningspunkt har i modsætning til det snappede fladetolkningspunkt ingen præcis tilknytning til data, men afsættes typisk på et dynamisk vertikalt profilsnit eller et horisontalt kortsnit.
- **Støttende fladetolkningspunkter:** Definerer en tolket position af en flade eller lag i rummet. Et støttende fladetolkningspunkt er et frit fladetolkningspunkt der alene benyttes, hvis man i en senere fase ved interpolation ønsker at omdanne sin punktsværme til grids. Støttende fladetolkningspunkter anbringes på steder hvor man ønsker at styre sit grid på en forudbestemt måde. Sådanne punkter er kun benyttet i begrænset omfang i modellen.

Fladetolkningspunkterne er udført på dynamiske/flytbare profiler og punkterne er derfor ikke knyttet til faste vertikale profilsnit eller horisontale kortsnit. Selve punktsværmen af fladetolkningspunkter definerer laggrænsens tolkede udbredelse og tolkningens sikkerhed/usikkerhed i kraft af det tilhørende usikkerhedsgrid. Interpolation af fladen udføres med henblik på visualisering og formidling af lagernes udbredelse i rummet samt for eventuel efterfølgende udfyldning af voxler i det lithologiske grid, jf. Kap. 5.8.

Punktobjekter i GS3D håndteres bedst i en Access database hvor punktsværmen for hvert lag har sin egen tabel. Punktobjektet peger på tabellen i databasen, og der skrives direkte til tabellen under tolkning i GS3D.

Databasen, som indeholder punktemaer i Egebjerg-Hovedgård modellen, er navngivet XYZ_punkttemaer.mdb og i Tabel 2 er tabelnavnene i databasen angivet:

Tabel 2 Punkttemaer der indgår i den rumlige geologiske model med henvisning til tabelnavn i databasen for punkttemaer.

Punkttemaer i den rumlige geologiske model	Tabelnavn i Access databasen XYZ-punkttemer.mdb
Bund af Postglacial	PostglacialBund
Bund af smeltevandssand	BundDS
Bund af moræner	BundML
Top af smeltevandsler	TopDL
Bund af smeltevandsler	BundDL
En erosionsflade	Erosionsflade (ingen usikkerhed angivet)
Toppen af Interglacial enhed	TopInterglacial
Bund af Interglacial enhed	BundInterglacial
Toppen af Miocæn	TopMiocæn
Toppen af kvartssand	TopKS
Toppen af glimmerler	TopGL1
Toppen af Palæogen	SamletTopPal
Toppen af Kalk	TopKalk

Interpolationen til flader er udført i GS3D med Inverse Distance Weighting med en "exponent" på 2 og "smooth factor" på 0. "Search Ellipsis" er 500 m i både x- og y-retning, "Search Ellipsis Angle" er 0 i alle retninger. For TopKalk er søgeradius sat til 2500 m.

Principperne for voxelmodellering

På sin vis er selve principperne for den manuelt tolkede voxel model meget enkel, da den enkelte voxel er en repræsentation af en rumlig parameter tildelt geologen. Voxelmodellen giver mulighed for at arbejde med individuelt tildelte parametre for hver enkel voxel.

Voxel-modellen kan i højere grad modelleres med den detaljeringsgrad det påkræves for at tilgodese detaljeringsgraden i data, og for at opnå tilstrækkelig opløselighed af de geometriske former og parametre der indgår i modellen. En tilstrækkeligt detaljeret manuel tolkning og redigering af 3D-voxelgriddet er dog meget tidskrævende, og det blev undervejs i modelopstillingen erkendt at den manuelle modellering skal suppleres af "halvautomatiserede" udfyldningsmetoder, jf. Kap. 5.8.

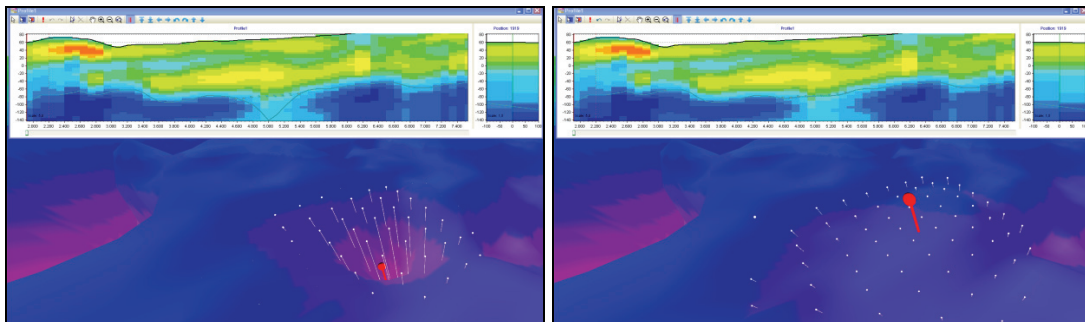
Der defineres 3D-grids som skal indeholde den modellerede lithologi og usikkerheder. Der defineres et basissæt af lithologier og usikkerheder. Lithologier suppleres undervejs, efterhånden som de erkendes.

5.7 Gridmodellering

Med henblik på at kunne udtrække og anvende koten for den gode leder som en repræsentativ laggrænse for toppen af palæogenet (se Kap. 9.2.3) har gridmodellering vist sig anvendeligt. Et modul i GeoScene3D gør det muligt at anvende forskellige værktøjer på den interpolerede gridflade. Redigering kan udføres såvel på profiler som i 3D, men det er nemmest at udføre selve redigeringen på profilet, samtidig med at man visualiserer redigerings konsekvenser i 3D. Der er mulighed for at midle med forskellige funktioner, lægge

kote-værdier til og trække fra den interpolerede lagflade. Med en prævisualisering af ændringen kan man først tilpasse fladen til den ønskede form i et "preview" og derefter eksekvere redigeringen, se Figur 4. Metoden kræver lidt tilvænning, men med metoden er det relativt hurtigt at gå den griddede flade igennem og manuelt tilrette fladen til tolkede laggrænser i andre typer data, f.eks. laggrænser i borer. Samtidig hermed kan man på en enkel måde rette uhensigtsmæssige artefakter fra interpolationen.

Den manuelle tilretning kan dokumenteres ved at trække det tilrettede grid fra det oprindelige interpolerede, således at man får et isopach-kort med forskellene på gridet før og efter gridmodelleringen i antal meter. Et sådant kort giver et fint overblik over hvor der er lavet manuelle tilretninger i gridet.



Figur 4 Præ-visualisering af gridredigering for top Palæogen vises til venstre. Til højre vises fladen efter redigering.

5.8 Anvendt voxel-tolkningsteknik

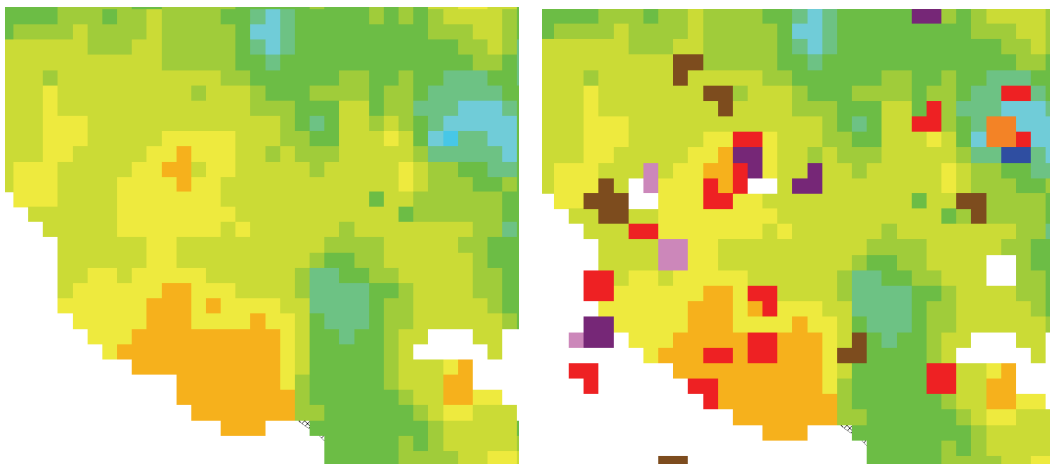
Som tidligere nævnt er Egebjerg-modellen den første voxelbaserede model der er opstillet i GS3D, hvorfor det har været nødvendigt løbende at udvikle en række værktøjer i takt med at behovet er blevet erkendt. Visualiseringsdelen i GS3D-miljøet giver mulighed for at bevæge sig rundt over alt i modelrummet og inspicere alle data, modelflader og grids fra alle tænkelige vinkler. Samtidig er der rig mulighed for at visualisere punkttemaer, planer, flader, 3D-grids og mange andre tematiske datatyper. Alt i alt stiller det modelløren i en gunstig position for at kunne lave en optimal model. Tilsvarende stiller den mangfoldige visualisering store krav til redigeringsværktøjerne som gerne skal kunne honorere modellørens ønsker til at redigere og tilpasse modellen efter den geologi, som erkendes i data.

Værktøjerne til punktolkning har været en del af GS3D et stykke tid, og har efterhånden nået et højt niveau med god praktik i den faktiske udførelse samt rige muligheder for at dokumentere og knytte metadatabeskrivelser til de enkelte punkter. Til gengæld er voxelmodulen, som nævnt, delvist udviklet i forbindelse med Egebjerg-modellen og er stadigvæk i den indledende fase, og der er fortsat behov for videreudvikling af modulet. Nedenfor demonstreres blot et par stykker af de anvendte metodikker til tolkning og redigering med voxler.

Primære tolkningsmetoder

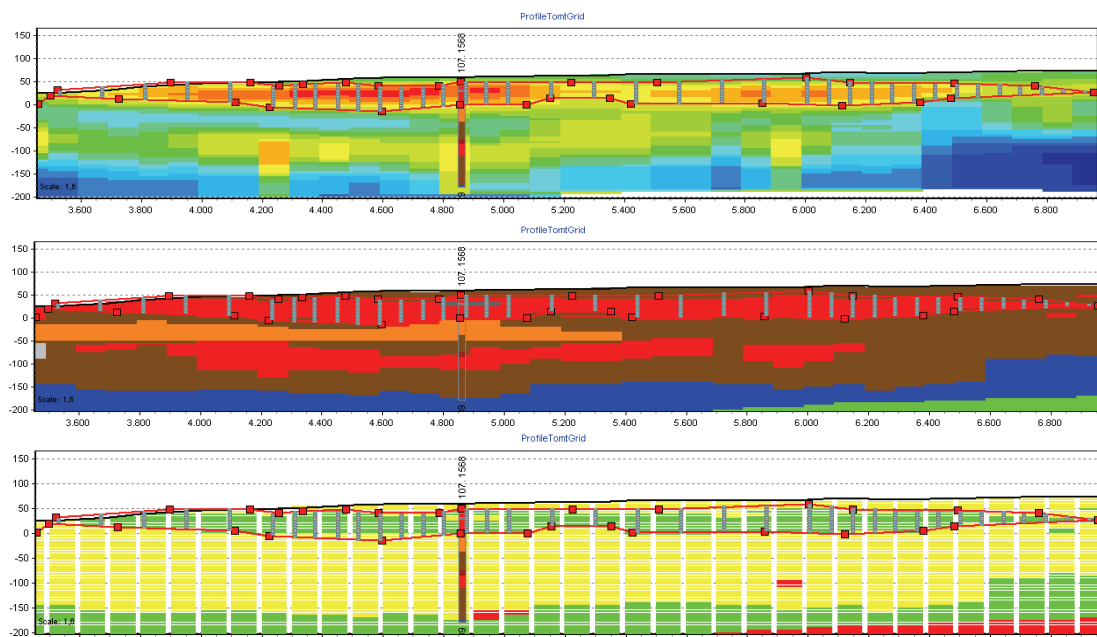
De to primære tolkningsmetoder, der har været anvendt til at udfylde 3D voxelgriddet, er tolkning i kortudsnit i horisontalt plan samt i profilsnit.

- På Figur 5 vises et stakket SkyTEM-grid sammen med et boringsgrid i kortvinduet i GS3D (horisontale snit). I Egebjerg-modellen er der arbejdet i 5 meters intervaller svarende til modelgriddet. Der kan udvælges voxler vha. af polygonværktøjet i kortvinduet. Et 3D-boringsgrid hvor der interpoleres ud i afstande af 100, 200 meter fra boringene vises oven på resistivitetsgriddet i samme koteinterval som SkyTEM-griddet.
- På samme måde kan man visualisere data og udvælge voxler i profilsnit. I profilsnit er der dog også mulighed for at vise andre typer data såsom boringer og SkyTEM sonderinger på baggrund af GERDA og JUPITER databaser. Alternativt kan man anvende forskellige 3D-former (f.eks. ellipse eller box) til udvælgelsen af voxler, men disse metoder kræver lang tids indlæring for at få et godt udbytte.



Figur 5 SkyTEM resistivitetsgrid med boringsgrid lagt ovenpå til højre. Snittet i kote 42,5 i kortvinduet. Farveskala for boredata se Figur 16.

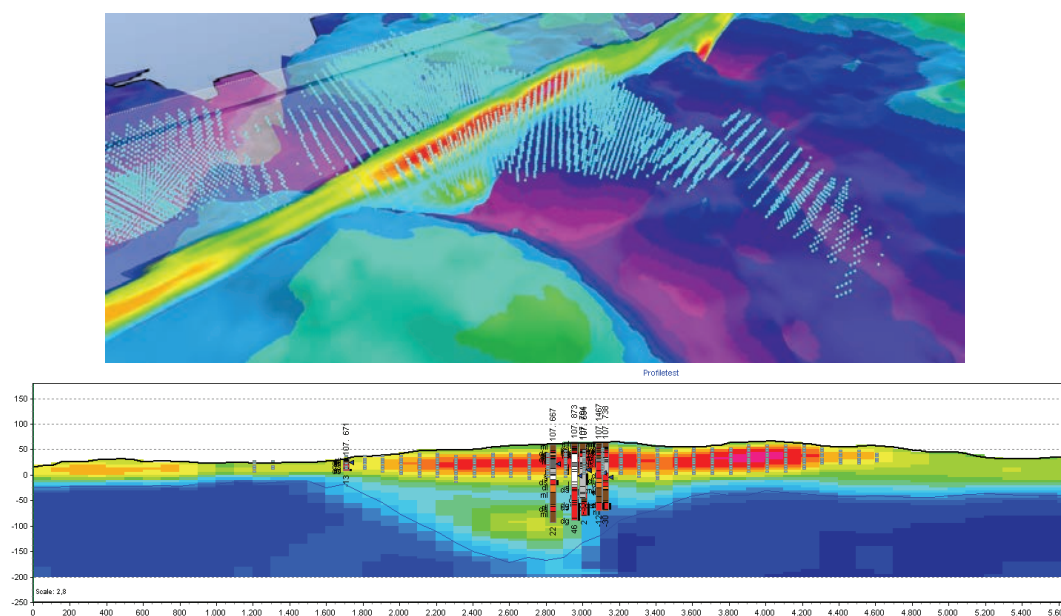
Bl.a. funktionen "linkede grids" udsprang af projektet og blev udviklet for at håndtere udvælgelse i flere grids samtidigt. Featuren er videreudviklet således at man i kortvinduet kan bevæge sig op og ned i valgfrie kote-intervaller, samtidig med at 3D-voxelgrids tilpasser sig de nye koter – dette gør tolkning i horisontalt plan muligt. For hele tolkningsmiljøet (3D, kortsnit og profiler) gælder at man har mulighed for at filtrere udvælgelsen på symbolværdier, intervalværdier for symboler, på regioner og lagflader, ligesom man også kan sætte et kriterium op for at man kun ønsker at udfylde tomme voxler – det sidste hindrer at man overskriver tidligere tolkninger, samtidig med at det letter udvælgelsen meget.



Figur 6 Øverste profil viser voxeludvælgelse med polygonværktøjet ud fra et SkyTEM 3D-grid og Jupiter-boringer, i midten er det modellerede lithologiske grid vist og nederst vises usikkerhedsgriddet (på Figur 9 Symbollisten for usikkerhedsgriddet ses farveskalaen for usikkerhed).

Region grow

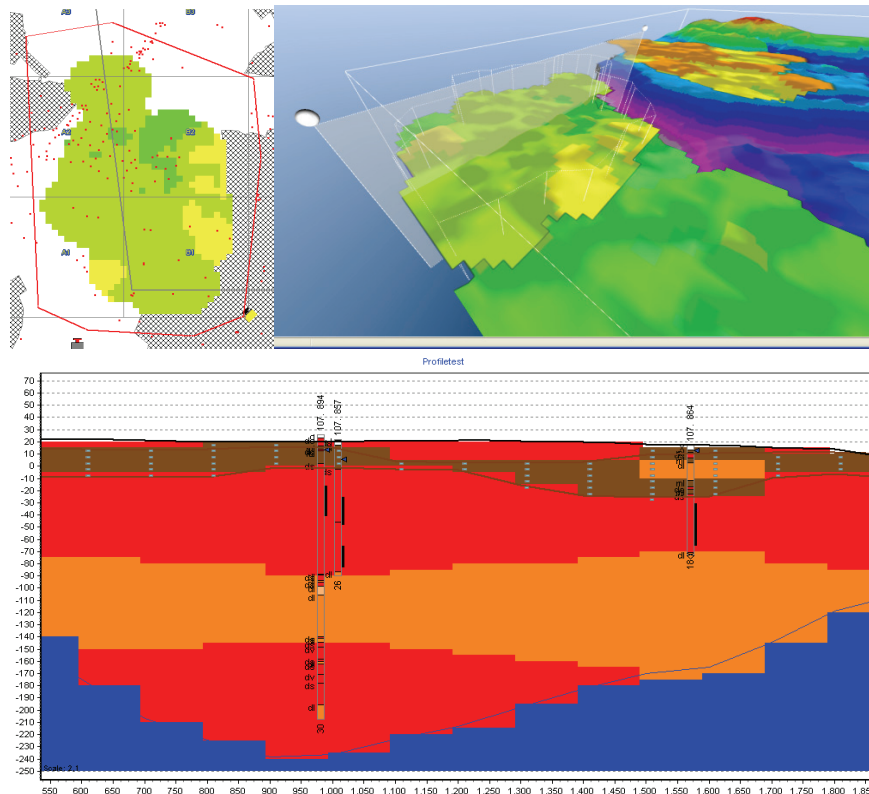
Et eksempel på udvælgelse af voxler med "Region grow" værktøjet er vist i Figur 6 og Figur 7. Metoden er her blevet anvendt til at udvælge voxler ud fra skæringsniveauer i resistivitetssgrids. Samtidig hermed udvælges de tilsvarende voxler i det/de linkede grids hvorefter man kan stemple de udvalgte voxler med den ønskede lithologi og med en vurderet usikkerhed i et andet grid. Metoden kan anvendes på alle typer af data i 3D-grids. Værktøjet er blevet udviklet meget sent i modelleringsprocessen, men har forøget hastigheden for den resterende modellering adskillige gange.



Figur 7 Eksempel på udvælgelse af voxler i et resistivitetgrid vha. "region grow"

Lagflader og voxelmodellering

Anvendelse af lagflader til voxel modellering er anvendt i nogle områder hvor der ikke findes fladedækkende SkyTEM-data. Figur 8 viser hvorledes moræneleret i det sydvestlige område er blevet modelleret. Lagflader er anvendt til at afgrænse top og bund af moræneleret, mens en region håndterer den horisontale afgrænsning jf. 3D-billedet. På profilsnittet kan man se de forud valgte voxler med turkise prikker. Det brune moræneler er den tolkede enhed.



Figur 8 Udvælgelse af voxler ved hjælp af lagflader.

5.9 Principper omkring usikkerheder

De benyttede principper for usikkerheder følger beskrivelserne i GeoVejledning 3 /2/ og /9/. Der skelnes mellem arbejdet i den rumlige geologiske model og i den lithologiske model. I den rumlige geologiske model opereres i udgangspunktet med 2 usikkerheder: middelsikker og sikker. Er usikkerheden stor (dvs. i kategorien "usikker") i et givent område, er der ikke modelleret. Dog er kategorien "usikker" taget i brug ved modellering af flere af lagfladerne, hvilket betyder at der i den rumlige geologiske model nogle steder er modelleret i usikre områder. Dette er gjort for at få skabt nogle lagflader til brug ved voxeludvælgelse i den lithologiske model. I den lithologiske model opereres altid med 3 usikkerhedskategorier: usikker, middelsikker og sikker, se i Figur 9.

1	Sikker	0	255	0		Sikker
2	Middel	255	255	0		Middelsikker
3	Usikker	255	0	0		Usikker

Figur 9 Symbollisten for usikkerhedsgriddet

I Tabel 3 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/koordinat, datausikkerhed, usikkerhed på elementets eksistens, eller f.eks. på om elementets oprindelse er korrekt angivet.

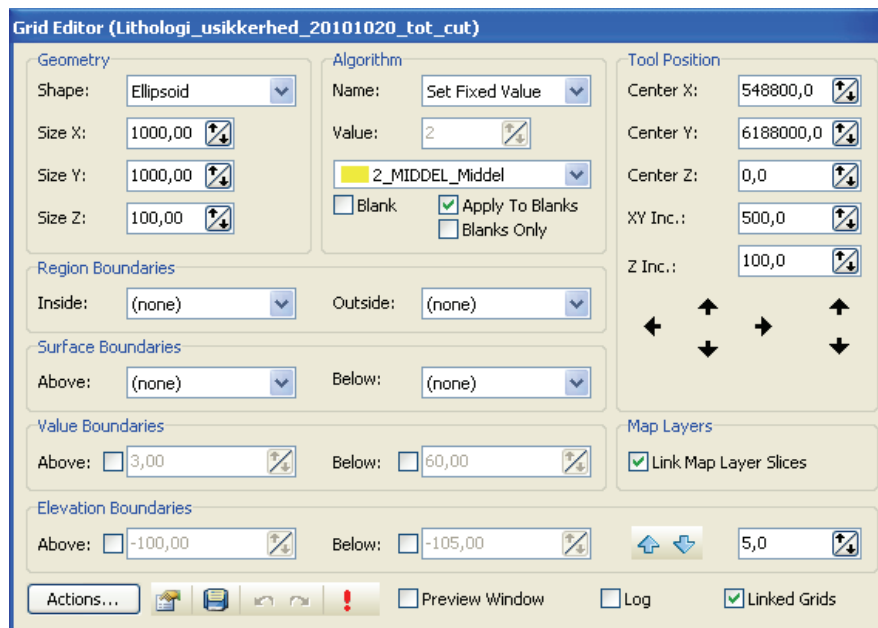
Usikkerheden skal viderebringe information til de fagfolk der bruger og arbejder videre med den geologiske model. F.eks. kan grundvandsmodelløren, der ikke kan få trykniveauer til at passe i et område, hente ekstra information om hvor robust geologen mener, at den opstillede geologiske model er.

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

5.10 Udvikling af GeoScene 3D som en følge af projektet – en kortfattet beskrivelse

For overhovedet at muliggøre 3D-voxel modellering i GeoScene 3D, har det været nødvendigt samtidig med modelleringen at videreudvikle det voxel-modul, som ved opstarten af projektet kun forelå i en meget rå udgave. I dag er modulet et avanceret værktøj der indeholder en bred vifte af metoder og faciliteter for redigering af 3D-grids. Der er fortsat behov for yderligere forbedringer, men med de features der i dag findes i editoren, er der god mulighed for at opnå et effektivt og tilfredsstillende modelleringsforløb. Menuvinduet er vist på Figur 10.



Figur 10 Grid Editor vinduet som det ser ud i dag.

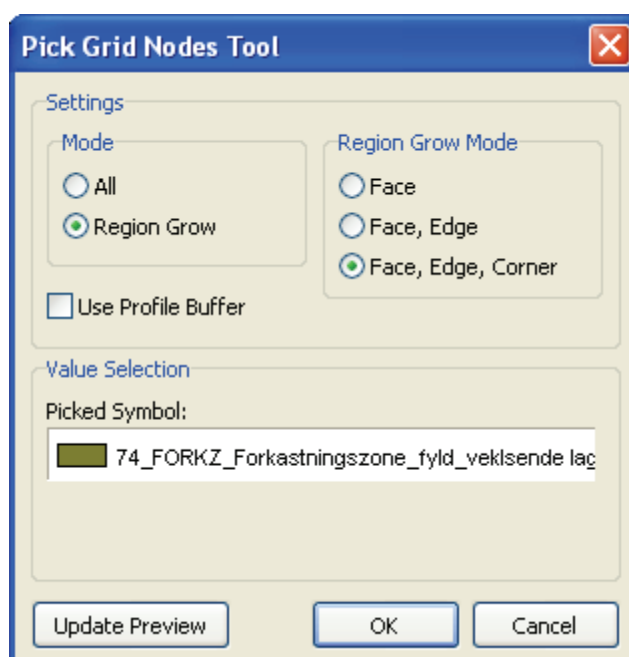
I det følgende nævnes blot nogle få af de features der løbende er udviklet af I-GIS:

- Linkede grids gør det muligt at lave "tvillinge" 3D-grids som kræver identisk afgrænsning og diskretisering. Der kan være flere grids linket. Idéen med featuren er at der i et grid foretages en udvælgelse, hvor efter de voxler der har identiske placeringer bliver valgt i de linkede grids, hvis disse er aktiveret. Der kan anvendes individuelle symbolister for hvert grid, således at et grid f.eks. indeholder lithologi, mens et andet indeholder usikkerheder. De linkede grids symboler angives ud fra et vindue som vist på Figur 11. Vinduet er kun vist når featuren er aktiveret. Uden denne feature kan man ikke håndtere usikkerheder i særskilte 3D-grids.
- Med "Link map layer slices" aktiveret kan man tolke inden for definerede koteniveauer. I kortvinduet vises 3D-grids med visning af de definerede koteintervaller. Det giver en fleksibel manøvrering i 3D-griddet når man tolker i horisontalt plan og bevæger sig trinvist op igennem lagserien. Trinnene tilpasses den vertikale diskretisering for 3D-griddet, f.eks. et stacket SkyTEM grid i 5 meters intervaller.
- "Value boundaries" styrer hvilke voxler man kan overskrive på baggrund af attributværdien for f.eks. usikkerhed, genetisk element, lithologi, etc.
- "Blanks only" forhindrer at man overskriver allerede tolkede voxler
- "Pick value eye dropper" er et værktøj der ændrer symbolværdien til den symbolværdi man klikker på første gang.
- "Region grow mode" er en funktion der udvælger voxels ud fra skæringsværdier for værdier i griddet. Afgrænsningen kan også styres ud fra forskellige definitioner af fysisk kontakt (hjørne, kant, flade) til nabovoxlen. Udvælgelse kan anvendes via linkede grids
- Voxler kan vises som en procentandel af den fulde størrelse i profilvinduet. Det giver mulighed for at vise flere voxel grids ovenpå hinanden i profiler. F.eks. resistivitetsgrids som baggrund, og et aktivt lithologigridd der tolkes i.

- "Pick voxels region" betyder at man kan klikke på én voxel, hvorefter alle voxler med samme symbol værdi vælges.
- Kobling mellem visning af 3D-grids i 3D og kortvindue.



Figur 11 Linkede grids gør samtidig udvælgelse af voxler fra forskellige grids mulig. På denne måde kan man tildele usikkerheder i et linket grid, samtidig med at man tolker geologi i et andet.



Figur 12 Editor vindue for Pick Grid Nodes Tool

Foruden videreudvikling af voxelmodulet er der fundet en række bugs af varierende betydning, og som løbende er blevet rettet af I-GIS. Flere af disse har været essentielle for at man kan anvende modulet. F.eks. har symbolisterne rullet når man starter en redigering, hvorved det ikke var muligt at angive den ønskede symbolværdi. En anden bug har forhindret aktivering af linkede grids (i dette projekt usikkerhedsgriddet) der medførte mangelfuld og forkert angivelse af usikkerheden.

6. Forberedelse og anvendelse af de enkelte datatyper

6.1 Boredata

Boredata fra Jupiter udgør det mest grundlæggende datasæt i modellen. Såfremt boringerne er af god kvalitet og udført optimalt, og hvis boreprøver er korrekt beskrevet, viser boredata den mest "sande" beskrivelse af de geologiske forhold ved prøveudtagningsdybden. Boredata kan derfor nogle steder bruges som "sande data", hvorfra modellen ikke kan/må afvige og i forhold til hvilke, de øvrige data skal tolkes. I GeoVejledning 3 /2/ er forhold omkring kvalitet af boredata beskrevet. Forhold som boremetode, formål, alder, brøndborers omhyggelighed, prøvebeskriver og potentielle fejlkilder skal tages i betragtning når en borings boredata anvendes i den geologiske tolkningsproces. Desuden skal boredata vurderes op mod andre data således at der kan findes fejl i boredata, der i øvrigt ser troværdige ud. Det er meget vigtigt at tage disse forhold i betragtning for at kunne opstille en geologisk model af høj kvalitet. Ovennævnte betyder at boredata derfor ikke altid bliver betragtet som "sande", og at den geologiske model stedvist vil afvige fra boredata.

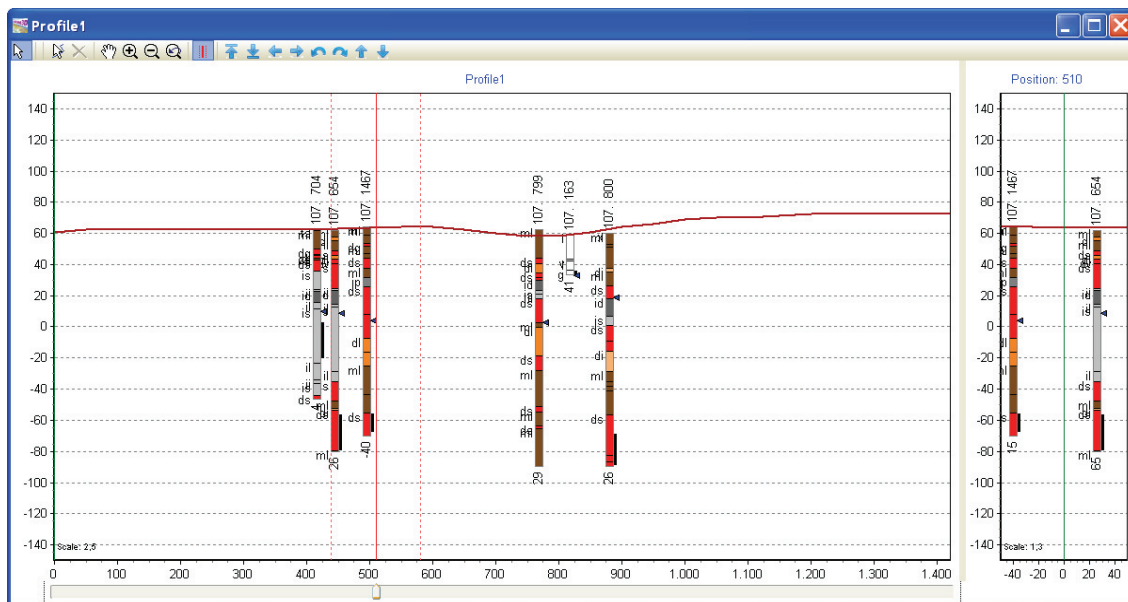
Det er en mulighed at opstille et kvalitetsindex for boringer på baggrund af forskellige parametre i databasen, og på den måde udføre en sortering af sine boredata. Herved får man automatisk frasorteret boringer af potentiel dårlig kvalitet, men en sådan fremgangsmåde vil samtidig uvægerligt medføre at også gode boredata bliver frasorteret, da en automatisk sorteringsproces ikke kan opstilles optimalt. Dette beror på at vurderingerne af ovennævnte forhold altid vil være subjektive. En automatisk sortering er nyttig hvis der skal spares tid og nøjagtigheden af modellen er nedprioriteret. Derimod kan der med fordel laves en subjektiv indexering af boredatakvaliteten hvor alle boringer gennemgås manuelt, og herefter kan der så gennemføres en frasortering af boringer af ringe kvalitet.

I modelområdet i dette projekt er mængden af boringer forholdsvis begrænset, og en frasortering er derfor ikke relevant. Der er i stedet valgt en fremgangsmåde hvor samtlige boringer i området medtages i tolkningsprocessen. Under selve tolkningsprocessen, både når det drejer sig om modelleringen af den rumlige geologiske model og af den lithologiske model, iagttages samtlige boringers boredata. Dette foregår på flere måder:

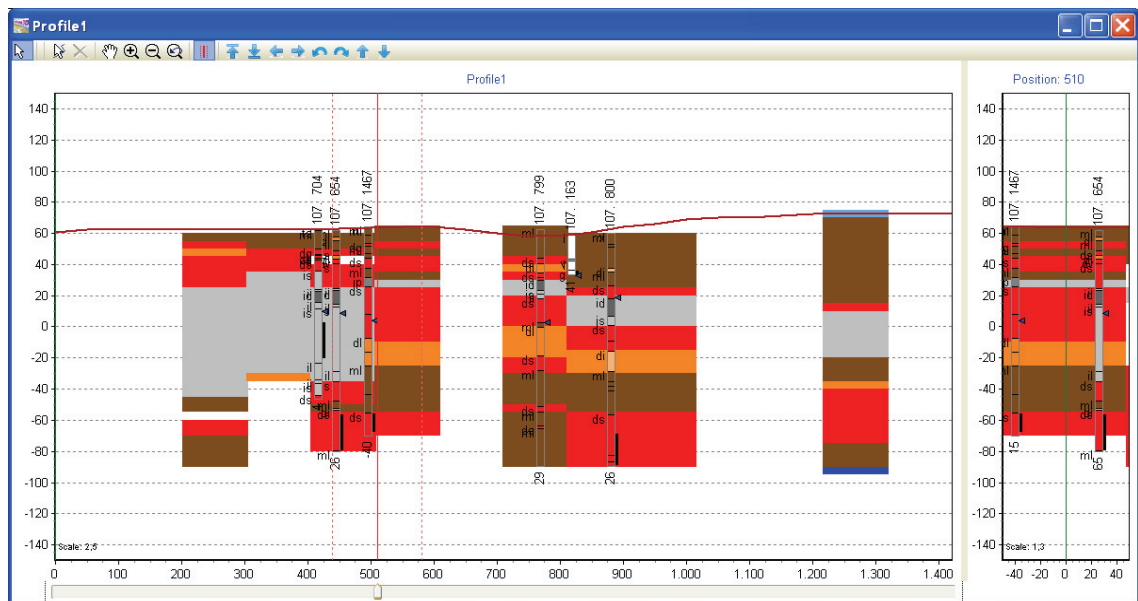
1. Der arbejdes med dynamiske profiler med en lille bufferzone svarende til den afstand profilet løbende forskydes horisontalt (offset). Normalt er der benyttet en offset på 100 m og en bufferzone på 50 m. Herved er det muligt at få visualiseret samtlige boringer uden at disse klumper nævneværdigt sammen. Hvis dette alligevel er tilfældet, er det lille tværgående profil blevet benyttet, eller alternativt er der benyttet zoom. Fordelen ved denne fremgangsmåde er at boredata beskriver lagfølgen meget tæt på profilet, da der i modelområdet er stor heterogenitet. Ulempen kan være at det er svært at få overblik over de mere overordnede geologiske forhold, da kun få boringer bliver visualiseret på profilerne. Sidstnævnte kan afhjælpes ved at have supplerende aktive profiler med større bufferzone, samt krydsende profiler som giver et bedre rumligt overblik. Endelig er visualiseringen i 3D-miljøet ble-

vet benyttet til at give et overblik over de rumlige forhold. På profilerne visualiseres lagenes symbolværdier med en farvekode, dvs. det pågældende lags dannelsesmæssige fortolkning, se Figur 13. Labels viser bogstavsymbolerne for lagene samt DGU nr. og projektionsafstand (lige under boringen). Desuden visualiseres filterplacering og vandspejl.

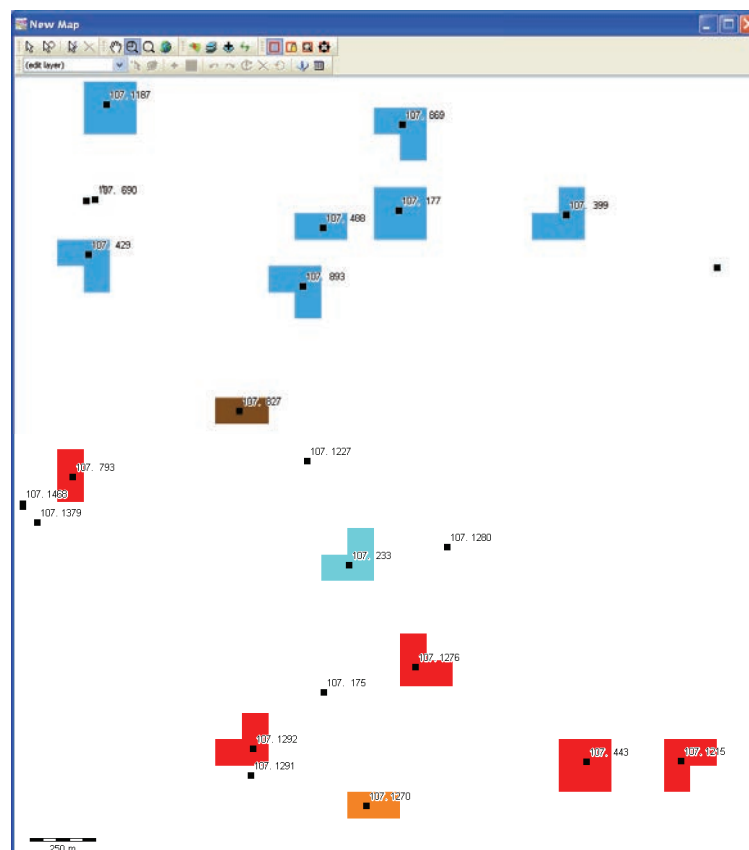
2. En anden måde at anvende boredata i modelleringsprocessen er ved hjælp af 3D grids. Sådanne er blevet udarbejdet i GS3D med forskellige søgeradier. Mest benyttet er en søgeradius på 100 m da det ikke er så ofte, at der ses mulig korrelation mellem borerne i området ud over denne afstand. Disse boringsgrids har identisk diskretisering med de øvrige 3D grids benyttet i projektet (100 m horisontalt og 5 m vertikalt). I Figur 14 ses hvorledes et 3D boringsgrid kan visualiseres.
3. Boringsgrids kan med fordel anvendes i det horisontale plan hvor de enkelte borerers gennemskårne lag visualiseres igennem griddet (se Figur 15). Boringsgrids er blevet benyttet til at opnå et overblik over sammenhænge i de geologiske forhold, men de er også blevet benyttet ved modelleringen af den lithologiske model. I GS3D kan grupper af voxler i boringsgriddet vælges (f.eks. en sammenhængende gruppe af voxler af smeltevandssand) og bruges som en rumlig afgrænsning ved udfyldningen af voxlerne i det lithologiske grid.



Figur 13 Eksempel på dynamisk arbejdsprofil med borer og uden øvrige data og fortolkninger.



Figur 14 Eksempel på visualisering af boredata ved hjælp af 3D grids med søgeradius 100 m. Samme profil som vist i Figur 13.



Figur 15 Horisontalt snit igennem boreringsgriddet (100 m). De gennemskårne lag i den valgte dybde vises i griddet.

For visualisering af boredata er GEUS' standard-farvekode for dobbeltbogstavssymboler i udgangspunktet anvendt, se Figur 16. Det vil sige at de prøver der har en tolket dannelse og alder (geologbedømte hos GEUS) er farvelagte, mens de lag der kun har enkeltbog-

stavssymbol ikke er farvelagte. Dette giver mulighed for at skelne geologbedømte lag/boringer fra ikke geologbedømte. For at kunne vurdere de ikke-geologbedømte lag/boringer, aflæses de tilknyttede labels på profilerne, se Figur 13.

Value	Code	Red	Green	Blue	Color	Text
4	b	0	0	0	Black	Brønd
5	bk	2	220	0	Green	Danien bryozokalk, koralkalk
12	d	120	120	120	Grey	Diatom + alt. (ikke postglaciale), døbes, besalt
13	dq	254	0	0	Red	Smelevandsgus
14	d	254	182	110	Orange	Smelevandssilt
16	d	254	133	25	Dark Orange	Smelevandsler
17	ds	254	0	0	Dark Red	Smelevandsand
18	ds	254	0	0	Dark Red	Voksende små smelevandslag
19	ds	254	0	0	Dark Red	Smelevandssten
24	ev	0	0	255	Blue	Eocen voksende små lag
26	fg	142	254	79	Light Green	Postglacial ferskvandsgus
27	f	2	220	0	Light Green	Postglacial ferskvandsilt
28	f	2	220	0	Light Green	Postglacial ferskvandsler
29	fp	2	220	0	Light Green	Postglacial ferskvandsgryde (inkl. diatom + gryde)
30	fs	142	254	79	Light Green	Postglacial ferskvandsand
31	ft	2	220	0	Light Green	Postglacial ferskvandstræv
32	fr	2	220	0	Light Green	Postglacial voksende små ferskvandslag
33	g	255	255	255	White	Grus, sand og grus
63	ks	0	254	254	Light Blue	Mocen kvartsand
35	g	0	210	254	Light Blue	Oligocen - mocen - pocen glimmerst, alt i vejefjord formationen
37	g	0	175	254	Light Blue	Oligocen - mocen - pocen glimmerst, ler i vejefjord formationen
39	g	0	254	254	Light Blue	Oligocen - mocen - pocen glimmersand, sand i vejefjord formationen
40	gv	0	230	254	Light Blue	Oligocen - mocen - pocen voksende små lag
41	hg	96	175	255	Dark Blue	Postglacial saltvandsgus
42	h	0	0	255	Dark Blue	Postglacial saltvandsilt
43	hl	0	0	255	Dark Blue	Postglacial saltvandsler
44	hp	0	0	255	Dark Blue	Postglacial saltvandsgryde (inkl. diatom + gryde)
45	hs	96	175	255	Dark Blue	Postglacial saltvandsand
46	ht	0	0	255	Dark Blue	Postglacial saltvandsræv
47	hr	0	0	255	Dark Blue	Postglacial voksende små saltvandslag
48	i	255	255	255	White	Silt
49	id	100	100	100	Grey	Interglacial ferskvandsdiatom + gryde, kedgur
50	ig	192	192	192	Grey	Interglacial ferskvandsgus
51	i	192	192	192	Grey	Interglacial ferskvandsilt
52	i	192	192	192	Grey	Interglacial ferskvandsler
53	ip	128	128	128	Grey	Interglacial ferskvandsgryde
54	is	192	192	192	Grey	Interglacial ferskvandsand
55	it	128	128	128	Grey	Interglacial ferskvandstræv
56	ir	192	192	192	Grey	Interglacial voksende små ferskvandslag
59	k	0	255	0	Light Green	Kalk, kvart, kalksten
64	l	255	255	255	White	Ler, mærgel
65	lk	2	220	0	Green	Danien skivekalk, slankalk
67	m	0	0	0	Black	Mud
68	mq	169	0	0	Dark Red	Morænegrus (gruset tå)
69	mr	200	145	51	Dark Red	Morænesilt (støvet tå)
70	ml	128	77	30	Dark Red	Morænesilt (støvet tå)
71	ms	169	0	0	Dark Red	Morænesand (vasket tå)
72	mv	169	0	0	Dark Red	Voksende små morænelag (tå)
73	mz	169	0	0	Dark Red	Morænesand (støvet tå)
77	o	255	255	255	White	Fyld
78	oi	0	210	254	Light Blue	Oligocen alt
79	ol	0	175	254	Light Blue	Oligocen ler
82	os	0	254	254	Light Blue	Oligocen sand
83	p	255	255	255	White	Gryde
86	l	0	0	255	Dark Blue	Eocen ler, Lillebælt ler, plæstet ler
87	pl	0	0	255	Dark Blue	Søanden ler, paleocen ler, Kerteminde Mærgel
98	rl	0	0	255	Dark Blue	Eocen Rørbues ler
101	s	0	0	255	Dark Blue	Eocen Savend Mærgel
92	qg	182	182	109	Light Green	Interglacial saltvandsgus
94	q	144	135	0	Light Green	Interglacial saltvandsilt
95	qp	182	182	109	Light Green	Interglacial saltvandsand
96	qv	144	135	0	Light Green	Interglacial voksende små saltvandslag
99	s	255	255	255	White	Sand
102	t	255	255	255	White	Tærv
103	tg	224	100	255	Light Green	Senglacial ferskvandsgus
104	s	142	0	179	Light Green	Senglacial ferskvandsilt
106	ts	142	0	179	Light Green	Senglacial ferskvandsler
107	tp	142	0	179	Light Green	Senglacial ferskvandsgryde
108	ts	224	100	255	Light Green	Senglacial ferskvandsand
110	u	255	255	255	White	Ler, sand og grus
112	v	255	255	255	White	Voksende små lag
125	yl	116	0	232	Dark Blue	Senglacial saltvandsilt
126	yl	116	0	232	Dark Blue	Senglacial saltvandsler
127	ys	194	134	255	Dark Blue	Senglacial saltvandsand
128	z	255	255	255	White	Plint, sten
129	zk	2	220	0	Green	Danien kalk, kalk og limt
130	zp	116	0	232	Dark Blue	Senglacial saltvandsgryde
131	vt	116	0	232	Dark Blue	Senglacial saltvandsræv

Figur 16 Anvendte farvekoder til visualisering af boredata.

Under modelarbejdet er boredata som nævnt visualiseret som stolper på profiler eller i 3D-miljøet (boringer med tom (nul) kote er "fittet" til terræn), eller via 3D grids på horisontale snit. Under selve modelleringsprocessen, imens området bliver systematisk gennemgået, inspiceres boredata direkte via link til Jupiters hjemmeside. Herfra fremvises boreprofil, yderligere data, samt ikke mindst brøndborerrapporten. Sidstnævnte udgør en væsentlig del af tolkningsgrundlaget for boringen. Særligt er det væsentligt at finde frem til eventuelle betydningsfulde fejkilder og fejltolkninger af prøver m.m. Der er dog ved en systematisk gennemgang af boredatabasen ikke fundet kritiske fejl ved boringer af nævneværdig betydning, se /4/. Hvor boredata alligevel afviger væsentligt fra den tolkede model er dette blevet noteret.

Der er udført geofysiske borehulslogs i de to undersøgelsesboringer i området. Logdata er ikke visualiseret i GS3D.

Boredata i modelområdet er af meget svingende kvalitet. Mange boringer er mangelfuldt beskrevet, og ca. 2/3 af alle boringer er af "dårlig" eller "meget dårlig" kvalitet ifølge /4/. Desuden er mange ikke særligt dybe (Bilag 8.5 i Trin 4). Der er en del DAPCO boringer i området, og disse er generelt ikke benyttet i tolkningerne. Dette betyder, sammenholdt med en spredt forekomst af boringer, at der er stor afstand mellem boredata af god kvalitet, og følgelig er korrelationer mellem lagene i boringerne svære at gennemføre.

6.2 SkyTEM og TEM

Udtræk af data og visualisering

SkyTEM-data er udtrukket af et af Naturstyrelsen Århus udleveret Workbench workspace. Dette workspace er udarbejdet af Alecia som har stået for den geofysiske tolkning af data /23/. Den udtrukne datafil (gerda20091027.fdb) er benyttet som den grundlæggende database for SkyTEM-visualiseringen i GS3D. Ved den geofysiske tolkning er der både udført en mangelagsversion og en fålagsversion. Mangelagsversionen består af 19 lag og fålagsversionen består af 4 lag. I databasen er der imidlertid ikke skelnet mellem disse to versioner, og for at kunne plotte hver version for sig er der i GS3D lavet to udtræk af samme database, hvori der i det ene udtræk kun udtrækkes mangelagsmodellerne, og i det andet udtræk kun udtrækkes fålagsmodellerne.

Da visualisering af SkyTEM-data er tungt og langsomt at arbejde med i GS3D, er der taget nogle forbehold. Visualisering af enkeltsonderinger er ikke foretaget i 3D-viewet. Disse er kun visualiseret i de flytbare arbejdsprofiler. Endvidere kan det være tungt at visualisere sonderingerne enkeltvis i lange profiler; særligt når der er tale om mangelagsmodeller. Det har dog generelt ikke været nødvendigt at arbejde med meget lange profiler. Der er tilstræbt en maksimal overhøjning i arbejdsprofilerne på 5x hvilket giver en profilængde på omkring 7 km på en 30" computerskærm. Problemet med tunge visualiseringer af SkyTEM er desuden også minimeret gennem brugen af 3D-modstandsgrids.

3D-modstandsgrids

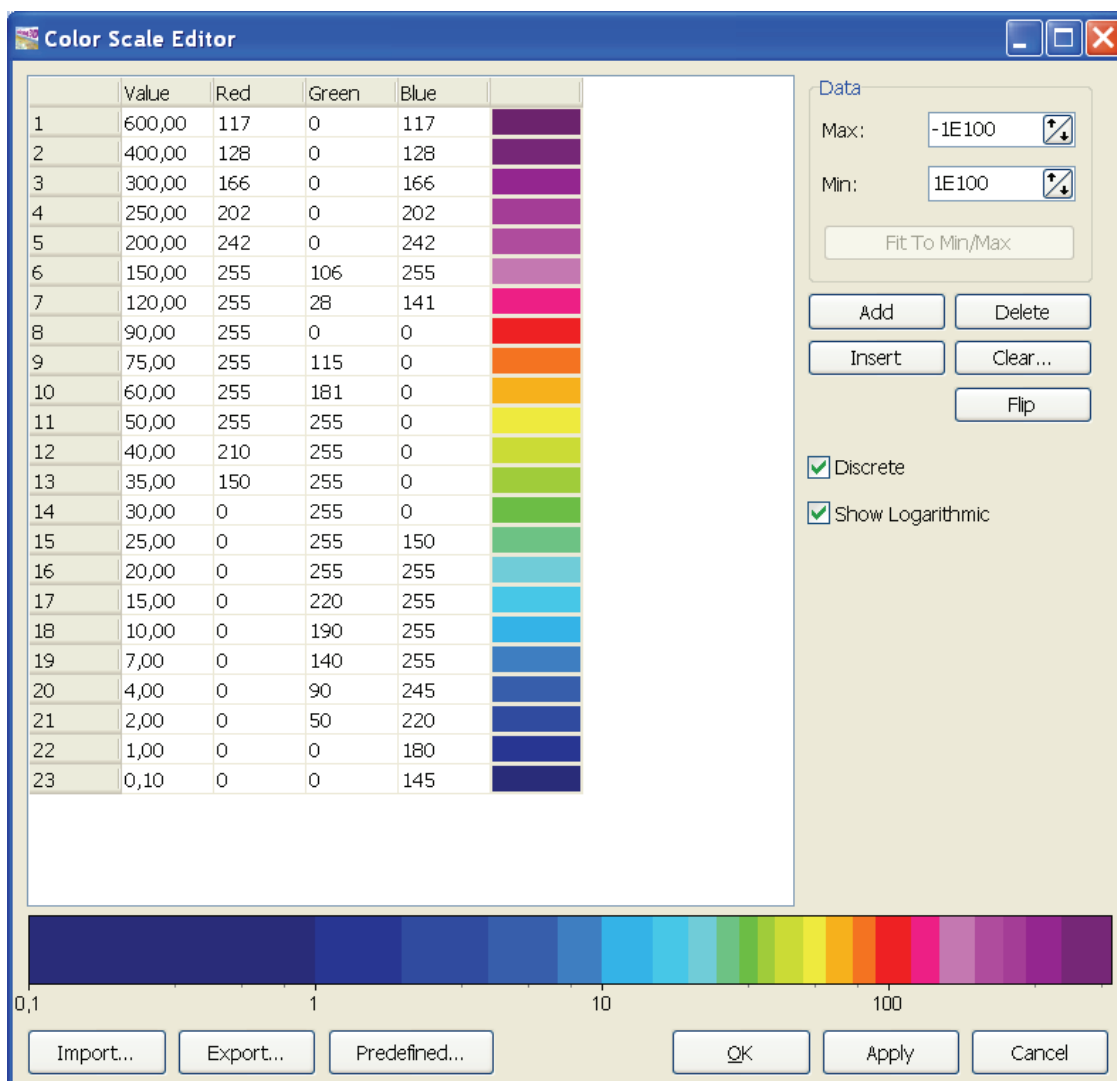
Der er udarbejdet 3D-modstandsgrids for både mangelagsversionen og fålagsversionen. Dette arbejde er gjort i Workbench og i GS3D. I Workbench er der først lavet et database-udtræk, hvorefter der er beregnet middelmotstande fra kote -200 m og op til kote 165 m med en vertikal diskretisering på 5 m. Der er anvendt vertikal modstand. Disse middelmotstande er efterfølgende blevet interpoleret ved brug af Inverse Distance med følgende settings: Cellestørrelse 100 m, søgeradius 500 m og power 2. Der er ikke anvendt "logarithmic data transform". Proceduren giver en serie på i alt 73 grids som derefter er blevet stakket til et 3D-grid i GS3D Toolbox. De udarbejdede 3D-grids har samme beliggenhed og diskretisering som modellens voxelgrids.

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 (se f.eks. Figur 35). Oven på de kontinuert visualiserede modstandsgrids kan andre data, f.eks. boredata (se f.eks. Figur 27) 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 ohmm.



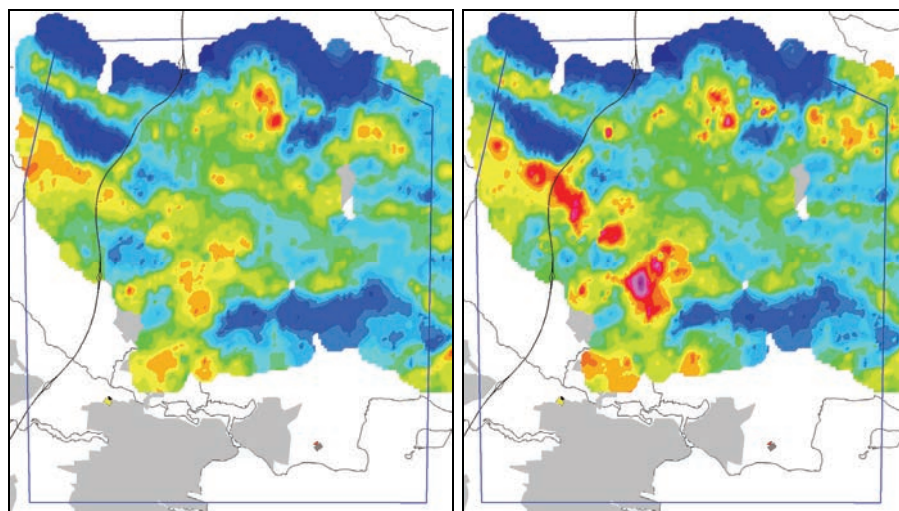
Figur 17 Farveskala benyttet ved visualisering af TEM-data, hvor "value" angiver modstand i ohmm.

Mangelag-fålag

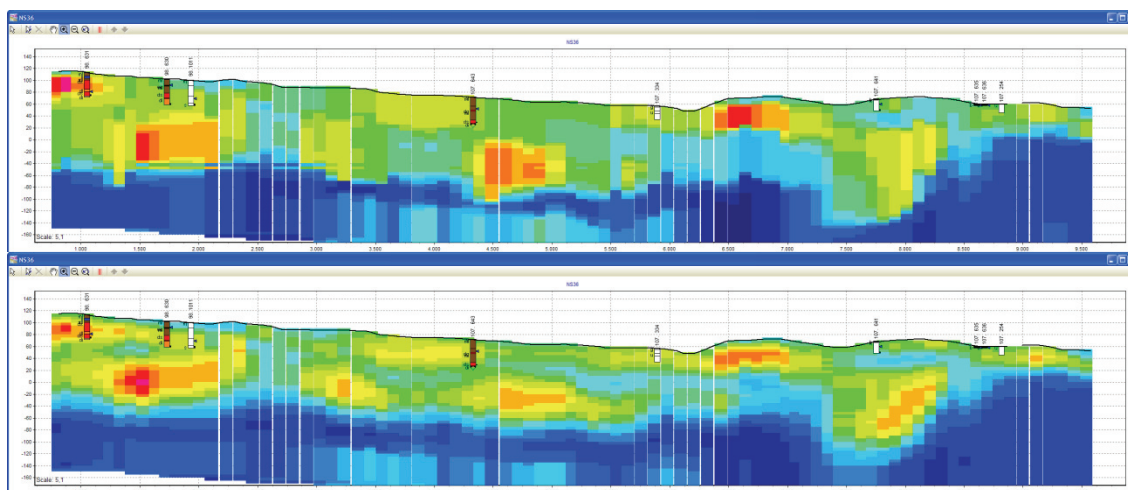
Som nævnt er der både produceret fålags- og mangelagsmodeller (se Figur 18 og Figur 19). Begge modeltyper er anvendt i modelopstillingen. Mangelagsmodellerne giver generelt bedre opløsning af rumlige variationer, og dermed opnår modelløren et bedre overblik over rumlige strukturers sammenhænge. Ulempen er at der i mangelagsmodellerne kun ses bløde overgange mellem lag, også selvom der eksisterer markante kontraster mellem tykke lag (f.eks. overgangen til Palæogenet). Til sådanne formål er fålagsmodellerne bedre, fordi der fås mere præcise bestemmelser af dybder og modstande.

I modelområdet ses der mange steder flere lag i mangelagsmodellerne end i fålagsmodellerne som begrænses ved kun at have 4 lag i modellen. Nogle steder kan data opløse mere end 4 lag, og her giver mangelagsmodellerne således flere informationer om lagfølgen. F.eks. ses der flere steder højmodstandslag i mangelagsmodellerne som ikke ses i fålagsmodellerne. Eksistensen af disse kan være usikker, men andre data kan i nogle tilfælde supplerende vise deres eksistens. Ligeledes ses kalken også bedst i mangelagsmodellerne idet der i fålagsmodellerne generelt ikke er nok lag. Palæogenoverfladen fremstår i modelområdet tydeligst i fålagsmodellerne, og udsøgningen af denne (se kapitel 9.2.3) er derfor foretaget på basis af disse modeller.

For at tilgodese ovennævnte og få et overblik over sedimenternes strukturelle sammenhænge, er der i modelarbejdet taget udgangspunkt i mangelagsmodellerne. Disse er visualiseret ved brug af modstandsgriddet med støtte af enkeltsonderingerne – som beskrevet ovenfor. Under tolkningsarbejdet er fålagsmodellerne løbende blevet konsulteret; typisk ved hjælp af enkeltsonderinger. Enkeltsonderingerne i fålagsudgaven kan bedre vise de præcise positioner af de laggrænser der modelleres, og nogle gange er værdier for modstandsniveauer også aflæst derfra. Ved denne fremgangsmåde er fordelene fra begge modeltyper udnyttet optimalt.



Figur 18 Forskelle på mangelags- og fålagsmodeller. Tilfældigt horisontalt snit gennem modstandsgriddet i samme koteinterval. Til venstre: Mangelagsmodel. Til højre: Fålagsmodel.



Figur 19 Forskelle på mangelags- og fålagsmodeller. Tilfældigt vertikalt snit gennem modstandsgriddet. Øverst: Fålagsmodel. Nederst: Mangelagsmodel.

6.3 Seismik

De seismiske data er gennemgået for brugbar information til brug i modellen. De to olie-seismiske profiler med forholdsvis god kvalitet (DNJ 16 og 26) viser geologiske strukturer fra dybder på mere end omkring 500 m. For de meget gamle olie-seismiske linjer (SSL6267) blev det ved gennemgangen konstateret at der ikke kunne uddrages nyttig information.

De grundvandsseismiske data er indsamlet af Århus Universitet for Vejle Amt i 2001. Der er tale om en enkelt linje bestående af flere sektioner i den vestlige del af modelområdet. Der er i /10/ foretaget geologiske tolkninger af denne seismik, og det er i høj grad disse fortolkninger der er benyttet ved modelarbejdet. Der er fremstillet billedfiler af de enkelte seismiske sektioner som er importeret og visualiseret i GS3D. Der er påført fladetolkningspunkter på profilet langs de modellerede lagflader.

6.4 PACES

PACES-data er udtrukket fra GERDA og vist i GS3D som enkeltsonderinger. Desuden er de behandlet på samme vis i Workbench som SkyTEM-data. Der er således efter samme koncept som ved SkyTEM produceret middelmodstandskort med 5 m koteintervaller, men for PACES er dette sket for koter mellem -5 og 125 m (fra 30 meters dybde på det sted, hvor PACES er målt lavest i terrænet og op til det højeste sted). Herefter er de blevet stakket i GS3D Toolbox til et 3D resistivitetsgrid. Dette grid anvendes i tolkningsarbejdet på samme vis som SkyTEM-resistivitetsgriddet.

For PACES-data er der anvendt en standard-farveskala for DC-data (<http://geofysiksamarbejdet.au.dk/>).

PACES-data er primært anvendt ved tolkningen af det lithologiske grid (Kap. 10). Her er der ved manuel gennemgang udført voxeltolkning på basis af 3D-resistivitetsgriddet under samtidig skelen til enkeltsonderingerne.

