

Åbo Kildeplads – geologisk og hydrogeologisk vurdering

Flemming Jørgensen & Anders Juhl Kallesøe

DE NATIONALE GEOLOGISKE UNDERSØGELSER
FOR DANMARK OG GRØNLAND,
ENERGI-, FORSYNINGS- OG KLIMAMINISTERIET



GEUS

Åbo Kildeplads – geologisk og hydrogeologisk vurdering

Flemming Jørgensen & Anders Juhl Kallesøe

Indhold

1.	Baggrund og resumé	3
2.	Undersøgelsesområde	5
3.	Eksisterende datagrundlag	7
3.1	Historik.....	7
3.2	Boringsdata.....	8
3.3	Hydrologiske data	8
3.3.1	Prøvepumpninger.....	8
3.3.2	DGU nr. 88.1768	9
3.3.3	DGU nr. 88.1580	9
3.3.4	Synkronpejlinger og potentialekort	10
3.4	Kemi.....	10
3.4.1	Pesticider	10
3.4.2	Grundvandskemi	12
3.5	Geofysiske data	14
3.5.1	Eksisterende TEM.....	14
3.5.2	PACEP	14
3.5.3	MRS	15
3.5.4	Seismik.....	15
4.	Nye SkyTEM data	17
4.1	Dataindsamling	17
4.2	Data-processering og geofysisk modellering	18
4.3	Profiler, kort og 3D grid	18
5.	Geologisk og hydrogeologisk vurdering	19
5.1	Områdets generelle geologi baseret på eksisterende arbejde	19
5.2	Begravede dale.....	20
5.2.1	Kortlægning af begravede dale	21
5.2.2	Orienteringer af de kortlagte begravede dale	27
5.2.3	Tolkninger på profiler	27
5.3	Hydrauliske sammenhænge	32
5.4	Grundvandskemi.....	35
5.4.1	Pesticider	36
5.5	Opsporing af forureningskilder	38
6.	Vurdering af usikkerheder	41
6.1	Usikkerhed på data	41
6.2	Usikkerhed på tolkninger	41

7.	Sammenligning med tidligere tolkninger	43
7.1	Eksisterende hydrostratigrafisk model for Åbo kildeplads.....	43
8.	Oplæg til yderligere undersøgelser	47
9.	Referencer	49
10.	Bilag	51
10.1	SkyTEM – middelmodstandskort	51
10.2	SkyTEM – flyvelinjer	51
10.3	Tolkede profiler	51

1. Baggrund og resumé

Region Midtjylland har bedt GEUS om en vurdering af de geologiske og hydrogeologiske forhold i Åbo Kildeplads' nærområde og opland.

Området ved Åbo er præget af en meget kompleks geologi med krydsende begravede dale tilhørende forskellige dalgenerationer. De enkelte dale indeholder både sandede og lerede aflejringssekvenser. Nogle gange udgør dalene hydrauliske barrierer mellem grundvandsmagasiner, andre steder udgør deres grovkornede fyld vigtige grundvandsmagasiner. De begravede dale i området er styrende for grundvandets strømningsmønstre, og da dalene gennemskærer hinanden fra forskellige retninger vil strømningsdynamikken i området være meget kompleks. For at kunne forudsige denne, er det helt afgørende at kende dalenes dannelsesforhold, deres rumlige udbredelser og interne relationer/forbindelser. Indvindingsboringerne ved Åbo Kildeplads indvinder fra sandlag i en eller flere begravede dale.

Indvindingsboringerne ved kildepladsen har gennem mange år været ramt af pesticidforurening. Der er udført en række afværge- og undersøgelsesboringer i forbindelse med pesticidforureningen, og flere af disse har også vist spor af pesticider. De komplekse strømningsmønstre i området har dog betydet, at kilden til forureningen ikke med sikkerhed er fundet. Flere affaldsdepoter syd for kildepladsen har været undersøgt, men det har ikke kunnet konstateres med sikkerhed, om nogle af disse udgør kilden. Desuden har det heller ikke kunnet afgøres, om der kun findes en enkelt kilde, eller om der findes flere kilder.

Foruden afværge- og undersøgelsesboringer med tilhørende prøve-pumpninger og kemiske analyser, er der gennem årene blevet udført flere geologiske, hydrogeologiske og kemiske vurderinger i området. Der er i 2013 opstillet en 3D hydrostratigrafisk model og flere af affaldsdepoterne er grundigt undersøgt.

I denne rapport beskrives resultaterne af vurderingerne. Indledningsvist blev der indsamlet SkyTEM data i området for at forbedre datagrundlaget. GEUS har forestået dataprocessering og -tolkning mens Orbicon har stået for dataindsamlingen. Resultaterne af processeringen og tolkningen vil også blive (kortfattet) beskrevet i denne rapport.

Resultaterne fra SkyTEM-kortlægningen er tilfredsstillende og giver et vigtigt input til forståelsen af områdets geologiske forhold. Der er i nogle tilfælde modstrid mellem boredata og SkyTEM-data, men dette skyldes forskellige forhold. Det er dog af særlig betydning at geologien er meget kompleks, hvilket medfører at den ikke fuldt ud bliver opløst af SkyTEM-data. De geologiske tolkninger af data involverer derfor en relativt stor del subjektiv fortolkning.

Det formodes, at området er opbygget af fem forskellige begravede dale. Dalenes fyld varierer meget, men det er sandsynligt at de alligevel har afgørende betydning for grundvandets strømningsdynamik. Dalenes forekomst og udbredelse stemmer godt med de hydrologiske og kemiske data, som dermed understøtter den geologiske fortolkning.

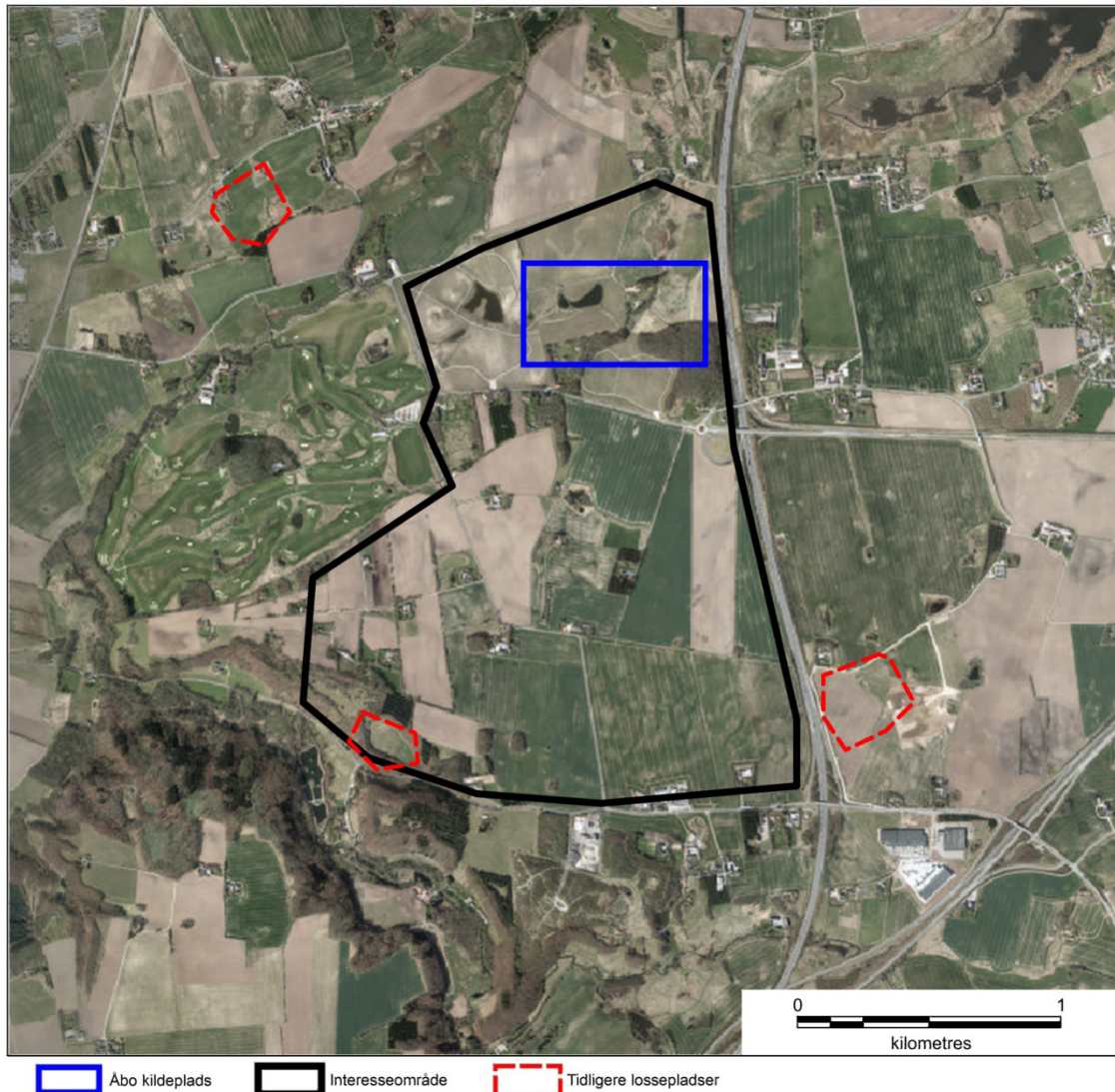
På basis af den geologiske tolkning, de hydrologiske data og de kemiske data vurderes det at kilden til forurening af Åbo kildeplads skal findes i, eller tæt på, området omkring lossepladsen ved Pindsmøllevej. Det er derfor relativt sandsynligt, at det netop er denne lokalitet, der er årsag til forureningen af kildepladsen.

Forårsaget af den komplekse geologi formodes den kraftige forurening af 4-CPP ved lossepladsen at sprede sig i flere opdelte faner på sin vej mod kildepladsen. Dette kan være årsagen til, at der kun findes 4-CPP i nogle af de analyserede borer i området mellem losseplads og kildeplads.

Det vurderes muligt på sigt at opstille en geologisk model og en grundvandsmodel, for på den måde at kunne simulere grundvandets og dermed også forureningsfanens strømningsveje. Dette vil dog kræve yderligere dataindsamling (evt. seismiske data, log-data, kemiske data og boredata). Supplerende data vil samtidigt også kunne gøre ovenstående tolkninger af geologi og strømningsveje mere sikre.

2. Undersøgelsesområde

Undersøgelsesområdet er koncentreret omkring Åbo kildeplads og området syd herfor. Området er vist på figur 1. Der vil i vurderingerne blive lagt særlig vægt på det nære område umiddelbart syd og sydvest for kildepladsen (primært interesseområde).



Figur 1. Undersøgelsesområde. Åbo kildeplads er vist med blå rektangel, tidligere lossepladser er skitseret med rødt og det primære interesseområde angivet med sort afgrænsning.

3. Eksisterende datagrundlag

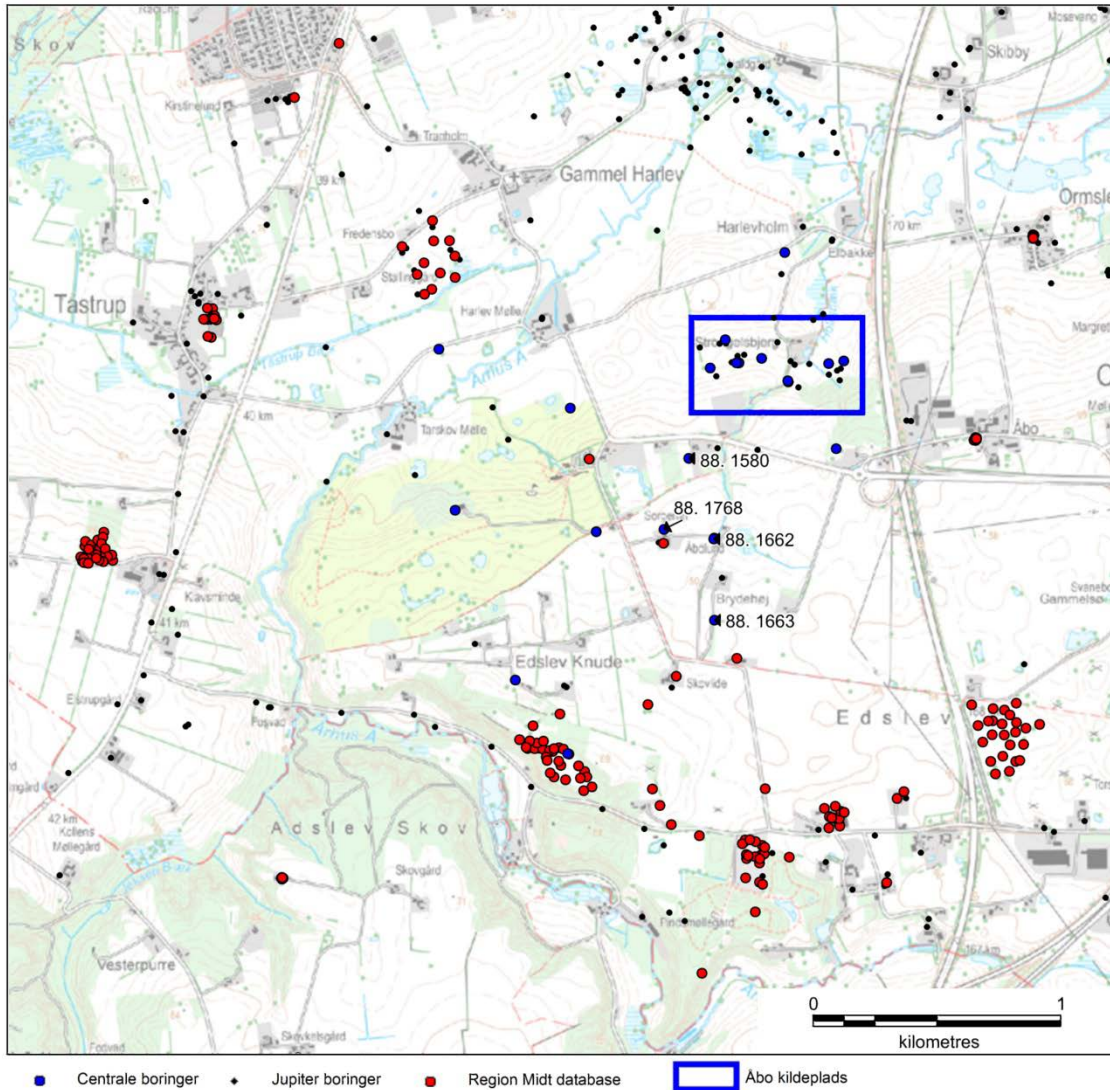
3.1 Historik

Region Midtjylland har nær Åbo kildeplads udført flere undersøgelser og forsøg på kildeopsporinger af pesticidforureningen i området. Nedenfor er vist en oversigt over de seneste års gennemførte undersøgelser, analyser og modelarbejder:

Årstal	Arbejde	Indhold	Reference
2016	Prøvepumpning af DGU nr. 88.1768	Pumpeforsøg i DGU nr. 88.1768 med monitoringsboringer DGU nr. 88.1580 og 88.1662.	Orbicon
2015	Forureningsstatus - Åbo	Beskrivelse af ny undersøgelsesboring DGU nr. 88.1768 samt B206 og B208 ved Pindsmøllevej. Gennemgang af kemiske analyser.	Orbicon
2015	Aabo Kildeplads – supplerende undersøgelser	Prøvepumpning af DGU nr. 88.1580 (afværeboring). Opdatering af hydrostratigrafisk model. Beskrivelse af nye boringer ved Pindsmøllevej.	Rambøll
2013	Boringsundersøgelser – Etablering af DGU nr. 88.1662 og 88.1663	Udførelse af to dybe undersøgelsesboringer placeret syd for afværeboringen DGU nr. 88.1580	Region Midtjylland
2013	Opdatering af hydrostratigrafisk model ved Åbo	Opdatering af hydrostratigrafisk model for Åbo opstillet i 2012. Vurdering af hydraulisk kontakt på grundlag af afværebepumpning i DGU nr. 88.1580.	Rambøll
2013	Multivariant analyse af grundvandskemi	Multivariant analyse af grundvandskemi er vedlagt som bilag 2 i notatet "Opdatering af hydrostratigrafisk model Åbo" (Rambøll, 2013)	Aarhus Vand, Rambøll

3.2 Boringsdata

Region Midtjylland har udført flere undersøgelsesboringer i Åbo området og disse fungerer som nøgleboringer i forståelsen af geologi, hydrogeologi og grundvandskemi. Nedenstående kort (figur 2) giver en oversigt over boringer i området. Det primære interesseområde er syd for Åbo kildeplads (blå ramme), hvor også de seneste undersøgelsesboringer DGU nr. 88.1768, 88.1662 og 88.1663 er udført.



Figur 2. Kort over boringsdata i Åbo området. Nøgleboringer er markeret med blå punkter og centrale boringer er ligeledes angivet med label.

3.3 Hydrologiske data

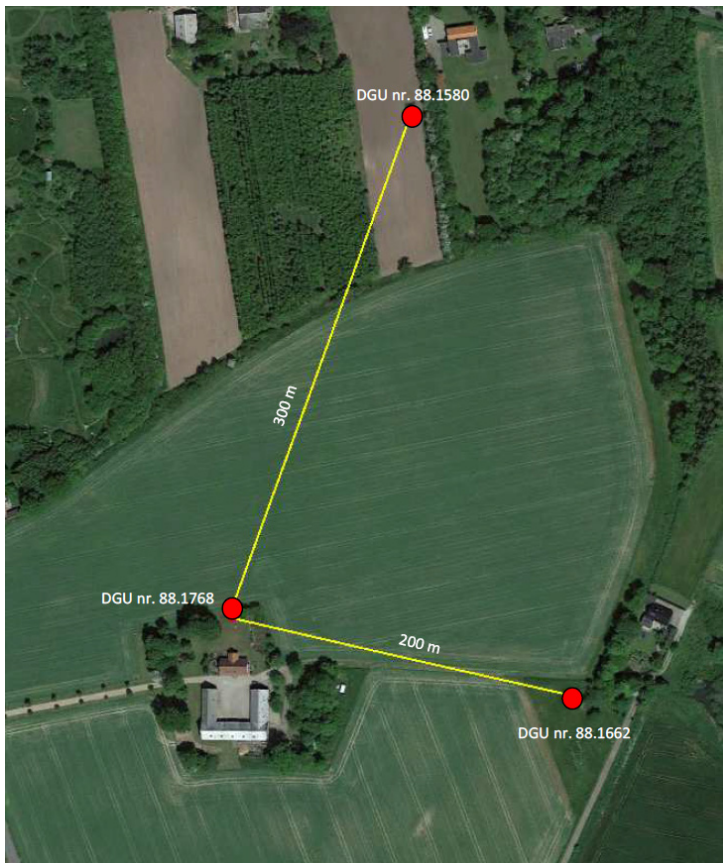
3.3.1 Prøvepumpninger

For at opnå en bedre forståelse af hydrauliske sammenhænge mellem magasinenheder, er der gennemført flere prøvepumpninger nær Åbo kildeplads.

3.3.2 DGU nr. 88.1768

Boring DGU nr. 88.1768 er etableret i juni 2015 og lokaliseret på adressen Brydehøjvej 28. Boringen er filtersat i tre dybdeintervaller, og vandanalyser har påvist et indhold af 4-CPP på 0,047 µg/l i det dybeste filter (kote -53 til -59 m). De øvrige to filtre viser ingen fund. Vandprøverne er udtaget i juli 2015.

I perioden d. 10. februar til 9. marts (29 dage) er der udført prøvepumpning i DGU nr. 88.1768, hvor der blev oppumpet med en ydelse på 7 m³/t fra det dybeste filter (f1) placeret 96-102 m.u.t (kote -53 til -59 m). Placeringen af boringen og de to monitoringsboringer, DGU nr. 88.1580 og 88.1662, er vist på figur 3 nedenfor. Tolkningen af diverdata fra monitoringsboringen 88.1662 (filter 1) beliggende mod vest viser gennemslag ved pumpestop og -start, og dermed hydraulisk kontakt. Diverdata fra boring 88.1580 indikerer en hydraulisk kontakt til det dybeste filter 1 (kote-30,5 til -42,5 m). En mulig hydraulisk forbindelse til det øvre filter 2 (kote 0 til -2,5 m) er mere usikker i henhold til den lave ydelse der blev oppumpet med.



Figur 3. Oversigtskort, der viser placeringen prøvepumpningsboring DGU nr. 88.1768 og de to monitoringsboringer DGU nr. 88.1580 og 88.1662.

3.3.3 DGU nr. 88.1580

Boringen DGU nr. 88.1580 blev etableret i 2011 og har fungeret som afværgeboring for Åbo Kildeplads siden 2013. Der er udført to større prøvepumpningsforsøg i boringen:

- I 2013 blev der oppumpet med 20 m³/t i perioden marts til september. Der blev indsamlet hydrologiske data fra 22 tryktransducere (Rambøll, 2013)

- I 2014 blev der oppumpet med 50 m³/t i perioden august til november. Der blev indsamlet data fra 15 tryktransducere (Rambøll, 2015).

Oppumpningen fra DGU nr. 88.1580 sker fra det dybeste filter 1 placeret i kote -30,5 til -40,5 m. Ud fra undersøgelserne vurderes det, at der er hydraulisk kontakt mellem det dybe filter 1 og det øvre filter 2 (kote 0 til -3,5 m). Dog viser analyser af grundvandskemi kun fund af 4-CPP i det dybeste filter 1, men ikke i det øvre filter 2. Resultaterne fra den seneste prøvepumpning er gennemgået i (Rambøll, 2015).

3.3.4 Synkronpejlinger og potentialekort

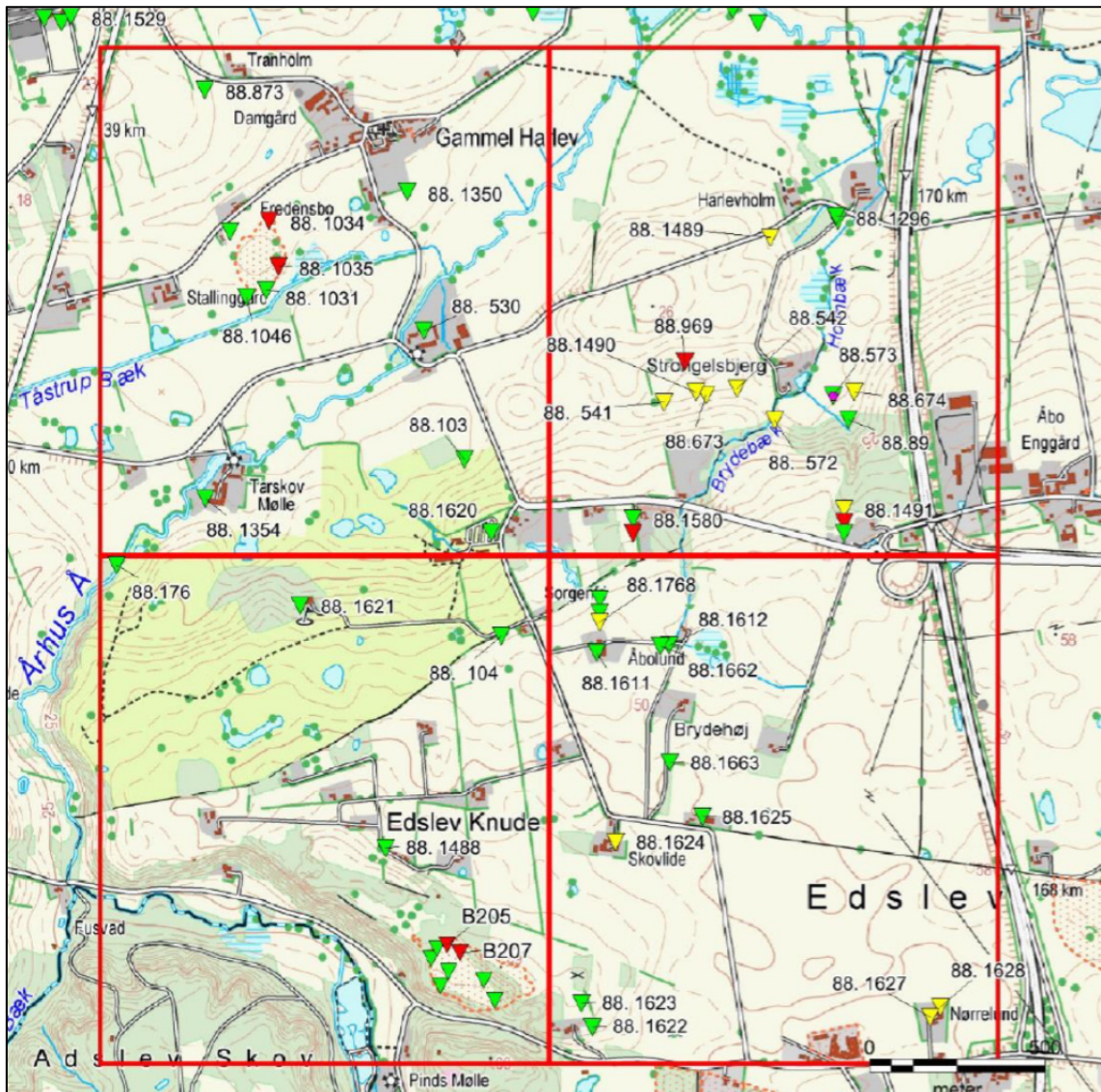
Der er i sommeren 2014 foretaget en synkronpejling af boringer i Åbo området inden prøvepumpning i afværgeboringen DGU nr. 88.1580. På baggrund af synkronpejlingerne er der optegnet et potentialekort (Rambøll, 2015), der vil blive inddraget i tolkningen af geologien.

Der foreligger i GeoScene3D projektet for den opdaterede hydrostratigrafiske model desuden potentialekort dateret til 2012, hvor den hydrostratigrafiske model blev opstillet (Rambøll, 2013).

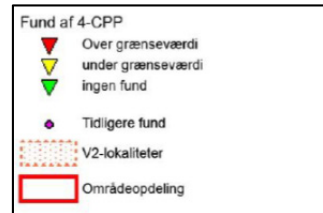
3.4 Kemi

3.4.1 Pesticider

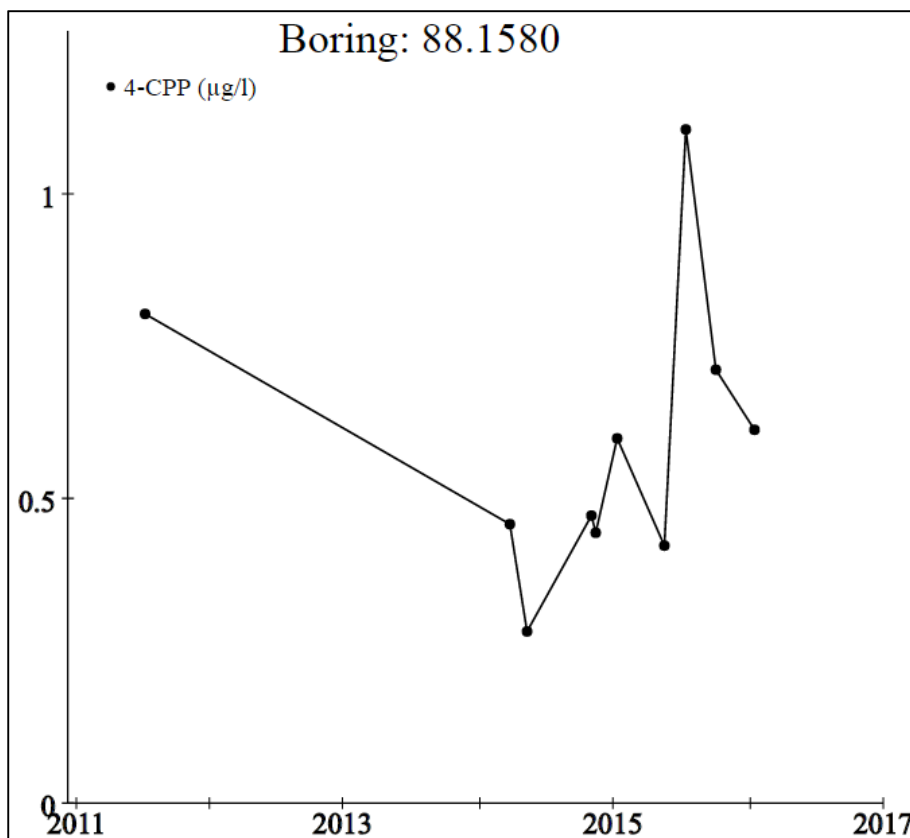
Gentagne fund af pesticider i grundvandet ved og nær Åbo Kildeplads er den helt grundlæggende problemstilling. Analyser for fund af pesticider i grundvandet er derfor også et centralt datasæt i forståelsen af strømningsveje og magasinsammenhænge i området. Nedbrydningsstoffet "4-CPP" fra phenoxysyrer, anvendt i pesticider, er det hyppigst fundne i området. Nedenfor på figur 4 er medtaget et overblik over fund af 4-CPP i området (Orbicon, 2015).



Figur 4. Overblik over fund af 4-CPP i filterindtag (Orbicon, 2015).



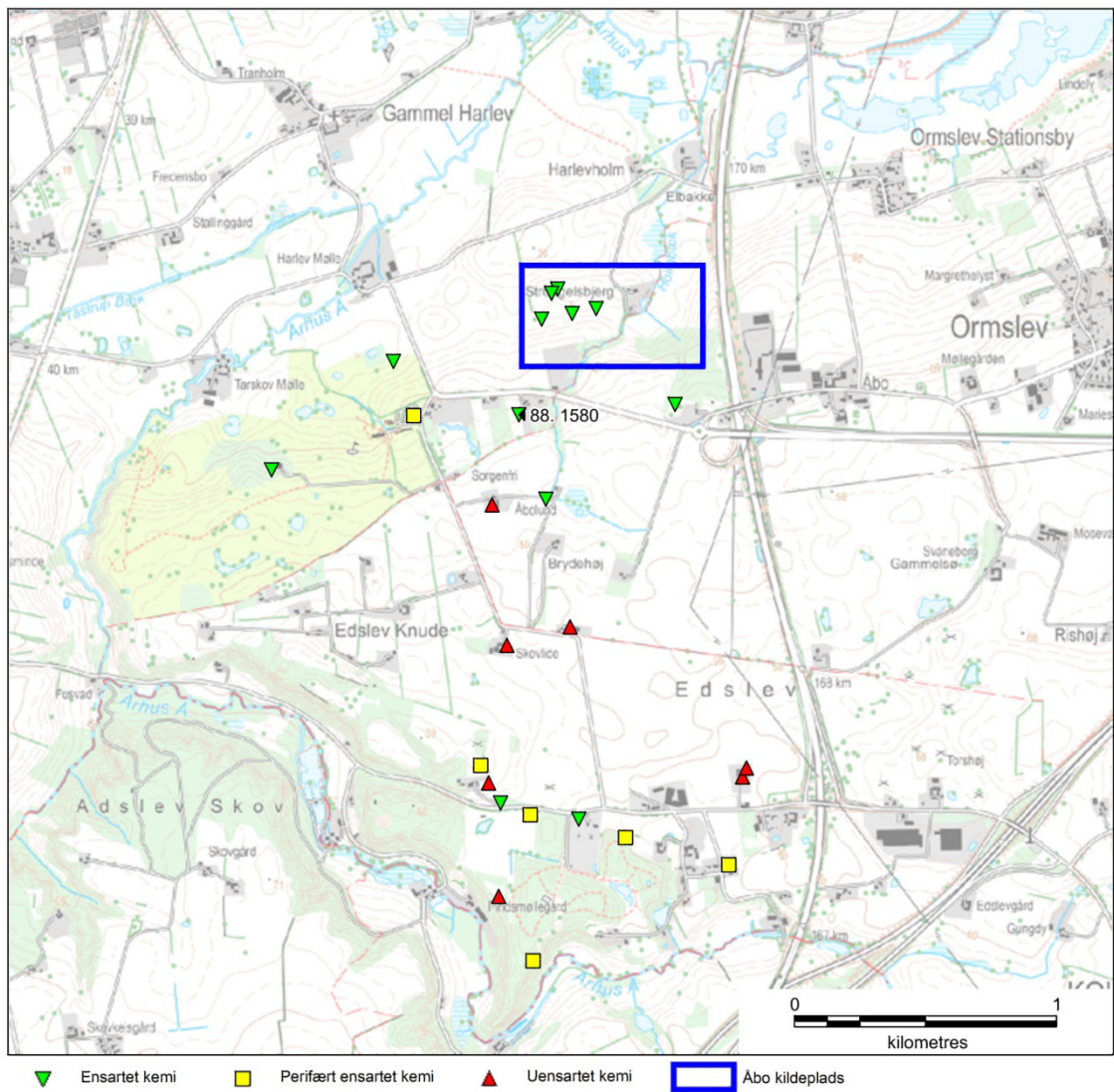
Afværgeboringen DGU nr. 88.1580 viser gentagne fund af 4-CPP over grænseværdien i det dybeste filterindtag (kote -30,5 til -40,5 m). På figur 5 er vist en graf og den seneste udvikling af 4-CPP i grundvandet fra filterindtag 1 i DGU nr. 88.1580. Der ses en generel stigning i koncentrationerne af 4-CPP siden 2014. Afværgeoppumpningen begyndte i 2013.



Figur 5. Tidslinje for fund af 4-CPP i filter 1 i boring DGU nr. 88.1580.

3.4.2 Grundvandskemi

Som et led i at vurdere grundvandets ensartethed har Aarhus Vand i 2013 (Rambøll, 2013) lavet en multivariant-analyse af 10 grundvandskemiske hovedparametre i flere boringer nær ved og på Åbo kildeplads. Analysen kan bidrage til at afsløre mulige hydrauliske sammenhænge og grundvandsstrømning. Resultatet af analysen er vist på nedenstående oversigtskort (figur 6), hvor det er tematiseret, hvilke boringer der viser ensartet og uensartet kemi. Data-sættet vil blive inddraget i den geologiske og hydrogeologiske vurdering, se afsnit 5.



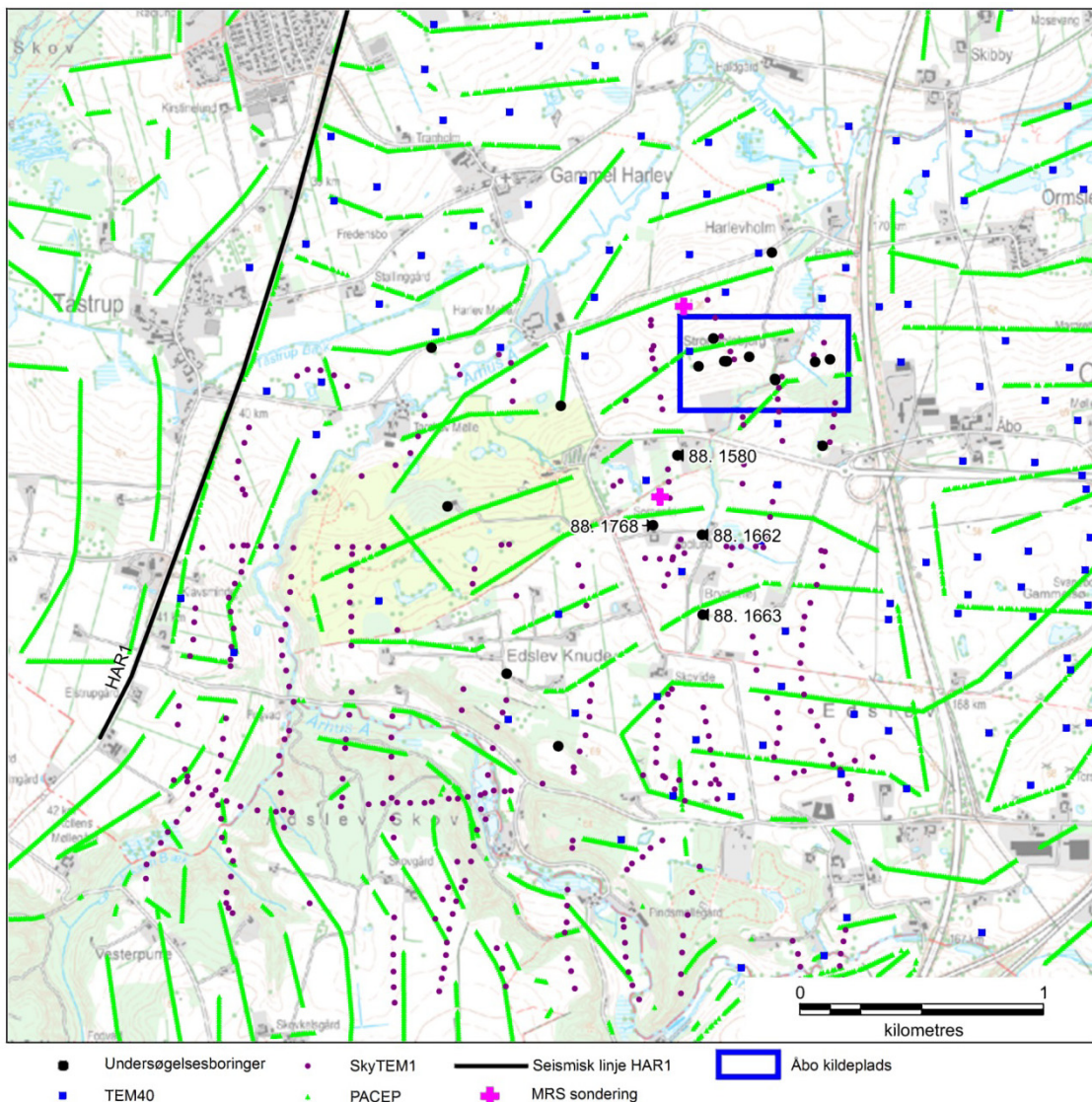
Figur 6. Analyse af grundvandets ensartethed i kemi. Resultat af multivariant analyse udført af Aarhus Vand i 2013 (Rambøll, 2013, bilag2).

3.5 Geofysiske data

3.5.1 Eksisterende TEM

Der er i flere omgange udført jordbaserede TEM40 sonderinger i Åbo området. Desuden blev der i 2003 indsamlet SkyTEM data (med første generation af SkyTEM systemet). Datasættet er tolket med fålagsmodeller (GI, AU, 2003), og flyvelinjerne er orienteret syd-nord og vest-øst, se Figur 7.

Begge typer af eksisterende TEM-data er inddraget i tolkningerne af undersøgelsesområdet og af den regionale geologi. Placeringen af TEM40 og SkyTEM sonderingerne er vist på oversigtskortet i figur 7.



Figur 7. Eksisterende geofysiske data i Åbo området (gerda.geus.dk)

3.5.2 PACEP

I Åbo området findes ældre 3 kanals slæbe-geoelektriske målinger, PACEP, udført af Geologisk Institut i slutningen af 1990'erne (gerda.geus.dk). De geoelektriske data er blevet vurderet og

er i begrænset omfang anvendt i den geologiske tolkning. PACEP-data er ligeledes vist på figur 7.

3.5.3 MRS

Der er i 2009 udført to MRS sonderinger nær Åbo kildeplads (gerda.geus.dk). MRS sonderingerne er anvendt som supplerende datagrundlag i forståelsen af magasinsammenhænge lokalt ved Åbo kildeplads. Se placeringen af sonderingerne på figur 7.

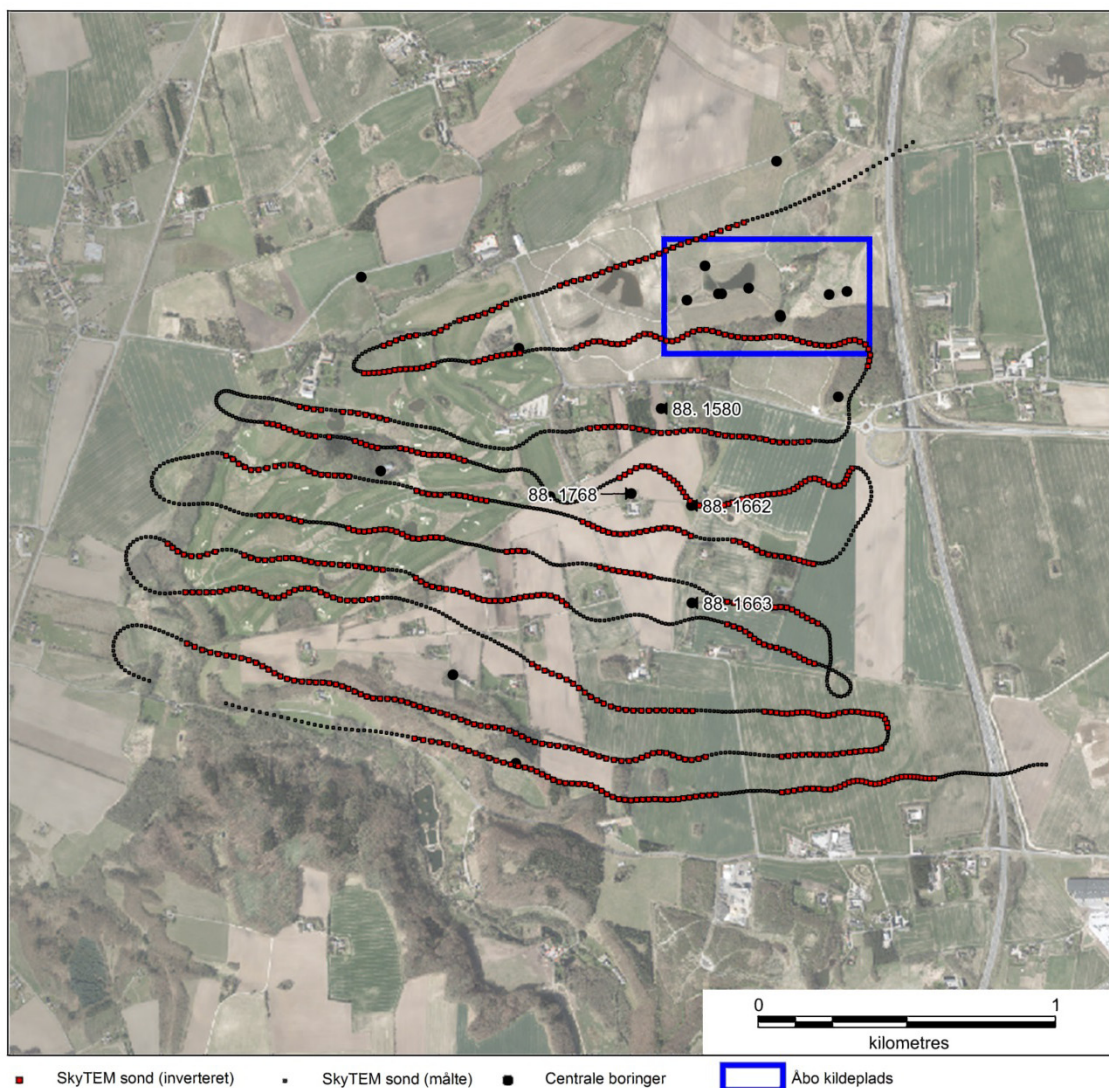
3.5.4 Seismik

I 2006 blev der udført en nord-syd orienteret seismisk linje ca. 1,5 km vest for Åbo kildeplads (benævnt HAR1), der efterfølgende er blevet tolket af Geologisk Institut, AU (Lykke-Andersen, 2006). Linjen er inddraget, da den giver information om begravede dalstrukturer i lokalområdet. Placeringen af den seismiske linje HAR1 er vist på figur 7, og særligt den sydlige del af profilet er blevet anvendt i tolkningen af geologien ved Åbo.