6.5 Øvrige data

6.5.1 MEP

MEP-data er udtrukket fra GERDA og visualiseret på profiler. Disse data forekommer i den sydvestligste del af området hvor modellen er opbyttet på baggrund af lagflader. Her er fladetolkningspunkter påført direkte på profilerne (dvs. MEP-data).

For MEP-data er der anvendt en standard-farveskala for DC-data (<http://geofysiksamarbejdet.au.dk/>).

6.5.2 Terrænmodel

Den laserscannede terrænmodel (DTM) er gennemgået for evt. at opnå yderligere information end der allerede er blevet uddraget fra ældre terrænmodeller /4/. På denne baggrund er der udpeget områder med kraftig glacialtektonisk deformation. Den oprindelige gridstørrelse er på 1,6 m og højdenøjagtigheden er på +/- 10 til 20 cm. Til den digitale model er griddet blevet interpoleret til et 100 meter grid, som svarer til den terrænoverflade, der anvendes i NOVANA DK-modellen. Dette sikrer at der er overensstemmelse terrænmodellerne imellem.

6.5.3 Jordartskort m.m

Information fra jordartskort er ikke endnu blevet medtaget i modelarbejdet. Dette vil kunne ske ved en manuel gennemgang af det lithologiske grid. Jordartskortet er dog indarbejdet som et øverste lag i grundvandsmodellen (se Kap. 13).

6.5.4 Hydrogeologi

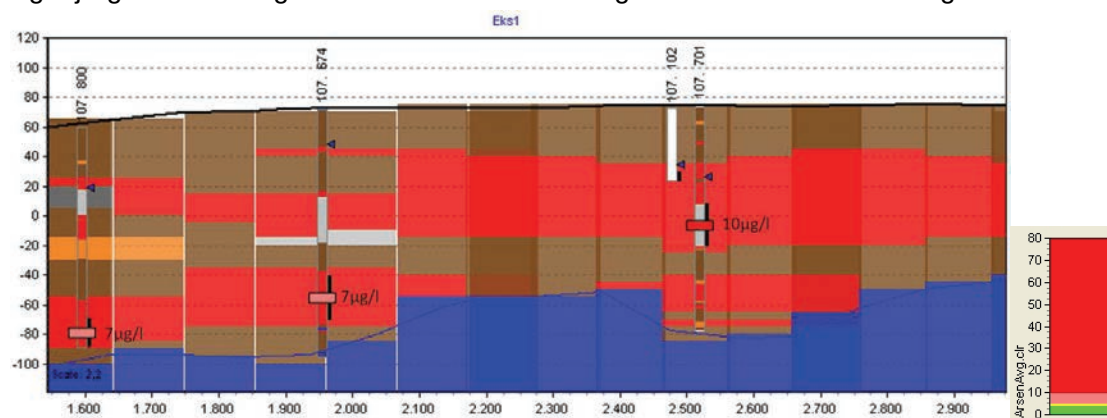
Foruden hydrologiske data fra diverse rapporter, er hydrologiske data fra Jupiter udnyttet ved modelleringen. Vandspejl og filterplacering er visualiseret på boringerne. Vandspejlsniveauer i forskellige boringer kan evt. give information om manglende sammenhænge mellem magasiner. Desuden er ydelsen i form af oppumpning og sænkning visualiseret; værdier som i kombination kan give information om magasiners størrelse og lithologi. Det aktive potentialekort /8/ og synkronpejlerunden for Solbjerg, Fillerup og Hovedgaard /2/ har været anvendt på profiler i GS3D samt til at generere et nyt potentialekort for området.

6.5.5 Hydrokemi

Hydrokemiske data er anvendt i modelarbejdet på følgende måder: Forskellige kemiske parametre, såsom vandtype, forvittringsgrad og arsenindhold i vandindvindingsboringer /4/ er anvendt for evt. at kunne se manglende sammenhænge mellem magasinlag. Dette har dog kun været brugbart i enkelte tilfælde idet der i området findes mange adskilte magasiner. Der er endvidere lavet udtræk for analyseresultater på nitrat, sulfat, arsen og klorid på indtagsniveau.

Værdierne kan visualiseres i GS3D som punkttemaer skaleret i farve og størrelse ud fra værdien for den pågældende parameter, jf Figur 20. Punkttemaerne er blevet inddraget hvor det er fundet relevant i forbindelse med den geologiske tolkning. Punkttemaerne findes i projektmappen ..\GS3D\Kemi\kemidata_egebjerg.txt, men er ikke indlæst i GS3D.

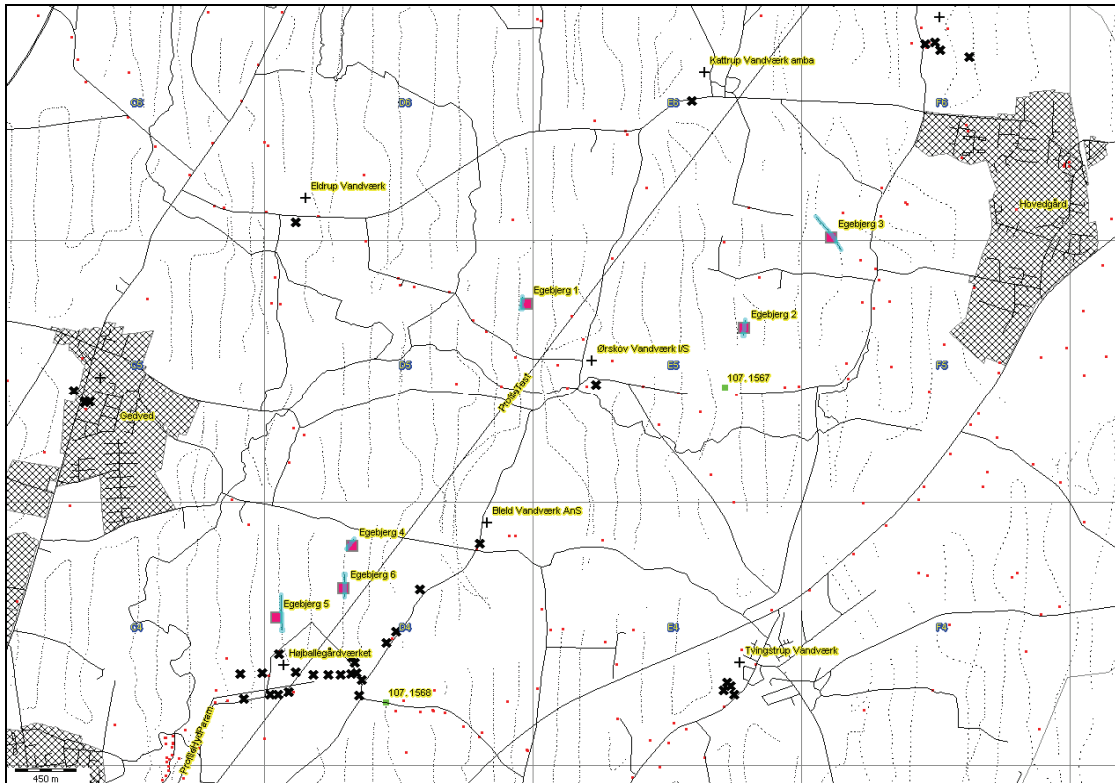
Dybden til redoxgrænsen /7/ har været indlæst som en lagflade i GS3D med henblik på at anvende den i forbindelse med den geologiske tolkning og bidrage til forståelse af sammenhænge mellem magasiner. Redoxgrænsen er udarbejdet som et nationalt korttema og har en diskretisering på 1 x 1 km. Fladens diskretisering er således 100 gange mindre end Egebjergmodellens og har derfor ikke været velegnet i denne sammenhæng.



Figur 20 Eksempel på hvordan arsenindhold kan bidrage til tolkning af den lithologiske model. Arsenindholdet er højere i boring 107.701 og har medvirket til at magasinerne (vist med rødt) tolkes at være adskilt.

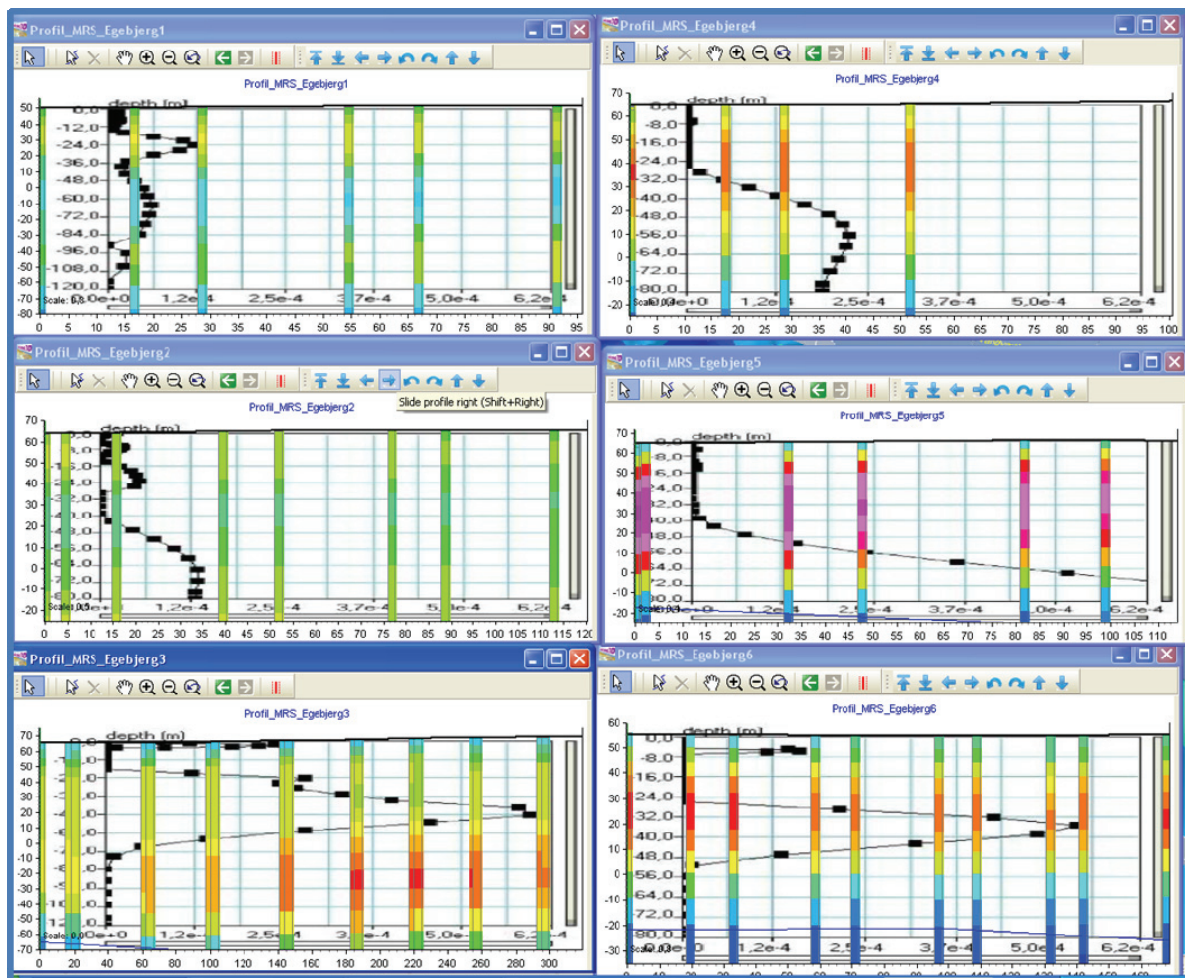
6.5.6 MRS

Der er lavet 6 korte profiler der går gennem de 6 MRS sonderinger Egebjerg 1 - 6 /21/. Profilerne placering er angivet med turkis farve på Figur 21 og er afbildet på Figur 22 med SkyTEM-mangelagsmodeller.



Figur 21 Placering af de 6 MRS sonderinger (pink firkant) og 6 korte profiler angivet med turkis farve.

Af de 6 profiler på Figur 22 ser man at der ikke er særlig god overensstemmelse mellem MRS-sonderingerne og SkyTEM-sonderingerne – det samme gør sig gældende for overensstemmelsen med PACES (ikke vist på profil). Der er størst overensstemmelse med mangelagsmodellerne og det er derfor nemmest at sammenligne MRS-sonderingerne med mangelagsmodellerne. Her er det kun på profil 5 og 6 at der ses en rimelig overensstemmelse. Generelt er det valgt at tillægge SkyTEM sonderingerne størst vægt da disse ikke kun beskriver geologien et enkelt sted (som MRS), men i stedet gengiver de rumlige geologiske forhold. MRS-sonderingerne er således ikke direkte anvendt i modellingsprocessen, idet der ikke generelt er konsistens mellem disse data og SkyTEM/PACES-data.

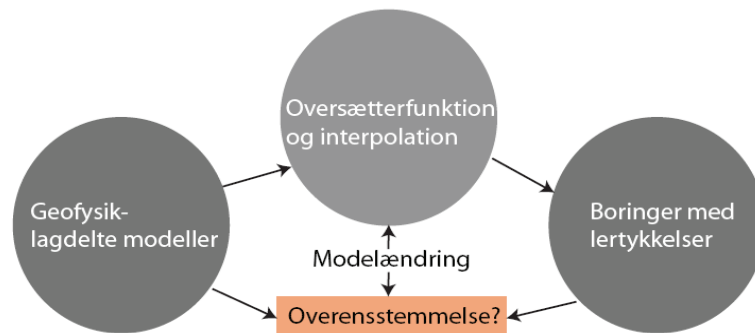


Figur 22 Permeabilitet fra MRS Egebjerg 1 til 6 vist sammen med SkyTEM-mangelagsmodeller.

7. Forsøg med anvendelse af SSV

7.1 SSV konceptet

SSV-konceptet beskriver en måde hvorpå man kan optimere samtolkningen af geofysiske og geologiske data i forbindelse med beregning af den akkumulerede tykkelse af lerlag inden for et valgt beregningsinterval. Dette kunne eksempelvis være i dybdeintervallet 0–30 m under terræn, men beregningerne kan ligesåvel gennemføres for andre og dybereliggende niveauer. 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 borer. Resultatet af SSV-beregningerne er således afhængigt af både tæthed og kvalitet af et områdes borer såvel som af tæthed og kvalitet af de geofysiske målinger.



Figur 23 Grafisk fremstilling af SSV-konceptet.

Overordnet set kan man inddele konceptet i tre dele der er internt forbundne som vist i Figur 23. På den ene side har vi de lagdelte geofysiske modeller, og på den anden side har vi boringsinformationen med de beskrevne lertykkelser. Ideen er herefter:

- Ud fra en given oversætterfunktion eller vægtfunktion at lave den geofysiske lag-model om til en lertykkelse.
- Ved at interpolere den fundne lertykkelse fra geofysikpunkterne 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.

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. Der inverteres for den optimale model ved at bruge de geofysiske modeller i forwardberegningen

7.2 SSV i Egebjerg-modellen

Tilgangen til SSV-beregningerne i Egebjerg-området er lidt anderledes end det normalt er tilfældet. Almindeligvis vil man lave ét eller flere SSV-lertykkelseskort over området for forskellige dybdeintervaller. I dette tilfælde vil vi prøve at anvende SSV-beregningerne aktivt i den geologiske modellering til at adskille lerede sedimenter fra sandede sedimenter i den rumlige geologiske beskrivelse.

Den geologiske model er diskretiseret i 100x100x5 m celler fra stor dybde til overfladen. Slutproduktet af SSV-beregningerne skal passe ind i denne model. Da SSV-beregningerne baserer sig på boringsinformation blev det dog i første omgang besluttet at foretage SSV-beregningerne for intervallet 0-55 m.u.t. hvor der er rimelig boringsdækning.

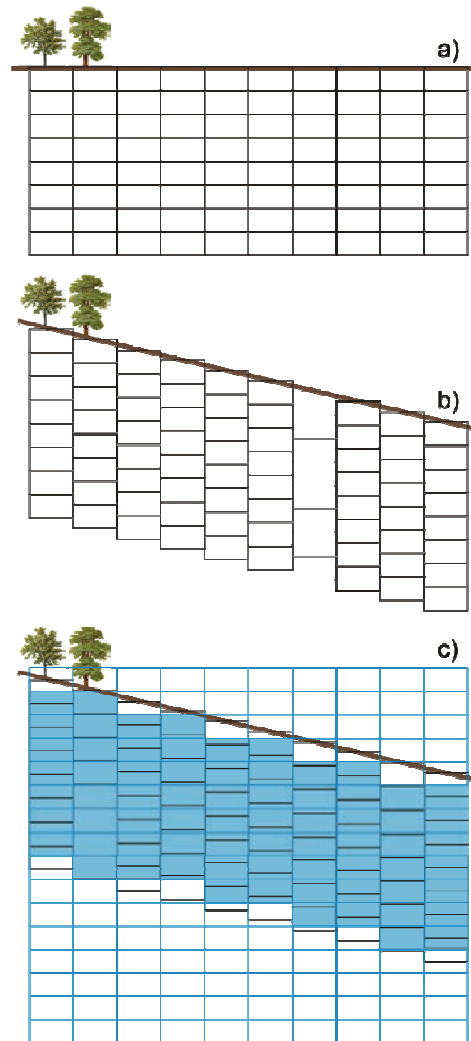
I Egebjerg-området findes både SkyTEM-data og PACES-data. SkyTEM-data har en væsentlig større kortlægningsdybde (~200 m) end PACES (max. 25-30 m). For at udnytte de forskellige data-typers styrker bedst muligt bruges de på følgende måde:

- Intervallet 0-20 m: Der bruges PACES data hvor disse findes. Hvis der kun findes SkyTEM data, bruges disse.
- Intervallet 20-55 m: Der bruges kun SkyTEM data

Herefter er der følgende skridt i SSV-beregningerne, delvist illustreret i Figur 24:

1. Automatisk boringsbeskrivelse i Aarhus Workbench på en filtreret database der kun indeholder GEUS-beskrevne boringer. Boringsbeskrivelsen er lavet 5 i meters intervaller fra overfladen og til 55 meters dybde. Den automatiske beskrivelse tillægger boringsbeskrivelsen en usikkerhed, der er proportional med intervallet. Usikkerheden er altid 10 %, således at en beskrivelse af 3 m ler i et interval på 5 m tillægges en usikkerhed på +/-0,3 m. Den automatiske boringsbeskrivelse er ikke yderligere verificeret.
2. Uafhængige SSV-beregninger for PACES i 5 meters dybdeintervaller til 20 meters dybde. Uafhængige i betydningen at de enkelte intervaller er kørt uafhængigt af resultatet i øvrige intervaller.
3. Uafhængige SSV-beregninger for SkyTEM i 5 meters dybdeintervaller til 55 meters dybde.
4. Konturering (interpolation) af SSV-resultaterne i Aarhus Workbench til 100x100m grid med nodepunkter, der er sammenfaldende med GeoScene3D-griddet (det interpolerede grid er illustreret i Figur 24a).
5. Konvertering i Matlab af dybde-grid til 5m kote-grid vha. topografi-grid med 50 meters diskretisering. Dette involverer:
 - a. for hver grid-node hentes topografien i topografi-griddet og de eksisterende SSV-dybdegrid omregnes til koter (Figur 24b).

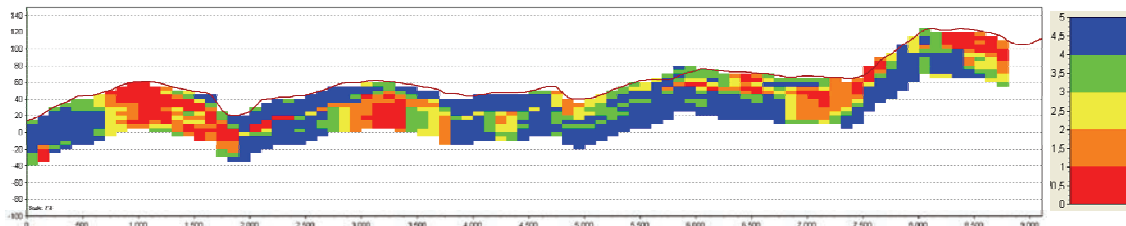
- b. værdien for hvert kote-interval beregnes ved at slå op i de kote-konverterede dybde-grid og evt. midle hvis kote-intervallet krydser grænserne i dybde-griddene (Figur 24c).



Figur 24 Skitse af skridtene i SSV-beregningen for Egebjerg. a) SSV beregninger i dybder interpoleret til et grid. b) Dybde-griddet shifts til kote-værdier. c) Et kote-grid (blå) lægges oven på det shiftede dybde-grid, og der midles for at finde værdien i kote-griddet. Det resulterende kote-grid er vist i blå.

7.3 SSV-resultater

Det resulterende 3D-grid er blevet evalueret og sammenholdt med datagrundlaget og øvrige data. Der ses generelt en overordnet sammenhæng med 3D-grids for PACES i de øverste 20 m og for SkyTEM herfra og ned til 55 m. Men ved en nærmere gennemgang opdages at de strukturelle elementer der ses i SSV-griddet, mange steder i høj grad følger terrænets variationer; blot i en bestemt dybde, se Figur 25. Med andre ord, afspejler terrænforholdene sig nede i griddet. Dette vil ikke være at forvente for de geologiske forhold i området, og fænomenet ses heller ikke i de øvrige datasæt.



Figur 25 Eksempel på resulterende SSV-grid. Griddet angiver antal meter ler i hver voxel.

Forklaringen på dette er sandsynligvis at selve SSV-inversionen er gennemført i dybder (Figur 24a). Herved fås åbenbart en for stærk dybde-korrelation i forhold til det der måske ville være mere hensigtsmæssigt ved opbygningen af en geologisk model – nemlig en stærk horisontal korrelation. Resultatet viser derfor at SSV-konceptet bør justeres for at kunne imødegå en anvendelse i den geologiske modelleringsproces. Dette kræver imidlertid en ret omfattende ændring af SSV-koden hvilket ikke har kunnet lade sig gøre indenfor dette projekt.

Af ovennævnte årsager er resultaterne fra SSV-kørslerne ikke indarbejdet i modellen. Ideen var at finde en metode til indledningsvist at udfylde voxler i de øverste lag i det lithologiske grid. Herefter var det meningen at modellen manuelt skulle "efterpoleres" således at mere subjektiv viden og geologisk forståelse kunne udnyttes og medtages i modellen. Dette skulle ske i områder hvor den manuelle geologiske modellering vurderedes at være mere realistisk end den automatisk beregnede. Geologien i størstedelen af området er dog i de øverste lag meget heterogen, og det forventedes at disse områder ville være relativt få/små.

8. Geologisk forståelsesmodel

Den geologiske forståelsesmodel er udført under grundvandskortlægningens Trin 1 og er beskrevet i /4/. Forståelsesmodellen omfatter en grundig gennemgang af eksisterende geologiske tolkninger fra diverse rapporter og publikationer, en overordnet geologisk tolkning af de geofysiske data samt af boredata. Desuden indeholder den geologiske forståelsesmodel i /4/ en landskabsanalyse.

De allerede kendte geologiske forhold er derfor grundigt beskrevet i /4/. Heraf følger en kort sammenfatning:

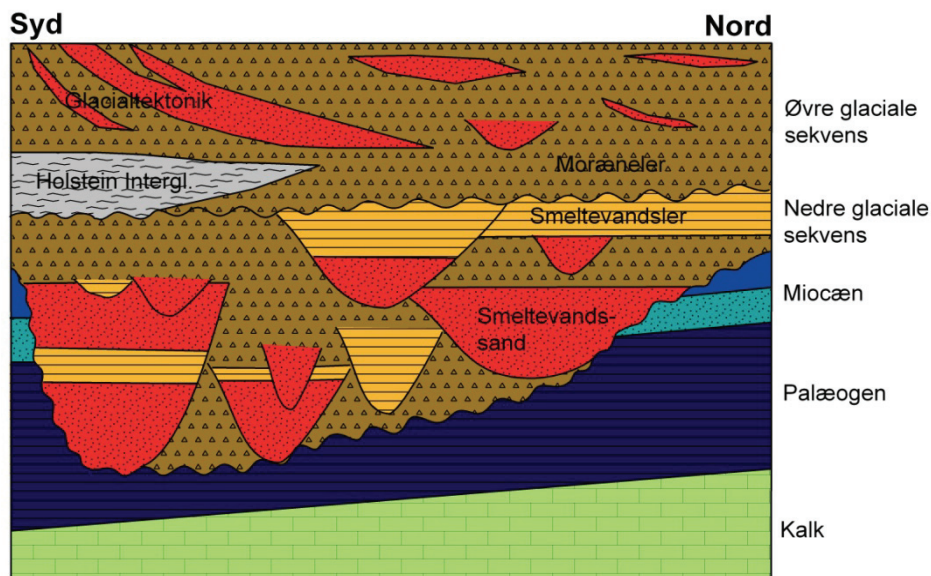
Kalkoverfladen findes på dybder mellem kote -400 og -150 m. Den gennemskæres af kraftige forkastninger og en dyb depression under Horsens Fjord og Hansted Ådal. Forkastningernes og depressionens orientering er ØSØ-VNV. Over kalkoverfladen følger paleocæne og eocæne lag af plastisk ler, typisk med mægtigheder på mellem 50 og 200 m. Dette ler dækkes i nogle delområder af miocæne sand- og lerlag. Denne lagserie består nederst af Vejle Fjord Formationen og øverst af Arnum Formationen. De tertiære lag gennemskæres af begravede dale i store dele af området. Disse dale forekommer i flere generationer der krydser hinanden op gennem lagserien. Dalene når flere steder mere end 100 m ned i de palæogene lag. De kvartære sedimenter består primært af moræneler, men også smeltevandssedimenter i form af ler og sand forekommer. Enkelte steder findes interglaciale gytjelag fra Holstein. Disse lag findes over en begravet dal og relativt højt i lagserien. Heraf vides det at den dybere del af den kvartære lagserie er af Elster alder eller ældre. Den interglaciale gytje overlejrer kalkfrit sand, som i /4/ tolkes at tilhøre samme interglaciale periode, selvom det i de fleste borer er beskrevet som smeltevandssand. Der ses i overfladen flere steder tegn på glacialtektonisk deformation. Dette bekræftes af tilstedeværelse af flager i flere borer. Det forventes derfor at lagserien særligt i de sydlige og nordlige dele er deformerede. I de sydlige dele skrives deformationerne som værende ældre end Holstein, da de interglaciale sedimenter forekommer forstyrrede.

Den geologiske forståelsesmodel er kort omtalt i kapitel 3.2. For en uddybende gennemgang af den geologiske forståelsesmodel henvises til /4/.

9. Den rumlige geologiske model

9.1 Sammenfatning – områdets overordnede stratigrafiske opbygning

Den rumlige geologiske model er med få undtagelser bygget op omkring forståelsesmodellen beskrevet i /4/. En stratigrafisk log for modellen er vist i Figur 26. Nederst i lagserien findes Danien kalk med gennemskærende forkastninger og en markant depression under Horsens Fjord og Hansted Ådal. Ovenpå følger palæogene lag af Søvindmergel og Lillebæltsler. I mindre områder inden for modelområdet findes erosionsrester af miocæne lag af glimmerler og kvartssand/glimmersand. De tertiære lag er kraftigt eroderet og overlejret af primært glaciale sedimenter. Overfladen af det palæogene ler har et markant relief med en højdeforskel på mere end 400 m. Erosion af tunneldale, som nu er begravede, er ansvarlig for en del af denne erosion. Disse udfyldte tunneldale tilhører mindst 7 forskellige generationer, hver især med forskellige foretrukne orienteringer, og som gennemskærer modelområdet på kryds og tværs. Gennem lagserien og henover flertallet af dalene ses en udbredt erosionsdiskordans og oven over denne forekommer der i et mindre område søsedimenter fra Holstein Interglacial. Øverst i lagserien ses en derefter en 20-40 m tyk sekvens af glaciale, primært lerede lag fra Saale og Weichsel. Hele lagserien er stedvist markant forstyrret af glacialtektonisk deformation. Dette ses såvel i nutidens terræn som i data, se Figur 39.



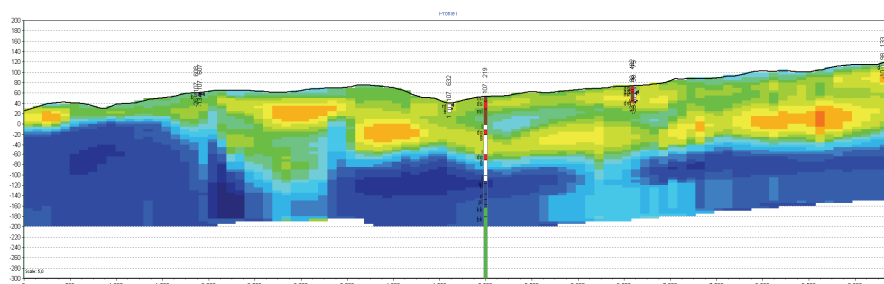
Figur 26 Stratigrafisk log for modelområdet

9.2 Modellerede geologiske enheder

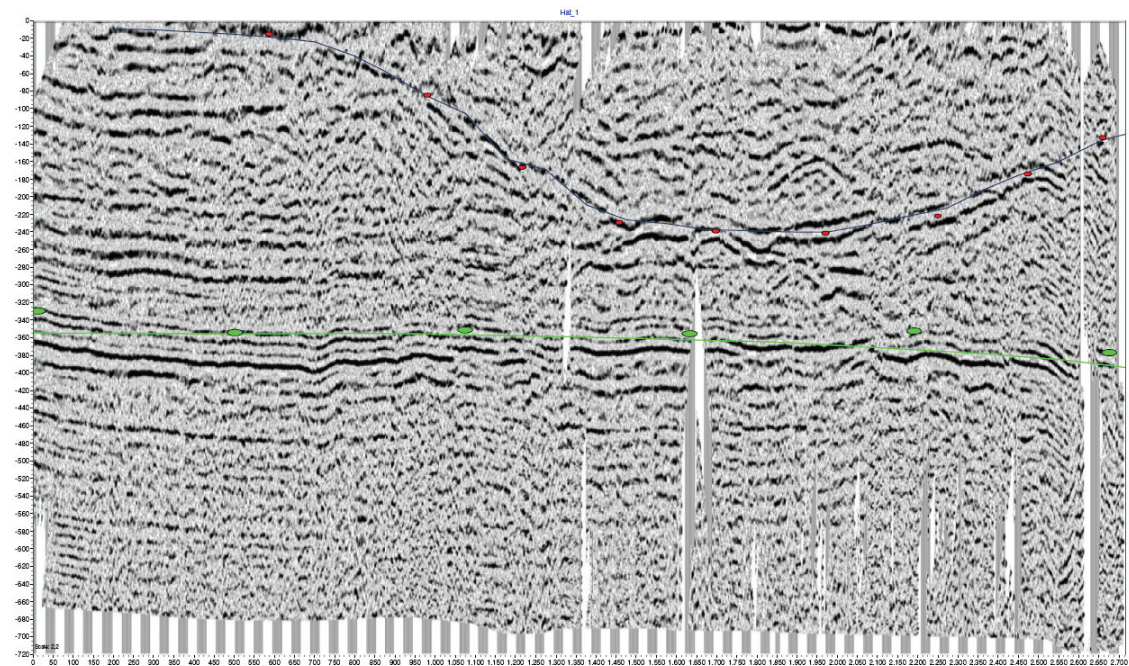
9.2.1 Kalk

Identifikation i data

Kalkoverfladen ses i 3 forskellige datasæt; på seismik, i SkyTEM og i en enkelt boring. Boringen er en olieefterforskningsboring (Horsens-1, DGU nr. 107.219), hvori kalken er beliggende i intervallet 217 til 469 m.u.t. Kalken består af bryozokalk fra Danien og Skrivekridt. Ved boringen er der sammenfald mellem kalkens beliggenhed og hvor SkyTEM-data viser en kontrast mellem meget lave modstande øverst og lave til moderate modstande nederst (Figur 27). Det svarer til at de lave modstande repræsenterer palæogent ler over kalken, der har en lidt højere modstand. Det relativt lave modstandsniveau for kalken kunne tyde på at denne har et vist indhold af salt porevand (eller at TEM-metodens indtrængning er begrænset i denne dybde). Denne overgang til højere modstande på stor dybde i TEM-data ses i store dele af området. Modstandene af lagene på disse dybder er kun dårligt bestemte, men det antages alligevel at kontrasten i en stor del af det nordlige modelområde kan tolkes som værende identisk med kalkoverfladen. I den seismiske linje, der er udført på tværs af Hansted Ådal (Hatting 1-5) /10/, ses kalkoverfladen som en relativt tydelig reflektor (Figur 28).



Figur 27 Sammenfald mellem lagdeling i SkyTEM data (mangelagsgrid) og kalk i 217 meters dybde i boring DGU nr. 107.219. Overhøjning: 5 x.



Figur 28 Det seismiske profil Hatting 1 med tolkninger af TopKalk (grøn) og TopPalæogen (blå/rød). Overhøjning: 2,2 x.

Modellerings teknik

Overfladen af kalken (TopKalk) er modelleret med fladetolkningspunkter. Da kalkoverfladen forventes at være forholdsvis jævn, er der afsat fladetolkningspunkter med stor spredning (ca. 1000 m). Der er afsat snappede fladetolkningspunkter på den ene boring samt langs det seismiske profil. Resten af punkterne er frie fladetolkningspunkter, primært understøttet af SkyTEM-data. Punktsværmen er interpoleret til et grid ved hjælp af Inverse Distance med søgeradius 2500 m og cellestørrelse 250 m. I den sydlige del er der delvist søgt støtte i [13].

Forekomst/udbredelse

Kalkoverfladen ses i den sydlige del at nå dybder på over 500 m under havniveau (se Bilag 1). I den nordøstlige del ses et toppunkt hvor kalkoverfladen når helt op omkring kote -115 m. Forkastningszonen på Bilag 3 med den tilhørende depression ses at påvirke kalkoverfladen meget kraftigt. Forkastningssystemet stryger ØSØ-VNV gennem områdets sydlige del og ses som en stejl, SSV-ligt hældende skrænt med et fald på omkring 200 m. Syd for ses depressionen under Horsens Fjord, Horsens By og Hansted Ådal.

Usikkerheder

Usikkerheden på overfladen er stor i den sydlige del, hvor der ikke findes SkyTEM-data (se Bilag 2). Her er tolkningspunkterne kategoriseret som "usikre". Langs den seismiske linje er sikkerheden dog relativt stor, og her er punkterne "sikre". I den nordlige del hvor der er SkyTEM-data, er punkterne kategoriseret som "middelsikre".

9.2.2 Forkastninger

Identifikation i data

Forkastningszonen, der ifølge forståelsesmodellen gennemskærer området sydlig del i modelområdet, ses alene på den seismiske linje /10/.

Modellerings teknik

Forkastningsplanet (-erne) er ikke indlagt i den rumlige geologiske model som et særskilt element. Forkastningen ses alene i kalkoverfladen som en stejl skrænt.

Forekomst/udbredelse

Se 9.2.1. Forkastningszonen ses i Bilag 3.

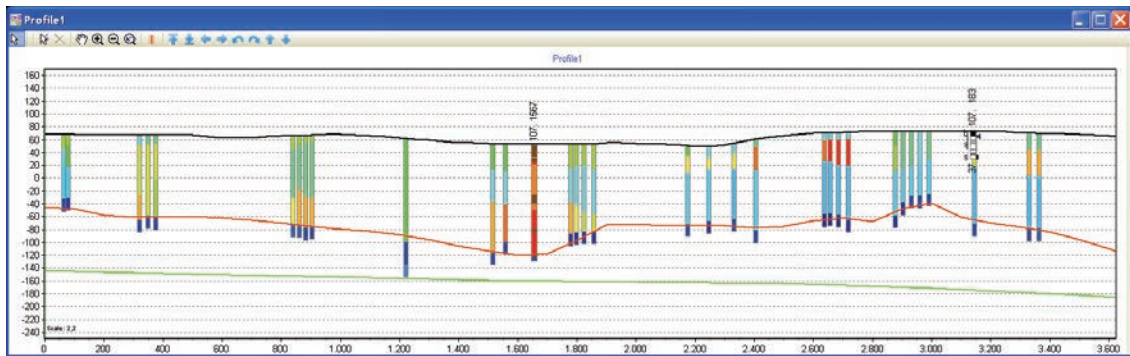
Usikkerheder

Forkastningszonens eksistens er sikker, og den præcise beliggenhed er kendt ved Hansted Ådal hvor den skæres af den seismiske linje. I den øvrige del af modelområdet er forløbet relativt usikkert, men et overordnet forløb ØSØ-VNV er sikkert. Den seismiske linje viser en meget kompleks og gennemforkastet lagserie indenfor zonen. Blokke af lag er både op- og nedforkastede, og det er på denne baggrund umuligt at opbygge en rumlig geologisk model inden for forkastningszonen.

9.2.3 Top Palæogen

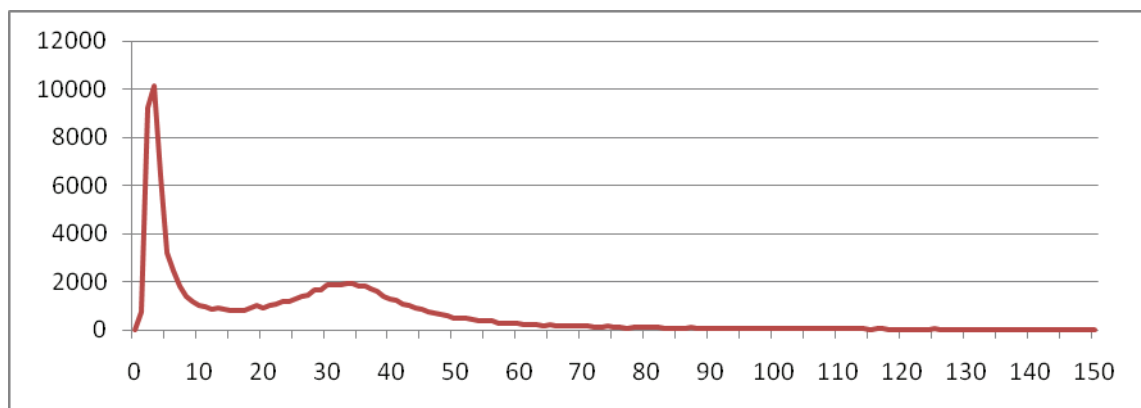
Identifikation i data

Palæogenet består i modelområdet af varierende fede/plastiske lere. I overfladen af palæogenet er Søvind Mergel mest udbredt, men hvor dalene skærer ned i palæogenet bliver ældre lag blottet. Samlet set forventes lagene dog alle at have meget lave modstande og er ikke adskilt i den rumlige geologiske model. I Naturstyrelsen Århus' undersøgelsesboring 1 (DGU nr. 107.1567) er der boret ca. 8 m ned i det palæogene ler, og her viser resistivtetsloggen et modstandsniveau på omkring 3 ohmm. Bortset fra enkelte områder hvor TEM-sonderingerne gennemtrænger Palæogenet og når ned i kalken, ses det nederste lag i fålagstolkningen tilsvarende at have meget lave modstande, se Figur 29. Det nederste lag i SkyTEM-mangelagsmodellerne har en gennemsnitlig modstand på 3,3 ohmm hvilket svarer godt til den målte modstand af de palæogene lag i boringen. Heri er dog indregnet lag hvor den nederste modstand er stigende og svarer til kalk, og modstanden af Palæogenet målt med SkyTEM må således være lavere end 3,3 ohmm.

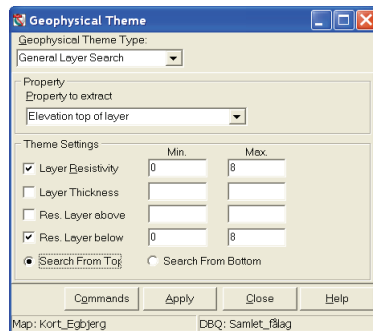


Figur 29 Profil gennem boring DGU nr. 107.1567 med enkeltsonderinger repræsenteret med fålagsmodeller. Der ses en god korrelation mellem palæogenet nederst i boringen (mørkeblå farve) og det nederste lag i sonderingerne (mørkeblå farve). Lagfladerne TopPalæogen og TopKal er medtaget. Overhøjning: 2,2 x.

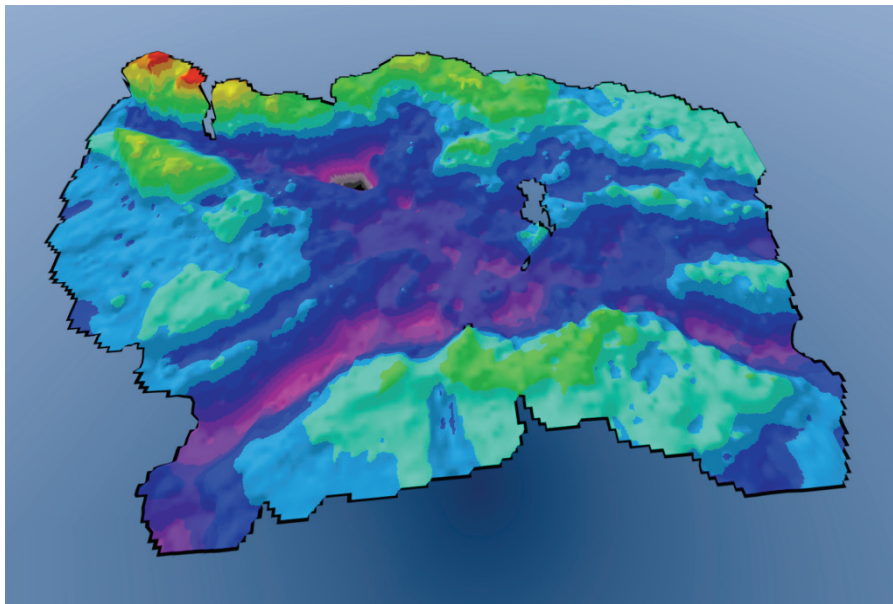
I Figur 30 ses et frekvensdiagram af modstanden udregnet for alle modellag i fålagsmodellen. Her ses at kun meget få modellag har mere end 70 ohmm, og at der i øvrigt findes to markante maksima. Det ene ses at ligge omkring eller lige under 5 ohmm, mens det andet ses omkring 34 ohmm. Det første maksimum kan antages at hidrøre fra de palæogene lag i området. Det er derfor forsøgt at udtrække et korttema i Workbench der matcher palæogenet så godt som muligt. For at adskille palæogenet fra andre lerlag (f.eks. smeltevandssler) er der udvalgt en grænsemotstand så tæt på det palæogene lers modstand som muligt. Af frekvensdiagrammet ses maksimumet stort set at have sin øvre grænse et sted mellem 5 og 8 ohmm. 8 ohmm er derfor benyttet som grænseværdi. Se de benyttede settings ved ud-søgningen i Figur 31 og koten for den godel leder ved 8 ohmm på Figur 32.



Figur 30 Frekvensdiagram, der viser modstandsfordelingen i alle modellag i samtlige fålagsmodeller i SkyTEM-datasættet.



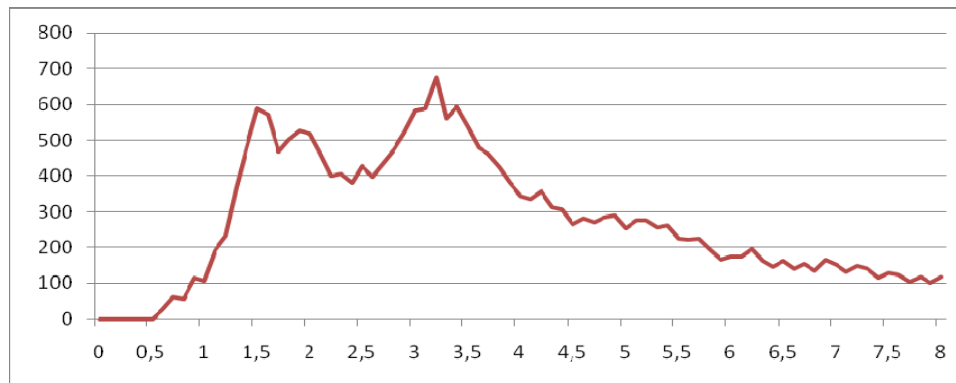
Figur 31 Settings ved udsøgning af god leder.



Figur 32 Korten for den gode leder ved 8 ohmm. 5 gange overhøjning. Set fra syd.

Efterfølgende er der lavet en analyse af modstandsfordelingen i den udtrukne gode leder, se Figur 33. Der ses to toppe; en top omkring 1,5 ohmm og en top mellem 3 og 3,5 ohmm. Det er sandsynligt at der er tale om to forskellige lag (med forskellig lithologi) internt i palæogenet. Laget med 3-3,5 ohmm vurderes at være identisk med det ancorede lag i boring DGU nr. 107.1567.

Palæogenet er i øvrigt identificeret i en række øvrige boringer i området. De fleste steder er der god overensstemmelse mellem den gode leder og boringerne. Men flere steder ses palæogenet dog som flager iblandet de glacielle lag, og i disse tilfælde giver forekomsterne ingen oplysninger om palæogenets overflade. Toppen af palæogenet er desuden identificeret i den seismiske linje i den sydlige del af modelområdet /10/, se Figur 28.



Figur 33 Frekvensdiagram, der viser modstandsfordelingen i laget udtrykket som den gode leder (under 8 ohmm).

Modellerings teknik

Af ovenstående analyse fremgår det at det er muligt at benytte den udtrukne gode leder ved modelleringen af toppen af palæogenet. Den udtrukne gode leder udgøres af en punktsværm i rummet – et enkelt punkt for hver SkyTEM-sondering. Disse punkter er blevet konverteret til et grid ved hjælp af Inverse Distance interpolation med søgeradius 500 m og celledørrelse 100 m. Som et alternativ til punkttolkning, hvor der i høj grad skal afsættes punkter langs den flade, er der anvendt en alternativ fremgangsmåde bestående af følgende punkter:

1. Det beregnede grid for koten for den gode leder ved 8 ohmm indlægges i GeoScene 3D og udsættes for gridmodellering, se kapitel 5.7 for beskrivelse af denne procedure. Hermed tilpasses gridet til boringsdata, koblingspåvirkning af gridet fjernes, områder med et utilpasset automatisk udtræk korrigeres/udglattes, og fladen formes i øvrigt i henhold til den geologiske forståelse.
2. Det færdigmodellerede grid konverteres til en punktsværm. Det vil sige at hver gridnode konverteres til et fladetolkningspunkt i modellen. Afstanden mellem tolkningspunkterne vil derfor som udgangspunkt ret konstant være 100 m i modellen.
3. Punktsværmen suppleres med snappede fladetolkningspunkter til boringer og seismik. Desuden afsættes fladetolkningspunkter uden for det TEM-kortlagte område. Her tildeles de med en noget større afstand (på omkring 250 m), idet det ikke her er muligt at beskrive fladen med samme detaljeringsgrad.
4. Punkterne tildeles usikkerheder.

Forekomst/udbredelse

Palæogenets overflade varierer kraftigt gennem modelområdet, se Bilag 4. I den sydlige del gennemskæres den af en meget dyb dal og her når overfladen ned omkring kote -250 m (DGU nr. 107.1448). I den nordvestlige del af området når fladen helt op omkring kote 125 m hvilket understøttes af flere boringer lidt nord for modelområdet – bl.a. DGU nr. 98.728. I det mellemliggende område ses en varierende flade med flere adskilte højdeparter og gennemskærende, begravede dale. I den centrale, nordlige del ses en større lavning i fladen. Ved nærmere studier af de begravede dale (se kapitel 9.2.5) består denne lavning hovedsageligt af flere generationer af begravede dale, der på skift formentlig har udhulet lavningen. Et af dalstrøgene når dybt nok til at blottlægge kalkoverfladen (ved område D6 og D7).

I Bilag 5 ses forskellen på koten for den gode leder og den gridmodellerede flade (før og efter punkt 1 i ovenfor beskrevne procedure). Nogle af de steder hvor den oprindelige flade hidrørende fra udtrækket af den gode leder er ændret mest, er beskrevet på punktform i det følgende:

- Områderne C3, C4, D3, D4: Den store dals nordvestflanke er flyttet mod nordvest i dette område. Den stemte ikke overens med områdets borer, og forklaringen er at området her gennemskæres af en højspændingsledning, hvilket har medført tynd TEM-datadækning.
- Område E3: Den N-S gående dal er uddybet. Den er smal og beskrives derfor ikke præcist i data (pga. footprint-effekt og interpolation).
- Områderne E4, F4: Dalen er her blevet mere markeret, smallere og dybere (pga. footprint-effekt og interpolation).
- Områderne F4, G4: Palæogent ler er her skubbet ud i dalen af glacialtektonik. Dette giver en højt beliggende god leder ude i dalen, som ikke beskriver toppen af Palæogenet, men derimod flager af ler i dalen. Disse kan ikke gennemtrænges af TEM-signalet. Som en følge af denne fortolkning er dalens sydlige flanke flyttet mod syd.
- Område G4: Søvindmergel over Top Palæogen i DGU nr. 107.837 skyldes et glacialtektonisk kompleks.
- Områderne F5, F4nø, G4, E5: Lave modstandsniveauer for dalfyld vurderes at forstyrre billedet af dalformen her. Dalen er som en følge af dette blevet uddybet.
- Område E8: Overfladen dykker markant – ældre SkyTEM-sonderinger viser en begravet dal, som er tolket tidligere /14/. Fladen er følgelig trukket ned i dette område.
- Områderne A8, B8: Overfladen udglattet pga. ujævnt forløb forårsaget af LCI-tolkningen.

Usikkerheder

Som udgangspunkt har alle de fladetolkningspunkter, der er blevet konverteret fra den gode leder, fået en markering som "sikre". Efterfølgende er kvaliteten for fladetolkningspunkter inden for subområder af det TEM-kortlagte område blev ændret til "middelsikre". Dette er gjort ud fra følgende faktorer:

- På meget stor dybde kan TEM-indtrængningen være begrænset med en usikker bestemmelse af den gode leder til følge.
- Områder med stor afvigelse mellem mangelagsmodel og fålagsmodel indikerer usikker bestemmelse af den gode leder.
- Tynd datadækning ved f.eks. bymæssig bebyggelse, veje, højspændingsledninger m.m.
- Uoverenstemmelse mellem boredata og TEM-data.
- Randområder af kortlægningsområdet.

Usikkerhedskortet er vist i Bilag 6. Det ses at størstedelen af palæogenfladen inden for TEM-kortlægningsområdet er sikkert bestemt, og at mindre dele er middelsikkert bestemt. Uden for kortlægningsområdet er den generelt usikkert bestemt. Her kan den kun med ri-

melig sikkerhed bestemmes i enkelte boringer og langs den seismiske linje i den sydvestlige del af modelområdet. Modelleringen af fladen bygger her på en forventning om forkastningszonens forløb gennem området samt om de begravede dales videre forløb mod syd-øst fra den vestlige del af området, hvor de fra seismikken, boringer og enkelte TEM-sonderinger kendes forholdsvis sikkert /11/, /12/. De usikre fladetolkningspunkter for denne flade er medtaget i den rumlige geologiske model i dette tilfælde, idet fladen er produceret til brug ved modelleringen af den lithologiske model (kapitel 10).

9.2.4 Miocænet

Identifikation i data

Miocænet ses først og fremmest i boredata. Her er det beskrevet som glimmersilt og -ler, glimmersand og kvartssand. I store områder forekommer det kun fragmentarisk i boringerne, mens det i mindre områder forekommer i flertallet af boringerne. De miocæne lag ses ikke entydigt i TEM-data. Glimmerleret kan have relativt lave modstande, men det kan stadig skelnes fra palæogenet. Det kan være svært at skelne miocænet fra moræneler og smeltevandsler. Glimmersilt, -sand og kvartssand har generelt høje modstande og kan skelnes fra lerlag, men ikke fra kvartære silt- og sandlag.

Modellerings teknik

De miocæne lag er modelleret ved hjælp af fladetolkningspunkter (se Bilag 7, Bilag 8, Bilag 9). Disse punkter er afsat i boringer (snap) med miocæne lag, i TEM-sonderinger hvor lagene tolkes, samt i rummet mellem datapunkter (TEM og boringer) hvor lagfladerne tolkes at forløbe. Punktafstanden er omtrent 250 m i områder hvor lagenes udbredelse er kendt og tolkes at eksistere. I områder med større punktafstand eller enkeltforekomst af punkter kendes lagenes rumlige form ikke/finde lagene ikke. Punktsværmene for de miocæne lag er interpoleret til grids ved hjælp af Inverse Distance med søgeradius 500 m og cellestørrelse 100 m.

Forekomst/udbredelse

Miocæne lag forekommer i primært i 4 områder: Sydvest for Gedved (områderne A3-C5), nord for Hovedgård (område F7), ved Stensballe (områderne E1-E2) og nordvest for Nørrestrand (område C2). I disse områder er der foretaget en flademodellerings med afsætning af frie fladetolkningspunkter. Desuden forekommer miocæne lag i spredte boringer i området.

Foruden overfladen af miocænet har det i 2 af områderne (områderne A3-C5 og E1-E2), kunnet lade sig gøre at modellere 2 interne lagflader i miocænet (se Figur 34). Lagfladerne relateret til Miocænet består nedefra af følgende:

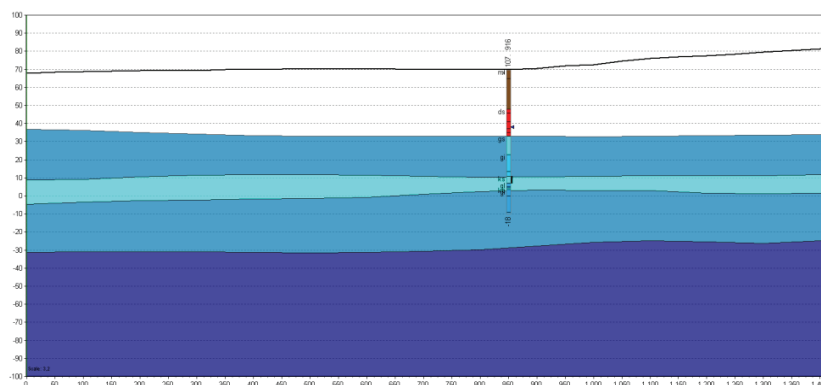
- TopGL1
- TopKS
- TopMiocæn

og disse definerer følgende 3 lag:

- GL1: Et udbredt dække af glimmerler over palæogenet. Dette lag er forholdsvis homogent forekommende; dog anbores laget kun af få borer. Der forekommer enkelte, spredte sandlag internt i laget. Lagtykkelsen er generelt mellem 15 og 30 m.
- KS: Et internt forekommende lag af kvartssand og glimmersand. De fleste borer i områderne er filtersat i dette lag. Lagets tykkelse er generelt mellem 10 og 20 m.
- GL2: Det øverste lag i den miocæne lagserie. Det består af vekslende lag af glimmerler og –silt. Der findes også interne sandlag i GL2. Lagtykkelsen er generelt mellem 15 og 30 m.

Det er vanskeligt præcist at korrelere disse 3 lag til den regionale tertiære stratigrafi /15/, /16/. Men med baggrund i de nærmest beliggende borer, der er blevet detaljeret biostratigrafisk analyseret, samt den nyligt opstillede 3D-model for miocænet, antages det at både GL1 og GL2 tilhører Vejle Fjord Formationen, og at KS tilhører Billund Formationen.

Overfladen af miocænet udgør, i de områder hvor miocænet findes, prækvartæroverfladen. Overfladen ses at befinde sig mellem kote 30 og 40 m i området sydvest for Gedved (A3-C5) (se Bilag 10). Ved Stensballe (E1-E2) befinder den sig noget lavere – mellem kote 0 og 10 m og endnu lavere nordvest for Nørrestrand (C2). I de nordlige dele af modelområdet ses overfladen i noget højere niveauer.



Figur 34 Modellerede lagflader og lag i Miocænet. Ovenpå Palæogenet (mørk blå) følger først et lag af glimmerler (GL1 - blå farve), dernæst et lag af kvartssand (KS - lys blå farve) og øverst endnu et lag af glimmerler (GL2 - blå farve). Overhøjning: 3,2 x.

Usikkerheder

Usikkerhederne på de miocæne laggrænser ses i Bilag 7, Bilag 8 og Bilag 9. Hvor overfladen af miocænet bestemmes af flere borer inden for et mindre geografisk område, er fladen relativt sikkert bestemt (Bilag 7). Men hvor TEM-data ikke præcist kan afgrænse overgangen fra kvartære til miocæne lag, bliver tolkningen af fladen mere usikker hvis der er stor afstand mellem borerne. Top KS er ligeledes forholdsvis sikkert bestemt i områder med mange borer (Bilag 9). Hvor borerne bliver mere spredte, bliver usikkerheden større. TopGL er generelt usikkert bestemt idet kun få borer når ned gennem laggrænsen (Bilag 8).

Overfladen af miocænet er blevet tolket i et område ude i forkastningszonen (område C2). Der ser ud til at være en forholdsvis god korrelation af denne flade i en klynge af tætliggen-

de borer her. Men tolkningen af fladen i dette område må tages med forbehold på grund af de tektoniske forstyrrelser af lagserien.

Desuden er der usikkerhed omkring den nordlige afgrænsning af området beliggende nord-vest for Gedved. Her er det tolket at en begravet dal (dal d3) gennemskærer de miocæne lag. Men da denne dals eksistens er usikker, er udbredelsen af miocænet i denne retning ligeledes usikker.

9.2.5 Begravede dale

Identifikation i data

De begravede dale i området ses primært i SkyTEM-data. Men også i den sydlige del af modelområdet hvor der ikke er blevet indsamlet SkyTEM-data, kan der observeres begravede dale. Her ses de i boredata, i ældre TEM-data og i seismiske data. I SkyTEM fremtræder dalene til dels i den gode leder. Her ses de som nedskårne dalstrukturer der ikke altid har en jævn dalbund. Der kan være lokale fordybninger i denne. Højere i lagserien ses dalene som aflange højmodstandsstrukturer (relativt til omgivelserne) i nedskåret i kvartære lag. Dalene kan være svære at følge i data da de danner et komplekst netværk, hvor yngre dale gennemskærer ældre dale. I seismiske data ses dalene typisk som erosionsflader, og i borer er kendes dalene ofte når der findes korridorer med dybtliggende kvartære lag iblandt tertiære lag. I andre tilfælde kan de afsløres af tilstedeværelsen af smeltvandsler eller interglaciale lag /14/.

Modellerings teknik

Dalenes komplekse forekomst gør dem umulige at modellere i en traditionel lagmodel. Derfor er dalene indarbejdet i en voxelmodel (i et særskilt voxel-grid – kaldet genetisk grid). Voxelgriddet har diskretiseringen 100x100x5 m. Dalene er dermed tilnærmelsesvist fuldt ud rumligt modelleret. Dalene uden for det SkyTEM-kortlagte er ikke kendt i samme detalje og kompleksiteten er dermed mindre. Derfor er disse dale kun modelleret ved hjælp af flader.

Foruden selve den rumlige modellering er der udført en usikkerhedstolkning. Denne tolkning er indlagt i et særskilt voxelgrid som kan ses på Bilag 18.

Forekomst/udbredelse

Der er tidligere blevet kortlagt og beskrevet begravede dale i området /14/. Denne dalkortlægning er blevet revideret i dette projekt efter et mere dybtgående studie af data. Beskrivelse af dalenes forekomster i SkyTEM-kortlægningsområdet findes enkeltvist i Bilag 11.

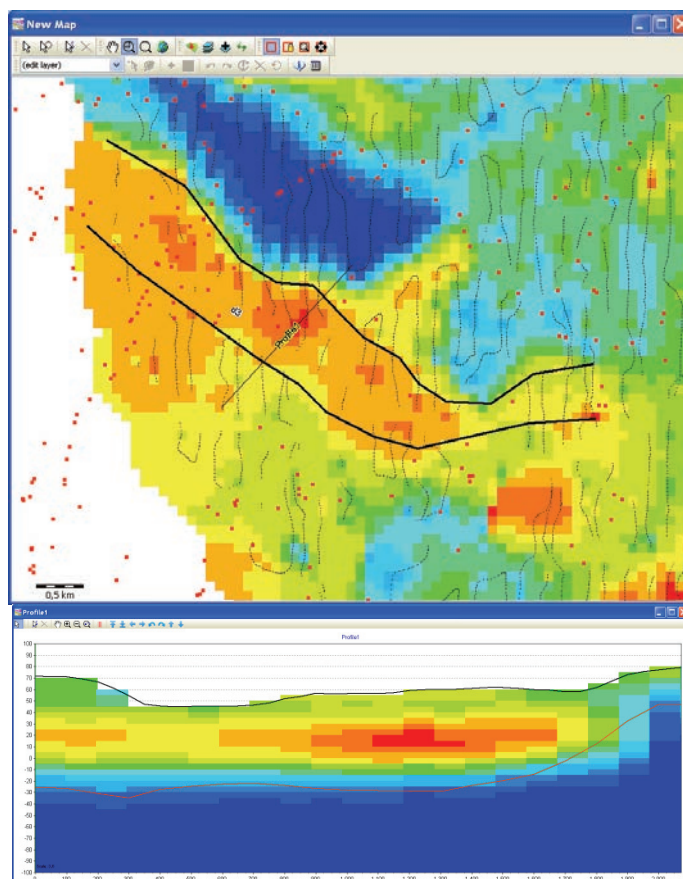
Samtlige dales geografiske placering er vist i Bilag 12. Dalene forekommer i 7 forskellige generationer, hvor yngre generationer gennemskærer eller findes i højere dele af lagserien end ældre generationer. Inddelingen af dalene i generationer er sket på baggrund af analyse af erosionsrelationer, og under forudsætning af at de enkelte generationer udviser samme foretrukne retninger /17/. Generationerne er benævnt a-g, hvor a er den ældste generation og g den yngste. Dalgeneration a (Bilag 13) består af to N-S-gående dale; muligvis den samme dal, hvor den mellemste del er borteoderet eller ikke kan kortlægges. Både dalgeneration b og c består af to NØ-SV-gående dale (Bilag 14, Bilag 15) som i de

centrale dele er gennemskåret af yngre dale. Dalgeneration d består af fire SØ-NV-gående dale (Bilag 16), mens hver af generationerne e, f og g består af en enkelt dal, hver med retningen SØ-NV (Bilag 17). Den yngste generation (generation g) findes i modsætning til alle de andre dale meget højt i lagserien, tæt under terræn. I modsætning til alle de øvrige dalgenerationer befinder denne sig over erosionsfladen (se 9.2.6) og dermed de interglaciale Holstein-aflejringer (se 9.2.7). Dalgeneration g er dermed dannet under Saale eller Weichsel istiderne, mens de øvrige er dannet i Elster eller tidligere.