4. Nye SkyTEM data

4.1 Dataindsamling

Der er i juni 2016 indsamlet omtrent 24 linjekilometer SkyTEM data af SkyTEM ApS. Rådata er efterfølgende blevet processeret af Aarhus Geophysics ApS. GEUS har gennemført kvalitetskontrol af data inden de er benyttet som datainput i nærværende projekt. På nedenstående oversigtskort over området (Figur 8) ses de indsamlede SkyTEM sonderinger. Støjede og koblede sonderinger er fjernet i forbindelse med processeringen, hvilket er de sorte punkter vist på kortet (målte punkter). Sonderinger fremhævet med rødt er anvendt i den videre geofysiske modellering (inversion) af data.



Figur 8: Nyindsamlede SkyTEM data ved Åbo (2016). De røde sonderingspunkter angiver alle de sonderinger der medtaget i den følgende inversion af data. Sorte sonderingspunkter er fravalgt pga. koblinger eller lignende.

4.2 Data-processering og geofysisk modellering

Aarhus Geophysics Aps har forestået processering og geofysisk modellering af data. Arbejdet er udført i softwaren *Aarhus Workbench release 5.1.0*.

I forbindelse med den geofysiske modellering af data har Aarhus Geophysics Aps i samarbejde med GEUS leveret 3 forskellige udgaver. Dette drejer sig om to stk. "smooth" udgaver (såkaldte "L1" og "L2" inversioner) med mange modellag (29 modellag) og en enkelt der er gennemført som en "sharp" inversion af data, også med 29 modellag. Sidstnævnte erstatter den traditionelt udførte få-lagsmodel.

GEUS har efter sammenstilling med eksisterende viden af de tre udgaver vurderet, at "L2" er den mest hensigtsmæssige at benytte i det udførte arbejde. Det er derfor "L2", der er benyttet på de følgende tolkningsprofiler og middelmodstandskort. Sharp-udgaven vil dog være relevant at supplere med i det omfang, der på et tidspunkt skal opstilles en egentlig digital 3D model.

4.3 Profiler, kort og 3D grid

På baggrund af de processerede SkyTEM-data er der fremstillet et interpoleret 3D-grid af de geofysisk modellerede resistiviteter (de enkelte sonderinger/resistivitetsmodeller). Interpolationen er foretaget for hvert 5-meter koteinterval fra terræn og ned til kote -200 m. Der er benyttet Inverse Distance med søgeradius 350 m og cellestørrelse på 50 m. Efterfølgende er disse koteinterval-grids blevet "stacket" til et egentligt 3D-grid. Dette 3D-grid er anvendt ved visualisering af data i GeoScene 3D som en del af tolkningsarbejdet. Dette er foregået ved visualisering på både fladekort og på profiler. Fladekortene er desuden eksporteret til GIS-programmet MapInfo, hvori en del af tolkningsarbejdet også er foretaget.

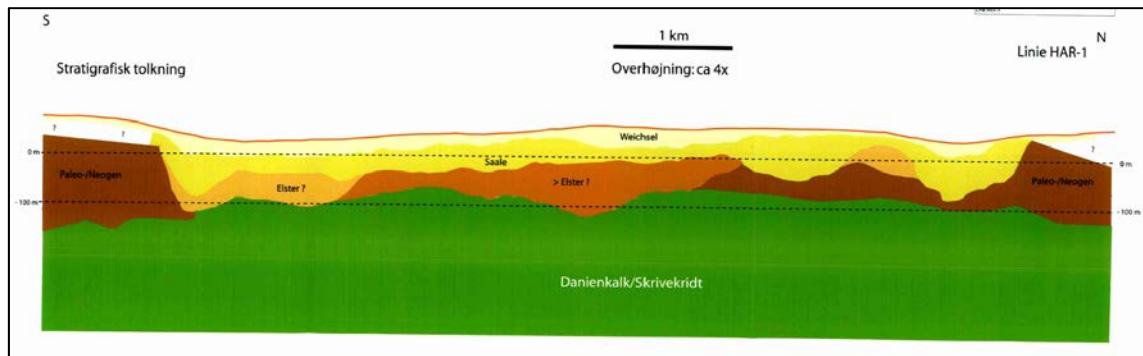
I denne rapport er det valgt at præsentere alle væsentlige fladekort (middelmodstandskort), se Bilag 10.1. Dette drejer sig om alle intervaller fra terræn og ned til kote -50 m. Herfra og ned til kote -100 m er hvert andet interval vist.

SkyTEM-data er også vist på profiler. Der er optegnet et profil langs hver flyvelinje (se Bilag 10.2).

5. Geologisk og hydrogeologisk vurdering

5.1 Områdets generelle geologi baseret på eksisterende arbejde

Dannelsen af den overfladenære geologi i området ved Åbo og Århus Ådal vurderes at være påvirket og til dels initieret af ældre dybe geologiske strukturer i undergrunden. Tolkninger af seismiske data fra området vest for Århus viser en pudestruktur i Zechsteinsaltet som har forårsaget en opdomning af de ovenliggende aflejringer, så toppen af Danien kalken i Brabranddalen træffes i niveauer omkring kote -100 m (Lykke-Andersen, 2006). I dette område, hvor kalken ligger kotemæssigt højt findes et bredt erosionsbassin (ca. 7 km bredt), indeholdende dele af Åbo området, hvilket er visualiseret ved tolkningen af HAR-1 profilet (figur 9). Dannelsen af dette øst-vest orienterede aflejringsbassin vurderes at have en sammenhæng med opdomningen af kalken, da et nord-syd rettet stræk af kalken under hævnning af lagene formodentligt har initieret en øst-vest gående "gravsænkning".

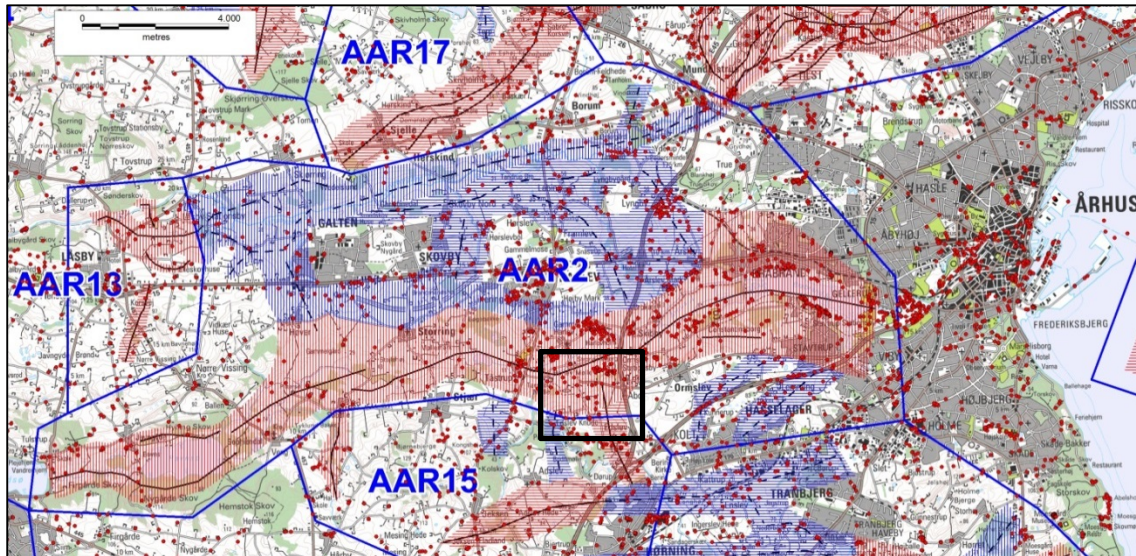


Figur 9. Skitse af stratigrafisk tolkning baseret på den seismiske linje HAR-1. Linjen går fra syd mod nord (Lykke-Andersen, 2006).

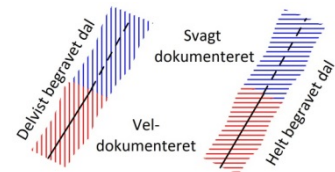
Gravsænkningen kan dermed have været starten på dannelsen af et bredt erosionsbassin, der kontinuerligt er blevet eroderet og opfyldt under glaciationerne i Kvartæret (Lykke-Andersen, 2006). Seismiske data, borer og TEM data understøtter alle tolkningen af et komplekst system af begravede dalstrukturer, hvor den overordnede orientering er VSV-ØNØ for de mest markante dalstrukturer i den sydlige og nordlige del af det tolkede erosionsbassin, se figur 10 (Sandersen og Jørgensen 2016). Dalstrukturerne er eroderet kraftigt ned i Paleocæn-Eocæn/Oligocæn ler og til dels kalken i hele erosionsbassinet. I områder ved Harlev/Framlev og Skovby er det palæogene ler helt borteroderet, så de kvartære sedimenter ligger direkte på kalkaflejringerne.

Kortet på figur 10 viser alle kortlagte begravede dale i området vest for Århus, hvor Åbo kildeplads er beliggende i den brede sydlige dalstruktur, der i terrænet omfatter både Brabrand sø og Århus Ådal (Sandersen og Jørgensen 2016). Udfyldningen af dalen forventes at være sket ved gentagne episoder, og dalfyldet udviser en stor vekslen mellem sandede og lerede glaciale smeltevandsaflejringer samt till-aflejringer, hvilket også konstateres i undersøgelsesboringerne ved Åbo.

Figur 10



Figur 10. Tolkede begravede dale i Århus området (Sandersen og Jørgensen 2016). Åbo området er markeret med sort ramme.



En undersøgelsesboring i Viby J (DGU nr. 89.2038) viser, at det sydlige dalsystem mod øst under Århus by er nederoderet til 240 m's dybde, hvor der træffes palæogent ler. Boringen indeholder mægtige serier af glacialt smeltevandssand, og der er generelt en tendens til, at dalfyldet i øst består af sandede aflejringer, mens leraflejringer bliver mere dominerende mod vest i dalen. Der er i få boringer i det sydlige begravede dalsystem fundet interglaciale aflejringer dateret til Eem. Fund af Eem-aflejringer ved Årslev (88.589) nord for Åbo indikerer, at der i Eem interglacial eksisterede en dal, der kan have været omtrent 3 km bred. Ligeledes fortæller Eem-aflejringerne niveau, at dalsystemet overvejende forventes at være udfyldt under Saale og Elster-istiderne (Sandersen og Jørgensen 2016).

Dalene i området har nogle tydelige foretrukne orienteringer (fremgår delvist af figur 10). Langt de fleste begravede dale i området er således orienteret med N-S-lige retninger eller med ØNØ-VSV-lige retninger (Sandersen og Jørgensen 2016).

5.2 Begravede dale

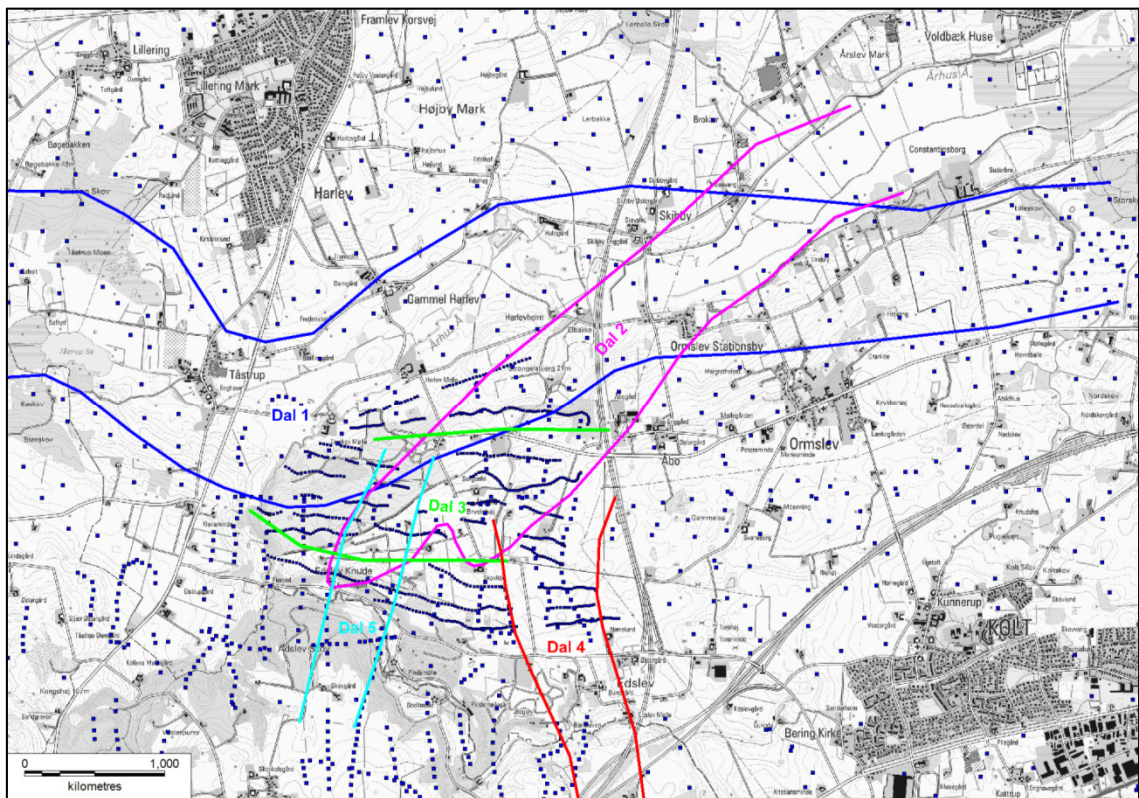
De seneste 15-20 års geofysiske kortlægning af undergrunden i Danmark har vist, at der mange steder findes meget komplicerede netværk af begravede dale (Sandersen og Jørgensen 2016). Dette er ikke mindst tilfældet i området omkring Århus, hvor mange dalgenerationer gennemskærer lagserien på kryds og tværs. Nogle dale er udfyldt med grovkornede og vandførende sedimenter, mens andre er udfyldt med lerede lag som dermed kan udgøre barrierer for grundvandets strømning. I Århus-området, hvor undergrunden generelt er leret, vil sandfyldte dale have meget stor betydning for grundvandets strømning, og vandet vil således primært følge dalstrukturerne. Tværgående lerfyldte dale vil til gengæld, over korte afstande kunne

standse og ændre grundvandets strømningsveje. Den rumlige udbredelse af dalene er derfor en afgørende faktor at tage i betragtning ved enhver vurdering af hvordan vandet strømmer i undergrunden.

Undersøgelser har desuden vist at en tilstrækkelig kortlægning af begravede dale kræver både gode data, men også at disse er tætliggende for at opnå en tilstrækkelig rumlig opløsning. De eksisterende geofysiske data, som omfatter landbaserede TEM-data og SkyTEM af ældre udgave opfylder ikke disse krav og dalestrukturerne har derfor ikke tidligere kunnet kortlægges i detalje og med tilstrækkelig sikkerhed. Dette er årsagen til at nye SkyTEM-data er blevet indsamlet som en del af denne undersøgelse.

5.2.1 Kortlægning af begravede dale

En samtolkning af disse nye SkyTEM-data med alle eksisterende data (ældre TEM-data, seismiske data, boredata m.m.) har resulteret i en kortlægning af fem begravede dale i undersøgelsesområdet (Dal 1- Dal 5), se figur 11. Disse tolkninger vil blive beskrevet i det følgende.

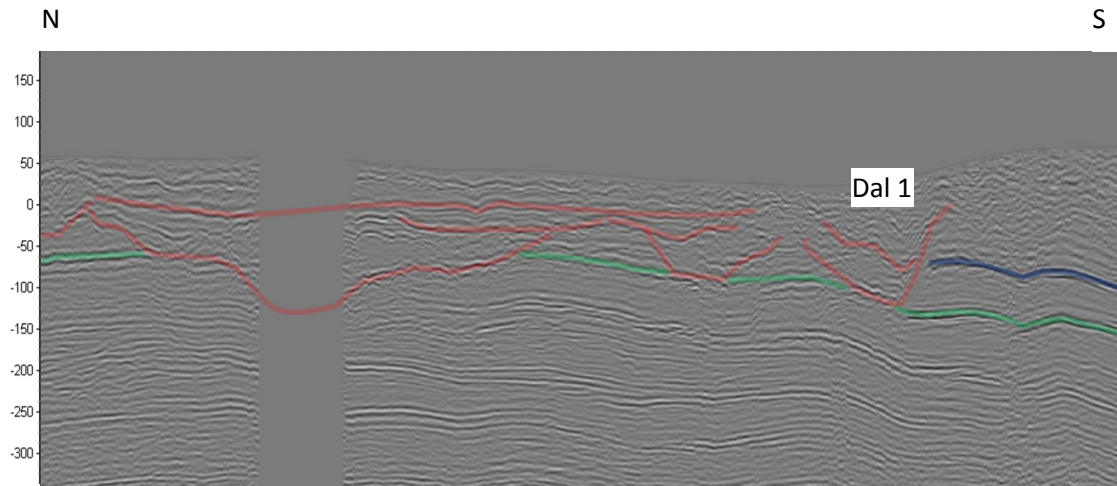


Figur 11: Tolkede begravede dale i undersøgelsesområdet. Ældre TEM-sonderinger er vist med store blå firkanter, nyindsamlende SkyTEM-data er vist med små blå firkanter.

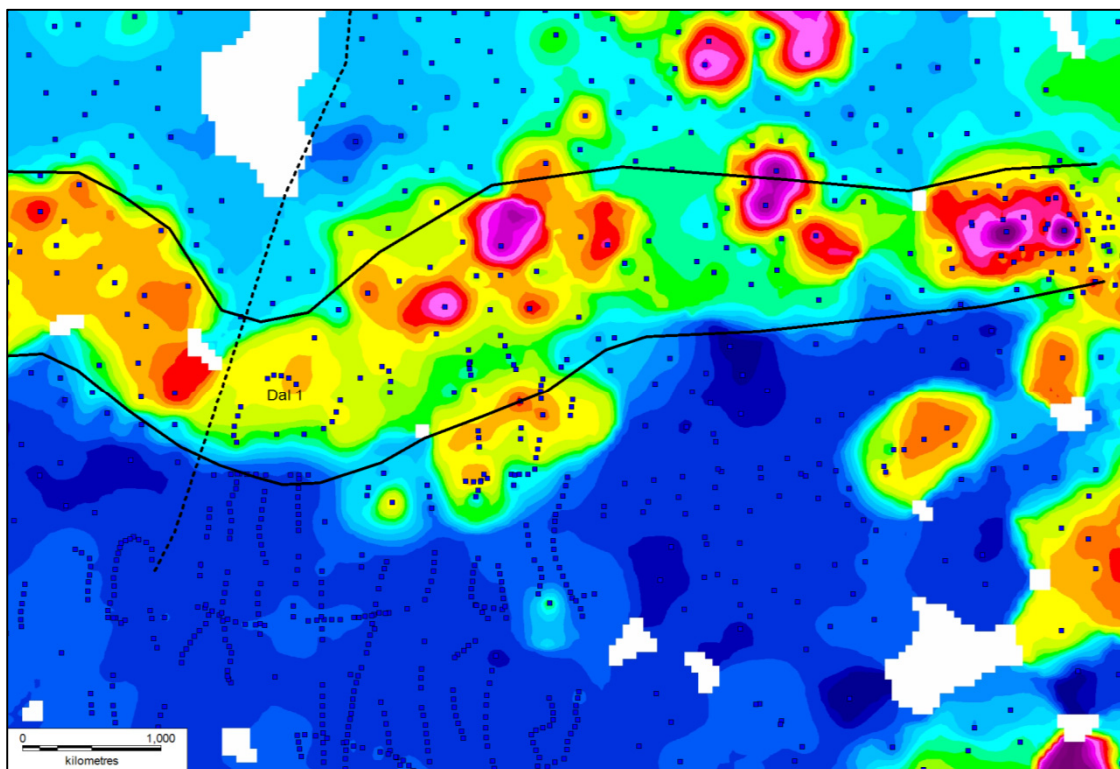
Dal 1:

Som beskrevet i afsnit 5.1 viser en seismisk linje umiddelbart vest for området tilstedeværelsen af adskillige begravede dale. En opdateret tolkning af denne seismiske linje er vist i Figur 12. Der ses mange erosionsstrukturer på linjen, og sammenholdes tolkningerne af disse med de eksisterende TEM-data i området ses at den sydligste erosionsstruktur ("Dal 1" på figuren) er sammenfaldende med en højmodstandsstruktur i TEM-data. I Figur 13 er vist et horisontalt snit gennem de målte TEM-modstande i kote -25 m. Dalstrukturen ses som en lettere diffus

struktur der bugter sig gennem området. Den sydlige halvdel af dalen berører undersøgelsesområdet ved Åbo kildeplads. På stedet hvor seismikken skærer dalen når den ned til omkring kote -115 m. Opadtil kan dalen følges til tæt under terræn. Boringerne i dalen viser en meget afvekslende lagserie, men generelt består en stor del af dalfyldet af moræneler og smeltevandsler. Der findes dog også udbredte lag bestående af smeltevandssand i dalen. Boring DGU nr. 88.1350 ved Gl. Harlev når en dybde på kote -117 m uden at nå bunden af dalen.



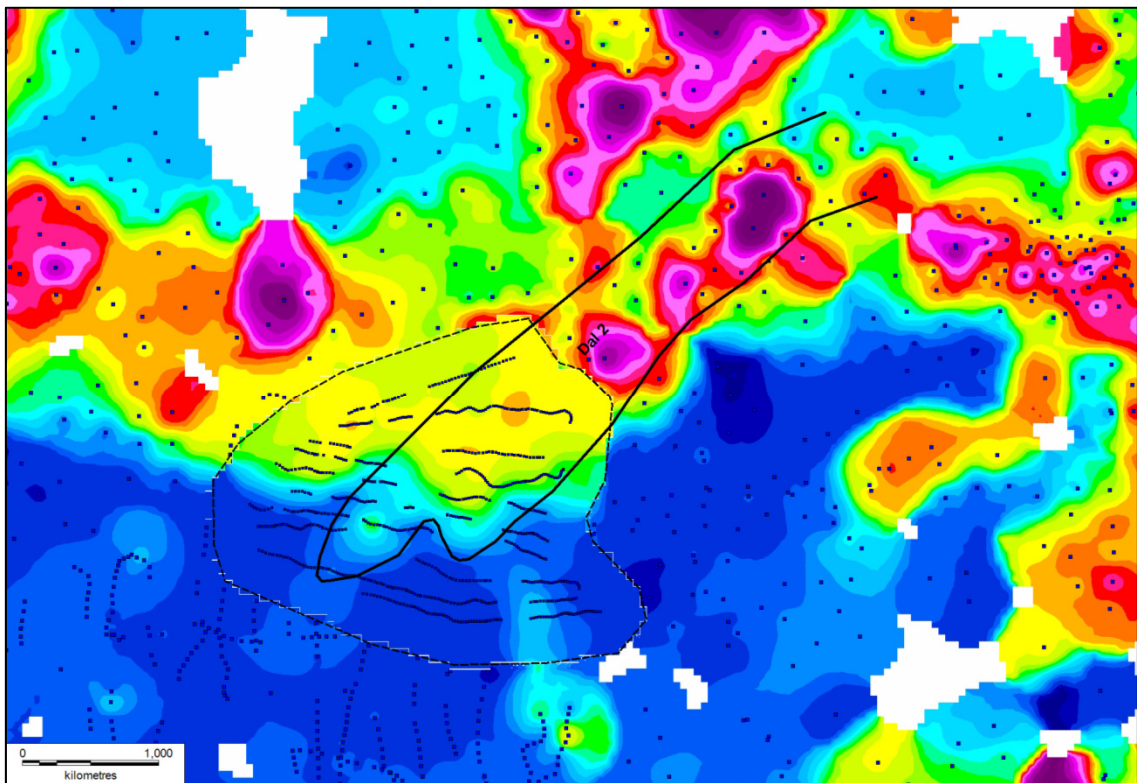
Figur 12: Seismisk profil (Harlev 1) vest for undersøgelsesområdet. Erosionsstrukturer (begavede dale) er vist med røde tolkninger. Dal 1 ses som den sydligste dal i profilet. Grøn er top kalk og blå er intern lagflade i Palæogen. Seismisk dataindsamling: Rambøll (2006).



Figur 13: Tolkning af den ældste begavede dals udbredelse i området omkring Åbo (Dal 1). Dalen ses som en lettere diffus højmodstandsstruktur i de tidligere TEM-data – her vist i kote -25 m. Forløbet af den seismiske linje, Harlev 1 er vist med stiplede linje. Ældre TEM-sonderinger er vist med blå firkanter.

Dal 2:

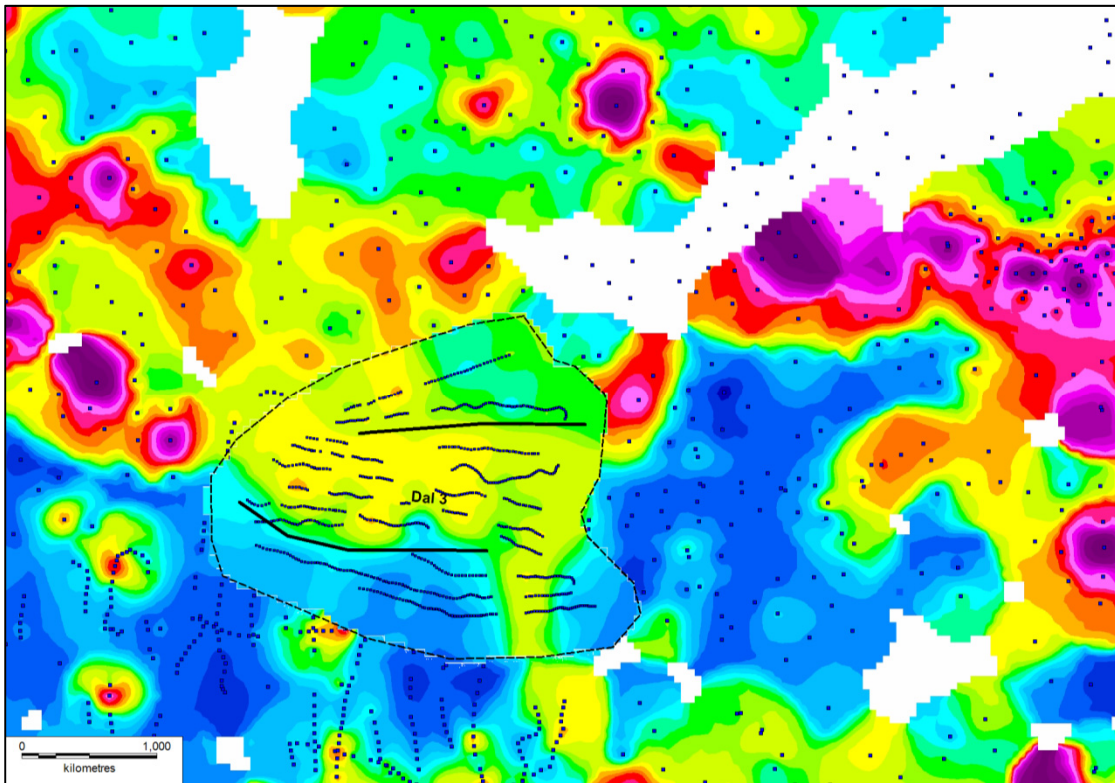
Dal 2 er med sine 7-800 m noget smallere end Dal 1 og er nedeordret i dennes sydlige flanke. Retningen er NØ-SV, og det ses, at dalens bund stiger kraftigt i niveau sydvest for Åbo (Figur 14). Ved Edslev Knude kan dalen ikke spores længere, hvorfor den må antages at ende blindt her. Dalen ses som en ret diffus struktur i TEM-data. Mod syd, hvor den eroderer ind i palæogenet, er der en forholdsvis tydelig modstandskontrast, men mod nordvest hvor den er nederoderet i Dal 1 er afgrænsningen utydelig. I dalens nordøstlige del ses fyldet at have højere modstande end i den sydvestlige del, men dette kan skyldes forskellen i måden hvorpå de ældre TEM-data og de nye SkyTEM-data er blevet geofysisk tolket. I undersøgelsesområdet kan dalen ses fra omkring kote +10 m og ned til omkring -70 m.



Figur 14: Tolkning af den næstældste begravede dals udbredelse i området omkring Åbo (Dal 2). Dalen ses som en lettere diffus højmodstandsstruktur i TEM-data – her vist i kote -10 m. I undersøgelsesområdet omkring Åbo Kildeplads er de nye SkyTEM-data vist (afgrænset med stiptet linje). I resten af området er de tidligere TEM-data vist. Ældre TEM-sonderinger er vist med store blå firkanter, nyindsamlede SkyTEM-data er vist med små blå firkanter.

Dal 3:

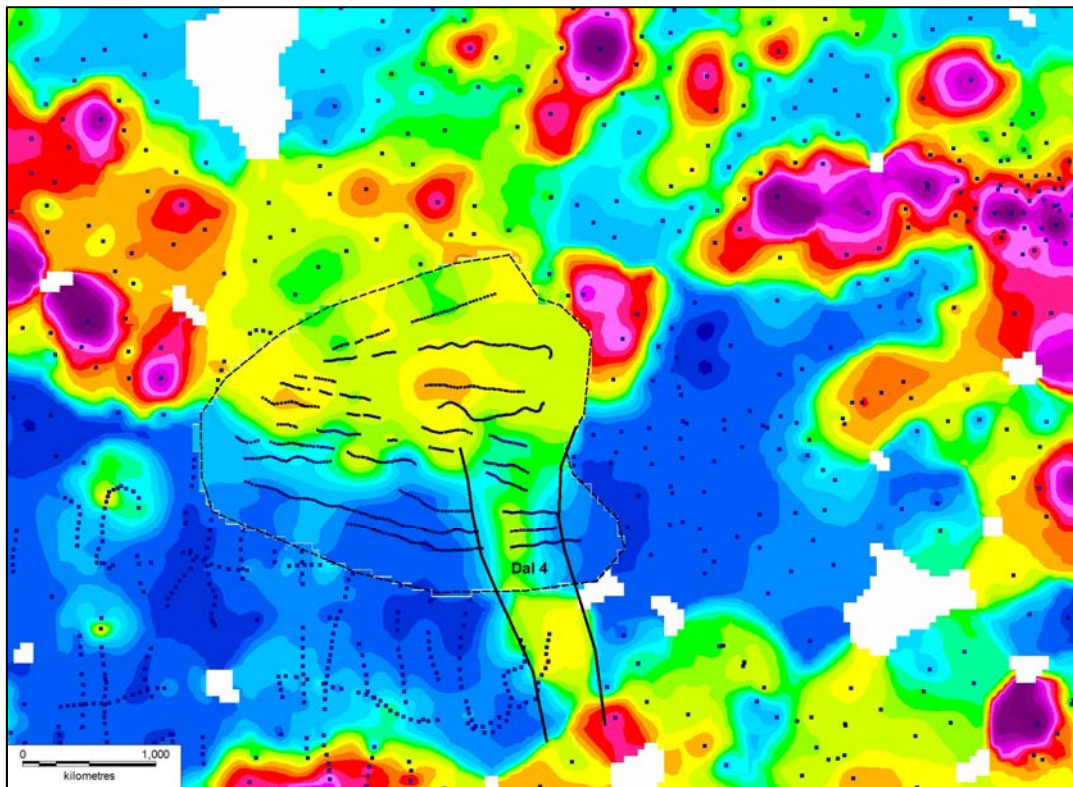
Dal 3 ses relativt tæt under terræn; mellem kote +5 og +25 m (Figur 15). Den er fladbundet og ikke særligt dyb men til gengæld er den relativt bred (ca. 0,9 km). Denne dal ligger i højere niveau end de ældre dale (Dal 1 og 2). Retningen er Ø-V. Mod øst skæres den af Dal 4. Dalfyldet har moderate modstande svarende til vekslende lag af sand og ler.



Figur 15: Tolkning af den mellemste begravede dals udbredelse i området omkring Åbo (Dal 3). Dalen ses som en lettere diffus struktur med moderate modstande i TEM-data – her vist i kote +10 m. I undersøgelsesområdet omkring Åbo Kildeplads er de nye SkyTEM-data vist (afgrænset med stiplede linje). I resten af området er de tidligere TEM-data vist. Ældre TEM-sonderinger er vist med store blå firkanter, nyindsamlede SkyTEM-data er vist med små blå firkanter.

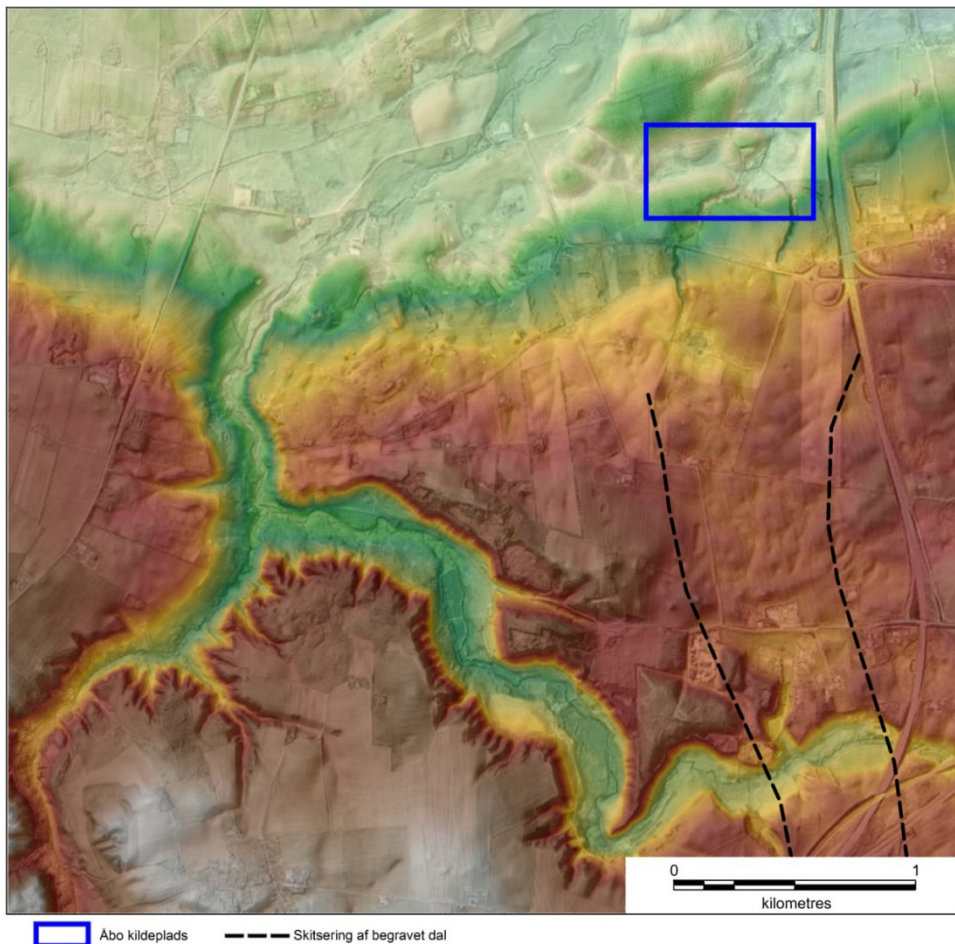
Dal 4:

Dal 4 er en N-S-gående dal som ses i den sydøstlige del af undersøgelsesområdet. Den står relativt tydeligt frem i de nedre dele, hvor den er lettere nederoderet i den palæogene ler (se Figur 16). Dalen ses fra omkring kote -20 m og op til omkring kote +20 m. Bredden er 6-700 m. Mod nord ses en form for barriere bestående af lag med relativt lave modstande. Det kan være en tærskel eller en lokal ler-enhed blandt dalfyldet. Dalens videre forløb mod nord er usikkert. Den ser ud til at skære Dal 3, men præcist i hvilken retning dalen forløber er usikkert.



Figur 16: Tolkning af den næstnyeste begravede dals udbredelse i området omkring Åbo (Dal 4). Dalen ses som en lettere diffus struktur med moderate i TEM-data – her vist i kote -5 m. I undersøgelsesområdet omkring Åbo Kildeplads er de nye SkyTEM-data vist (afgrænset med stiplede linje). I resten af området er de tidligere TEM-data vist. Ældre TEM-sonderinger er vist med store blå firkanter, nyindsamlede SkyTEM-data er vist med små blå firkanter.

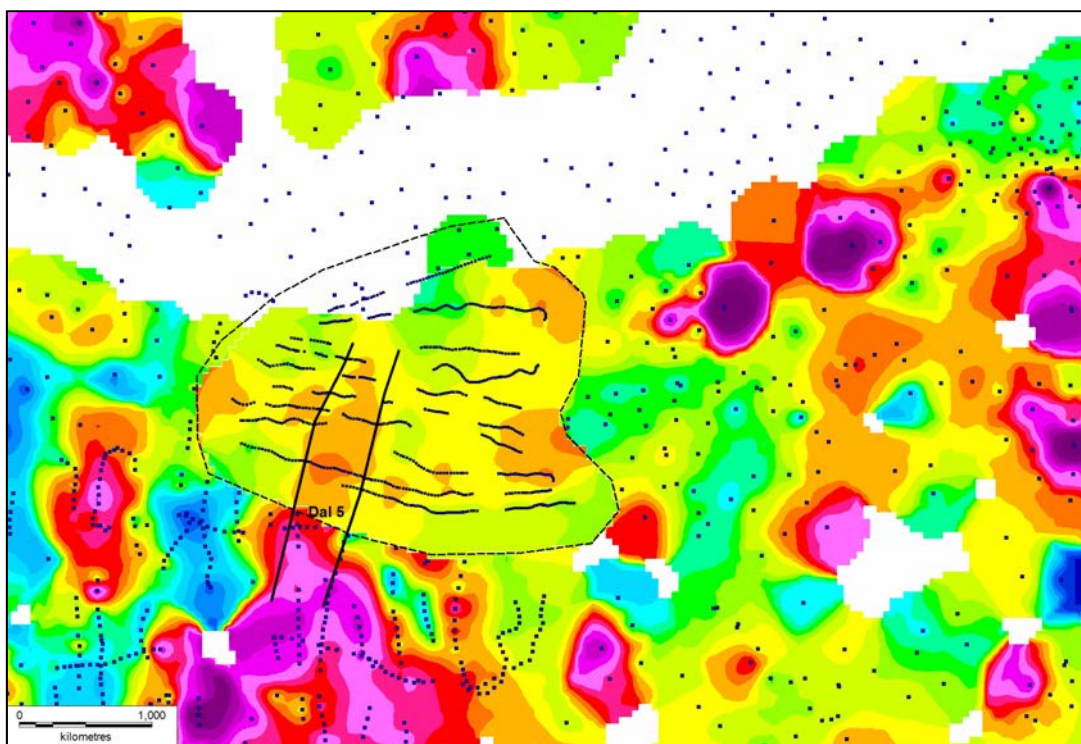
Selvom dalen ikke når helt op til terrænoverfladen synes den at være markeret i topografien. Der ser ud til at være et mere irregulært niveau netop der hvor dalen forløber, se Figur 17. Dalens forløb mod nord er, som nævnt ovenfor usikkert, og dette er også tilfældet når topografien betragtes. De to erosionsdale, der fra syd løber ind i kildepladsområdet ved Åbo, kunne dog tænkes at være relateret til dalen. Hvis dette er tilfældet fortsætter dalen ind under kildepladsen.



Figur 17: Topografisk model over undersøgelsesområdet. Dal 4 er markeret med stiplede linjer. Der synes at være et mere irregulært niveau netop der hvor dalen forløber. Dalens forløb mod nord er usikker, også når topografien betragtes. De to erosionsdale der fra syd løber ind i kildepladsområdet ved Åbo kunne dog tænkes at være relateret til dalen. Hvis dette er tilfældet fortsætter dalen ind under kildepladsen.

Dal 5:

Dal 5 er ligeledes en N-S-gående struktur. Denne ses i niveauer mellem kote +15 og +30 og fremstår som en aflang struktur af høje modstande. Bredden er ca. 0,5 km og den gennemskærer tilsyneladende Dal 3. Det er usikkert om denne struktur er en begravet dal eller en anden form for aflang geologisk struktur.



Figur 18: Tolkning af den yngste begravede dals udbredelse i området omkring Åbo (Dal 5). Dalen ses som en lettere diffus struktur med moderate modstande i TEM-data – her vist i kote +25 m. I undersøgelsesområdet omkring Åbo Kildeplads er de nye SkyTEM-data vist (afgrænset med stiplet linje). I resten af området er de tidligere TEM-data vist. Ældre TEM-sonderinger er vist med store blå firkanter, nyindsamlede SkyTEM-data er vist med små blå firkanter.

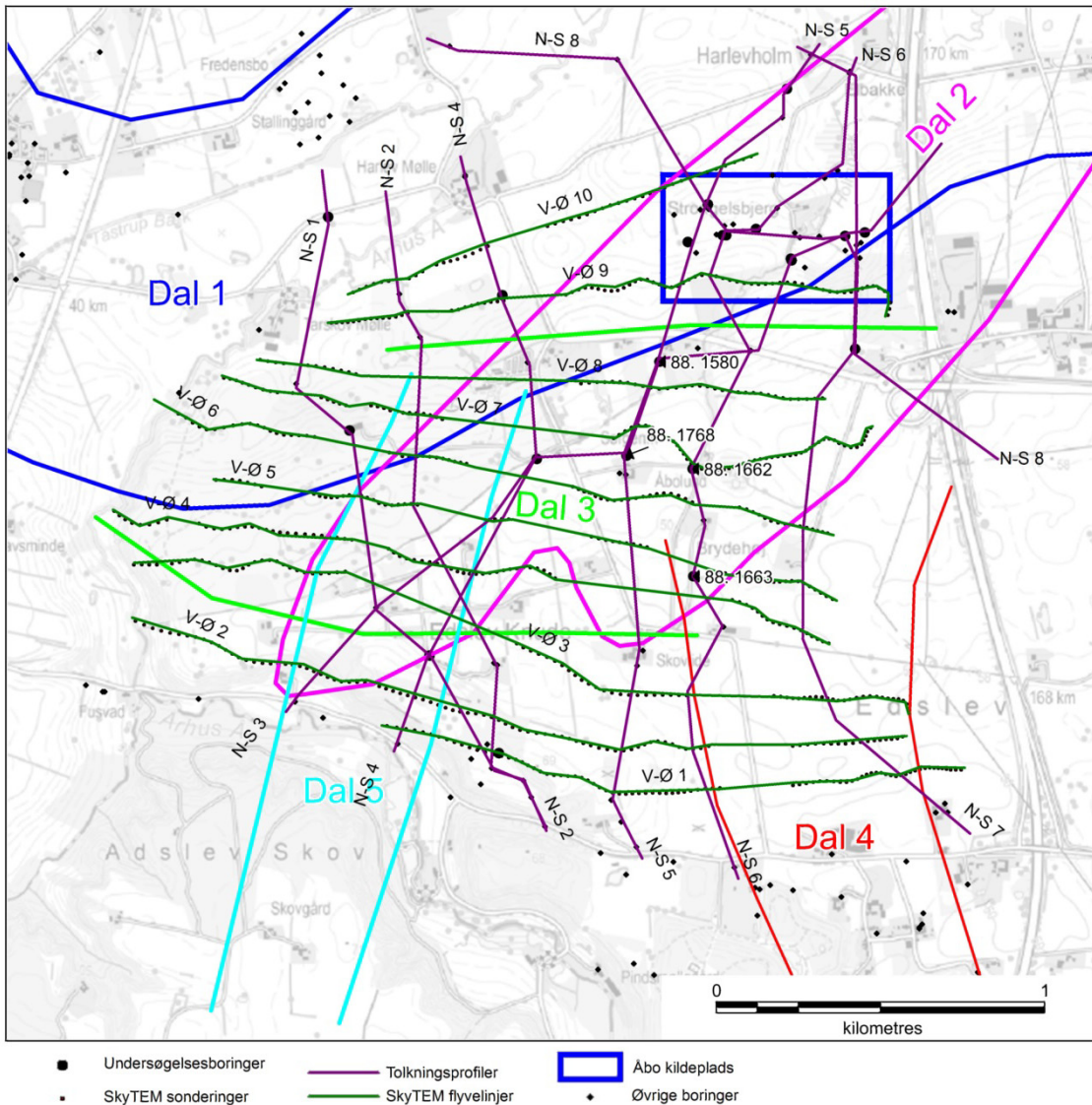
5.2.2 Orienteringer af de kortlagte begravede dale

Som nævnt ovenfor har de kendte begravede dale i området følgende foretrukne orienteringer omkring N-S og omkring ØNØ-VSV (Sandersen og Jørgensen 2016). De kortlagte dale i undersøgelsesområdet (Dal 1-5) er for to dales vedkommende orienteret med N-S-lige retninger, mens tre dale er orienteret mellem Ø-V og NØ-SV. Dette er i god overensstemmelse med de kendte foretrukne orienteringer.

5.2.3 Tolkninger på profiler

I det følgende vil tolkningen af geologien og de begravede dale blive skitseret og beskrevet ud fra udvalgte profiler, hvorpå boredata også vil være præsenteret. Der er optegnet i alt 10 V-Ø-gående profiler og 8 N-S-gående profiler. De V-Ø-gående profiler følger flyvelinjerne gennem undersøgelsesområdet, og der er således SkyTEM-data langs størstedelen af disse profiler. De N-S-gående profiler er udlagt således at de dels passerer centrale og vigtige borer og dels repræsenterer de geologiske forhold så godt som muligt. På disse profiler er der kun SkyTEM-data ved passagen af flyvelinjerne. Boringerne er projiceret ind på profilerne fra en på maksimalt 100 m og skulle således repræsentere geologien nogenlunde korrekt i profilers position. Geologien kan dog variere meget i området, selv over afstande på kun 100 m.

Først beskrives V-Ø-profilerne, dernæst N-S-profilerne. Se lokaliseringen af profilerne i Figur 19. Profilerne ses i Bilag 10.3.



Figur 19: Kort over tolkede profillinjer inklusive undersøgelingsboringer, øvrige boringer og SkyTEM sonderinger.

Profil V-Ø 1

Profil V-Ø 1 er den sydligste flyvelinje. Den passerer over lossepladsen ved Pindsmøllevej omkring profilkoordinat 350 m. Umiddelbart under lossepladsen ses et lavmodstandslag, som delvist tolkes som fyld og eventuelt som lerlag. Denne tolkning stemmer overens med boringerne som viser både fyld/affald og lerlag, hvor lavmodstandslaget findes. Laget kan følges mod øst henover Dal 4. Under laget ses i profilets vestlige ende et udbredt sandlag (ca. 20 m tykt), hvilket også er verificeret i boringerne. Dal 4 ses at være nederoderet i den palæogene ler, som ses tydelig som en god leder lige over kote 0 m. I toppen af profilet mod vest ses et højmodstandslag, der svarer til tørt sand. Bakketoppen Edslev Knude udgøres af denne sandede enhed. I profilets vestligste ende ses Dal 5, som en højmodstandsstruktur.

Profil V-Ø 2

Profil V-Ø 2 passerer også på langs over Edslev Knude, og også her kan Edslev Knude erkendes som et sandlegeme med høje elektriske modstande. Lerlaget som under lossepladsen delvist

består af fyld/affald ses også i dette profil, og i den østlige ende ses det at dække Dal 4. De grovkornede lag under lerlaget ses ligeledes på dette profil. I dal 4 er der her relativt høje modstande, og disse må formodes at svare til sandlag af ukendt tykkelse. I den vestlige ende af profilet ses den sydvestligste del af Dal 2. Her er den svagt nederoderet i den palæogene ler (som ses med meget lave modstande). I højere niveau ses Dal 5 bestående af sand (høje resistiviteter).

Profil V-Ø 3

Profil V-Ø 3 forløber delvist ud over (på langs med) den Ø-V-orienterede Dal 3. Der ses relativt høje modstande i Dal 3, hvilket kan tolkes at modsvare sandlag. Dal 3 har borteroderet den øverste del af Dal 2, som i øvrigt kun ses delvist (ved profilkoordinat 650 m) på grund af manglende data på denne del af profilet. Det samme gør sig gældende for Dal 5, som krydser på tværs af Dal 3 på dette sted. Profilet forløber nord om Edslev Knude, og denne ses derfor ikke længere. Det lerede lag i toppen (de øverste 10-20 m) ses også på dette profil (som et lag med moderate modstandsniveauer). Herunder ses sandlaget igen, hvilket bekræftes i DGU nr. 88.58 ved profilkoordinat 1650 m. Dal 4 ses på samme måde som i Profil V-Ø 2.

Profil V-Ø 4

På dette profil ses Dal 2 tydeligt. Den er nederoderet omkring 50 m i den palæogene ler. Profilet forløber hele vejen på langs over Dal 3, dog bliver Dal 3 erstattet af Dal 4 mod øst, fordi Dal 4 her tolkes at være yngre end Dal 3. Der er høje modstande i den vestlige del af Dal 3, formodentlig svarende til sandlag. Dal 3 bliver skåret af Dal 5 ca. midt på profilet, og Dal 5 ses igen med høje modstande (sand). Karakteren af dalfyldet i Dal 2 er usikkert her, men formodentlig er det domineret af ler. Dal 4 ses mindre tydeligt på dette profil. Det dækkende lerdominerede lag og også til stede på profilet her, om end der ses laterale variationer med portioner af høje modstande (sandede partier).

Profil V-Ø 5

I dette profil bliver Dal 2 svagt to-delt. Der er formodentlig tale om en forgrening af dalen eller muligvis en yngre erosionsstruktur i en ældre. Dal 3, Dal 4 og Dal 5, samt det dækkende lerdominerede lag ses stort set på samme måde som i Profil V-Ø 4, men til forskel fra de ovenfor beskrevne profiler ses nu Dal 1 (den øverste del af den sydligste flanke). Dalen er eroderet ned i palæogenet og er senere borteroderet af Dal 3. Boring DGU nr. 88.1663 står lidt fra flyvelinjen og på en strækning, hvor der ikke findes SkyTEM-data (da de er blevet fjernet pga. støj). Boringen viser at der findes smeltevandssand i den nederste del, men der ses ikke høje modstande i de nærmeste SkyTEM-data. Ifølge prøvebeskrivelserne er der lerlag noget af smeltevandssandet, hvilket kan være en del af grunden til at det ikke bliver opløst i SkyTEM-data. En anden, og måske mere plausibel årsag er, at der netop på det sted på profilet, hvor der ikke findes data, forekommer en smal erosionsstruktur med sandfyld.

Profil V-Ø 6

Også på dette profil ses Dal 2 at være to-delt. Profilet løber igen på langs med Dal 3, men mellem profilkoordinat 1500 og 1600 m og videre østpå er dens forløb og eksistens uvis. Dette hænger sammen med at Dal 4's forløb mod nord også er ukendt. Dal 5 kan stadig ses som en

højmostandsstruktur på dette profil. Det dækkende, lerede lag er nu mere opbrudt og usammenhængende og derfor ikke skitseret på profilet. Dets eksistens bekræftes dog af en række boringer på profilet, hvori det beskrives som moræneler. I den vestlige del ses der dog et mere markant og sammenhængende (dog tyndere) lavmodstandslag i toppen. Dal 1 er nu blevet meget mere tydelig og når dybt ned i palæogenet. Boring DGU nr. 88.176 viser, at der er lerede glaciale lag ned til dybere end kote -60 m. Her er modstandsniveauet meget lavt og næsten sammenligneligt med niveauet for palæogenet. I toppen af dalen ses ifølge boringen sandlag. Dette er delvist gengivet som høje modstande i SkyTEM-data.

Profil V-Ø 7

Dal 3 og Dal 5 ses på samme måde som i Profil V-Ø 6. Boringerne langs profilet tyder dog på at fyldet i Dal 3 nu domineres af moræneler. Der ses desuden nu et ret tyndt lavmodstandslag i toppen langs store dele af profilet – også bestående af glaciale leraflejringer. Dal 2 er ikke tydeligt to-delt længere, men der ses store variationer i dalfyldet, hvor højmostandslag dominerer i den vestlige del og lavmodstandslag dominerer i den østlige del. Lagfølgen i boring DGU nr. 88.1662 minder meget om lagfølgen i DGU nr. 88.1663 med bl.a. tykke sandlag i den nederste del. Der ser ud til at være en opad-finende tendens i de sandede smeltevandsaflejringer i den nedre del af boringen. Der er også lerede lagsekvenser i sandet, hvilket kan påvirke resistiviteten negativt. Årsagen til at der ikke ses højmodstandslag i SkyTEM i den nederste del af dalen er dog sandsynligvis en anden. Det er nemlig muligt, at der forekommer en kobling i SkyTEM-data, netop der hvor boringen findes. Flyvelinjen passerer tæt forbi en beboelse, og en kobling til elektriske installationer kan således ikke udelukkes. En inspektion af rådata antyder da også, at data kan være influeret af en kobling på dette sted, og en sådan kobling vil typisk fremprovokere lave modstande i den nedre del af sonderingerne. Da lagfølgen i DGU nr. 88.1662 ligner lagfølgen i DGU nr. 88.1663 vurderes disse to boringer begge at gennembore den samme geologiske enhed. Denne enhed er sandsynligvis en smal begravet erosionsstruktur med sandet indhold. Strukturen er sandsynligvis relateret til den sydøstlige gren af Dal 2. Dal 1 indeholder også i dette profil lag med lave modstande i den nedre del. I den øvre del bliver modstandsniveauet gradvist højere svarende til en opad-finende tendens. Boring DGU nr. 88.106 når ned under kote -60 m og viser umiddelbart, at der er smeltevandssand i den nedre del, men hvis man læser i brøndborerens borerapport, beskrives lagene som værende "vekslende sand og ler, lagdelt". Dermed kan der ikke siges at være uoverensstemmelse mellem boringen og SkyTEM-data.

Profil V-Ø 8

Dette profil er meget lig forrige profil V-Ø 7. Dal 2 gennembøres af boring DGU nr. 88.1580, som viser at dalen indeholder tykke sandlag helt ned til bunden i kote -40 m. Bunden består af palæogent ler, og dette stemmer med overgangen til meget lave modstande i denne dybde. De tykke sandlag i boringen er dog knap så tykke i SkyTEM-data. Muligvis kan 3D effekter kombineret med begrænset opløselighed spille ind her (med de store variationer i dalfyldet på Profil V-Ø 7 in mente). Det kan også spille ind, at afstanden mellem boringen og flyvelinjen er ca. 70 m. Toppen af profilet præges af lerede glaciale lag, men der er store variationer langs med linjen. I den østligste ende ses således et lavmodstandslag i toppen afløst af et højmodstandslag nedenunder. Det modsatte er tilfældet mellem profilkordinat 1000 og 1400 m.

Profil V-Ø 9

Profil V-Ø 9 forløber primært på skrå langs med Dal 1, men i profilets østlige ende ses også Dal 2. Her ses hvordan Dal 2 eroderer ind i siden af Dal 1, og dette viser aldersforholdet mellem de to dale. I Dal 1 ses en dal-lignende struktur internt i dalfyldet. Denne interne struktur er udfyldt med sedimenter, der har moderate modstandsniveauer, mens store dele af resten af dalfyldet har lave modstande. Der ses også en vis lagdeling i/over dalfyldet (fra omkring kote -20 m og opefter). Boringerne på profilet viser generelt, at der er lerede glaciale sedimenter i og over dalen. Boring DGU nr. 88.103 ser ikke umiddelbart ud til at stemme med SkyTEM-data, da den viser et relativt tykt sandlag i den nederste halvdel af boringen – hvor SkyTEM samtidigt viser moderat til lave resistiviteter. I brøndborens borerapport beskrives dette lag imidlertid som "fint sand med ler-revler", og dette stemmer bedre overens med de målte resistiviteter. Fyldet i Dal 2 er stadig vekslende på tværs af dalen, men overordnet set er modstandene højere i den øvre del af dalen. Dermed må det antages, at dalfyldet bliver mere sandet i den øvre del. Over dalen ses et lavmodstandslag, som må tolkes som værende ler. De tre borer, der er vist på profilet, synes ikke helt at stemme med denne lagserie, men borerne er projiceret 50-70 m ind på profilet fra nord (fra Åbo kildeplads). Det er sandsynligt, at geologien ændrer sig tilsvarende, når man bevæger sig væk fra profilet. Lagserien synes at følge terrænet som hælder i nordlig retning.

Profil V-Ø 10

Profil 10 forløber langs med Dal 1, og det er således primært denne dals fyld, der ses. Fyldet kan i store træk karakteriseres på samme måde som i Profil V-Ø 9. De to borer i den østlige del af profilet er projiceret ind fra en afstand på ca. 90 m, hvilket må antages at være årsagen til uoverensstemmelsen mellem boredata og SkyTEM-data.

Profil N-S 1

Profil N-S 1 går fra Århus Å i nord over golfbanerne og slutter ved lossepladsen på Pindsmøllevej. Dal 1, Dal 2, Dal 3 og Dal 5 passeres på profilet, og deres interne relationer kan iagttages. Ler/fyld-laget under lossepladsen, samt sandlaget nedenunder ses tydeligt i den sydlige del.

Profil N-S 2

Profil N-S 2 forløber parallelt med Profil N-S 1 og viser i store træk identiske geologiske forhold.

Profil N-S 3

Profil N-S 3 er et længdeprofil på langs med Dal 2. Det ses hvordan Dal 3 og Dal 5 skærer ind over Dal 2. Nogle af borerne på Åbo kildeplads ses i den nedre del af Dal 2. Bunden af Dal 2 ses at have et ujævnt bundrelief, og der forekommer generelt lavmodstandslag i den nedre del af dalen. Boring DGU nr. 88.1768 står midt i dalen og når en stor dybde (kote -66 m) uden at nå dalbunden. Denne boring viser nærmest den modsatte situation med sandlag i dalens nedre del og ler i den øvre del. Det er vanskelig at give en plausibel forklaring på dette forhold, dog kan en mulig forklaring være afstanden mellem boring og SkyTEM-data, som er 70 m. Der ses i øvrigt, som det også var tilfældet for DGU nr. 88.1662 og DGU nr. 88.1663, en generel opadfinende tendens for smeltevandsaflejringerne i den nederste halvdel af boringen, og overord-

net set er lagfølgen i de 3 borer opbygget på samme måde, så der synes der derfor at være en genetisk sammenhæng mellem de tre borer (at de står i samme begravede dalstruktur).

Profil N-S 4

Profil N-S 4 forløber overordnet parallelt med Profil N-S 1 og Profil N-S 2 og viser i store træk identiske geologiske forhold.

Profil N-S 5

Dette profil forløber gennem Åbo kildeplads i nord og ender ved Edslev knude i syd. Dal 2 ses at erodere ned i flanken af Dal 1. Ifølge tolkningen henter borerne på Åbo kildeplads vand fra Dal 2.

Profil N-S 6

Dette profil forløber parallelt med N-S 5 et par hundrede meter længere mod øst. Alligevel er der nogle markante forskelle, idet f.eks. Dal 3's eksistens er usikker her og er ikke skitseret. Ifølge tolkningen henter borerne på Åbo kildeplads vand fra Dal 2. Dog ses de nederste filtre at stå i aflejringer fra Dal 1. De ovenfor diskuterede borer DGU nr. 88.1663 og DGU nr. 88.1662 ses at stå i Dal 2.

Profil N-S 7

Profil N-S 7 passerer på tværs af Dal 2 i nord og følger i den sydlige del den yngre Dal 4 i dens længderetning. Også her ses at borerne på Åbo kildeplads henter vand fra Dal 2. Boring DGU nr. 88.1491 gennemborer Dal 2, og som i de andre borer ses der smeltevandsaflejringer i dalen med en overordnet opad-finende tendens. I bunden af boringen er der ifølge prøvebeskrivelserne miocæn kvartssand direkte ovenpå Søvind Mergel. Det må formodes, at de miocæne aflejringer er blevet omlejret i forbindelse med dannelsen og udfyldningen af dalen.

Profil N-S 8

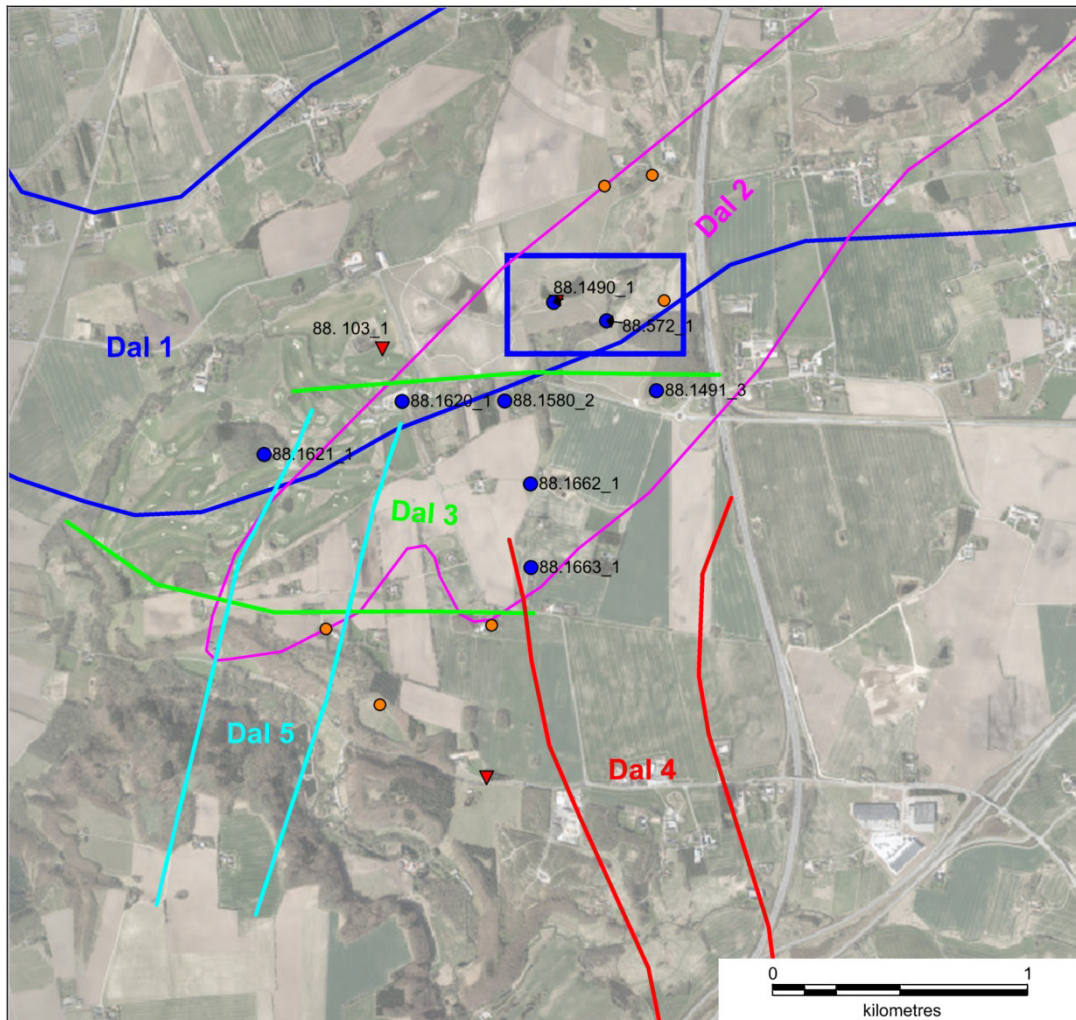
Dette profil passerer på tværs af Dal 1 i den nordlige del og på tværs af den noget mindre dybe Dal 2 i den sydlige del. Profilet passerer gennem mange af borerne ved Åbo kildeplads. Ifølge tolkningen henter borerne ved Åbo kildeplads vand fra Dal 2. De dybeste borer når ned i de underliggende Dal 1-aflejringer.

5.3 Hydrauliske sammenhænge

På grundlag af de geologiske tolkninger er der gennemført en sammenstilling med hydrologiske data fra området. Formålet med dette er at afsøge mulige hydrauliske sammenhænge relateret til de kortlagte dalstrukturer.

På nedenstående Figur 20 ses de tolkede resultater fra den seneste længerevarende prøvepumpning i afværgeboringen DGU nr. 88.1580 gennemført i efteråret 2014 (se afsnit 3.3.3). De vurderede hydrauliske sammenhænge mellem de borer, der er indgået som monitoringsboringer, viser en god overensstemmelse med de tolkede begravede dalstrukturer i området. Det bemærkes, at pumpeboringen DGU nr. 88.1580 er tolket til at være filtersat i den begravede

dal Dal 2 med en SV-NØ orientering i intervallet kote +10 til ca. -70 m. Monitoringsboringerne placeret i denne tolkede dal ser ud til at være forholdsvist bedre hydraulisk forbundne end boringer udenfor dalen. DGU nr. 88.1490 på Åbo kildeplads er filtersat i kote -75 til -80 m og vurderes dermed at indvinde vand fra den ældste begravede dal Dal 1.



Prøvepumpning i DGU 88.1580 (Rambøll, 2015)

- Vurderet hydraulisk kontakt
- Muligvis kontakt
- ▼ Ikke kontakt
- Åbo kildeplads

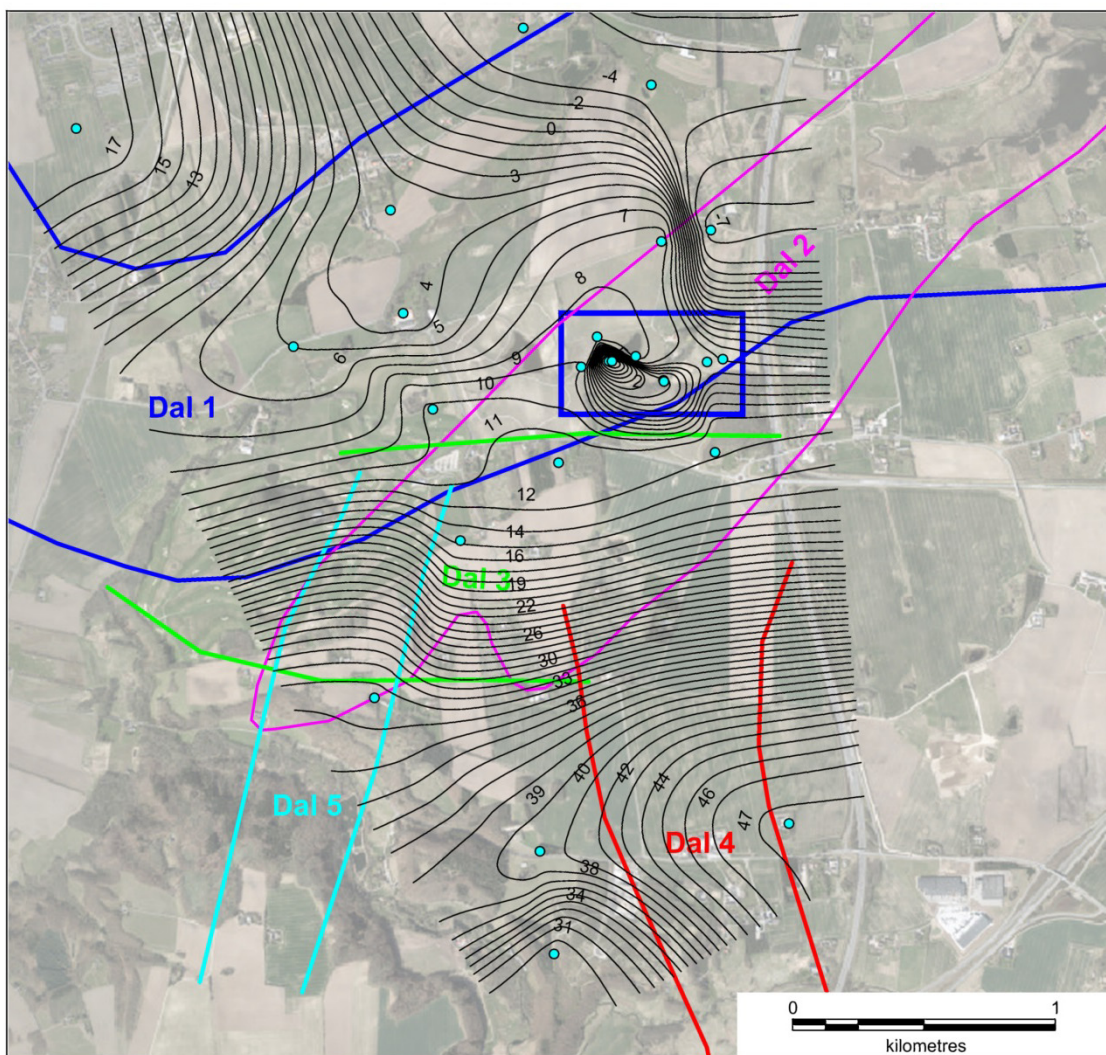
Figur 20: Vurderede hydrauliske sammenhænge tolket på grundlag af prøvepumpning i DGU nr. 88.1580, filter 1, i 2014. Tolket hydraulisk kontakt mellem filtre er angivet med blå cirkler.

Boringerne DGU nr. 88.1620 og 1621 (se Figur 20) er filtersat kotemæssigt højere end de øvrige monitoringsboringer (omkring kote +10 m), og boringerne er tolket til at være filtersat i sandet dalfyld i den fladbundede dalstruktur Dal 3. Resultaterne fra prøvepumpningen indikerer dermed, at det yngre dalfyld i Dal 3 er hydraulisk sammenhængende med det dybereliggende sand i Dal 2.

Det tolkede forløb af de begravede dalstrukturer understøttes af monitoringsboring DGU 88.103, hvor der ikke ses påvirkning fra prøvepumpningen. Boringen er filtersat i Dal 1 og dermed i et andet dalmagasin end prøvepumpningsboringen.

Moniteringsboringerne nord for kildepladsen (DGU nr. 88.1489 og 88.1296 – markeret med orange cirkler på Figur 20) viser ingen tydelig påvirkning fra pumpeboringen 88.1580, hvilket formodes at skyldes det generelle potentialebillede i området (de ligger for langt nedstrøms fra pumpeboringen).

Der er i forbindelse med opstillingen af den hydrostratigrafiske model i 2012 lavet et samlet potentialekort (Rambøll, 2013). Potentialekortet er vist på nedenstående Figur 21. De optegnede trykniveauer viser en grundvandstrømning mod kildepladsen fra sydlige retninger. Strømningen tager en svag drejning fra en orientering mod NNV til en mere nordlig eller nordøstlig retning. Potentialelinjerne indikerer dermed et svagt ændret forløb når det når den tolkede Dal 2, hvilket understøtter dens eksistens. Dette forhold kan dog muligvis også tilskrives topografiske forhold.



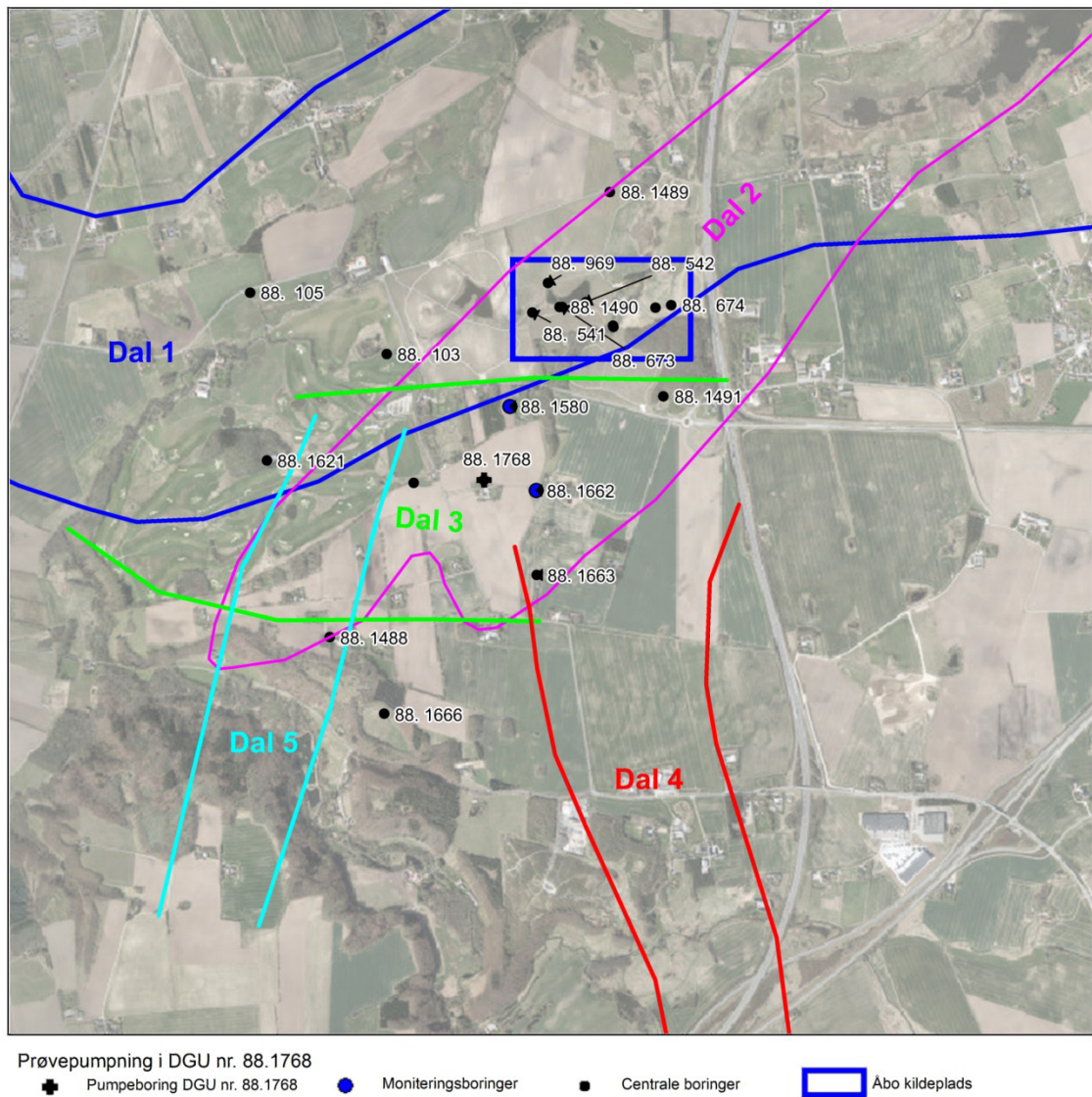
Samlet potentialekort (Rambøll, 2013)

— Potentialelinjer - 1 m ■ Pejlede boringer □ Åbo kildeplads

Figur 21: Samlet potentialekort, hvor sorte linjer angiver 1 m potentialelinjer. Lyseblå punkter angiver datagrundlaget for potentialekortet. Data fra Rambøll (2013).

Den seneste prøvepumpning i boring DGU nr. 88.1768 viser en hydraulisk kontakt til DGU nr. 88.1662, se Figur 22. Dette stemmer godt overens med tolkningen af de to boringer står i

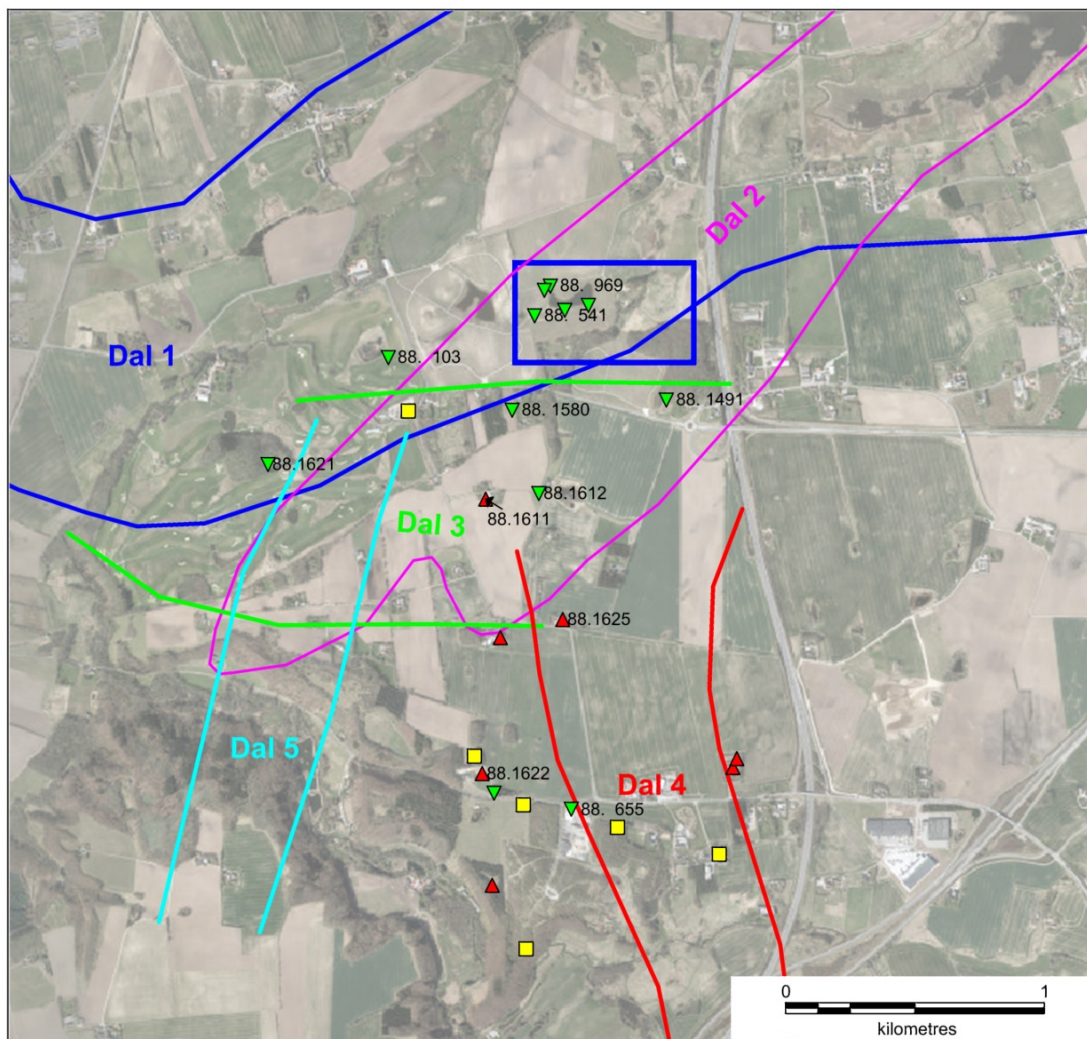
samme sedimentære enhed (se afsnit 5.2.3). At der ikke ses et respons i afværgeboringen DGU nr. 88.1580 kan skyldes, at der er pumpet med en lav ydelse, hvilket vanskeliggør et tydeligt respons i en boring, der står nedstrøms.



Figur 22: Oversigtskort med pumpeboring DGU nr. 88.1768 og de to monitoringsboringer (DGU nr. 88.1580 og 88.1662).

5.4 Grundvandskemi

Som beskrevet i afsnit 3.4.2 så har Aarhus Vand tidligere udarbejdet en analyse af grundvandskemiens ensartethed i Åbo-området. På Figur 23 er vist en sammenstilling af den grundvandskemiske cluster-analyse og den nuværende tolkning af begravede dalstrukturer.



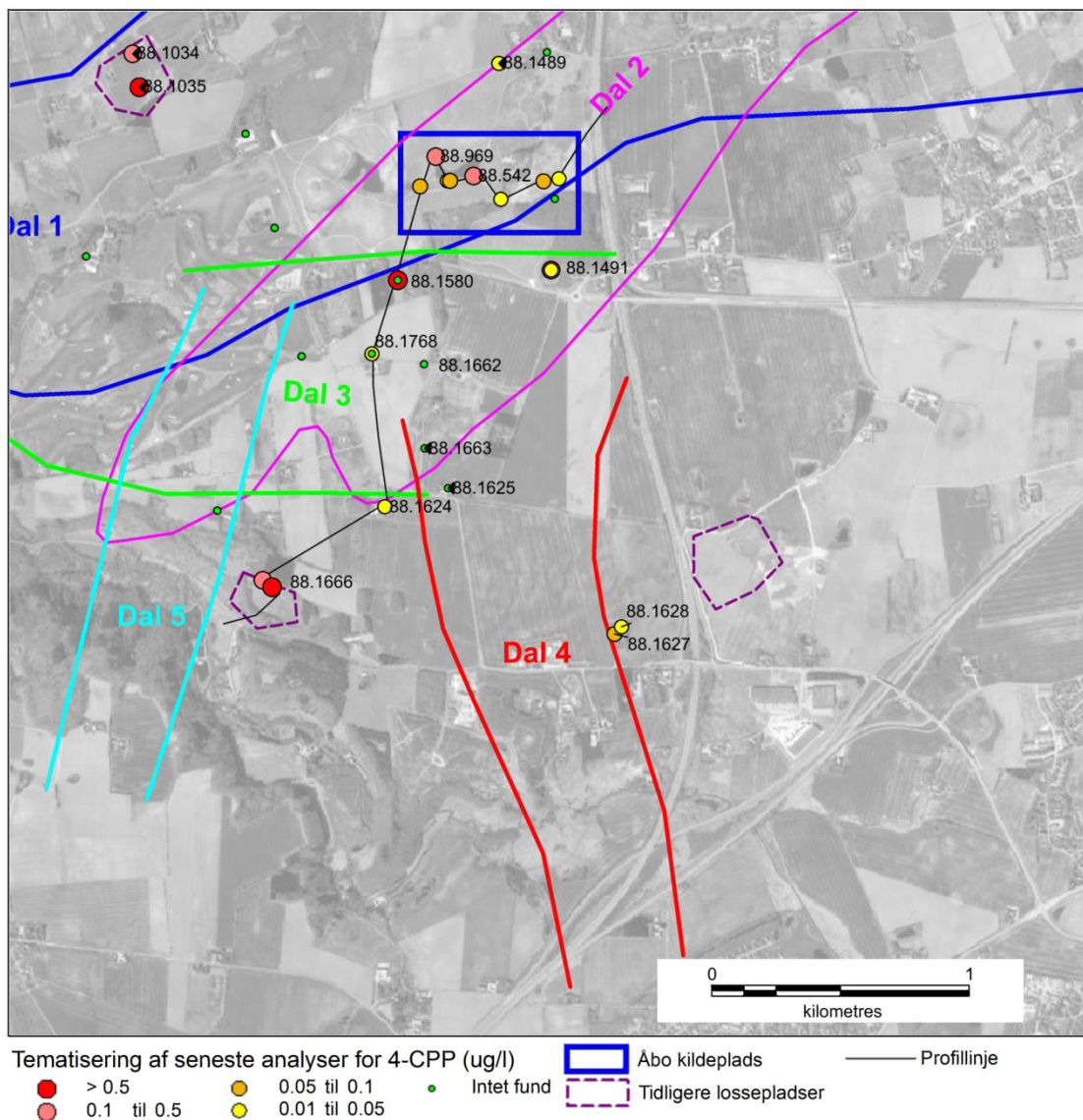
Sammenstilling af grundvandskemi
 ▼ Ensartet kemi □ Perifær kemi ▲ Uensartet kemi Åbo kildeplads

Figur 23 Sammenstilling af tolkede begravede dale og grundvandskemisk cluster-analyse (Rambøll, 2013).

Det ses ud fra de sammenstillede temaer, at grundvandsprøver med ensartet kemi findes på Åbo kildeplads, syd herfor og i borerne DGU nr. 88.103 og 88.1621. Boring DGU nr. 88.1611 er filtersat i stort set samme filterniveau som den nærliggende DGU nr. 88.1612 (kote +10 til +15 m), men kemianalyser fra boringen viser en kemisk sammensætning, der ikke ligner de øvrige borer i området. Det er umiddelbart vanskeligt at give en plausibel forklaring på dette. Tolkningen af begravede dalstrukturer modstrider ikke umiddelbart den grundvandskemiske sammensætningen i området, da borer med ensartet kemi primært er lokaliseret inden for Dal 1, Dal 2 og Dal 3 (DGU nr. 88.1621), der vurderes til dels at være hydraulisk sammenhængende. Det virker dermed også plausibelt at grundvandskemien i borerne længere mod syd adskiller sig i grundvandskemisk sammensætning.

5.4.1 Pesticider

På Figur 24 er vist en sammenstilling af de seneste analyser af nedbrydningsproduktet 4-CPP i de nærmeste borer i området. Tillige ses udstrækningen af de tolkede begravede dale.

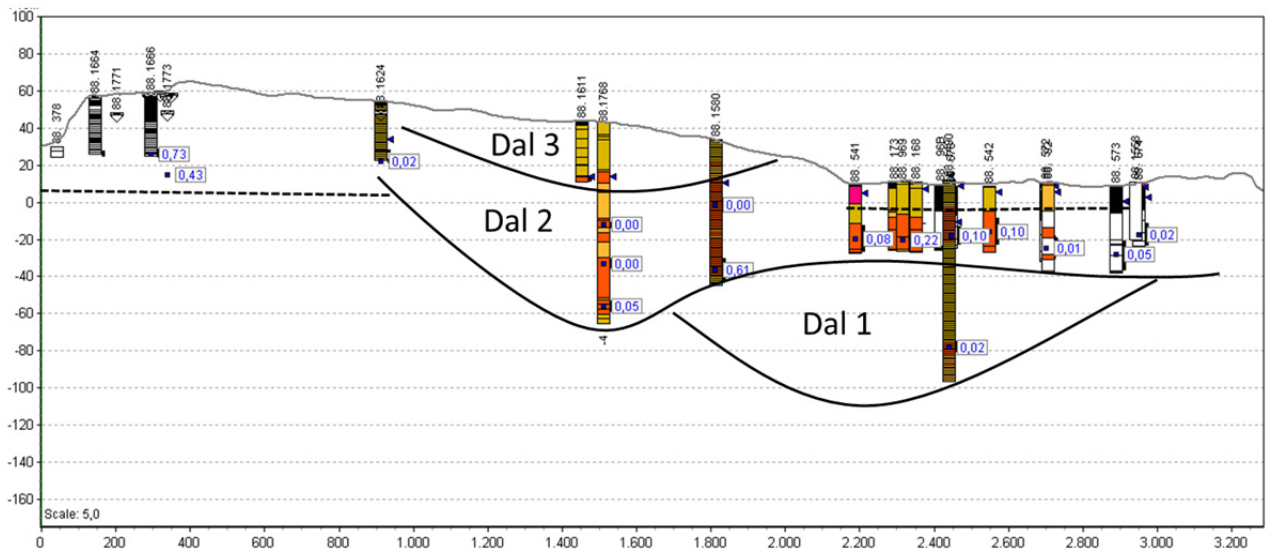


Figur 24: Sammenstilling af seneste fundne værdier af 4-CPP og tolkede begravede dalstrukturer. Placeringen af tre tidligere lossepladser er også angivet på kortet. Placeringen af profillinjen vist i Figur 25 er vist med tynd sort streg.