Foruden de begravede dale der er kortlagt i den TEM-kortlagte del af området, er der kortlagt en enkelt begravet dal i den sydlige del af modelområdet (Bilag 4, områderne A1-C1) /12/. Denne dal ses i seismiske undersøgelser /10/, i boredata og i ældre TEM-data /11/, og er desuden beskrevet i /14/. Længere mod nord ses forkastningszonen også at udgøre en "dalagtig" struktur. Det er muligt at der findes en egentlig begravet dal oven i forkastningszonen /14/, men en sikker kortlægning/modellering af dette har ikke kunnet lade sig gøre.

Usikkerheder

Tolkningen af flere af de modellerede begravede dale er forbundet med forskellige grader af usikkerhed (se Bilag 18). For dalene uden for det TEM-kortlagte område er der tale om en stor usikkerhed, mens der for dalene inden for er tale om en varierende grad af usikkerhed. I Bilag 11 ses beskrivelser af de enkelte dales usikkerheder. Her skelnes der mellem geometrisk usikkerhed og kvalitativ usikkerhed. Den geometriske usikkerhed beskriver usikkerheden på dalens form og præcise beliggenhed, mens den kvalitative usikkerhed beskriver usikkerheden på dalens eksistens. Den endelige usikkerhed (Bilag 18) består af en samlet vurdering af disse to usikkerheder. Det ses typisk at jo højere i lagserien dalen befinder sig, desto større usikkerhed er der på bestemmelsen af dalen. Dal d3 besidder en betydelig grad af kvalitativ usikkerhed. Dalens eksistens er meget usikker, idet den aflange højmodstandsstruktur der ses i SkyTEM-data også kan repræsentere en struktur i de mio-cæne lag (se Figur 35).

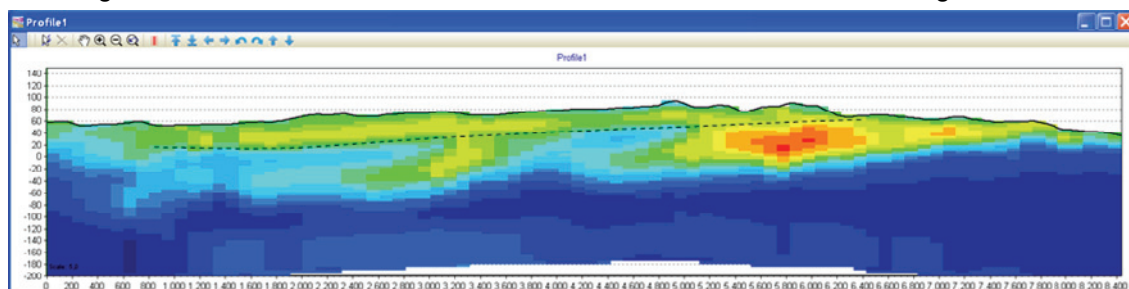


Figur 35: Dal d3. Middelmotstandskort (0-5 m) og profilsnit. Den begravede dal ses som en højmodstandsstruktur – markeret på kortet. Overhøjning: 3,6 x.

9.2.6 Erosionsflade

Identifikation i data

I SkyTEM-data ses i en stor del af området en lagflade der tolkes som en erosionsdiskordans. Fladen ses at gennemskære en varierende lagserie med lag af skiftende modstande både oven over og under fladen (Figur 36). Således kan fladen ikke følges som en ensartet flade, og den ses kun i de områder hvor der er modstandskontraster over og under fladen.



Figur 36 Eksempel på, hvordan erosionsfladen fremstår i SkyTEM data. Vist med stiplet linje. Mangelagsmodel, 3D grid. Overhøjning: 5 x.

Fladens fremtoning i SkyTEM-data indikerer at der er tale om en inkonformitet, der erosivt gennemskærer ældre aflejringer af forskellig herkomst og lithologi, og hvorpå der efterfølgende er pålejret materiale af varierende type. Der ses dog en overordnet tendens til at

fladen adskilles af høje modstande oven for fladen og lave modstande neden for fladen (relativt set).

Fladen ses bedst i profilsnit gennem resistivitetsgriddet for mangelagsmodellen. Sammenhængen er svær at se ved betragtning af enkeltsonderinger.

Modellerings teknik

Erosionsfladen er modelleret ved hjælp af frie fladetolkningspunkter. Disse punkter er afsat i flytbare profiler. Punktafstanden er omtrent 250 m. I områder uden punkter kan lagfladen ikke ses i data. Punktsværmen er interpoleret til grids ved hjælp af Inverse Distance med søgeradius 500 m og cellestørrelse 100 m.

Forekomst/udbredelse

Fladen er forholdsvis horisontal i de sydlige, nordøstlige og nordvestlige dele (Bilag 19). De sydlige og nordlige dele er adskilt af en bræmme hvor fladen hælder mod syd. I de nordlige dele befinder fladens sig i kote 50-80 m, mens den i de sydlige dele findes omkring kote 0 m. Der ses nogen lighed med det nuværende terræn, således at erosionsfladen i de fleste områder findes i dybder omkring 40 m.

Fladen er tydeligt sammenhængende i store dele af området, men der er steder hvor det kan diskuteres om der er tale om én og samme flade. F.eks. er det usikkert om der er sammenhæng mellem den nordvestlige arm (område B7) og resten af området. Fladen er ret tydeligt afgrænset i sydlig og nordlig retning, idet modstandsbilledet og muligvis erosionsfladen her forstyrres af de glacialtektoniske deformationer (se 9.2.9). I vestlig retning ses en tydelig, gennemgående modstandskontrast mellem et dækkende lavmodstandslag over højmodstandslag. Det er muligt at denne kontrast skal forbindes med erosionsfladen, men der ses ikke en kontinuert sammenhæng mellem fladerne nogle steder.

Idet fladen er glacialtektonisk deformeret, må den være ældre end de glacialtektoniske hændelser. Fladen befinder sig endvidere oven over flertallet af de begravede dale (alle bortset fra g), og er således yngre end disse.

Erosionsfladen tolkes at være skabt ved udstrakt subglacial erosion. Betydelige dele af en tidligere forekommende lagserie kan være borteroderet ved denne begivenhed. Fladen udgør en væsentlig brik i forståelsen af den geologiske opbygning. Således vil man ikke forvente at sedimentære lagflader og formationer vil krydse erosionsfladen, hvilket er en væsentlig information at have ved opbygningen af den geologiske model. Dog vil eventuelle forkastninger kunne skære fladen, men sådanne er ikke kortlagt i modelområdet.

Usikkerheder

Erosionsfladen er alene identificeret vha. modstandskontraster i geofysikken. Fladens tilstedeværelse vurderes alligevel som værende sikker, men om der er tale om en sammenhængende erosionsflade for hele området, eller om der er tale om flere forskellige flader er vanskeligt at vurdere. Dele af fladen kan således skyldes andet end glacial erosion og ligeledes er fladens udbredelse i nogle retninger ikke velbestemt (se ovenfor). Der er ikke lavet et kort over usikkerheder på tolkningspunkter.

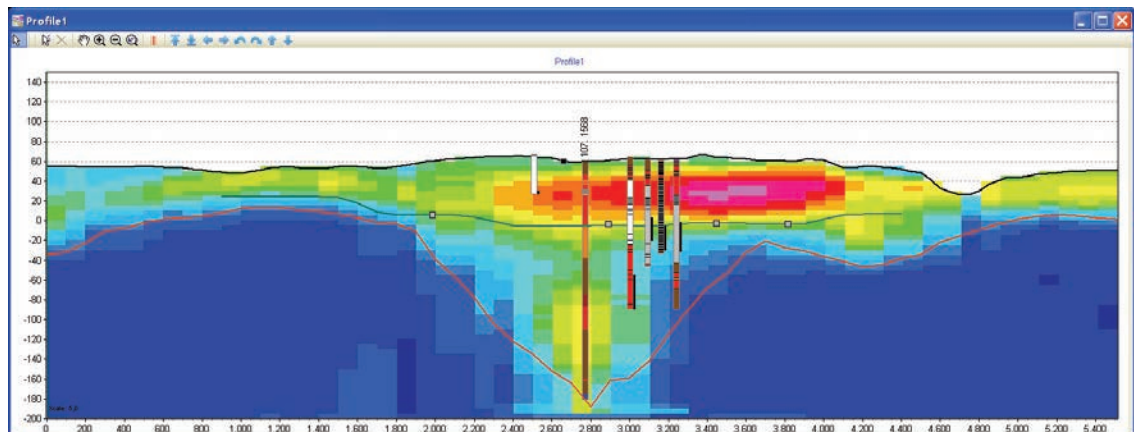
9.2.7 Holstein Interglacial

Identifikation i data

Der er flere steder i området identificeret interglaciale lag i borer. Heri beskrives de som diatomegytje eller diatomit. Tidligere pollenanalyser har angivet en alder af Holstein Interglacial (se bl.a. /4/). For at den geologiske model har kunnet opstilles korrekt har det været vigtigt at have denne alder sikkert bestemt. Derfor er der undervejs i modelprojektet blevet udført en ny og mere grundig pollendatering /18/. Der er blevet udtaget og analyseret 7 prøver fra boring DGU nr. 107.733 og serien kan med stor sikkerhed henføres til Holstein Interglacial. Serien, der befinder sig mellem kote 17 og 23 m, kan endvidere ses at være uforstyrret.

Neden under den daterede lagserie fra Holstein findes i stort set alle borer kalkfrie intervaller med sand. Denne sandede enhed er i flere boringsbeskrivelser tolket som værende en del af den interglaciale lagserie, mens den i andre borer er beskrevet som glacialt smeltevandssand. Disse sandaflejringer har en betydelig mægtighed nogle steder (mere end 50 m) og når således dybt ned i lagserien. Erosionsfladen, som tolkes at være resultatet af en omfattende erosiv hændelse, synes at skære gennem det kalkfrie sand tæt på sandets overflade (Figur 37). Derfor er det kalkfrie sand i modellen ikke medtaget i den interglaciale enhed, og er i stedet blevet tolket som smeltevandssand. Erosionsfladens forløb, der ses i SkyTEM-data, er dog ikke sikkert bestemt i området idet der ikke er modstandskontrast mellem sandet og diatomitten. Manglen på kalk i sandet kan skyldes kalkudvaskning af underlaget i Holstein interglacial, eller det kan skyldes at der er tale om omlejrte tertiære sandlag. Endelig kan det ifølge ovenstående ikke med sikkerhed udelukkes at sandet faktisk er af interglacial herkomst.

De høje modstande der ses i SkyTEM-data synes at have en sammenhæng med forekomsten af diatomitten i borerne. Dog må det forventes at det også er de underliggende kalkfrie lag samt forekomster af smeltevandssand oven over diatomitten der ses.



Figur 37 Profil gennem området med Holstein aflejringer. Diatomitten ses med mørk grå farve og de kalkfrie sandlag ses med lys grå farve. Erosionsfladen skærer gennem det kalkfrie sand, tæt på grænsen til Holstein-lagene. Mangelagsmodel, 3D grid som baggrund. Overhøjning: 5 x.

Modellerings teknik

Både top og bund af diatomitten er modelleret med fladetolkningspunkter. Disse er snappe til de borer, der viser tilstedeværelsen af laget.

Forekomst/udbredelse

De interglaciale aflejringer er kun fundet i et mindre sammenhængende område omkring Højballegårdværket og op mod Bleld (område D4). De interglaciale aflejringer ved Højballegård ligger højt i lagserien i forhold til de to begravede dale c1 og c3 (Bilag 15). Tilsyneladende findes de i et bassin oven over de to begravede dale, og modellen antager at der ingen dannelsesmæssig sammenhæng er til de underliggende dale. Der ses endvidere forekomster af diatomit i enkelte andre borer i modelområdet, men det vurderes at der ikke er sammenhæng med Højballegård-området. Der er sandsynligvis tale om små forekomster på disse steder.

Usikkerheder

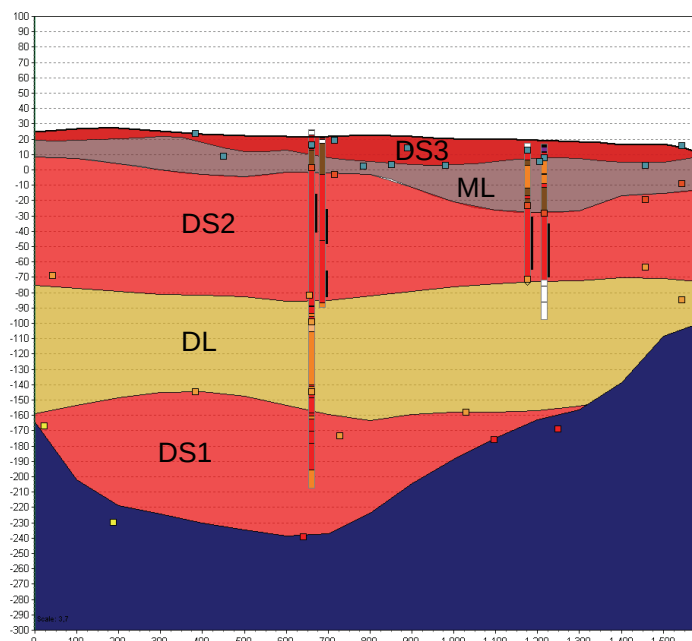
Udbredelsen af den interglaciale diatomit er dog usikker, idet den primært ses i området ved Højballegård hvor der findes rigtig mange borer. Når en brøndborer borer en ny boring her, vil han forvente at finde laget, og dermed vil der være større chance for at det bliver fundet. Dette vil ikke være tilfældet uden for dette område. Diatomitten kan således godt eksistere og være ligeså udbredt i nærliggende områder.

Det er ikke sikkert at erosionsfladen når ind i området (dvs. så langt mod sydvest), og dermed vil modellen give mulighed for at det kalkfrie sand kan tilhøre den interglaciale lagserie. Generelt er det på baggrund af borerne i modelområdet endvidere vanskeligt at afgøre om de beskrevne tertiære aflejringer nogle steder reelt kan være interglaciale aflejringer. Der er typisk tale om kalkfrie, brune/sorte aflejringer med glimmer. I nogle tilfælde forekommer disse som "flager" der ligger løsrevet i lagserien.

9.2.8 Glaciale lagflader og lag

Selvom der ikke findes SkyTEM data i den sydligste del af modelområdet (områderne B1-D2), har det været muligt at modellere en række lagflader og lag. Dette skyldes en mere homogen geologi i dette område kombineret med et større antal borer. Området befinder sig syd for den komplekse forkastningszone. Desuden har det i området sydvest for Gedved (områderne A4-B5), hvor der også er modelleret en tertiær lagserie, kunnet lade sig gøre at modellere kvartære lagflader og lag.

I det sydlige område er der modelleret 4 lagflader og 5 lag (se Figur 38); 3 smeltevandssandslag (DS1, DS2, DS3), et lag af moræneler (ML) og et lag af smeltevandssler (DL).



Figur 38 Profil fra det sydligste område i modellen. Her ses de modellerede lagflader og lag.

I området sydvest for Gedved ses et smeltevandssandlag (DS2) og et lag af moræneler (ML).

Identifikation i data

DS1 afgrænses af TopDS1 og Palæogenoverfladen og ses alene i to dybe boreriger ved Rugballegård (DGU nr. 107.894 og 107.1448), hvoraf kun den ene findes i Jupiter. Ingen andre boreriger når så dybt. Laget beskrives i disse to boreriger primært som smeltevandssand og –grus. Boring DGU nr. 107.1448 er grundigt analyseret og beskrevet i /12/.

DL afgrænses af TopDS1 og TopDL. Det ses i flere dybe boreriger (inkl. DGU nr. 107.894 og 107.1448), ligesom det ses i de tidligere udførte TEM-sonderinger i området /11/. I sidstnævnte ses laget som et lavmodstandslag, der kan korreleres med forekomsterne i borerigerne.

DS2 afgrænses i den sydlige del af TopDL og BundML og i området sydvest for Gedved af TopMiocæn og BundML. Det ses i en række boreriger som smeltevandssand og i TEM- og SkyTEM-sonderingerne som et højmodstandslag.

ML afgrænses af terræn eller TopML opadtil og BundML nedadtil. Det ses beskrevet som moræneler i borerigerne og ses som et lag med moderate modstande i TEM-data. Desuden ses det i MEP-data /19/ som et lag med moderate modstande. Det udgør det øverste lag i store dele af området; dog ses i et område en forekomst af DS3 oven på laget. Nedadtil afgrænses det af DS2.

DS3 afgrænses af terræn og TopML. Det ses beskrevet som smeltevandssand i borerigerne og ses som et lag med moderat til høje modstande i TEM-data. Desuden ses det i MEP-data /19/ som et lag med høje modstande.

Modellerings teknik

Fladerne er modelleret ved hjælp af fladetolkningspunkter. Disse punkter er afsat i flytbare profiler. Der er afsat snappede fladetolkningspunkter i boredata, TEM-data og i MEP-data og desuden er der afsat frie fladetolkningspunkter. Punktafstanden er omtrent 250 m. I områder uden punkter kan lagfladerne ikke ses i data/finde det ikke. Punktsværmene er interpoleret til grids ved hjælp af Inverse Distance med søgeradius 500 m og cellediameter 100 m.

Forekomst/udbredelse

DS1 findes kun i den sydlige del nede i den dybe dal under Bygholm Å (A2-D1). Overfladen ses generelt omkring kote -150 m, men dykker brat ned til omkring kote -200 m ved A1/B1 (se Bilag 21). Her viser boring DGU nr. 107.1448 at leret dykker kraftigt, ligesom flere TEM-sonderinger antyder det.

DL findes ligeledes i dalen (områderne A2-D1) og ses også at dykke lidt mod vest ved A1/B1. Overfladen ses generelt omkring kote -80 m (Bilag 22) og tykkelsen af leret er dermed omkring 70 m.

DS2 har en væsentligt større lateral udbredelse end DS1 og DL. Det dækker det meste af området sydvest for forkastningszonen se Bund ML (Bilag 23) og findes her generelt mellem kote 10 m og kote -40 m. Laget har en tykkelse på mellem 40 og 80 m. Toppen af laget (BundML) kan følges længere mod nordøst end bunden kan (TopDL). I området sydvest for Gedved er et sammenhængende smeltevandssandlag også blevet modelleret og benævnt DS2. Her befinder det sig mellem Miocænet og et dækkende lag af moræneler. Her er det betydeligt tyndere.

ML forekommer i begge de to områder som et forholdsvis uforstyrret morænelerdække. Tykkelsen af laget er typisk 20-40 m. DS3 forekommer ovenpå ML i det sydvestligste hjørne af modelområdet (Bilag 24). Dette lag kan være op til 30 m tykt.

Usikkerheder

TopDS1 er generelt usikker da den kun er tolket på baggrund af et par borer og nogle enkelte TEM-sonderinger (Bilag 21). Udbredelsen i dalen er dermed kun kendt ved de to borer, men det formodes at laget (DS1) findes i hele dalen.

TopDL er mere sikker, idet flere borer finder laget og en del TEM-sonderinger viser laggrænsen, samstemmende med boredata (Bilag 22). Udbredelsen mod øst og nordøst er dog usikker, idet der her ikke findes TEM-data og boredata.

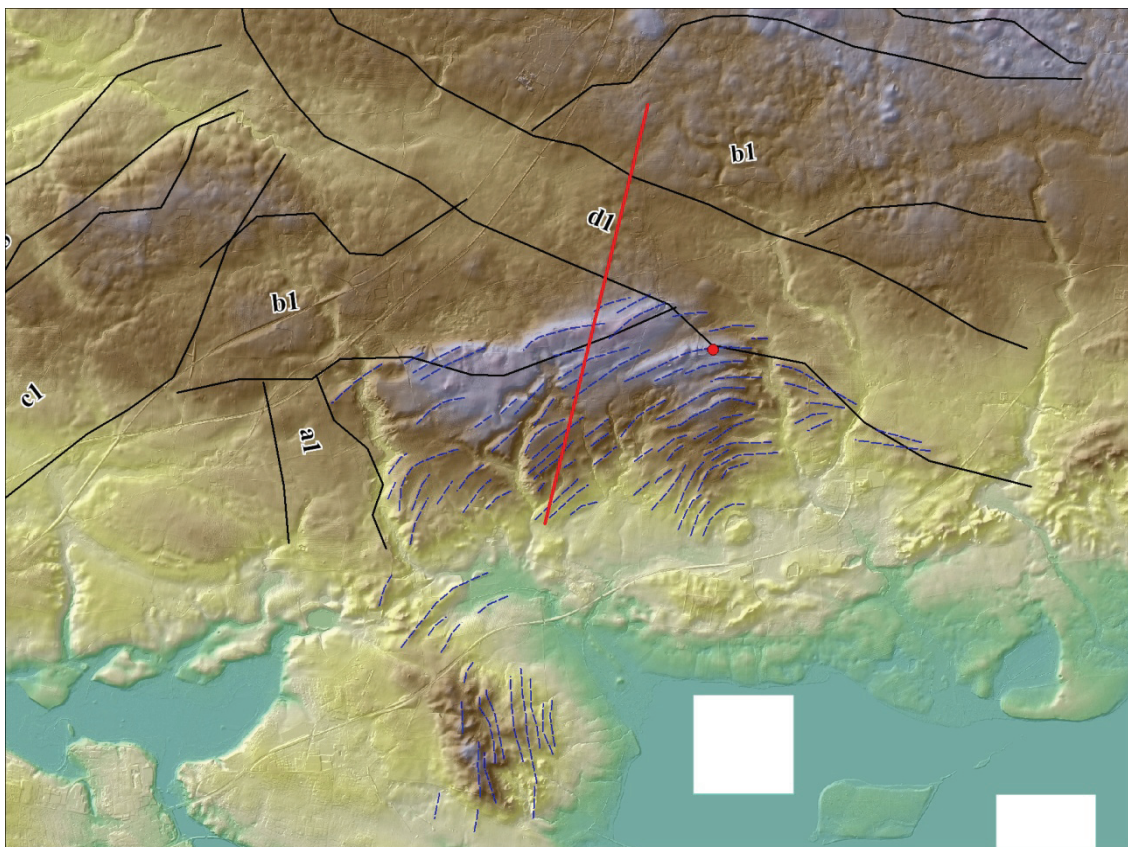
BundML er forholdsvis sikkert bestemt i den vestlige del af det sydlige område og i den nordlige del af det nordlige område. I begge disse områder findes udover boredata også TEM-data. I den østlige del af det sydlige område og i den sydlige del af det nordlige område er fladen usikker (Bilag 23).

Generelt er TopML ret sikker. De fleste punkter er tolket på borer, MEP-profiler eller TEM-sonderinger (Bilag 24).

9.2.9 Glacialtektonik

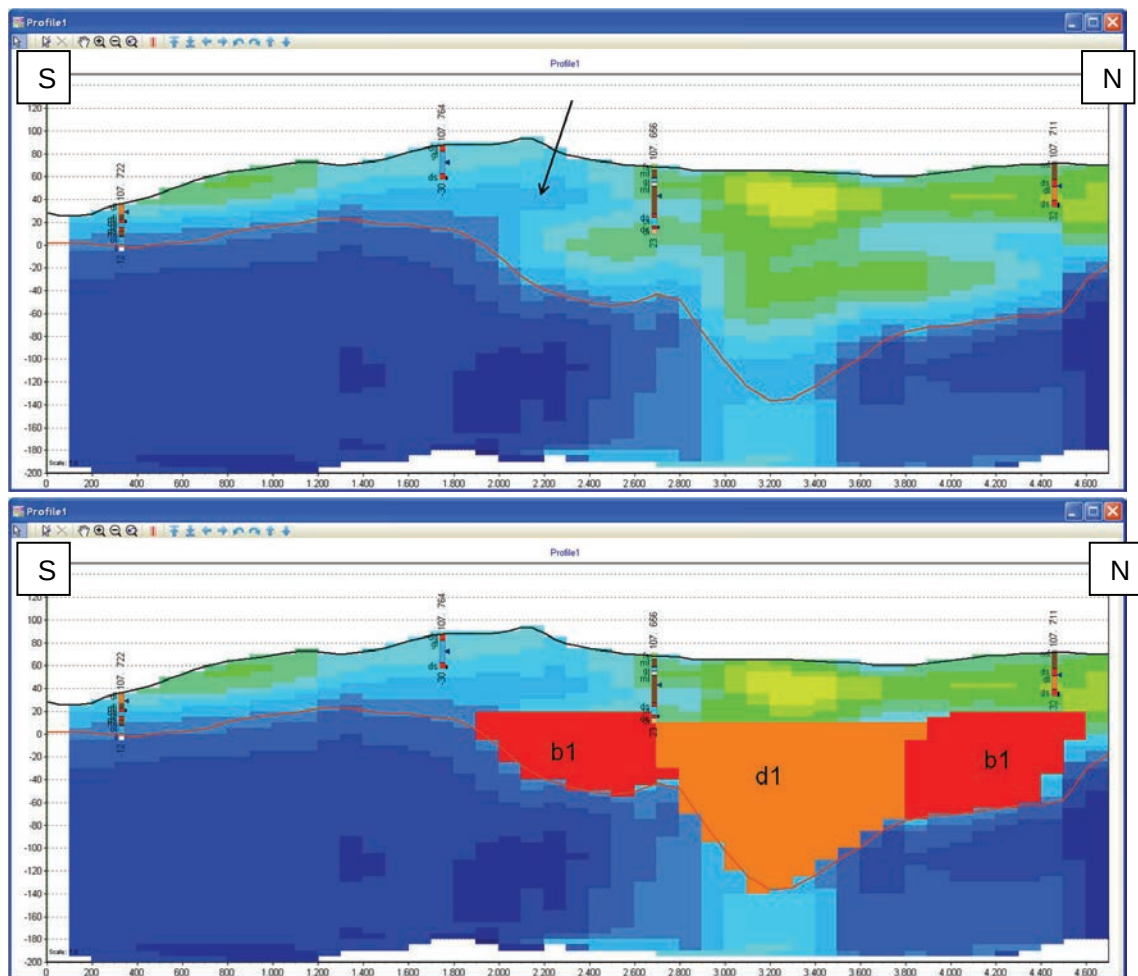
Identifikation i data

På den laserscannede højdemodel ses med stor tydelighed et glacialtektonisk kompleks i området mellem Tvingstrup og Søvind (F3-G3, Bilag 25). Højdemodellen er vist i Figur 39 hvor rækker af aflange, svagt buede rygge viser tilstedeværelsen af opskudte og imbrikerede sedimentflager. Det glacialtektoniske kompleks er skudt op fra syd og sydøst. På flere af disse rygge findes mergelgrave, hvori Søvindmergelen er blevet gravet. Bl.a. findes type-lokaliteten for Søvindmergel /20/ nøjagtig på toppen af en sådan ryg. Søvindmergelen er i graven forstyrret og presset op fra en sydlig retning hvilket stemmer godt overens med observationen i højdemodellen. Flagerne af Søvindmergel, og i øvrigt også af yngre tertiære aflejringer, ses desuden hyppigt i borer i området. Derudover kan zoner med lave modstande oven over den Palæogene overflade observeres i SkyTEM-data.



Figur 39 Højdemodel (COWI) med tydelige forekomster af glacialtektonisk imbrikerede flager skubbet op fra sydøst. Den tykke røde streg viser beliggenheden af profilsnittet i Figur 40. Rød prik viser beliggenheden af typelokaliteten for Søvind Mergel.

På Figur 40 vises et profil på tværs af det glacialtektoniske kompleks. Der ses flager af tertiært ler i borerne. Pilen viser en zone med opskudte flager af tertiært ler; sandsynligvis Søvindmergel. Flagerne ses at være skubbet ud over/i de begravede dale. Dette ses også af Figur 39, hvor flere af de glacialtektoniske rygge befinder sig ude i dalene. Dette betyder at dalene (både generation d og b) med sikkerhed er ældre end glacialtektonikken.



Figur 40 Profil på tværs af det glacialtektoniske kompleks – syd til venstre. Der ses flager af tertiært ler i borerne. Pilen viser en zone med opskudte flager af tertiært ler; sandsynligvis Søvindmergel. Flagerne ses at være skubbet ud over/i de begravede dale.

Modellerings teknik

De glacialtektoniske deformationer er for detaljerede til at kunne modelleres i den rumlige geologiske model.

Forekomst

Det glacialtektonisk deformerede område findes i området mellem Haldrup, Søvind og Tvingstrup (F1-G4). Hele lagserien over Palæogenet og op til terræn forventes at være gennemsat af overskydninger og folder.

Usikkerheder

Det er sikkert at området er glacialtektonisk deformeret, men det er ikke muligt at opstille en sikker 3D-model over området på grund af den store heterogenitet. Der forekommer sandsynligvis også glacialtektonisk forstyrrede lagserier i andre dele af modelområdet. Dette ses i spredte borer med antydning af flageforekomster, men det har ikke været muligt med sikkerhed at udpege andre områder end det her beskrevne.

9.2.10 Postglacial

Ved Nørrestrand, ved Hansted Ådal og ved Horsens Havn findes der i overfladen udbredte forekomster af postglaciale sedimenter. Disse ses i mange boringer hvori de kan være op til 20 m tykke. I områder hvor der er nok boredata til at give en forholdsvis sikker udbredelse af laget, er dette modelleret ved hjælp af fladetolkningspunkter. Disse punkter er afsat i flytbare profiler. Der er afsat snappede fladetolkningspunkter i boredata, og desuden er der afsat frie fladetolkningspunkter. Punktafstanden er omtrent 250 m. I områder uden punkter kan lagfladerne ikke ses i data/finde det ikke. Punktsværmen er interpoleret til grid ved hjælp af Inverse Distance med søgeradius 500 m og celledørrelse 100 m.

10. Beskrivelse af lithologisk model (hydrostratigrafisk model)

Den lithologiske model bygger videre på de geologisk/stratigrafiske enheder fra den rumlige geologiske model, og har som forudsætning at hele modelrummet skal udfyldes. Det betyder for voxelmodellens vedkommende at hele det tre-dimensionelle grid skal udfyldes, og at der således tildeles en lithologi til alle voxler i gridet inden for modelområdet.

Den overordnede procedure for udfyldning af lithologi-gridet kan skildres i nedenstående trin:

1. Udgangspunktet er et tomt grid med en udbredelse der som minimum går lidt ud over modelområdet og med en diskretisering på 100 m i X- og Y-retningen og 5 meter i Z-retningen.
2. Gridet udfyldes indledningsvist med smeltevandssand i voxler der i resistivitetsgridet har modstande højere end 55 ohmm. Denne metode benyttes for at sikre sig at alle højmodstandsområder i første omgang bliver overført til modellen, da det er for tidskrævende at overføre disse manuelt. Efterfølgende gennemgås områderne og tilrettes manuelt. Dette grid benyttes som udgangspunkt ved den videre manuelle modellering (pkt. 6).
3. Gridet udfyldes med lithologi for kalk fra bunden af gridet og op til den udarbejdede kalkoverflade.
4. Herefter fyldes gridet med lithologi for palæogent ler mellem kalkoverfladen og op til den udarbejdede overflade for palæogent ler.
5. Gridet udfyldes med lithologi for glimmerler og miocænt sand vha. udarbejdede lagoverflader.
6. Hele gridet gennemgås manuelt, og der foretages tolkning og manuel udfyldning af voxler på baggrund af forskellige datagrids (typerne nævnes og beskrives under afsnittene om de enkelte lithologier).
7. Udarbejdede kvartære lagflader for DS1, DL, DS2 og ML bruges til at fylde gridet op i sammenhæng med regionafgrænsninger.
8. De resterende voxler udfyldes med moræner.
9. Til sidst gennemgås det lithologiske grid med henblik på at sikre at der er overensstemmelse mellem lithologien i gridet og i borer. Til det formål er boreringsgridet som vises i Figur 15, bl.a. anvendt til at tildele lithologier i gridet.

Der er meget stor forskel på, hvor detaljeret lithologien er modelleret i de forskellige områder af modellen. I områder med tæt datadækning af god kvalitet opnår man som oftest en velopløst fordeling af de lithologiske forhold, mens man i områder med mindre god datadækning er tvunget til at beskrive dette mere overordnet.

I Egebjerg modelområdet er der ikke fløjet med SkyTEM-data i et areal, der udgør op imod 1/3. Det største sammenhængende område uden SkyTEM-data udgøres af den sydlige del af modellen ned mod Horsens fjord, men også i områder langs modellens øst- og nordrand

er der ikke foretaget SkyTEM-kortlægning. Der er endvidere områder internt i det SkyTEM-kortlagte område, hvor der ikke er fløjet SkyTEM eller hvor data er frasortet. Derfor er det til stor gavn at der tildeles usikkerheder overalt i modellen. Usikkerhedsgriddet bliver som det lithologiske grid ofte mere ensartet i områder hvor datadækningen er lille, mens en bedre datadækning giver mulighed for at differentiere mellem såvel lithologi som usikkerhed.

Det skal bemærkes at usikkerhedsgriddet i nogle områder er fejlbehæftet, idet modulet med "linkede grids" ikke var gennemtestet og havde mange udfald undervejs, som ikke umiddelbart kunne erkendes under tolkningen. Eksempelvis kan det nævnes at udfaldene har resulteret i at der i nogle områder, bl.a. i kalken, hvor der er udfyldt med "middelusikkerhed", selv om usikkerheden er vurderet til at være stor. Det er dog vurderet at selv om griddet ikke er uden fejl, så kan det give brugere af modellen et godt indtryk af hvor usikkerheden er vurderet god, middel eller dårlig.

10.1 Modellerede lithologiske enheder

I den lithologiske model er geologien beskrevet i henhold til modelområdets forskellige lithologier, og der indgår i alt 71 lithologiske enheder, jf.

Tabel 4. Ud af disse er der 4 prækvartære enheder som udgør kalk, palæogent ler, glimmerler og kvartssand. De kvartære lithologier er smeltevandssand og -grus, moræneler, smeltevandssand, smeltevandssand-vekslende små lag, interglacialt diatomit samt postglaciale aflejringer. Uden for området med SkyTEM er der defineret nogle områdefrænsninger for forkastningszonen og for området mod sydvest, hvor den geologiske lagfølge er stærkt påvirket af glacialtektonik. Opdelingen af smeltevandssand og -grus i 52 enheder (Tabel 4) giver mulighed for at anskue de enkelte enheder individuelt og tildele disse individuelle parametre.

Tabel 4 Antal enheder for de forskellige typer af lithologi.

Lithologi	Antal enheder
Smeltevandssand - vekslede små lag	7
Smeltevandssand/-grus	52
Smeltevandssand	1
Moræneler	1
Postglaciale aflejringer	1
Interglacial ferskvandssand	1
Interglacial ferskvandsdiatomit, kiselgur	1
Forkastningszone	1
Glacialtektonik, sandet	1
Glacialtektonik, leret	1
Kvartssand	1
Glimmerler	1
Palæogent ler	1
Kalk	1

Ved at modellere sandenhederne adskilt sikres en stor detail-rigdom. En stor andel af enhederne har dog fået tildelt identiske hydrauliske egenskaber og bliver aggregeret til færre større enheder i den numeriske grundvandsmodel.

Figur 41 viser symbollisten med de lithologiske enheder der indgår i den lithologiske model. Der er anvendt GEUS dobbeltsignatur og farvekoder for de lithologiske enheder. Dog er farvekoden undtaget for smeltevandssand og -grus. For at kunne skelne disse fra hinanden, har det været nødvendigt at anvende en bred vifte af forskellige røde nuancer til lilla nuancer, da GS3Ds symbolliste endnu ikke giver mulighed for at anvende andre signaturer såsom skravering og lignende. På baggrund af boringsbeskrivelserne er der ikke fundet særligt belæg for at inddele større områder som særligt sandede eller grusede. Derfor er alle kvartære grovklastiske lag anført som smeltevandssand (DS), selvom der helt eller delvist kan være tale om smeltevandsgrus i nogle områder.

5_DV_01_Smeltevandssand, vekslende små lag	49_DS_28_Smeltevandssand
7_DL_01_Smeltevandssler	50_DS_29_Smeltevandssand
8_ML_01_Morænerler	51_DS_30_Smeltevandssand
	53_DV_02_Smeltevandssand, vekslende små lag
11_ID_01_Interglacial ferskvandsdiatom+gytje, kiselgur	55_DV_04_Smeltevandssand, vekslende små lag
15_GS_01_Miocæn glimmersand	56_DV_05_Smeltevandssand, vekslende små lag
17_GL_01_Glimmerler	57_DV_06_Smeltevandssand, vekslende små lag
20_LL_01_Tertier plastisk ler	59_DS_32_Smeltevandssand
21_K_01_Kalk, kridt, kalksten	60_DS_33_Smeltevandssand
22_DS_01_Smeltevandssand	61_DS_34_Smeltevandssand
23_DS_02_Smeltevandssand	62_DS_35_Smeltevandssand
24_DS_03_Smeltevandssand	63_DS_36_Smeltevandssand
25_DS_04_Smeltevandssand	64_DS_37_Smeltevandssand
26_DS_05_Smeltevandssand	65_DS_38_Smeltevandssand
27_DS_06_Smeltevandssand	66_DS_39_Smeltevandssand
28_DS_07_Smeltevandssand	68_DS_40_Smeltevandssand
29_DS_08_Smeltevandssand	69_DS_41_Smeltevandssand
31_DS_10_Smeltevandssand	71_GT_S_Sand_GlacialTektonik
32_DS_11_Smeltevandssand	72_GT_L_Ler_GlacialTektonik
33_DS_12_Smeltevandssand	73_HX_Postglaciale saltv/ferskv afl.
34_DS_13_Smeltevandssand	74_FORKZ_Forkastningszone_fyld_veklsende lag
35_DS_14_Smeltevandssand	75_DS_FSV_TERR_Smeltevandssand_FyldSydVest_terræn nær
36_DS_15_Smeltevandssand	76_DS_FSV_ML_Smeltevandssand_FyldSydVest_mellem
37_DS_16_Smeltevandssand	77_DS_FSV_DYB_Smeltevandssand_FyldSydVest_dyb
38_DS_17_Smeltevandssand	78_DS_OVF_res> 55 ohmm mangelag skytem
39_DS_18_Smeltevandssand	79_DV_07_Smeltevandssand, vekslende små lag
40_DS_19_Smeltevandssand	81_DV_09_Smeltevandssand, vekslende små lag
41_DS_20_Smeltevandssand	82_DS_42_Smeltevandssand
42_DS_21_Smeltevandssand	83_DS_43_Smeltevandssand
43_DS_22_Smeltevandssand	84_DS_44_Smeltevandssand
44_DS_23_Smeltevandssand	85_DS_45_Smeltevandssand
45_DS_24_Smeltevandssand	86_DS_46_Smeltevandssand
46_DS_25_Smeltevandssand	87_DS_47_Smeltevandssand
47_DS_26_Smeltevandssand	88_DS_48_Smeltevandssand
48_DS_27_Smeltevandssand	89_DS_49_Smeltevandssand
	90_DS_50_Smeltevandssand

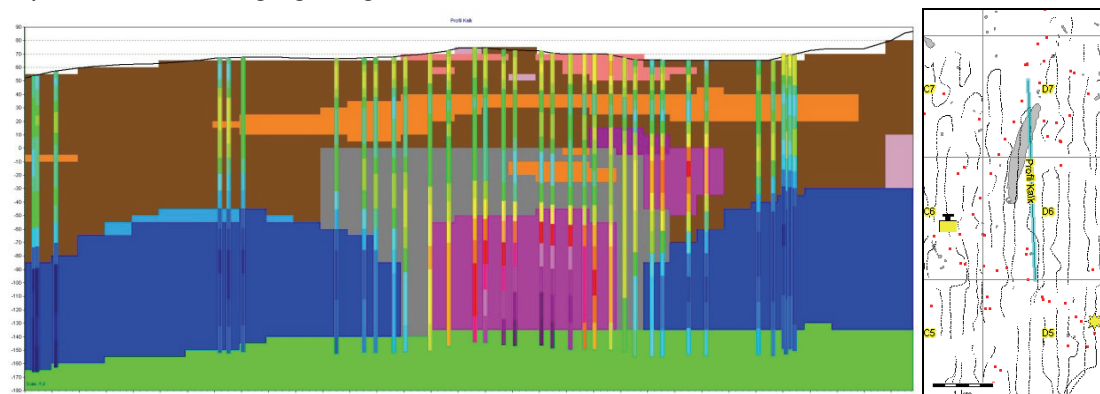
Figur 41 Symbolliste med de enheder der indgår i den lithologiske model.

10.2 Forekomst og fordeling af de enkelte lithologiske enheder i modellen

10.2.1 Kalk

Der er ingen grundvandsinteresser i kalken, og inden for området er der kun et sted hvor det fede palæogene ler er borteroderet, og hvor kalken har direkte fysisk kontakt til de kvartære aflejringer. Det er tilfældet i stor dybde i dal d1 (områderne D6 og D7) i kote ca. -135 m svarende til 210 m under terræn, jf. Figur 42. Oven på kalken er der tolket smeltevandssand (ds24) og vekslende lag af sand og ler (dv2). Der er ingen dybe boringer i nærheden,

og lithologien er alene tolket på baggrund af modstandsforholdene i SkyTEM. Det vurderes at den grundvandsstrømning og vandudveksling, der foregår mellem kalken og de kvartære lag, er minimal og negligeres i strømningsmodellen. Kalken er mere detaljeret beskrevet i kapitlet for den rumlige geologiske model.



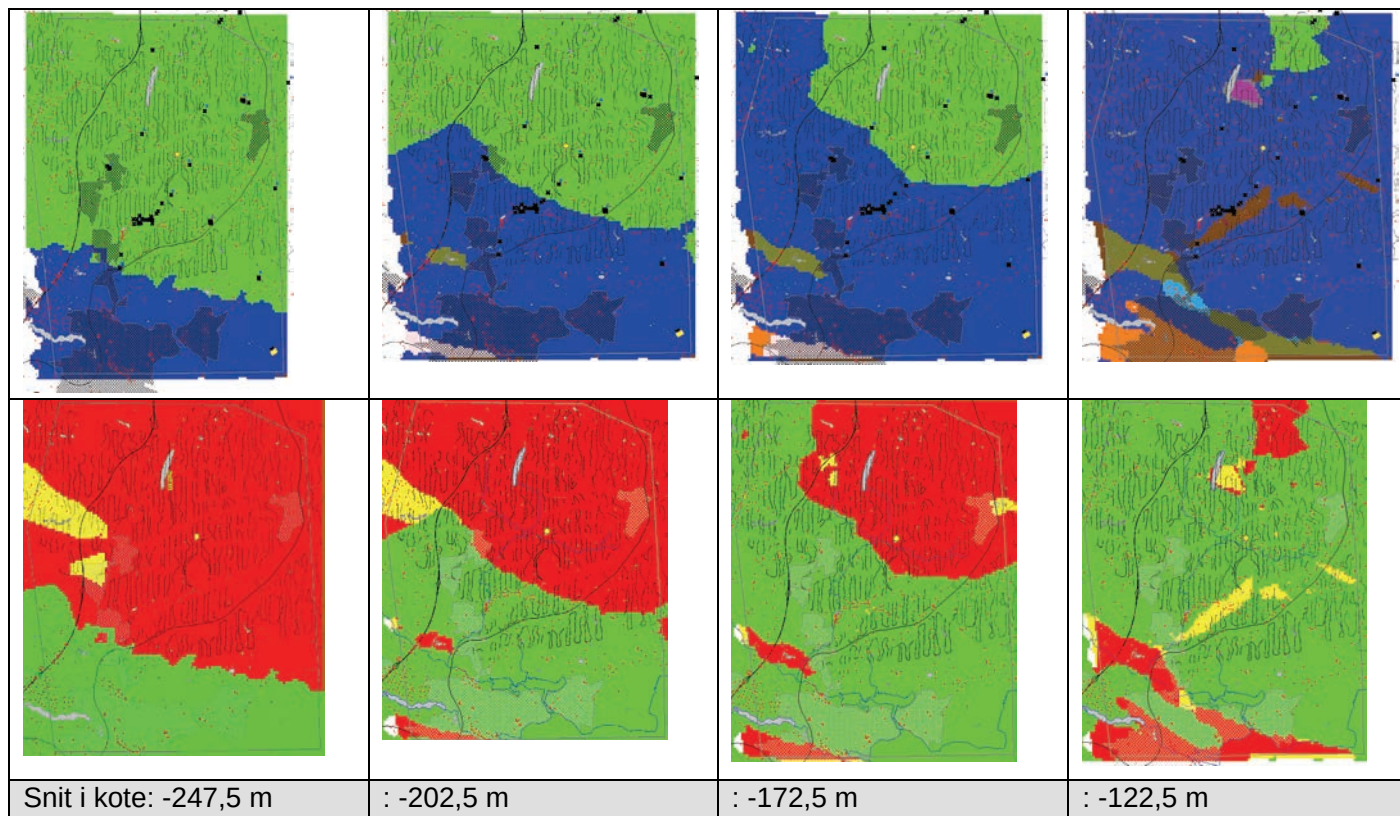
Figur 42 Lithologisk grid med hver tredje SkyTEM mangelagsmodel ovenpå. Kalken er grøn, det palæogene ler er mørkeblåt. Kalken har, som det eneste sted i modellen, direkte kontakt til kvartære aflejringer ds24 (violet) og dv2 (grå).

Den interpolerede kalkoverflade fra den rumlige geologiske model er anvendt som øvre grænse til at udfylde 3D-voxelgriddet for kalken. Rent teknisk er det gjort på den måde at man udvælger alle voxler i området og derefter udfylder alle voxler under kalkoverfladen. Kalken er indlagt med en stor tilknyttet usikkerhed i det særskilte usikkerhedsgrid, selvom kalkoverfladen har varierende usikkerhed. Der er kun én dyb kalkboring (DGU nr. 107.219) i hele modelområdet, og kalkens mægtighed er usikker i området. Det er ligeledes forbundet med en vis usikkerhed om de høje modstande, der erkendes stedvist i de nederste lag i SkyTEM sonderingerne, skyldes kalkens højere modstande, eller om der reelt er tale om en dårlig bestemmelse af modstandene i de allerdybeste lag.

10.2.2 Det palæogene ler

Lagfladen for toppen af palæogenet er tolket ud i hele modelområdet, og er på samme vis som for kalken brugt til at udfylde alle voxler nedenunder lagfladen. Da der ikke skelnes mellem typer af fedt plastisk ler/mergel udfyldes der med lithologien "palæogent ler" overalt i modellen ned til kalkoverfladen. På samme måde som det blev gjort med kalken, udvælges først alle voxler i GS3D, hvorefter der er filtreret med forskellige filtre: Top palæogen vælges som øvre grænse, samtidig med at der sættes et kriterium for at det kun er tomme voxler, der må udfyldes. Herved sikrer man at kalken ikke overskrives i modellen, og at alle voxler mellem top Palæogen og top kalk udfyldes med palæogent ler. Bilag 26 viser et tykkelseskort for Palæogent ler. Der er meget stor forskel på tykkelsen af det palæogene ler, der varierer fra 0 og op til over 300 meters tykkelse. Der er stort sammenfald mellem områder hvor der er relativt tynde lerlag og beliggenheden af de begravede dale som følge af subglacial smeltevandserosion i området, jf. også Bilag 12. Det er samtidig interessant at se hvorledes vandværkernes indvindingsboringer er placeret i områder, der ofte har sammenfald med dalflankerne for de begravede dale.

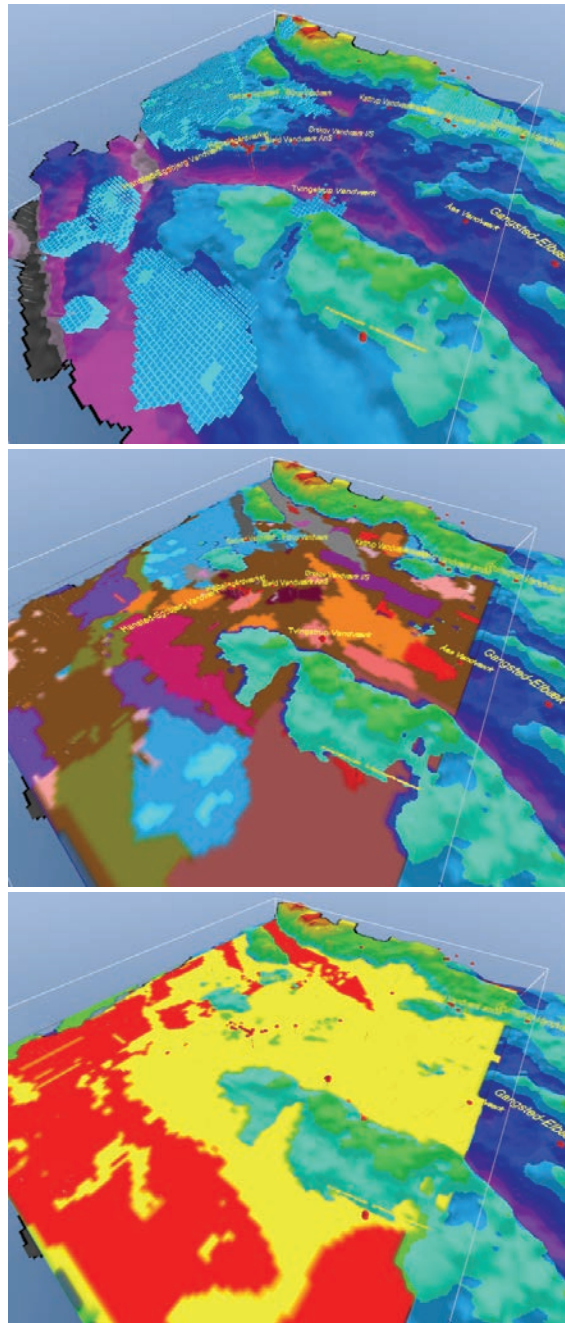
Figur 43 er der vist fire horisontale snit i forskellige koter gennem den lithologiske model. Snittene giver et overordnet indtryk af hvor kalken, henholdsvis det palæogene ler, befinder sig i den lithologiske model. Snittene går helt fra bunden af modellen i kote -247,5 m og op til kote -122 m, hvor kalken forsvinder. Det illustreres at der er stor forskel på lerets og kalkens udbredelse, alt efter hvilken kote man befinder sig i.



Figur 43 Horisontale snit i lithologi-griddet. Øverst lithologi-griddet med kalk (grøn) og palæogent ler (blå). Endvidere ses nogle enkelte kvartære lithologiske enheder. Nederste række er usikkerhedsgrid med sikker (grøn), middel (gul) og usikker (rød).

10.2.3 Miocæn

Miocæne aflejringer findes primært i de samme områder som angivet i den rumlige geologiske model. Lagfladerne er igen anvendt til at udfylde voxelgriddet, men i dette tilfælde er lagfladerne dels brugt til automatisk udfyldning af griddet, og dels som baggrundstema på profiler, i kortsnit, og i 3D. Det har ikke været muligt fuldt ud at lave automatisk opfyldning af miocæne voxler, idet det har været nødvendigt at tilrette/supplere udbredelsen i randområderne af lagfladerne. I voxelgriddet er de miocæne aflejringer modelleret som glimmerler og kvartssand.



Figur 44 Øverst miocæne aflejringer ovenpå top palæogen. I midten det lithologiske grid i kote - 7,5 m og nederst usikkerhedsgriddet i samme niveau. Set fra sydøst.

GS3D og særligt arbejdet med voxel-griddet giver gode muligheder for at filtrere på de aflejring-
er man ønsker at vise. På Figur 44 er disse faciliteter udnyttet til at vise de miocæne aflejringer
afbildet som voxler sammen med lagfladen for top palæogen. Det ses at de miocæne aflejringer
ikke er modelleret i de begravede dale, men på fladerne mellem dalene.

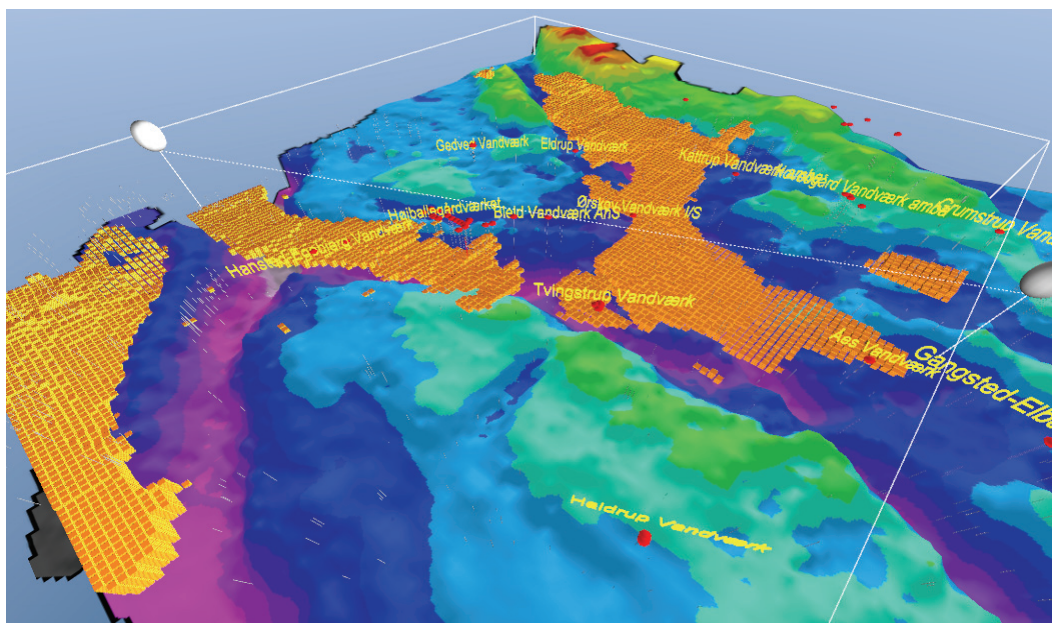
Øverst er det kun voxler med miocænt sand og glimmerler der er vist. I midten er der afbildet et snit i 3D-griddet i kote -7,5 m. Her er alle lithologiske enheder vist fra det pågældende koteniveau sammen med toppen af palæogenet der ligger som øer, der rager op over snittet.

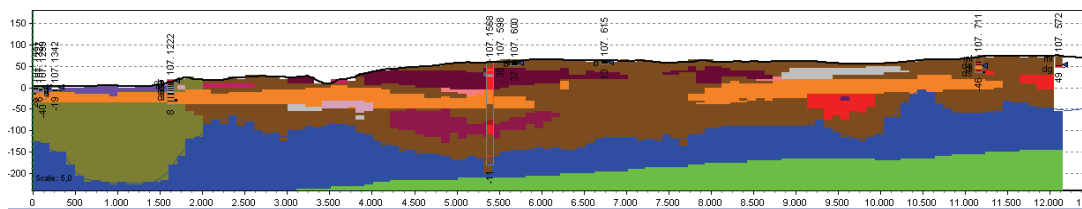
Nederst er det tilsvarende voxel-grid vist for usikkerheder i samme som oven over. Det ses at særligt i den sydlige del af modelområdet er der stor usikkerhed på tolkningen grundet den dårligere datadækning, og en geologi der er præget af forkastningsaktivitet (se Bilag 3). I det nordvestlige hjørne er der dalfyld som ligeledes vurderes at have en stor usikkerhed, mens store områder centralt har en middel usikkerhed, delvist grundet en større datadækning fra SkyTEM-undersøgelsen.

I Bilag 27 ses et tykkelsekort for det miocæne kvartssandslag, der viser at de største sammenhængende miocæne sandaflejringer ses sydvest for Gedved. Gedved Vandværk indvinder vand fra dette lag. Lokalt er der syd for Gedved og nord for Hovedgård op til ca. 60 m tykke miocæne lag, mens de miocæne sandlag typisk har tykkelser på maks. 20 til 30 meter. Der er ikke andre vandværker, der har filtersatte boringer direkte i miocæne lag. Mod syd ses mindre områder med miocæne afleriger i forkastningszonen.

10.2.4 Smeltevandsler

Figur 45 viser størstedelen af smeltevandslerets (DL) udbredelse. Det ses at det ofte er sammenfaldende med beliggenheden af de begravede dale. De største mægtigheder findes ofte centralt i dalene. Tykkelsen på smeltevandsleret er typisk mellem 20 til 40 meter og centralt i de store dale op til ca. 50 m, jf. Bilag 28. I det sydvestlige hjørne ved Horsens by (Rugballegård-området, A1-A4) er der modelleret meget store mægtigheder helt op til ca. 100 meters tykkelse. Det er ikke urealistisk med så store mægtigheder, idet der i boring DGU nr. 107.894 er fundet ca. 50 m smeltevandsler og i boring DGU nr. 107.721 er der i de nederste næsten 100 m fundet knap 80 m smeltevandsler. Den nye boring DGU nr. 107.1568 (område C3) påviser ligeledes en stor mægtighed på 33 m smeltevandsler centralt i modelområdet som i kombination med moræneler adskiller to tykke sandlag øst for Egebjerg i Højballegårdområdet.





Figur 45 3D-view, der viser smeltevandsslerets udbredelse. Smeltevandssleret er ofte sammenfaldende med beliggenheden af de begravede dale. Mindre partier kan dog også findes på fladerne. Set fra sydøst. Placeringen af områdets vandværksboringer er vist med røde prikker. Den nye boring DGU nr. 107.1568 ses på profilet.

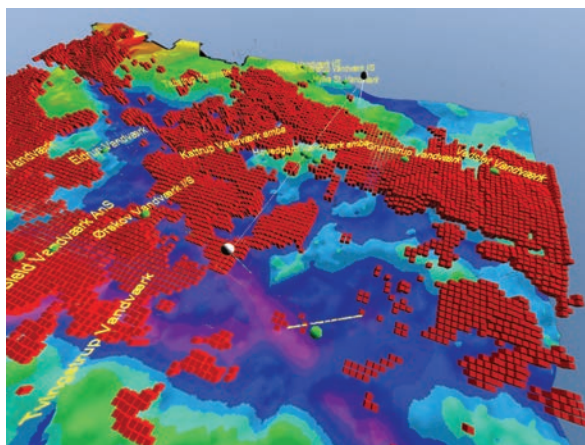
10.2.5 Moræneler

Et akkumuleret tykkelseskort for moræneleret i hele den kvartære lagpakke er vist på Bilag 29. Moræneleret er den hyppigst forekommende kvartære bjergart i modelområdet og findes i store tykkelser både i og udenfor de begravede dale. Overordnet findes de største tykkelser i den nordøstlige kvadrant af modellen, og mere præcist ses den største tykkelse i den begravede dal øst for Højballegaard og syd for Bleld vandværk (områderne 4D-4E) hvor tykkelsen når op på ca. 200 m. Typiske tykkelser ligger mellem 15 og 50 m. De områder, hvor moræneleret er tyndest eller helt fraværende, er typisk sammenfaldende med de områder hvor der er stor tykkelse af miocæne lag. F.eks. i området vest for Hansted skov, ved Gedved og Egebjerg (områderne 4A- 5A og 4B-5B), nord for Hovedgård (områderne 6E-6F, 7E-7F) og ved Stensballe (område) E1, jf. Bilag 27. I disse områder er der typisk mindre end 20-30 meter moræneler, og stedvist er moræneleret helt fraværende.

10.2.6 Smeltevandssand og -grus

De kvartære sand- og gruslag er i den lithologiske model modelleret i tre trin med forskellige tolkningsprocedurer:

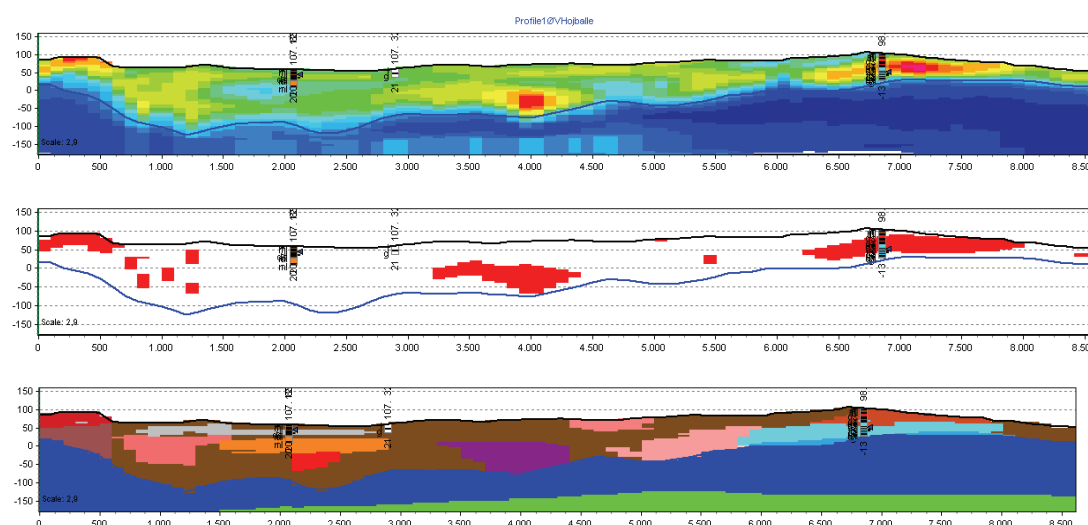
1. I en kopi af det stakkede SkyTEM-mangelags 3D-grid er der udsøgt voxler med resistiviteter større end 55 ohmm. Disse er i første omgang tilskrevet værdien smeltevandssand (DS) og visualiseret på profiler, i kortsnit og i 3D som vist i Figur 46.
2. 3D-griddet er dernæst gennemgået manuelt og modelleret (dvs. korrigeret) i henhold til den subjektive forståelse af de geologiske forhold. Tilretningen er overvejende udført på horisontale kort og vha. dynamiske profiler der flyttes 100 m af gangen. Som baggrundsdata anvendes SkyTEM 3D-grids og stave, både mange- og fålagsmodeller samt boringer, se i øvrigt Kap. 6.2. Alle legemer er gennemgået og tilrettet således at de opfylder den geologiske forståelse. I denne proces inddrages information fra øvrige data.
3. Den manuelle gennemgang viste sig tidskrævende og for at øge hastigheden, og i høj grad for at sikre at der er modelleret sand, hvor der er filtre i boringer, blev der interpoleret et borings 3D-grid til en afstand af 100 m eller 200 m fra boringer og anvendt til at stemple sand- og gruslithologier i boringsnære områder i lithologigriddet. Se i øvrigt Kap. 6.1.



Figur 46 Voxler med resistiviteter større end 55 ohmm vist sammen med top Palæogen. Kameravinkel fra sydøst.

Overgangen fra et SkyTEM-mangelags-3D-grid via de udsøgte højresistive lag (>55 ohm) til den lithologiske model er illustreret i

Figur 47. På profilet i figuren er det tydeligt at arealet af sandenhederne på det nederste profil (lithologiske model) er markant større end arealet for de højresistive lag på det midterste profil.



Figur 47 Udvalgt profil der viser udviklingen fra 3D-SkyTEM-grid til model. Øverst ses resistivitetsgriddet, i midten de udsøgte resistiviteter større end 55 ohmm og nederst det modellerede grid. Turkis, rødlige og lilla farver er alle sand, mens orange er smeltevandsler. Toppen af palæogenet er lagt ind på alle tre profilsnit.

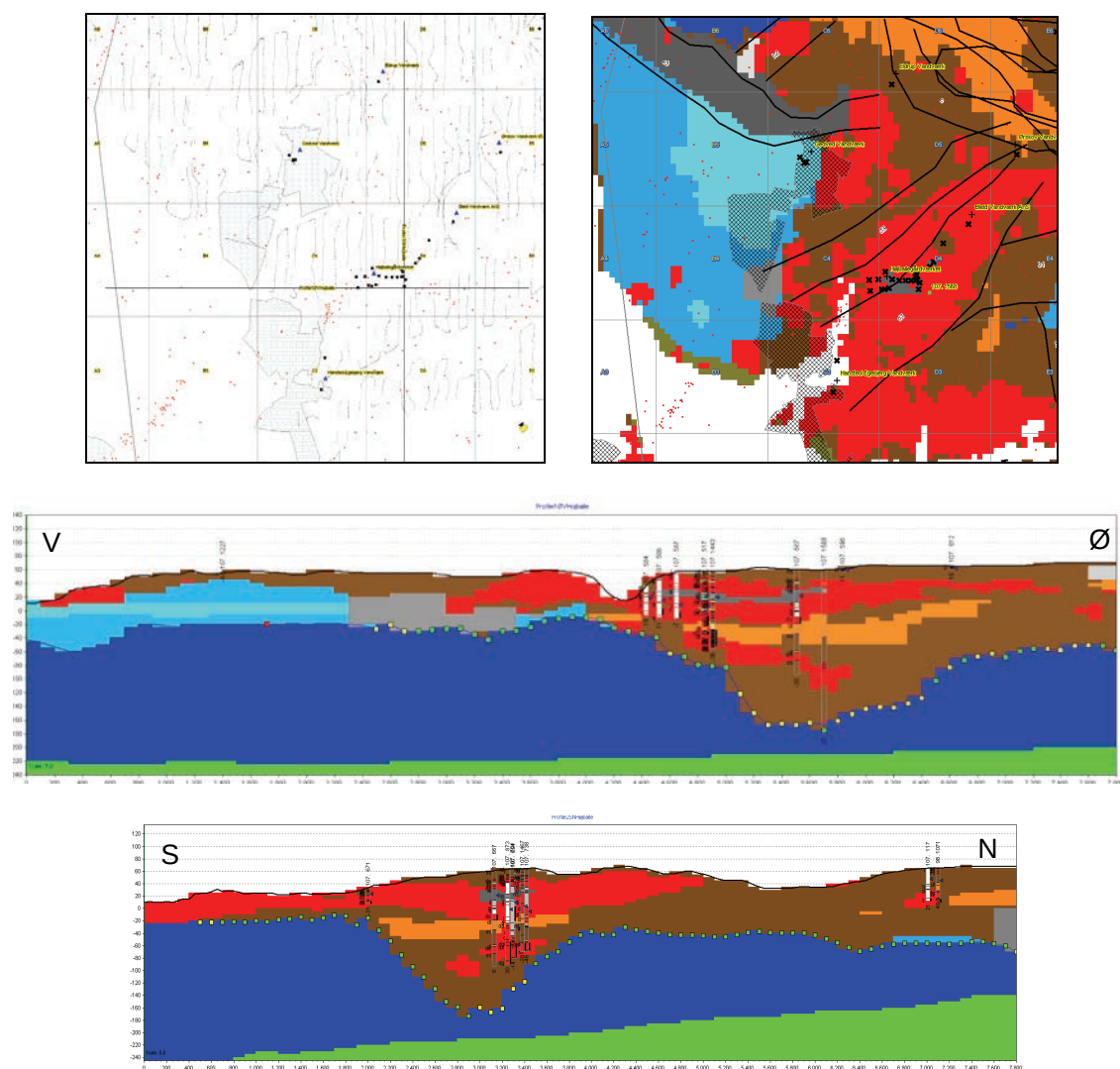
For at skabe en version med mere overblik i det lithologiske grid og for at vise sammenhænge mellem kvartære sand- og gruslag, er der lavet en symbolliste, hvor alle de kvartære sand- og grusenheder er vist med rødt, se Figur 49.

Eksempel: Højballegaard-området

Figur 48 viser to profiler der går gennem det store kompleks af grundvandsmagasiner omkring Højballegaardværket. Det ene er orienteret øst-vest og det andet nord-syd. På profilet

er sandenhederne vist med rødt svarende til symbolværdi 32 og 34 i det lithologiske grid. Det øverste sands maksimale længde er omkring 6 km, og er ca. 2 til 3 km hvor det er bredest. Laget har de største mægtigheder omkring Bleld vandværk og Højballegårdværket (områderne 4D-4E) hvor det når tykkelse på op imod 80 m. Kun centralt opnår det så store mægtigheder, og lagets gennemsnitlige tykkelse er ca. 25 m. Sandet har de største mægtigheder over dal d1, men udbreder sig horisontalt nord for dalen. Man finder denne øvre sandenhed mellem kote -30 og 50 m. Nede i dal d1 findes et dybereliggende sandlag (symbolværdi 33 i det lithologiske grid), som maksimalt når op på omkring 80 meters tykkelse. Dette lag optræder på dybder fra omkring kote -30 m og ned til ca. 120 meters dybde. Der er flere steder fysisk kontakt mellem de to sandenheder, mens det i andre område er adskilt af tykke lag af moræneler og smeltevandsler.

Der er lavet et tykkelseskort for hver af de 3 sandenheder, der tilsammen udgør magasin-komplekset omkring Højballegård, Hansted-Egebjerg og Bleld (Bilag 30, Bilag 31 og Bilag 32). Kortene viser, hvor sandet er modelleret i forhold til indvindingsboringerne, og hvorledes sandenhedernes tykkelse varierer på grid niveau.



Figur 48 Fokus på sandlagene/grundvandsmagasinerne omkring Højballegaard (vist med rødt). Profilerne placering er angivet på kortet til venstre og til højre ses et kortsnit i kote 17,5 m. Øverste profil går fra vest til øst, og nederste fra syd mod nord.

10.3 Profiler

I Bilag 33 vises et oversigtskort med 11 profilers placering. Profilerne er lavet i GS3D og er placeret så der gives et overblik over modellen. Der er ikke taget hensyn til om boringer er rigt repræsenteret i profilerne, da profilerne er udarbejdet for at vise hvorledes geologien er repræsenteret ved de forskellige lithologiers udbredelse. Profilerne er placeret med en indbyrdes afstand på 2500 m og har alle en overhøjning på 5. De 4 syd-nord orienterede profilsnit kan ses på Bilag 34. De 5 vest-østorienterede profiler findes på Bilag 35, og de sidste to profiler, som følger de to dalstrukturer e1 og c1, ses i Bilag 36.

Figur 49 viser de lithologiske enheder der indgår i den lithologiske model. Der er kun vist en lithologi for hver type af lithologi - f.eks. er de 51 enheder for smeltevandssand og -grus slået sammen til én enhed. Der indgår 13 forskellige typer af lithologi i modellen.

De indledede tanker fra forståelsesmodellen i trin 1 /4/ om at de dybereliggende strukturer kan erkendes i terrænet er meget tydeligt på de fleste profiler på Bilag 34, Bilag 35 og Bilag 36. Særligt kan det erkendes at kalkoverfladen og terrænet har overordnede forløb der minder om hinanden på profil 1 i Bilag 34 samt på Profil 2 på Bilag 36. På profil 2 mellem 5200 og 7200 m ses ligeledes at der er direkte kontakt mellem kalken og en dybtliggende kvartær sandenhed.

Tykkelsen for sand- og grusenheder over toppen af palæogenet er vist på Bilag 37a og for udvalgte dybdeintervaller på Bilag 37b til Bilag 37g ([-250;-100], [-100;-50], [-50;0], [0;50], [50;100] og [100;165]). Sandtykkelsen er beregnet ved at lægge voxler (af 5 meters tykkelse) bestående af sand sammen inden for et angivet koteinterval. De største tykkelser af sand og grus findes centralt i modelområdet samt i nordvest, vest og sydvest for Hovedgård (områderne 6E-6F, 7E-7F). Nordvest for Hovedgård er der tykke lag af sand der udgøres af ca. 50 m kvartært sand og op til ca. 60 m tykke lag miocænt sand. Vest for Hansted Skov og Hansted-Egebjerg-området (områderne 4A- 5A og 4B-5B) er der et stort udbredt lag af miocænt sand mellem 5000 og 9500 m, men med relativ lille mægtighed på maksimal tykkelse på omkring 25 m. Profil 2 viser at der i hvert fald i dette område ligger tykke lag af smeltevandssler, som adskiller 2 store sandenheder ved Højballegaard. Det øverste sandlag har en horisontal udbredelse mellem 2700 og 7000 m, mens smeltevandssleret ses mellem 4600 og 6300 m, lige som det nedre magasin også har en mindre udbredelse. Samlet har sandlagene mægtigheder på op imod 60-70 m. I den sydlige del af Hansted-området er den samlede tykkelse af det kvartære sand helt op til 100 m. Det er forbundet med stor usikkerhed om der reelt er tale om så tykke lag, da man er ude i randen af SkyTEM-området og da lagene ikke erkendes i boringer. Der er meget tykke lerlag i det sydvestlige område ned mod Horsens by, men udbredelsen af disse lag er meget tvivlsom da de kun er kendt fra boringer. De tykke sandlag kan ses på Profil 1 på Bilag 34 længst mod syd mellem 0 og 1000 m.



Figur 49 Legenden for lithologier. Viser også på Bilag 36.

10.4 Lertykkelseskort

Der er trukket lertykkelser ud for dybdeintervallerne 0-5 m, 0-10 m, 0-15 m og 0-30 m samt for intervallerne 5-10 m, 10-20 m og 20-30 m (Bilag 38a til Bilag 38g). Lertykkelserne er beregnet ved at trække de pågældende dybder fra terrænoverfladen og derved beregne nye lagflader, der anvendes til at udvælge voxler i 3D-lithologigriddet inden for et angivet dybdeinterval. Inden for det angivne dybdeinterval optælles antallet af voxler der består af ler (lithologi: smeltevandsler, moræneler, moræneler, glimmerler, tertiær plastisk ler, ler i udpeget område med glacial tektonik). Antallet af voxler inden for et dybdeinterval ganges med 5 meter da hver voxel er 5 meter tyk. Beregningerne er udført vha. af GS3D Toolbox og Access.

I den centrale og sydvestlige del af modelområdet er der overvejende små lertykkelser samt områder hvor der slet ikke er ler. I den nordlige del af modellen er der relativt store områder hvor leret er 5-10 meter tykt, men det kan også helt mangle inden for de øverste 30 m. I midten af modelområdet, omkring Højballegårdværket og Hansted-Egebjerg Vandværk er der relativt tynde lertykkelser ned til mellem 0-10 meter. Af Bilag 38a og Bilag 38b fremgår det at leret findes helt terrænnært, typisk i mellem 0 og 10 meters dybde. Værkerne har filtre placeret i flere niveauer hvoraf flere er placeret på relativ stor dybde, og i området er der modelleret tykke lerlag i større dybde end 30 meter under terræn. I området sydvest for Hansted-Egebjerg er der områder hvor der ifølge Bilag 38c slet ikke forekommer ler. Området svarer til forkastningszonens afgrænsning (Bilag 3) som ikke indgår i lertykkelsesberegningen. Der kan således være ler i området inden for de øverste 30 meter, men det er meget usikkert hvor tykt leret er pga. manglende data i området. Det er af forsigtighed ikke medtaget i beregningen. Ligeledes ses der større områder med tynde lerlag over dalen syd for Kattrup Vandværk, sydøst for Tvingstrup Vandværk og vest for Tebstrup Vandværk. Overordnet er der et vist sammenfald mellem områder hvor der er stor sandtykkelse, og hvor der er mindre tykkelse for leret, men der ses dog også markante afvigelser fra dette.

10.5 Volumenberegninger for lithologier

På baggrund af den lithologiske model er det muligt at lave en "aggregeret" volumenberegning for udvalgte lithologiske enheder. Enhederne er aggregeret for hver lithologi således at alle kvartære sandenheder er slået sammen til én enhed. Det samlede volumen for lithologierne er vist i Tabel 5 og er opgjort i mio. m³. Som eksempel kan nævnes to lithologiske enheder (32 og 33) som udgør de primære magasiner ved Højballegaard. Det øverste sandlag (enhed 32) består af 9025 voxler svarende til 451 mio. m³, mens det nedre sandlag (33) består af 1182 voxler svarende til 59 mio. m³, jf. Bilag 40. Det øverste lag er således omkring 7-8 gange større end det nedre. En oversigt over volumen på de enkelte enheder kan findes på Bilag 40.

Der er mere end dobbelt så meget moræneler i forhold til smeltevandssand i modellen. Der er ca. 5 gange så meget glimmerler i forhold til miocænt sand. Samtidig udgør smeltevandssleret også en betydelig andel. Hvis man puljer de forskellige typer lithologier over top palæogen, er der lidt mere end den dobbelte mængde moræneler i modellen sammenlignet med sand. Ikke overraskende er der næsten 50 % mere plastisk ler i modellen i forhold til kvartære lag. Sådan må det nødvendigvis være, dels fordi toppen af palæogenet har et kotespænd på ca. 400 m (fra -270 m til 133 m), men mest fordi GS3D ikke kan håndtere varierende voxelstørrelser i samme grid. Her er der et stort potentiale for optimering af brug af PC-ressourcer.

Tabel 5 Det totale volumen for de modellerede lithologier.

Lithologi	Volumen i mio. m3
Palæogent ler	26618
Moræneler	7497
Smeltevandssand	3560
Forkastningszone	1667
Glimmerler	1472
Smeltevandssler	1428
Smeltevandssand - vekslende små lag	999
Glacialtektonik, leret	917
Miocænt kvartssand	325
Postglaciale saltv/ferskv afl.	118
Glacialtektonik, sandet	63
Diatomit	5

10.6 Angivelse af hydrauliske parametre

Der er for alle lithologiske enheder i voxelgriddet indledningsvist angivet en hydraulisk ledningsevne som lav, middel eller høj bl.a. med anvendelse af /24/. Disse bliver benyttet som startværdier i forbindelse med den hydrologiske modellering. Angivelsen for hver enkelt enhed kan ses i Bilag 40. Der er tale om en indledende vurdering på baggrund af kendskab til målte værdier ved prøvepumpninger og MRS etc. Der vil blive arbejdet videre med dette emne i det igangværende grundvandsmodelprojekt for området hvor startværdierne optimeres yderligere, dels på baggrund af hydrauliske data, og dels på baggrund af viden fra den indledende kørsel.

Der er modelleret et større antal lithologiske enheder end der kan anvendes i grundvandsmodellen. Fordelen ved at holde enheder adskilte er at det derved er meget nemt at koble og adskille enheder i grundvandsmodellen. Man kan argumentere for at de lithologiske enheder rent geologisk ikke skal tolkes som én lithologisk enhed pga. at de er genetisk forskellige, men også fordi de rent lithologisk adskiller sig fra hinanden. I grundvandsmodellen skelnes der ikke mellem genetisk dannelse, men ene og alene ud fra de hydrauliske parametre, og derfor kan man slå flere af de lithologiske enheder sammen.

Ved at angive forskellige ID'er i det geologiske grid kan man altid komme tilbage til det geologiske udgangspunkt blot ved at ændre i den tabel der kobler de lithologiske enheder til enheder for forskellige parametre i grundvandsmodellen.

11. Diskussion

Der er i dette udviklingsprojekt aftestet en alternativ metode for opbygning af geologiske modeller i den danske grundvandskortlægning: Voxelmodellering. Dette er til dels sket på bekostning af den traditionelle lagmodel. Dog er det fundet mest optimalt at opstille modellen som en kombineret voxel- og lagmodel. Der er i forbindelse med projektet udviklet et koncept for hvorledes en geologisk model bedst udformes for at opfylde både præcisionskrav og krav om effektivitet, og der er udviklet en procedure for hvorledes modelopstillingen teknisk set kan gennemføres. Konceptet er udviklet således at de i GeoVejledning 3 /3/ beskrevne anbefalinger følges. Yderligere diskussion vil først kunne finde sted når resultaterne af grundvandsmodelleringen foreligger.

12. Erfaringer og anbefalinger

12.1 Voxelmodellering

På baggrund af de opnåede erfaringer i projektet kan følgende anbefalinger vedr. voxelmodelmodellering gives:

- En voxelmodel kan bedre end en traditionel lagmodel beskrive komplekse rumlige geologiske strukturer. Voxelmodellering er derfor en fordel hvis der skal opstilles en detaljeret geologisk model.
- Det kan være mere effektivt at benytte voxelmodellering hvis der skal opstilles en detaljeret model.
- Det er en fordel at opstille kombinerede voxel- og lagmodeller idet voxelmodellen bedre beskriver komplekse rumlige strukturer, mens lagflader (fladetolkningspunkter) bedre beskriver laggrænser præcist.
- Det tilrådes at der i forbindelse med et voxelmodelprojekt afsættes tid til oplæring af den/de modellører, der skal gennemføre et modelleringen. En væsentlig del af denne oplæring vil bestå i at lære programmets performance-begrænsninger at kende.
- Det tilrådes at der afsættes tid til løsning af software-problemer, da voxelmodul et endnu er relativt uafprøvet i GS3D.
- Anvendelsen af voxelmodellering bør så vidt muligt koordineres med et evt. efterfølgende grundvandsmodelprojekt, således at voxelne med hensyn til diskretisering og indhold bedst muligt kan indarbejdes i grundvandsmodellen.
- Det anbefales at der videreudvikles på området, idet der er et potentiale for at optimere procedurer omkring geologisk modellering yderligere. Dette gælder både softwaremæssigt samt modelkonceptmæssigt.
- Det tilrådes at aggregere fladedækkende geofysiske data til 3D resistivitetsgrids (i dette projekt SkyTEM og PACES) således at de geologiske strukturer og former bedre kan overskues i tolkningsmiljøet. Dog skal de enkelte datapunkter også anvendes i tolkningen.
- Både fålags- og mangelagsmodeller fra SkyTEM skal indgå som en del af datagrundlaget i tolkningen. Der kan udledes forskellig information fra de to modeludgaver.
- Det tilrådes at halvautomatiske voxeludfyldningsmetoder så vidt muligt anvendes – dog kun som understøtning af den manuelle/subjektive modellering.
- Der er udviklet et koncept for usikkerhedsvurdering. Dette er forholdsvist simpelt og kan anvendes universelt. Det er tidskrævende at udføre, men et værdifuldt produkt i den efterfølgende anvendelse af modellen.
- Det har været til stor nytte at opdele den geologiske model i en rumlig geologisk model og en lithologisk model (svarende til en hydrostratigrafisk model). Den lithologiske model er således bygget op omkring de grundlæggende geologisk/stratigrafiske elementer i den rumlige geologiske model. Den investerede tid i den rumlige geologiske model udmønter sig i en bedre lithologisk model.

Funktionaliteterne til voxelmodellering i GeoScene er på nuværende tidspunkt anvendelige, men der findes et stort potentiale for forbedring på området. Med en videreudvikling af GeoScene 3D (tilrettede værktøjer og performanceforbedringer) forventes voxelmodelmetoden med fordel at kunne erstatte en del af de traditionelle lagmodeller. Herved vil der kunne opnås effektiviseringer i arbejdet med opstilling af geologiske modeller.

12.2 Tolkningsteknikker

Følgende tolkningsprincipper er blevet udviklet i projektet og kan anbefales benyttet i andre modelprojekter:

- Anvendelse af 3D resistivitetesgrids som baggrund på både profiler og i horisontale snit med samtidig med anvendelse af enkeltsonderinger.
- Tolkning på dynamiske profiler og horisontale snit med gennemgang af alle data ved brug af lille projektionsafstand (50 m) og en kort horisontal forskydningsafstand (offset) på 100 m (både voxeltolkning og fladetolkning).
- Anvendelse af 3D boringsgrids i voxeltolkningen og i horisontale snit.
- Voxeludvælgelsesteknikker – bl.a. "region grow", "linked grids editering"
- "Linked map layer slices" – muliggør horisontaltolkning i kortsnit
- Anvendelse af både mangelags- og fålagstolkninger for SkyTEM.
- Metode til modellering af palæogenoverfladen, hvor der tages udgangspunkt i den gode leder og anvendes (2D) gridmodellering, med efterfølgende konvertering til fladepunktstema.
- Anvendelse af usikkerhedsgrids og usikkerhedsangivelse på tolkningspunktniveau.

Teknikkerne er alle nærmere beskrevet i denne rapport.

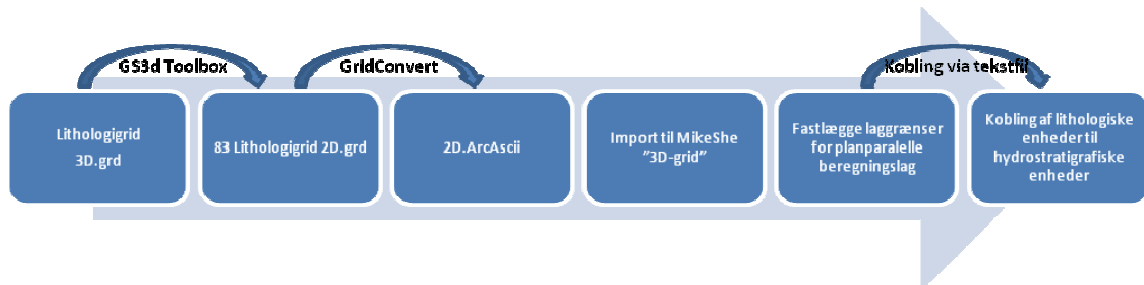
12.3 Anvendelse af SSV til beskrivelse af lithologi

Anvendeligheden af SSV-konceptet til tildeling af lithologi i voxelmodellen er blevet testet i dette projekt. Det viste sig desværre at SSV-koden på nuværende tidspunkt ikke er i stand til at gøre dette tilfredsstillende, fordi der inverteres i dybder og ikke i koter. Resultatet viser at SSV-konceptet bør justeres for at kunne imødegå en anvendelse i den geologiske modelleringsproces. Dette kræver en ændring af SSV-koden.

Det kan i øvrigt ikke forventes at SSV vil kunne erstatte en egentlig deterministisk/manuel geologisk modellering. Subjektiv viden og geologisk forståelse går tabt ved en ren anvendelse af SSV (eller andre geostatistiske modelleringsmetoder) uden en samtidig manuel, subjektiv tolkningstilgang. Men der vurderes at eksistere et potentiale i at anvende SSV i kombination med manuel geologisk modellering. Derfor anbefales det at SSV-koden videreudvikles til brug ved egentlig geologisk modellering.

13. Overdragelse til hydrologisk model

Workflowet for overførsel af det lithologiske grid til den numeriske grundvandsmodel er illustreret i Figur 50 og er indledningsvist udført ved at opsplitte det lithologiske 3D-grid til 83 stk. 2D-grids af 5 meters tykkelse.



Figur 50 Workflow for overførsel af lithologisk grid til grundvandsmodel i MikeShe format.

Efterfølgende er disse konverteret fra 2D-Surfer grids til ArcAscii formatet som er blevet indlæst til MikeShe. Importen af de 83 ArcAscii grids til MikeShe er udført vha. et script der indlæser alle de dannede ArcAscii grids til MikeShe på én gang. Det geologiske grid kommer på denne måde over i MikeShe med helt identisk afgrænsning og diskretisering.

Der er herefter defineret 30 planparallelle beregningslag i MikeShe med samme horisontale størrelse som voxelerne fra den geologiske model (100 x 100 m).

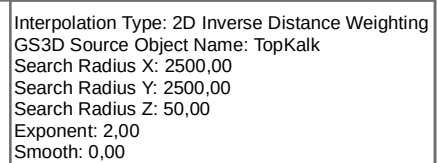
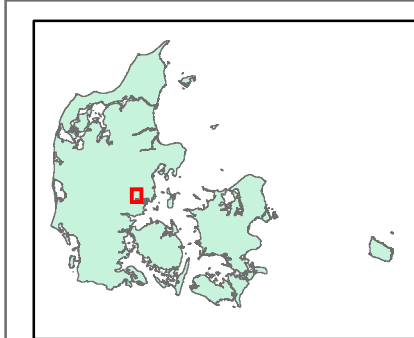
Efterfølgende er der udarbejdet en tabel (csv-fil) der oversætter symbolværdien for en lithologisk enhed til en startværdi for hydraulisk ledningsevne jf. Bilag 40. Værdierne fra det lithologiske voxelgrid anvendes til at beregne et volumenvægtet gennemsnit for den hydrauliske ledningsevne for hver beregningscelle via en rutine i MikeShe.

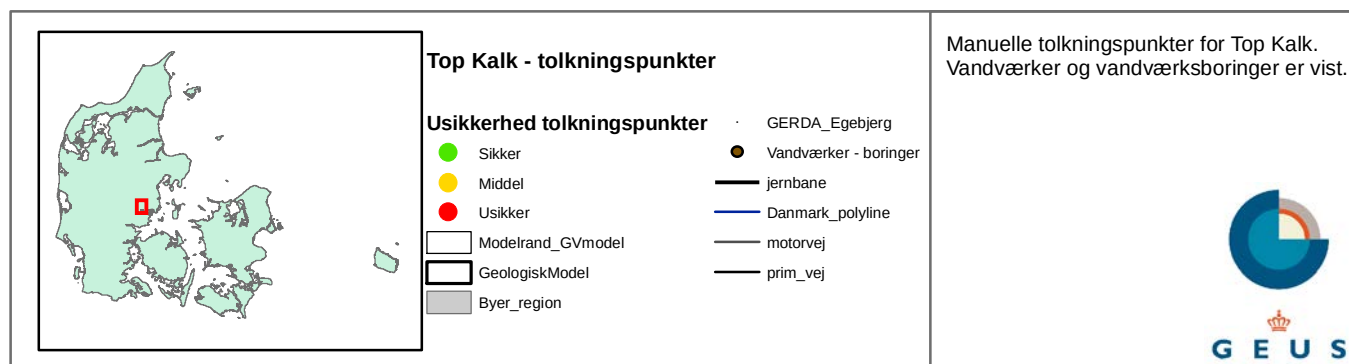
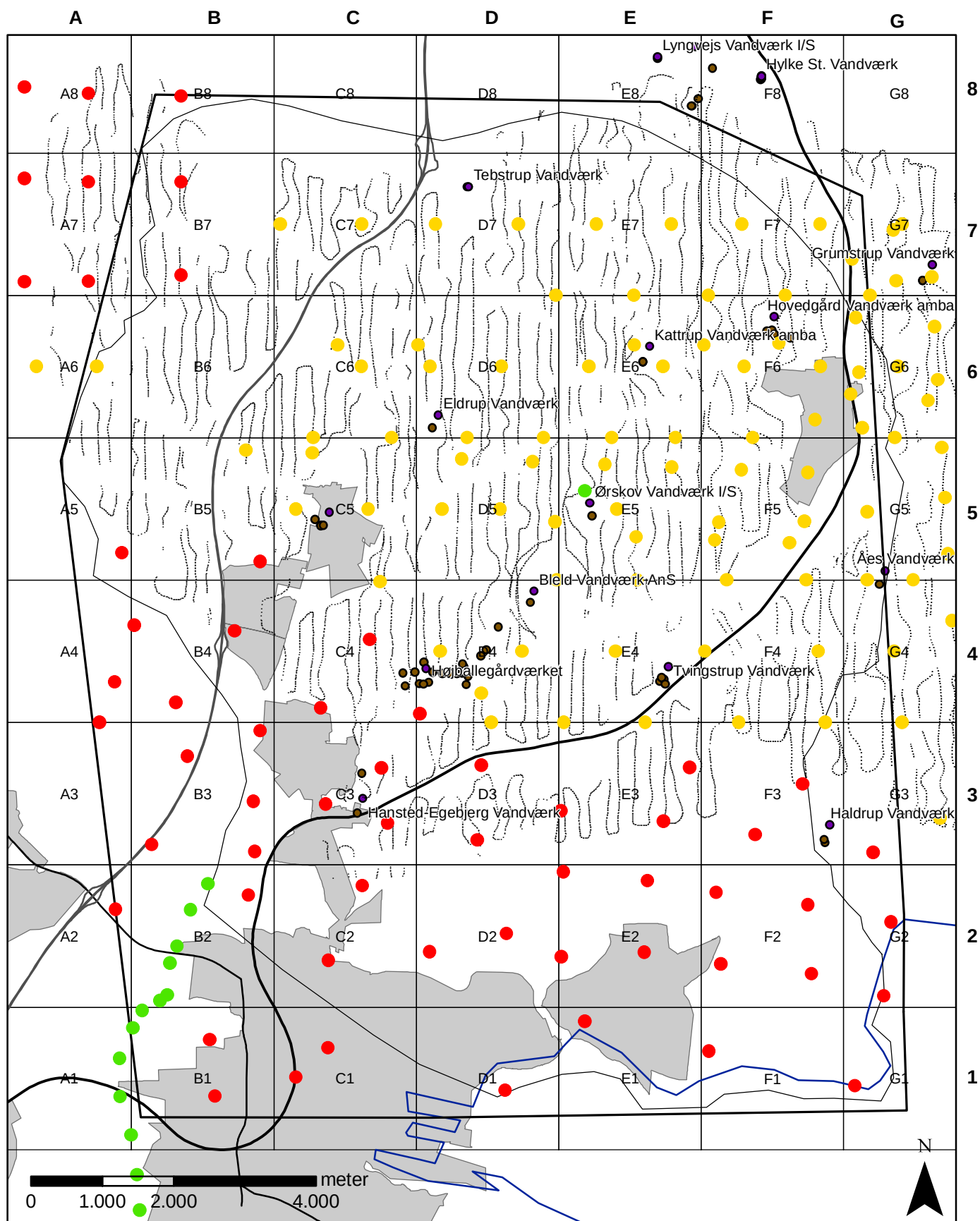
For øverste beregningslag er jordartskortet indlagt som en linse i MikeShe. For dette lag beregnes startværdien som et vægtet gennemsnit af fordelingen af sand og ler i jordartskortet og for geologien i det lithologiske modelgrid. En mere detaljeret beskrivelse af fastlæggelse af beregningslag og startværdier gives i rapporten for grundvandsmodellen.

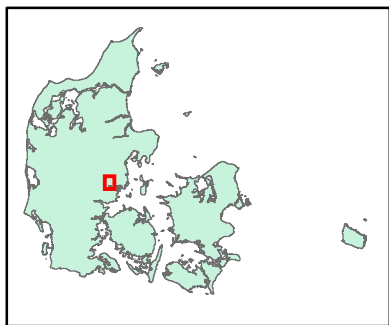
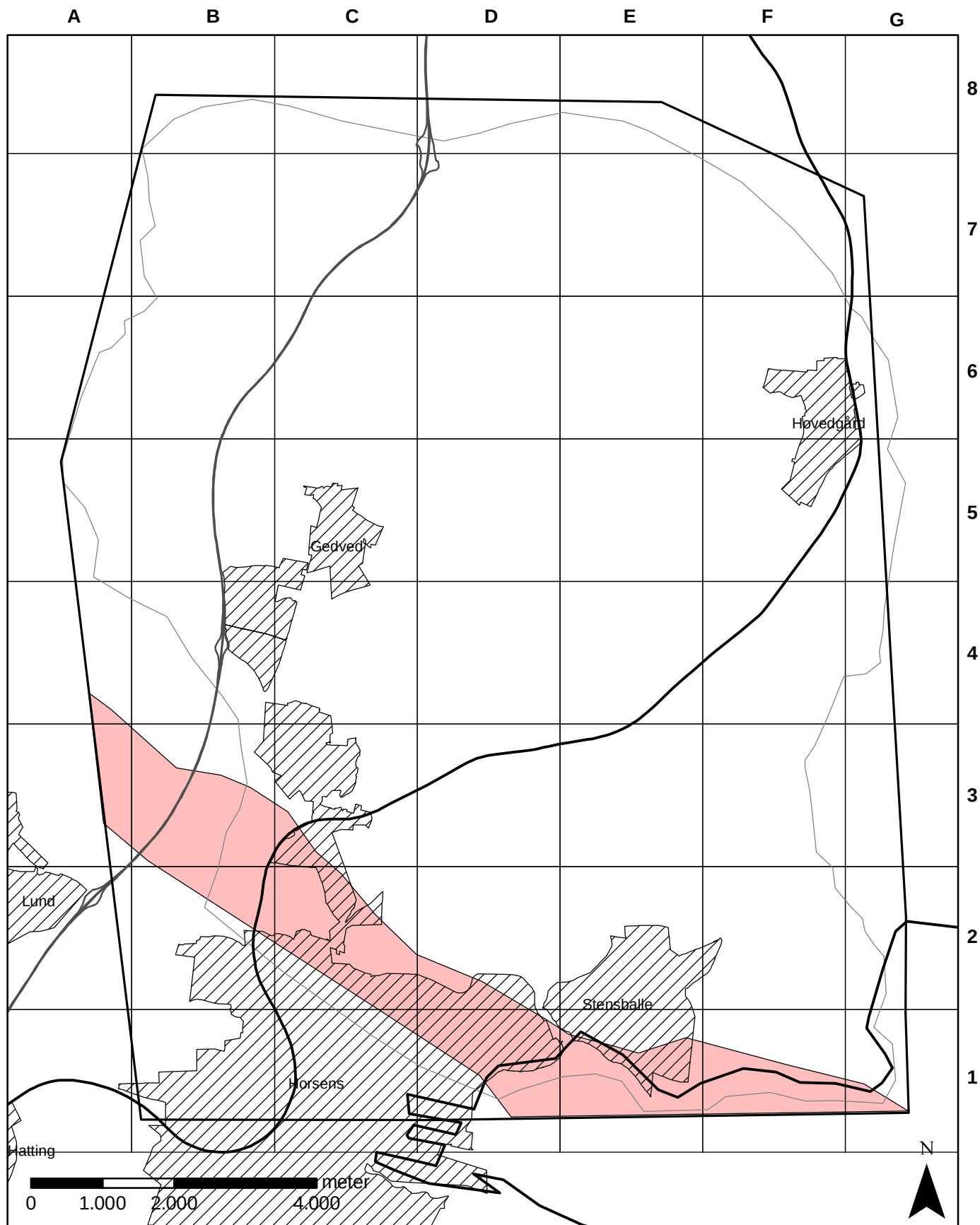
14. Referencer

- /1/ <http://www.cliwat.eu/>
- /2/ Rambøll 2010: Boringsregistrering Lindved/Hovedgård/Solbjerg/Fillerup.
- /3/ 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 grundvandsmodeller. Geo-Vejledning 3, 176 pp. Copenhagen: Geological Survey of Denmark and Greenland.
- /4/ Grontmij Carl Bro 2009: Trin-1 kortlægning af Hovedgård kortlægningsområde.
- /5/ I-GIS 2010: GeoScene 3D. <http://www.i-gis.dk/Default.aspx?tabid=132>.
- /6/ Orbicon A/S 2010: Miljøcenter Århus, Egebjerg boringer.
- /7/ GEUS, 2006: Dybden til Redoxgrænsen, Vibeke Ernstsén og Peter Roll Jakobsen, GEUS. GIS: Frants von Platen og Lisbeth Tougaard, GEUS. WEB: Carsten E. Thuesen, GEUS
- /8/ Århus Amt, 2005: Det aktive potentialekort – genereret 19-12-2005
- /9/ 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.
- /10/ Geologisk Institut, Aarhus Universitet 2002: Refleksionsseismisk opmåling mellem Torsted og Egebjerg, april-august 2001. Udført for Vejle Amt.
- /11/ GEUS 2010: Udtræk af GERDA-databasen. Rugballegård, TEM-data.
- /12/ Foldager, C. 2003: En dyb, begravet kvartær dal ved Horsens. Geologi og oprindelse. Upubliceret specialerapport. Århus Universitet.
- /13/ Vejbæk, O. V. 1997: Dybe strukturer i danske sedimentære bassiner. Geologisk Tidsskrift, hæfte 4, pp. 1-31.
- /14/ Jørgensen, F. & Sandersen, P. 2009: Kortlægning af begravede dale i Danmark - opdatering 2007-2009. GEUS rapport, særudgivelse.
- /15/ 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.
- /16/ 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.
- /17/ Jørgensen, F. and Sandersen, P.B.E. 2006: Buried and open tunnel valleys in Denmark – erosion beneath multiple ice sheets. Quaternary Science Reviews, Vol. 25, 11-12, pp. 1339-1363.
- /18/ Odgaard, B. 2010: Pollenanalytisk datering af Ferskvandsaflejring i DGU 107.733 Horsens Vandværk. Rapport, Århus Universitet. Udført for Miljøcenter Århus.
- /19/ GEUS 2010: Udtræk af GERDA-databasen. Rugballegård, MEP-data.
- /20/ Larsen, G & Kronborg, K. 1994: Geologisk Set. Det mellemste Jylland. Geografiforlaget.
- /21/ Rambøll 2009: MRS-sonderinger ved Egebjerg – foreløbige resultater udleveret af Miljøcenter Århus.
- /22/ Turner, A.K. 2006: Challenges and Trends for Geological Modelling and Visualisation, Bulletin of Engineering Geology and the Environment 65, 2, 109–127.
- /23/ Alectia 2008: SkyTEM kortlægning ved Hovedgård/Egebjerg - Databehandling og geofysisk tolkning.
- /24/ KAN Miljø, 2006, Højballegaardværket, Analyse af historiske data, for Horsens Kommune

Bilag







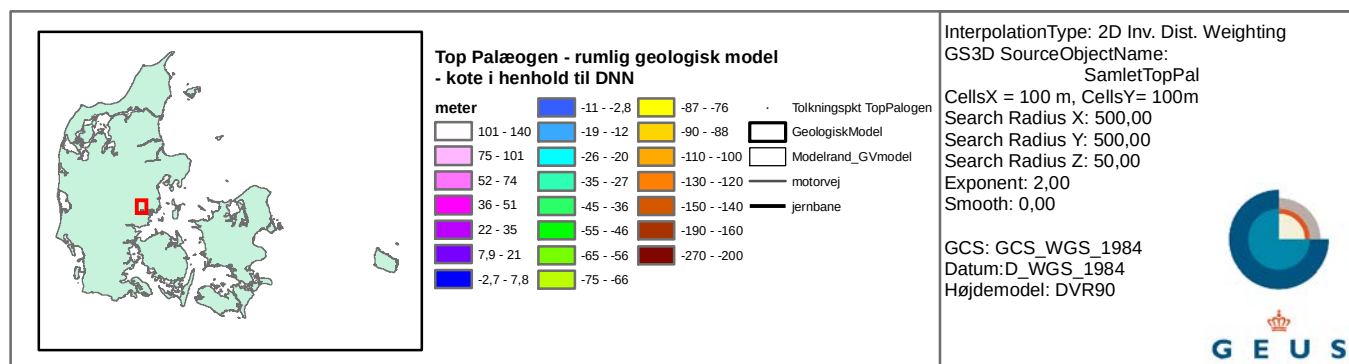
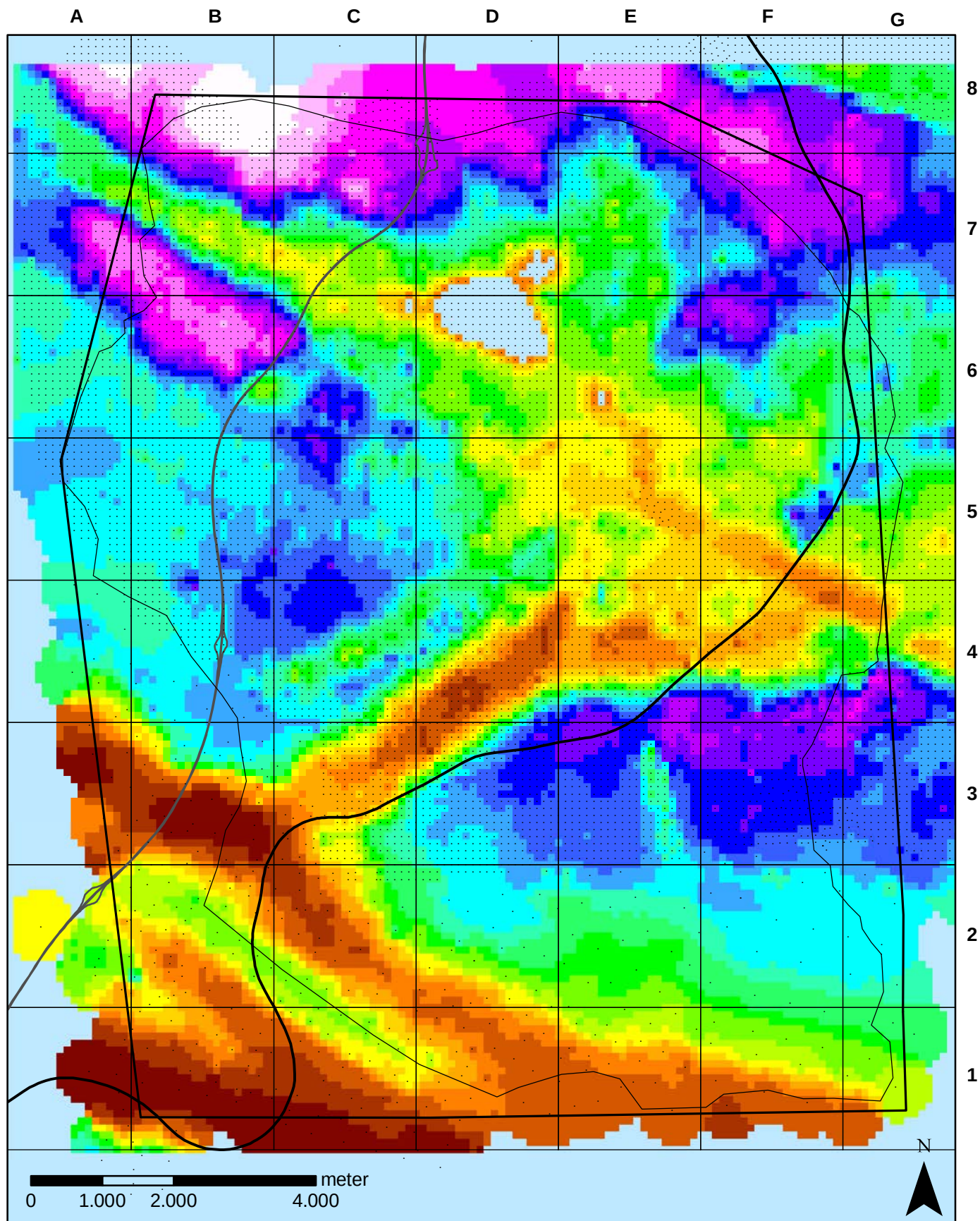
Afgrænsning af forkastningszone

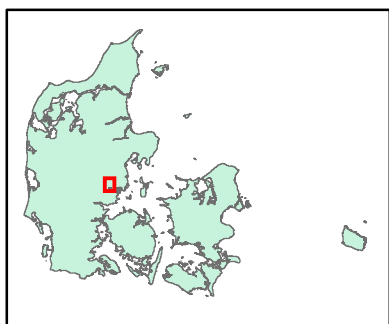
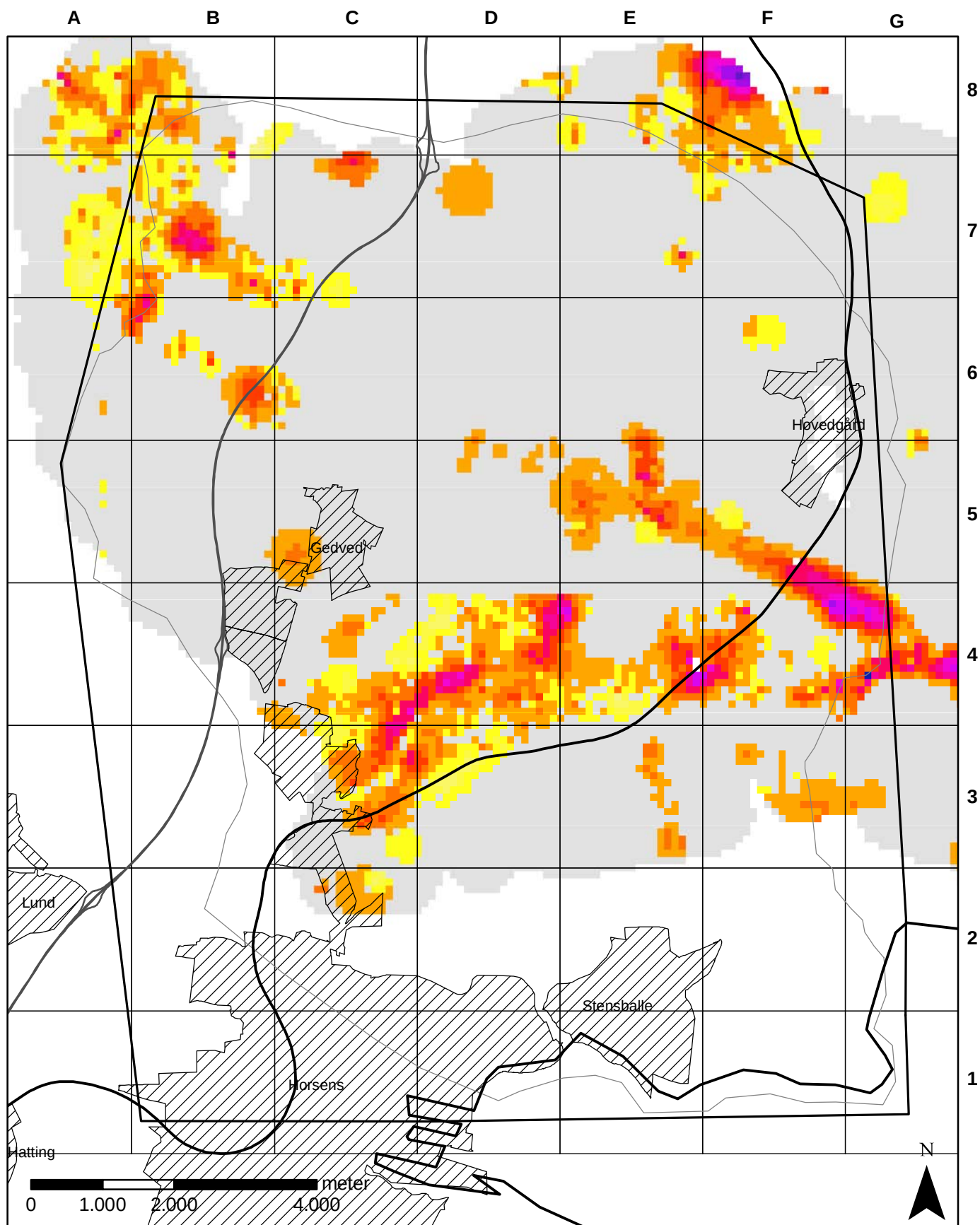
- GeologiskModel
- Forkastningszone
- Danmark_polyline
- motorvej
- jernbane
- Modelrand_GVmodel
- Byer_region

GS3D SourceObjectName: Genetisk Grid
CellsX = 100 m, CellsY= 100m, CellsZ=5

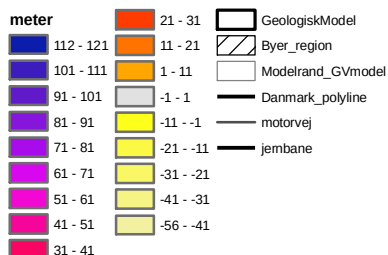
GCS: GCS_WGS_1984
Datum: D_WGS_1984
Højdemodel: DVR90







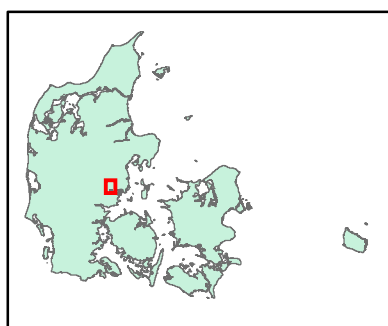
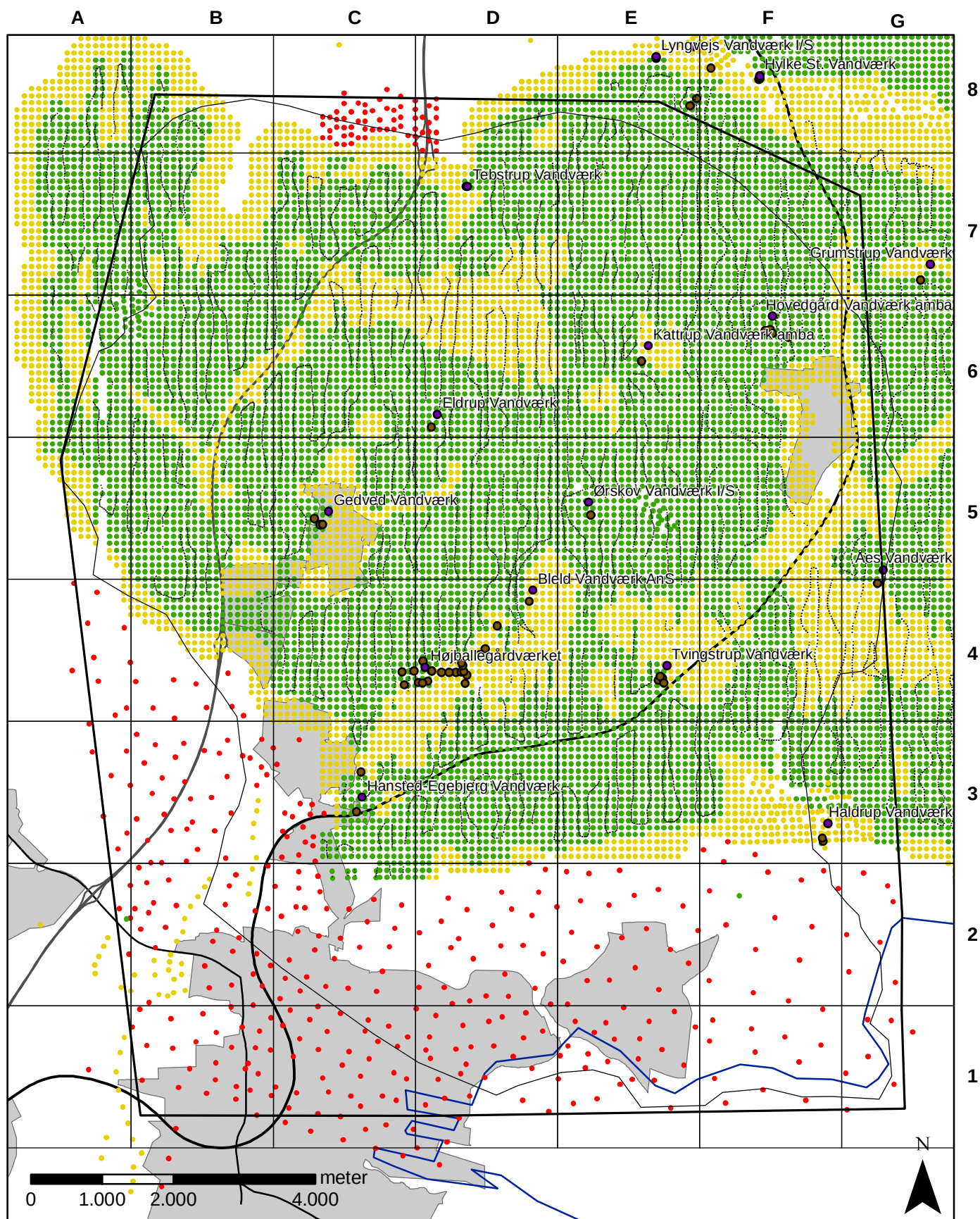
Afvigelse mellem KGL 8 ohm og Top Palæogen.
 - positiv værdi betyder at Top Pal ligger dybere end KGL.
 - grå farve indikerer at de 2 lagflader er i samme kote.