De højeste indhold af 4-CPP er fundet i afværgeboringen DGU nr. 88.1580 (0,61 µg/l med svagt stigende tendens, se Figur 5) og i DGU nr. 88.1666 ved lossepladsen på Pindsmøllevej (0,73 µg/l). Der ses desuden høje indhold i et par boringer ca. 1 km nordvest for Åbo kildeplads (DGU nr. 88.1035). Der forekommer særligt mange fund ved Åbo kildeplads og til dels også i området mellem Åbo kildeplads og lossepladsen ved Pindsmøllevej (DGU nr. 88.1624, 88.1768). Foruden disse boringer er der fund i DGU nr. 88.1491 sydøst for kildepladsen, DGU nr. 88.1489 nord for kildepladsen og i et par boringer 1,5 km længere mod sydøst. I Figur 25 ses et syd-nord orienteret tværsnitsprofil med seneste fund af 4-CPP ved filterindtag (µg/l). Profilet forløber gennem undersøgelsesboringerne DGU nr. 88.1666, 88.1773, 88.1624, 88.1768, 88.1580 (afværgeboringen), og vandværksboringerne (bl.a. 88.1490) på Åbo kildeplads, se Figur 24. Analyser med intet fund er angivet med 0,00. Der ses en tendens til, at koncentrationen er størst i de dybeste filtre. Således ses der kun fund i de dybeste filtre i 88.1768 og 88.1580, og ingen fund i højere filtre i disse boringer. Omvendt forholder det sig imidlertid for den dybe boring ved kildepladsen (profilkoordinat 2400 m). Her er der kun gjort et meget lille fund i det

dybe filter (0,02 µg/l). DGU nr. 88.1580 er tolket til at være placeret centralt i den begravede dalstruktur Dal 2. I samme begravede dal er der gjort fund i DGU nr. 88.1768 og i borerne ved kildepladsen, men der er ikke gjort fund i borerne DGU nr. 88.1662 og 88.1663 som findes i den sydøstlige del af dalen. Intet fund i DGU nr.88.1662 er relativt interessant, idet prøvepumpningen af DGU nr. 88.1768 viser hydraulisk kontakt til 88.1662.

Der er i DGU nr. 88.1491 beliggende vest for afværgeboringen og syd for kildepladsen gjort fund i to ud af tre filtre. Største koncentration (0,11 µg/l) er fundet i det mellemste filter. I det øvre er der kun fundet en lille koncentration (0,02 µg/l), mens der i det nederste filter ikke er gjort fund. De to nederste filtre er placeret i Dal 2. Hvorvidt det øverste filter findes i Dal 2 er usikkert.



Figur 25: Syd-nord orienteret tværsnitsprofil med angivelse af 4-CPP fund (µg/l) ved filterindtag. Værdien 0.00 angiver intet fund.

5.5 Opsporing af forureningskilder

Samlet set indikerer data at oplandet til Åbo Kildeplads skal findes i en sydvestlig retning. Dal 2 er et centralt element for styringen af grundvandets bevægelse gennem området. Dette bekræftes af prøvepumpningerne og af potentialebilledet. Dal 1 er af mindre betydning, så længe der indvindes vand fra det øverste magasin på kildepladsen. Forekomsterne og koncentrationerne af 4-CPP synes også, om end kun delvist, at understøtte en bevægelse af grundvandet i nordøstlig retning.

Med en nordøstlig strømningsretning tyder det på, at lossepladsen ved Pindsmøllevej udgør kilden for forureningen af Åbo Kildeplads. Forureningen vurderes at strømme ad nogenlunde den vej, der er angivet af profilet i Figur 25 (se Figur 24 for placering af profilet). Strømningsvejen fra lossepladsen vil dog sandsynligvis være "flerstrengt", men med en overordnet strømningsvej nogenlunde som angivet. Med en "flerstrengt" strømningsvej menes, at forureningsfanen er opdelt i en række mindre "delfaner", som hver især følger forskellige præferentielle strømningsveje, dog hovedsageligt indenfor samme overordnede korridor (Dal 2). Dette kan

være forklaringen på, at der ikke er gjort fund i DGU nr. 88. 1662 og 88. 1663 samt i flere andre borerer mellem lossepladsen og kildepladsen. At der er gjort fund af 4-CPP i DGU nr. 88.1580 og ved kildepladsen (i borerer hvor der pumpes) kan måske skyldes, at forurenings-delfanerne samles igen, der hvor der pumpes. Dette kan måske også være årsagen til, at koncentrationen af 4-CPP øges jo længere tid der pumpes i DGU nr. 88.1580.

At kilden til forurening af borererne ved Åbo kildeplads skal findes ved lossepladsen på Pindsmøllevej, stemmer som nævnt med en række observationer og tolkninger. Men flere observationer kan dog tale imod. For det første stemmer fundet i DGU nr. 88.1491 ikke helt ind i strømningsmønsteret, idet denne boring ligger et stykke længere mod øst i forhold til den mere direkte strømningsvej langs profilet (Figur 25). Det er dog et mindre fund, og filteret er stadig placeret i Dal 2. Desuden kan det, som det er tilfældet ved DGU nr. 88.1580, have en betydning, at der afværges pumpes fra boreren.

Fundet i borererne længere mod sydøst (DGU nr. 88.1627 og 88.1628) stemmer heller ikke med ovennævnte teori om, at foreningen strømmer mere eller mindre direkte fra lossepladsen ved Pindsmøllevej til kildepladsen. Der må her være tale om en sekundær kilde, der i øvrigt kun udviser små koncentrationer. Dal 4 vil imidlertid kunne påvirke en eventuel udbredelse af en forurening fra dette området, og vil kunne styre grundvandet i en nordlig retning op i mod kildepladsen. Det kan ikke udelukkes, at forureningen, der er fundet i DGU nr. 88.1491 kan være relateret til fundene i DGU nr. 88.1627 og 88.1628, og at der dermed er tale om to foreningskilder til kildepladsen.

Det vurderes, at de to fund, der er gjort ca. 1 km nordvest for kildepladsen, ikke er relateret til forureningen ved kildepladsen. Herfra vil grundvandet sandsynligvis strømme i nordøstlig retning og følge interne strukturer i Dal 1.

Fundet i DGU nr. 88.1489 nord for kildepladsen er gjort i dalfyld fra Dal 1. Dette er dog et meget lille fund (0,01 µg/l).

6. Vurdering af usikkerheder

I dette afsnit vil usikkerheden på denne rapports tolkninger og resultater blive diskuteret. Rapportens tolkninger bygger på både geofysiske data og boredata, og der er naturligvis usikkerheder relateret til begge disse datasæt. Desuden er der opbygget en overordnet forståelsesmodel for området, primært omhandlende begravede dale, og sidst men ikke mindst er der foretaget konkrete tolkninger af geologiske strukturer og aflejringer i området. Til disse tolkninger er der, i varierende omfang, også knyttet en grad af usikkerhed.

6.1 Usikkerhed på data

Det har flere steder vist sig, at når TEM-data og boredata sammenlignes, er der ret store forskelle på, hvad boredata viser, og hvordan TEM-data umiddelbart normalt ville tolkes. Der er relativt mange steder, hvor boringer viser tykke lagserier af sandede lag, og hvor der ikke samtidigt ses høje modstande i boredata. De konkrete tilfælde er blevet analyseret, og årsagen til diskrepansen synes at være forskelligartet fra tilfælde til tilfælde. Nogle steder skyldes det usikkerhed i boredata (mangelfulde prøvebeskrivelser), andre steder synes årsagen at skyldes usikkerheder i TEM-data pga. koblinger til kulturelle ledere, og andre steder igen skyldes det stærke rumlige variationer i geologien, som geofysikken ikke kan opløse. Desuden kan årsagen nogle steder være, at der forekommer ækvivalente resistivitetsmodeller – altså flere modeller der tilpasser de målte data lige godt. Alle disse forhold påtvinger en relativt høj grad af subjektivitet i de geologiske fortolkninger af geofysikken.

Overordnet set, når disse forhold tages i betragtning, synes de ny-indsamlede SkyTEM-data dog at fremvise en god kvalitet. De har en god indtrængning og viser mange troværdige detaljer i geologien, og det faktum, at de er indsamlet i et relativt tæt netværk gør, at geologien opløses bedre end ved de tidligere indsamlede geofysiske data. Der er dog, som nævnt ovenfor, en begrænsning i den laterale opløselighed, idet de geologiske forhold er meget komplekse, og afstanden mellem flyvelinjerne er for stor i forhold til denne kompleksitet. Dette medfører en forholdsvis høj grad af fortolkning af strukturer og lag mellem linjerne.

6.2 Usikkerhed på tolkninger

Som nævnt bygger de geologiske tolkninger på en overordnet forståelse af geologien. Denne forståelsesmodel omfatter, at de geologiske lag fra Palæogen til terræn i meget stort omfang er opbygget af mange generationer af begravede dale og deres fyld. Forståelsesmodellen må betragtes som forholdsvis sikker, da det er sådan de geologiske forhold generelt ser ud i området omkring Århus. Den seismiske linje, der passerer lige forbi undersøgelsesområdet understøtter desuden tolkningsmodellen. Dog kan der være andre forhold der gør sig gældende i området. Særligt må her nævnes forekomster af glacialtektonik, som vil kunne gøre den geologiske opbygning yderligere kompliceret. Forekomster af glacialtektoniske deformationer i lagserien, og dermed af de begravede dale er sandsynlige, men ikke direkte påvist. Store variatio-

ner i flere af de begravede dales fyld kunne dog meget vel indikere glacialtektonisk deformation. Endvidere kan der forekomme forkastninger gennem området relateret til saltbevægelser i undergrunden, og der kan desuden eventuelt forekomme skred og kollaps af dalsider i dybe dale. Eventuelt kan dele af den sydlige flanke af Dal 1 (som er dyb) være påvirket af store skredstrukturer.

De enkelte dalstrukturer, der er identificeret og kortlagt er for nogles vedkommende ret sikre og andres vedkommende relativt usikre. Dal 1's eksistens er sikker, men dens afgrænsning mod syd i undersøgelsesområdet er i nogen grad usikker. Dal 2's eksistens er forholdsvis sikker, men det varierende fyld i dalen betyder, at den kun fremstår diffust i data. Dal 3 udgør en aflang geologisk struktur, som ikke med sikkerhed er en egentlig begravet dal. Det er dog relativt sikkert, at der er tale om en sammenhængende struktur, der forløber på tværs af området højt i lagserien. Forekomsten af Dal 4 er sikker, idet den tydeligt ses i den palæogene ler. Fortsættelsen af Dal 4 mod nord er usikker, og aldersrelationen mellem denne og Dal 2 og Dal 3 er usikker. Dal 5 er en aflang, sandet geologisk struktur, som ikke med sikkerhed består af en egentlig begravet dal. Der er dog med stor sandsynlighed tale om en sammenhængende struktur, der ligesom Dal 3, forløber på tværs af området højt i lagserien.

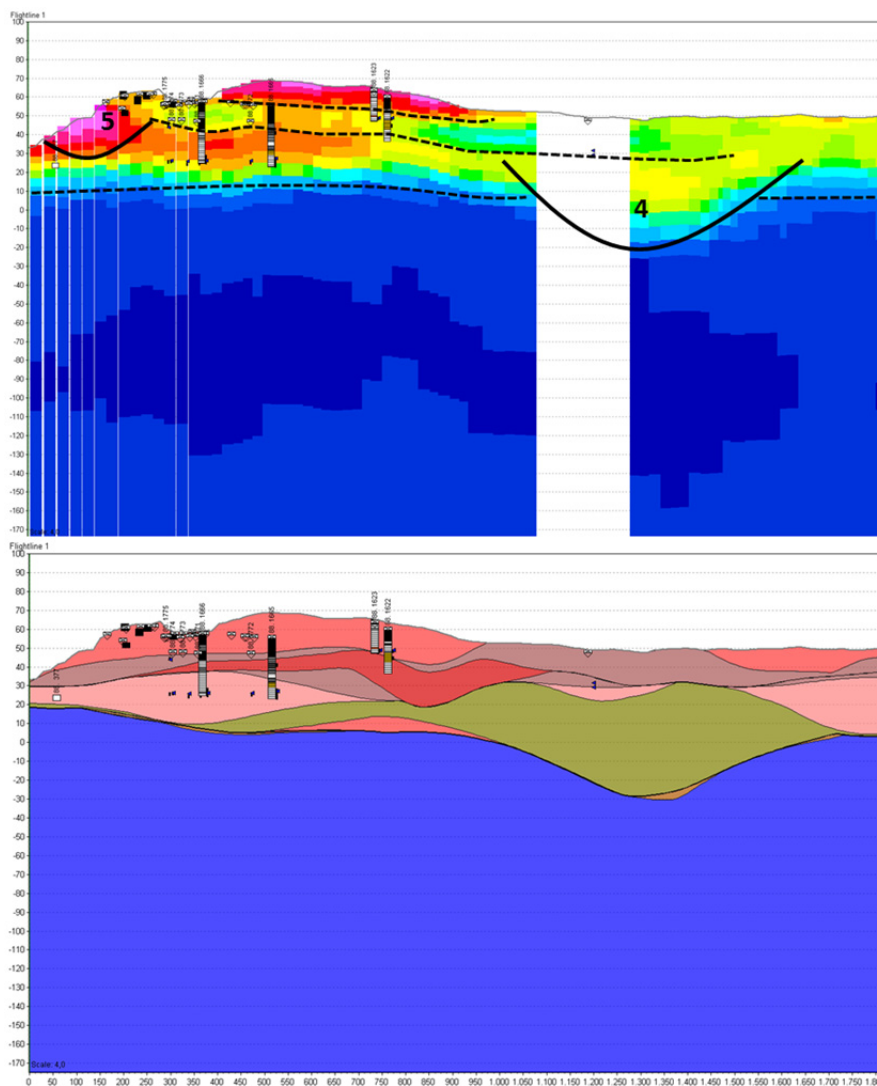
Vurderingen af, at kilden til 4-CPP-forureningen skal findes ved lossepladsen på Pindsmøllevej er i nogen grad usikker. Dette skyldes til dels, at der er nogen usikkerhed på de geologiske og dermed de hydrologiske tolkninger, som jo danner grundlag for vurderingen. Desuden kan der eksistere ukendte kilder i området, men af de kendte mulige kilder vil lossepladsen ved Pindsmøllevej være den mest sandsynlige. Det vurderes, at selv hvis lossepladsens eksistens var ukendt, ville der være blevet peget på omtrent samme område for et muligt sted for en forurening.

7. Sammenligning med tidligere tolkninger

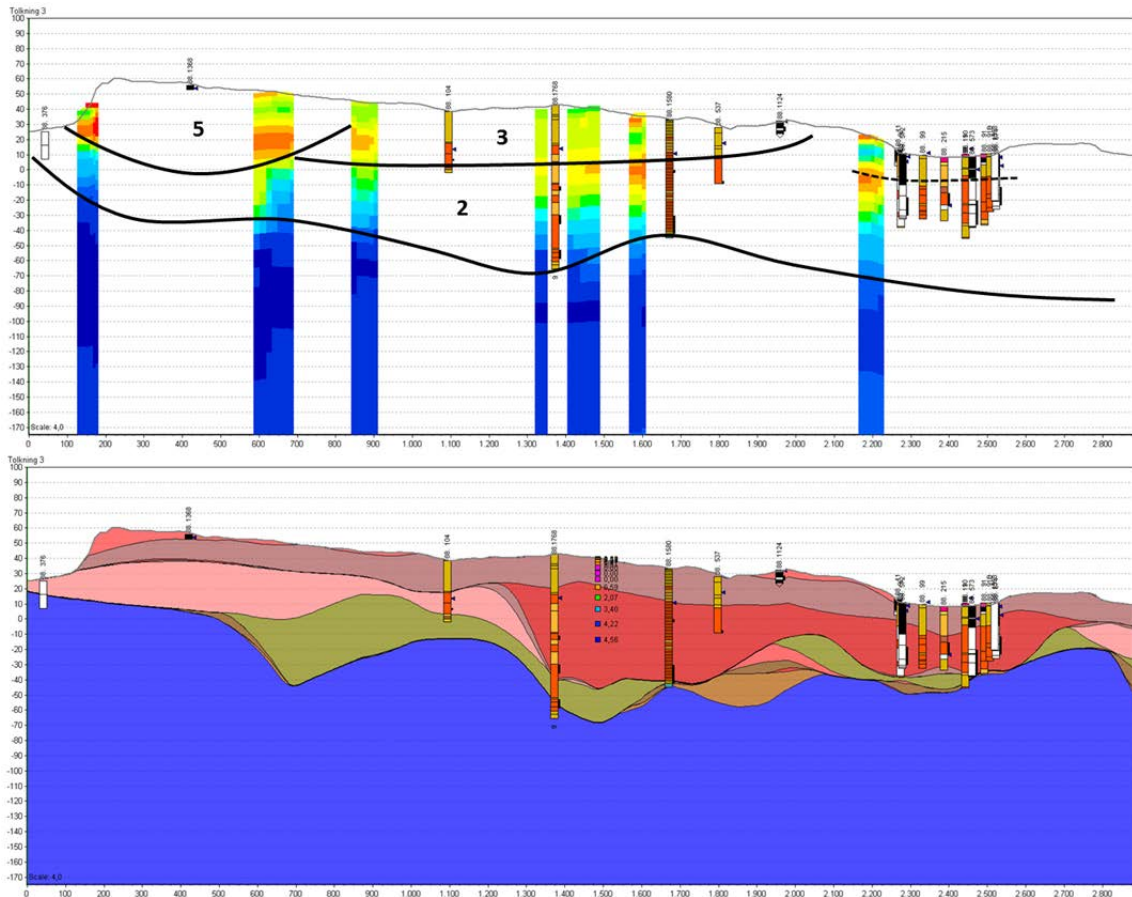
7.1 Eksisterende hydrostratigrafisk model for Åbo kildeplads

Den hydrostratigrafiske model for Åbo Kildeplads er senest blevet opdateret i starten af 2015 (Rambøll, 2015). Der er herefter blevet etableret en ny undersøgelsesboring, DGU nr. 88.1768, (Orbicon, 2015) og indsamlet SkyTEM data, som beskrevet i afsnit 0. De nye data har bidraget til en forbedret viden om geologien i forhold til modelleringen i 2015, hvilket er visualiseret og beskrevet ved nogle eksempler nedenfor.

I Figur 26 ses SkyTEM-data med tilhørende tolkning således sammenlignet med de hydrostratigrafiske modellag i profil V-Ø 1. Dal 4 ses i den hydrostratigrafiske model som en fordybning i den palæogene ler, men dalfyldet begrænser sig ikke kun til dalen. Dal 5 ses ikke, og generelt synes der at være flere lag end godtgjort i borer og SkyTEM-data.



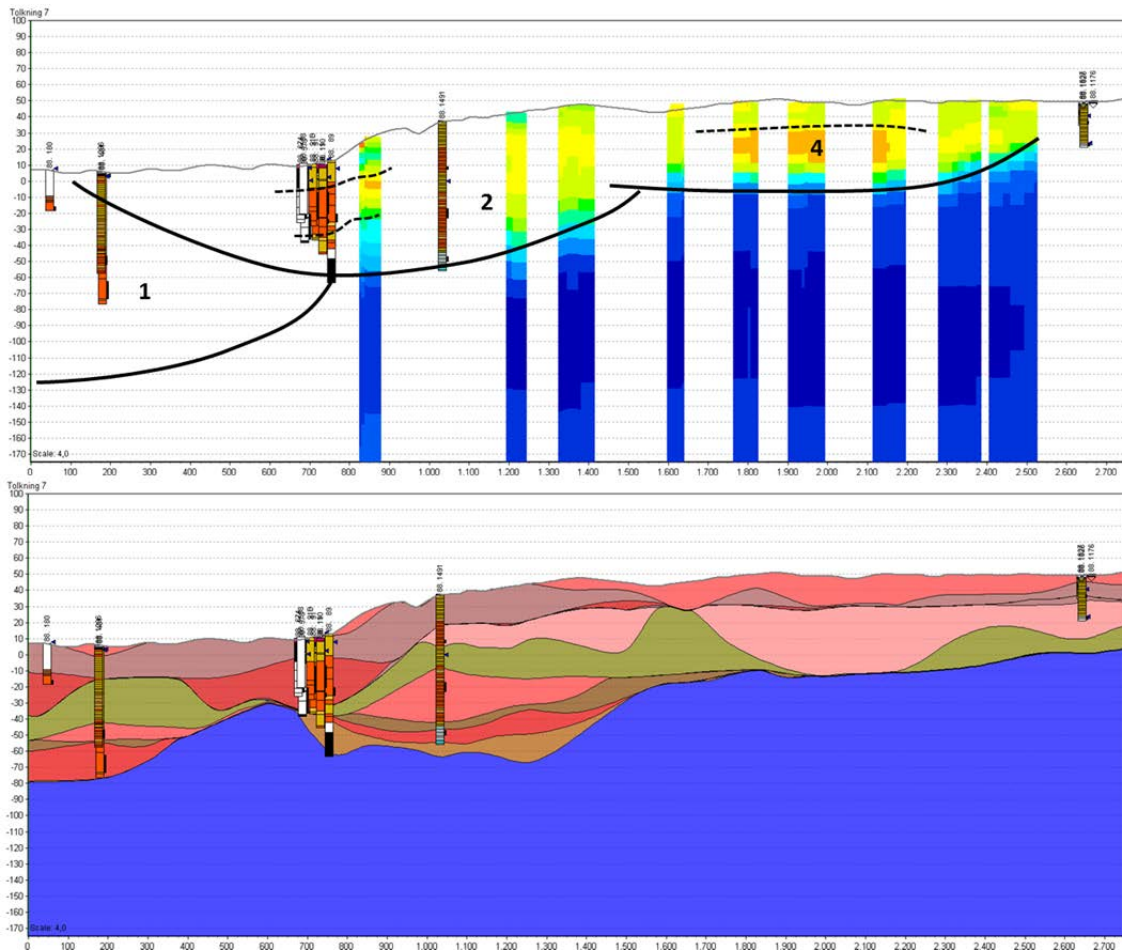
Figur 26. Profil V-Ø 1. Sammenligning mellem den hydrostratigrafiske model (Rambøll 2015) og de nye data og tolkninger. På profilet nederst ses de hydrostratigrafiske modellag med farvet baggrund, hvor magasinenheder er vist med rødt. Borer, SkyTEM og nye daltolkninger (sorte streger) er på øverste profilsnit.



Figur 28: Profil N-S 3. Sammenligning mellem den hydrostratigrafiske model (Rambøll 2015) og de nye data og tolkninger. På profilet nederst ses de hydrostratigrafiske modellag med farvet baggrund, hvor magasinenheder er vist med rødt. Boringer, SkyTEM og nye daltolkninger (sorte streger) er på øverste profilsnit.

Profil N-S 7 (se Figur 29) antydes bade Dal 1 og Dal 2 men deres indbyrdes relation er ikke sammenlignelig med den nye tolkning, hvor Dal 1 er ældre end Dal 2. I modellen er dalfyldet i de to dale identisk blot afbrudt af en tærskel i den palæogene ler. Igen er der mange flere modellag end der kan identificeres i data.

Generelt er der store forskelle mellem den hydrostratigrafiske model og tolkningerne i denne rapport. De begravede dale er kun i beskedent omfang indbygget i modellen, og der forekommer flere modellag end data kan give information om. Udgangspunktet for modelopbygningen har været at opstille en digital, lagdelt model for hele modelområdet på et relativt spinkelt datagrundlag (i forhold til den geologiske kompleksitet). Dette er en vanskelig opgave og modellen vurderes derfor at være meget usikker.



Figur 29: Profil N-S 7. Sammenligning mellem den hydrostratigrafiske model (Rambøll 2015) og de nye data og tolkninger. På profilet nederst ses de hydrostratigrafiske modellag med farvet baggrund, hvor magasinenheder er vist med rødt. Boringer, SkyTEM og nye daltolkninger (sorte streger) er på øverste profilsnit.

De nye data giver et forbedret billede af de geologiske forhold. Desuden er der i nærværende udredning af geologien anvendt et andet koncept for den geologiske forståelse. De begravede dale, som generelt er dominerende i området spiller en altoverskyggende rolle i denne konceptuelle forståelse. Hele lagserien består af dale, der gentagne gange er nederoderet og udfyldt – altså består den stort set udelukkende af forskellige dalgenerationer. For at kunne opstille en rumlig digital geologisk model skal disse dalstrukturer – erosionsflader, såvel som dalfyld – kortlægges og indarbejdes. Dette er en meget vanskelig opgave at udføre ved anvendelse af lagmodellering med mange gennemgående lag. For at kunne håndtere de mange rumlige detaljer, der er defineret af dalenes interne rumlige relationer samt af de enkelte dales varierende indhold, vil det være relevant at opstille modellen som en voxel-model (se afsnit 8).

8. Oplæg til yderligere undersøgelser

En mulighed for at komme en opsporing af 4-CPP forureningen i området nærmere vil være, at forbedre den geologiske forståelse og dermed grundlaget for, at kunne udpege forureningskilden med større sikkerhed. Desuden vil man i højere grad kunne estimere forureningens udbredelse og dermed dens bevægelse mellem forureningskilde og kildeplads. Som tilfældet er nu, er det ikke muligt, at forudsige en præcis strømningsvej, især ikke hvis forureningsfanen er splittet op i flere delfaner. For at gå denne vej kan der gøres følgende:

1. *Indsamling af yderligere data.* Hvis muligt, vil det være hensigtsmæssigt, at gennemføre en seismisk kortlægning af mindre omfang i området. Dette vil give information om den strukturelle opbygning af geologien i området og vil kunne bekræfte og præcisere de geologiske tolkninger. En sådan kortlægning vil nedbringe usikkerheden af tolkningerne og gøre dalenes afgrænsning mere præcise. Der kan indsamles log-data (gamma-logs) i tilgængelige borer, primært borer mellem kildepladsen og lossepladsen. Dette vil forbedre muligheden for korrelation mellem borerne og gøre tolkningen af geologien mere sikker og præcis. Der kan udføres nye borer på nøje udvalgte steder, således at der indhentes vigtige geologiske, hydrologiske og kemiske data til brug i tolkningen. Der kan indsamles yderligere vandprøver i forskellige borer, som analyseres for 4-CPP m.m.
2. *Opdatering af geologiske og hydrogeologiske tolkninger.* På grundlag af nyindsamlede data opdateres de geologiske og hydrogeologiske tolkninger. Dette bør gøres samtidigt med indsamlingen af nye data, således at indsamlingen optimeres (mht. fx placering af borer mm.).
3. *3D geologisk voxel-model.* Der opstilles en 3D digital model til brug ved efterfølgende strømningsmodellering. Modellen opstilles som en voxelmodel på grundlag af de opdaterede geologiske og hydrogeologiske tolkninger. En voxelmodel-opstilling vil sikre muligheden for at indarbejde stor detaljerigdom på optimal vis.
4. *Grundvandsmodel.* Der opstilles en strømningsmodel (grundvandsmodel) på baggrund af den geologiske voxelmodel. Heri inddrages desuden alle tilgængelige hydrauliske data, bl.a. prøvepumpningsdata. Resultaterne fra strømningsmodellen vil kunne give feedback til den geologiske model, og der vil således kunne opnås vigtig indirekte geologisk information ad denne vej. Modellen vil kunne give et fingerpeg om strømningsdynamikken i området og vil vha. partikelbaneberegninger kunne kortlægge transportveje fra udvalgte lokaliteter. Modellen vil dermed, optimalt set, kunne pege på placeringen af forureningskilden. Desuden kan modellen benyttes til forskellige scenarieanalyser. Det vil være muligt at udbygge strømningsmodellen med en stoftransportmodel, som kan tage forhold som opblanding og nedbrydning af forureningskomponenter i regning. Ved antagelse af kendskab til kildens placering og styrke kan koncentrationen af forureningen på et givet sted og tidspunkt beregnes.

9. Referencer

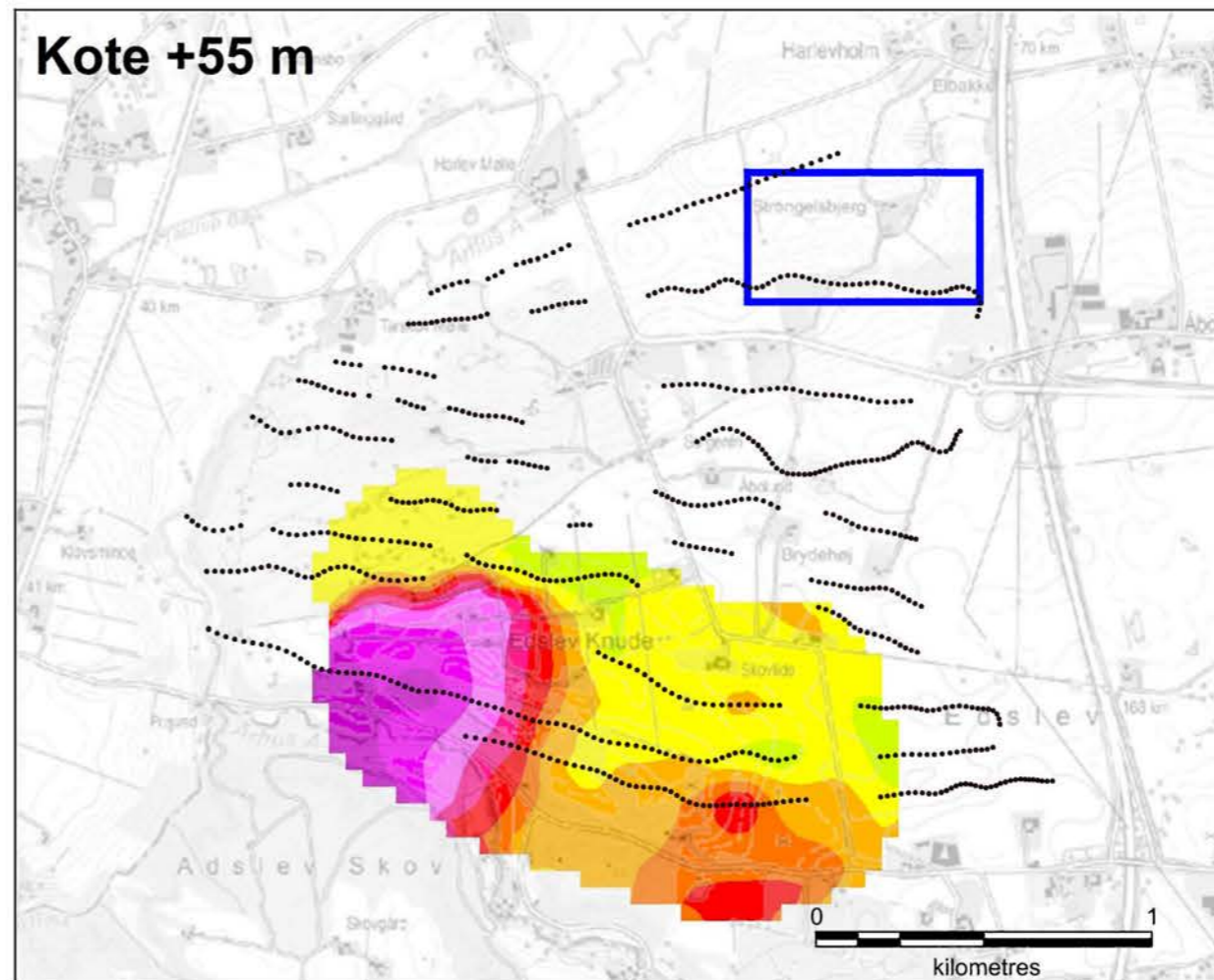
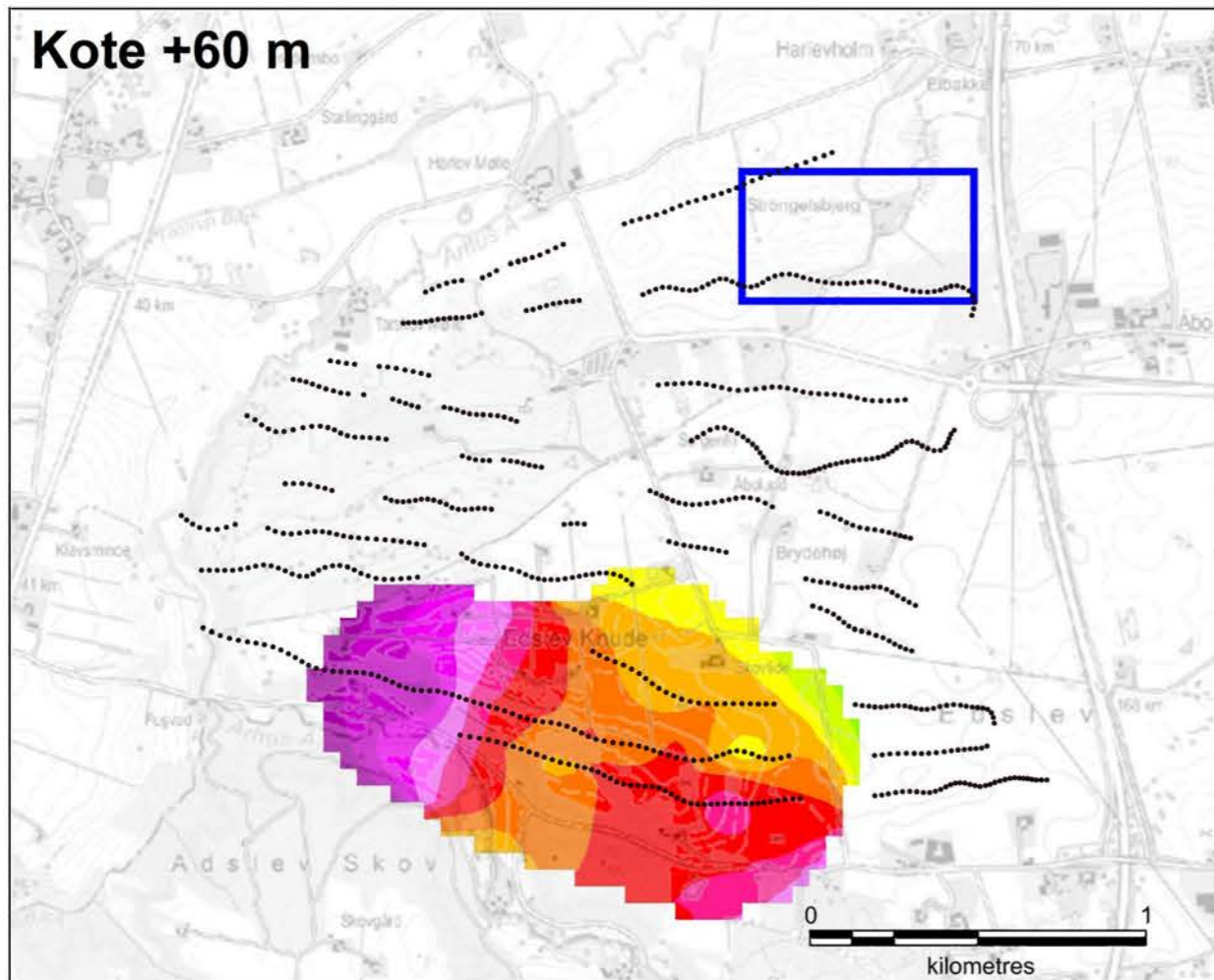
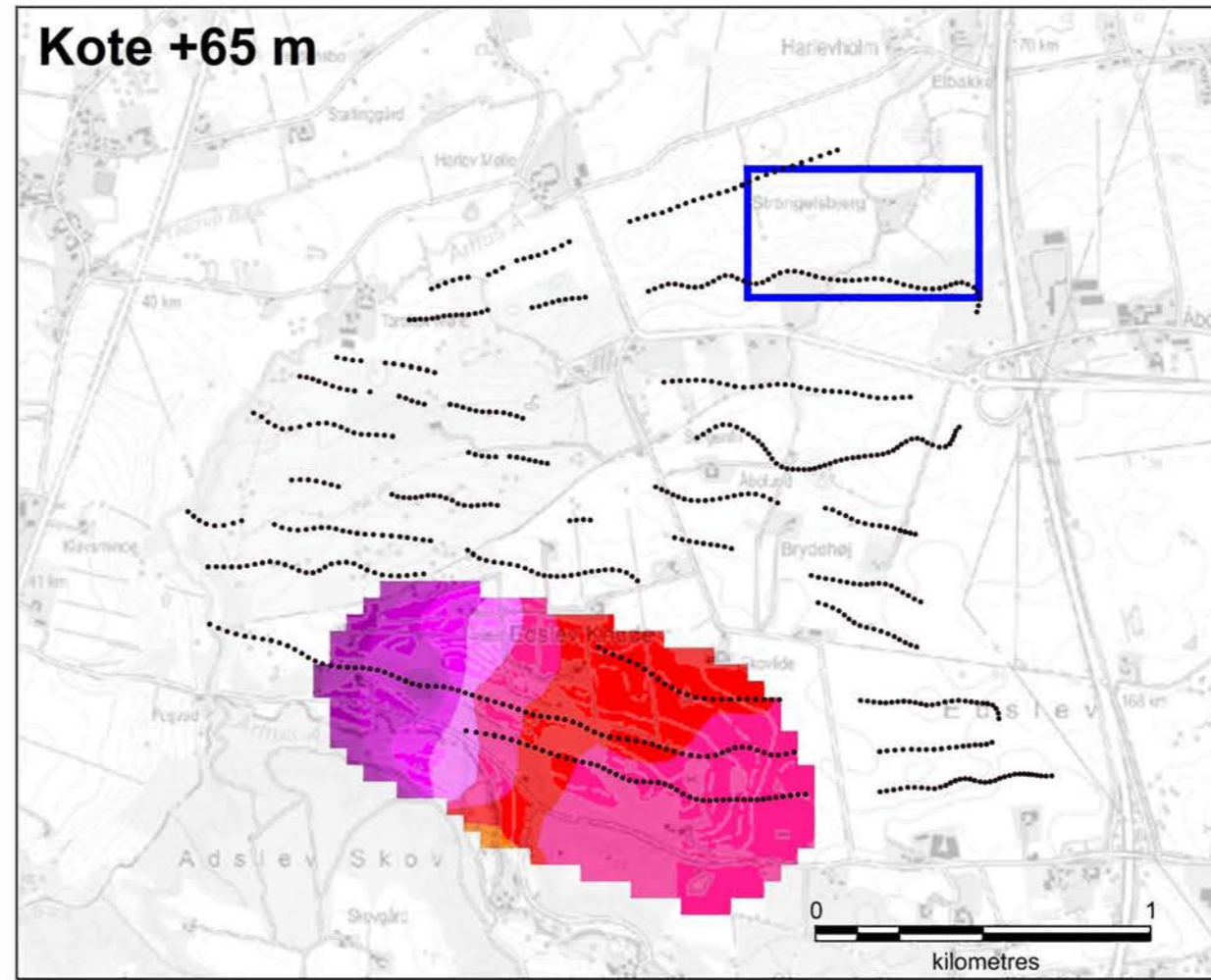
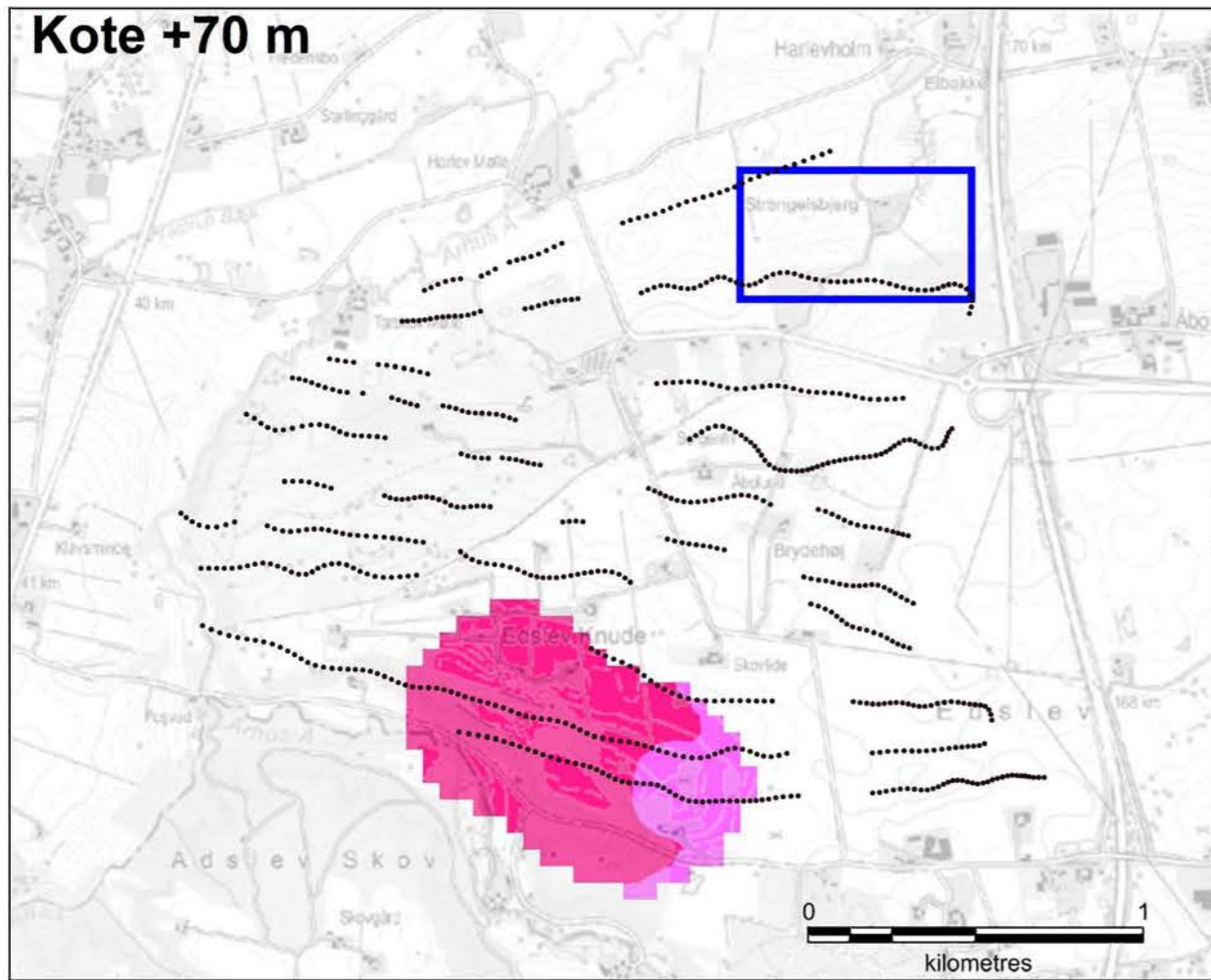
- Aarhus Universitet, Geologisk Institut (2003):* SkyTEM kortlægning – Stilling – Stjær, data-rapport, marts 2004
- Lykke-Andersen (2006):* Geologisk tolkning af refleksionsseismiske linjer profiler, Geologisk Institut, AU, juni 2006.
- Orbicon (2015):* ”Åbo – pesticidforurening”, Region Midtjylland, notat, november 2015.
- Rambøll (2006):* Seismik ved Harlev. Linjerne HAR1 og HAR2 udført for Geologisk Institut, Aarhus Universitet
- Rambøll (2013):* ”Opdatering af hydrostratigrafisk model Åbo”, Region Midtjylland, notat, november 2013.
- Rambøll (2015):* ”Åbo Kildeplads, supplerende undersøgelser”, Region Midtjylland, rapport, februar 2015.
- Sandersen og Jørgensen (2016):* Kortlægning af begravede dale i Danmark, opdatering 2010-2015, Bind 1: Hovedrapport (foreløbig)