Gridværdi: Top Palæogen minus KGL 8 ohm
 CellsX = 100 m, CellsY = 100m

GCS: GCS_WGS_1984
 Datum: D_WGS_1984
 Højdemodel: DVR90





Top palæogen - tolkningspunkter

Usikkerhed - top Palæogen

- Sikker
- Middel
- Usikker
- Vandværker - borer
- GERDA_Egebjerg

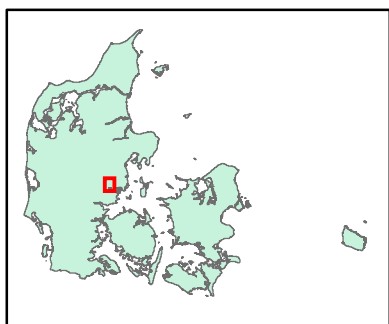
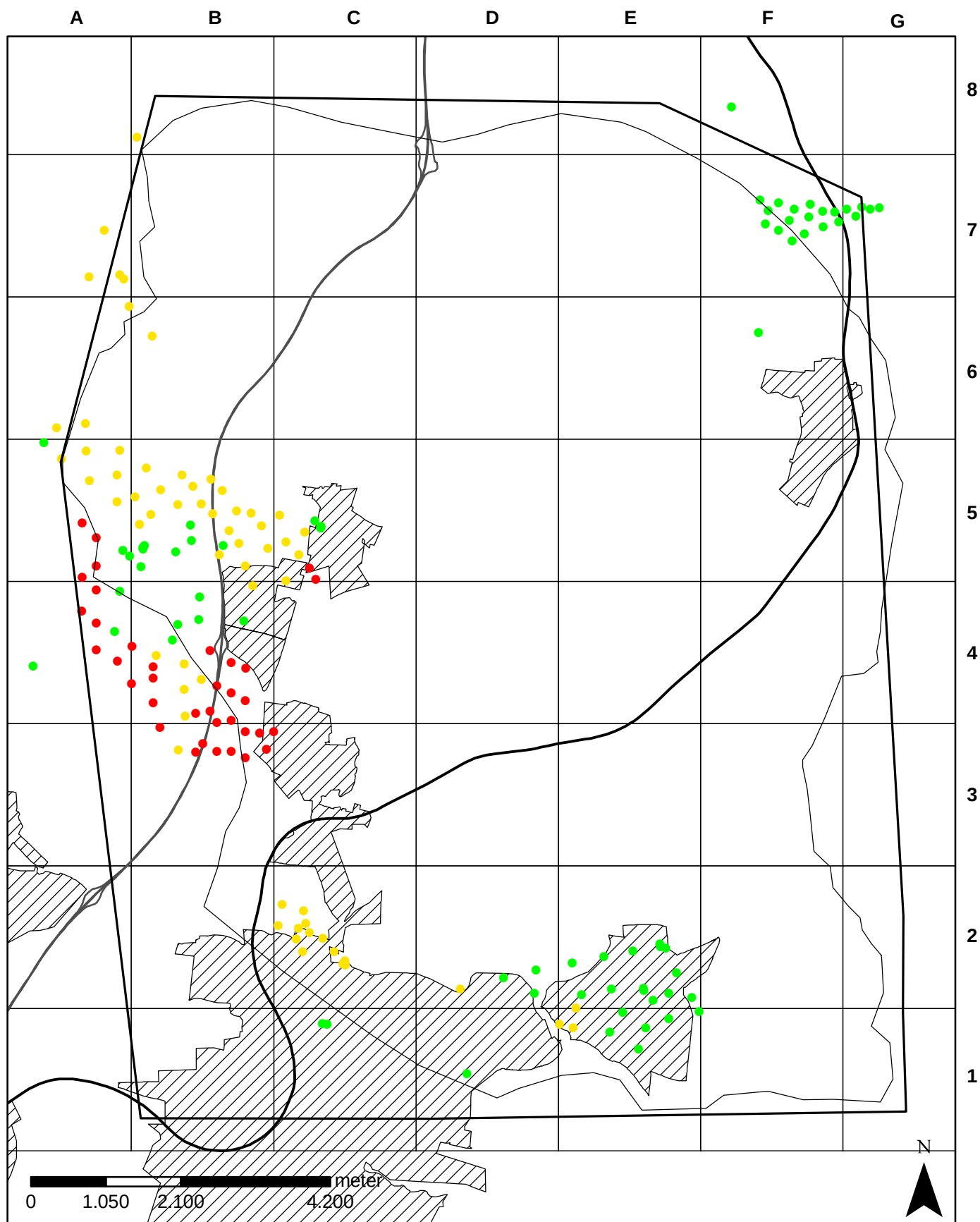
- GeologiskModel
- Modelrand_GVmodel
- Byer_region
- jernbane
- Danmark_polyline
- motorvej
- prim_vej

Ialt 16828 punkter

- lille afstand mellem punkter i område med SkyTEM
- stor afstand mellem punkter øvrige modelområde



GEUS



Top Miocæn - rumlig geologisk model

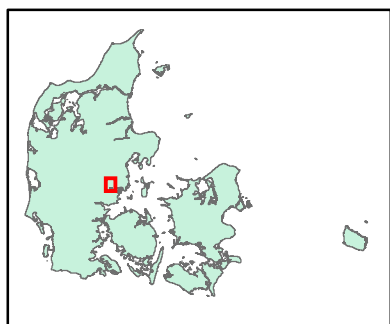
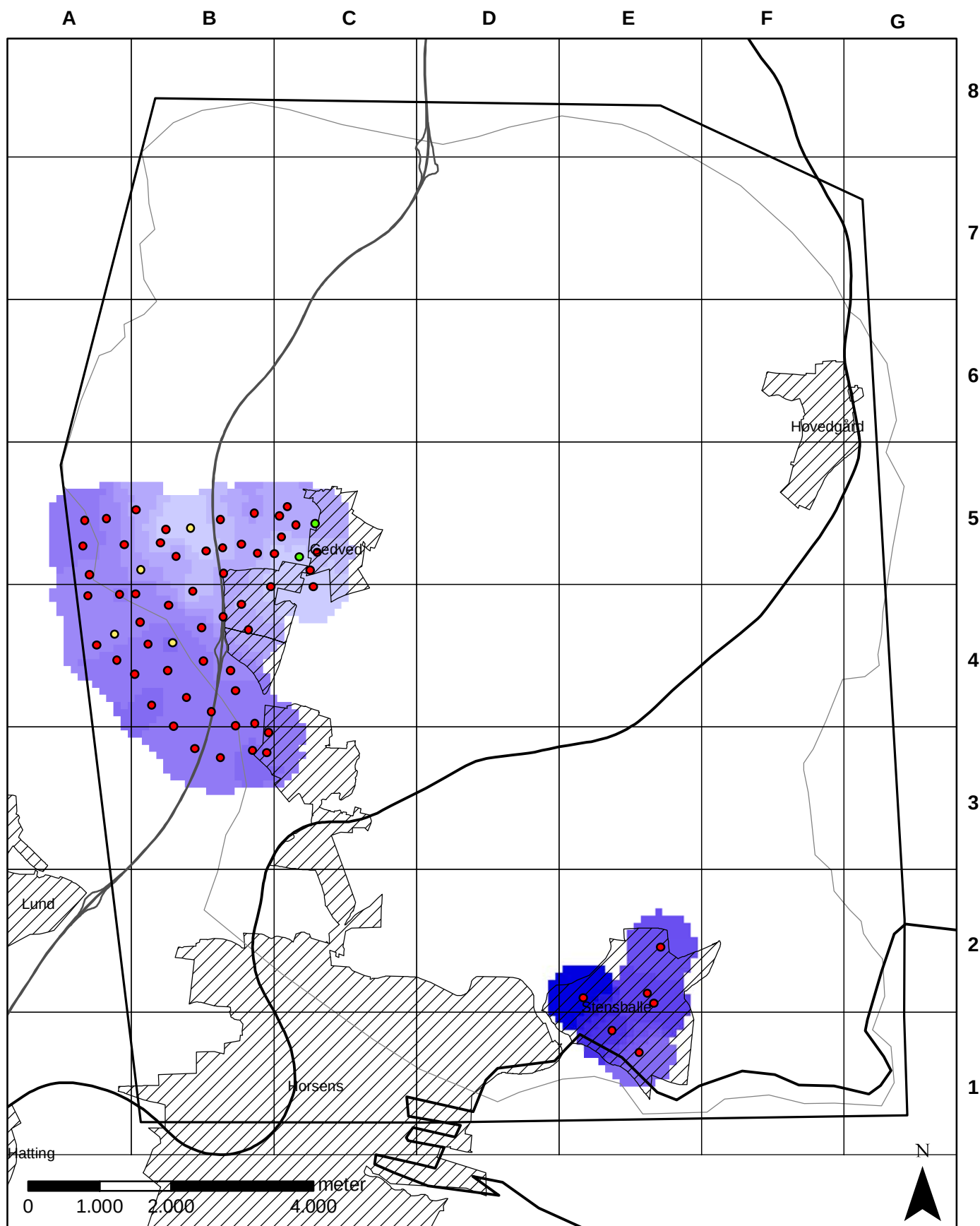
Usikkerhed tolkningspunkter

- Sikker
- Middel
- Usikker
- GeologiskModel
- Modelrand_GVmodel
- Byer_region
- motorvej
- jernbane

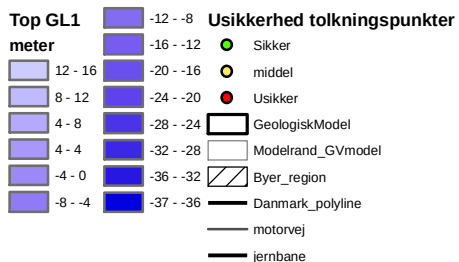
InterpolationType: 2D Inv. Dist. Weighting
 GS3D SourceObjectName:
 Top Miocæn points
 CellsX = 100 m, CellsY= 100m
 Search Radius X: 500,00
 Search Radius Y: 500,00
 Search Radius Z: 50,00
 Exponent: 2,00
 Smooth: 0,00

GCS: GCS_WGS_1984
 Datum: D_WGS_1984
 Højdemodel: DVR90





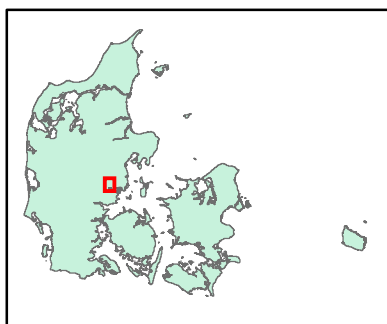
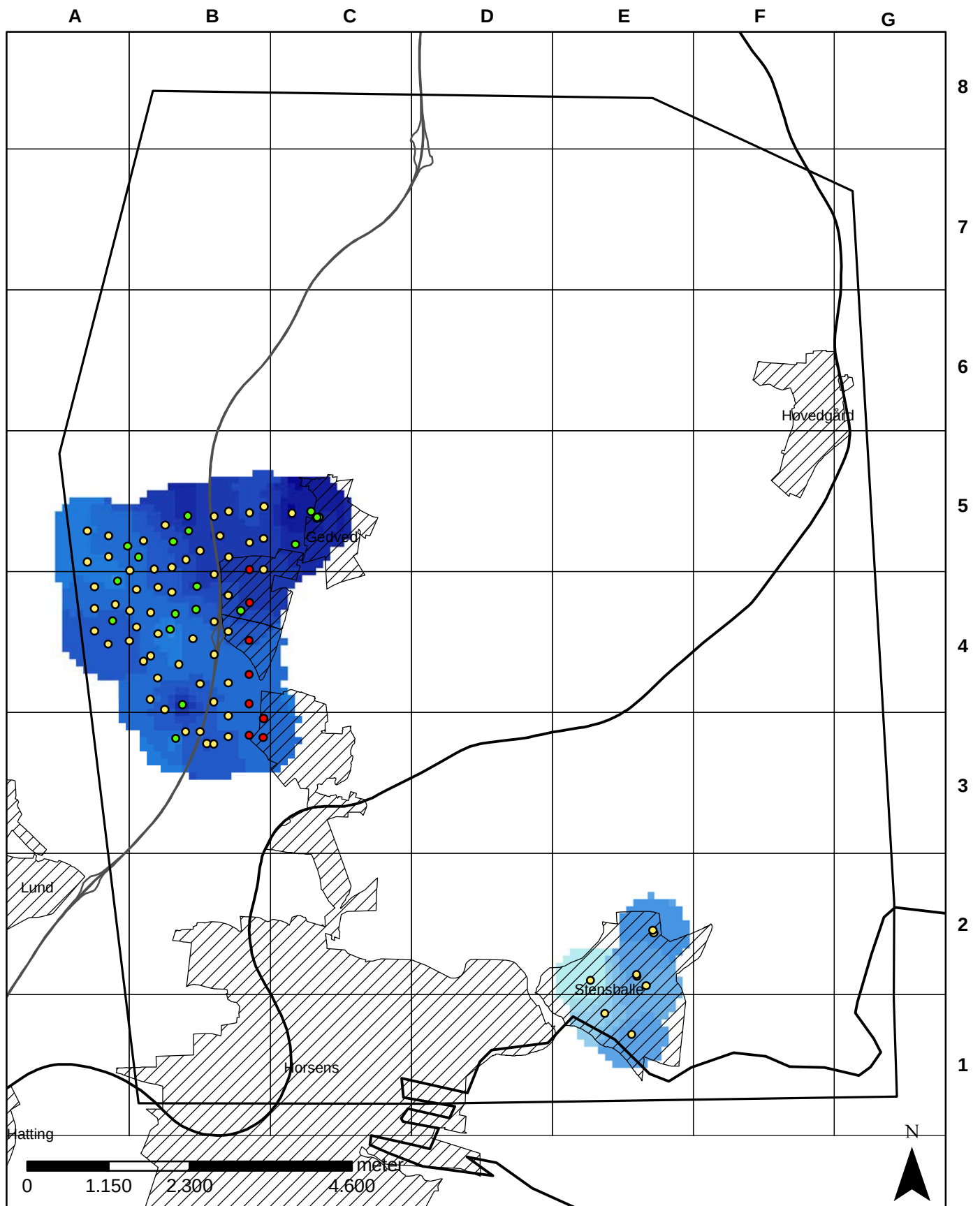
**Top GL1 - rumlig geologisk model
- kote i henhold til DNN**



InterpolationType: 2D Inv. Dist. Weighting
 GS3D SourceObjectName:
 Top glimmerler
 CellsX = 100 m, CellsY = 100m
 Search Radius X: 500,00
 Search Radius Y: 500,00
 Search Radius Z: 50,00
 Exponent: 2,00
 Smooth: 0,00

GCS: GCS_WGS_1984
 Datum: D_WGS_1984
 Højdemodel: DVR90





Top KS - rumlig geologisk model

TopKS meter

32 - 36
28 - 32
24 - 28
20 - 24
16 - 20
12 - 16
8 - 12

4 - 8
0 - 4
-4 - 0
-8 - -4
-12 - -8
-16 - -12
-20 - -16
-24 - -20
-28 - -24

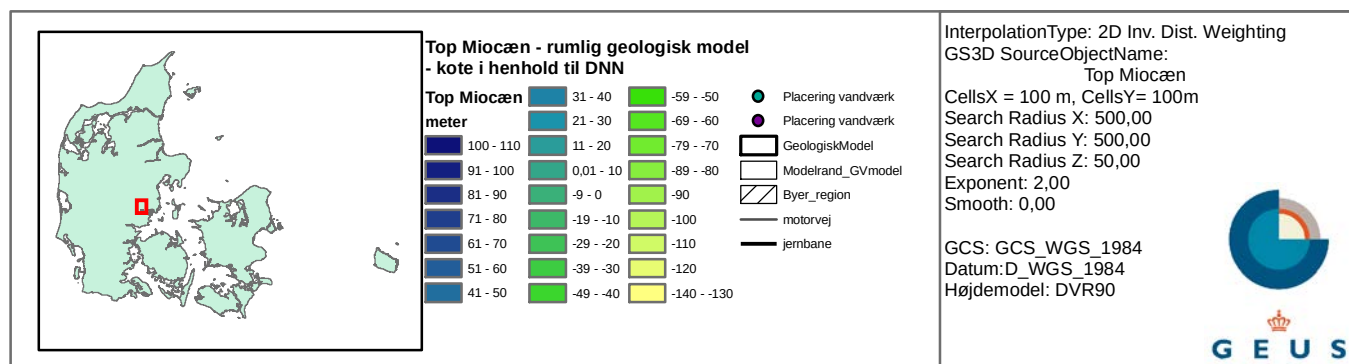
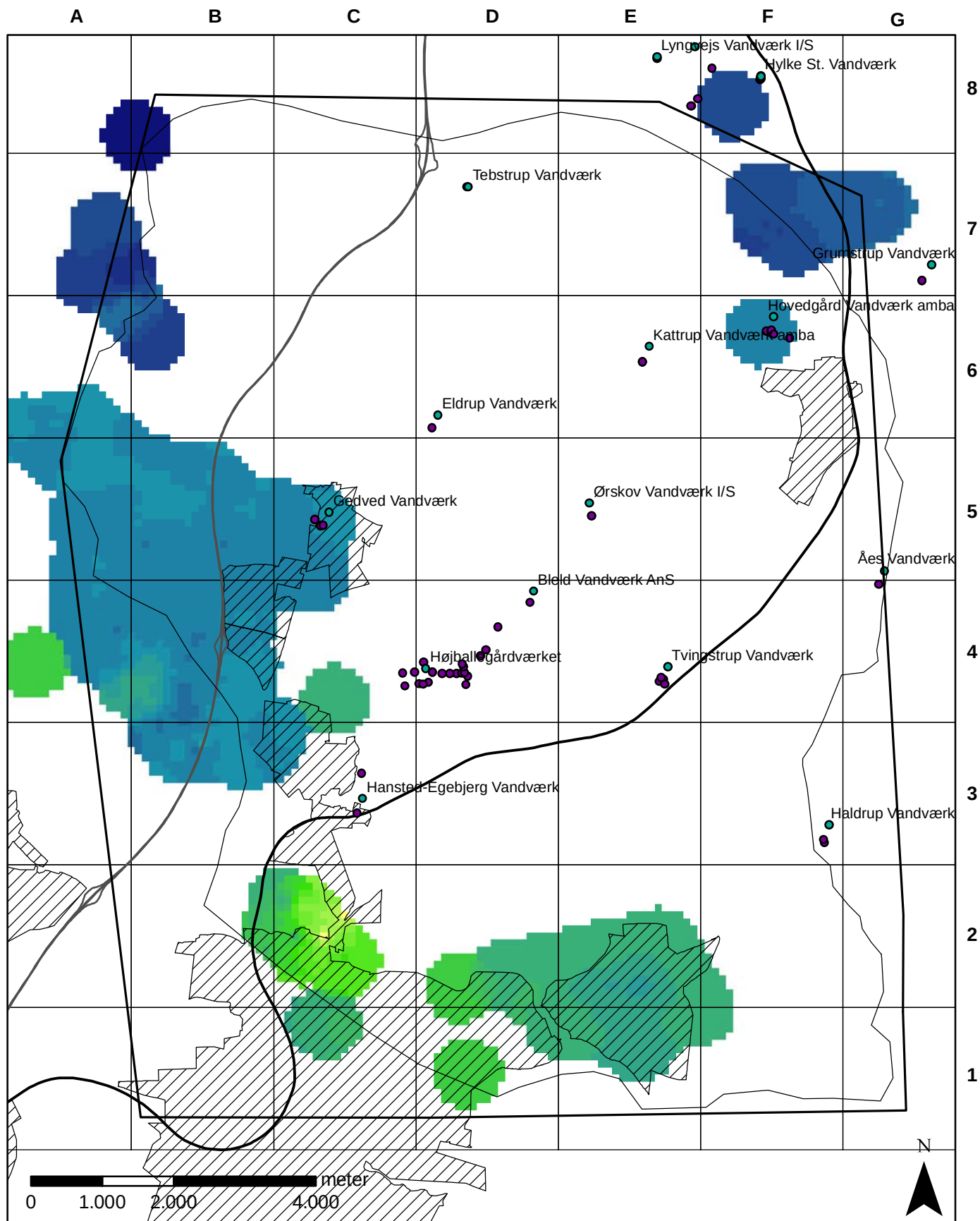
Usikkerhed tolkningspunkter

- Sikker
- Middel
- Usikker
- GeologiskModel
- Byer_region
- Danmark_polyline
- jernbane
- motorvej

InterpolationType: 2D Inv. Dist. Weighting
 GS3D SourceObjectName:
 GL_bund
 CellsX = 100 m, CellsY = 100m
 Search Radius X: 500,00
 Search Radius Y: 500,00
 Search Radius Z: 50,00
 Exponent: 2,00
 Smooth: 0,00

GCS: GCS_WGS_1984
 Datum: D_WGS_1984
 Højdemodel: DVR90





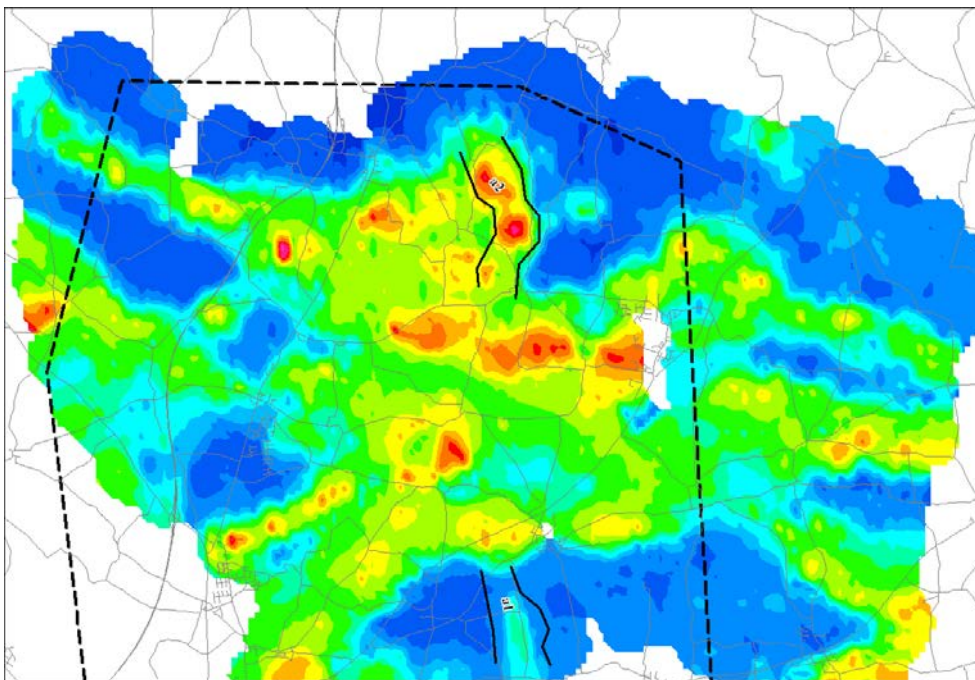
Bilag 11: Dalbeskrivelser for dale i SkyTEM-kortlægningsområdet

I dette bilag gives en detaljeret beskrivelse af hver enkelt dalstruktur.

Dal a1	
Lokalisering	I den sydlige del
Orientering	N-S
Længde/bredde	1,6 km/0,4-0,7 km
Vertikal udbredelse	Fra omkring kote + 10 m og ned til omkring kote -20 m
Fyld	Materiale med lave til moderate modstande
Omgivelser	Den gode leder/palæogen
Relationer til andre dale	Afskæres af b1 mod nord
Fortsættelse i længderetning	Afskæres af b1 mod nord, fortsætter ud af området mod syd
Hældning i længderetning	Der ses en stigning mod nord op til en tærskel
Geometrisk usikkerhed	Sikker tolkning i sydlig del. Mindre sikker tolkning i nordlig del pga. få TEM data
Kvalitativ usikkerhed	Sikker tolkning. Dalen er veldefineret af den gode leder; der findes dog ikke boringer til at bekræfte dalens eksistens

Dal a2	
Lokalisering	I den nordlige del
Orientering	N-S
Længde/bredde	2,6 km/0,7 km
Vertikal udbredelse	Fra omkring kote +10 m til omkring kote -60 m
Fyld	Der er højmodstandslag i dalens nedre del, men fortrinsvist i den centrale del af dalen. Ingen boringer når disse lag. Ovenover ses moderate modstande og ifølge boringer (DGU nr. 98.630, 98.913, 98.1242) repræsenterer disse primært moræneler og smeltevandsler
Omgivelser	Dalens nedre dele er omgivet af den gode leder; de øvre dele af lag med moderate modstande
Relationer til andre dale	Dalen tolkes at afskære b2
Fortsættelse i længderetning	Dalens fortsættelse mod nord er uvis. Muligvis er den fyldt op med flager af fed ler, således at den ikke kan spores i data. Mod syd kan dalen ikke længere følges, efter at den ikke længere ses i den gode leder. Dette skyldes sandsynligvis, at den er borte-roderet af de yngre dale d1, f og muligvis også af g
Hældning i længderetning	Ondulerende længderetning; dog muligvis pga. af spredning på data

Geometrisk usikkerhed	Middelsikker tolkning. Dalen er relativt veldefineret, hvor den omkranses af den gode leder på begge sider, men højere i lagserien er den mindre veldefineret
Kvalitativ usikkerhed	Middelsikker tolkning. Der er med ret stor sikkerhed tale om en begravet dal, da strukturen bliver smallere nedefter

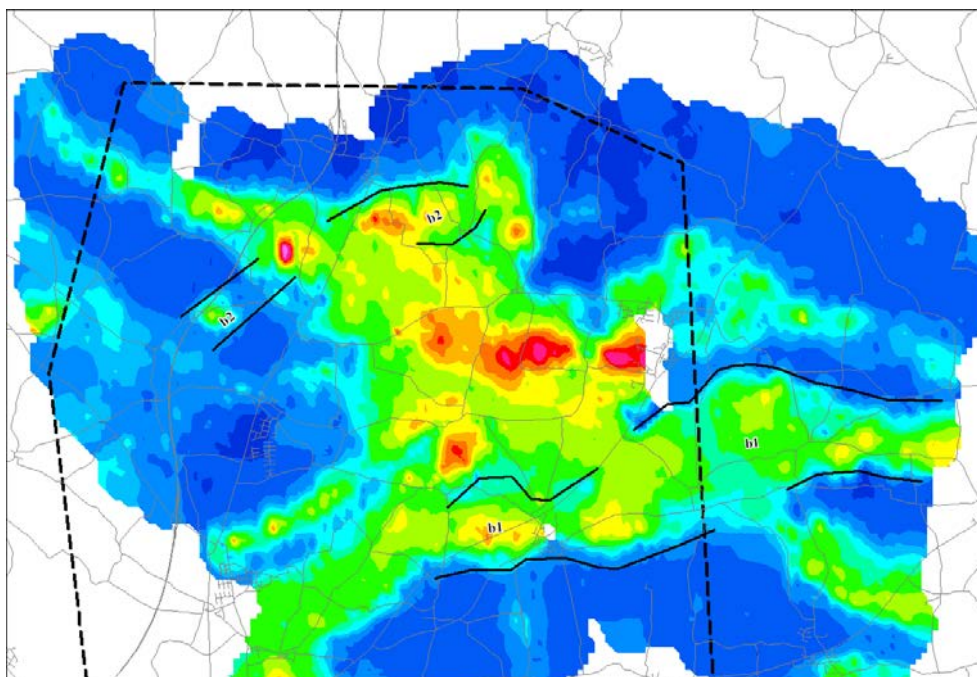


Figur 1: Dalgeneration a set i SkyTEM-data. Middelmodstandskort (mangelag) -15 – -10 m.

Dal b1	
Lokalisering	I den sydvestlige del af området
Orientering	ØNØ-VSV
Længde/bredde	9 km / 1-1,2 km
Vertikal udbredelse	Fra omkring kote 20 m og ned til omkring kote -120 m i den sydvestlige del
Fyld	Moderate modstande; dog ses mindre områder med relativt høje modstande. Disse mindre højmodstandsområder kan et par steder tolkes som yngre dalstrukturer. De moderate modstande modsvarer ifølge boringer primært moræneler, men de spredte højmodstandsområder består af smeltevandssand
Omgivelser	Mod syd og delvist mod nord ses den gode leder at omgive dalen. Glacialtektonik har forstyrret dalen, idet flager af tertiære aflejringer er skubbet ud i dalen fra syd. Dalens nordvestlige afgrænsning er diffus
Relationer til andre dale	Dalen gennemskæres af e2 og d1 og oveni dalens østlige dal er d2 delvist nedskåret. Mod vest afskæres dalen af c1. Dalen afskærer a1
Fortsættelse i længderetning	Dalen afskæres af c1 i vestlig retning og fortsætter ud af det kortlagte område i østlig retning
Hældning i længderetning	Ondulerende relief; dog muligvis pga. af spredning på data. Der ses et generelt fald mod vest
Geometrisk	Sikker tolkning i den østlige del, da dalen fremstår veldefineret i den gode

usikkerhed	leder her. Middelsikker i den vestlige del, da glacialtektonik har forstyrret dalens sydlige flanke, og da der kun er svage modstandskontraster langs den nordlige flanke her
Kvalitativ usikkerhed	Sikker tolkning. Det betragtes som sikkert, at der er tale om en begravet dal, da strukturen bliver smallere nedefter

Dal b2	
Lokalisering	I den nordvestlige del af kortlægningsområdet
Orientering	NØ-SV
Længde/bredde	5 km / 0,7-1 km
Vertikal udbredelse	Fra terræn til omkring kote -20 m i den sydvestlige del. Fra omkring kote 0 m og ned til omkring kote -100 m i den nordøstlige del
Fyld	Højmodstandslag i den sydvestligste del. Lag med moderate modstande samt områder med høje modstande i den nordøstlige del
Omgivelser	Dalen er primært nedskåret i den gode leder (Palæogent ler). Dog er den øverste del af den nordøstlige del af dalen omgivet af lag med moderate modstande, og her ses dalen kun som en diffus højmodstandsstruktur
Relationer til andre dale	Dalen gennemskæres af d1 og overlejres af g. Mod nordøst starter dalen tilsyneladende brat umiddelbart vest for a2, mens den mod sydvest afskæres af d3
Fortsættelse i længderetning	Se ovenfor
Hældning i længderetning	Dalen hælder mod nordøst, idet dalen er væsentligt dybere nordøst for den gennemskærende d1-dal
Geometrisk usikkerhed	Den sydvestlige del er vurderet som middelsikker, idet den fremstår relativt tydeligt i den gode leder. Nordvestflanken er upræcist kortlagt, da der ikke er flyvelinjer på tværs af flanken. Sydøstflanken er endvidere lidt diffust aftegnet i data. Den nordøstlige del er usikker, idet sydøstflanken her er kort og diffus. Højere oppe i lagserien ses dalen kun som mere eller mindre sammenhængende og diffuse højmodstandsområder
Kvalitativ usikkerhed	Det er usikkert, om de to dalstykker er sammenhængende på tværs af d1-dalen. På baggrund af formerne i den gode leder vurderes det som relativt sikkert, at der er tale om begravede dale



Figur 2: Dalgeneration b set i SkyTEM-data. Middelmodstandskort (mangelag) -30 – -25 m.

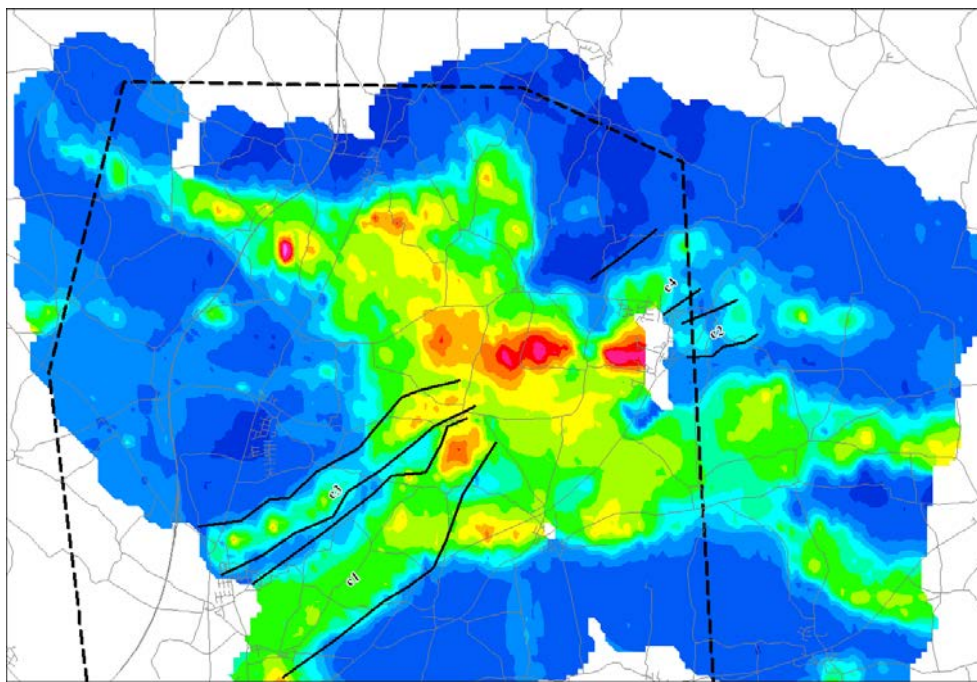
Dal c1	
Lokalisering	I den sydvestlige del af kortlægningsområdet
Orientering	NØ-SV
Længde/bredde	5 km / 0,7-1,4 km
Vertikal udbredelse	Dalen ses fra kote 0 m og ned til omkring kote -160 m. Dybden er usikker/ukendt, da sonderingerne ikke når en god leder i bunden
Fyld	Generelt moderate modstande, men i områder i den øverste del (kote 0 til -25 m) samt på dybder under kote -50 m, ses flere steder områder med høje modstande. En del dybe borer tæt ved nordvestflanken viser, at der er både moræneler, smeltevandssand, smeltevandssand og øjensynligt også interglacialt sand i dalen
Omgivelser	Dalen er primært nedskåret i den gode leder. Dog ses den nordvestlige flankes øverste del at bestå af glaciale aflejringer med højere modstande – alternativt er nordvestflanken ikke så høj som sydøstflanken
Relationer til andre dale	Dalen afskærer b1
Fortsættelse i længderetning	Dalen fortsætter ud af kortlægningsområdet i sydvestlig retning og mod nordøst bliver dalens videre forløb diffus, fordi den her bliver afskåret af d1
Hældning i længderetning	Dalen er dybest i den centrale del
Geometrisk usikkerhed	Dalen er middelsikkert tolket, idet den fremstår tydeligt i den gode leder. Den nordvestlige flanke er diffust bestemt, da der henover den mangler data. I dalens nordøstlige del bliver dalens form også mindre godt bestemt, da der her også findes et større område uden sonderinger
Kvalitativ usikkerhed	Der er med sikkerhed tale om en begravet dal, men relationen til b1 er usikkert bestemt

Dal c2	
Lokalisering	I den nordvestlige del af området
Orientering	NØ-SV
Længde/bredde	1/0,6 km
Vertikal udbredelse	Fra omkring kote -30 m og op til omkring kote +15 m
Fyld	Moderat til lave modstande
Omgivelser	Palæogent ler
Relationer til andre dale	Dalen afskæres af d4 mod NØ
Fortsættelse i længderetning	Dalen kan ikke følges mod SV, da der ikke findes data i Hovedgård. Det er muligt at dalen er identisk med enten c1 eller c3
Hældning i længderetning	-
Geometrisk usikkerhed	Veldefineret i god leder, men den korte længde betyder, at dalens form kun er defineret som middelsikker
Kvalitativ usikkerhed	Dalens eksistens er middelsikker

Dal c3	
Lokalisering	I den sydvestlige del af kortlægningsområdet
Orientering	NØ-SV
Længde/bredde	5 km / 0,6 km
Vertikal udbredelse	Ses fra omkring kote -50 m og kan følges op til omkring kote +5 m
Fyld	Der ses moderat til høje modstande i dalen
Omgivelser	Omgivelserne består af lave modstande, men øverst i dalens nordøstlige del ses dalen at være nederoderet i lag med moderate modstande
Relationer til andre dale	Dalen afskæres af dal d1 i nordøstlig retning
Fortsættelse i længderetning	Dalen kan muligvis sættes i forbindelse med dal c4 nord for Hovedgård
Hældning i længderetning	Der ses et ondulerende længderelief. Dalen dykker kraftigt i den nordøstligste del
Geometrisk usikkerhed	Sikker i SV da den her er veldefineret i den gode leder, middelsikker mod NØ, da den her kun ses som en højmodstandsstruktur blandt sedimenter med moderate modstande
Kvalitativ usikkerhed	Samme som ovenfor

Dal c4	
Lokalisering	I den nordvestlige del af området
Orientering	NØ-SV
Længde/bredde	1,1 / 1 km
Vertikal udbredelse	Fra omkring kote -50 m og op til omkring kote +10 m
Fyld	Moderate modstande
Omgivelser	Palæogent ler
Relationer til andre dale	Dalen afskæres af d4 mod NØ
Fortsættelse i	Dalen ikke følges mod SV, da der ikke findes data i Hovedgård. Det er

længderetning	muligt at dalen udgør en forlængelse af enten c1 eller c3
Hældning i længderetning	-
Geometrisk usikkerhed	Veldefineret i god leder, men den korte længde betyder, at dalens form kun er defineret som middelsikker
Kvalitativ usikkerhed	Dalens eksistens er middelsikker



Figur 3: Dalgeneration c set i SkyTEM-data. Middelmodstandskort (mangelag) -35 – -30 m.

Dal d1	
Lokalisering	Diagonalt gennem hele området
Orientering	SØ-NV
Længde/bredde	18 km / 1 km
Vertikal udbredelse	Meget varierende dybde. Dybt "hul" i den nordvestlige centrale del, hvor kalken sandsynligvis nås. I den nordvestligste del er dalen ikke særligt dyb – ned til omkring kote -50 m. I den sydøstlige del eroderer den ned, hvor dalen har ligget. Dybden af de to dale er derfor svære at adskille. Det vurderes dog, at dalen er dybest. Dalen kan ikke længere følges fra omkring kote -25 m i den centrale del, men i begge ender kan den stadig ses over kote 0 m, da den her er omgivet af godt ledende palæogent ler. I den sydøstlige del kan dalen spores op til omkring kote +20 m, mens den i den nordvestlige del kan ses helt op til omkring kote +70 m. Hvor højt dalen når op i den centrale del er vanskeligt at vurdere, men det tolkes, at den når op til mindst kote +25-40 m
Fyld	Der er varierende fyld i dalen. Kun få dybere borer. Aflange områder med høje modstande tolkes som sandede aflejringer flere steder. Det ser ud som dalens centrale dele er dækket af moræneler/smeltevandsler – fra omkring kote -10/20 m og op. Dette vurderes på baggrund af borer og moderate modstande. Lag med lave modstande – flager af palæogent ler er

	skubbet ud i dalen (eller dal e) og befinder sig blandt i fyldet i dalens sydøstlige del
Omgivelser	Palæogent ler i begge ender af dalen, men glaciale sedimenter med varierende modstande i de centrale dele af dalen
Relationer til andre dale	Dalen gennemskærer en lang række ældre dale: a2, b1, b2, c1, c2, c3 og c4. I den sydøstlige del skærer den ned i dal e og gør denne bredere, men nok ikke dybere. Flere steder bliver den også gennemskåret af yngre dale (f og g). Dal f skærer ret dybt ned, ned til omkring kote -50 m. Dal g ses kun overfladenært og når muligvis ikke ned til d1. Usikkert, fordi det ikke vides, hvor højt d1 strækker sig op i lagfølgen
Fortsættelse i længderetning	Fortsætter ud af kortlægningsområdet i begge retninger
Hældning i længderetning	Stærkt ondulerende længdeprofil med stor dybde i den centrale del. Ingen generel hældning
Geometrisk usikkerhed	Dalens geometriske form er sikkert bestemt i både den nordvestlige del og i den sydøstlige del på grund af den palæogene ler omkring dalen. I de centrale dele er modstandskontrasterne mindre, og mange dale krydser hinanden her, hvilket gør, at dalen her vurderes som middelsikker. Hvor dalen krydser b1 er den vurderet usikker, da aldersrelationen mellem de to dale ikke ses tydeligt
Kvalitativ usikkerhed	Der er med sikkerhed tale om en begravet dal, men relationen til flere af de krydsende dale (b1, f, b2) er usikker, ligesom relationen til dal e er usikker

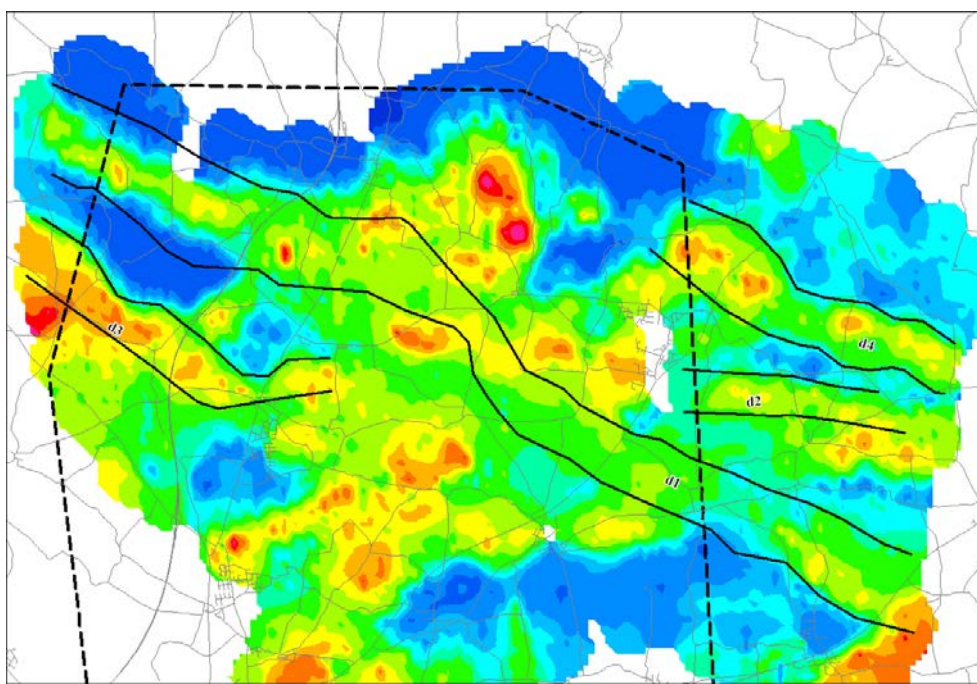
Dal d2	
Lokalisering	I den østlige del af kortlægningsområdet
Orientering	Ø-V
Længde/bredde	3,5 / 0,6 km
Vertikal udbredelse	Fra kote -15 m og op til omkring kote +35 m
Fyld	Moderate modstandsniveauer. Kun et par enkelte boringer giver lithologiske oplysninger og her ses moræneler og smeltevandssand
Omgivelser	Moderat til lave modstande. Nordflanken udgøres delvist af palæogent ler, mens sydflanken er glacialt ler/fyld i b1
Relationer til andre dale	Er eroderet ned oveni/langs med nordflanken af dal b1.
Fortsættelse i længderetning	Mod vest fortsætter dalen mod Hovedgård, hvor der er få data og fortsættelsen er derfor ukendt. Det kan ikke afvises at den skal korreleres med dal f
Hældning i længderetning	-
Geometrisk usikkerhed	Dalens form er usikker, idet den ikke fremstår særligt tydeligt i TEM data – ikke nederoderet i palæogent ler
Kvalitativ usikkerhed	Dalens eksistens er usikker af samme årsag som ovenfor beskrevet

Dal d3	
Lokalisering	I den vestlige del af kortlægningsområdet
Orientering	SØ-NV
Længde/bredde	6,3 / 0,8 km

Vertikal udbredelse	Dalen ses fra omkring kote -30 m og op til omkring kote 25 m. Den bliver gradvist bredere oppefter
Fyld	Dalen ses alene i TEM-data og er svær at verificere i boredata. I TEM-data ses dens kerne som en højmodstandsstruktur. Kun få borer når ned i dalstrukturen, og disse giver ikke noget entydigt billede af dalfyldet. En ny boring udført af Gedved Vandværk (DGU nr. 107.1565) angiver "ler" med kun små indslag af "sand" ned til kote -10 m, men der findes ingen kvalificerede prøvebeskrivelser fra boringen. Ifølge beskrivelserne fra DGU nr. 98.1124 findes der miocænt glimmerler i bunden af boringen, hvilket svarer til toppen af dalen. Det samme gælder for DGU nr. 98.688, hvor der dog ikke er påført en alderstolkning. Endelig viser DGU nr.107.888 at dalen indeholder moræneler
Omgivelser	Nedadtil og delvist mod NØ afgrænses den af lave modstande svarende til miocænt og palæogent ler. Mod SV er afgrænsningen stedvist diffus, idet dalstrukturen her støder op til lag med moderat til høje modstande. Flere borer her viser, at disse lag er af miocæn oprindelse, og at dalen derfor er nederoderet i prækvartæret. Opadtil dækkes dalen af lag med moderate modstande svarende til lerede lag af glacial oprindelse – primært moræneler
Relationer til andre dale	Dalen skærer b2
Fortsættelse i længderetning	Dalen fortsætter ud af kortlægningsområdet mod NV. Mod øst fortsætter dalen ud i den store depression i den centrale del af området. Her forsvinder modstandskontrasterne
Hældning i længderetning	Dalen stiger svagt mod SØ, og lige nord for Gedved bliver dalen smal og stiger over en tærskel
Geometrisk usikkerhed	Den geometriske usikkerhed vurderes som forholdsvis lav. Dog er der tale om usikkerhed langs den sydvestlige flanke, hvor modstandskontrasten er lille
Kvalitativ usikkerhed	Dalens eksistens er usikker. Dels fordi dalen ikke fremstår helt entydigt i TEM-data, og dels fordi der i flere borer er beskrevet glimmerler som dalfyld (se ovenfor). Da den geometriske opbygning antyder, at der er tale om en dalstruktur, er det antaget, at glimmerleret i borerne ikke skal tolkes som miocænt, men derimod som glimmerholdigt, leret dalfyld af kvartær oprindelse. Denne antagelse er dog usikker. Strukturen, der på baggrund af den geometriske form i TEM-data, vurderes at være en begravet dal, kan dog også være en aflang, miocæn sedimentær struktur eller måske en struktur grundlagt af forkastningsstrukturer

Dal d4	
Lokalisering	I den nordøstlige del af kortlægningsområdet
Orientering	SØ-NV
Længde/bredde	
Vertikal udbredelse	Fra omkring kote 20 m og ned til kote ca. 50 m på de dybeste steder
Fyld	Generelt moderate modstande svarende til moræneler og smeltevandsler (bekræftes af borer). Der er flere større områder med høje modstande,

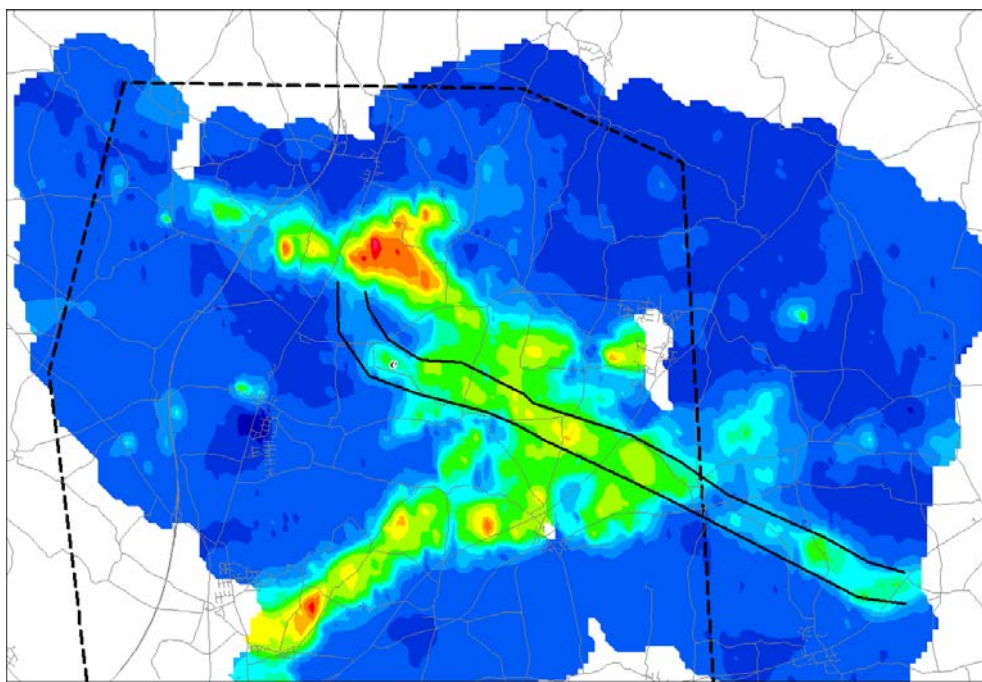
	men boringsoplysninger på dette er sparsomt. Højmodstandsstrukturerne kan evt. være yngre, sandudfyldte dale internt i den større dal. Alternativt markerer disse faciesforskelle i dalsedimenterne
Omgivelser	Dalen er nederoderet i den gode leder (Palæogent ler).
Relationer til andre dale	Dalen afskærer c2 og c4 i den vestlige del
Fortsættelse i længderetning	Dalens fortsættelse mod nordvest er usikker, men det er muligt at den fortsætter opover en smal tærskel over højtliggende Palæogen. Dette er dog ikke tolket, da usikkerheden er stor
Hældning i længderetning	Dalen ondulerer i længderetningen, men ser ikke ud til at have et generelt fald
Geometrisk usikkerhed	Sikker tolkning i den østlige del og middelsikker i den vestlige del. Dalen fremstår tydeligt i den gode leder mod øst, men bliver mere diffus længere mod vest
Kvalitativ usikkerhed	Der er tydeligvis tale om en begravet dal, men i den vestlige del forstyrres tolkningen af de to dale c2 og c4, som tilsyneladende afskæres af d4. Der er usikkerhed om aldersrelationerne mellem dalene her



Figur 4: Dalgeneration d set i SkyTEM-data. Middelmodstandskort (mangelag) 0 – 5 m.

Dal e	
Lokalisering	Gennem den centrale og østlige del af området
Orientering	ØSØ-VNV
Længde/bredde	11,5/0,6 km
Vertikal udbredelse	Ses fra omkring kote – 90 m, men har en væsentligt dybere central del. Mod NV løber dalen over en tærskel i omkring kote -50 m. Dalen ses ikke i høje niveauer, da en yngre dal, d1, eroderer dalstrøget på ny
Fyld	Fyldet har primært moderat til lave modstande. Lag med lave modstande – flager af palæogent ler - er skubbet ud i dalen (eller dal d1) og befinder sig

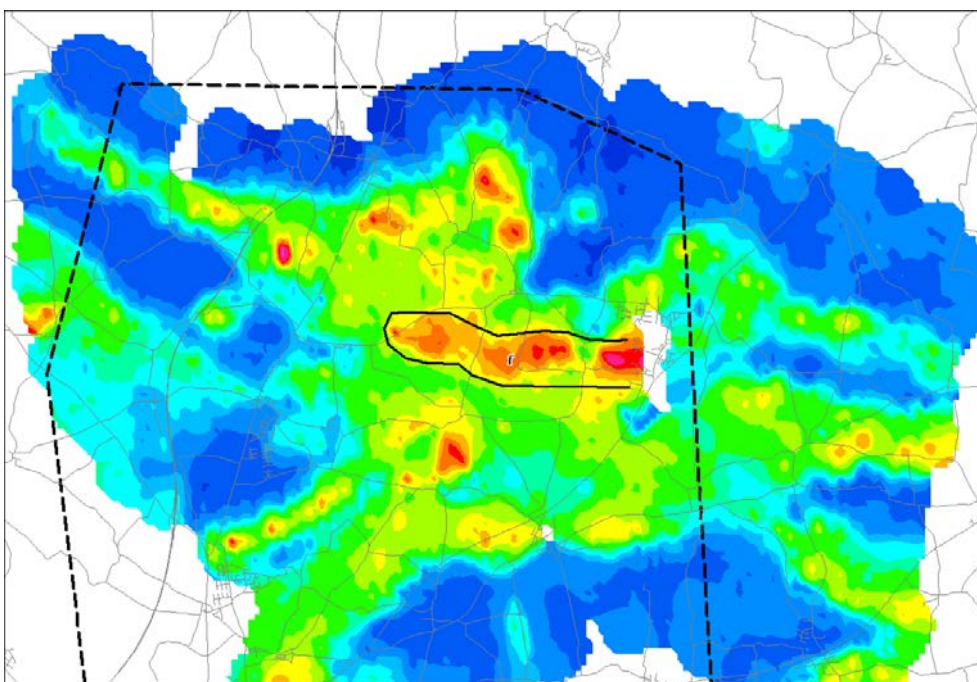
	blandt fyldet i dalens sydøstlige del.
Omgivelser	Dalen er nederoderet i Palæogen med lave modstande og i de centrale dele af andre dale med moderate modstande
Relationer til andre dale	Dal d1 generoderer den centrale og østlige del af dalstrøget, hvorfor dalens øvre dele ikke ses. Det er usikkert, hvor dybt d1 eroderer ned i e. Dalstrøget, hvori de to dale forløber, bliver eroderet bredere men sandsynligvis ikke dybere. Dalen gennemskærer i øvrigt b1
Fortsættelse i længderetning	Mod øst fortsætter den udenfor kortlægningsområdet. Fortsættelsen mod NV er uvis
Hældning i længderetning	Dalen har en dyb central del og løber over en tærskel i dens nordvestlige del
Geometrisk usikkerhed	Dalens geometriske forhold vurderes som usikker, idet adskillelsen fra d1 ikke er veldefineret
Kvalitativ usikkerhed	Dalens eksistens er usikker, da der er mulighed for, at der kun er tale om en enkelt dal (således at d1 og e kun udgør en enkelt dalstruktur)



Figur 5 Dalgeneration e set i SkyTEM-data. Middelmodstandskort (mangelag) -70 – -65 m.

Dal f	
Lokalisering	Centralt i kortlægningsområdet
Orientering	Ø-V
Længde/bredde	4 / 0,7 km
Vertikal udbredelse	Fra omkring -80 m i den østlige del og op til omkring eller lige over kote 0 m
Fyld	Høje modstande; stedvist fra omkring kote -60 m. Der er formodentlig tale om smeltevandssand
Omgivelser	Op til omkring kote -50 m er dalen delvist omgivet af palæogent ler med lave modstande (den østlige del). I højere niveauer er dalen primært omgivet af moderate modstande - primært glacialt ler.

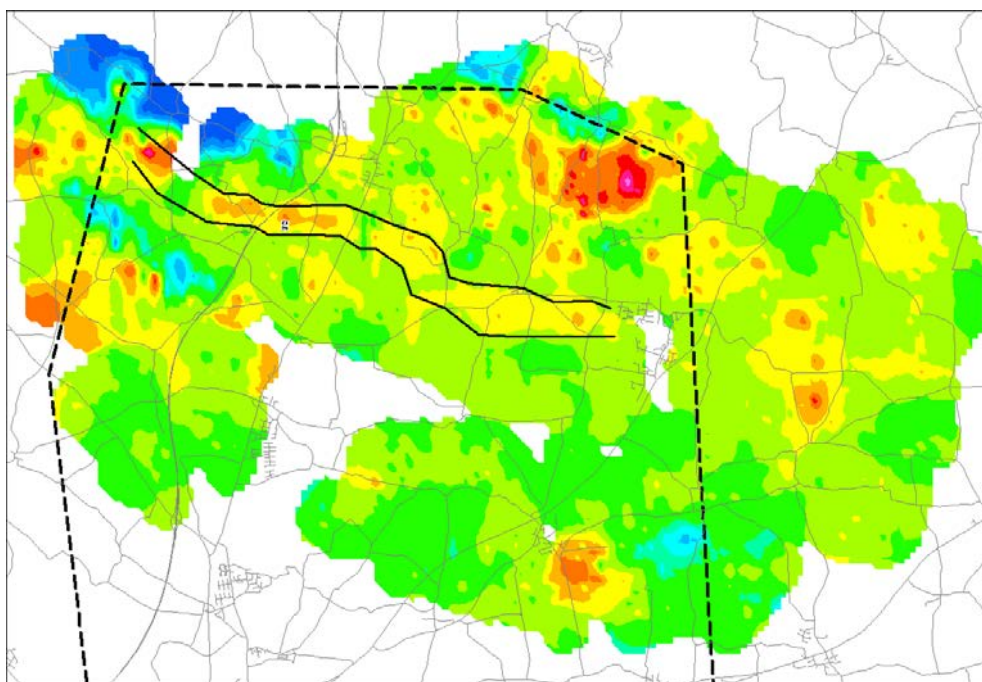
Relationer til andre dale	Dalen skærer ned gennem dal d1
Fortsættelse i længderetning	Dalen ser ikke ud til at fortsætte videre mod vest. Mod øst kan det ikke udelukkes, at den skal korreleres med dal d2, men mangel på data under Hovedgård betyder, at forlængelsen ikke kan fastlægges
Hældning i længderetning	Dalen stiger kraftigt op mod vest, før den tilsyneladende slutter
Geometrisk usikkerhed	Dalens geometriske forhold vurderes som usikre. Dette skyldes, at dalen både lateralt og vertikalt fremstår som et ondulerende bælte af aflange højmodstandsområder
Kvalitativ usikkerhed	Dalens eksistens er usikker, idet den ikke fremstår tydeligt og veldefineret med en dalform i data



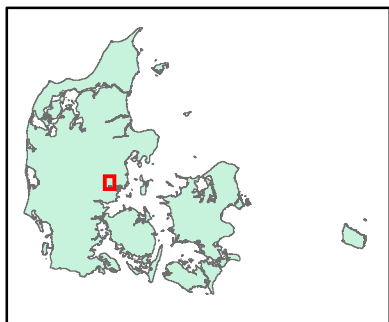
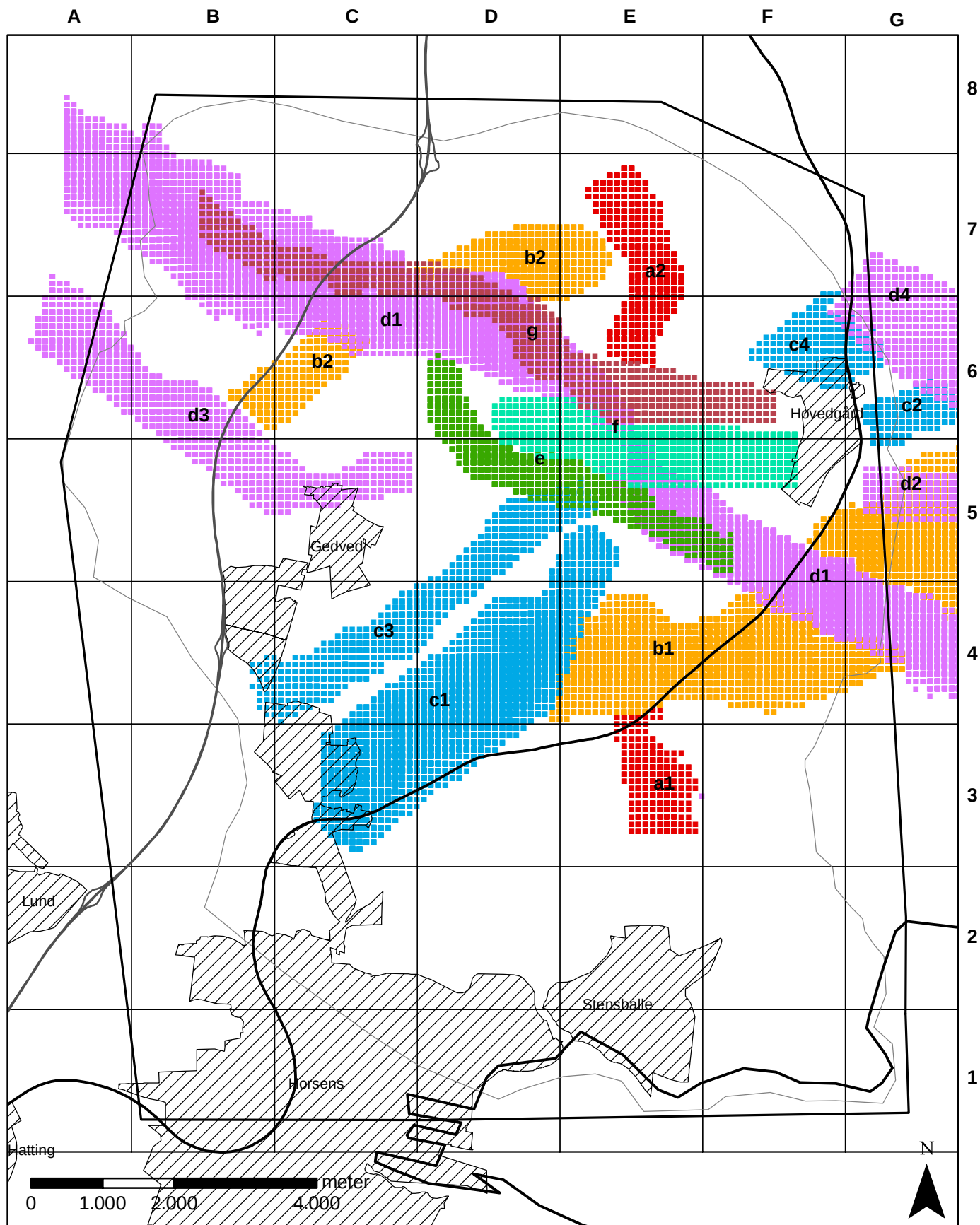
Figur 6: Dalgeneration f set i SkyTEM-data. Middelmodstandskort (mangelag) -20 – -15 m.

Dal g	
Lokalisering	Fra den centrale del til den nordvestlige del af kortlægningsområdet
Orientering	SØ-NV
Længde/bredde	9 / 0,6-0,7 km
Vertikal udbredelse	Dalen er meget overfladenær. Den ses i øst fra omkring kote +30 m og i vest fra kote +50 m. I øst kan den følges op til omkring kote +70 m, mens den i vest kan følges op til over kote 80 m (til terræn). Dele af dalen kan også svagt følges i PACES-data
Fyld	Dalen ses som et mere eller mindre sammenhængende højmodstandslegeme. Den kan ikke følges i samme niveau, da dalen stiger i niveau mod vest. Dalfyldet består af smeltevandssand (eks. DGU nr. 98.714 og 98.156), men i den østlige del er der også indslag af moræneler
Omgivelser	Moderate modstande svarende til glaciæle lerede lag (moræneler og smeltevandsler)

Relationer til andre dale	Dalen forløber henover en række andre dale i højere niveau,
Fortsættelse i længderetning	Mod øst kan dalen ikke følges længere end til Hovedgård, hvor der ikke findes TEM-data. Mod nordvest forsvinder strukturen i data – muligvis pga. glacialtektonik?
Hældning i længderetning	Dalen stiger mod nordvest
Geometrisk usikkerhed	Dalens geometriske forhold vurderes som usikre. Dette skyldes, at dalen både lateralt og vertikalt fremstår som et ondulerende bælte af aflange højmodstandsområder
Kvalitativ usikkerhed	Dalens eksistens er usikker, idet den ikke fremstår tydeligt og veldefineret med en dalform i data



Figur 7: Dalgeneration g set i SkyTEM-data. Middelmodstandskort (mangelag) 60 – 65 m.



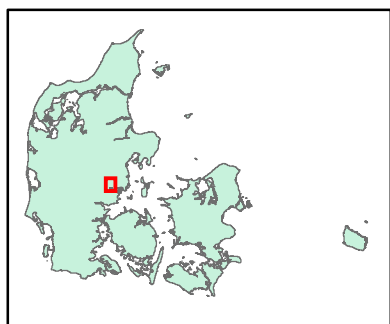
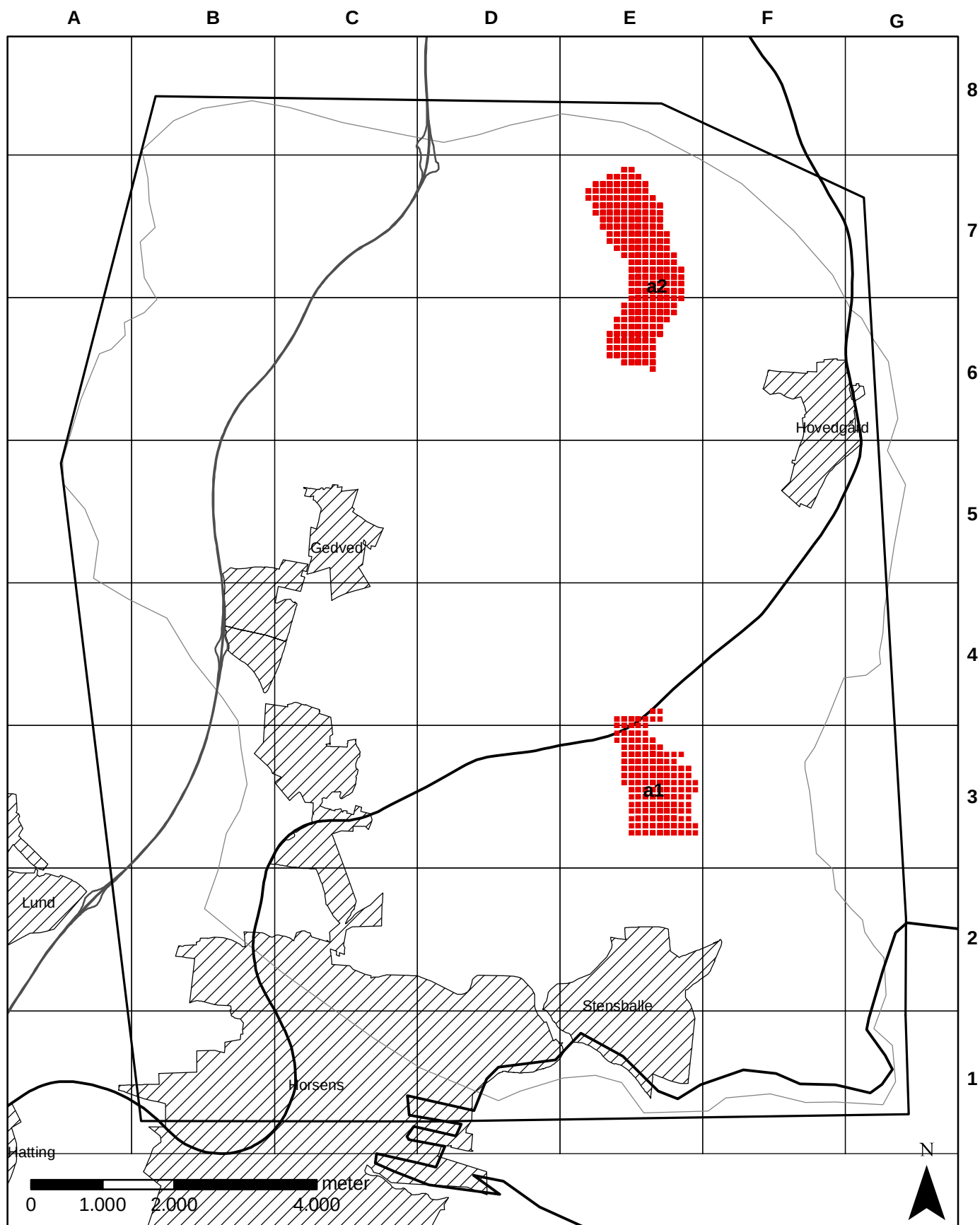
Begravede dale - rumlig geologisk model - maksimal udbredelse

- GeologiskModel
- Danmark_polyline
- motorvej
- jernbane
- Modelrand_GVmodel
- Byer_region

GS3D SourceObjectName: Genetisk Grid
CellsX = 100 m, CellsY= 100m, CellsZ=5

GCS: GCS_WGS_1984
Datum: D_WGS_1984
Højdemodel: DVR90





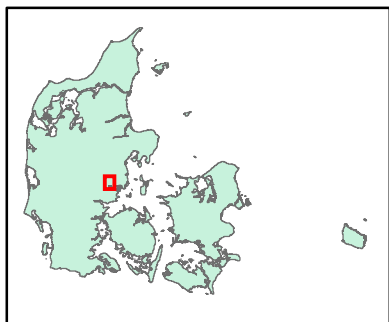
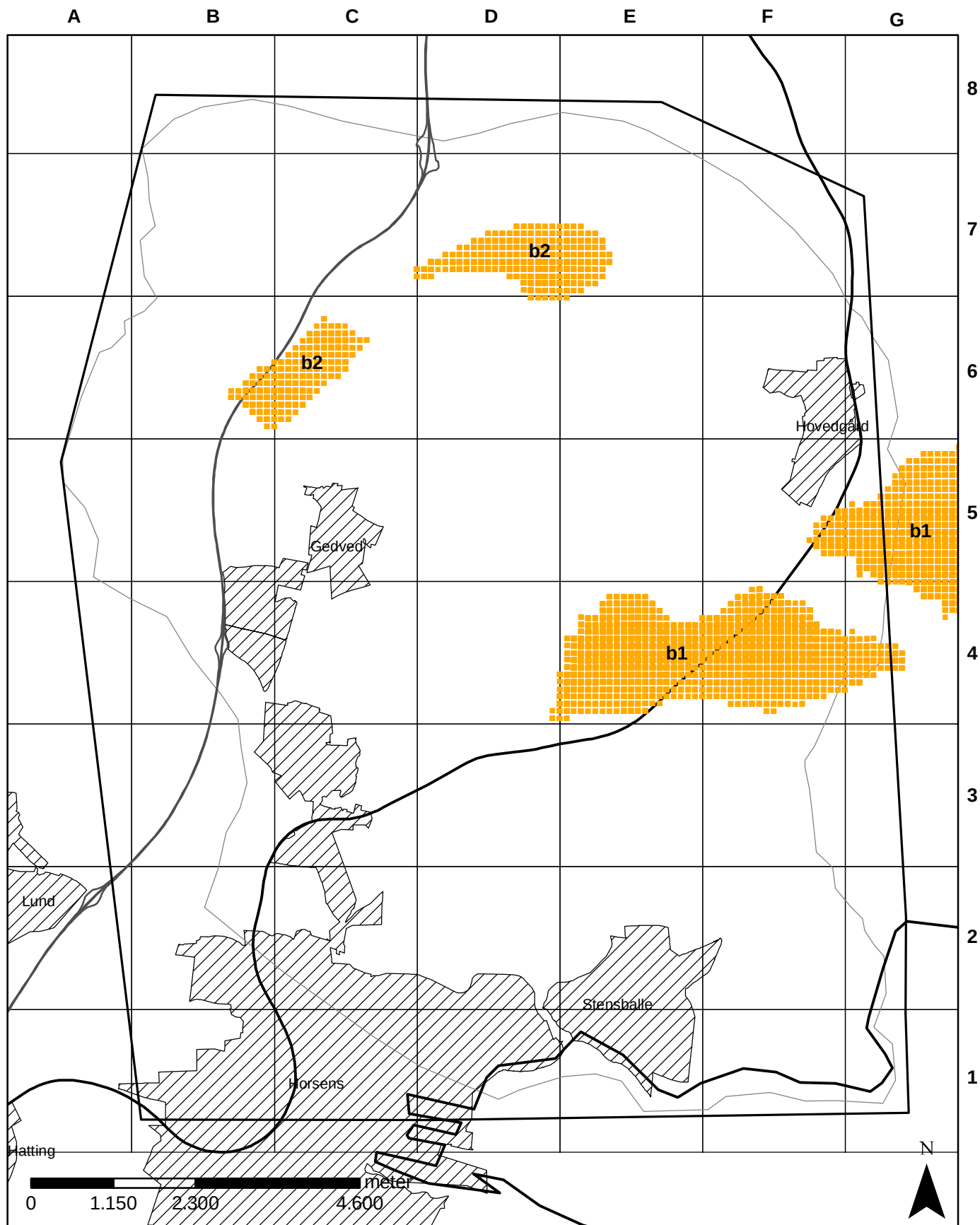
Begravede dale - rumlig geologisk model - maksimal udbredelse for dalgeneration a

- GeologiskModel
- Danmark_polyline
- motorvej
- jernbane
- Modelrand_GVmodel
- Byer_region

GS3D SourceObjectName: Genetisk Grid
CellsX = 100 m, CellsY= 100m, CellsZ=5

GCS: GCS_WGS_1984
Datum: D_WGS_1984
Højdemodel: DVR90





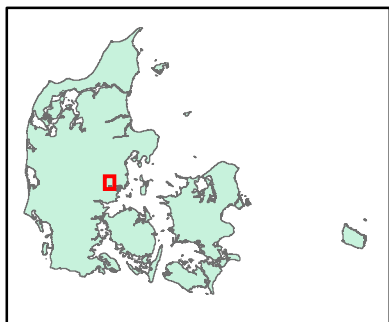
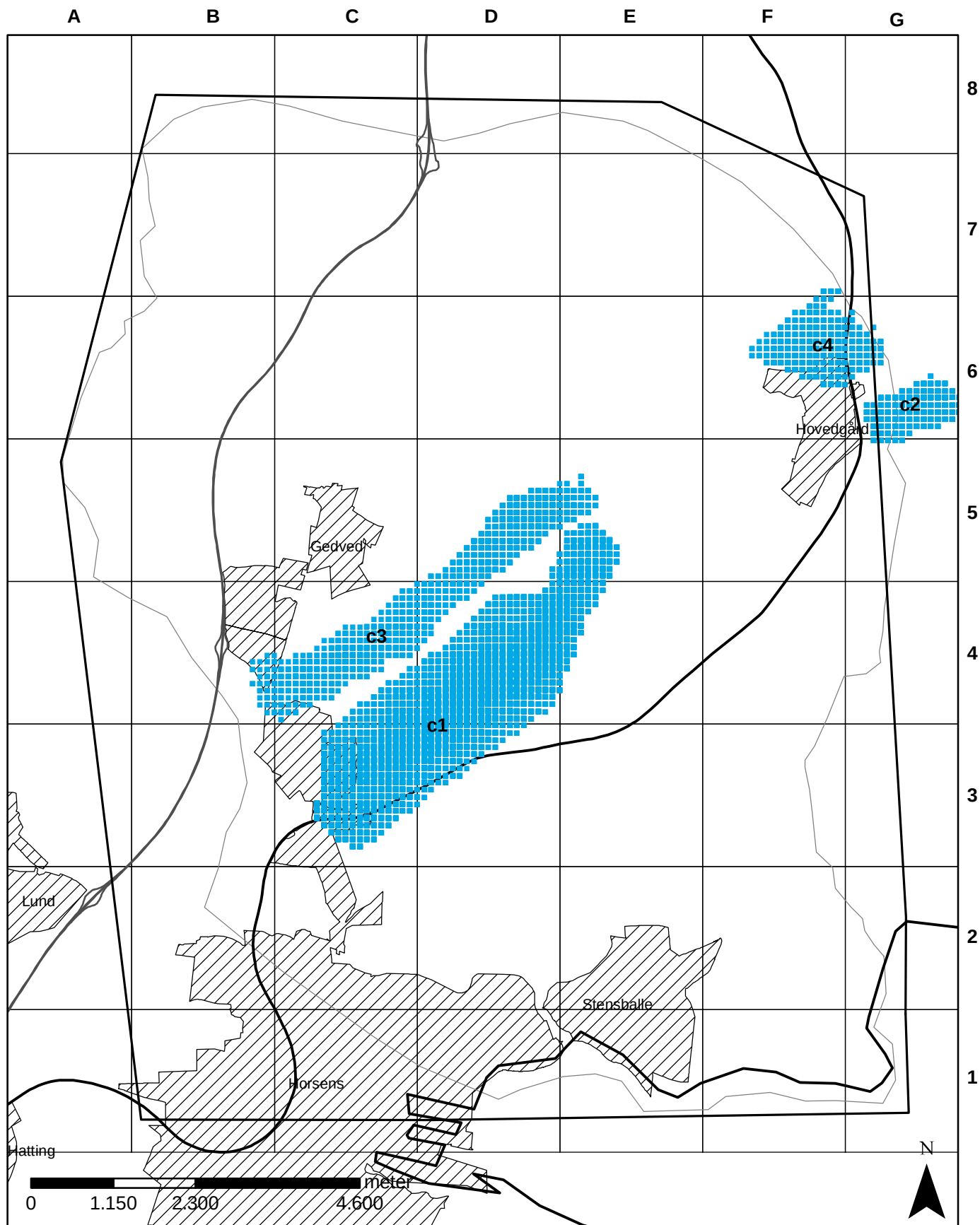
**Begravede dale - rumlig geologisk model
- maksimal udbredelse fordelgeneration b**

- GeologiskModel
- Danmark_polyline
- motorvej
- jernbane
- Modelrand_GVmodel
- Byer_region

GS3D SourceObjectName: Genetisk Grid
CellsX = 100 m, CellsY= 100m, CellsZ=5

GCS: GCS_WGS_1984
Datum: D_WGS_1984
Højdemodel: DVR90





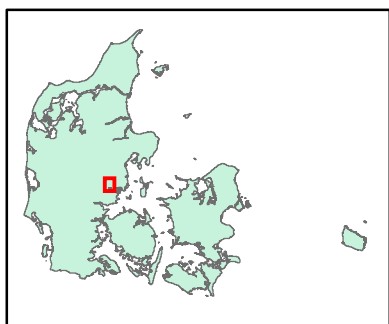
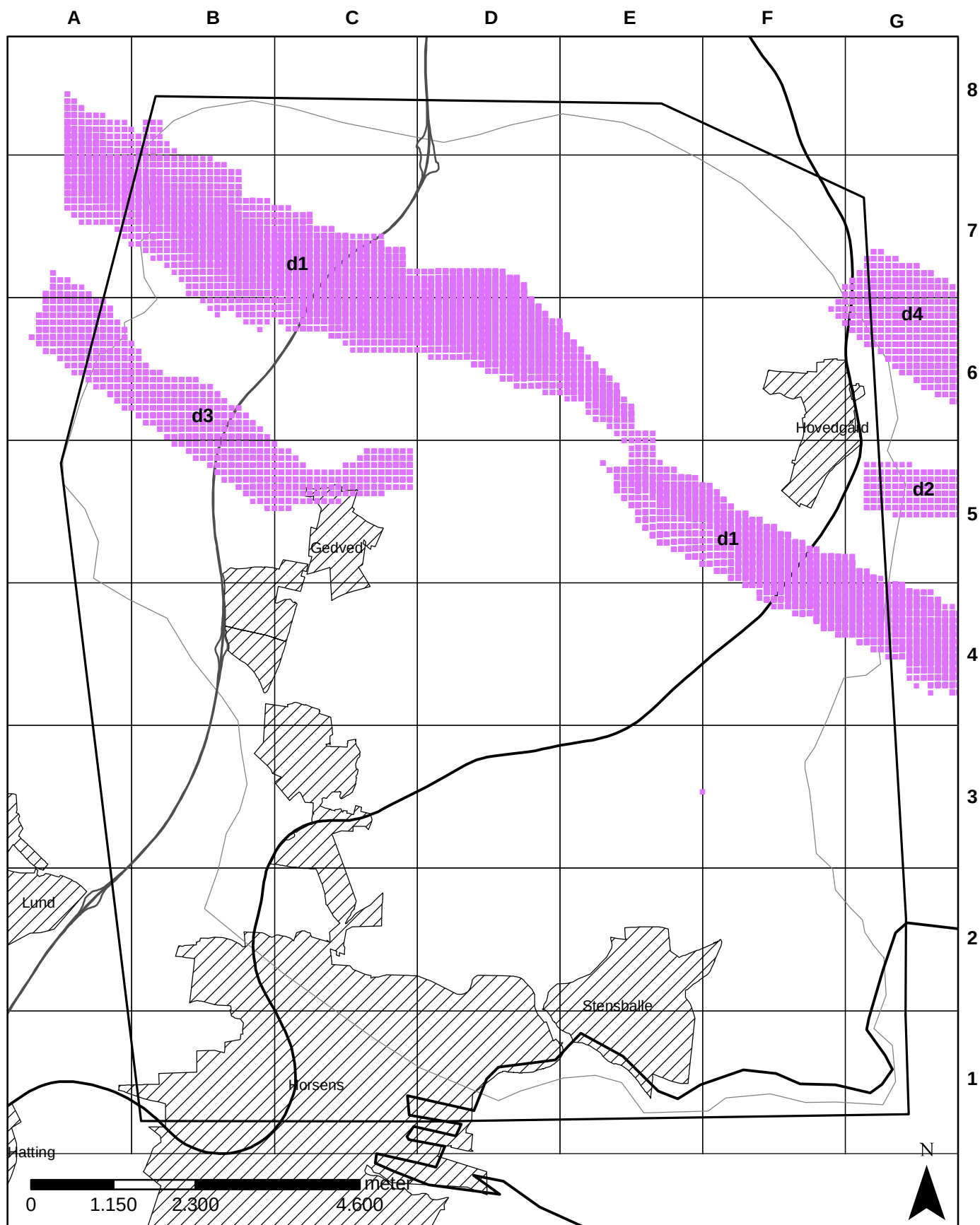
**Begravede dale - rumlig geologisk model
- maksimal udbredelse for dalgeneration c**

- GeologiskModel
- Danmark_polyline
- motorvej
- jernbane
- Modelrand_GVmodel
- Byer_region

GS3D SourceObjectName: Genetisk Grid
CellsX = 100 m, CellsY= 100m, CellsZ=5

GCS: GCS_WGS_1984
Datum: D_WGS_1984
Højdemodel: DVR90





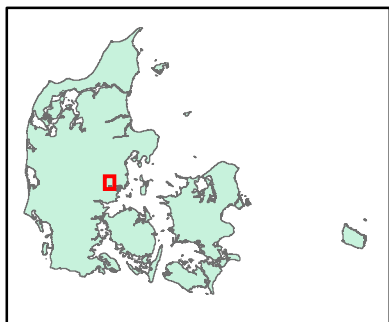
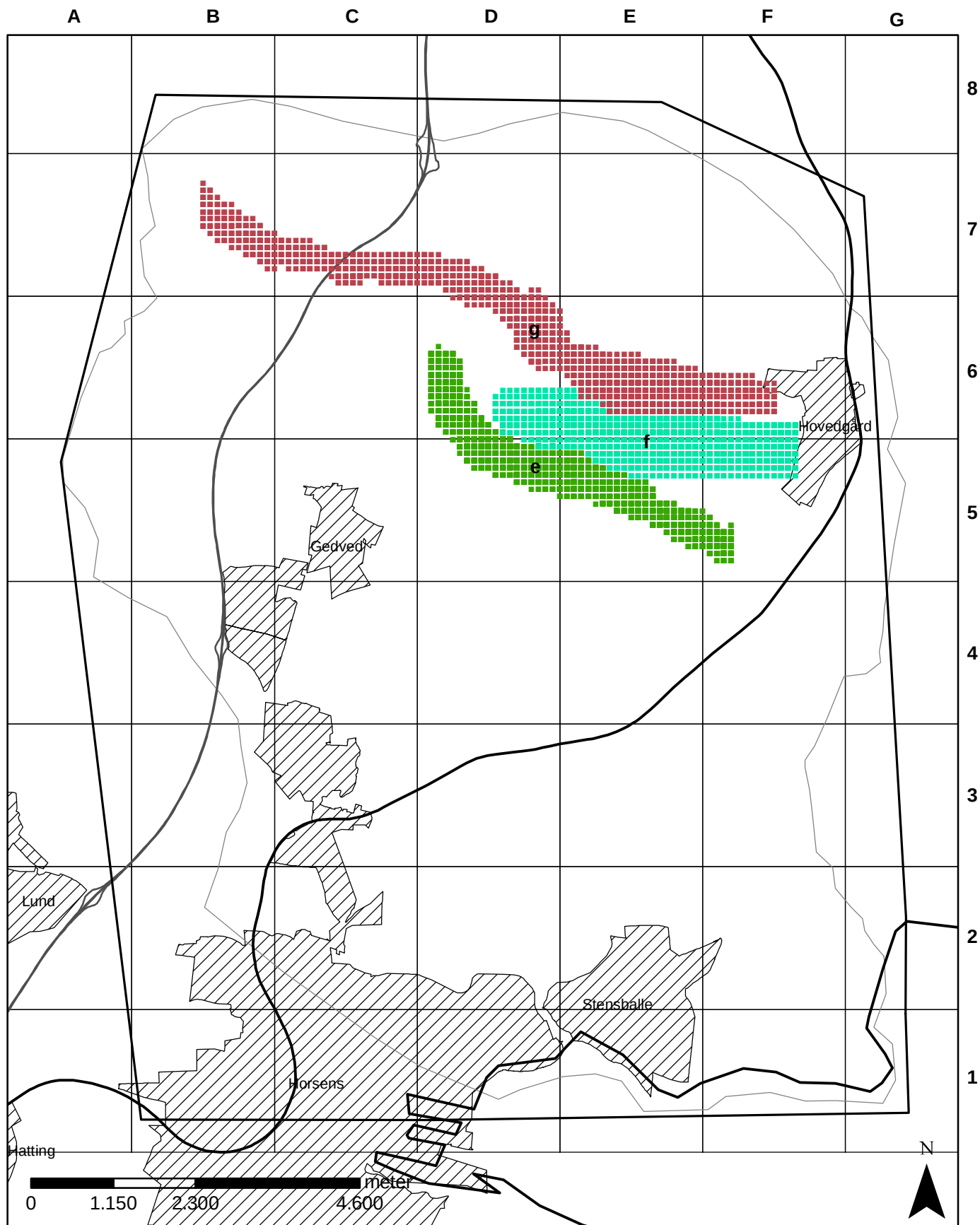
Begravede dale - rumlig geologisk model - maksimal udbredelse fordelgeneration d

- GeologiskModel
- Danmark_polyline
- motorvej
- jernbane
- Modelrand_GVmodel
- Byer_region

GS3D SourceObjectName: Genetisk Grid
CellsX = 100 m, CellsY= 100m, CellsZ=5

GCS: GCS_WGS_1984
Datum: D_WGS_1984
Højdemodel: DVR90





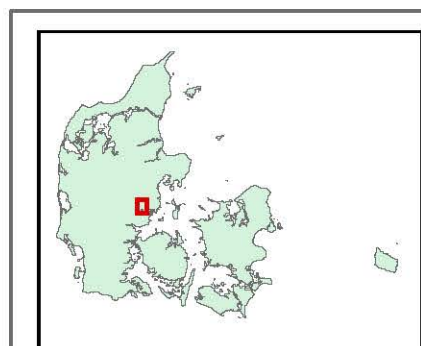
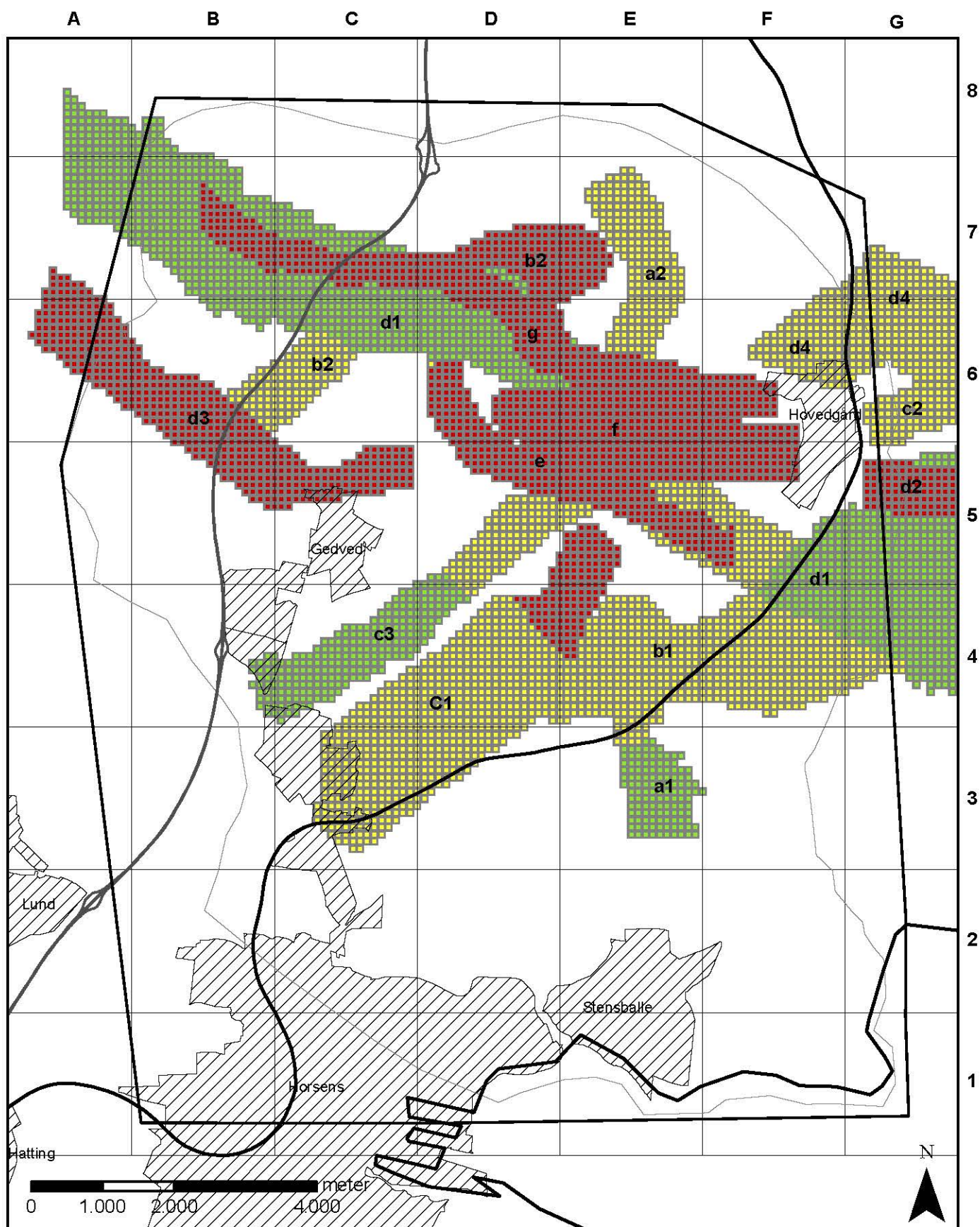
**Begravede dale - rumlig geologisk model
- maksimal udbredelse for dalgene-
ration e, f, g**

- GeologiskModel
- Danmark_polyline
- motorvej
- jernbane
- Modelrand_GVmodel
- Byer_region

GS3D SourceObjectName: Genetisk Grid
CellsX = 100 m, CellsY= 100m, CellsZ=5

GCS: GCS_WGS_1984
Datum: D_WGS_1984
Højdemodel: DVR90





Alle begravede dale - usikkerheder - maksimal udbredelse

- GeologiskModel
- Danmark_polyline
- motorvej
- jernbane
- Modelrand_GVmodel
- Byer_region

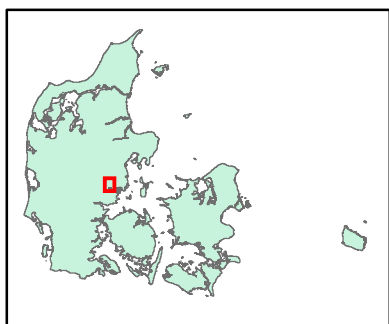
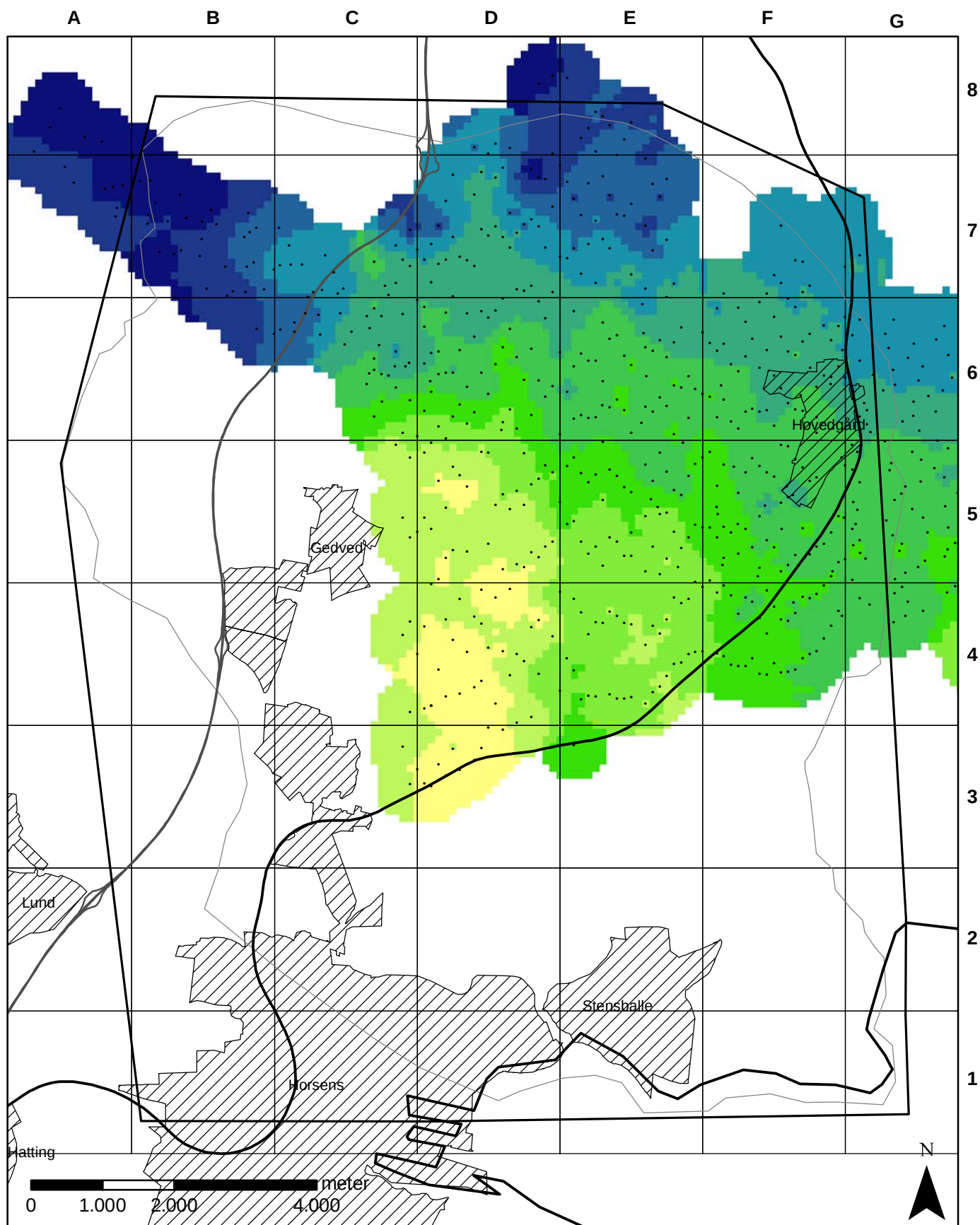
Usikkerhedskategorier

- Sikker
- Middel
- Usikker

GS3D SourceObjectName: Genetisk Grid
CellsX = 100 m, CellsY = 100m, CellsZ=5

GCS: GCS_WGS_1984
Datum: D_WGS_1984
Højdemodel: DVR90





Erosionsflade - rumlig geologisk model - kote i henhold til DNN

Erosionsflade meter

81 - 90
71 - 80
61 - 70
51 - 60

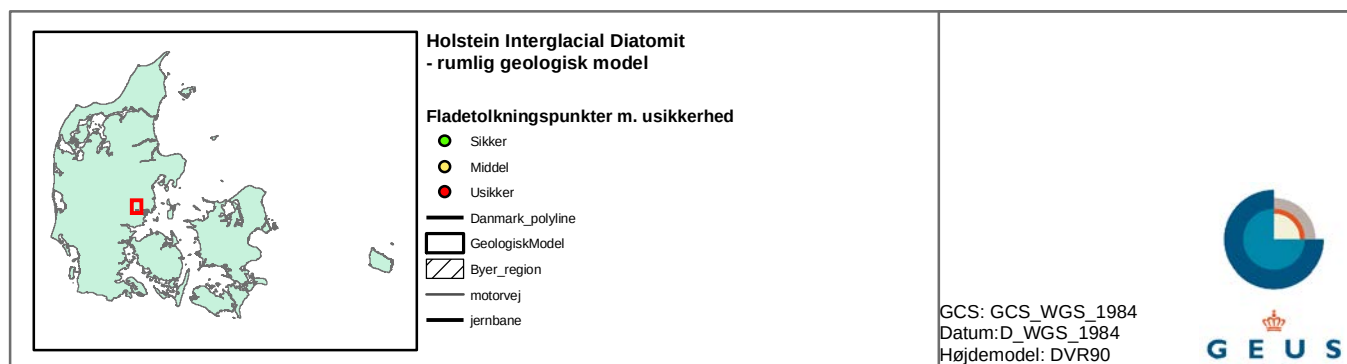
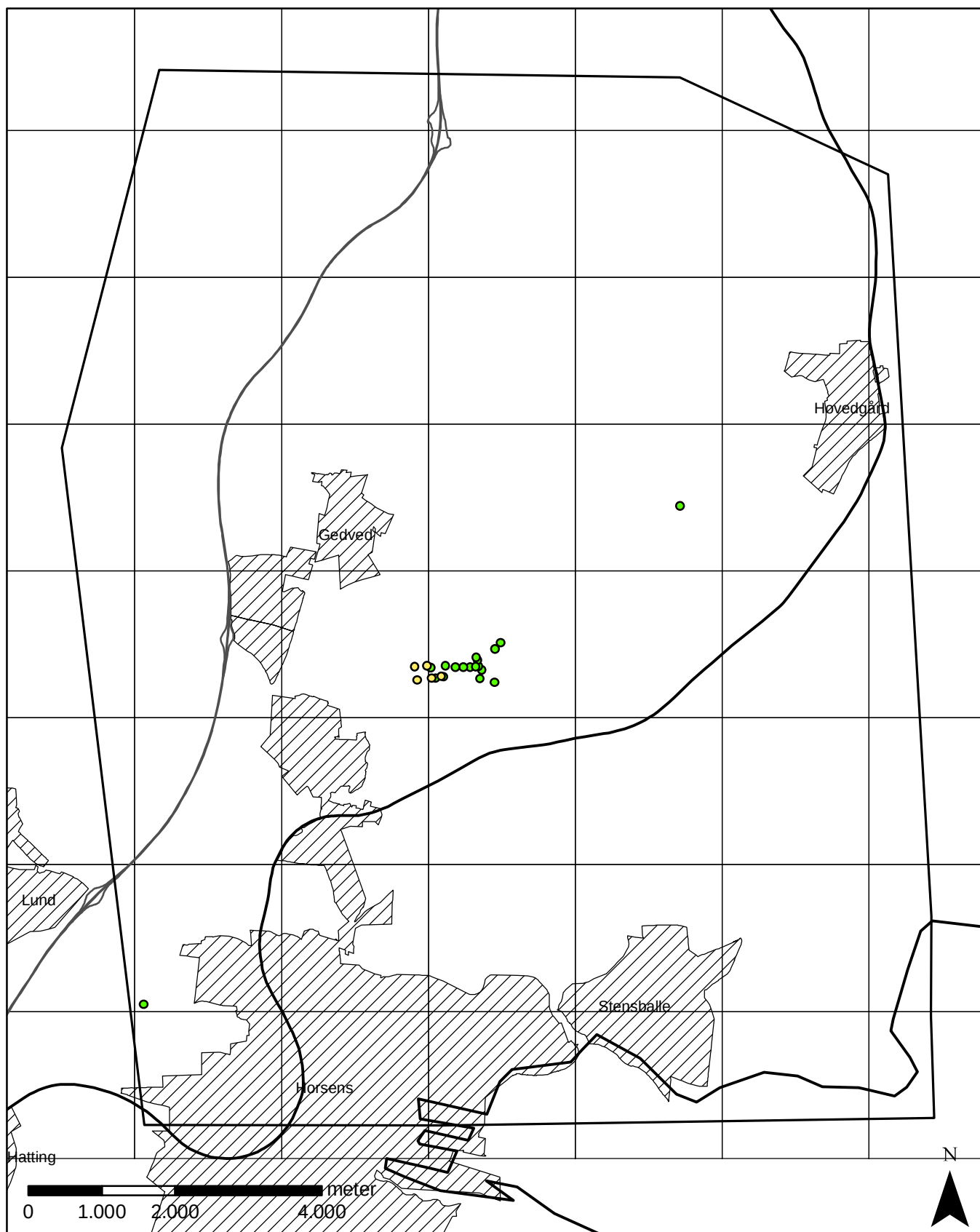
41 - 50
31 - 40
21 - 30
11 - 20
1 - 10
-9 - 0

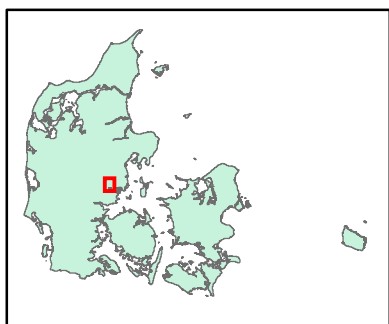
Tolkningspunkter
GeologiskModel
Byer_region
Modelrand_GVmodel
Danmark_polyline
motorvej
jernbane

InterpolationType: 2D Inv. Dist. Weighting
GS3D SourceObjectName:
Erosionsflade
CellsX = 100 m, CellsY= 100m
Search Radius X: 500,00
Search Radius Y: 500,00
Search Radius Z: 50,00
Exponent: 2,00
Smooth: 0,00

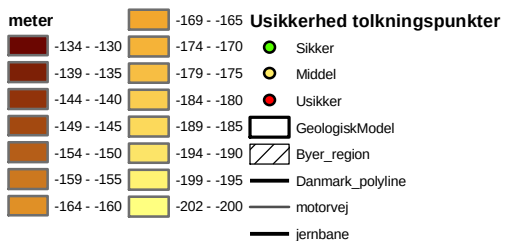
GCS: GCS_WGS_1984
Datum: D_WGS_1984
Højdemodel: DVR90







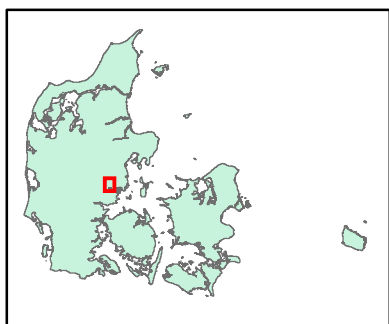
TopDS1 - rumlig geologisk model



InterpolationType: 2D Inv. Dist. Weighting
 GS3D SourceObjectName:
 Bund DL
 CellsX = 100 m, CellsY= 100m
 Search Radius X: 500,00
 Search Radius Y: 500,00
 Search Radius Z: 50,00
 Exponent: 2,00
 Smooth: 0,00

GCS: GCS_WGS_1984
 Datum:D_WGS_1984
 Højdemodel: DVR90





TopDL - rumlig geologisk model

TopDL.asc
meter

-76 -- -72	-81 -- -77
-34 -- -30	-86 -- -82
-38 -- -35	-90 -- -87
-43 -- -39	-95 -- -91
-48 -- -44	-90 -- -96
-53 -- -49	-100 -- -100
-57 -- -54	-100 -- -110
-62 -- -58	-110 -- -110
-67 -- -63	-110 -- -120
-71 -- -68	-120 -- -120

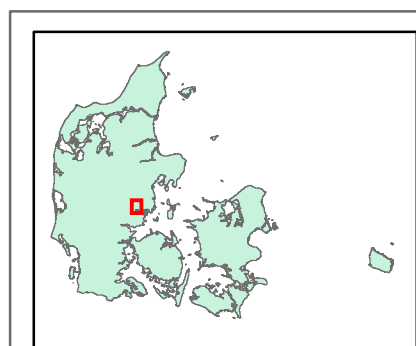
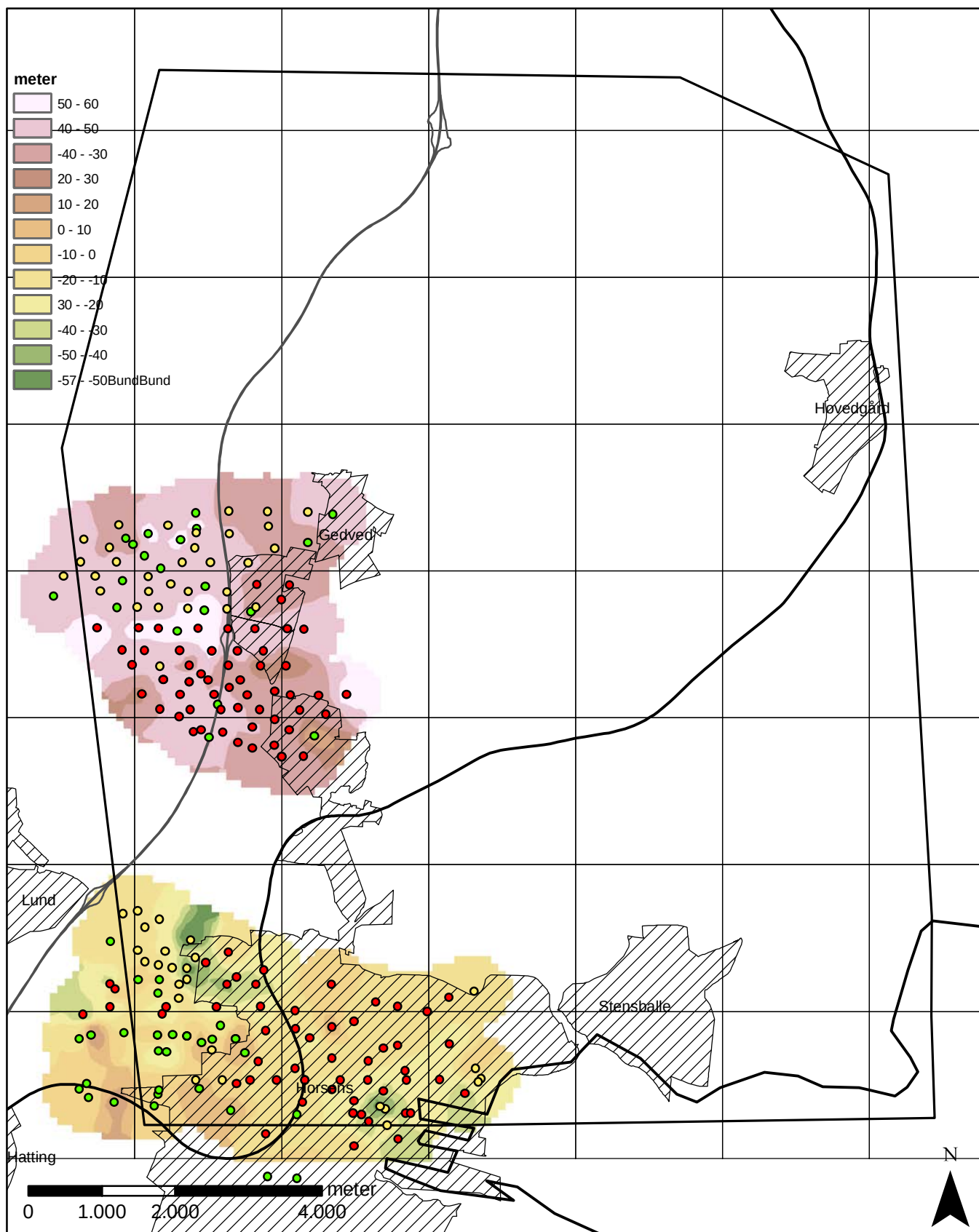
Usikkerhed tolkningspunkter

- Sikker
- Middel
- Usikker
- GeologiskModel
- Byer_region
- Danmark_polyline
- motorvej
- jernbane

InterpolationType: 2D Inv. Dist. Weighting
GS3D SourceObjectName:
DL_1_Top
CellsX = 100 m, CellsY= 100m
Search Radius X: 500,00
Search Radius Y: 500,00
Search Radius Z: 50,00
Exponent: 2,00
Smooth: 0,00

GCS: GCS_WGS_1984
Datum: D_WGS_1984
Højdemodel: DVR90





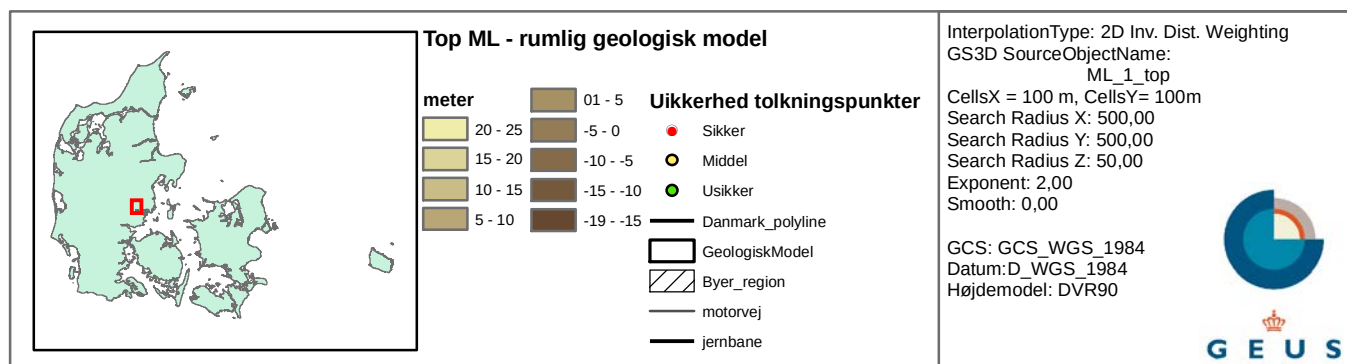
Bund ML - udgør stedvist Top DS2, men har større udbredelse (mod nord) end denne - rumlig geologisk model

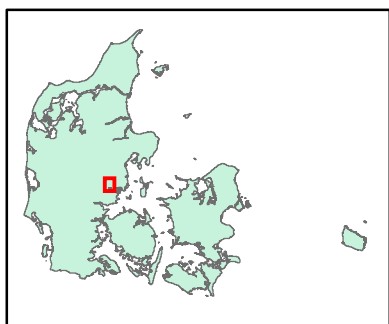
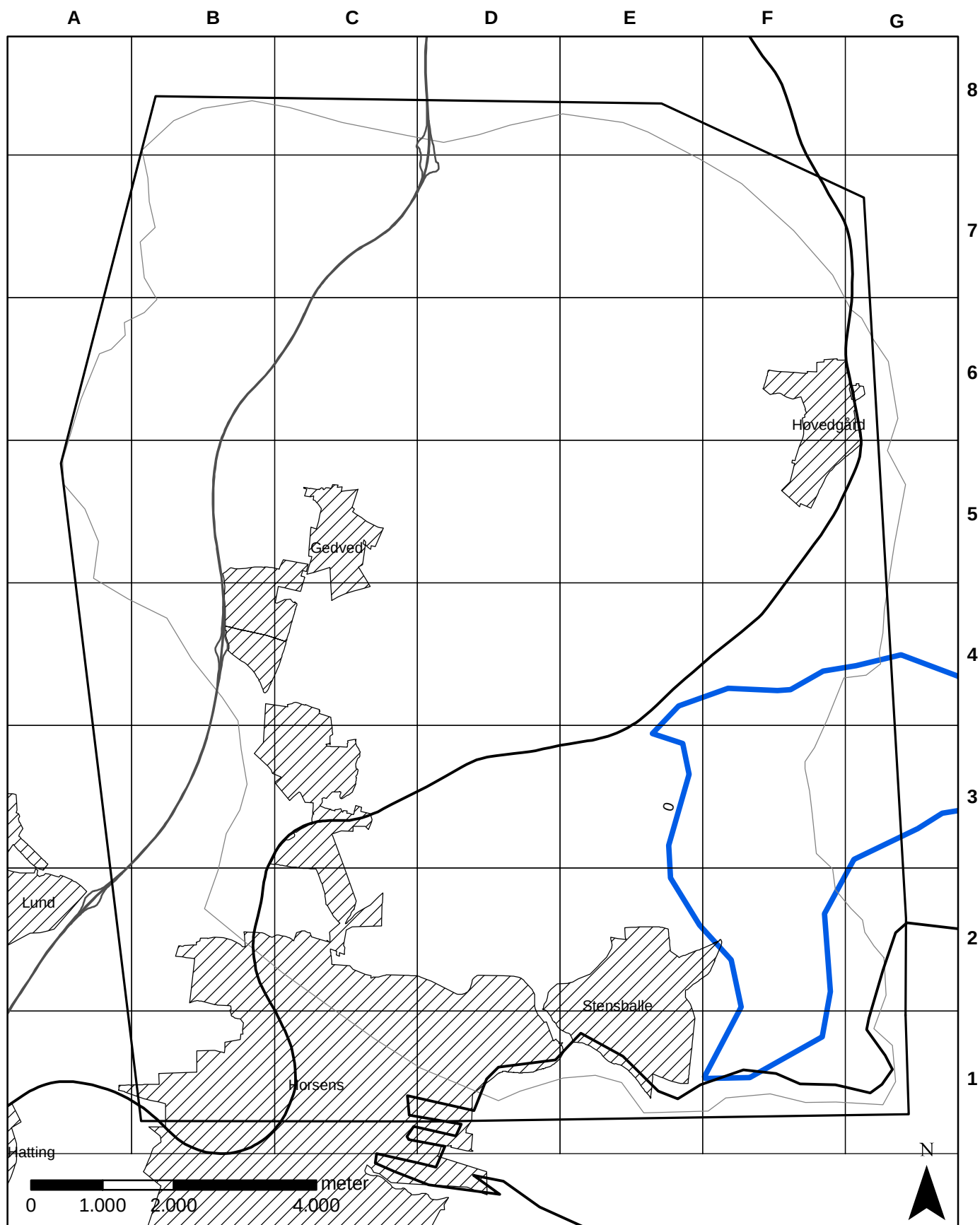
- Sikker
- Middel
- Usikker
- Danmark_polyline
- GeologiskModel
- motorvej
- jernbane
- Fishnet1
- Byer_region

InterpolationType: 2D Inv. Dist. Weighting
 GS3D SourceObjectName:
 Bund moræner
 CellsX = 100 m, CellsY= 100m
 Search Radius X: 500,00
 Search Radius Y: 500,00
 Search Radius Z: 50,00
 Exponent: 2,00
 Smooth: 0,00

GCS: GCS_WGS_1984
 Datum: D_WGS_1984
 Højdemodel: DVR90







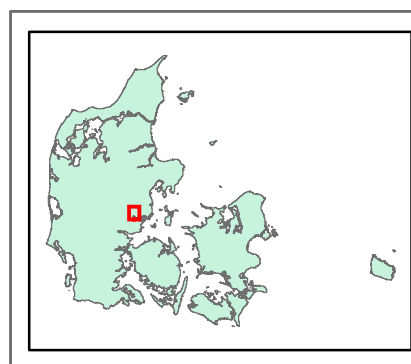
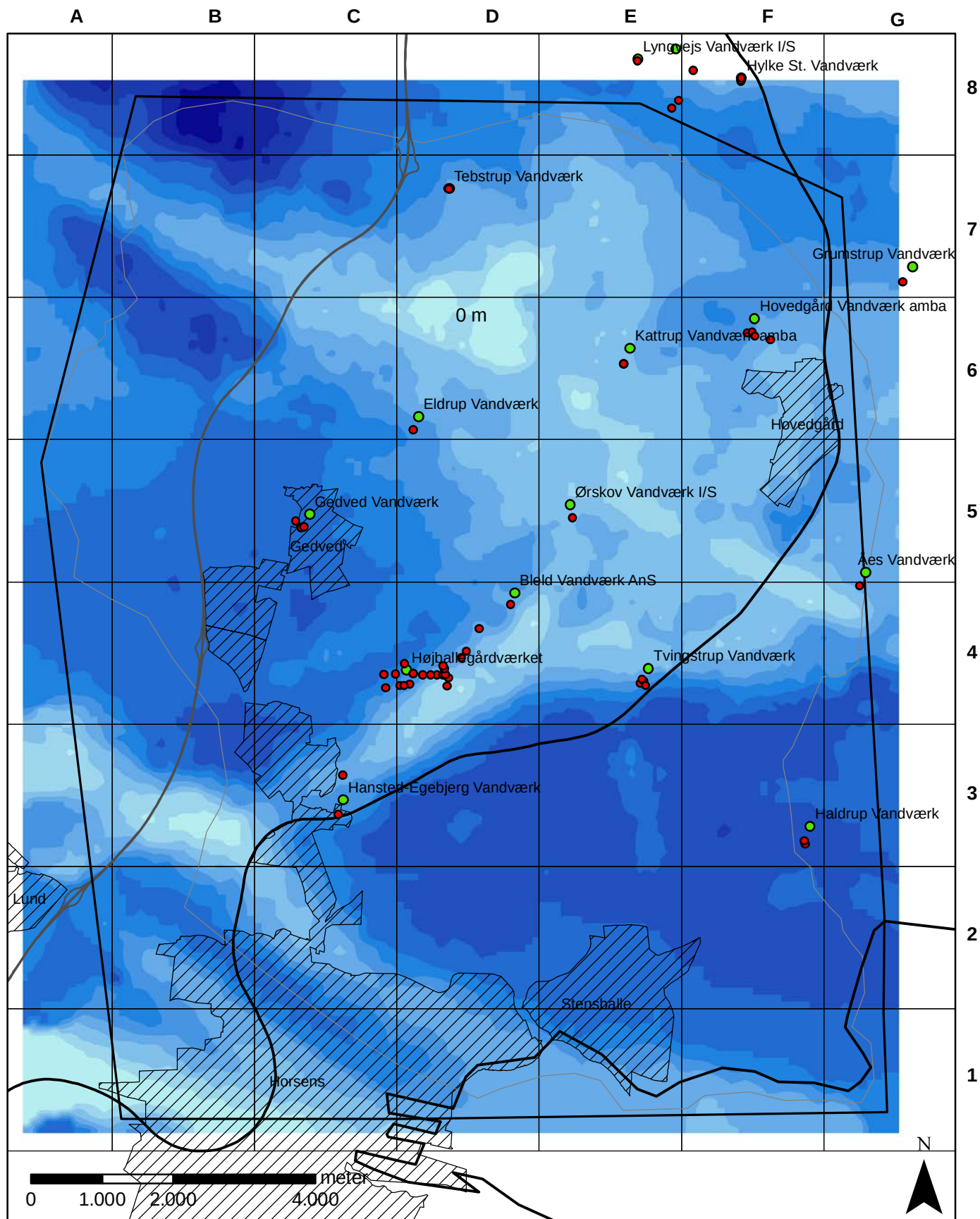
Afgrænsning af område med erkendt glacial tektonik

- Glacialteknik afgrænsning
- GeologiskModel
- Danmark_polyline
- motorvej
- jernbane
- Modelrand_GVmodel
- Byer_region

GS3D SourceObjectName: Genetisk Grid
CellsX = 100 m, CellsY= 100m, CellsZ=5

GCS: GCS_WGS_1984
Datum: D_WGS_1984
Højdemodel: DVR90





Tykkelse på Palæogent ler - lithologisk enhed 20

- Vandværksboring
- Vandværk
- GeologiskModel
- Kystlinie
- Motorvej
- Jernbane
- Modelrand_GVmodel
- ▨ Byer_region

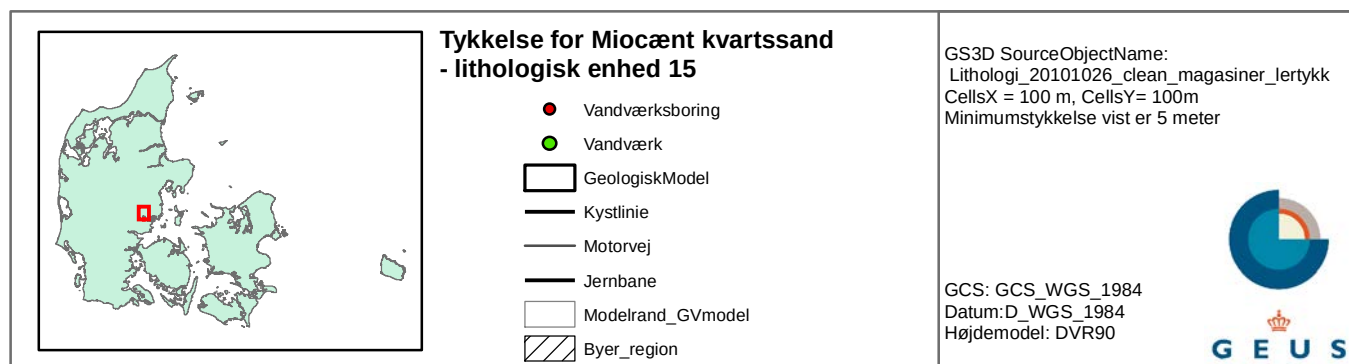
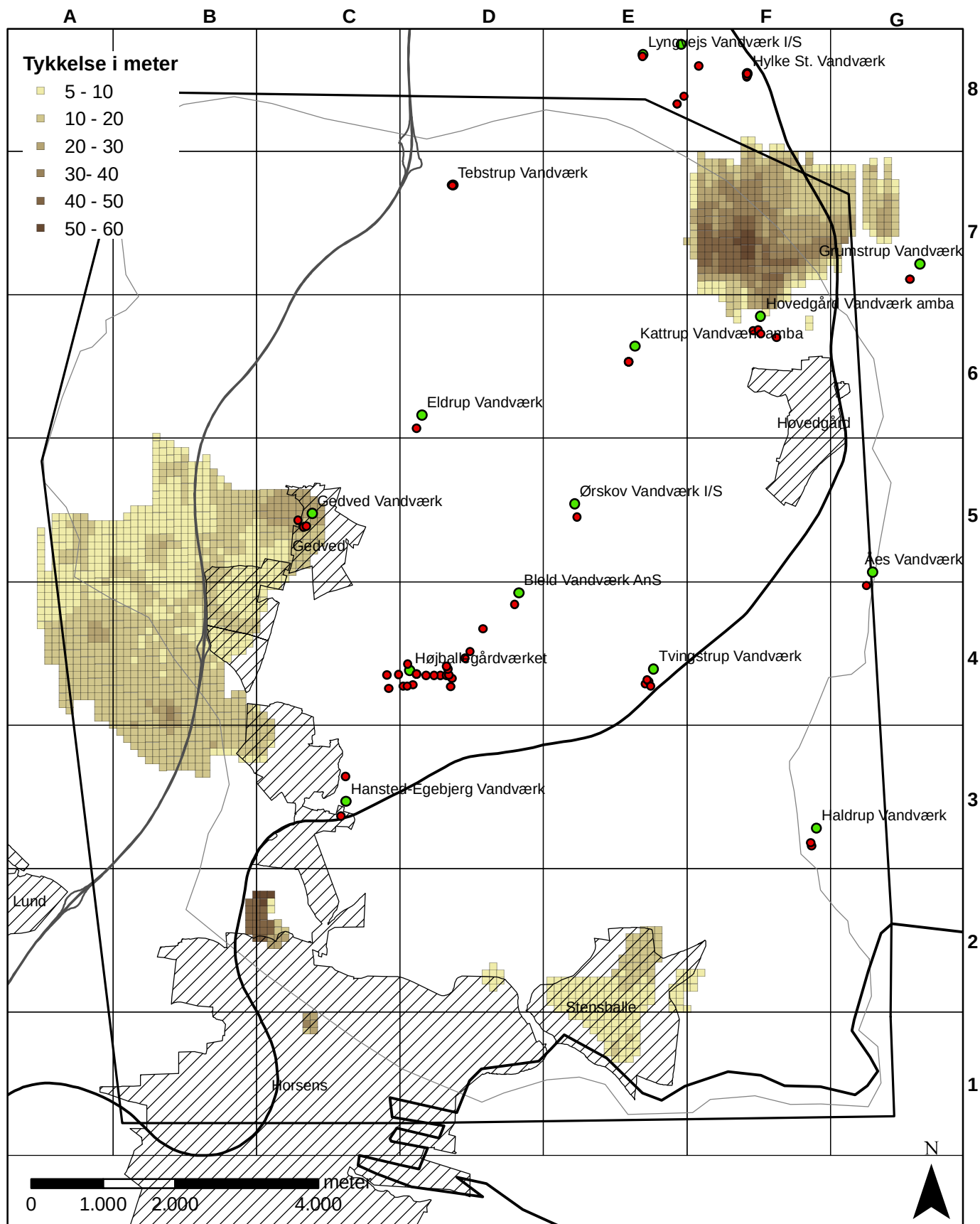
meter

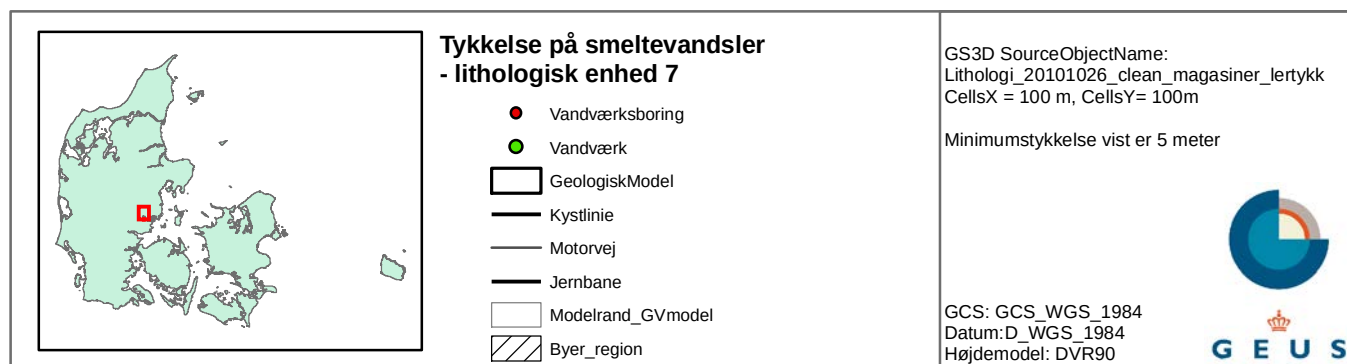
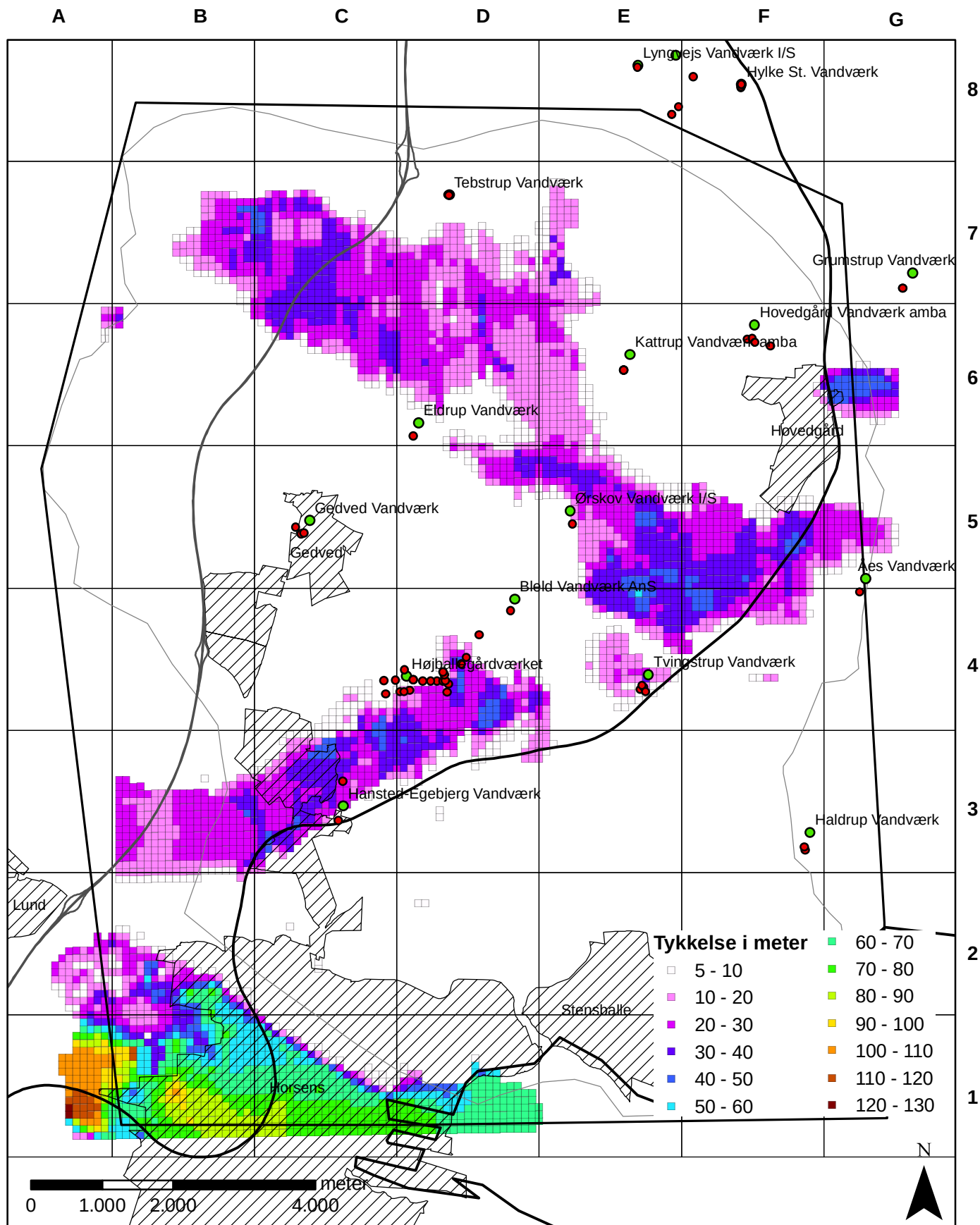
5 - 30	160 - 180
30 - 60	190 - 210
60 - 90	220 - 240
90 - 120	250 - 270
130 - 150	280 - 300
	310 - 330