10. Bilag

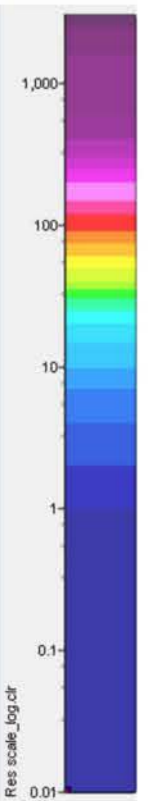
10.1 SkyTEM – middelmodstandskort

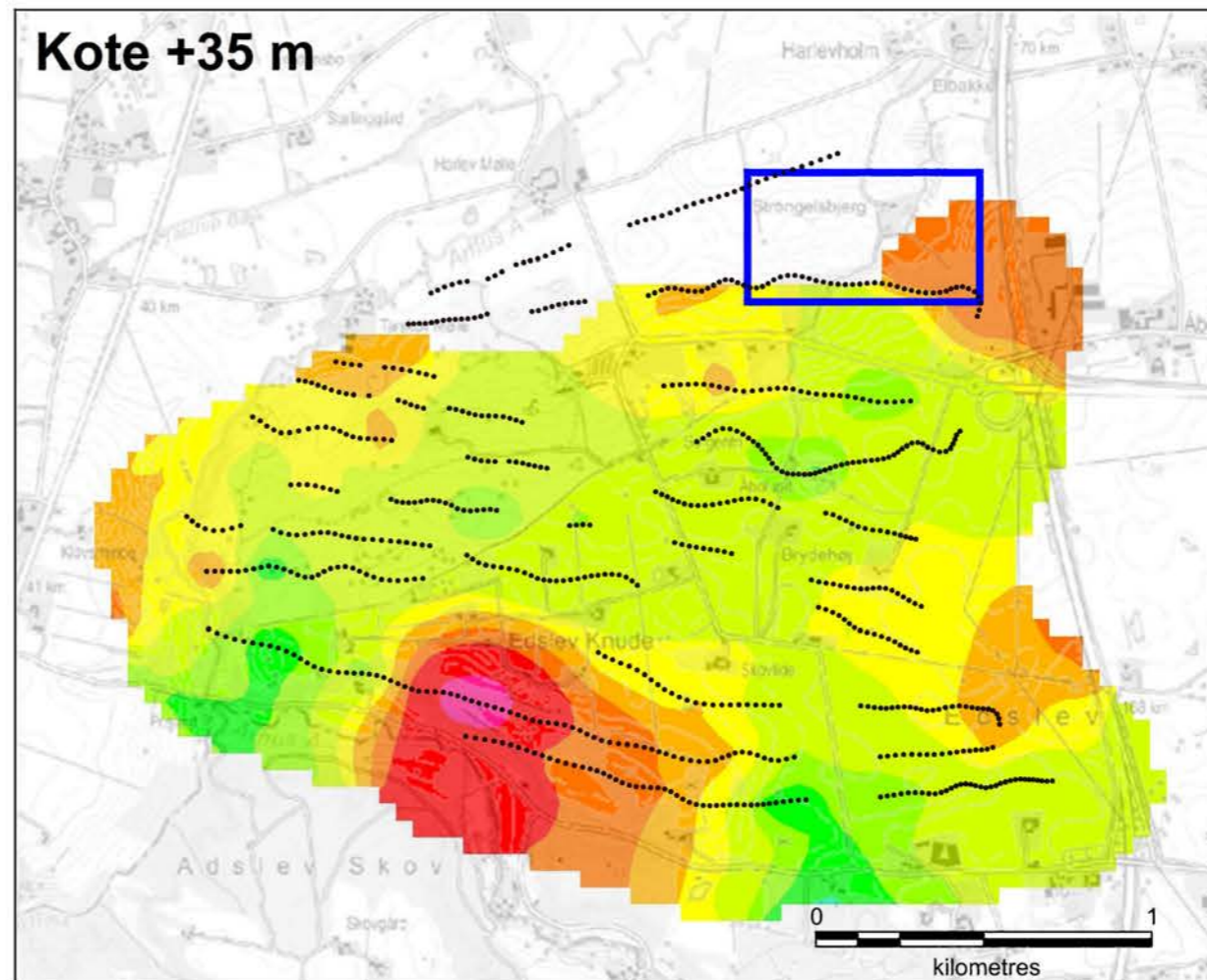
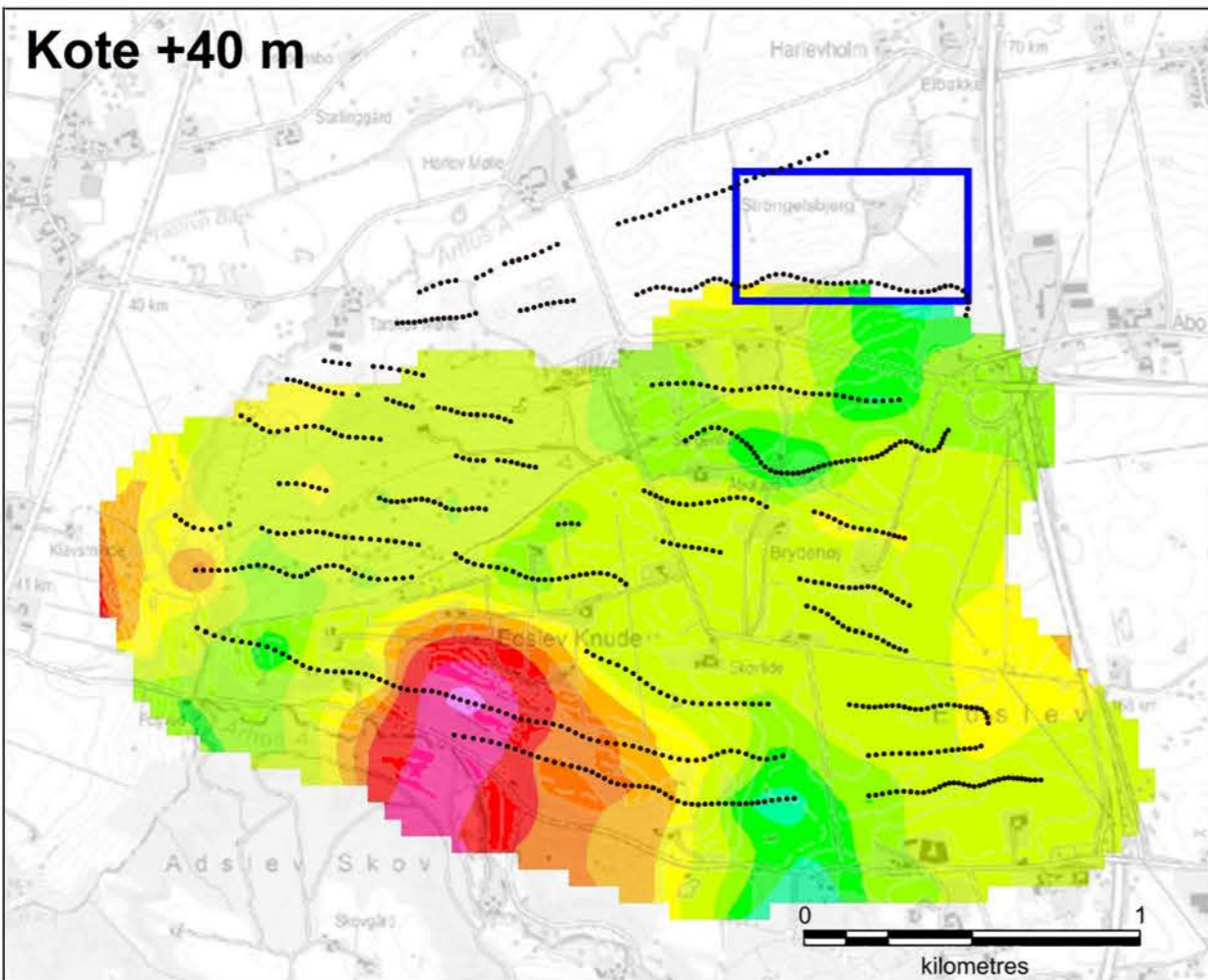
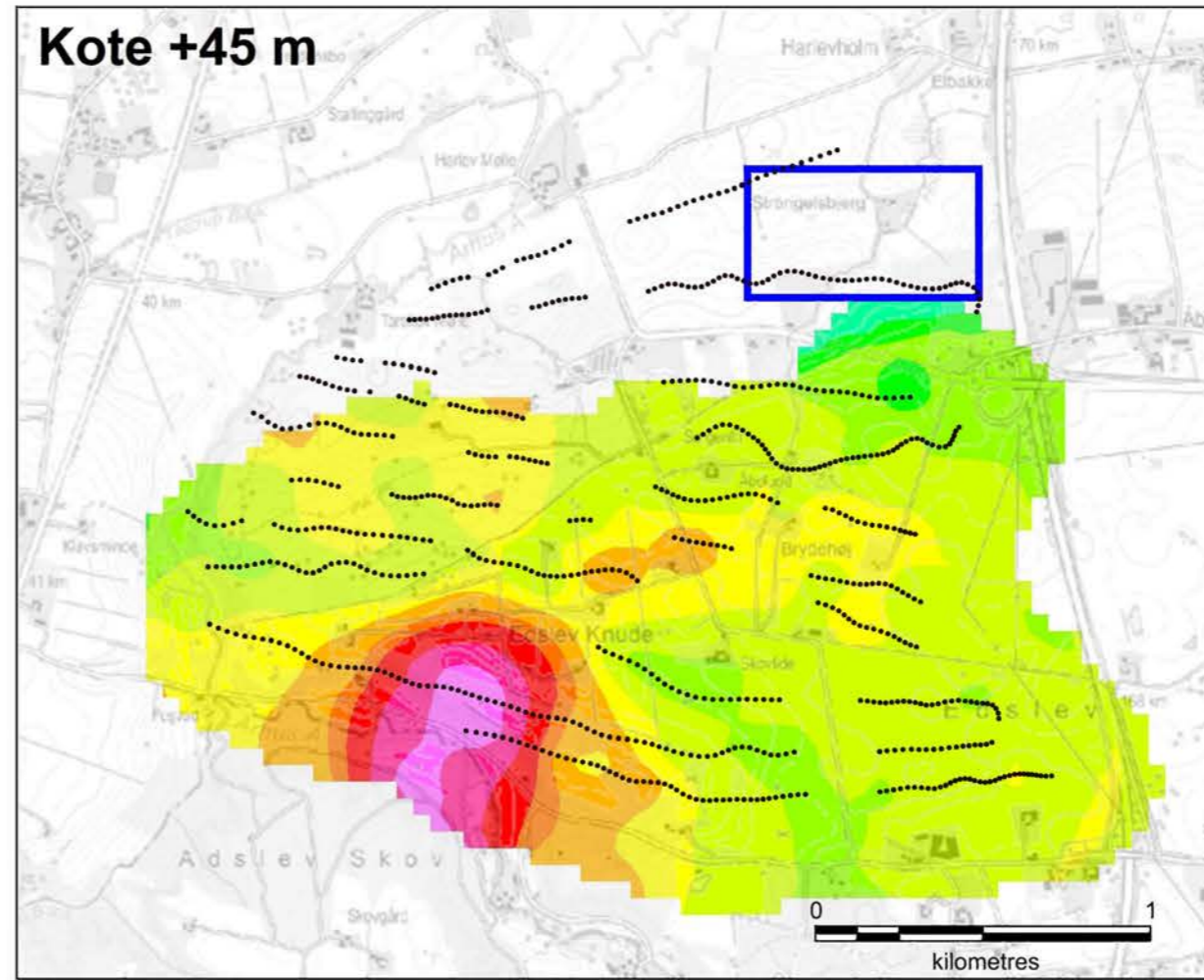
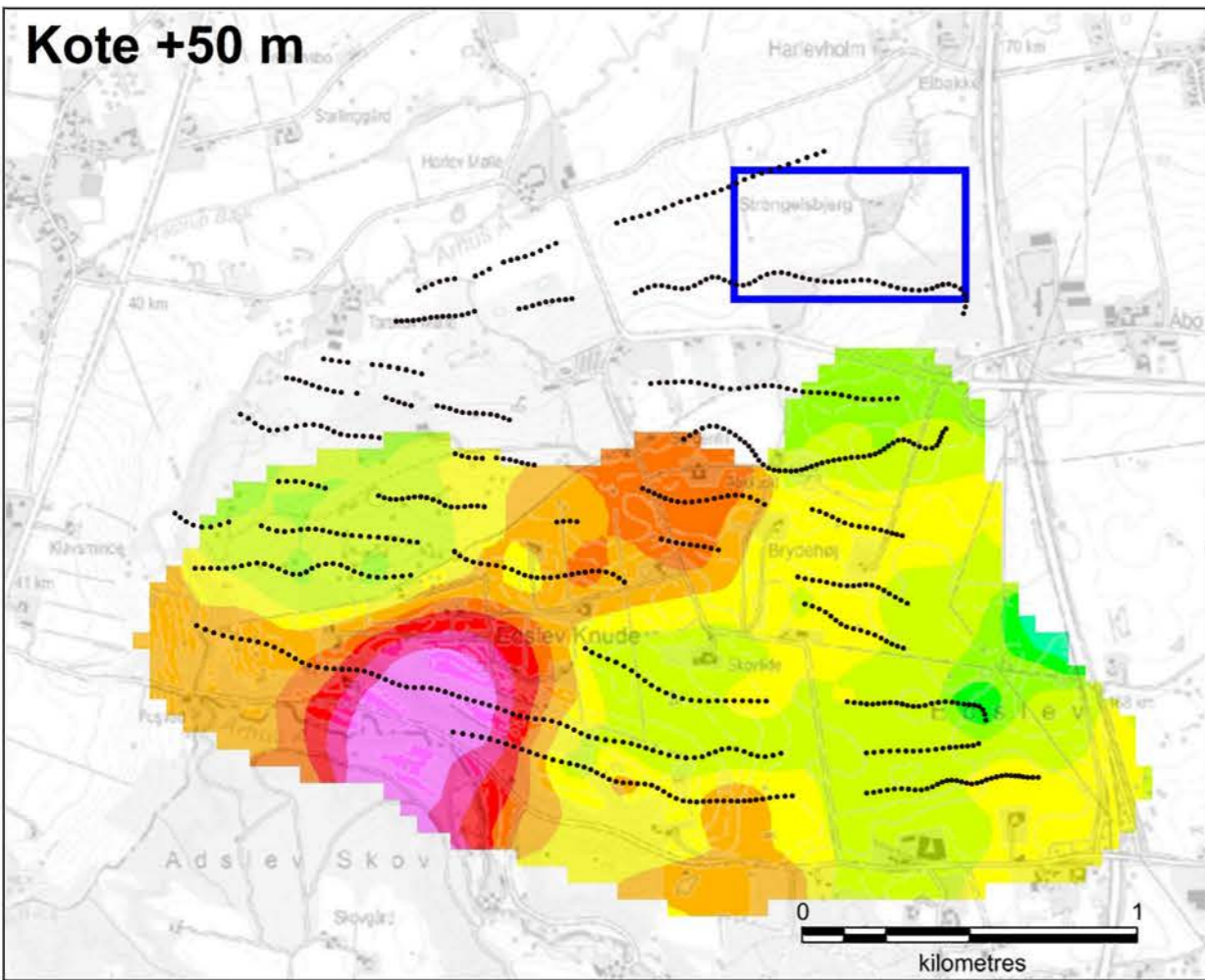
10.2 SkyTEM – flyvelinjer


10.3 Tolkede profiler

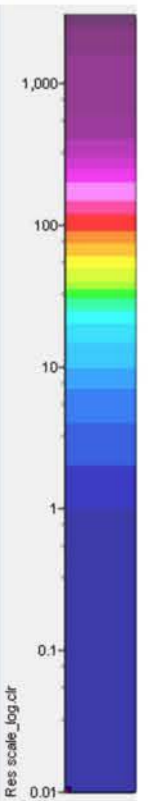


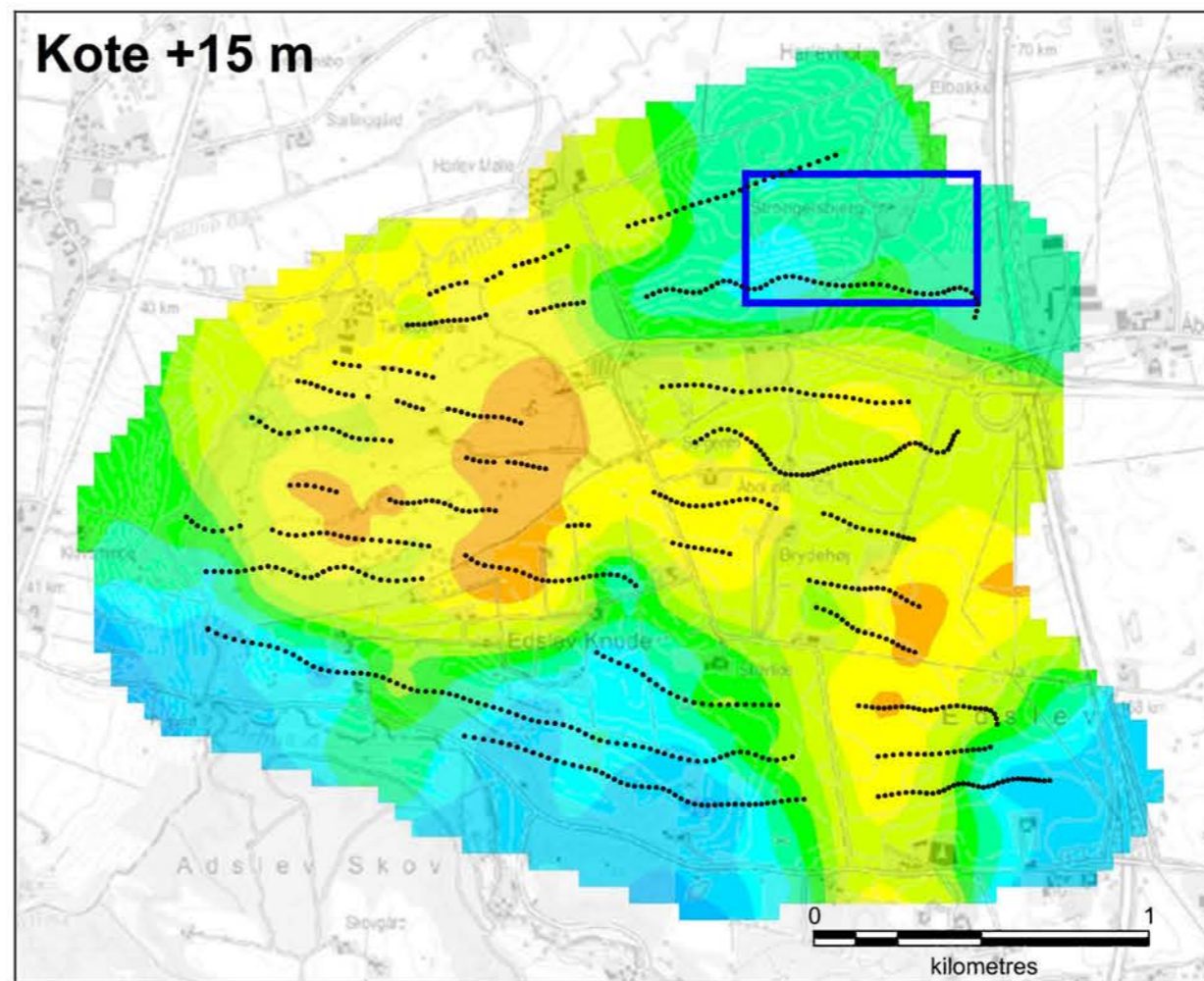
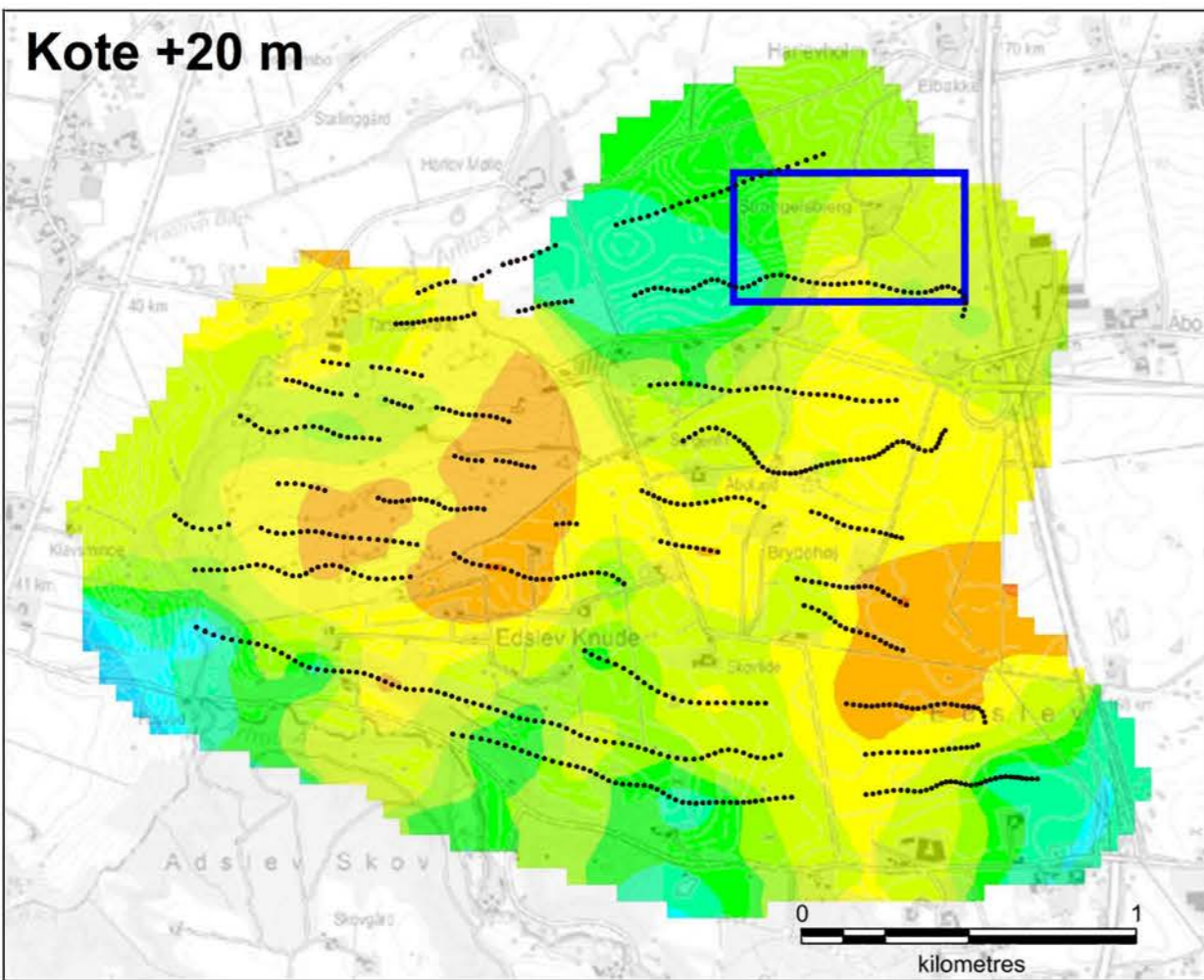
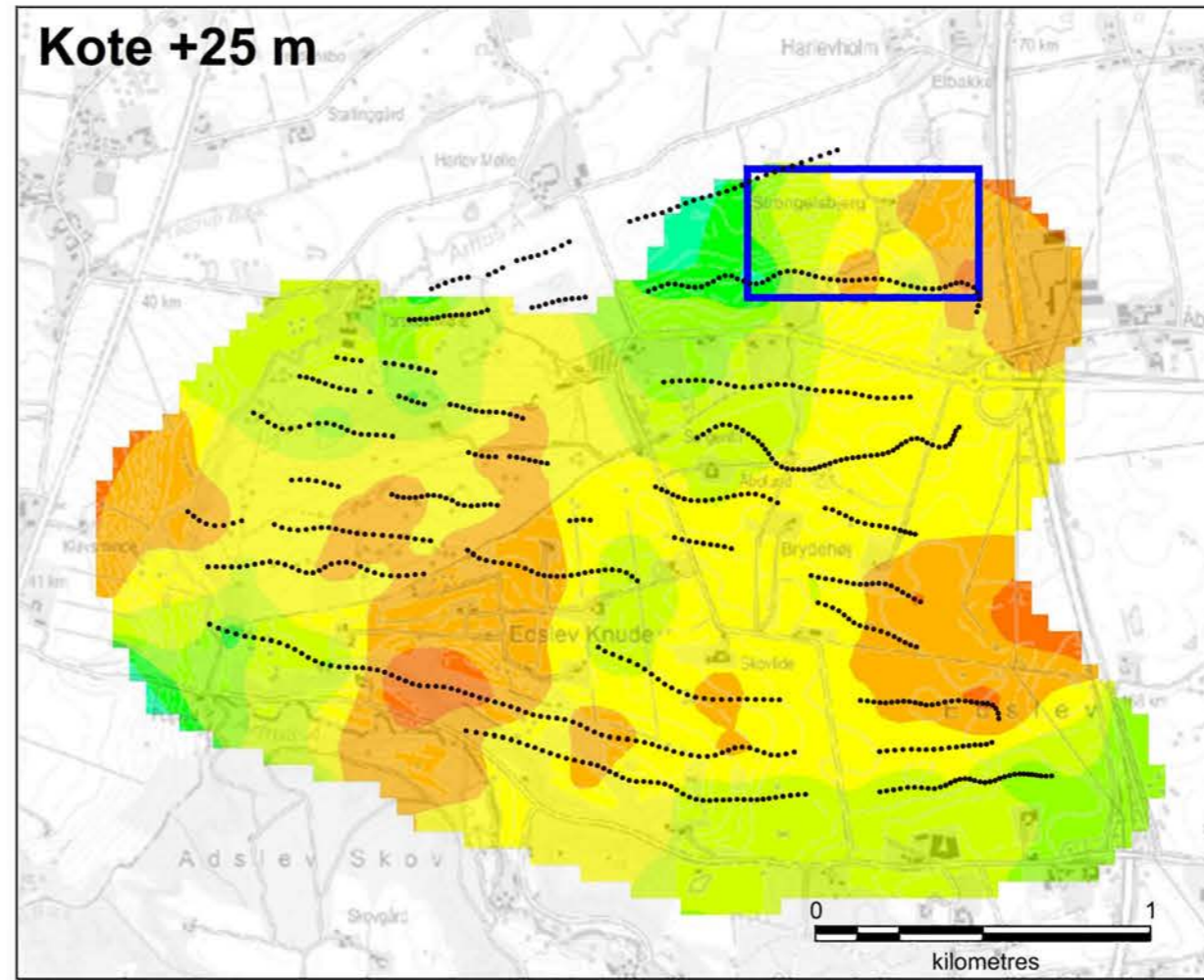
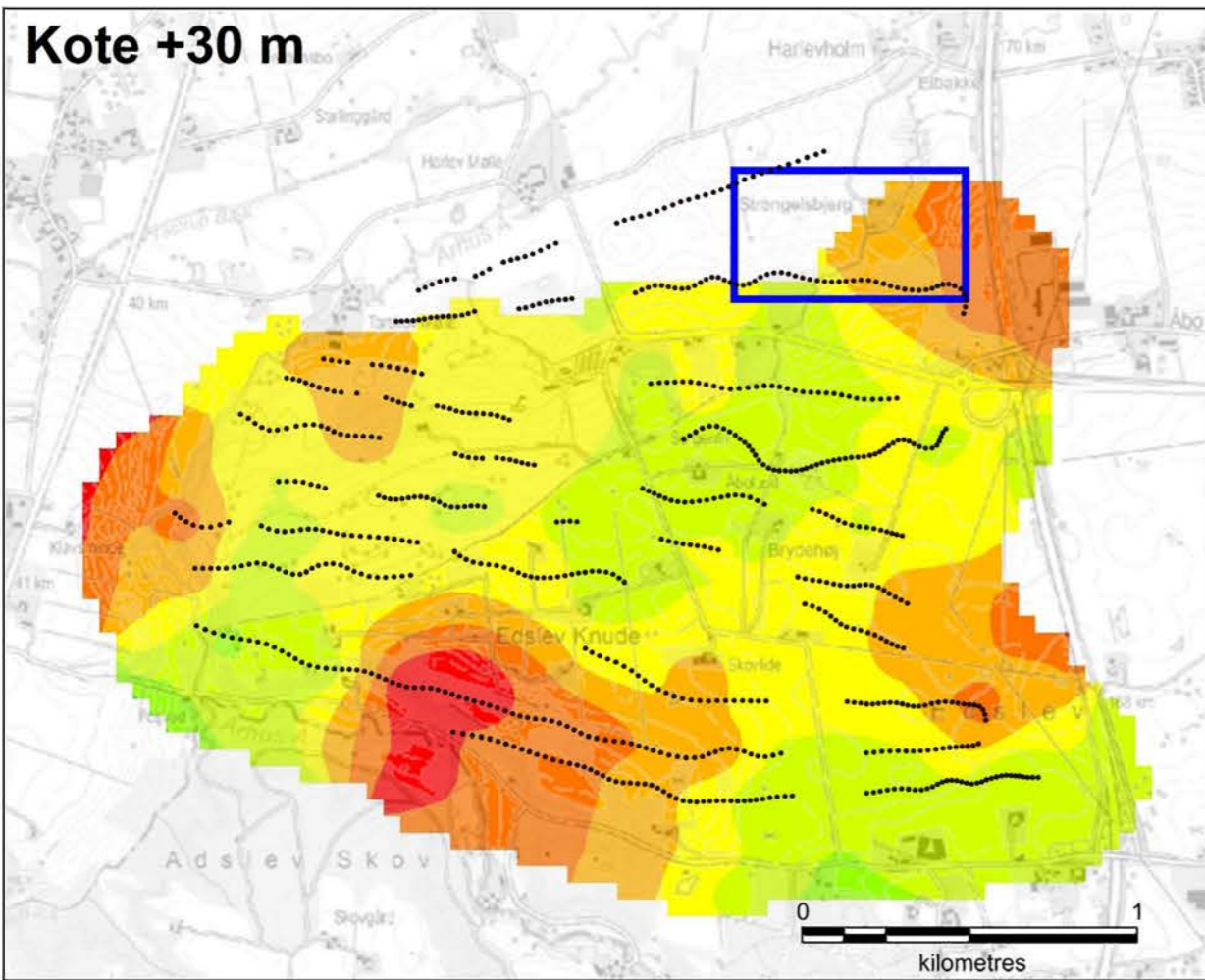
-  Abo kildeplads
-  SkyTEM sonderinger
- Farveskala:



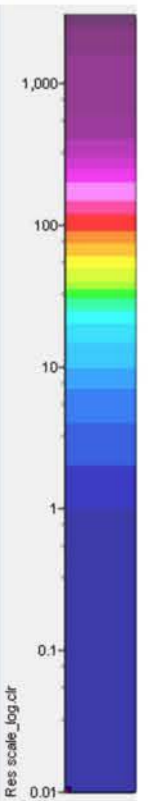


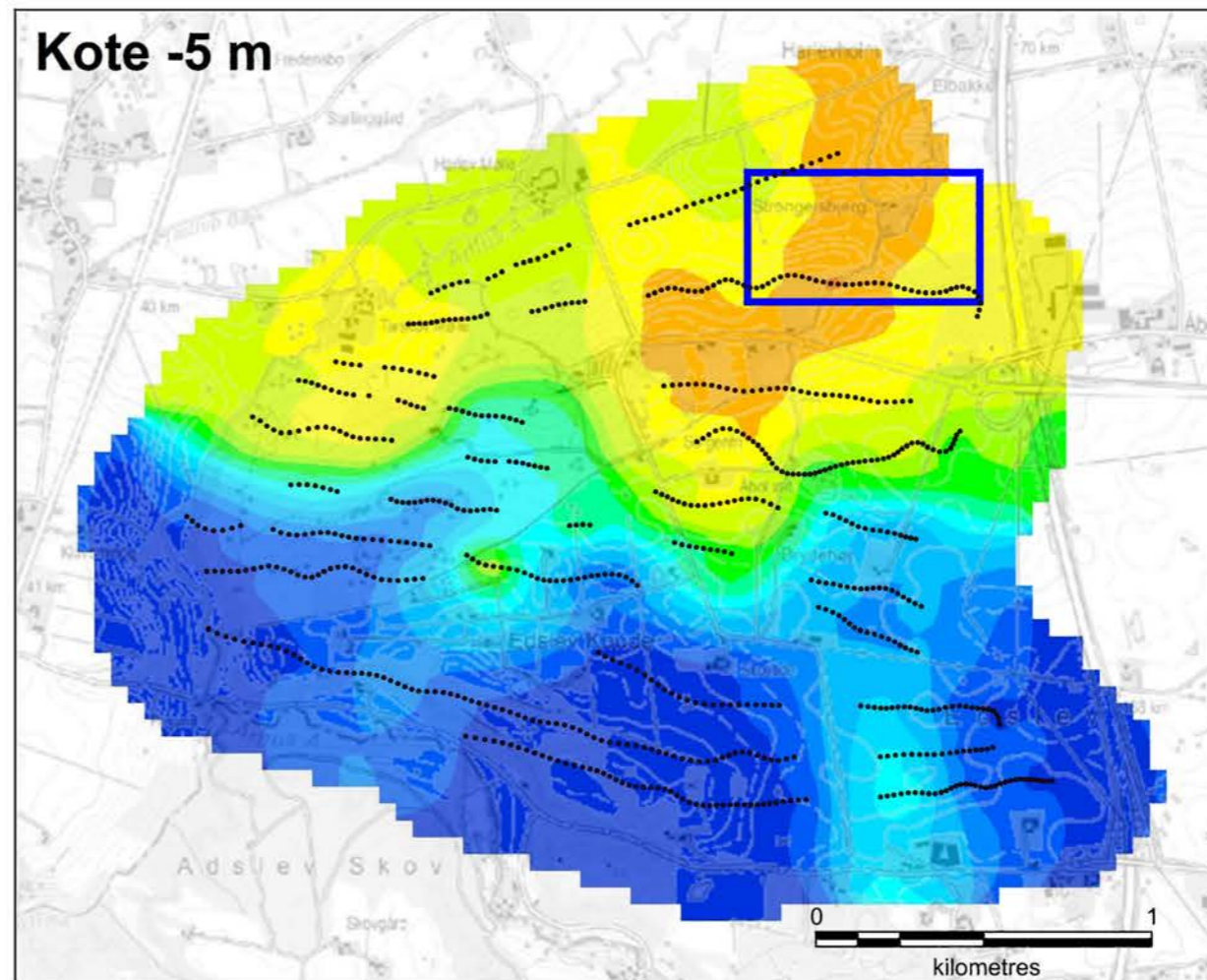
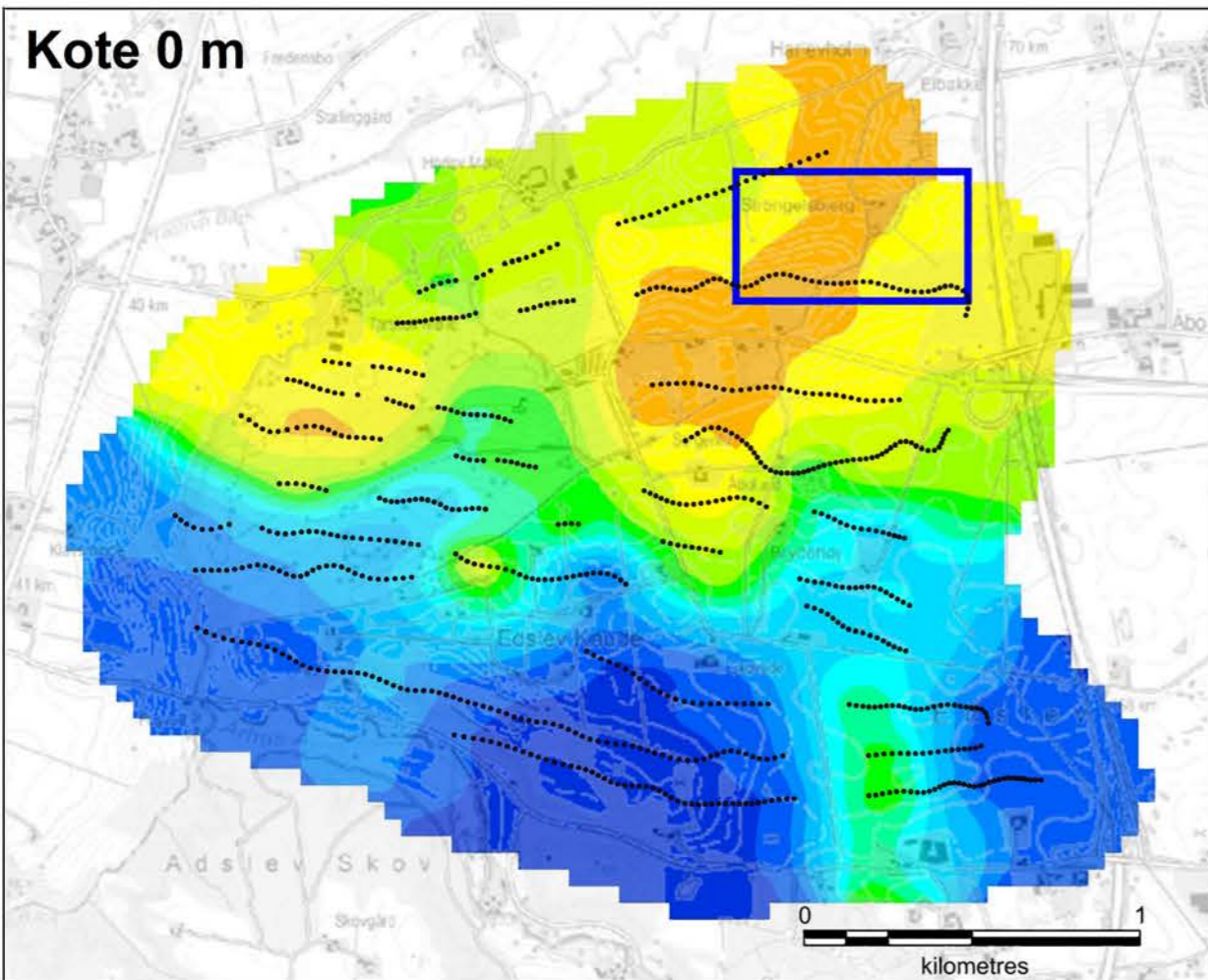
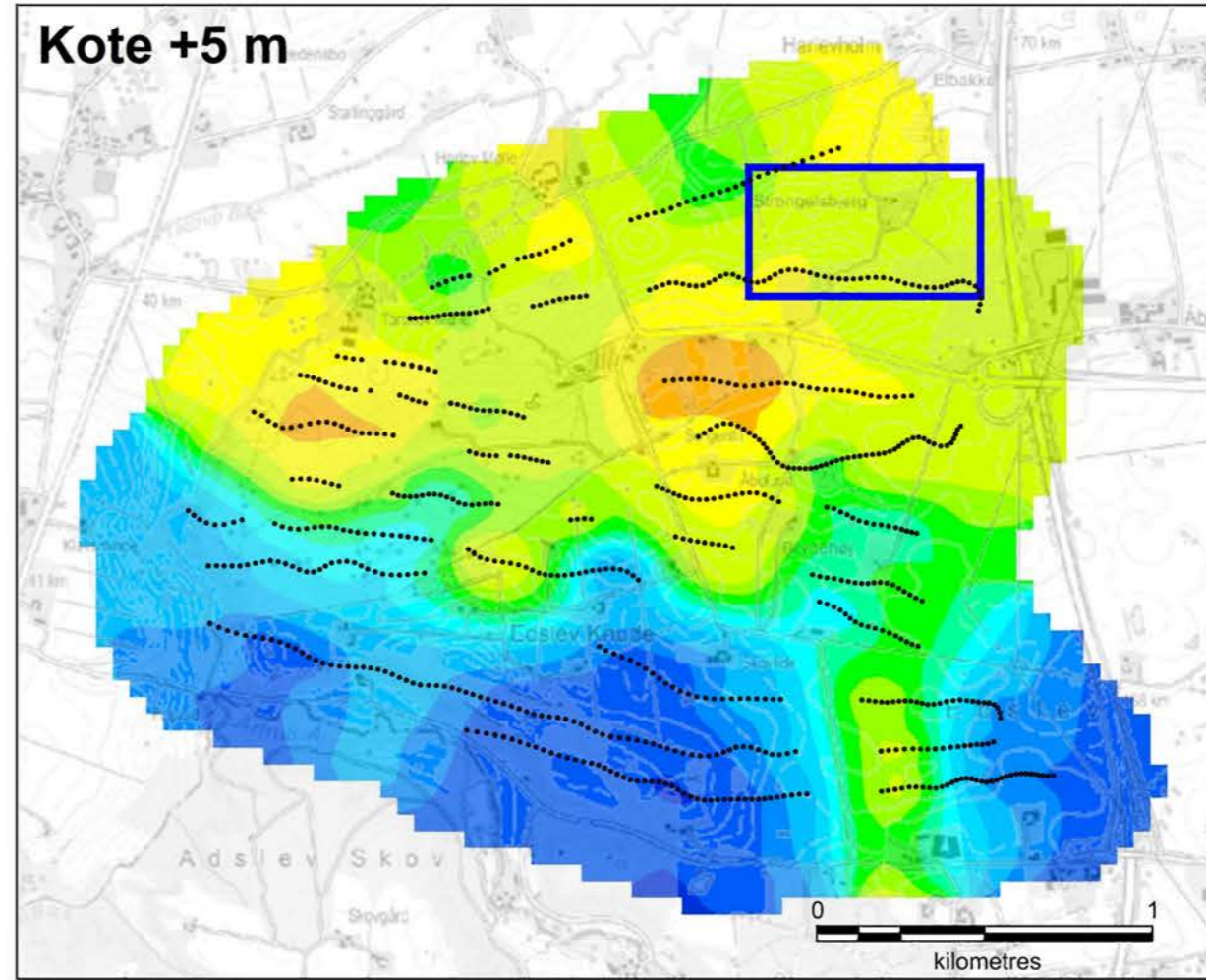
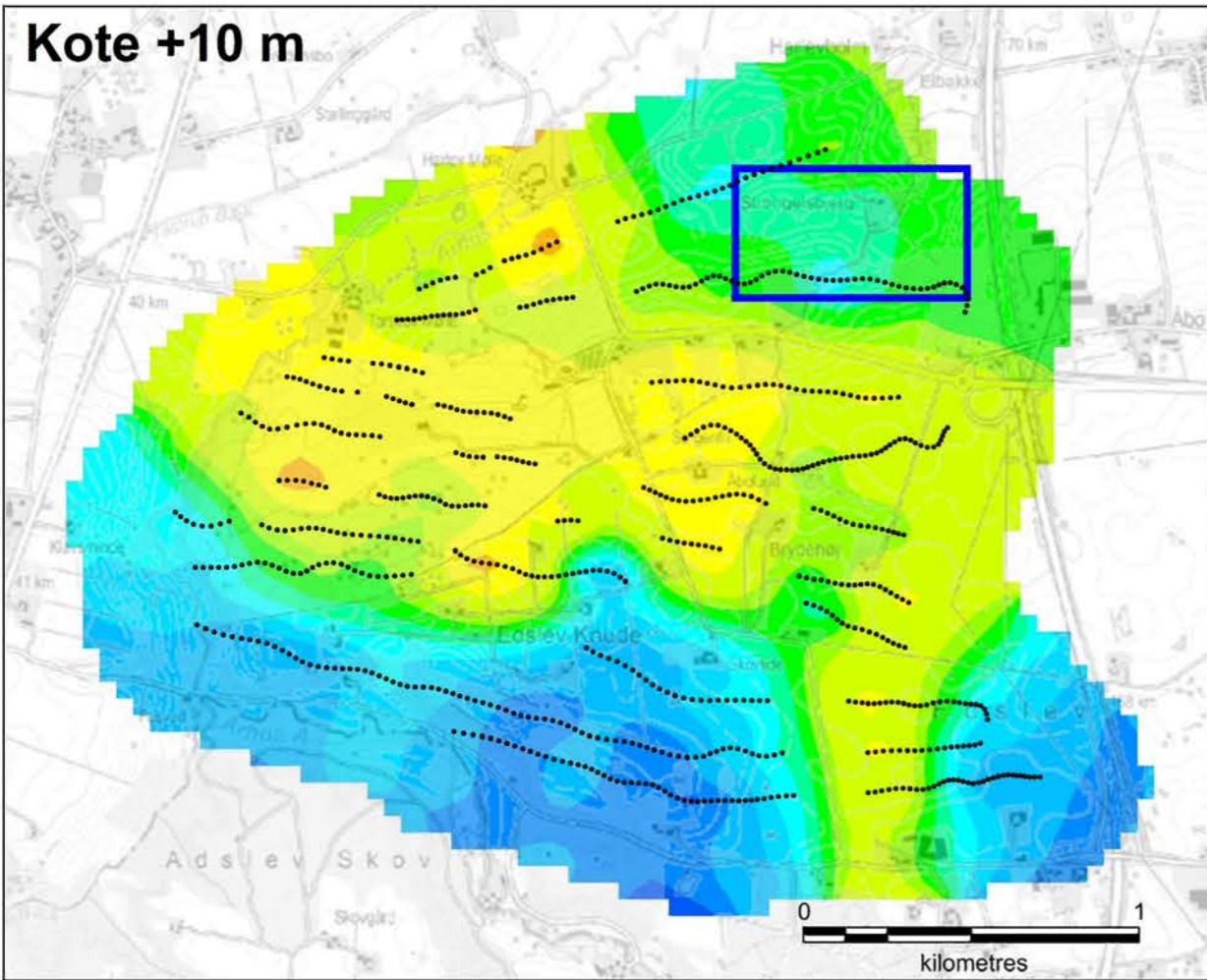
 Åbo kildeplads
 · SkyTEM sonderinger
 Farveskala:





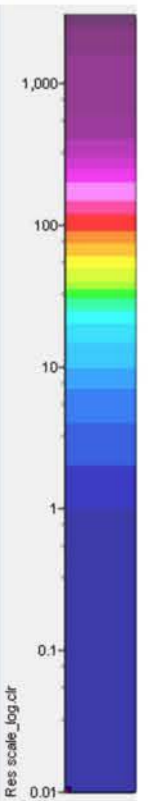


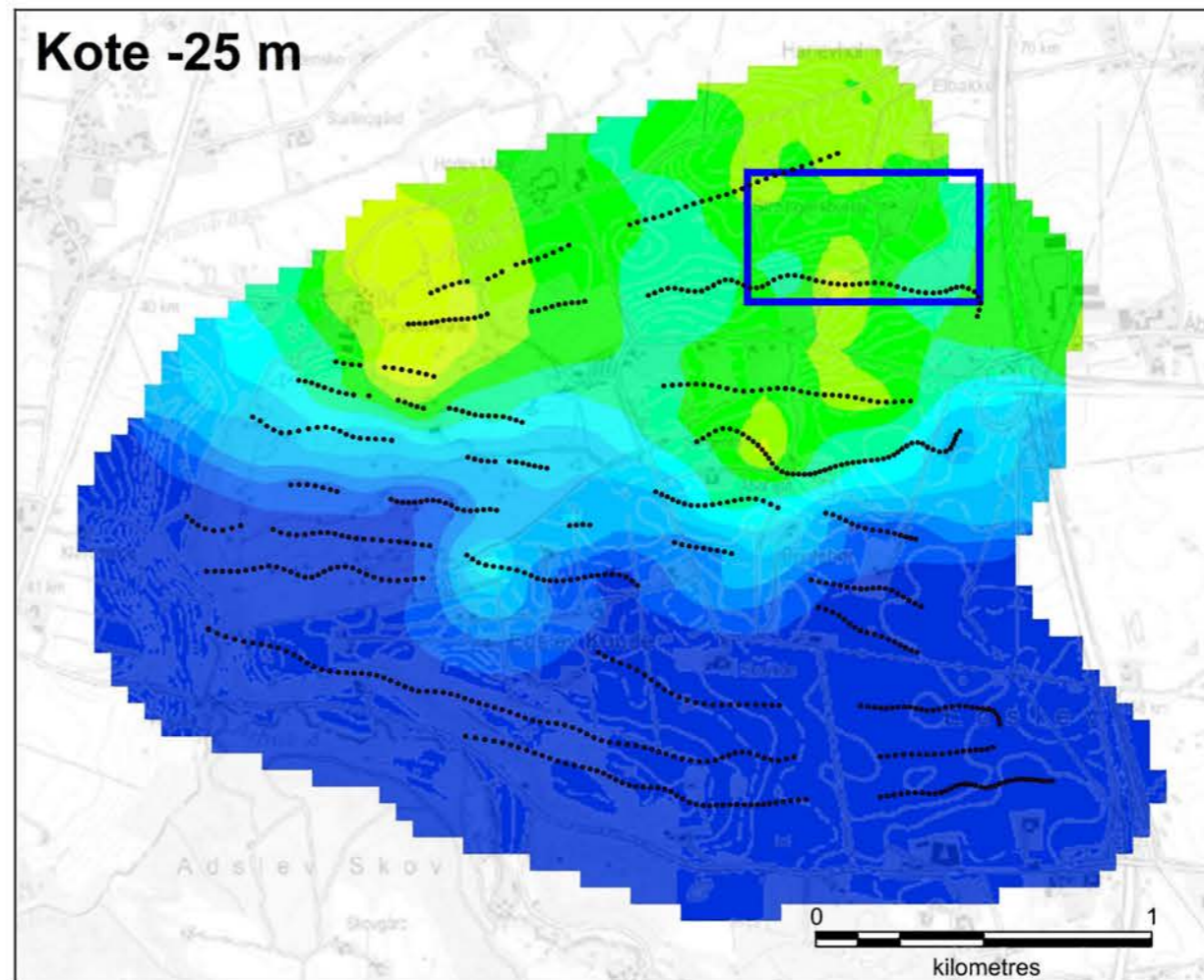
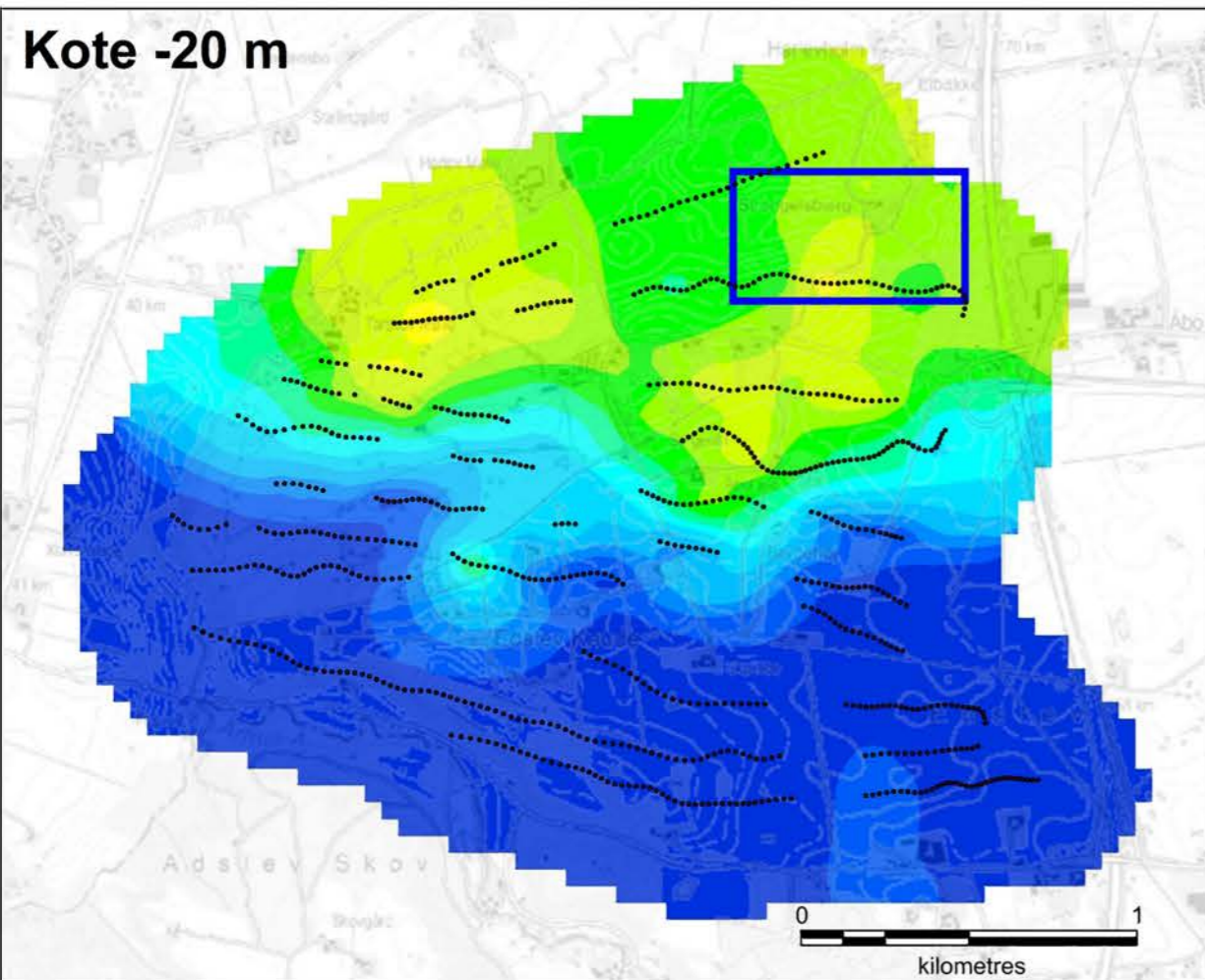
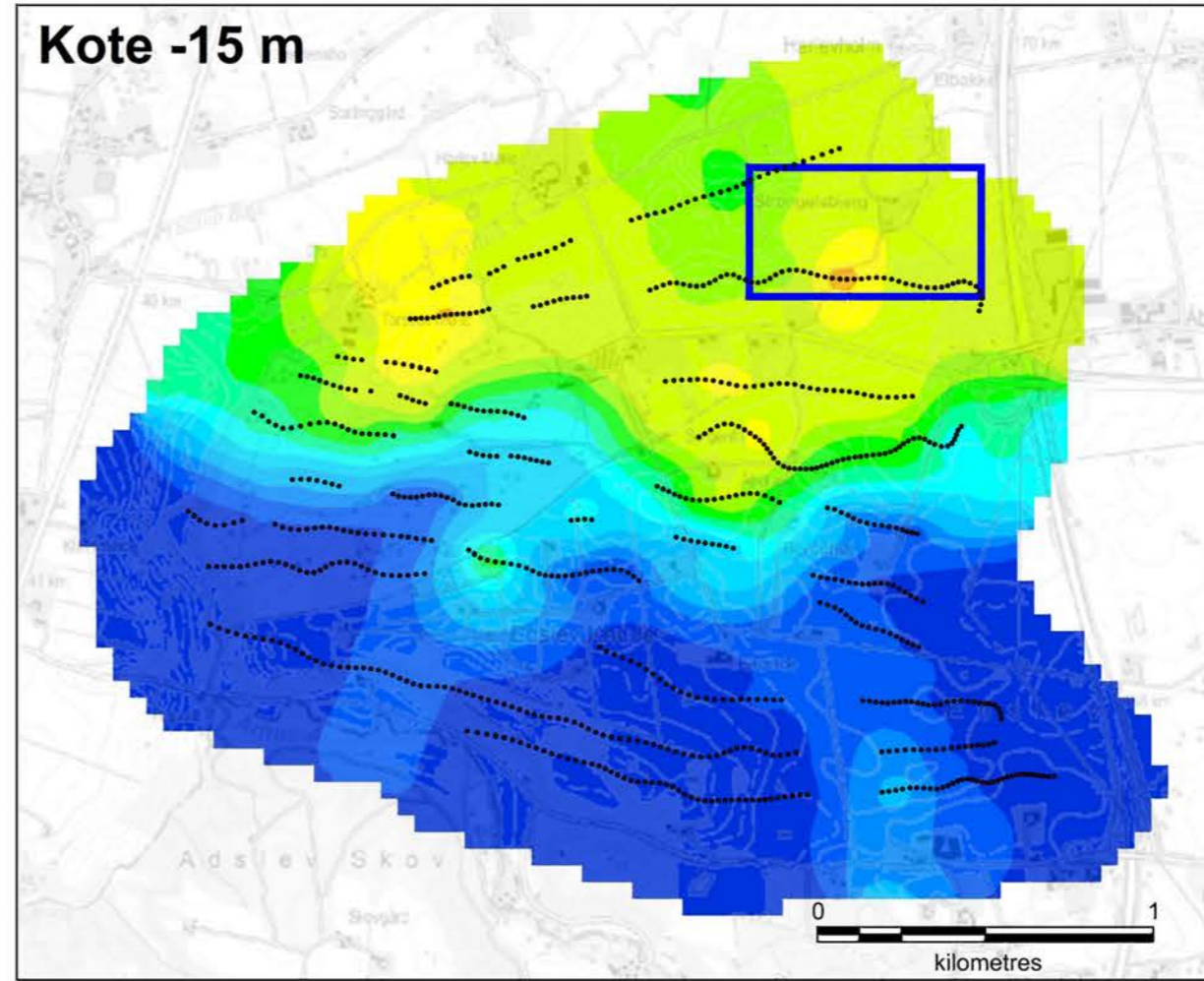
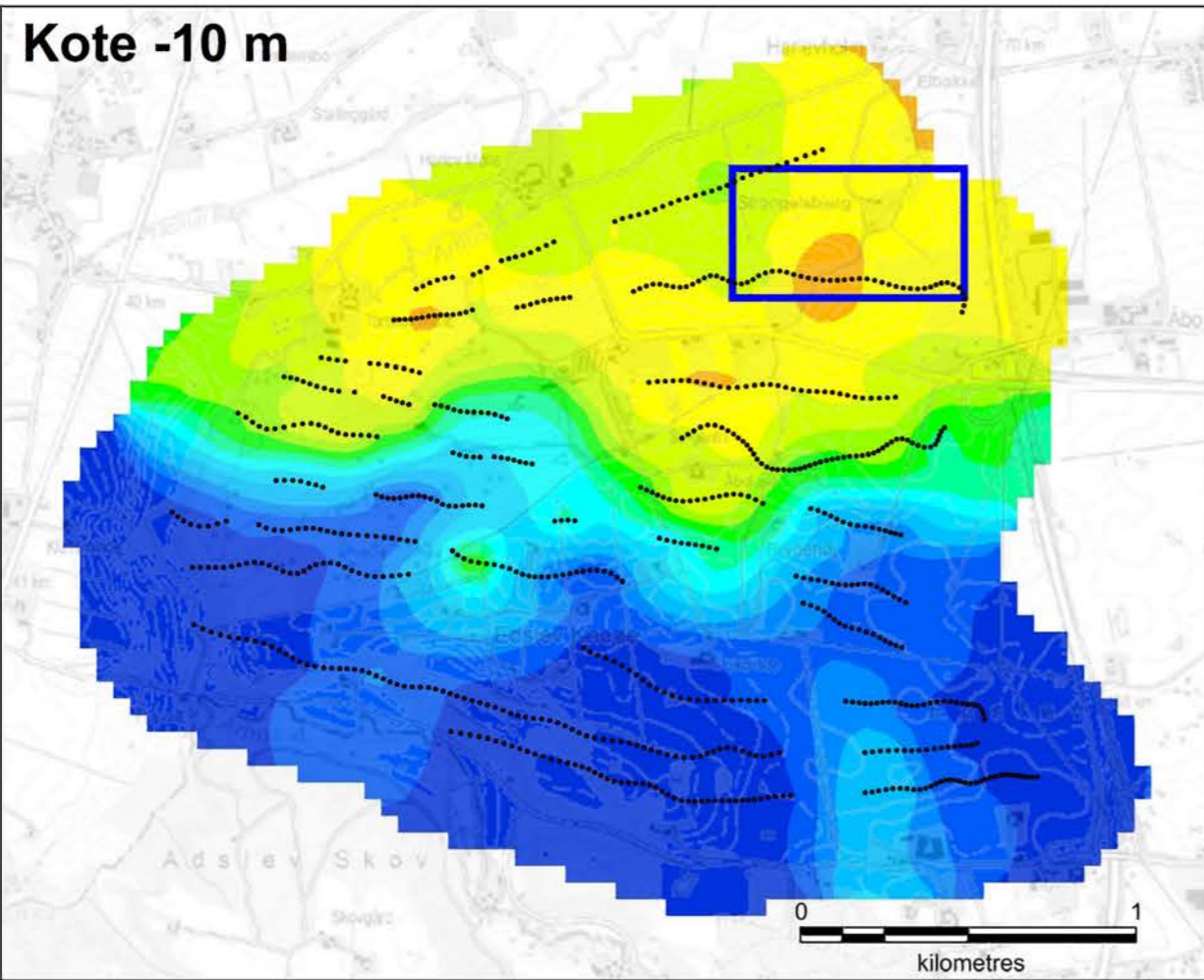
- Åbo kildeplads
 - SkyTEM sonderinger
- Farveskala:




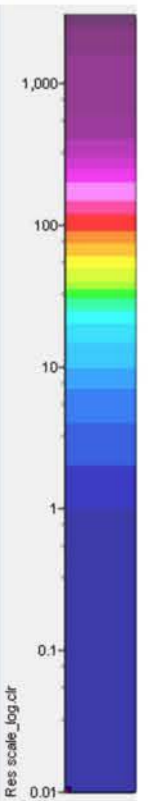


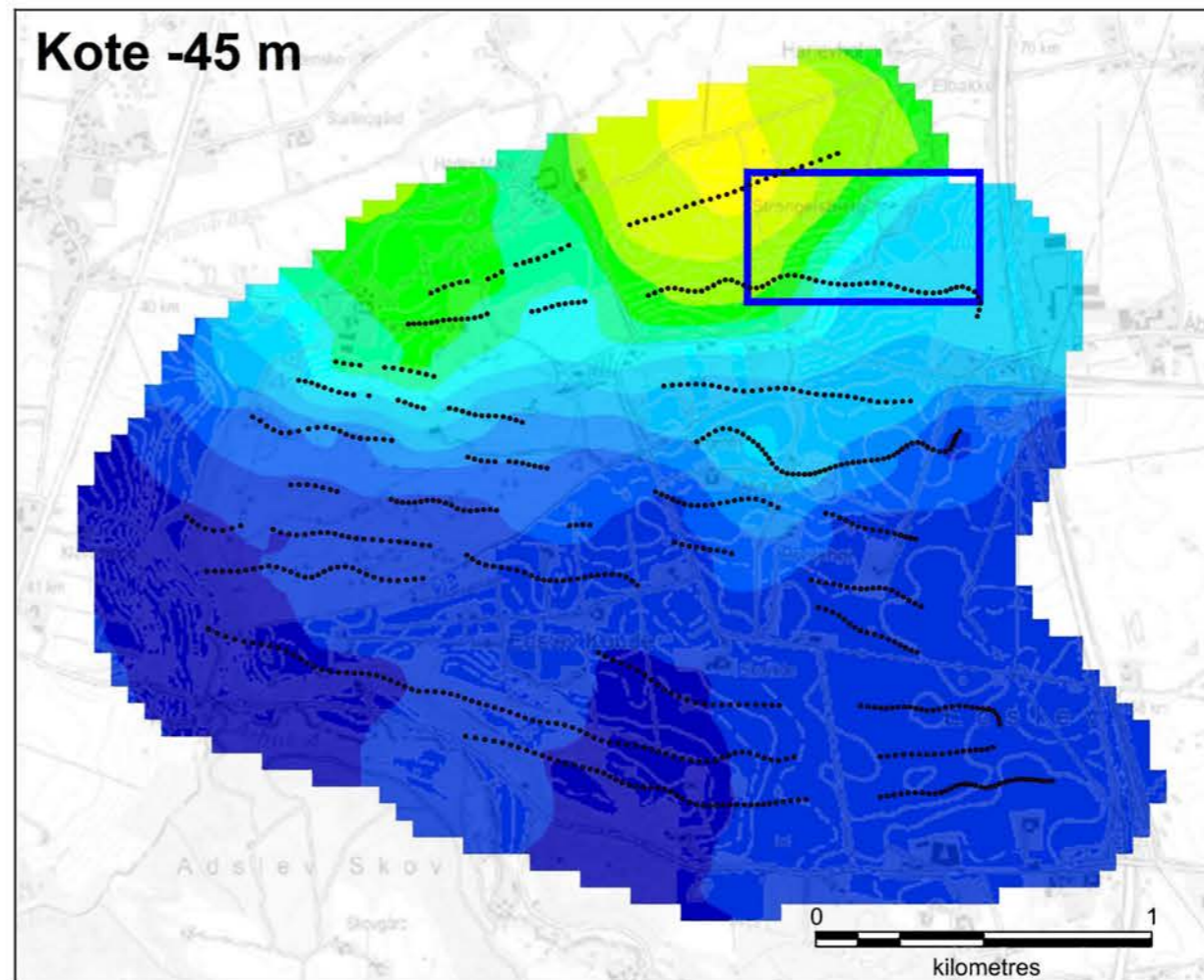
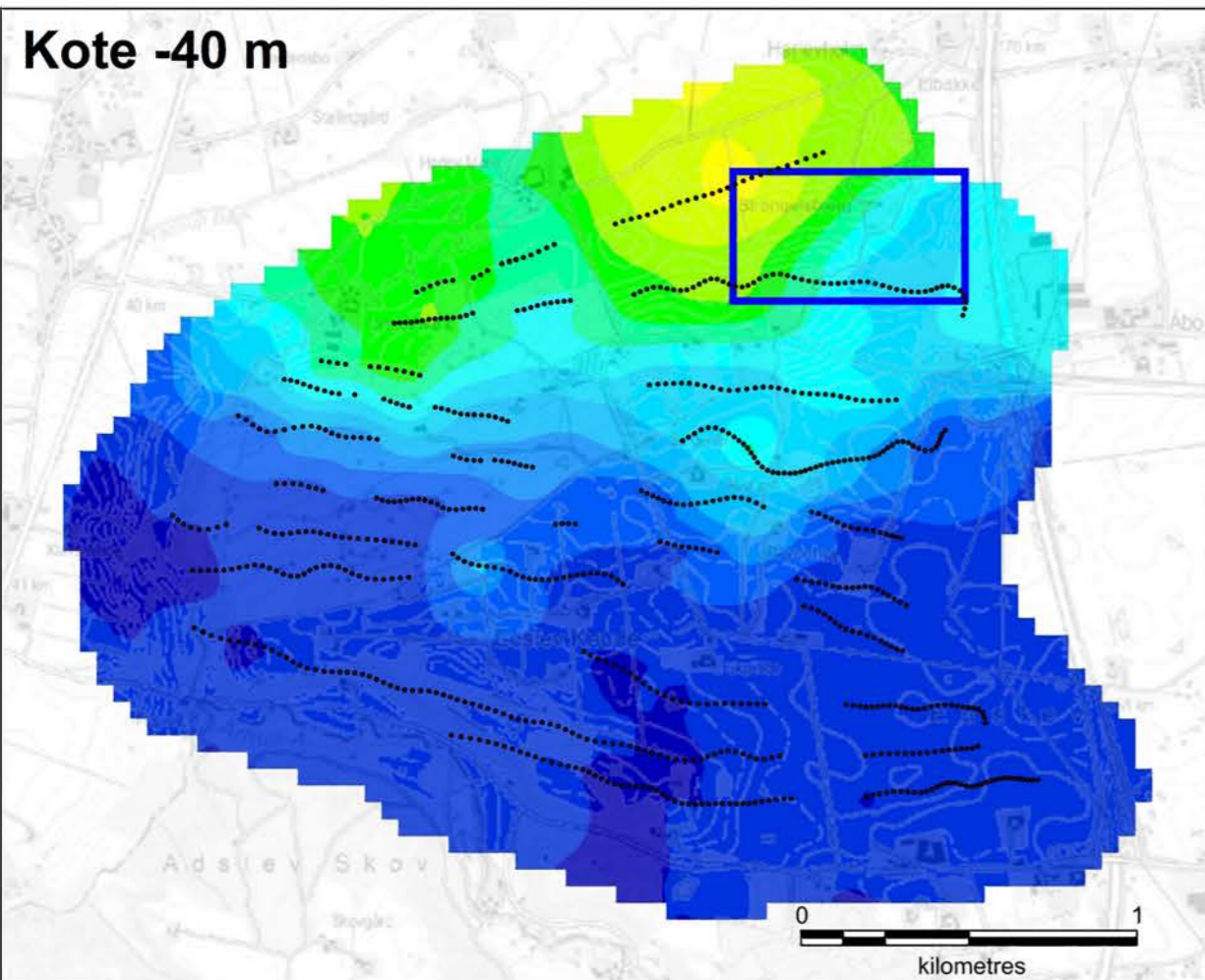
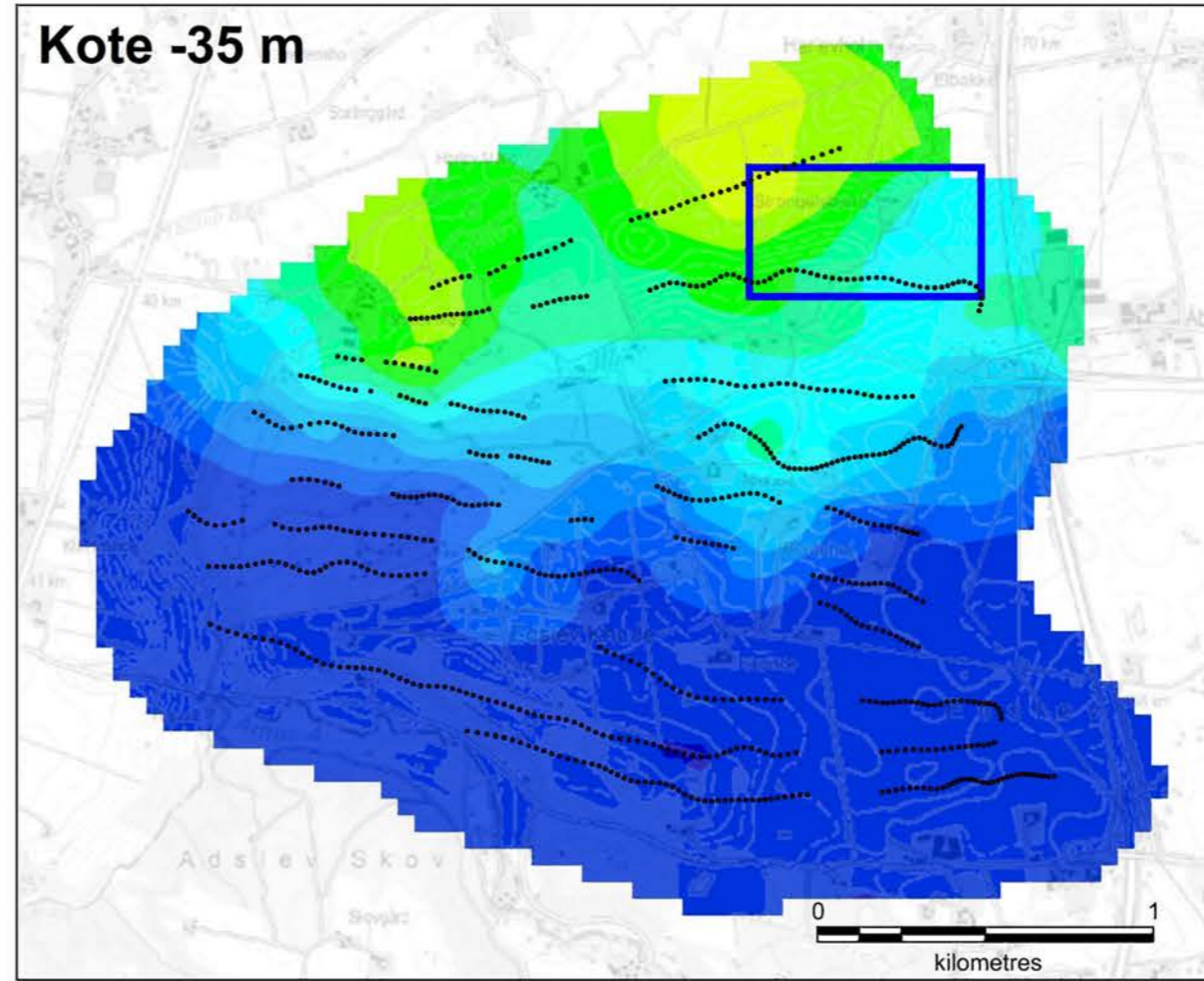
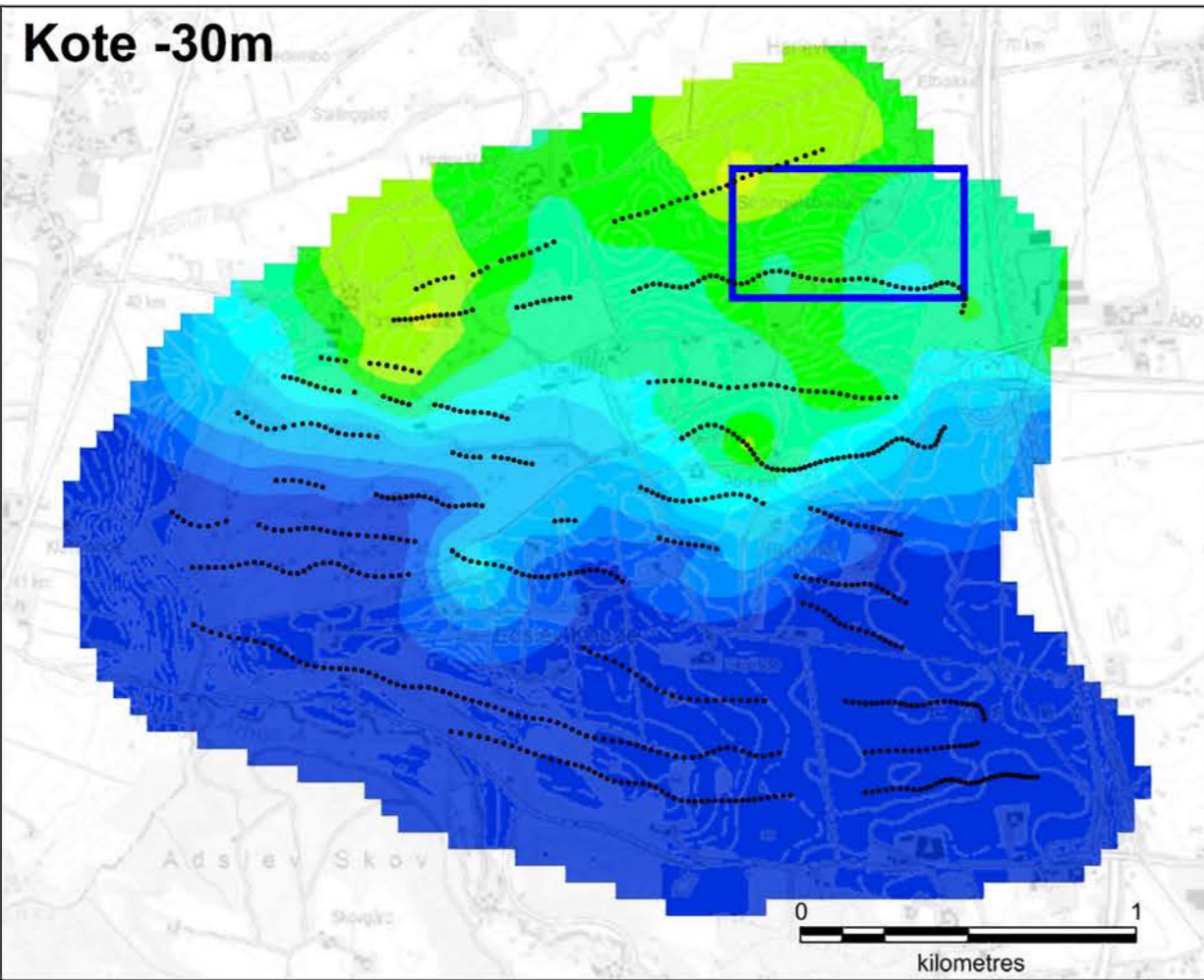
-  Åbo kildeplads
-  SkyTEM sonderinger
- Farveskala:




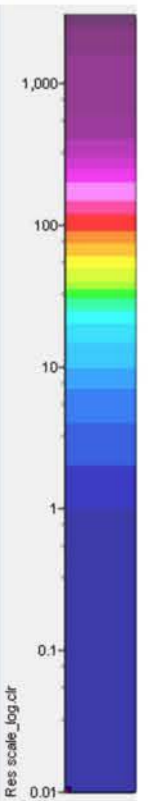


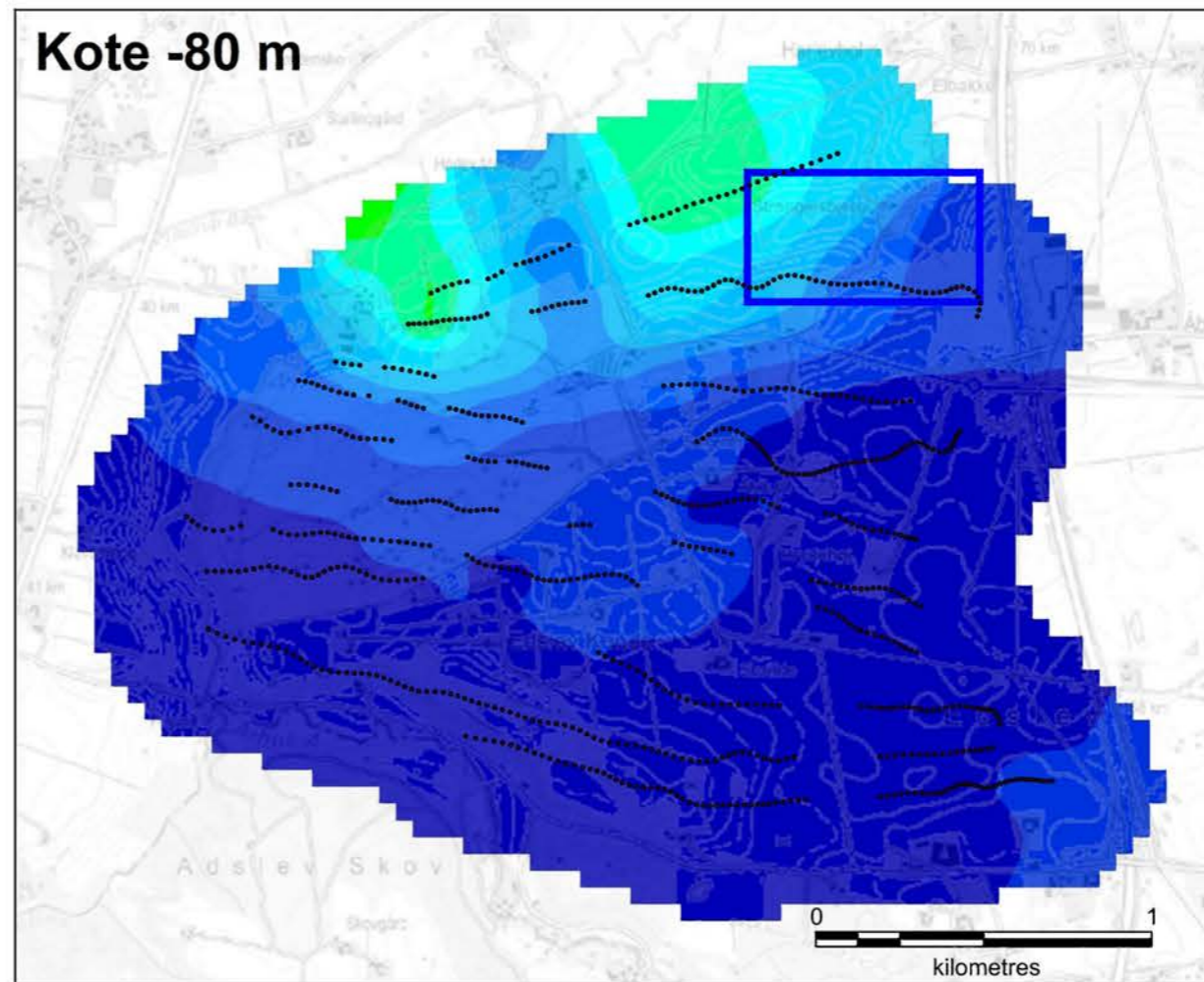
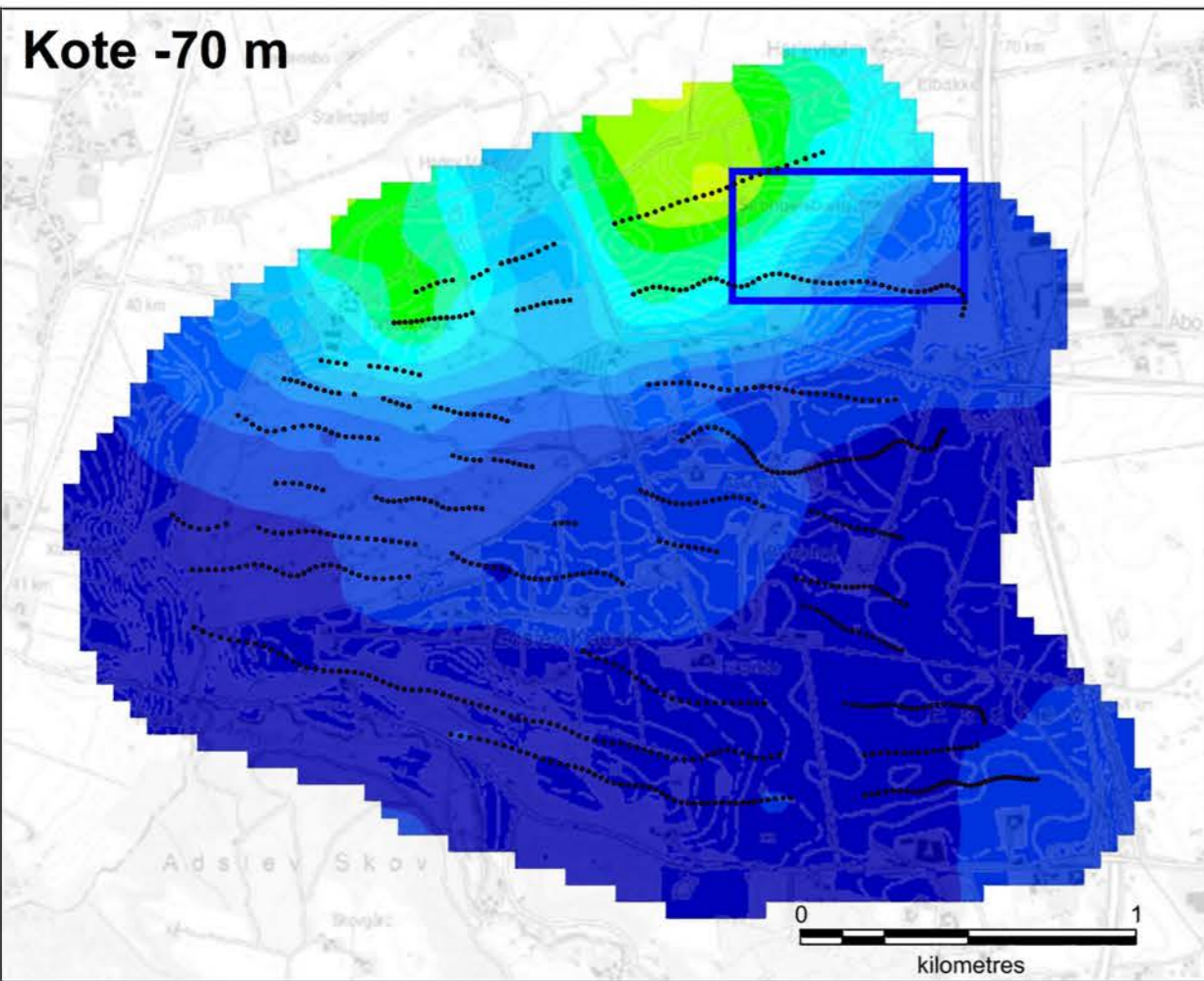
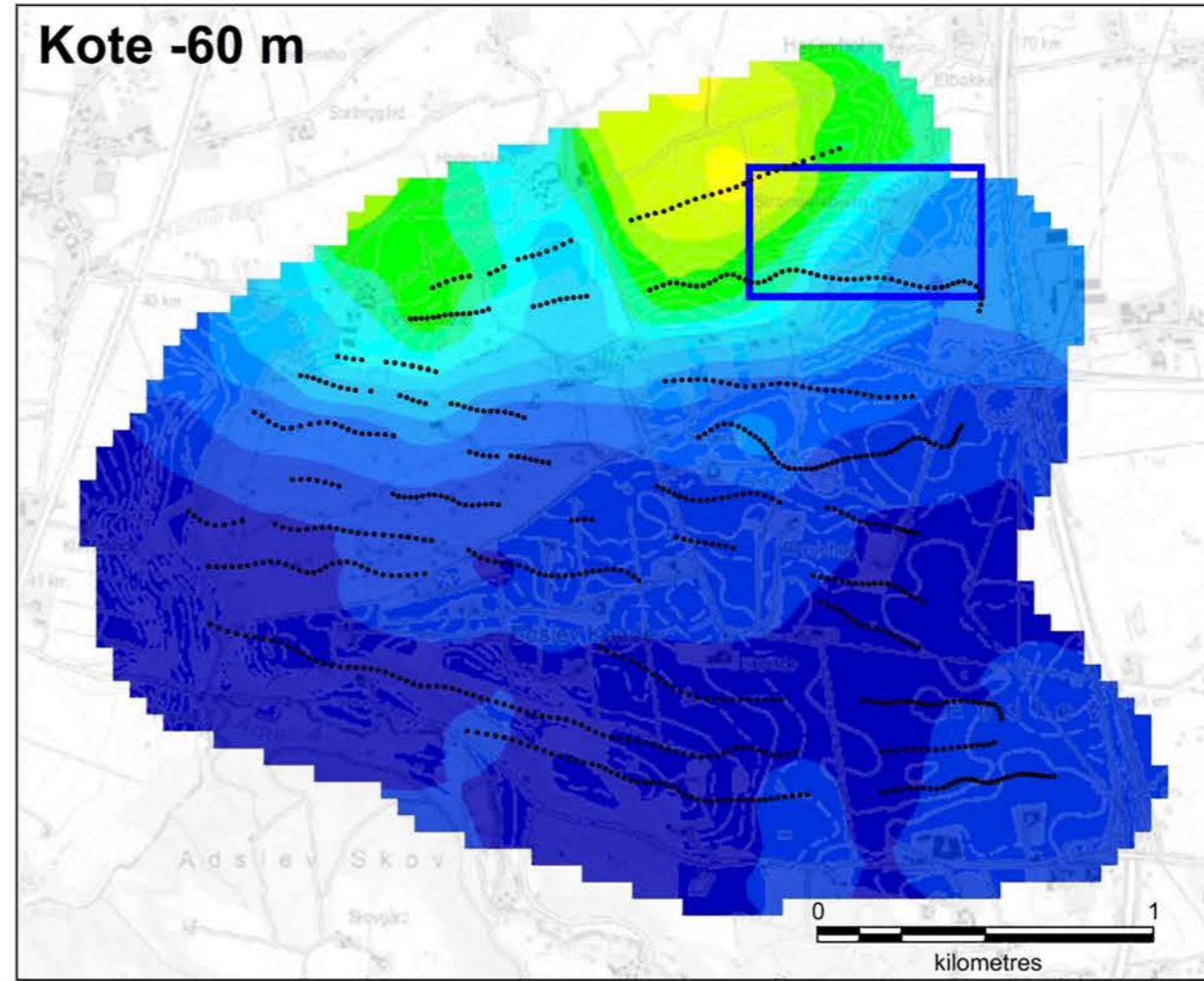
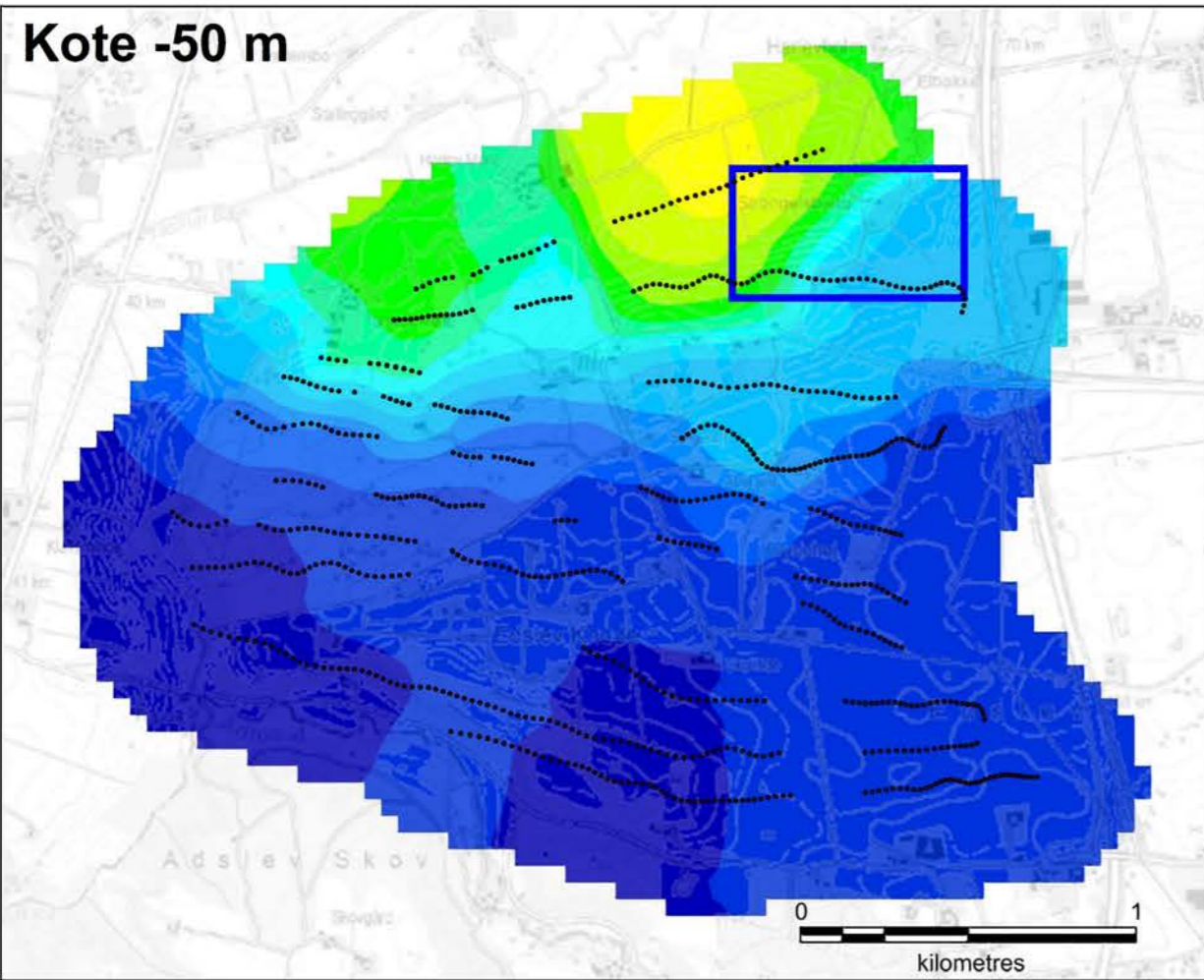
 Åbo kildeplads
 · SkyTEM sonderinger
 Farveskala:




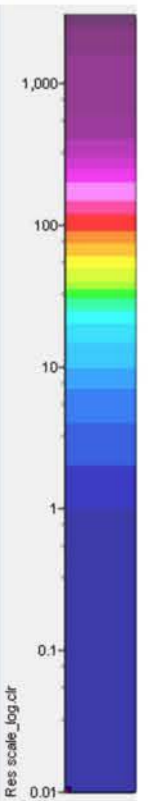


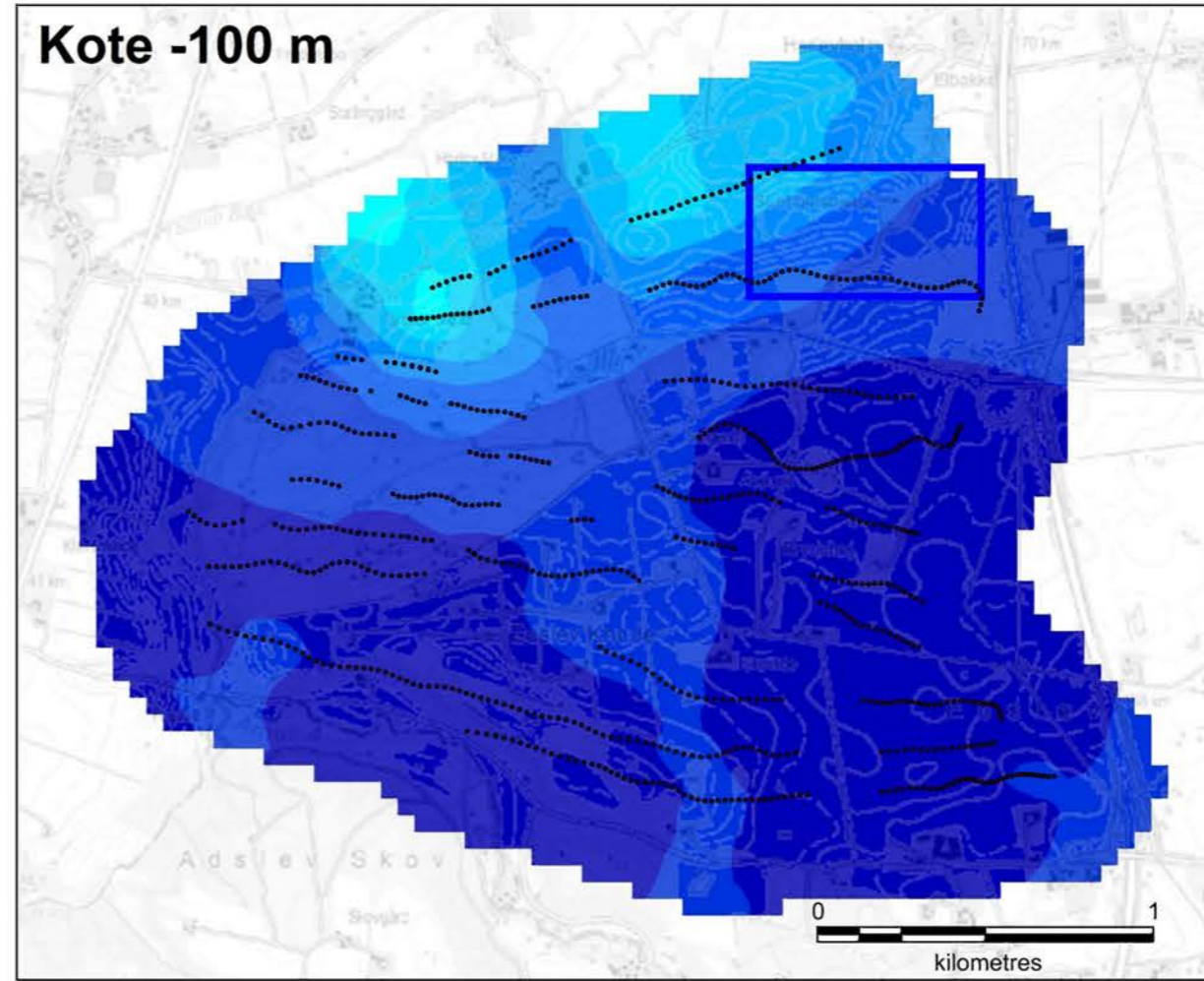
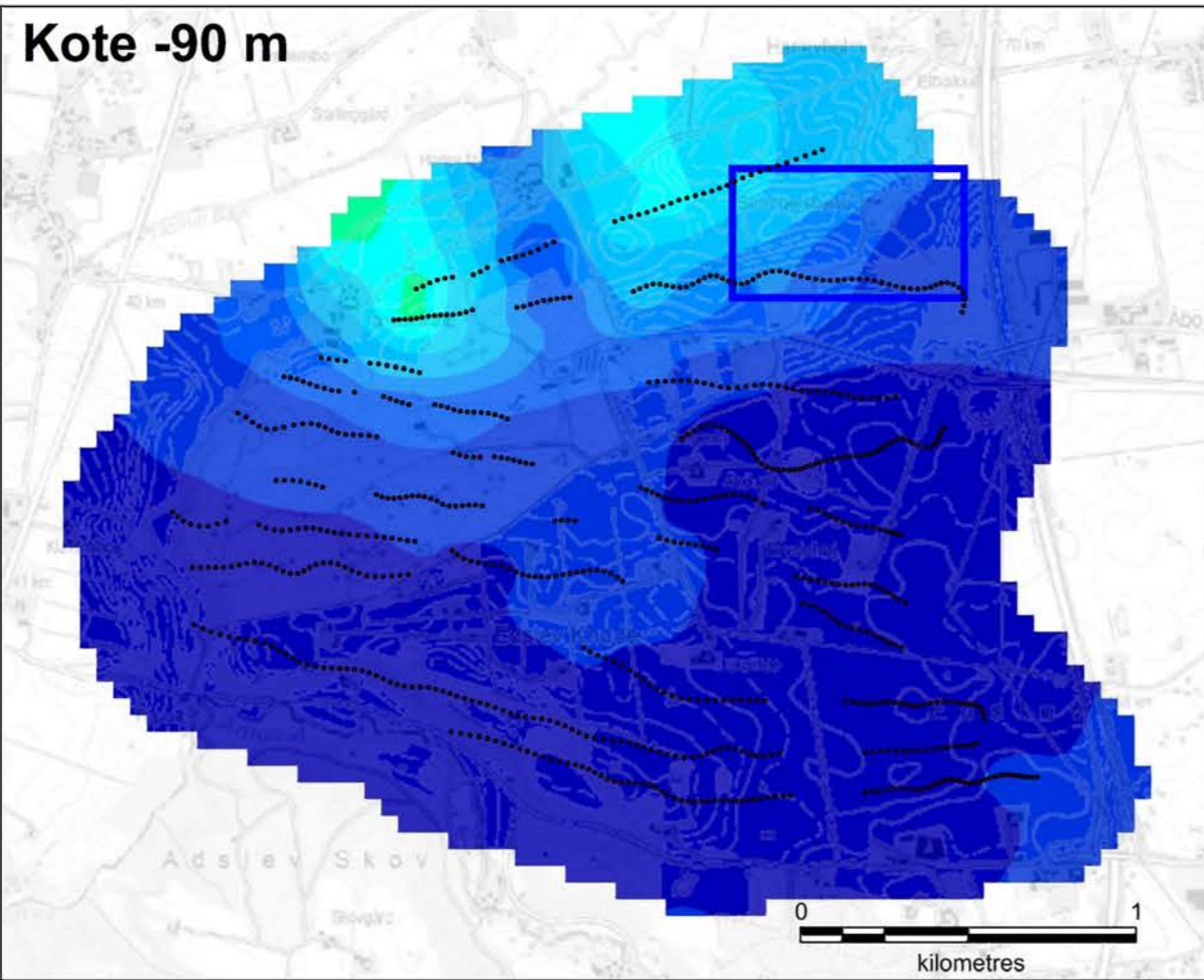
 Åbo kildeplads
 · SkyTEM sonderinger
 Farveskala:



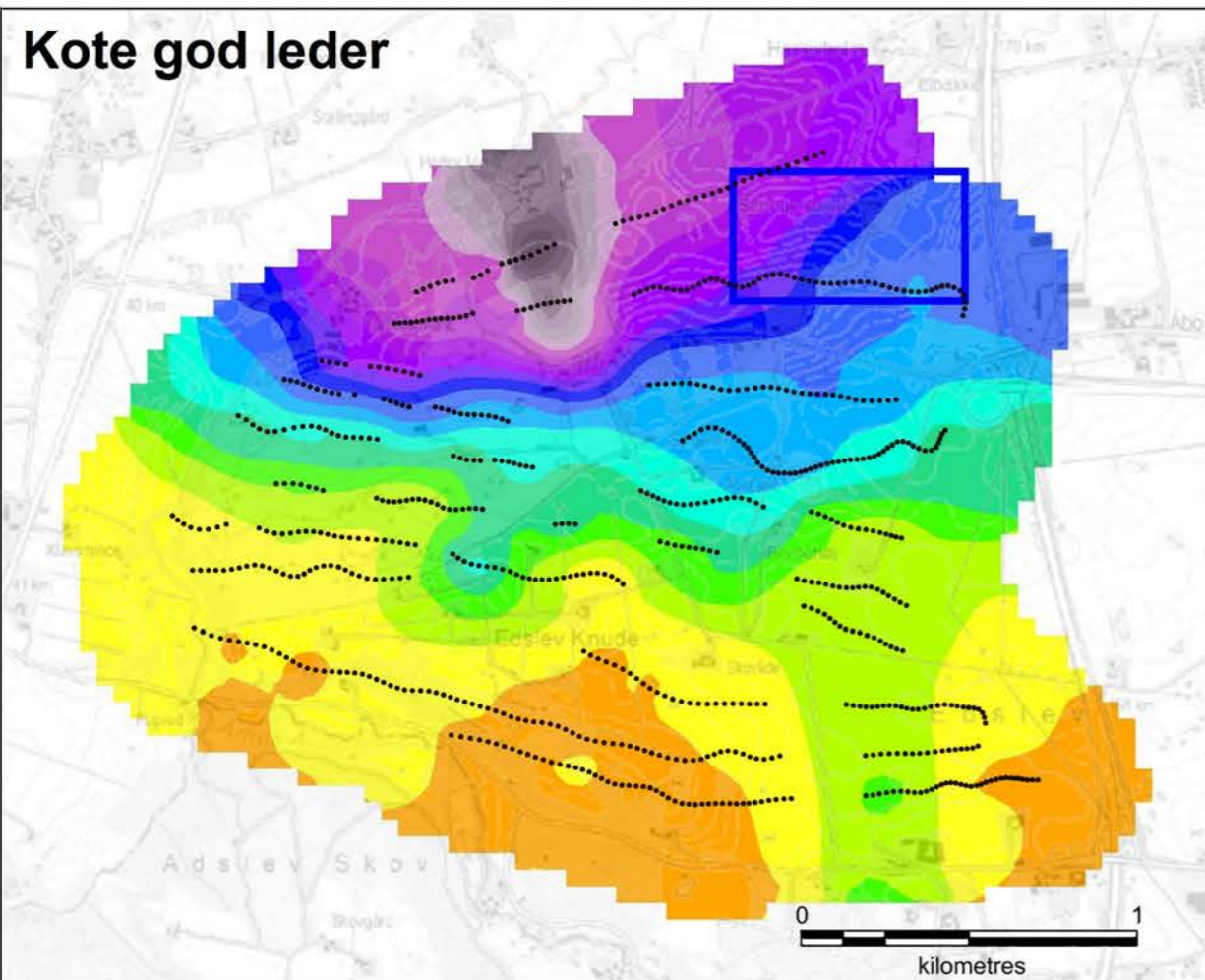


 Åbo kildeplads
 • SkyTEM sonderinger
 Farveskala:

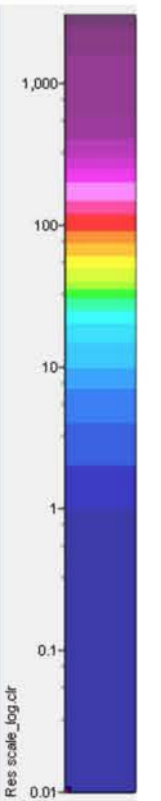
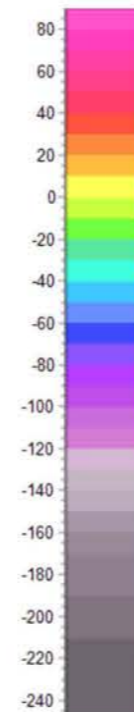




- Åbo kildeplads
 - SkyTEM sonderinger
- Farveskala:

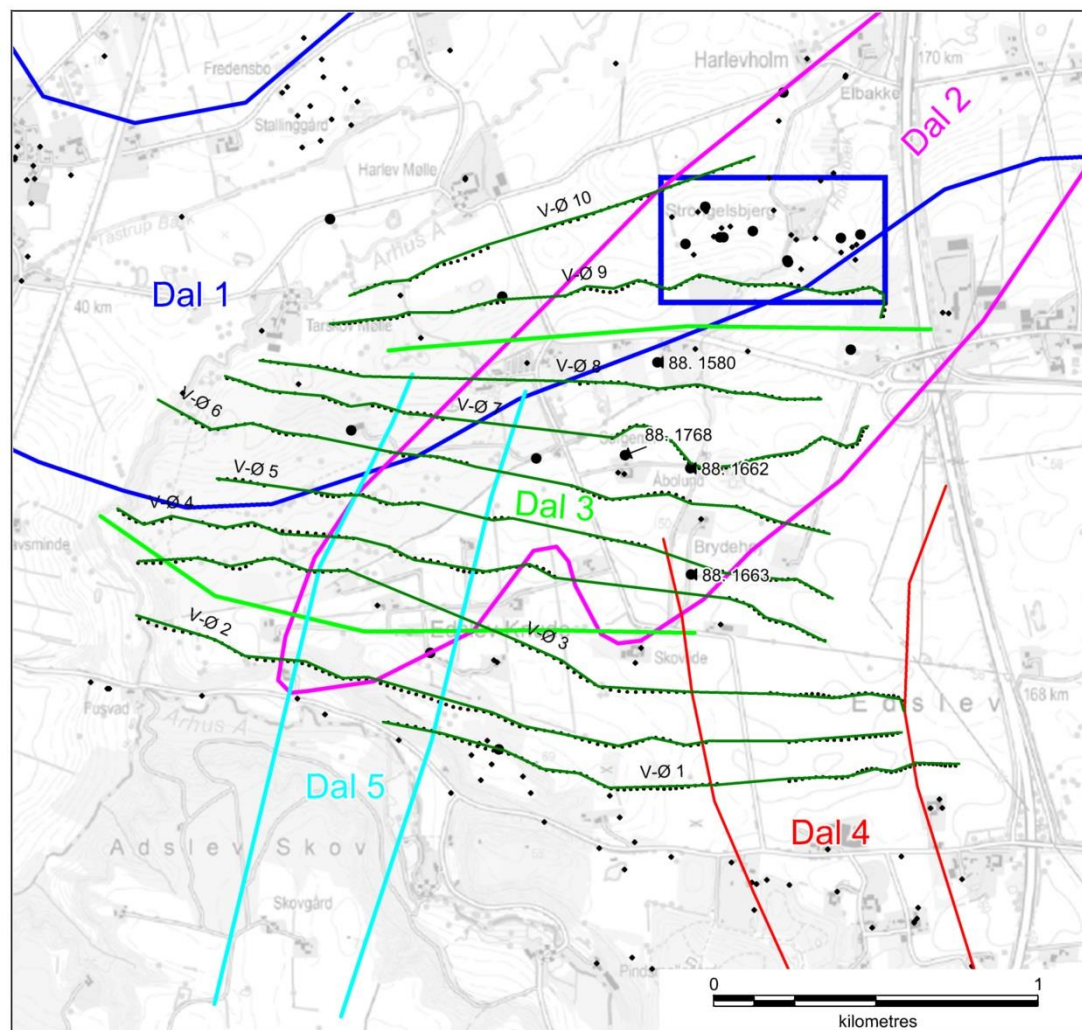


kote til god leder



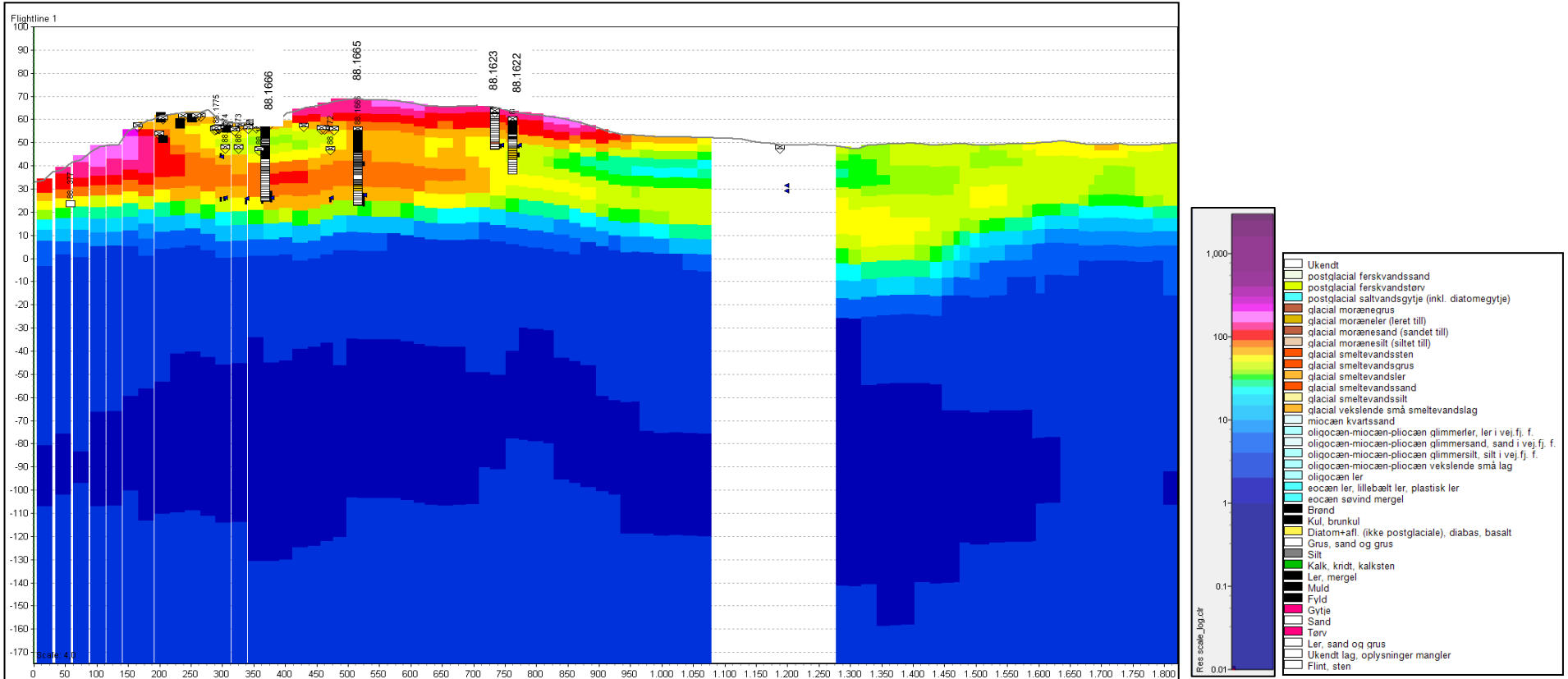
Bilag 10.2 – SkyTEM flyvelinjer

Flyvelinjer - profiloversigt

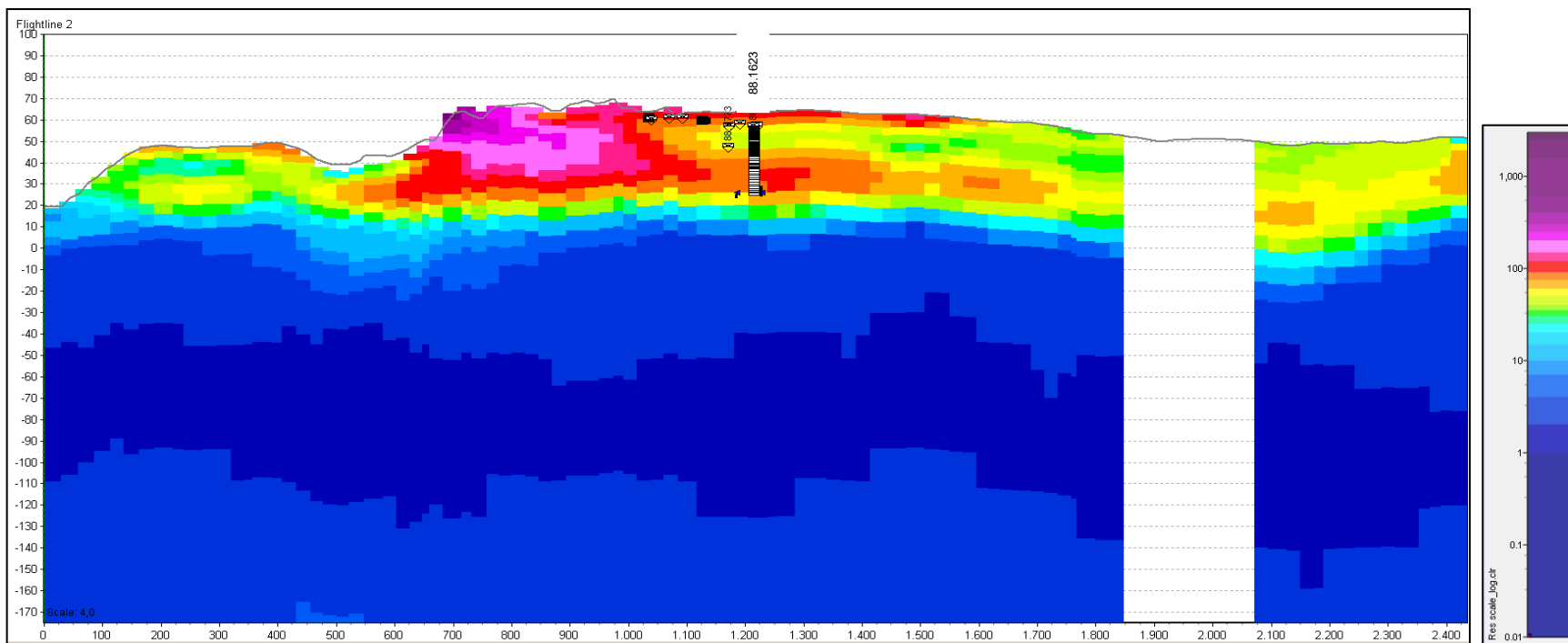


- Undersøgelsesboringer
- SkyTEM sonderinger
- SkyTEM flyvelinjer
- + Øvrige boringer
- Åbo kildeplads

SkyTEM flyvelinje1 (V-Ø 1)

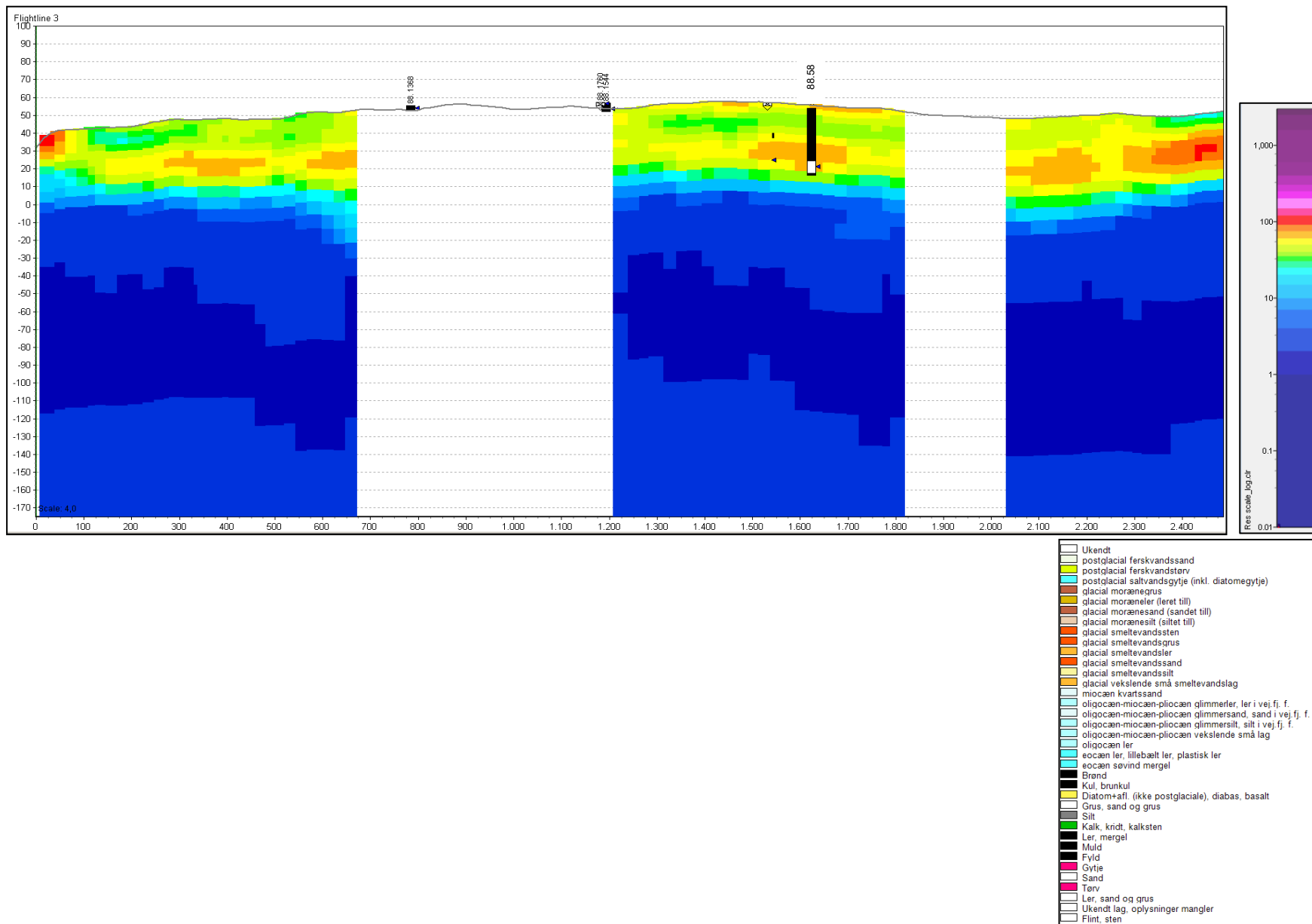


SkyTEM flyvelinje 2 (V-Ø 2)

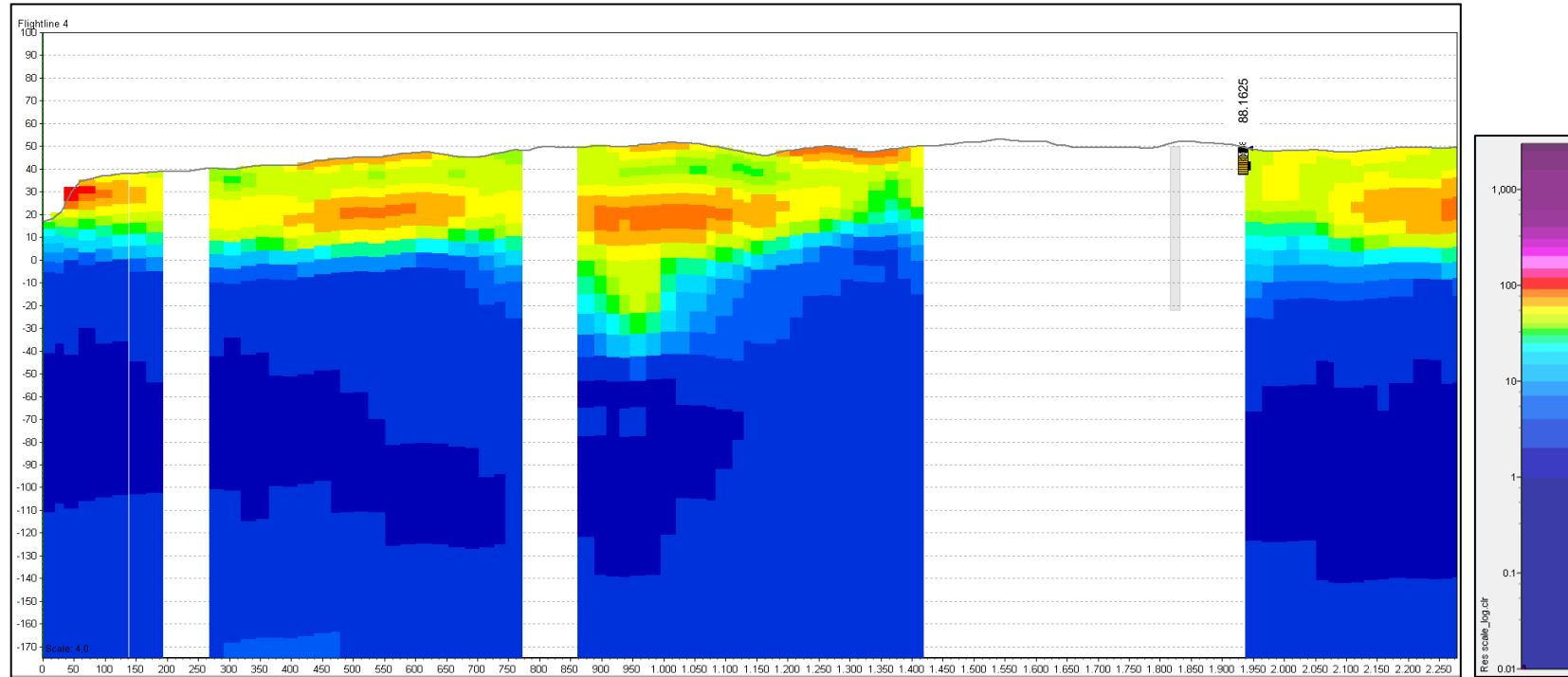


- Ukendt
- postglacial ferskvandssand
- postglacial ferskvandstørv
- postglacial saltvandsgytje (inkl. diatomegytje)
- glacial morænegrus
- glacial moræneler (leret till)
- glacial morænesand (sandet till)
- glacial morænesilt (siltet till)
- glacial smeltevandssten
- glacial smeltevandsgrus
- glacial smeltevandsler
- glacial smeltevandsand
- glacial smeltevandsilt
- glacial vekslende små smeltevandslag
- miocæn kvartssand
- oligoocæn-miocæn-pliocæn glimmerler, ler i vej fj. f.
- oligoocæn-miocæn-pliocæn glimmersand, sand i vej fj. f.
- oligoocæn-miocæn-pliocæn glimmersilt, silt i vej fj. f.
- oligoocæn-miocæn-pliocæn vekslende små lag
- oligoocæn ler
- eoocæn ler, lillebælt ler, plastisk ler
- eoocæn søvind mergel
- Grønd
- Kul, brunkul
- Diatom+af. (ikke postglaciale), diabas, basalt
- Grus, sand og grus
- Silt
- Kalk, kridt, kalksten
- Ler, mergel
- Muld
- Fyld
- Gytje
- Sand
- Tørv
- Ler, sand og grus
- Ukendt lag, oplysninger mangler
- Flint, sten

SkyTEM flyvelinje 3 (V-Ø 3)

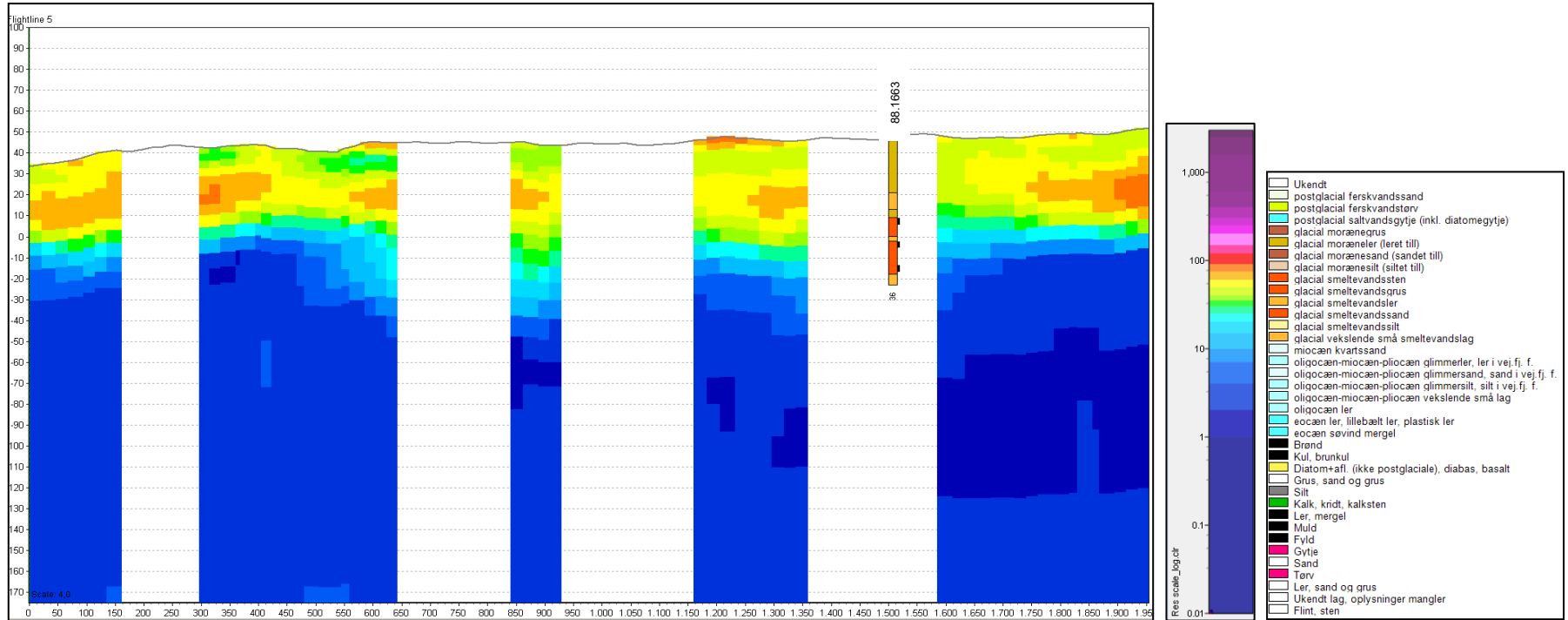


SkyTEM flyvelinje 4 (V-Ø 4)

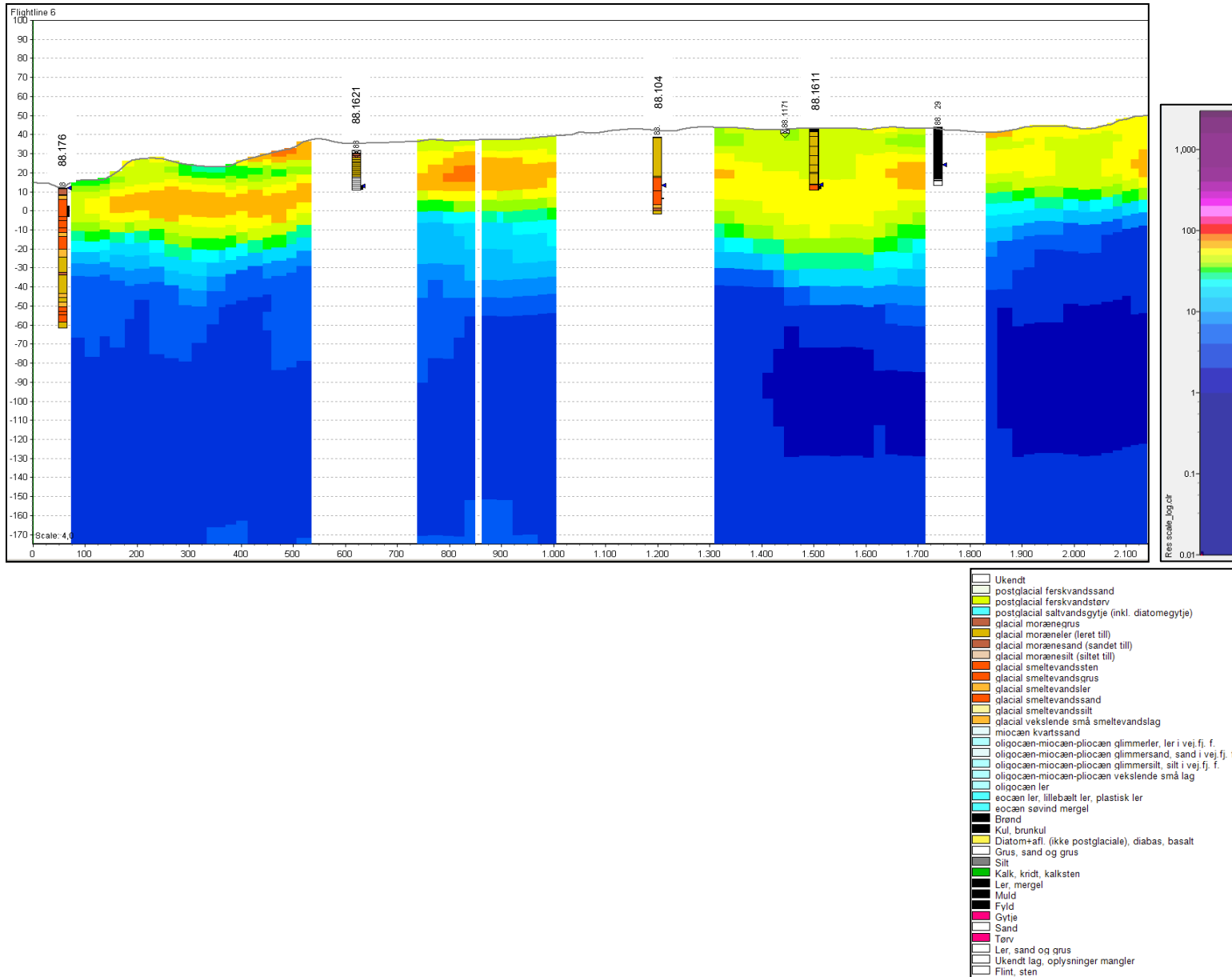


- Ukendt
- postglacial ferskvandssand
- postglacial ferskvandstørv
- postglacial saltvandsgytje (inkl. diatomegytje)
- glacial morænegrus
- glacial moræneler (leret till)
- glacial morænesand (sandet till)
- glacial morænesilt (siltet till)
- glacial smeltevandssten
- glacial smeltevandsgrus
- glacial smeltevandsler
- glacial smeltevandsand
- glacial smeltevandsilt
- glacial vekslende små smeltevandslag
- mioocæn kvartssand
- oligocæn-mioocæn-pliocæn glimmerler, ler i vej.fj. f.
- oligocæn-mioocæn-pliocæn glimmersand, sand i vej.fj. f.
- oligocæn-mioocæn-pliocæn glimmersilt, silt i vej.fj. f.
- oligocæn-mioocæn-pliocæn vekslende små lag
- oligocæn ler
- eocæn ler, lillebælt ler, plastisk ler
- eocæn søvind mergel
- Brønd
- Kul, brunkul
- Diatom+af. (ikke postglaciale), diabas, basalt
- Grus, sand og grus
- Silt
- Kalk, kridt, kalksten
- Ler, mergel
- Muld
- Fyld
- Gytje
- Sand
- Tørv
- Ler, sand og grus
- Ukendt lag, oplysninger mangler
- Flint, sten