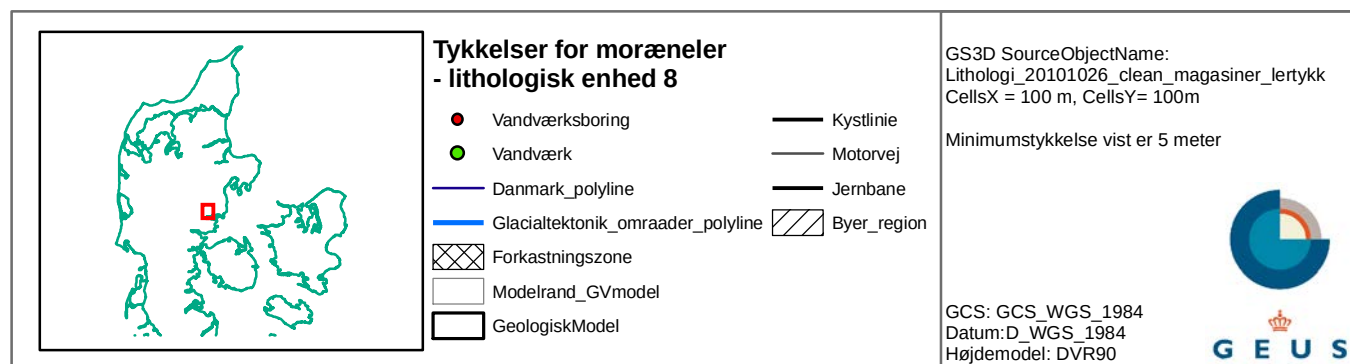
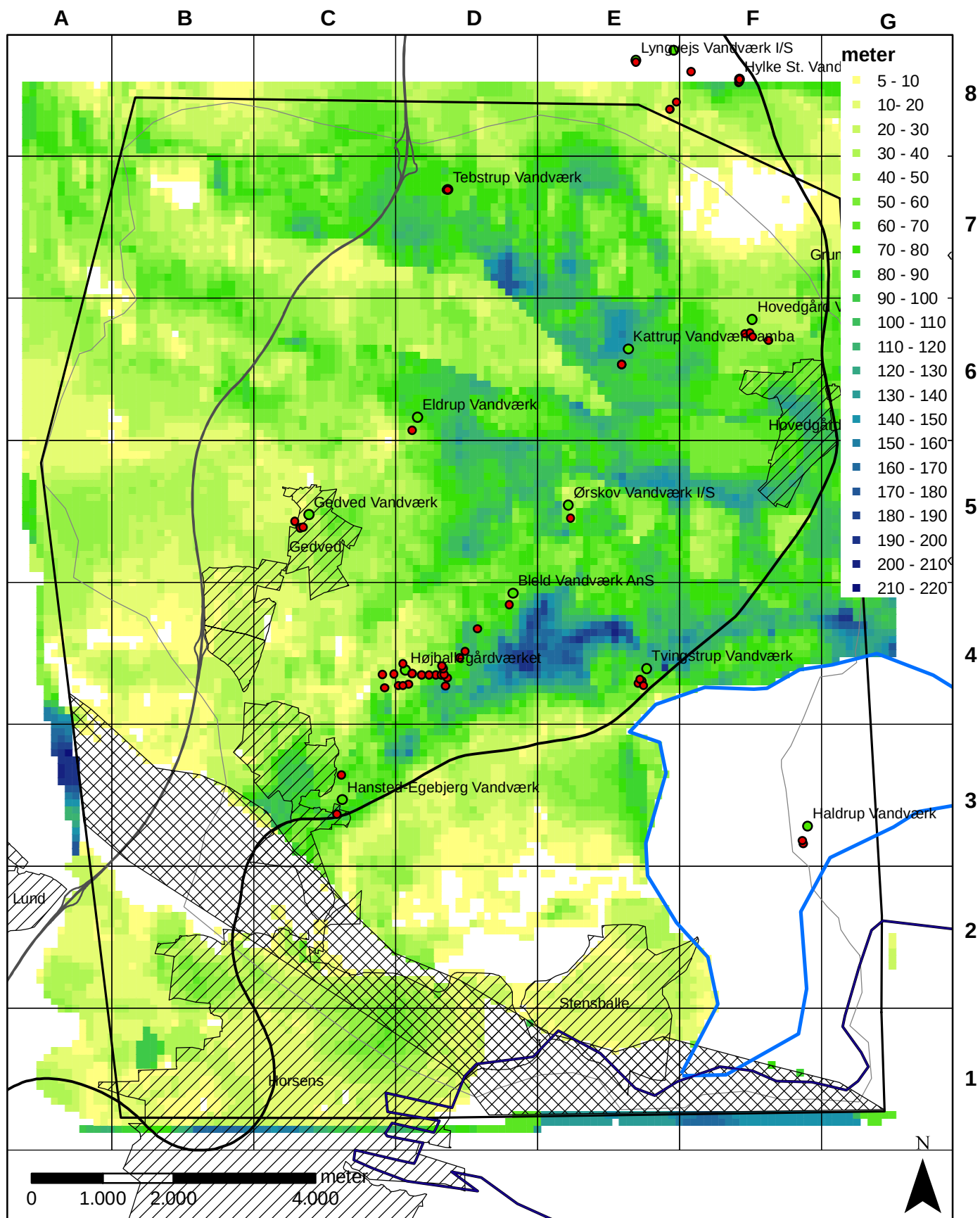
GS3D SourceObjectName:
Lithologi_20101026_clean_magasiner_lertykk
CellsX = 100 m, CellsY = 100m
Minimumstykkelser vist er 5 meter

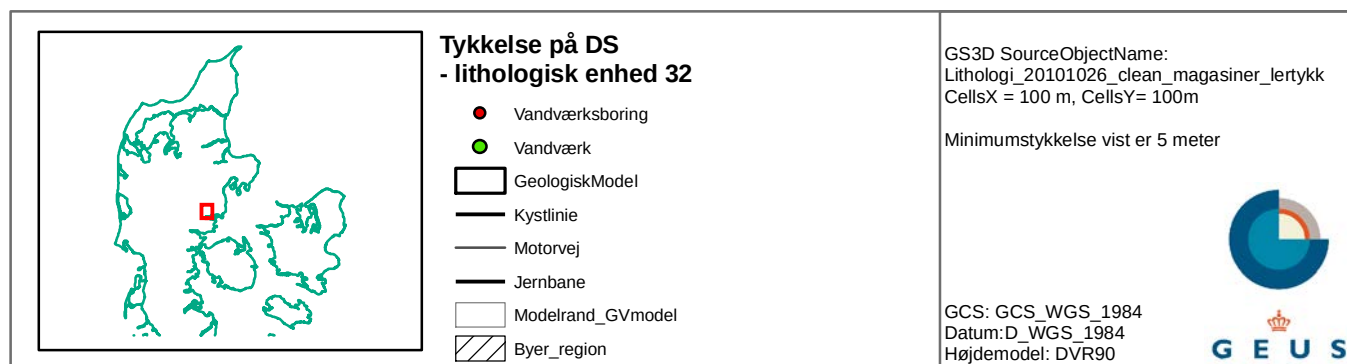
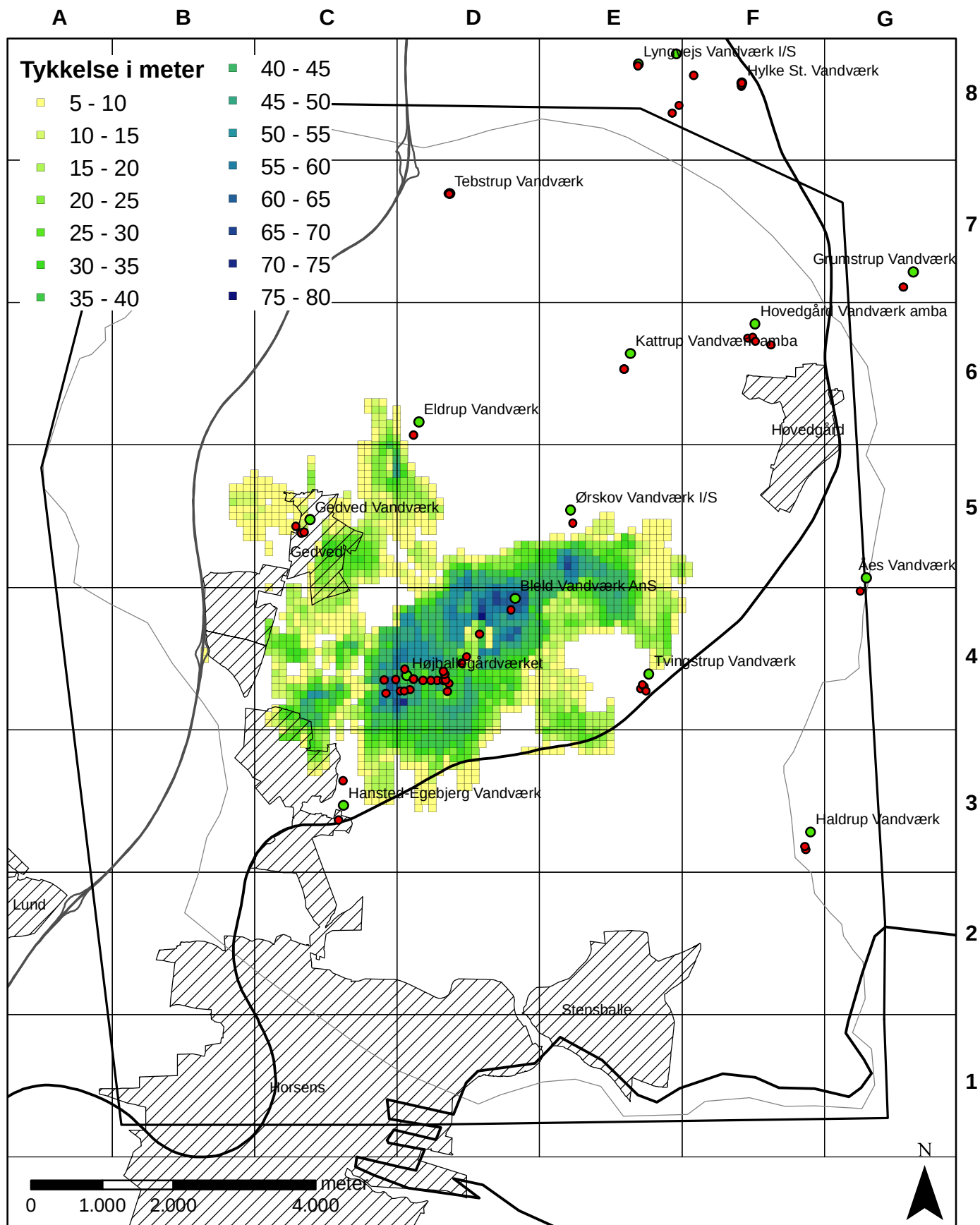
GCS: GCS_WGS_1984
Datum: D_WGS_1984
Højdemodel: DVR90

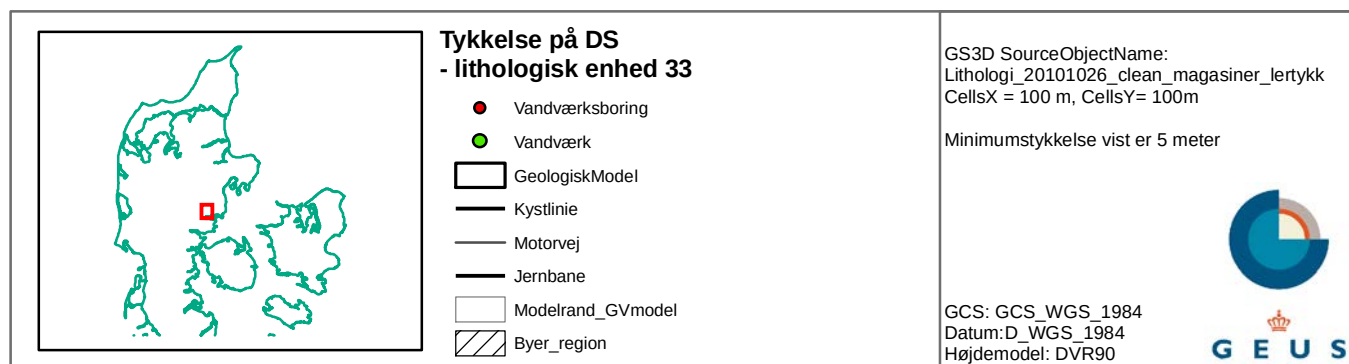
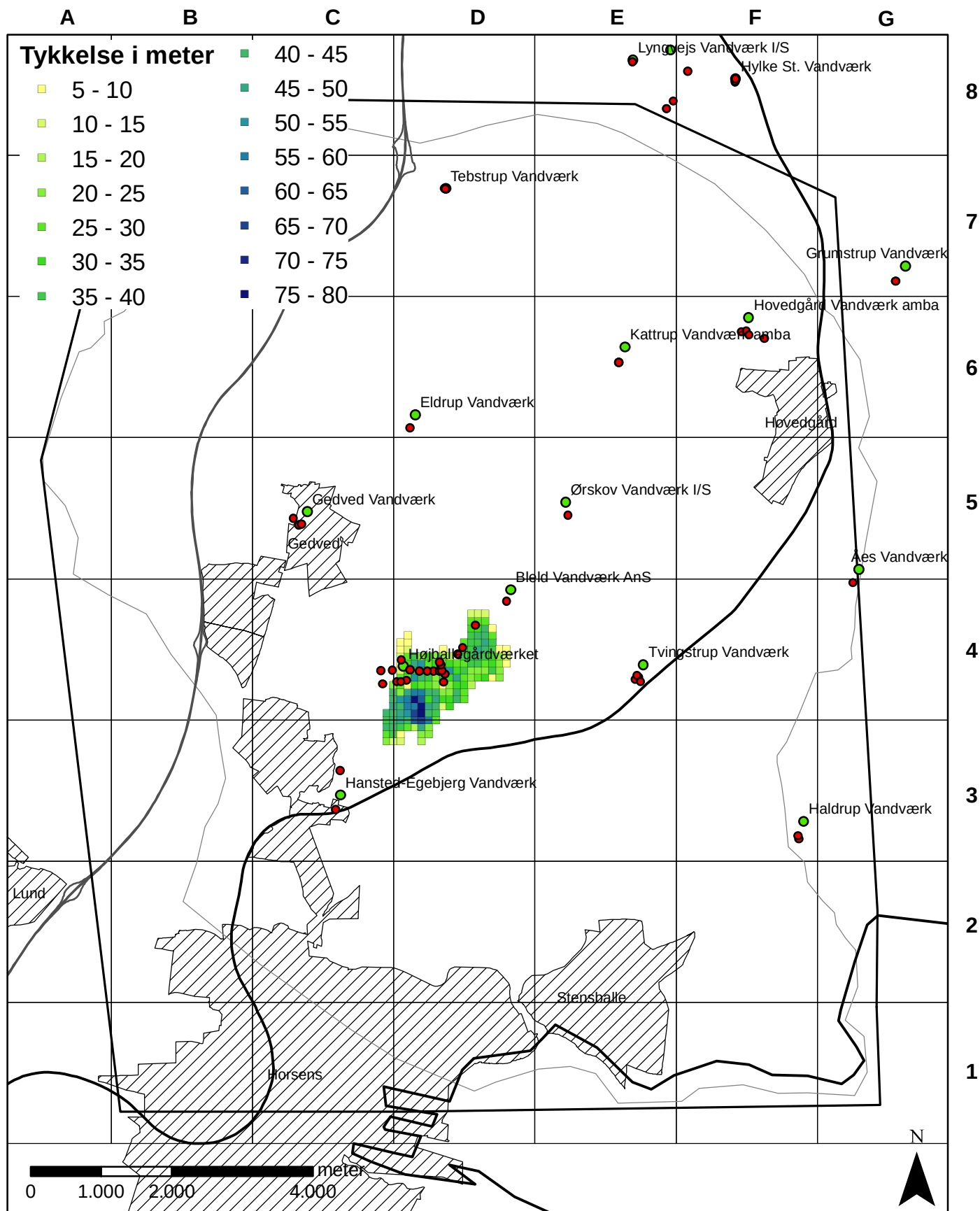


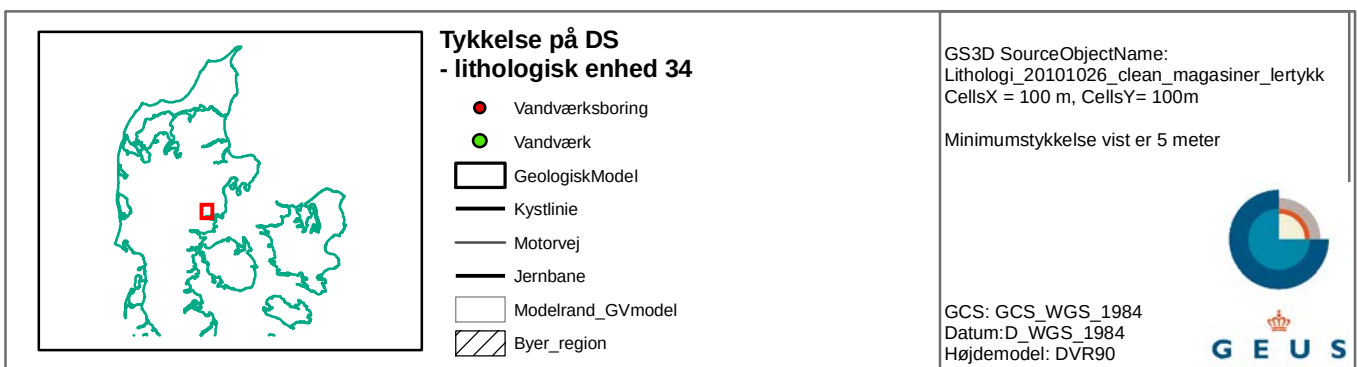
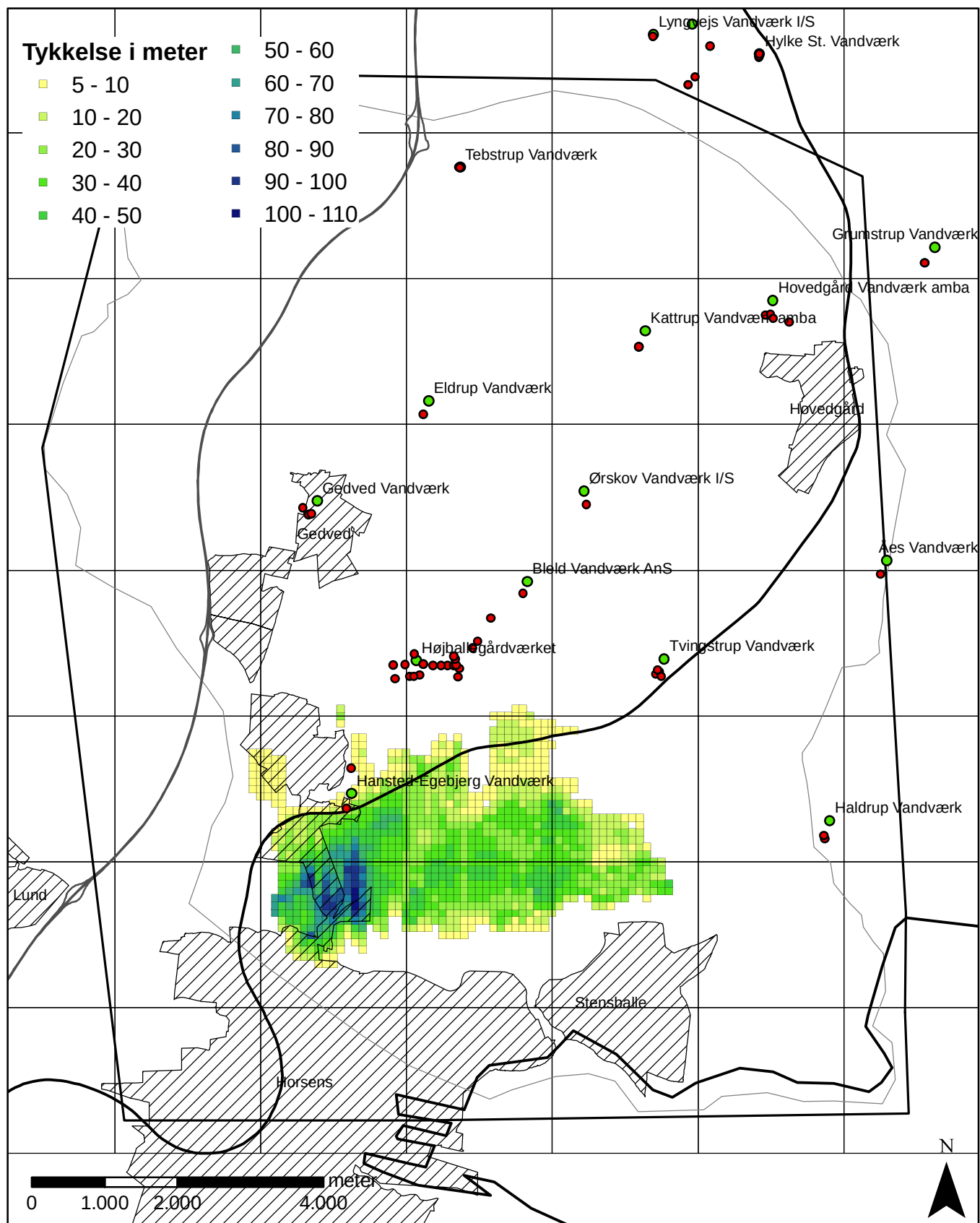


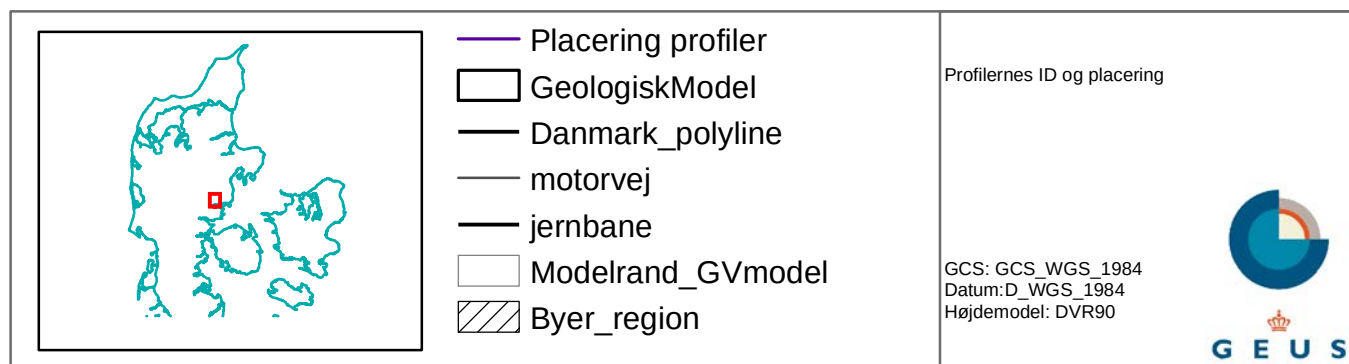
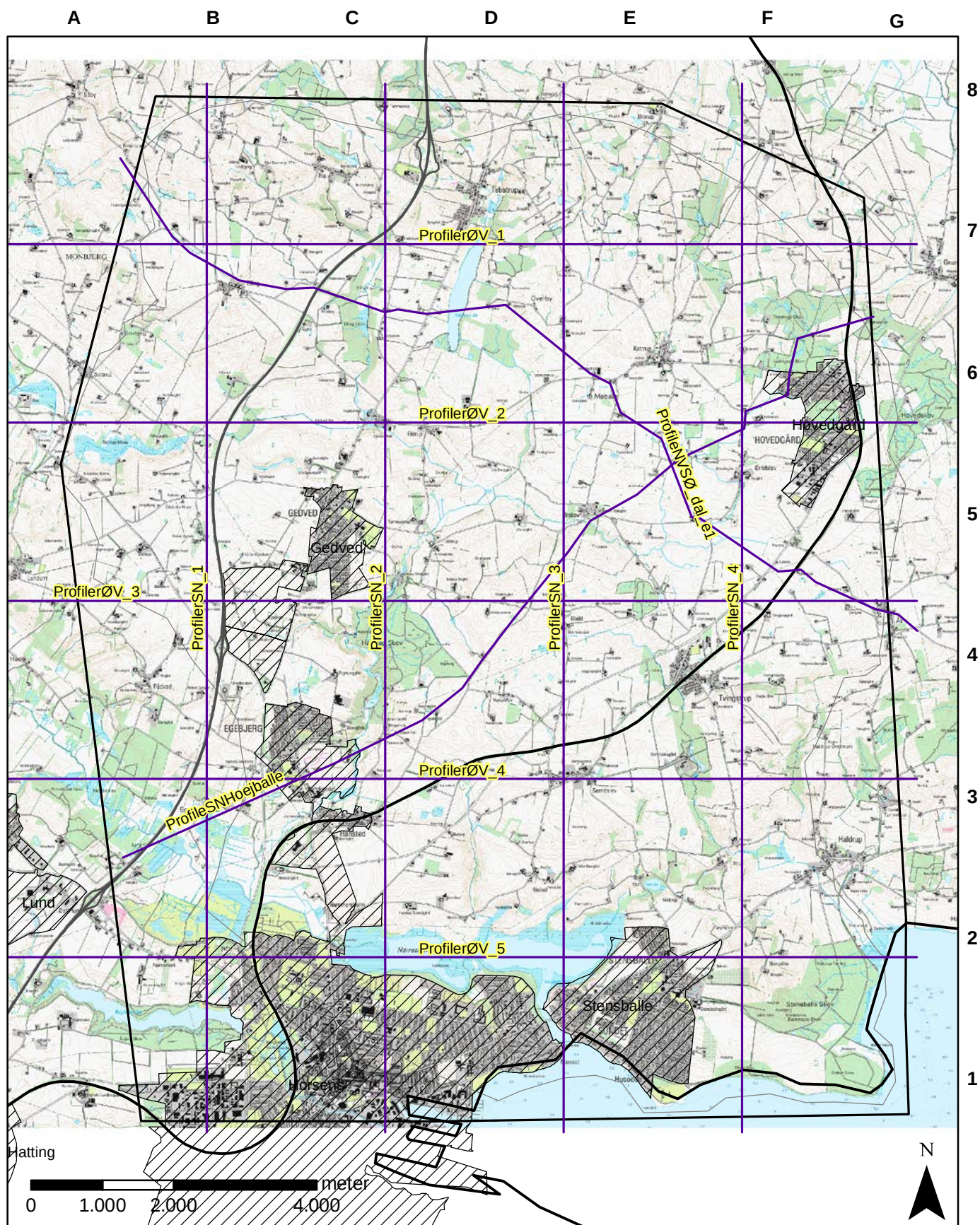


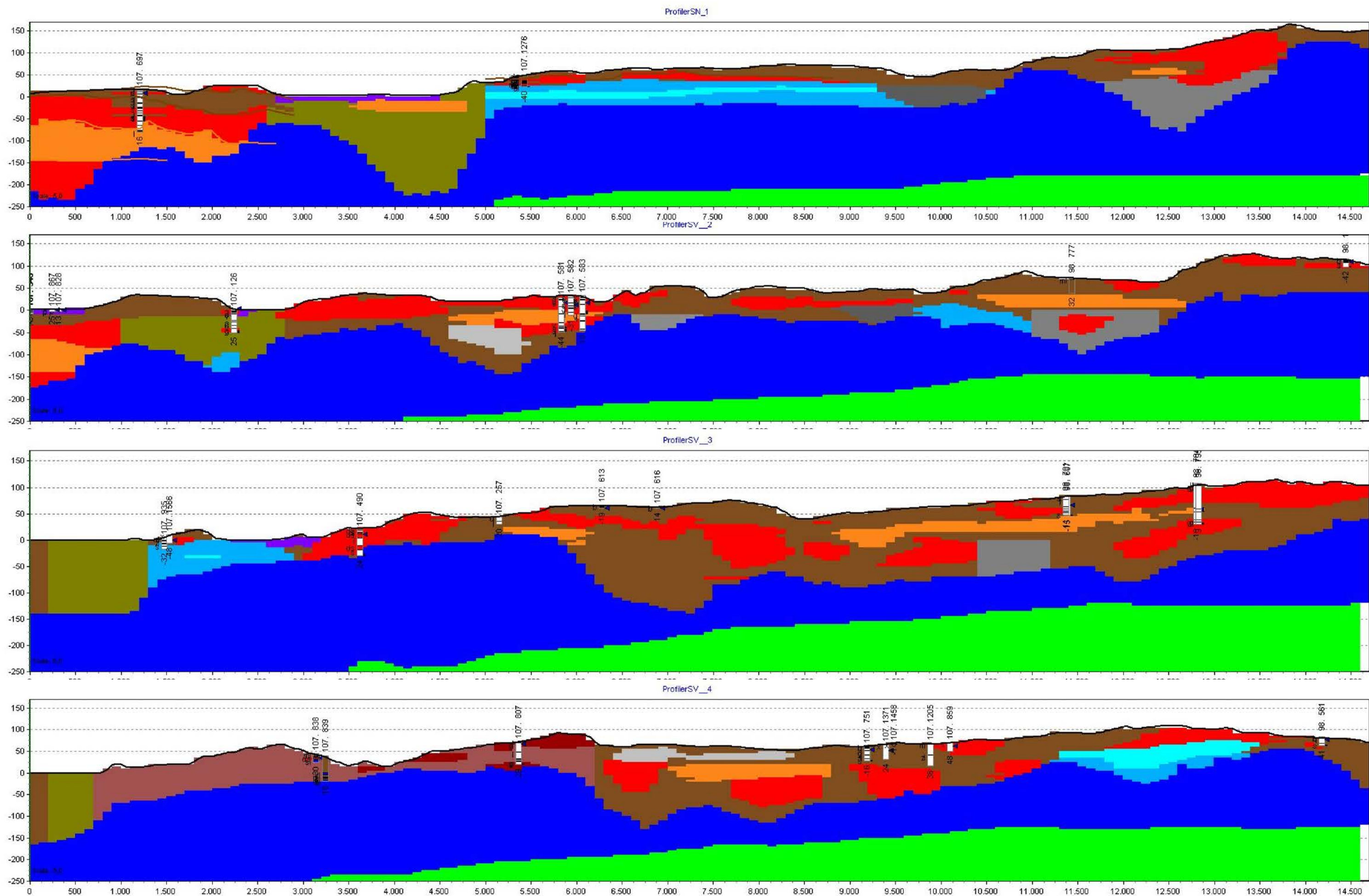




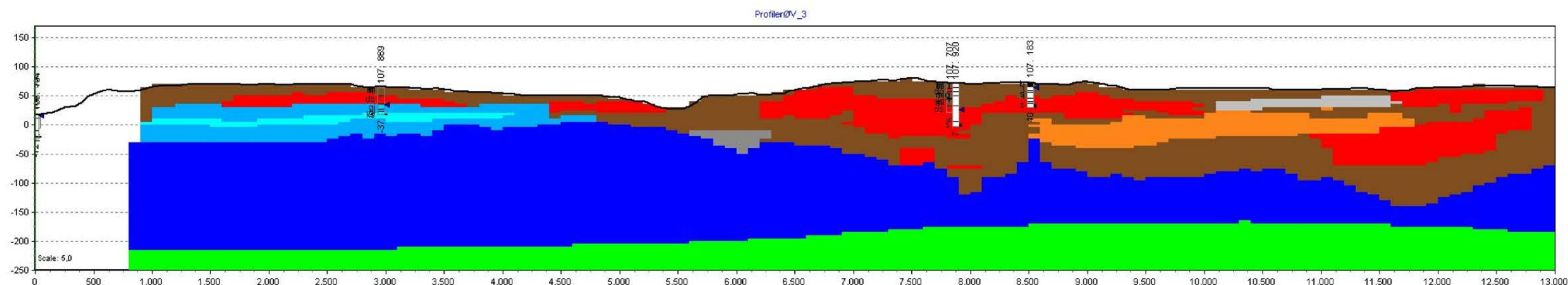
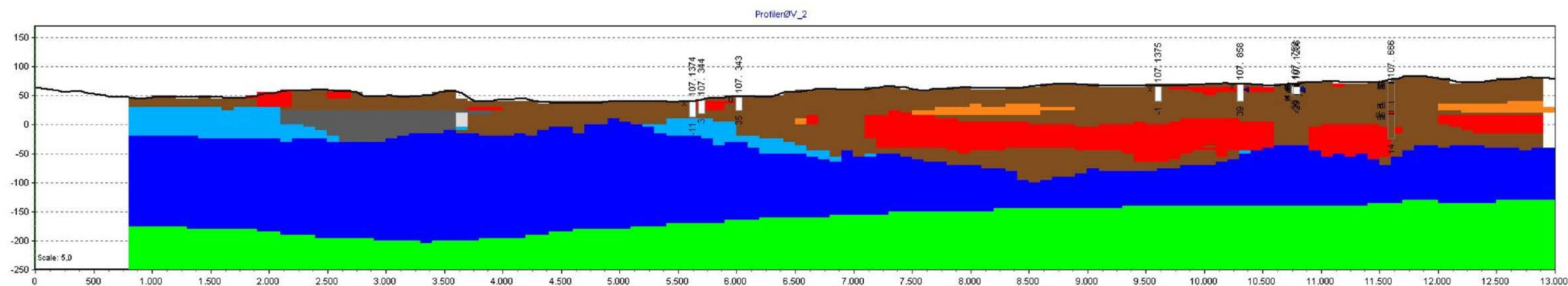
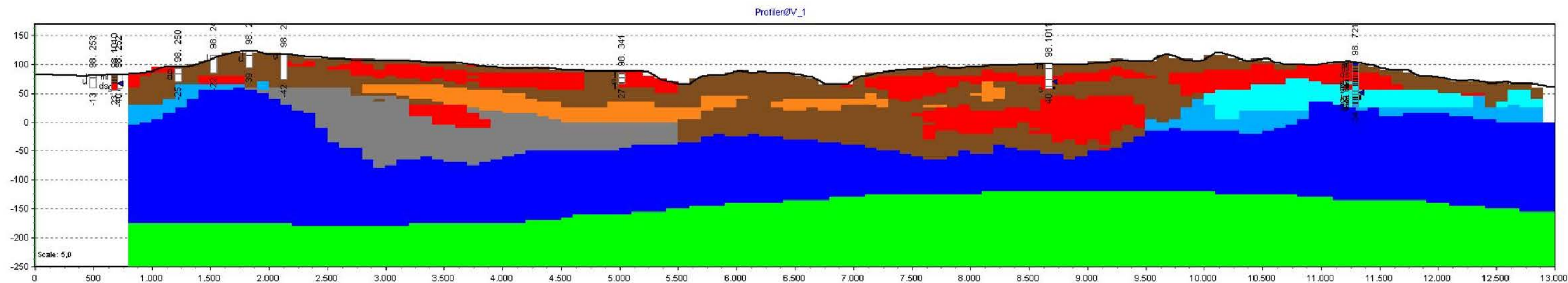


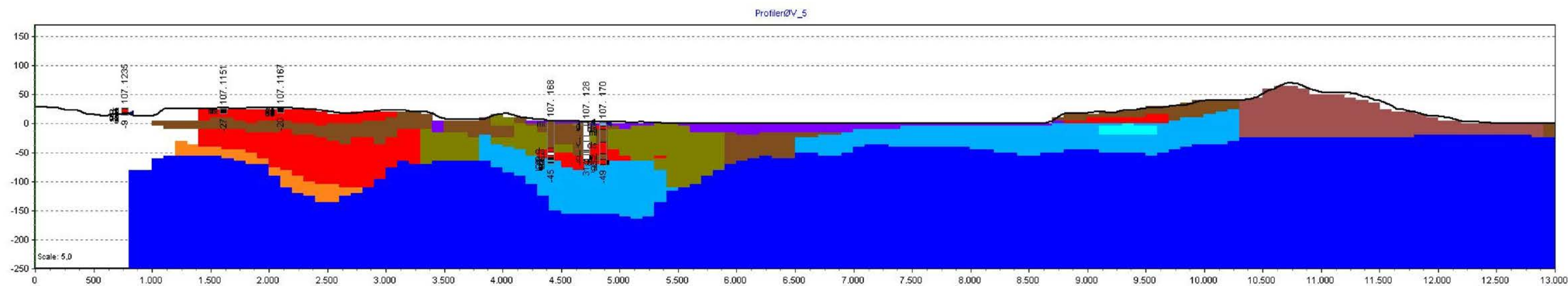
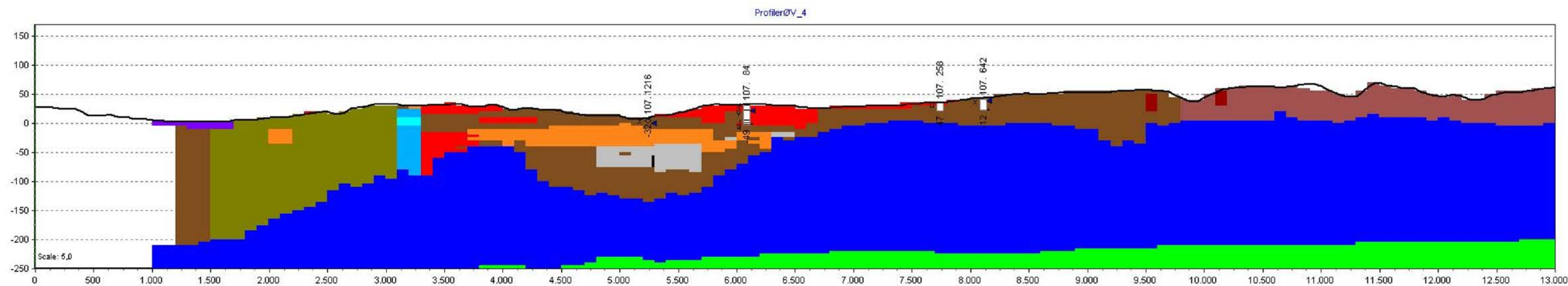


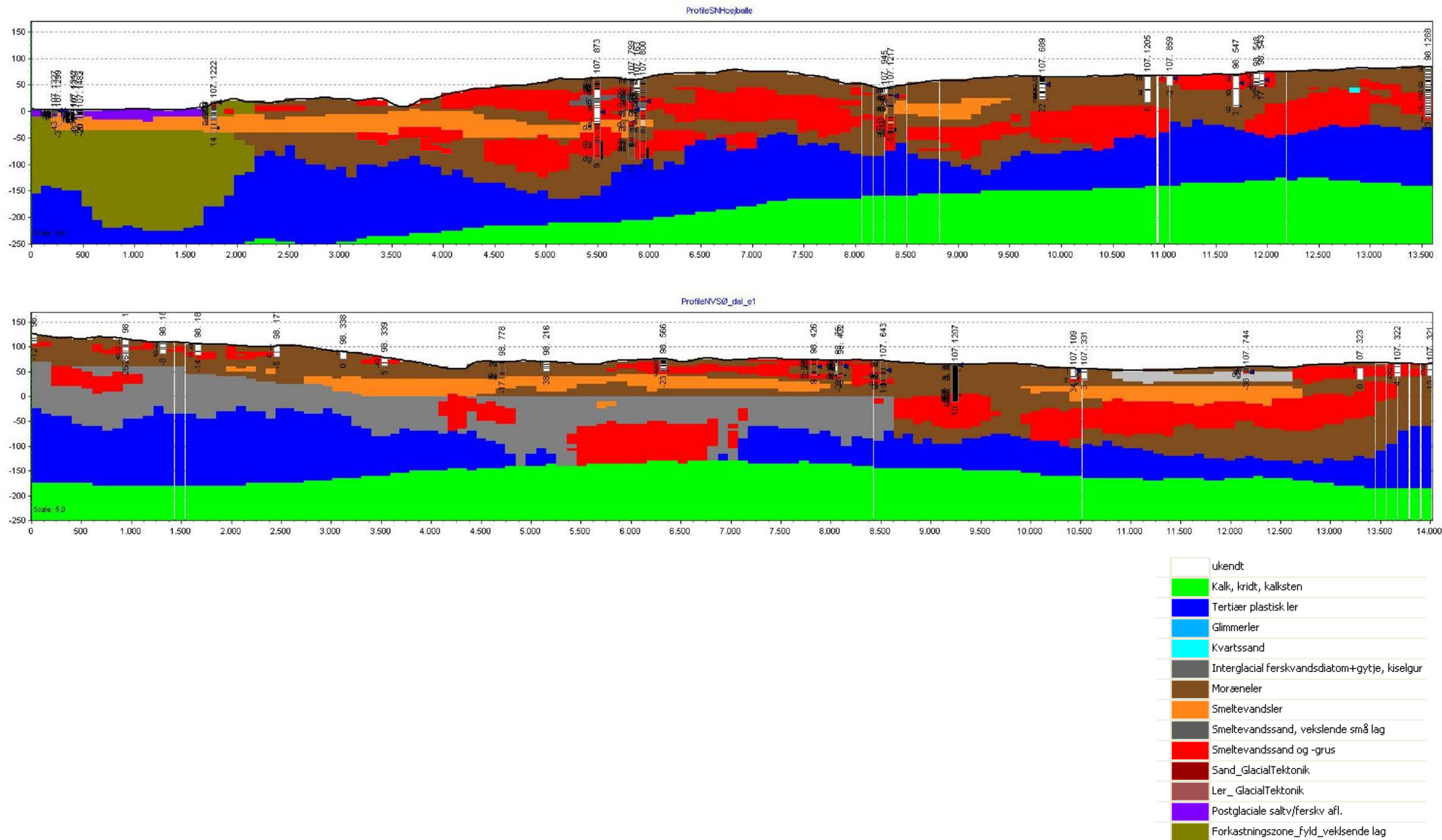




Bilag 34:
 Syd- nordgående profiler der viser opbygningen af den lithologiske model. Det øverste profil er længst mod vest. Der er 2500 meter mellem hvert profil der har en overhøjning på 5.

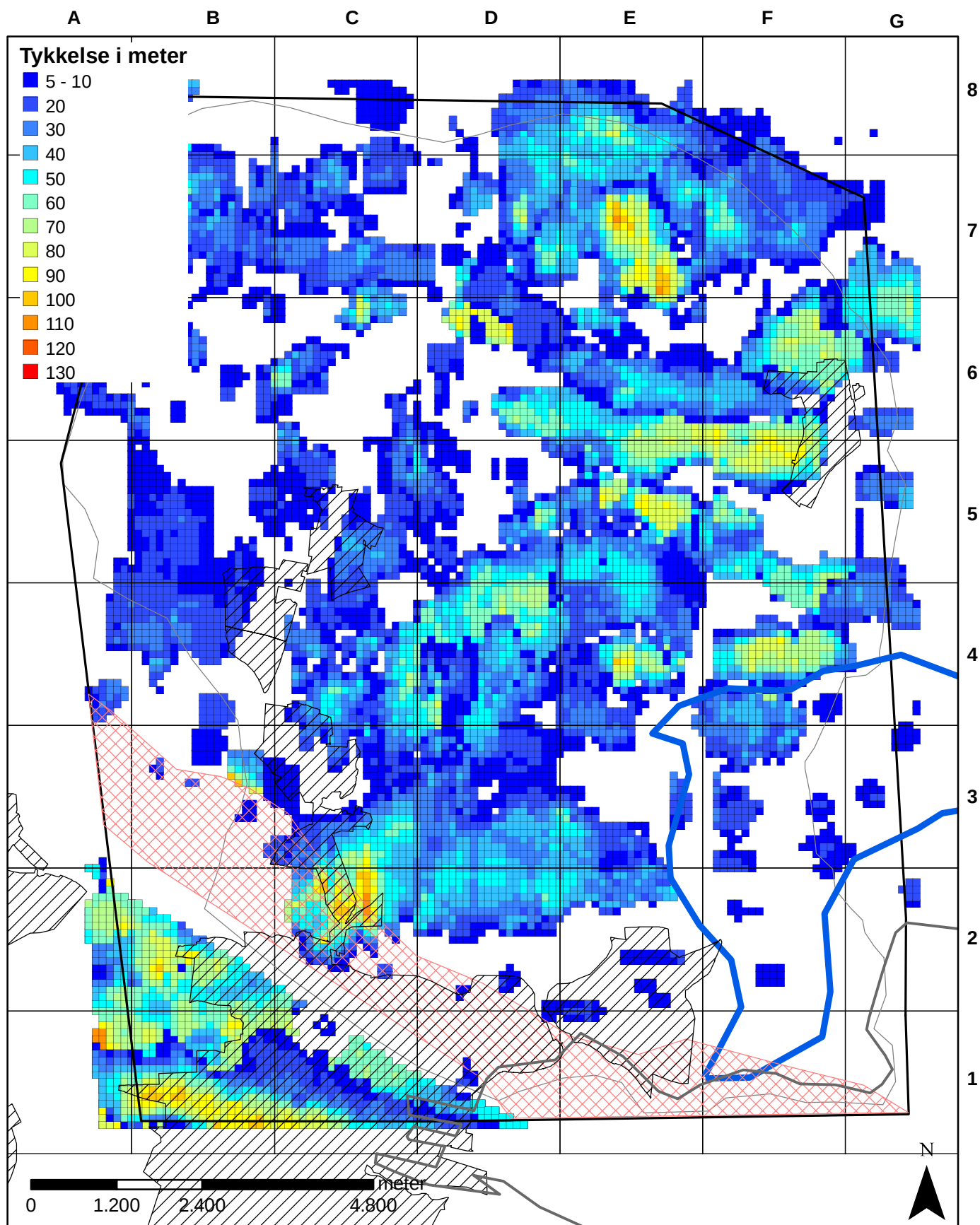


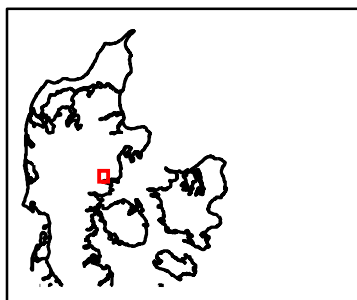
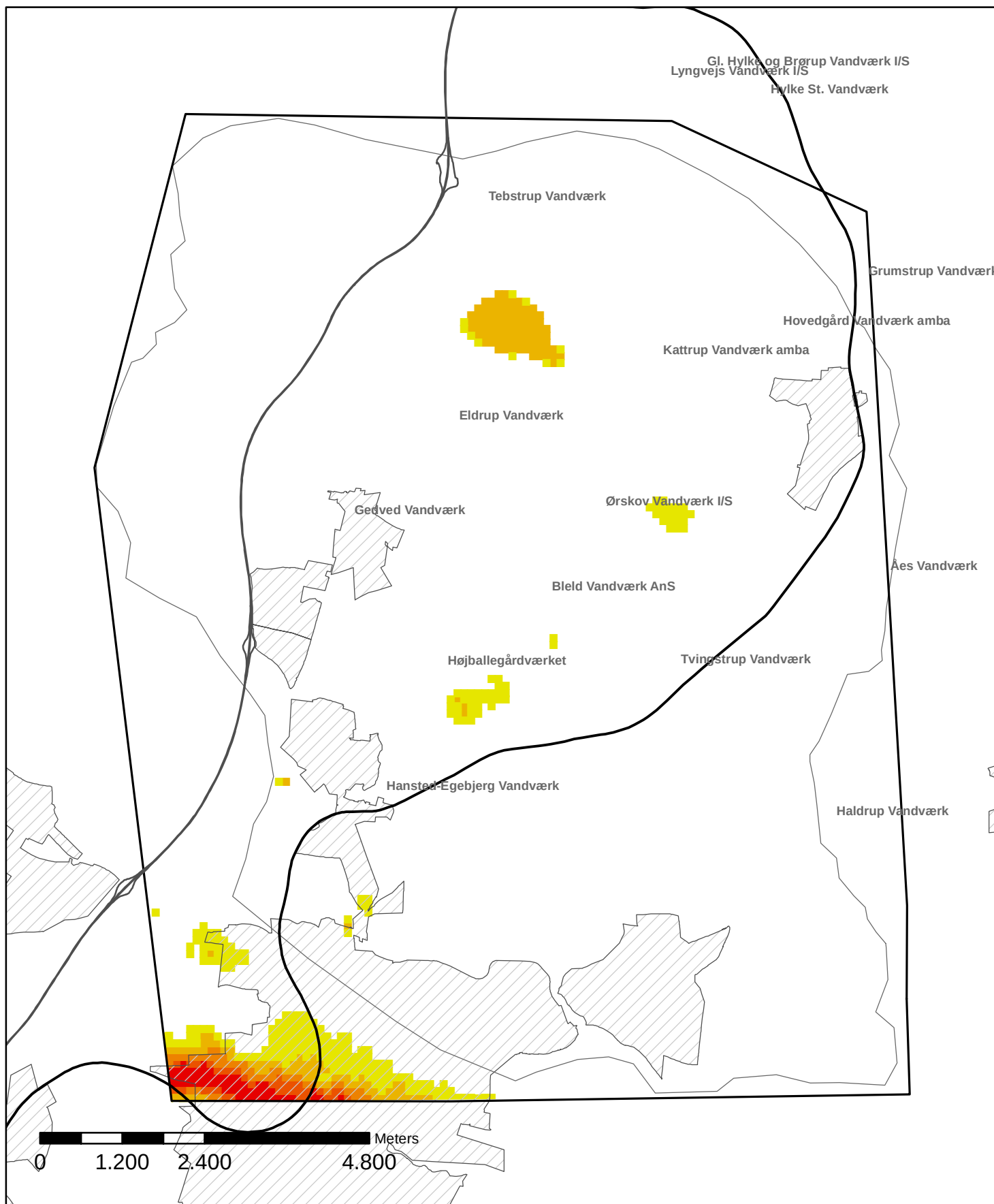




Bilag 36:

Det øverste profil følger dal c1 syd for Højballegaard krydser dal d, e og f for at slutte i dal c4. Det nederste profil følger den lange smalle dal e1. Profilerne har en overhøjning på 5.





Tykkelse (bemærk skala) af sand imellem kote -250 og -100 meter - placering af vandforsyningsboringer med filter i intervallet er angivet med DGU nr.

MagTminus250_minus100
meter

- 5 - 20
- 20 - 40
- 40 - 60
- 60 - 75
- 70 - 100

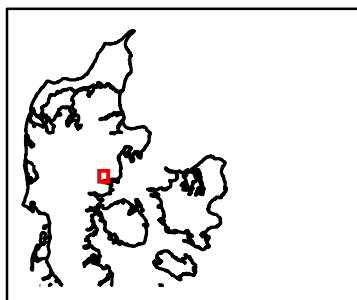
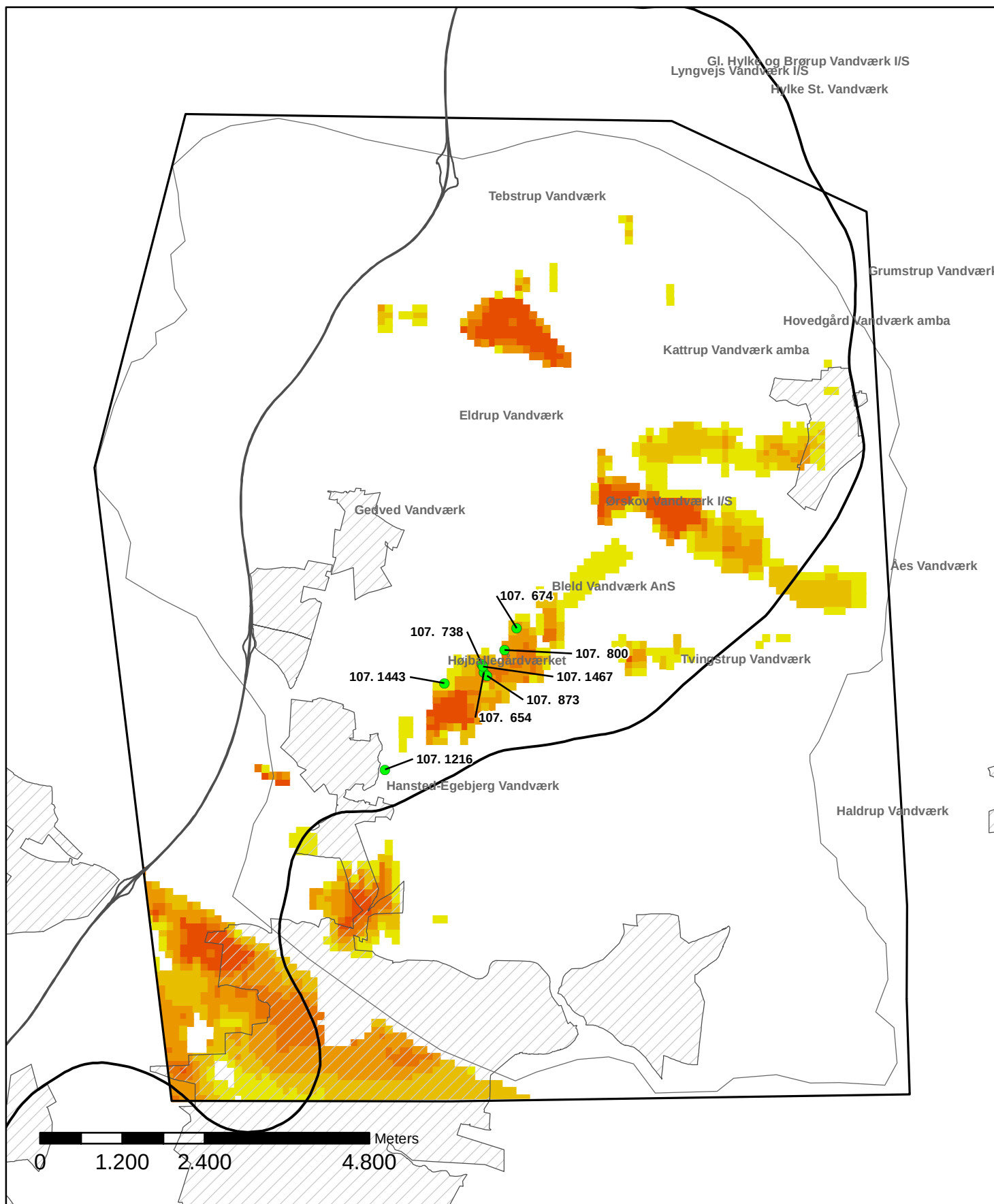
● Vandforsyningsboring med filter i intervallet

- jernbane
- motorvej
- GeologiskModel
- Modelrand_GVmodel
- Byer_region
- mask



GCS: GCS_WGS_1984
Datum: D_WGS_1984
Højdemodel: DVR90

Bilag 37b



**Tykkelse af sand imellem kote -100 og -50 meter
- placering af vandforsyningsboringer med filter
i intervallet er angivet med DGU nr.**

MagTminus100_minus50
meter

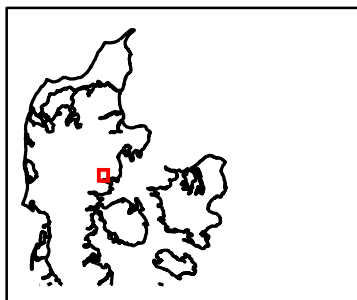
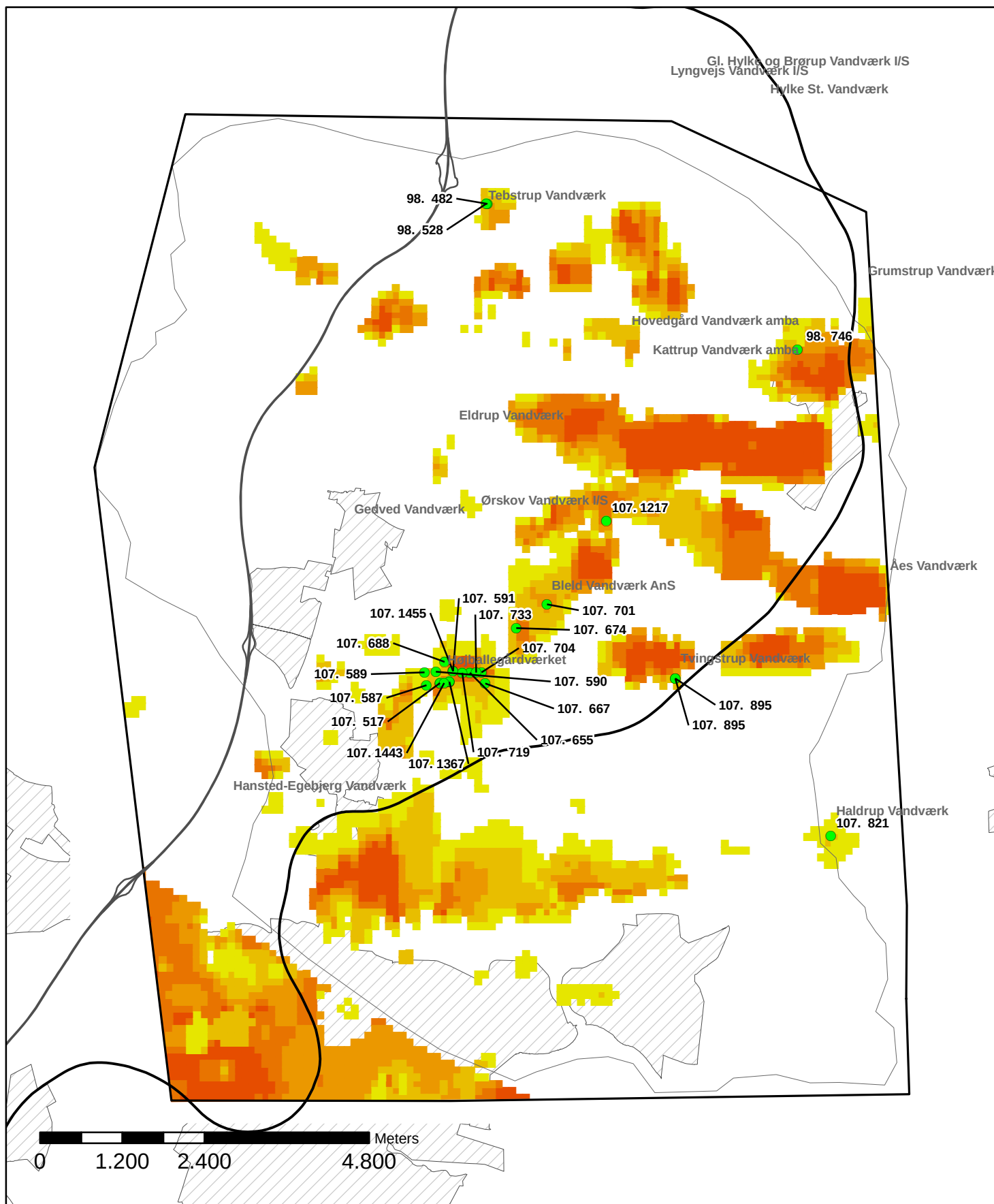
- 5 til 10
- 10 til 20
- 20 til 30
- 30 til 40
- 40 til 50

● Vandforsyningsboring med filter i intervallet

- jernbane
- motorvej
- GeologiskModel
- Modelrand_GVmodel
- Byer_region
- mask

GCS: GCS_WGS_1984
Datum: D_WGS_1984
Højdemodel: DVR90





**Tykkelse af sand imellem kote -50 og 0 meter
- placering af vandforsyningsboringer med filter
i intervallet er angivet med DGU nr.**

XYMagTminus50_0
meter

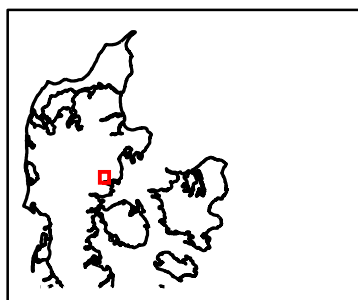
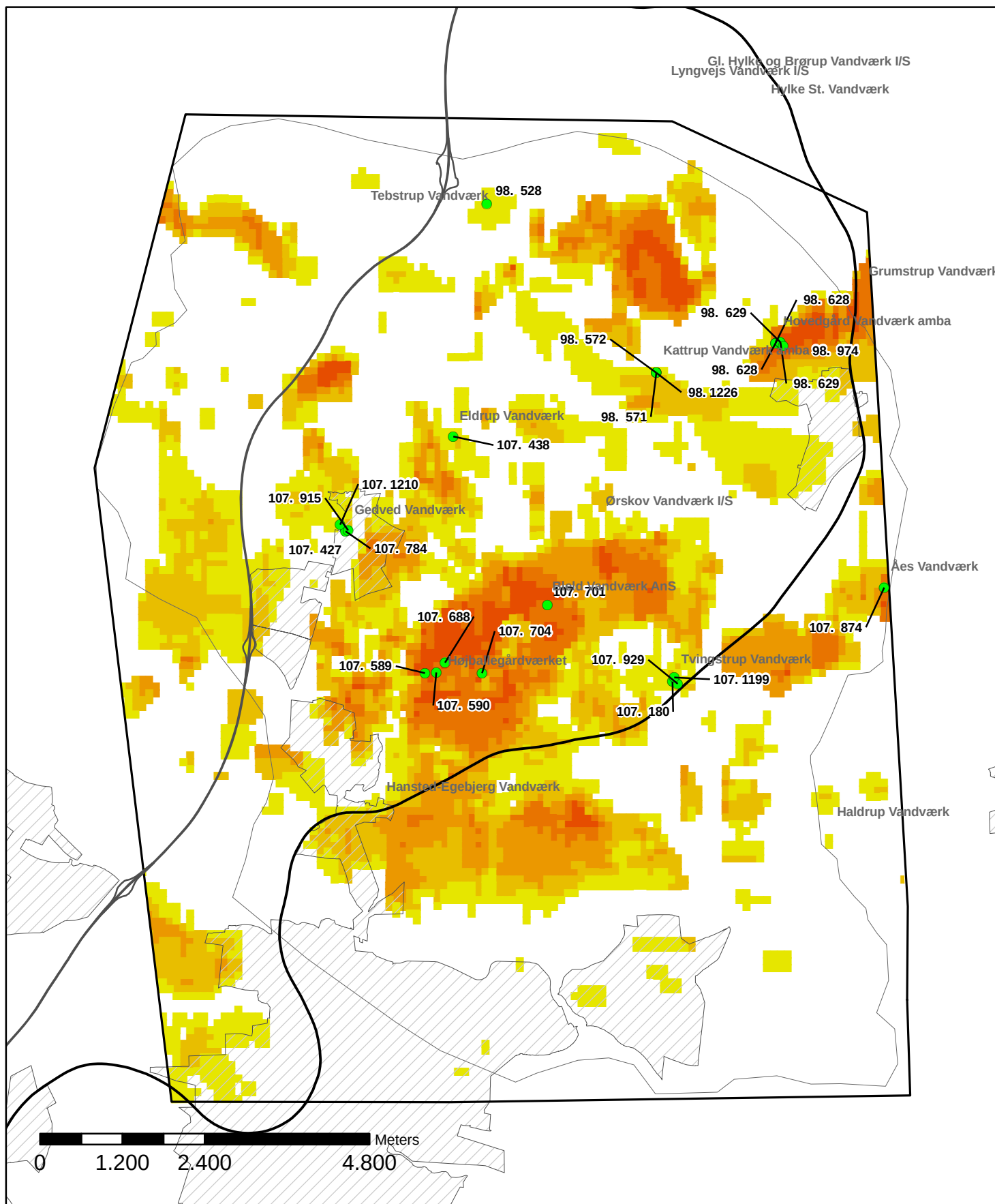
- 5 til 10
- 10 til 20
- 20 til 30
- 30 til 40
- 40 til 50

● Vandforsyningsboring med filter i intervallet

- jernbane
- motorvej
- GeologiskModel
- Modelrand_GVmodel
- mask
- Byer_region

GCS: GCS_WGS_1984
Datum: D_WGS_1984
Højdemodel: DVR90





**Tykkelse af sand imellem kote 0 og 50 meter
- placering af vandforsyningsboringer med filter
i intervallet er angivet med DGU nr.**

MagT_0til50
meter

- 5 til 10
- 10 til 20
- 20 til 30
- 30 til 40
- 40 til 50

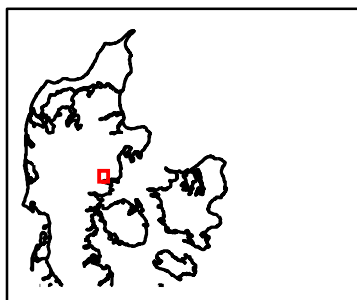
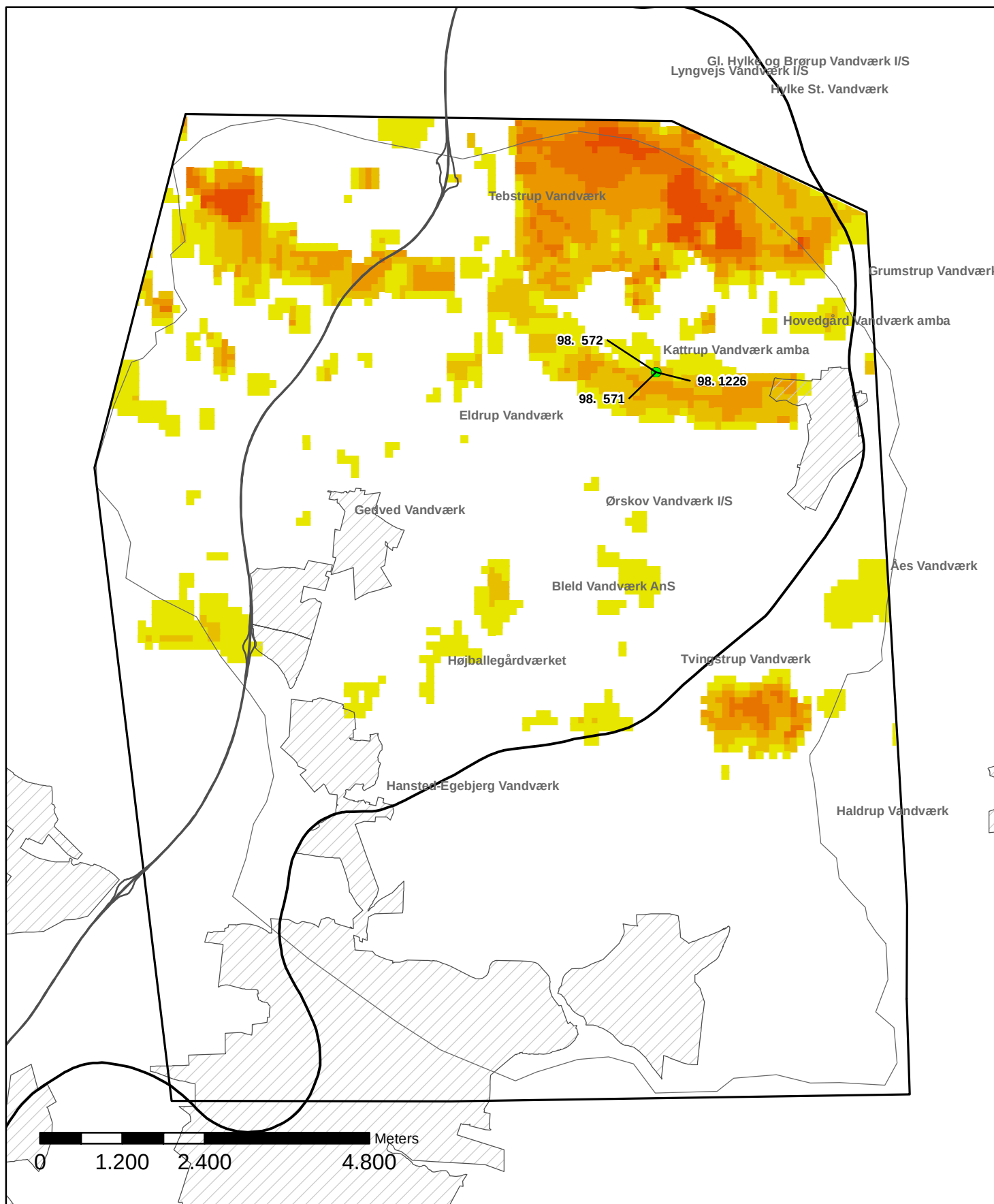
● Vandforsyningsboring med filter i intervallet

- jernbane
- motorvej
- GeologiskModel
- Modelrand_GVmodel
- Byer_region
- mask

GCS: GCS_WGS_1984
Datum: D_WGS_1984
Højdemodel: DVR90



Bilag 37e



**Tykkelse af sand imellem kote 50 og 100 meter
- placering af vandforsyningsboringer med filter
i intervallet er angivet med DGU nr.**

MagT50_100

udtryk

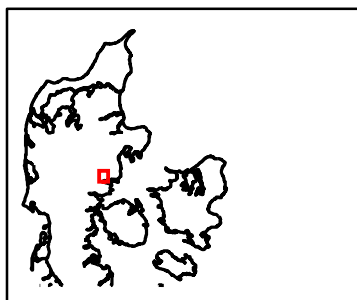
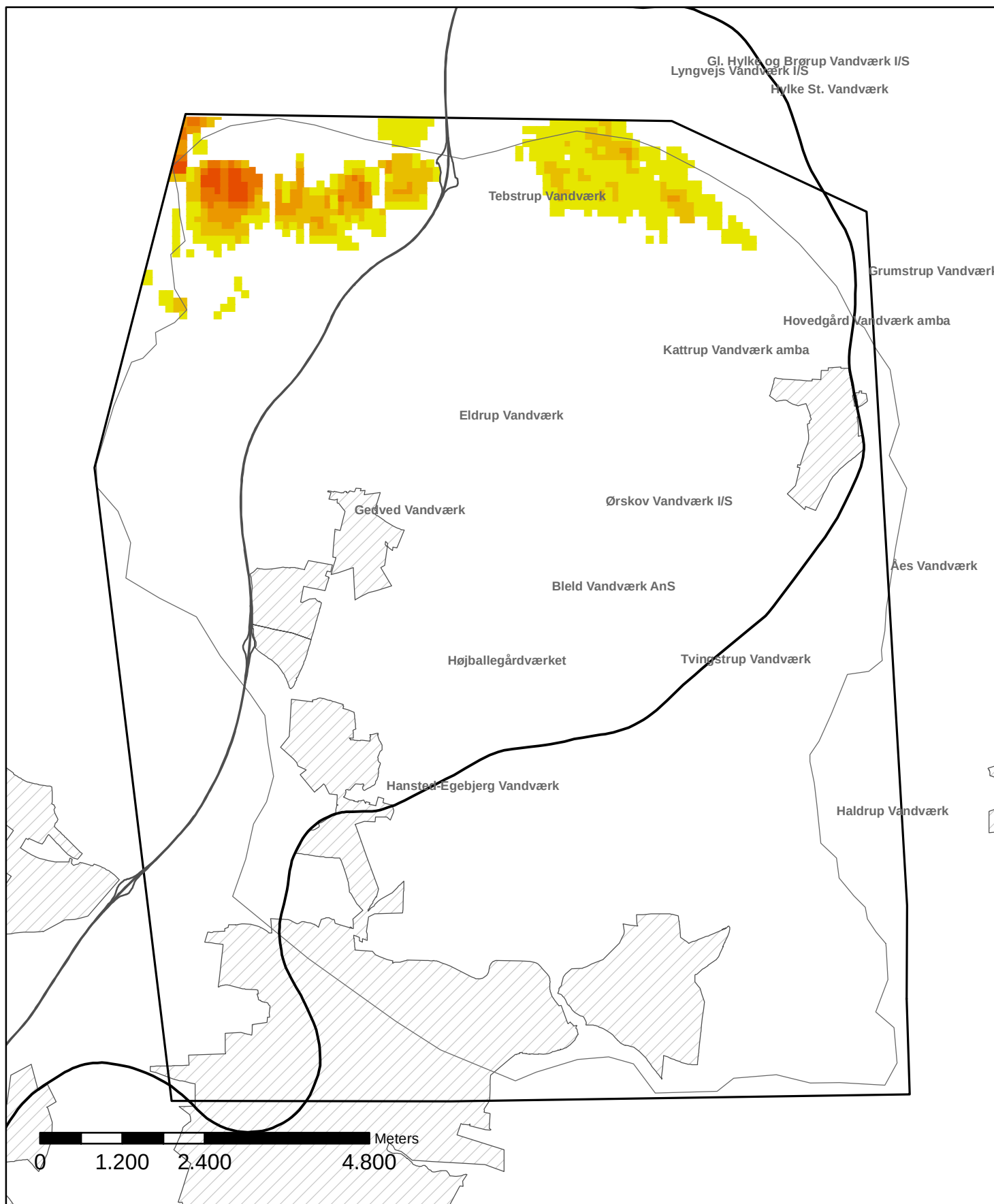
- 5 til 10
- 10 til 20
- 20 til 30
- 30 til 40
- 40 til 50

● Vandforsyningsboring med filter i intervallet

- jernbane
- motorvej
- GeologiskModel
- Modelrand_GVmodel
- Byer_region
- mask

GCS: GCS_WGS_1984
Datum: D_WGS_1984
Højdemodel: DVR90





Tykkelse af sand imellem kote 100 og 165 meter - placering af vandforsyningsboringer med filter i intervallet er angivet med DGU nr.

MagT100_165
meter

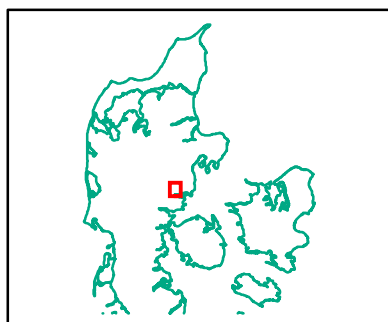
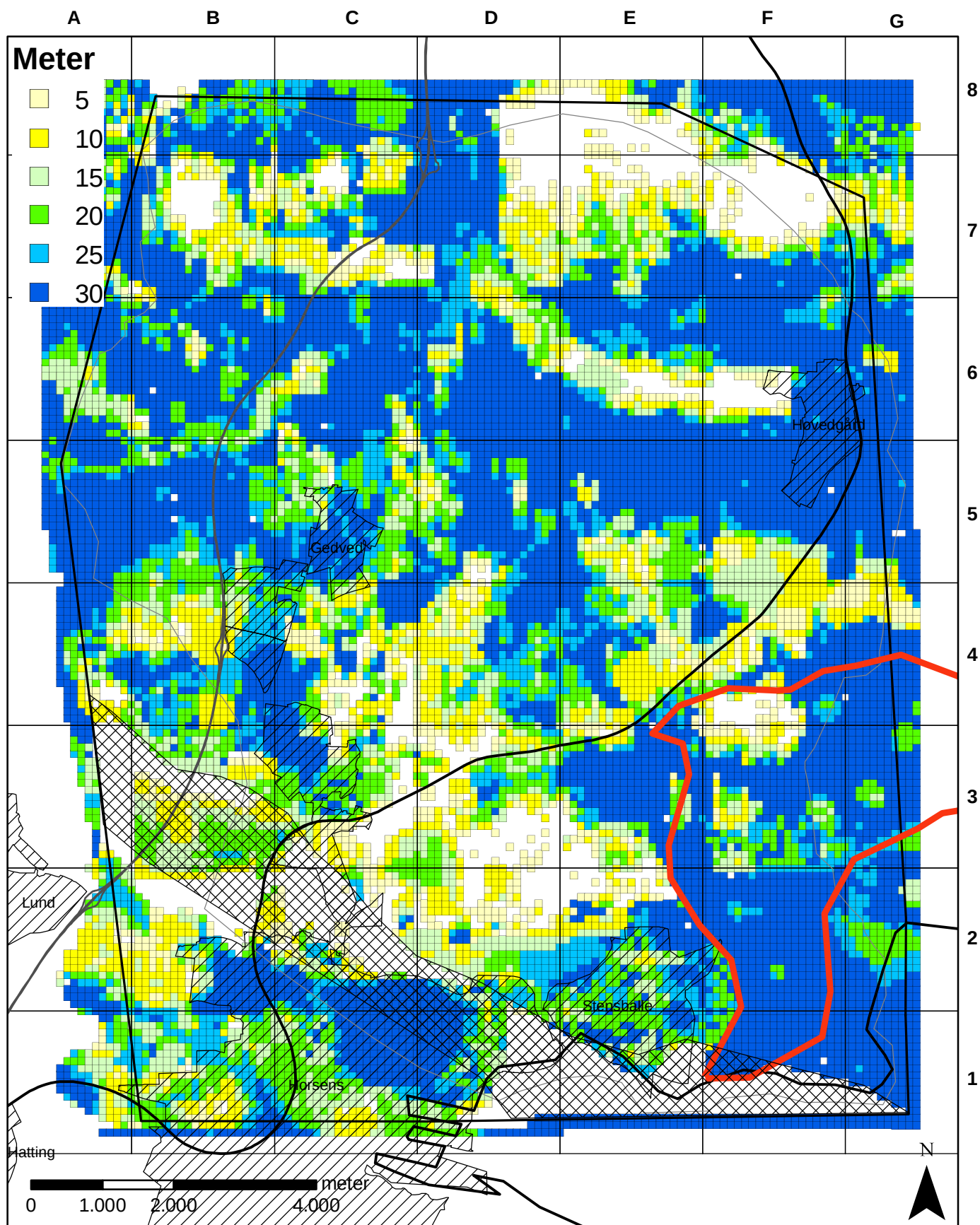
- 5 - 10
- 11 - 20
- 21 - 30
- 31 - 40
- 41 - 55

● Vandforsyningsboring med filter i intervallet



GCS: GCS_WGS_1984
Datum: D_WGS_1984
Højdemodel: DVR90

Bilag 37g



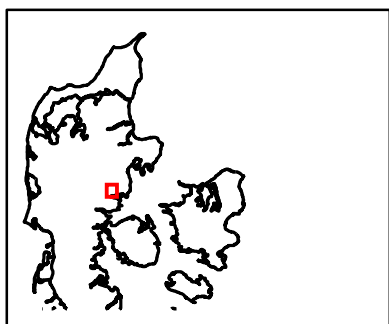
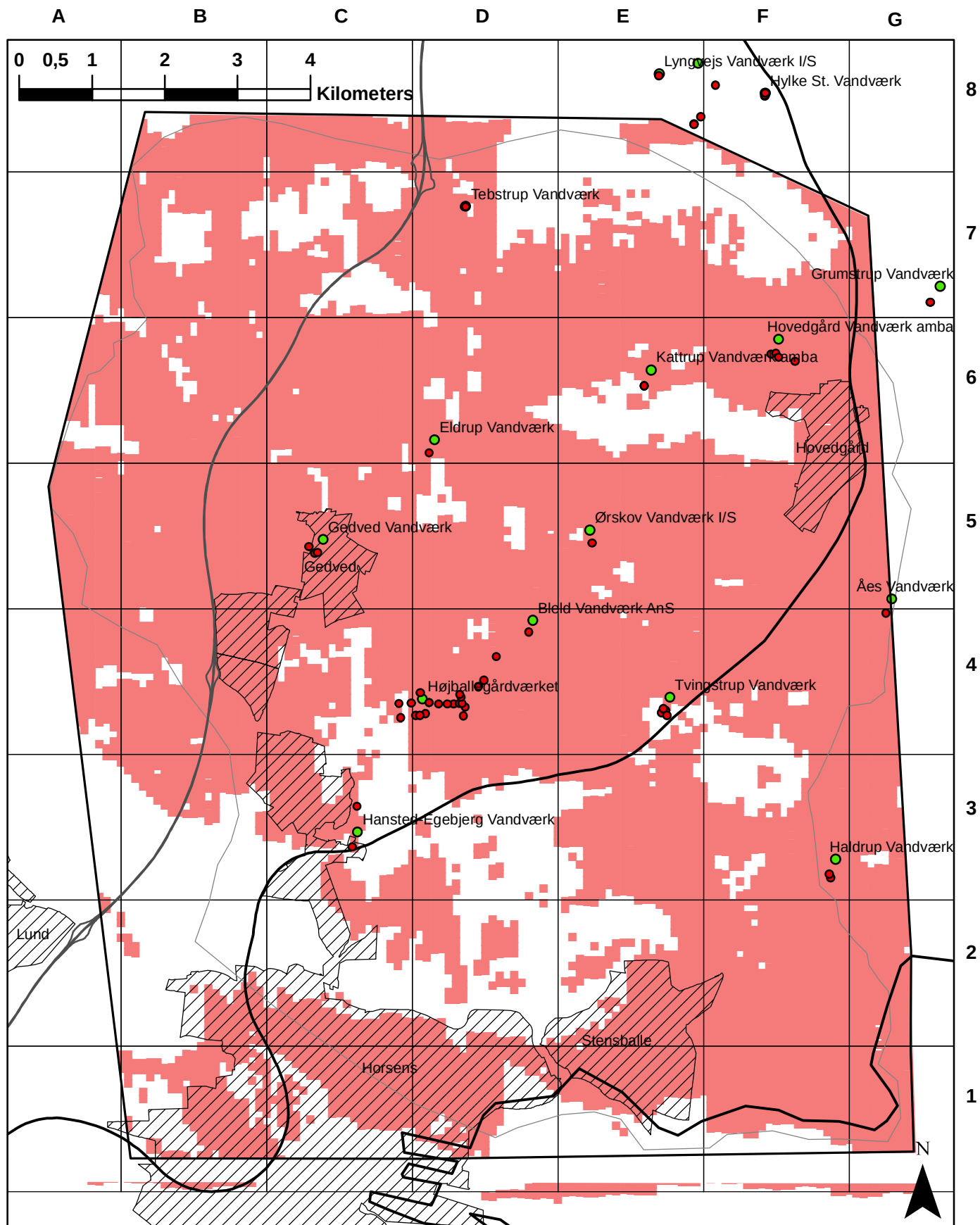
**Lertykkelse
- mellem terræn og 30 m's dybde**

- Forkastningszone
- Afgr. glacialtekt.
- GeologiskModel
- Danmark_polyline
- motorvej
- jernbane
- Modelrand_GVmodel
- Fishnet1
- Byer_region

GS3D sourceObjectName:
Lithologi_20101026_clean_magasiner_lertykk
CellsX = 100 m, CellsY = 100m

GCS: GCS_WGS_1984
Datum: D_WGS_1984
Højdemodel: DVR90



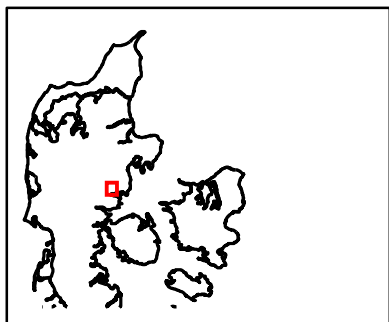
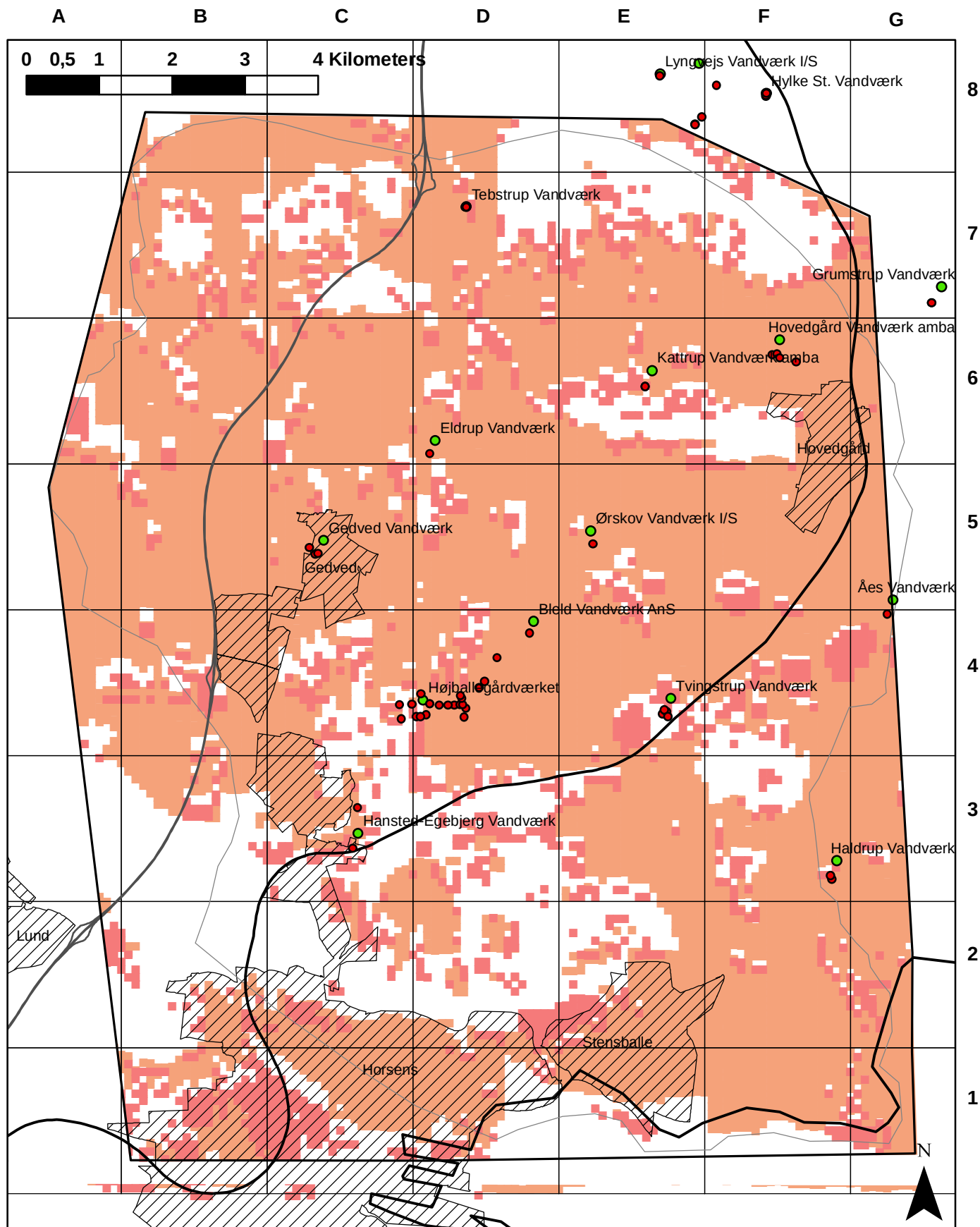


**Ler fra terræn til 5 meters dybde
- hvid farve angiver at der ikke er ler
i modellen i det pågældende interval.**

- GeologiskModel
- Vandværksboring
- Vandværk
- Kystlinje
- Motorvej
- Jernbane
- Modelrand_GVmodel
- Fishnet1
- Byer_region
- ler

GCS: GCS_WGS_1984
Datum: D_WGS_1984
Højdemodel: DVR90



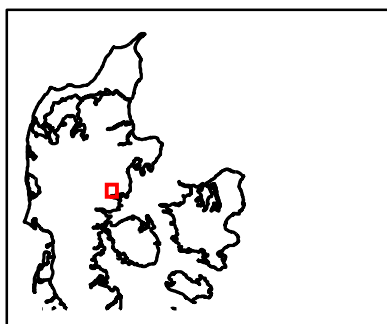
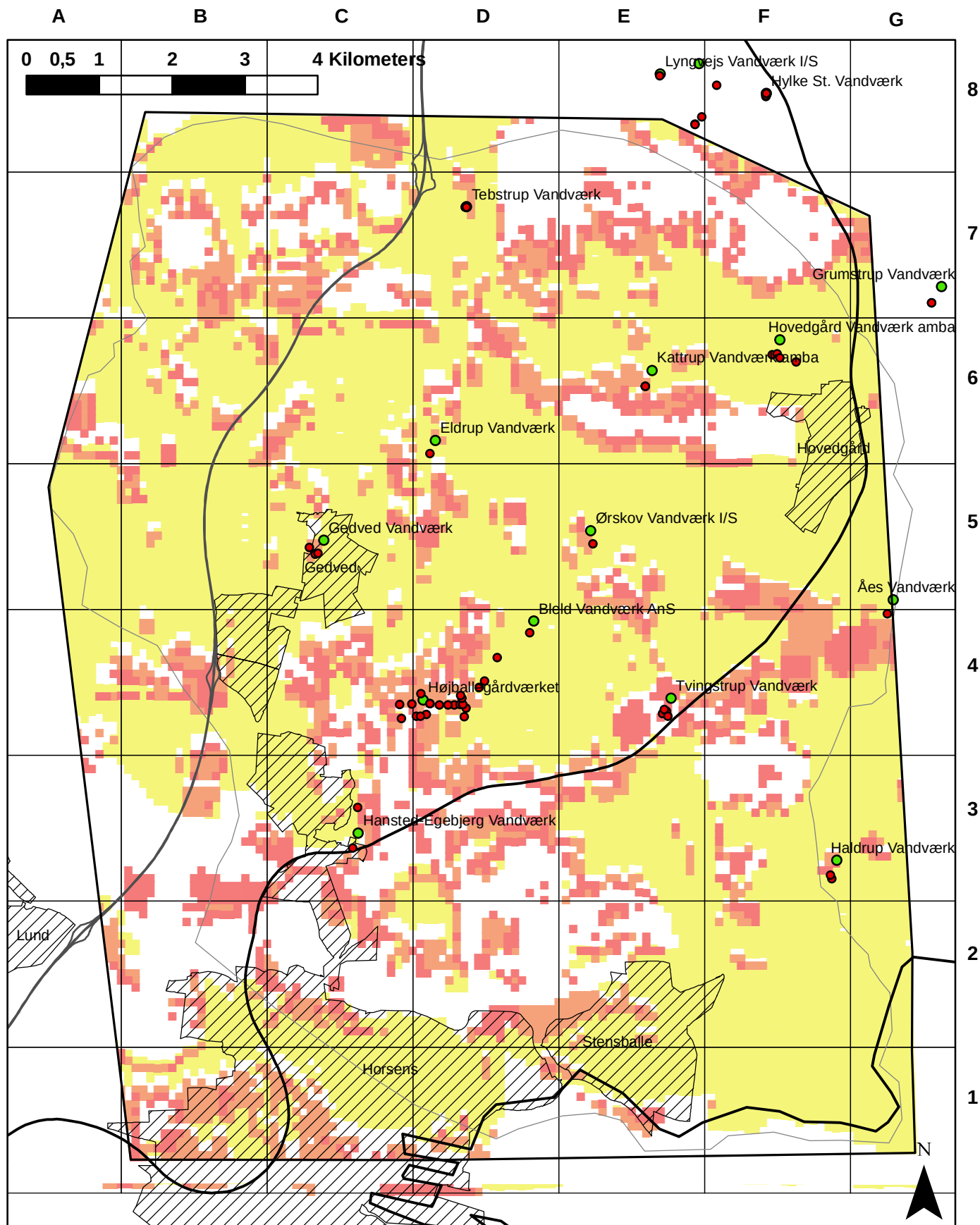


Lertykkelse fra terræn til 10 meters dybde - hvid farve angiver at der ikke er ler i modellen i det pågældende interval.

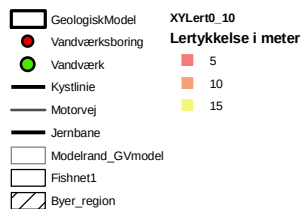
- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> GeologiskModel Vandværksboring Vandværk Kystlinje Motorvej Jernbane Modelrand_GVmodel Fishnet1 Byer_region | <p>XYLert0_10</p> <p>Lertykkelse i meter</p> <ul style="list-style-type: none"> 5 10 |
|---|---|

GCS: GCS_WGS_1984
Datum: D_WGS_1984
Højdemodel: DVR90



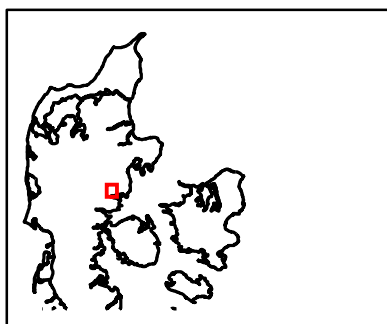
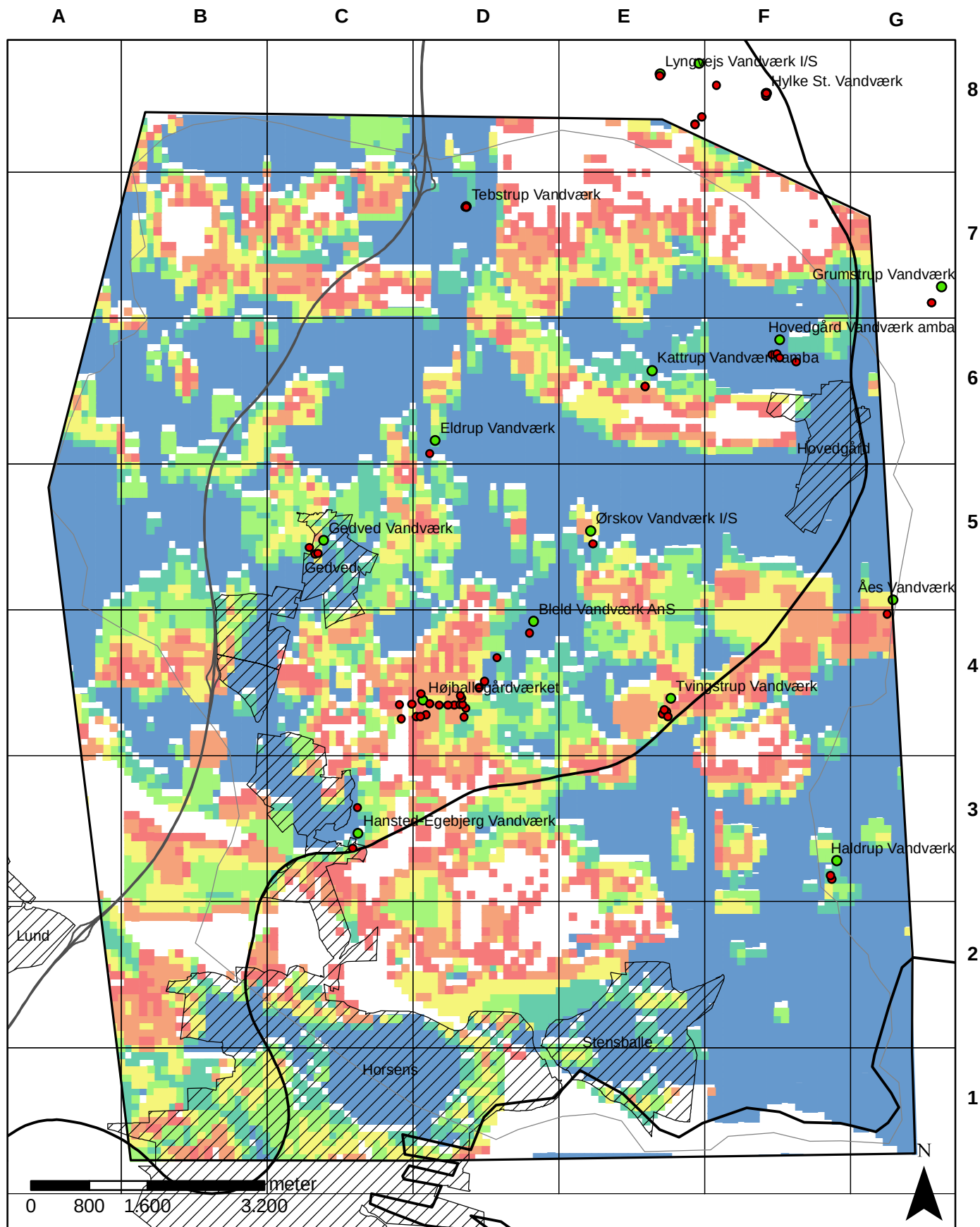


Lertykkelse fra terræn til 15 meters dybde - hvid farve angiver at der ikke er ler i modellen i det pågældende interval.

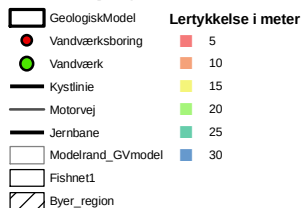


GCS: GCS_WGS_1984
Datum: D_WGS_1984
Højdemodel: DVR90





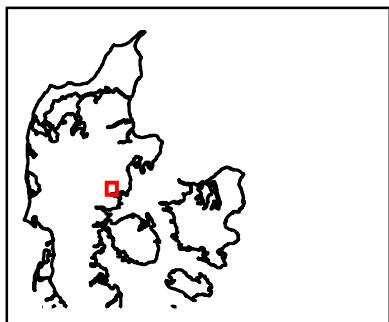
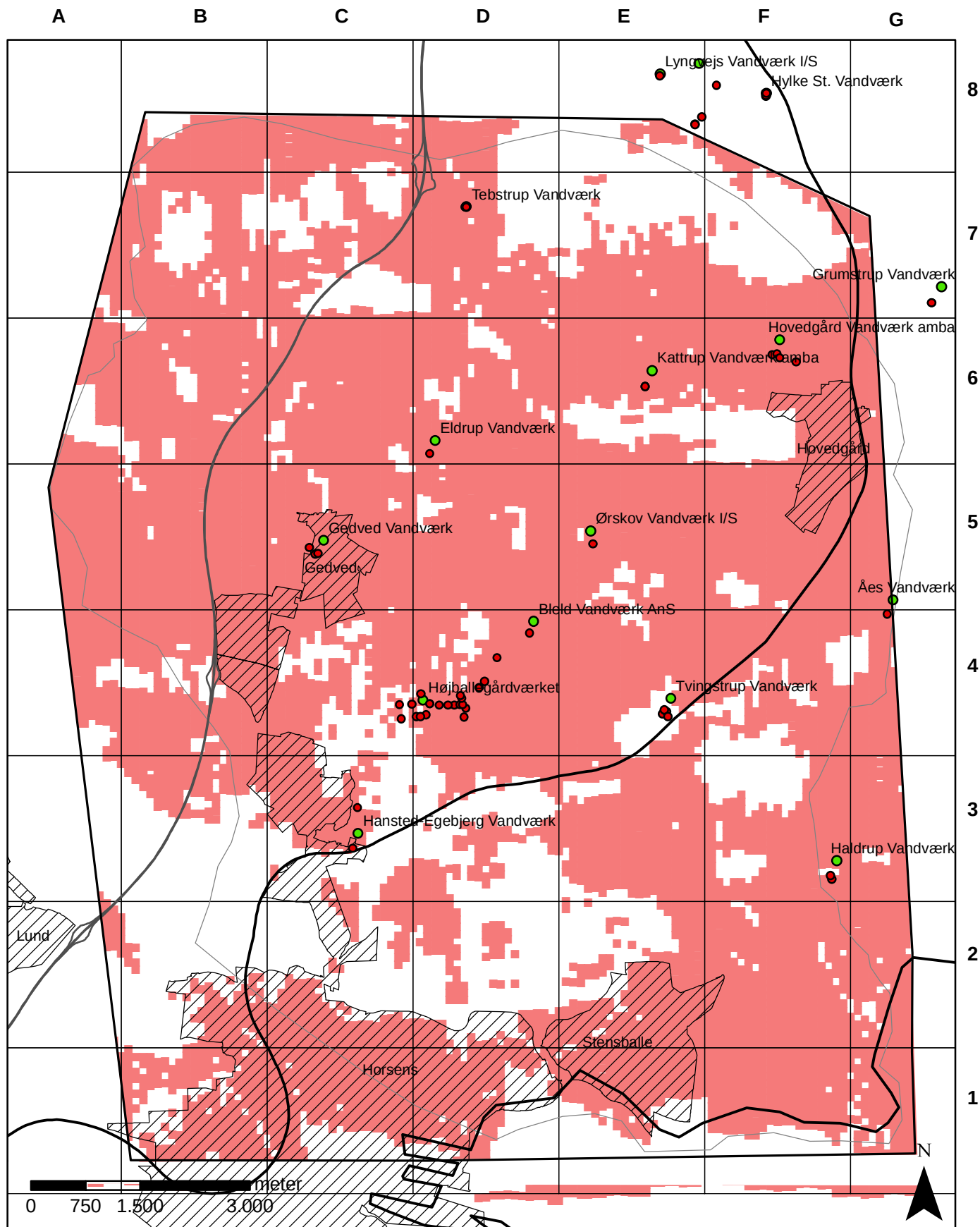
**Lertykkelse fra terræn til 30 meters dybde
- hvid farve angiver at der ikke er ler
i modellen i det pågældende interval.**



GCS: GCS_WGS_1984
Datum: D_WGS_1984
Højdemodel: DVR90



Bilag 38d

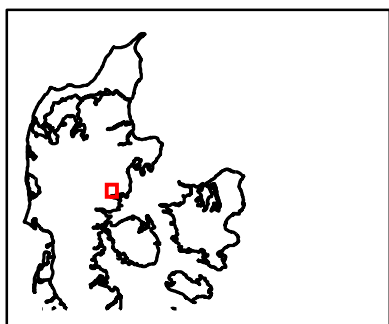
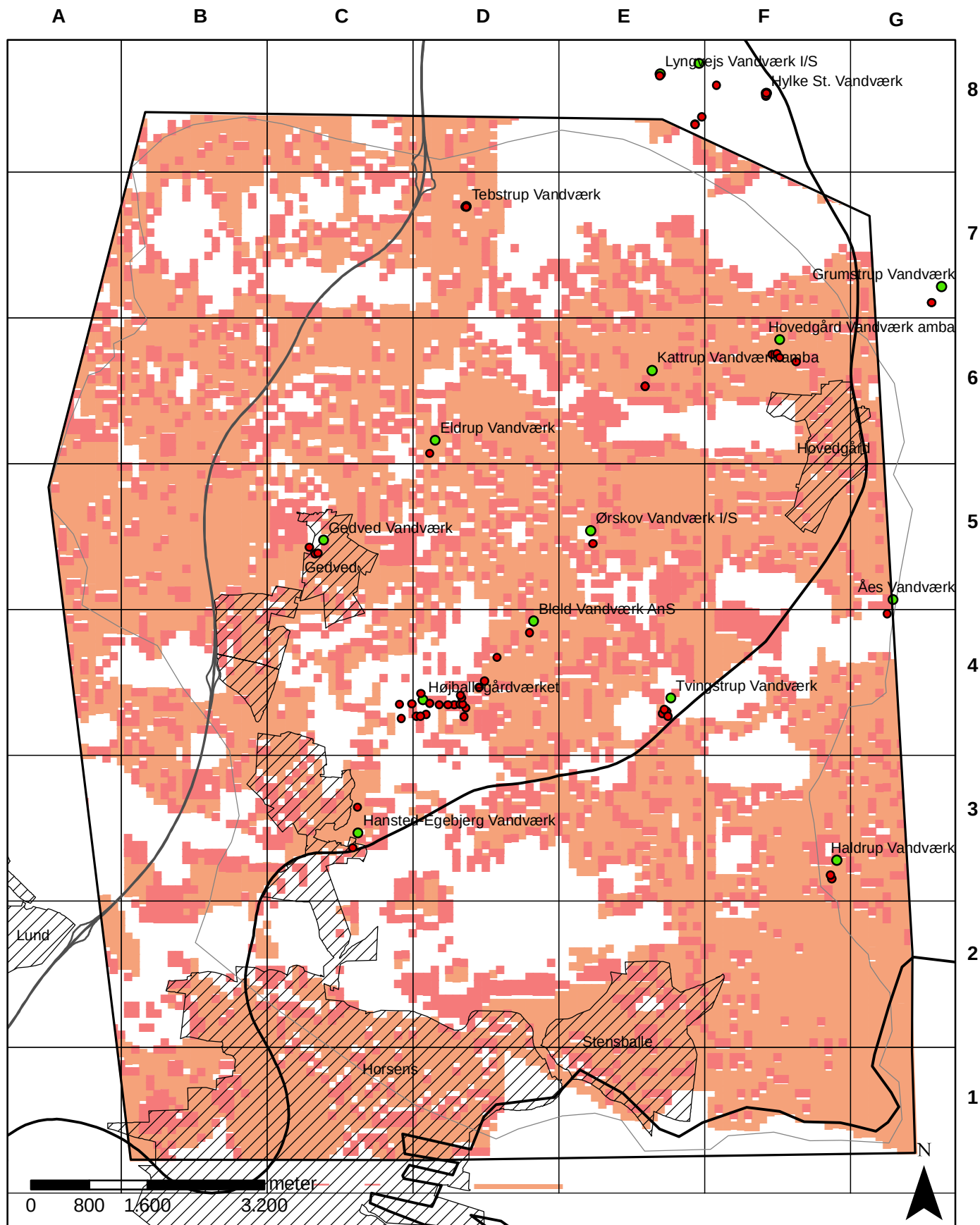


**Lertykkelse imellem 5 og 10 meter
under terræn**
- hvid farve angiver at der ikke er ler
i modellen i den pågældende dybde.

- GeologiskModel
- Vandværksboring
- Vandværk
- Kystlinje
- Motorvej
- Jernbane
- Modelrand_GVmodel
- Fishnet1
- Byer_region

GCS: GCS_WGS_1984
Datum: D_WGS_1984
Højdemodel: DVR90





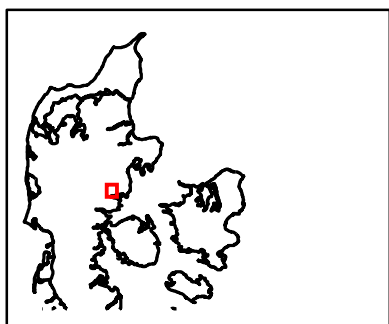
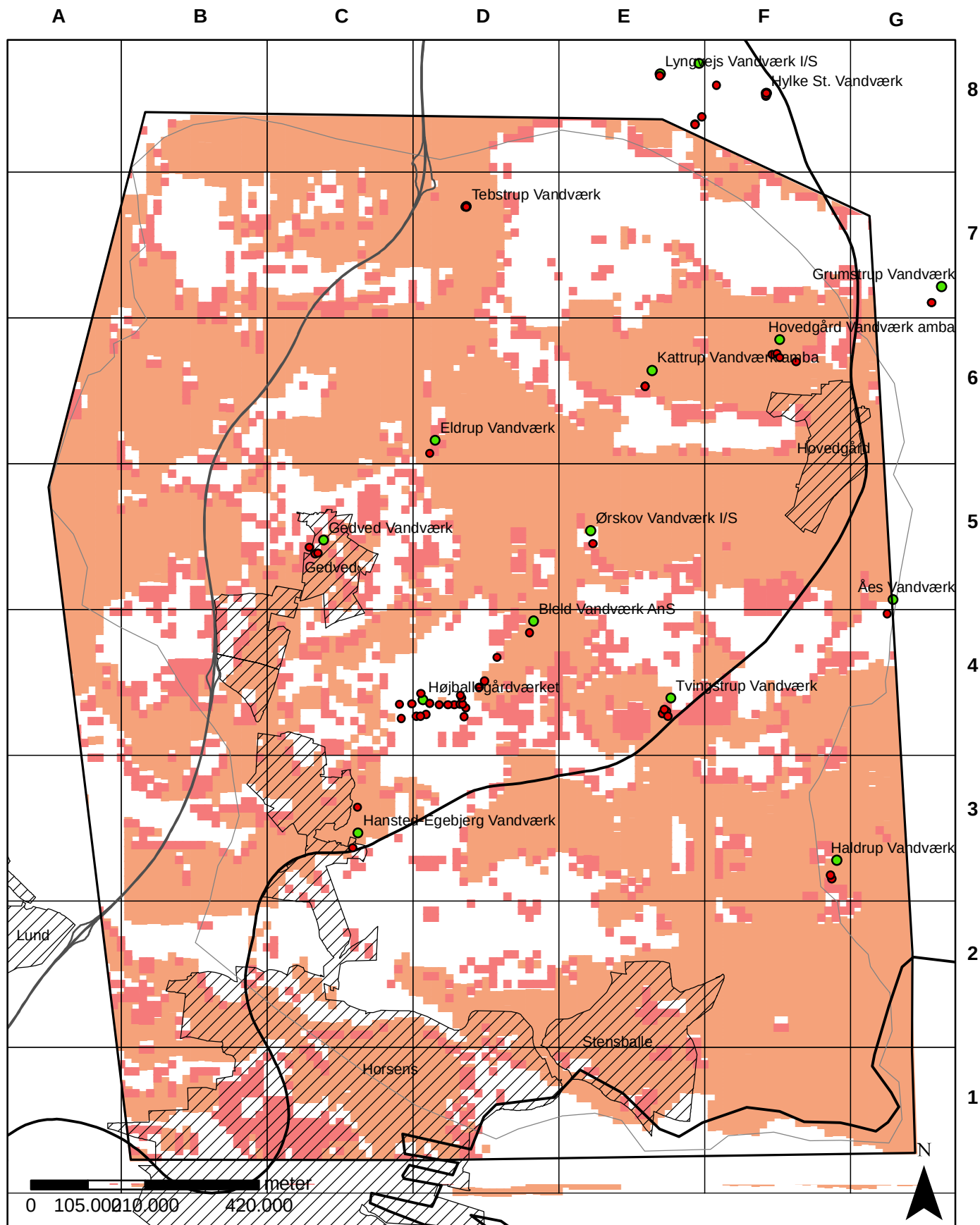
Lertykkelse imellem 10 og 20 meter under terræn
- hvid farve angiver at der ikke er ler i modellen i den pågældende dybde.

- GeologiskModel
- Vandværksboring
- Vandværk
- Kystlinje
- Motorvej
- Jernbane
- Modelrand_GVmodel
- Fishnet1
- Byer_region

- Lertykkelse i meter**
- 5
 - 10

GCS: GCS_WGS_1984
Datum: D_WGS_1984
Højdemodel: DVR90





Lertykkelse imellem 20 og 30 meter under terræn
- hvid farve angiver at der ikke er ler i modellen i den pågældende dybde.

- GeologiskModel
- Vandværksboring
- Vandværk
- Kystlinje
- Motorvej
- Jernbane
- Modelrand_GVmodel
- Fishnet1
- Byer_region

- Lertykkelse i meter**
- 5
 - 10

GCS: GCS_WGS_1984
 Datum: D_WGS_1984
 Højdemodel: DVR90



Lithologisk enhed	Antal voxler	Total vol lith. Enhed	Antal mio m3	Beskrivelse enhed
20_LL_01	532362	26618100000	26618,1	Tertiær plastisk ler
21_K_01	190754	9537700000	9537,7	Kalk, kridt, kalksten
8_ML_01	149942	7497100000	7497,1	Moræneler
74_FORKZ	33345	1667250000	1667,3	Forkastningszone_fyld_vekslende lag
17_GL_01	29438	1471900000	1471,9	Glimmerler
7_DL_01	28563	1428150000	1428,2	Smeltevandssler
72_GT_L	18342	917100000	917,1	Ler_GlacialTektonik
53_DV_02	14358	717900000	717,9	Vekslende lag af sand og ler
76_DS_FSV_ML	11397	569850000	569,9	Smeltevandssand_FyldSydVest_mellem
32_DS_11	9025	451250000	451,3	Smeltevandssand
34_DS_13	7115	355750000	355,8	Smeltevandssand
15_GS_01	6494	324700000	324,7	Miocæn glimmersand
47_DS_26	4314	215700000	215,7	Smeltevandssand
49_DS_28	4012	200600000	200,6	Smeltevandssand
77_DS_FSV_DYB	3709	185450000	185,5	Smeltevandssand_FyldSydVest_dyb
5_DV_01	3556	177800000	177,8	Smeltevandssand, vekslende små lag
73_HX	2357	117850000	117,9	Postglaciale saltv/ferskv afl.
2_DS_FIN_01	2254	112700000	112,7	Smeltevandssand, mindre legemer
28_DS_07	2146	107300000	107,3	Smeltevandssand
50_DS_29	2144	107200000	107,2	Smeltevandssand
82_DS_42	1955	97750000	97,8	Smeltevandssand
84_DS_44	1854	92700000	92,7	Smeltevandssand
51_DS_30	1821	91050000	91,1	Smeltevandssand
64_DS_37	1746	87300000	87,3	Smeltevandssand
48_DS_27	1556	77800000	77,8	Smeltevandssand
45_DS_24	1464	73200000	73,2	Smeltevandssand
83_DS_43	1390	69500000	69,5	Smeltevandssand
56_DV_05	1357	67850000	67,9	Diluvialt sand
24_DS_03	1344	67200000	67,2	Smeltevandssand
71_GT_S	1259	62950000	63,0	Sand_GlacialTektonik
33_DS_12	1182	59100000	59,1	Smeltevandssand
75_DS_FSV_TERR	1111	55550000	55,6	Smeltevandssand_FyldSydVest_terræn nær
85_DS_45	1038	51900000	51,9	Smeltevandssand
31_DS_10	963	48150000	48,2	Smeltevandssand
27_DS_06	885	44250000	44,3	Smeltevandssand
81_DV_09	801	40050000	40,1	Smeltevandssand, vekslende små lag
68_DS_40	655	32750000	32,8	Smeltevandssand
65_DS_38	644	32200000	32,2	Smeltevandssand
79_DV_07	592	29600000	29,6	Smeltevandssand, vekslende små lag
57_DV_06	588	29400000	29,4	Vekslende lag af sand og ler
29_DS_08	535	26750000	26,8	Smeltevandssand
88_DS_48	448	22400000	22,4	Smeltevandssand
22_DS_01	431	21550000	21,6	Smeltevandssand
69_DS_41	428	21400000	21,4	Smeltevandssand
61_DS_34	410	20500000	20,5	Smeltevandssand
25_DS_04	367	18350000	18,4	Smeltevandssand
39_DS_18	364	18200000	18,2	Smeltevandssand
38_DS_17	355	17750000	17,8	Smeltevandssand
44_DS_23	336	16800000	16,8	Smeltevandssand
46_DS_25	276	13800000	13,8	Smeltevandssand
90_DS_50	179	8950000	9,0	Smeltevandssand
23_DS_02	175	8750000	8,8	Smeltevandssand
26_DS_05	166	8300000	8,3	Smeltevandssand
41_DS_20	164	8200000	8,2	Smeltevandssand
66_DS_39	155	7750000	7,8	Smeltevandssand
60_DS_33	137	6850000	6,9	Smeltevandssand
89_DS_49	129	6450000	6,5	Smeltevandssand
11_ID_01	102	5100000	5,1	Interglacial ferskvandsdiatom+gytje, kiselgur
78_DS_OVF	101	5050000	5,1	res> 55 ohmm mangelag skytem
40_DS_19	91	4550000	4,6	Smeltevandssand
55_DV_04	84	4200000	4,2	Vekslende lag af sand og ler
42_DS_21	61	3050000	3,1	Smeltevandssand
86_DS_46	51	2550000	2,6	Smeltevandssand
43_DS_22	48	2400000	2,4	Smeltevandssand
35_DS_14	46	2300000	2,3	Smeltevandssand
63_DS_36	36	1800000	1,8	Smeltevandssand
87_DS_47	36	1800000	1,8	Smeltevandssand
10_IS_01	25	1250000	1,3	Interglacial ferskvandssand
36_DS_15	20	1000000	1,0	Smeltevandssand
62_DS_35	18	900000	0,9	Smeltevandssand
37_DS_16	12	600000	0,6	Smeltevandssand
59_DS_32	1	50000	0,1	Smeltevandssand

Oversigt over lithologiske enheder der indgår i det lithologiske grid sammen med total-volumen pr. enhed.

ny kode	navn	kh	kv	sy	ss	por
2	DS_smaa_01	1,00E-04	1,00E-05	0,1	1,00E-04	0,1
2	DS_16					
5	DV_01	1,00E-05	1,00E-07	0,1	1,00E-04	0,1
5	DV_02					
5	DV_04					
5	DV_05					
5	DV_06					
5	DV_07					
5	DV_08					
5	DV_09					
7	DL_01	1,00E-08	1,00E-09	0,1	1,00E-04	0,1
8	ML_01	1,00E-07	1,00E-08	0,1	1,00E-04	0,1
10	IS_01	1,00E-04	1,00E-05	0,1	1,00E-04	0,1
11	ID_01	1,00E-05	1,00E-06	0,1	1,00E-04	0,1
15	GS_01	8,00E-05	8,00E-06	0,1	1,00E-04	0,1
17	GL_01	5,00E-08	5,00E-09	0,1	1,00E-04	0,1
20	LL_01	1,00E-08	1,00E-09	0,1	1,00E-04	0,1
21	K_01	1,00E-04	1,00E-05	0,1	1,00E-04	0,1
22	DS_01	1,00E-04	1,00E-05	0,1	1,00E-04	0,1
22	DS_04					
22	DS_05					
23	DS_02	1,00E-04	1,00E-05	0,1	1,00E-04	0,1
23	DS_03					
23	DS_15					
23	DS_20					
23	DS_21					
25	DS_14	1,00E-04	1,00E-05	0,1	1,00E-04	0,1
27	DS_06	1,00E-04	1,00E-05	0,1	1,00E-04	0,1
27	DS_17					
28	DS_07	1,00E-04	1,00E-05	0,1	1,00E-04	0,1
28	DS_08					
28	DS_37					
31	DS_10	5,00E-04	5,00E-05	0,1	1,00E-04	0,1
32	DS_11	5,00E-04	5,00E-05	0,1	1,00E-04	0,1
33	DS_12					
34	DS_13					
32	DS_22					
32	DS_34					
32	DS_39					
39	DS_18	1,00E-04	1,00E-05	0,1	1,00E-04	0,1
39	DS_19					
44	DS_23	1,00E-04	1,00E-05	0,1	1,00E-04	0,1

44	DS_24					
44	DS_25					
46	DS_46	1,00E-04	1,00E-05	0,1	1,00E-04	0,1
46	DS_47					
46	DS_48					
46	DS_49					
46	DS_50					
47	DS_26	1,00E-04	1,00E-05	0,1	1,00E-04	0,1
47	DS_27					
48	DS_42	1,00E-04	1,00E-05	0,1	1,00E-04	0,1
49	DS_28	1,00E-04	1,00E-05	0,1	1,00E-04	0,1
49	DS_29					
49	DS_30					
59	DS_32	1,00E-04	1,00E-05	0,1	1,00E-04	0,1
59	DS_33					
59	DS_35					
59	DS_36					
59	DS_38					
59	DS_41					
65	DS_43	1,00E-04	1,00E-05	0,1	1,00E-04	0,1
68	DS_40	1,00E-04	1,00E-05	0,1	1,00E-04	0,1
71	GT_S (glacial tektonik; sand)	1,00E-05	1,00E-05	0,1	1,00E-04	0,1
72	GT_L (glacial tektonik, ler)	1,00E-06	1,00E-06	0,1	1,00E-04	0,1
73	HX (Postglaciale afl.)	1,00E-05	1,00E-06	0,1	1,00E-04	0,1
74	FORKZ (forkastningszone)	1,00E-05	1,00E-05	0,1	1,00E-04	0,1
75	DS_FSV_TERR (Diluvialt sand, fyld sydvest_terrænnær)	1,00E-04	1,00E-05	0,1	1,00E-04	0,1
76	DS_FSV_ML (Diluvialt sand, fyld sydvest_middeldybde)	1,00E-04	1,00E-05	0,1	1,00E-04	0,1
77	DS_FSV_DYB (Diluvialt sand, fyld sydvest_dyb)	1,00E-04	1,00E-05	0,1	1,00E-04	0,1
84	DS_44	1,00E-04	1,00E-05	0,1	1,00E-04	0,1
85	DS_45	1,00E-04	1,00E-05	0,1	1,00E-04	0,1
99	Hav	1,00E-04	1,00E-05	0,1	1,00E-04	0,1
111	j25_sand (fra jordartskortet, sand)	1,00E-04	1,00E-05	0,1	1,00E-04	0,1
112	j25_ler (fra jordartskortet, ler)	1,00E-05	1,00E-07	0,1	1,00E-04	0,1
113	j25_toerv (fra jordartskortet, tørv)	1,00E-05	1,00E-06	0,1	1,00E-04	0,1
999	Dummy	1,00E-04	1,00E-05	0,1	1,00E-04	0,1