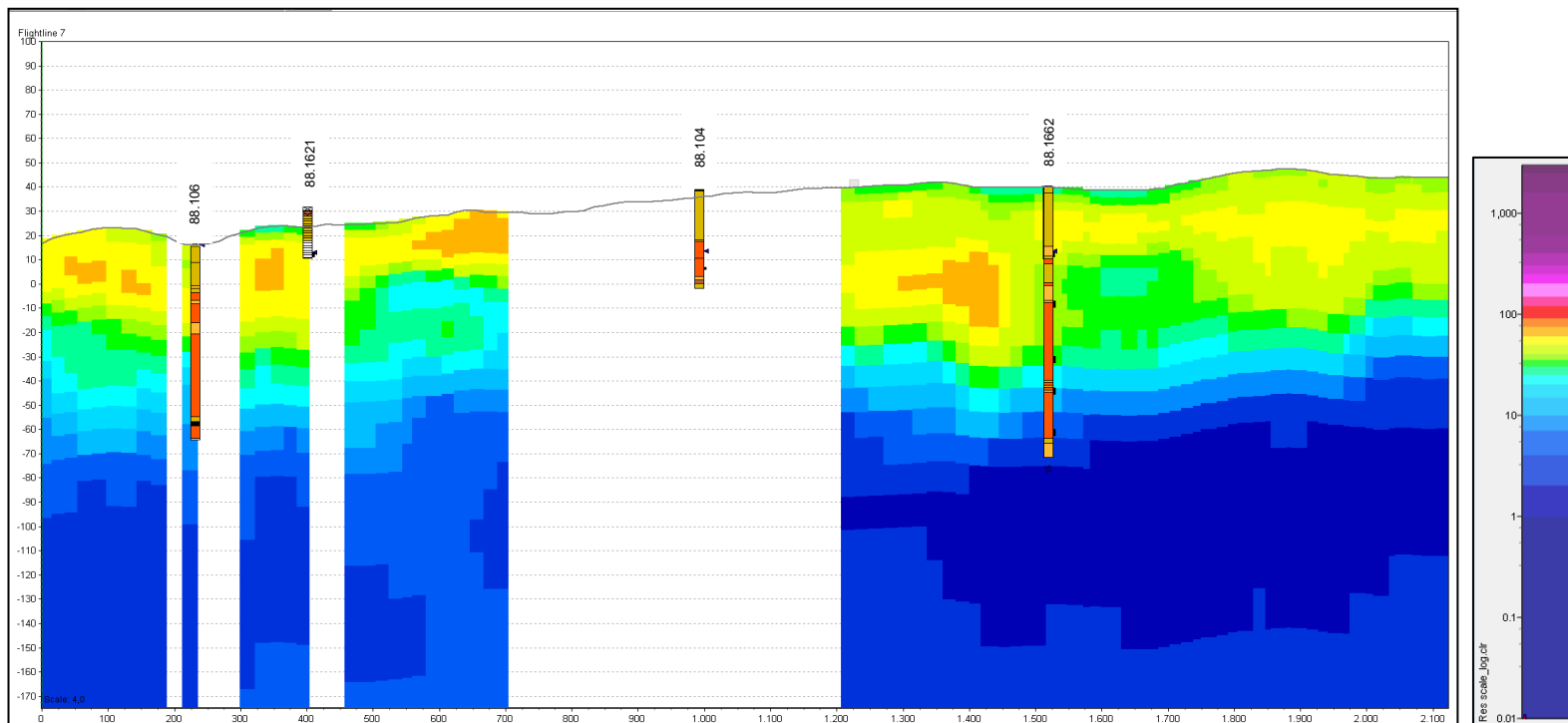
SkyTEM flyvelinje 5 (V-Ø 5)



SkyTEM flyvelinje 6 (V-Ø 6)

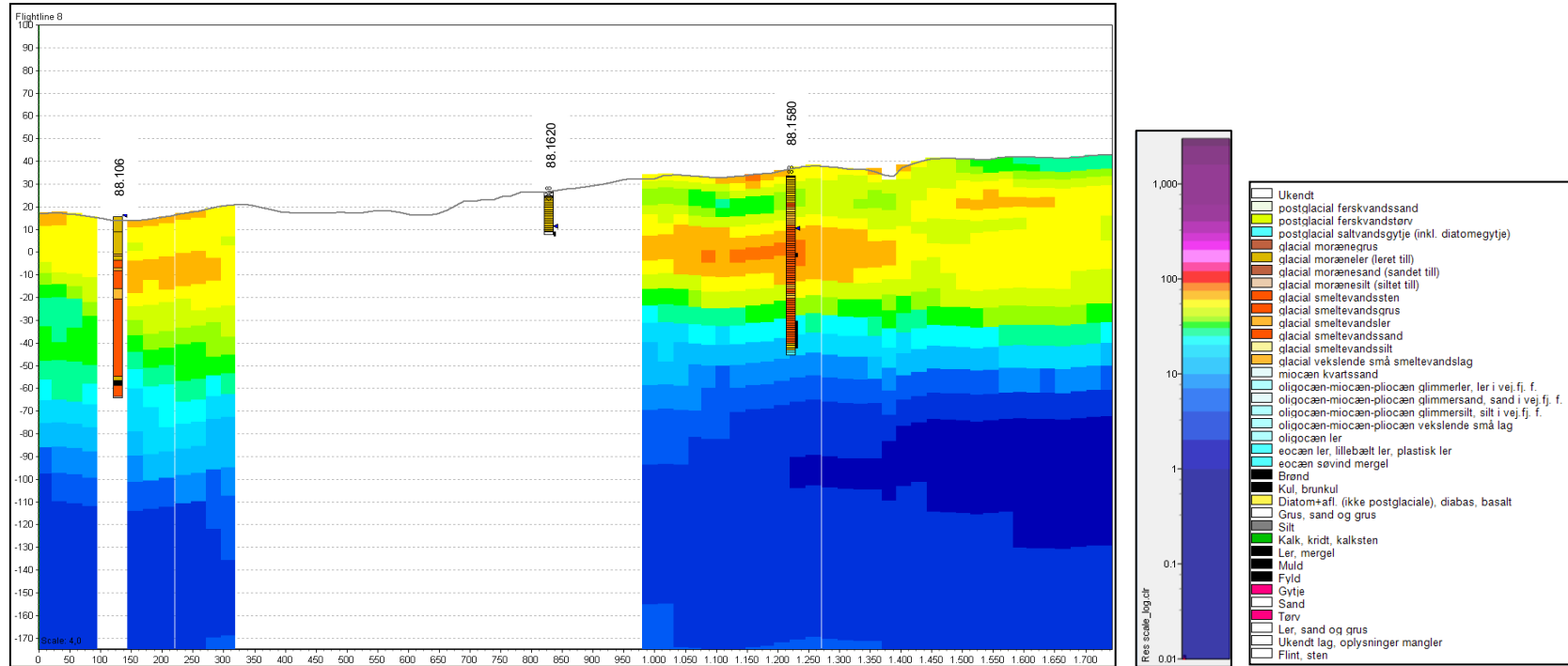


SkyTEM flyvelinje 7 (V-Ø 7)

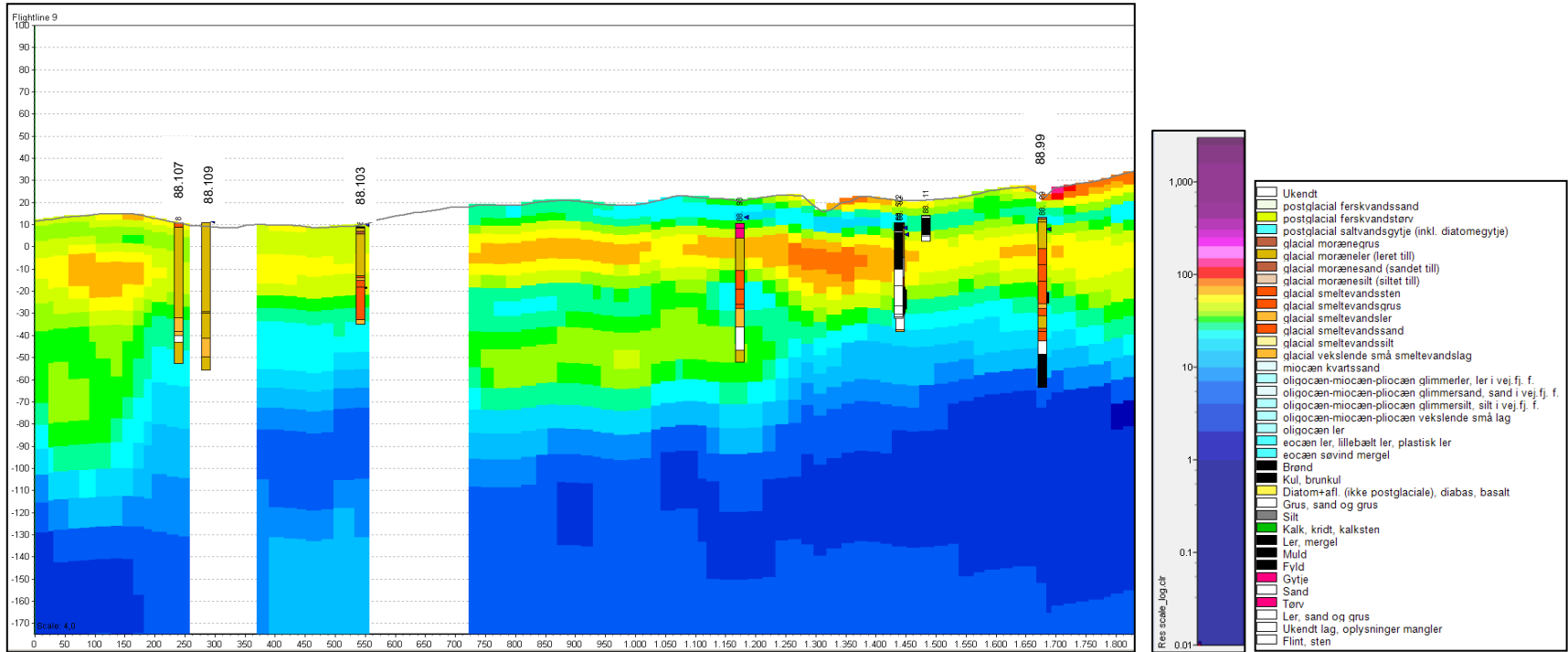


- Ukendt
- postglacial ferskvandsand
- postglacial ferskvandsstøv
- postglacial saltvandsgytje (inkl. diatomegytje)
- glacial morænegrus
- glacial moræneler (leret till)
- glacial morænesand (sandet till)
- glacial morænesilt (siltet till)
- glacial smeltevandssten
- glacial smeltevandsgrus
- glacial smeltevandsler
- glacial smeltevandsand
- glacial smeltevandsilt
- glacial vekslende små smeltevandslag
- miocæn kvartssand
- oligocæn-miocæn-pliocæn glimmerler, ler i vej fj. f.
- oligocæn-miocæn-pliocæn glimmersand, sand i vej fj. f.
- oligocæn-miocæn-pliocæn glimmersilt, silt i vej fj. f.
- oligocæn-miocæn-pliocæn vekslende små lag
- oligocæn ler
- eoocæn ler, lillebælt ler, plastisk ler
- eoocæn søvind mergel
- Brønd
- Kul, brunkul
- Diatom+af. (ikke postglaciale), diabas, basalt
- Grus, sand og grus
- Silt
- Kalk, knidt, kalksten
- Ler, mergel
- Muld
- Fyld
- Gytje
- Sand
- Tørv
- Ler, sand og grus
- Ukendt lag, oplysninger mangler
- Flint, sten

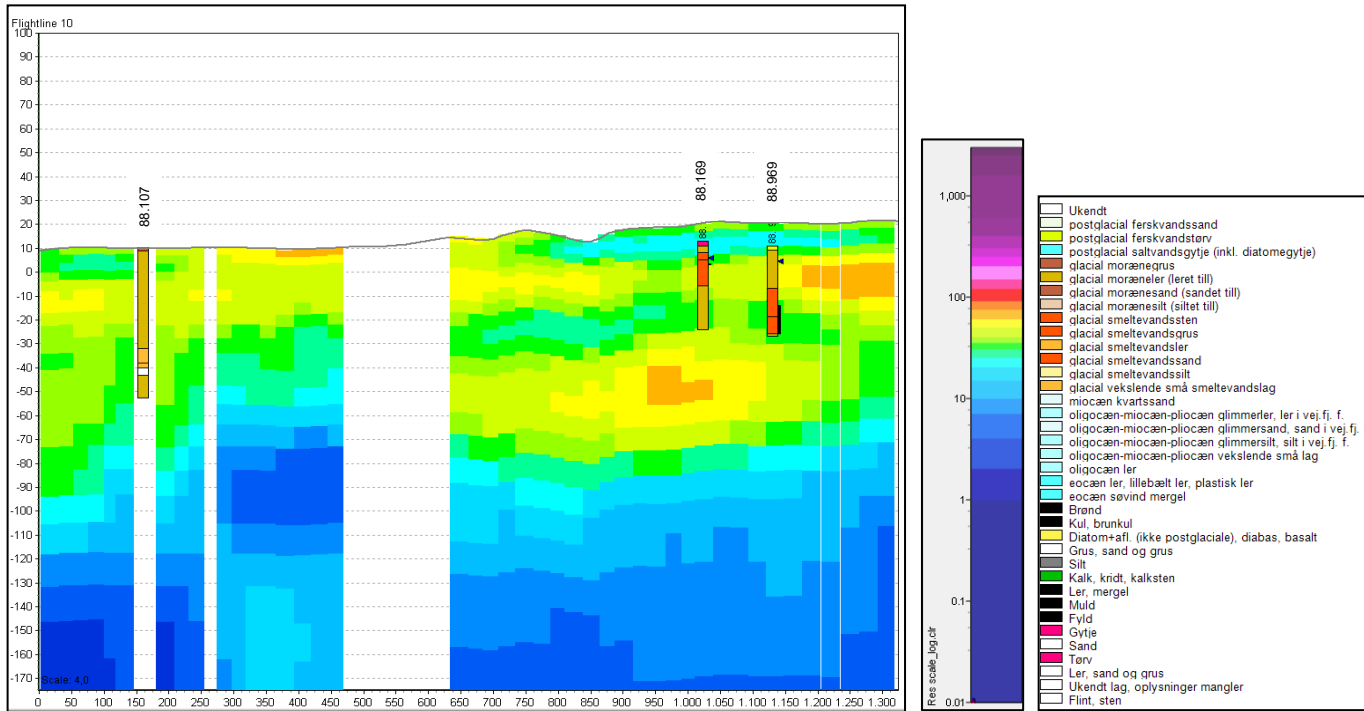
SkyTEM flyvelinje 8 (V-Ø 8)



SkyTEM flyvelinje 9 (V-Ø 9)

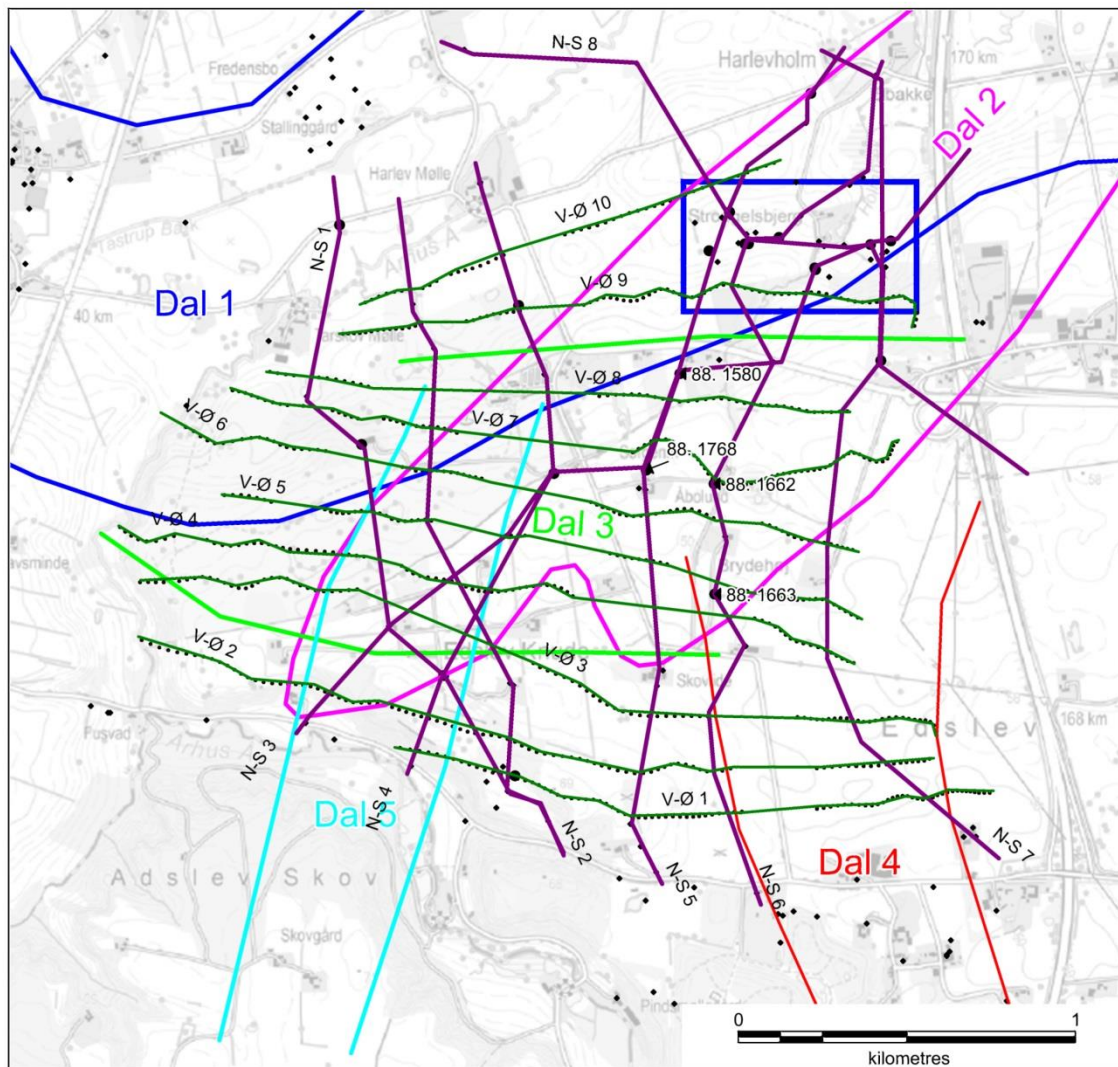


SkyTEM flyvelinje 10 (V-Ø 10)



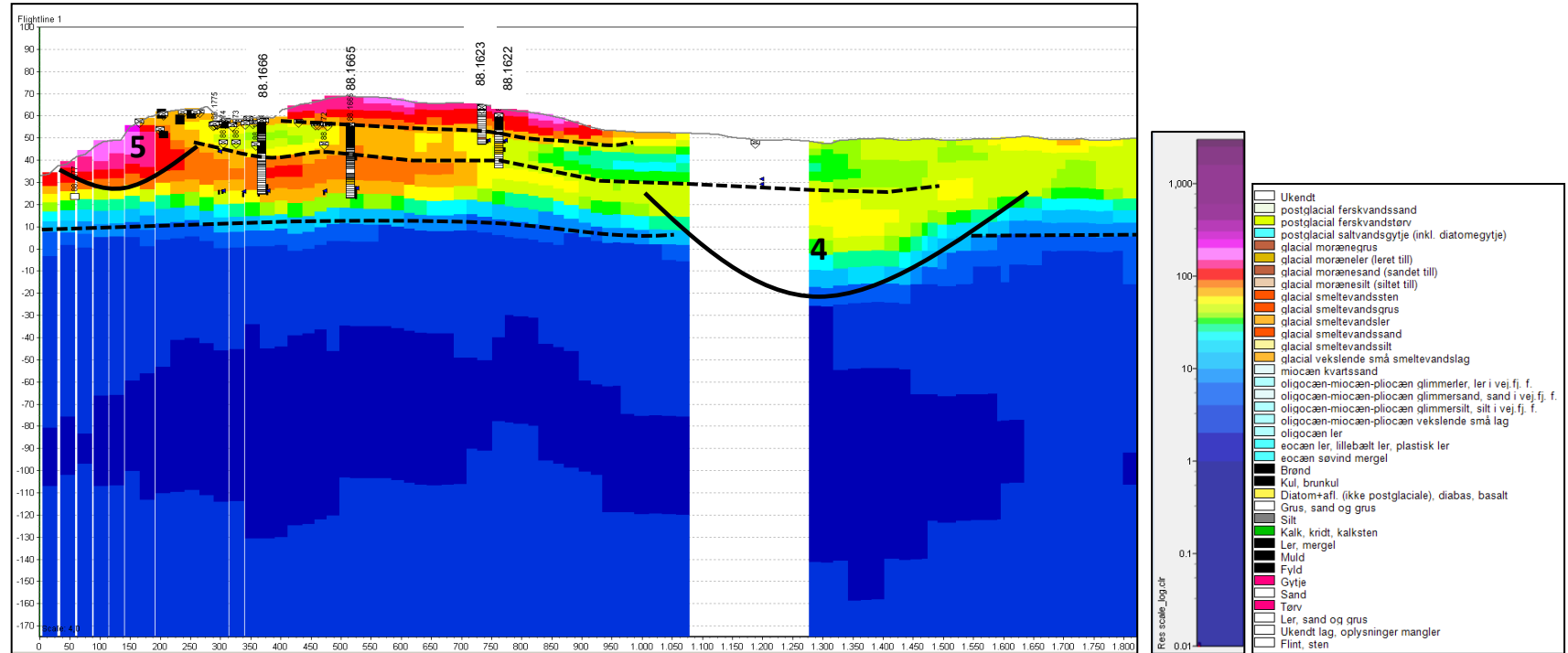
Bilag 10.3 – tolkede profiler

Tolkningsprofiler - oversigt

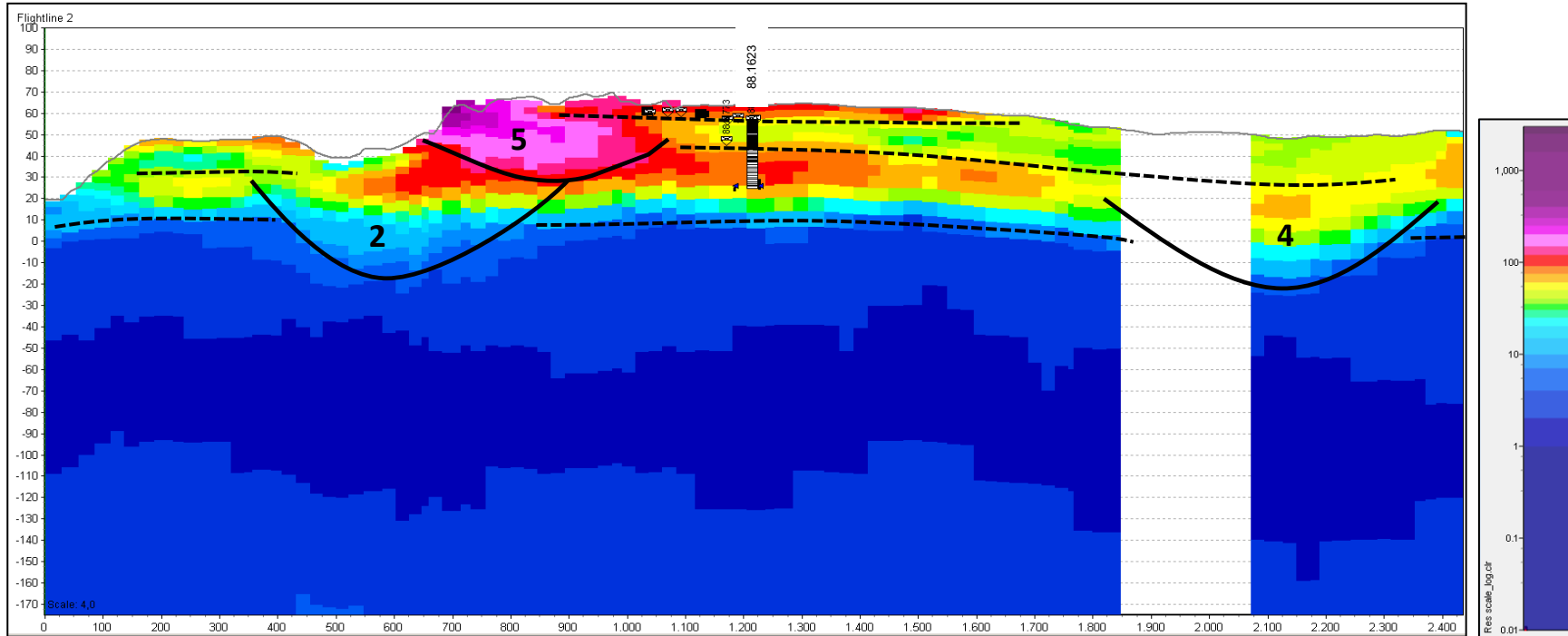


- Undersøgelingsboringer
- SkyTEM sonderinger
- Tolkningsprofiler
- SkyTEM flyvelinjer
- Abo kildeplads
- Øvrige boringer

Profil V-Ø 1 (SkyTEM flyvelinje)

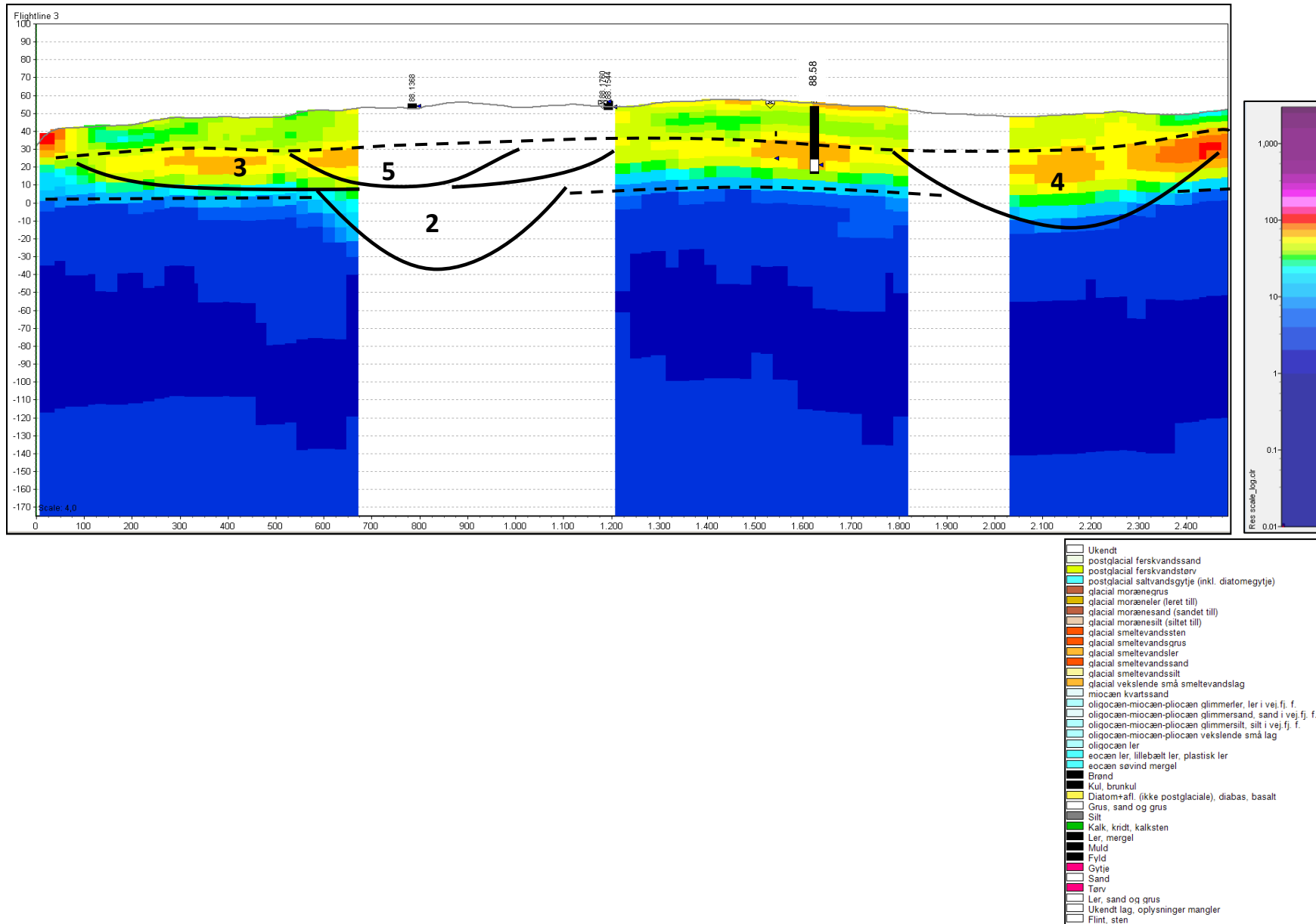


Profil V-Ø 2 (SkyTEM flyvelinje)

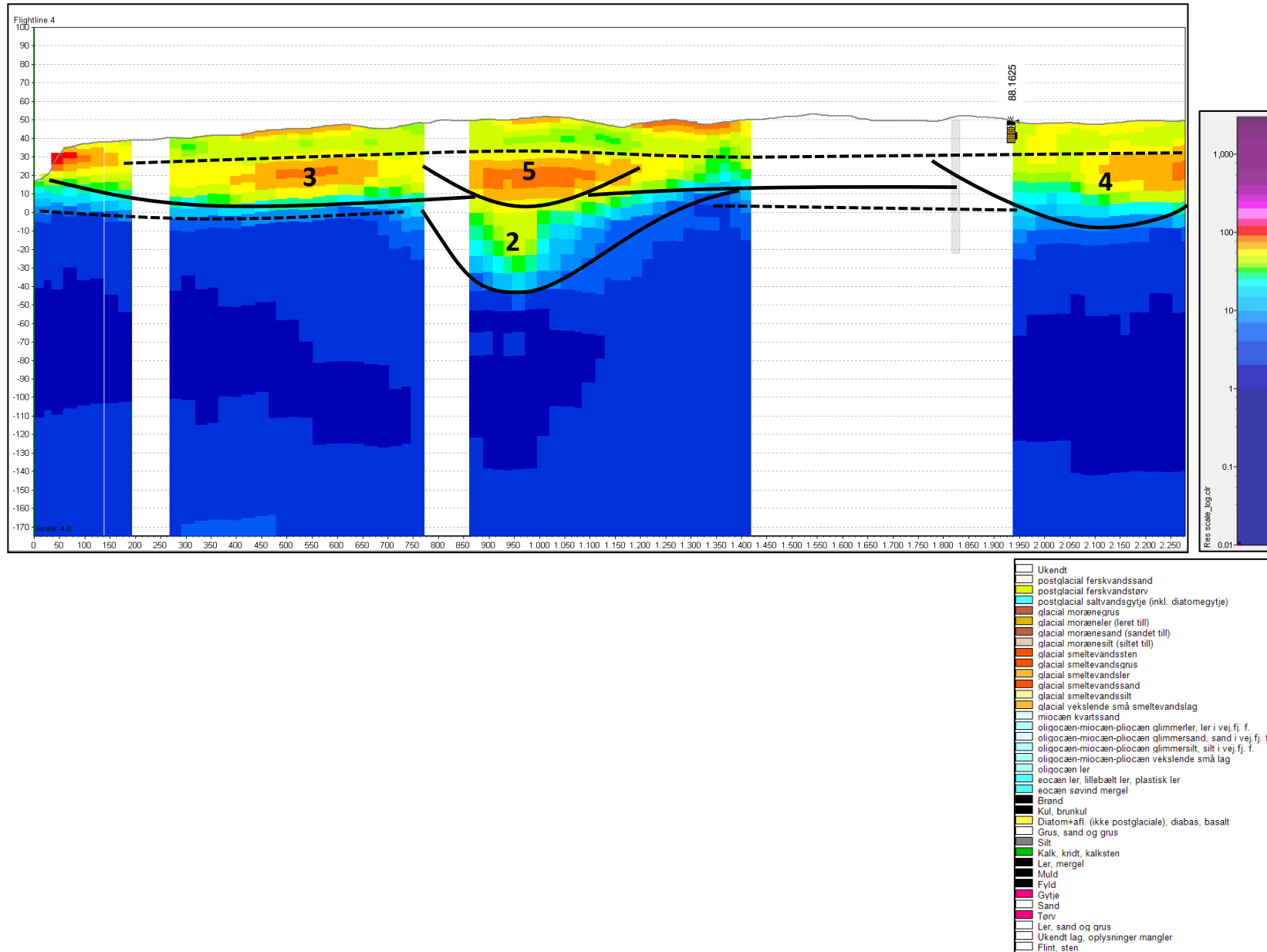


- Ukendt
- postglacial ferskvandssand
- postglacial ferskvandsterv
- postglacial saltvandsgytje (inkl. diatomegytje)
- glacial morænegrus
- glacial moræneler (leret till)
- glacial morænesand (sandet till)
- glacial morænesilt (siltet till)
- glacial smeltevandsten
- glacial smeltevandsgrus
- glacial smeltevandsler
- glacial smeltevandssand
- glacial smeltevandssilt
- glacial vekslende små smeltevandslag
- miocæn kvartssand
- oligoocæn-miocæn-pliocæn glimmerer, ler i vej, fj, f.
- oligoocæn-miocæn-pliocæn glimmersand, sand i vej, fj, f.
- oligoocæn-miocæn-pliocæn glimmersilt, silt i vej, fj, f.
- oligoocæn-miocæn-pliocæn vekslende små lag
- oligoocæn ler
- eocæn ler, lillebølt ler, plastisk ler
- eocæn søvind mergel
- Brønd
- Kul, brunkul
- Diatom+af. (ikke postglaciale), diabas, basalt
- Grus, sand og grus
- Silt
- Kalk, kridt, kalksten
- Ler, mergel
- Muld
- Fyld
- Gytje
- Sand
- Tørv
- Ler, sand og grus
- Ukendt lag, oplysninger mangler
- Flint, sten

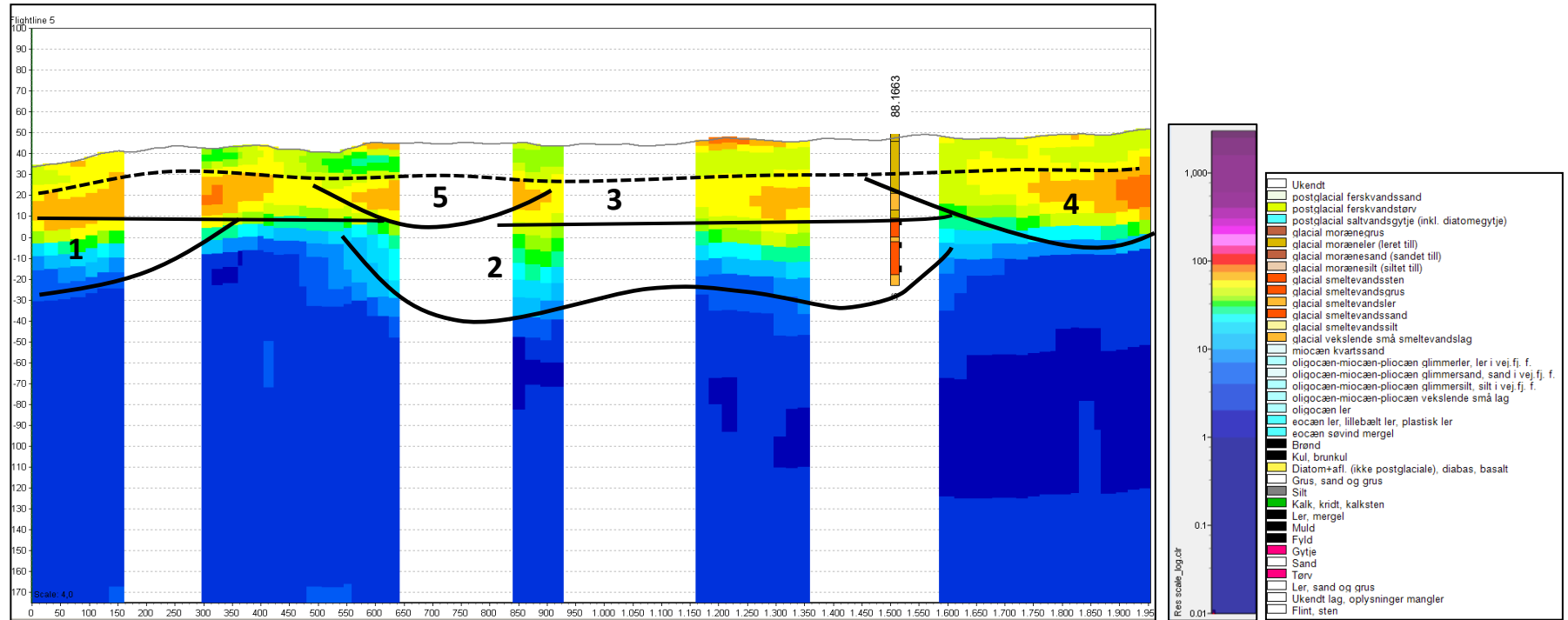
Profil V-Ø 3 (SkyTEM flyvelinje)



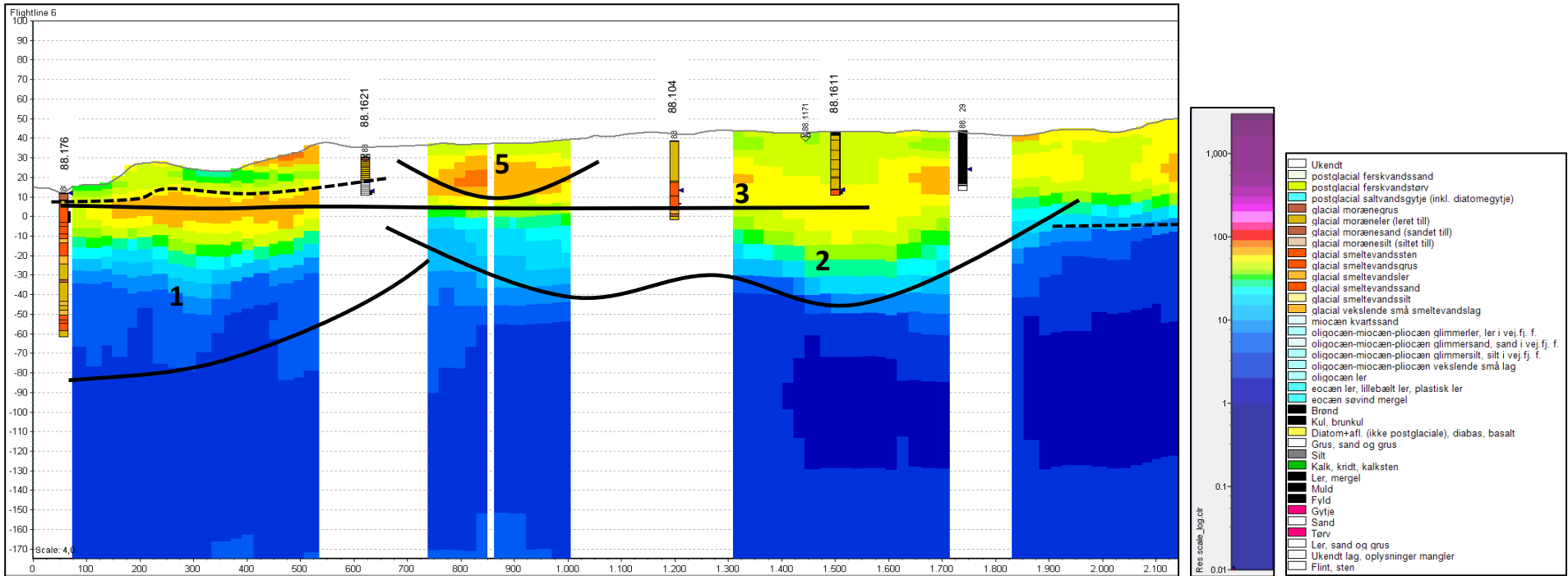
Profil V-Ø 4 (SkyTEM flyvelinje)



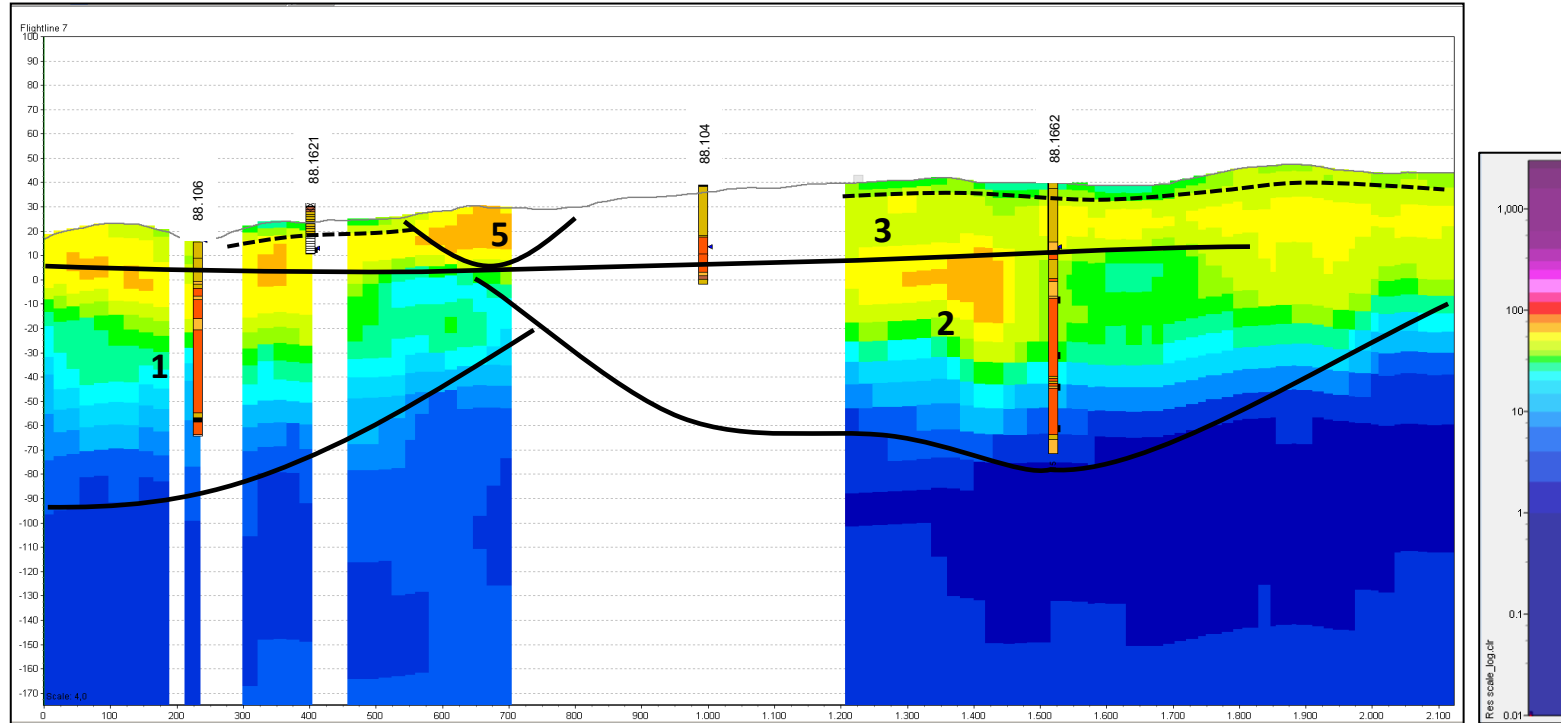
Profil V-Ø 5 (SkyTEM flyvelinje)



Profil V-Ø 6 (SkyTEM flyvelinje)

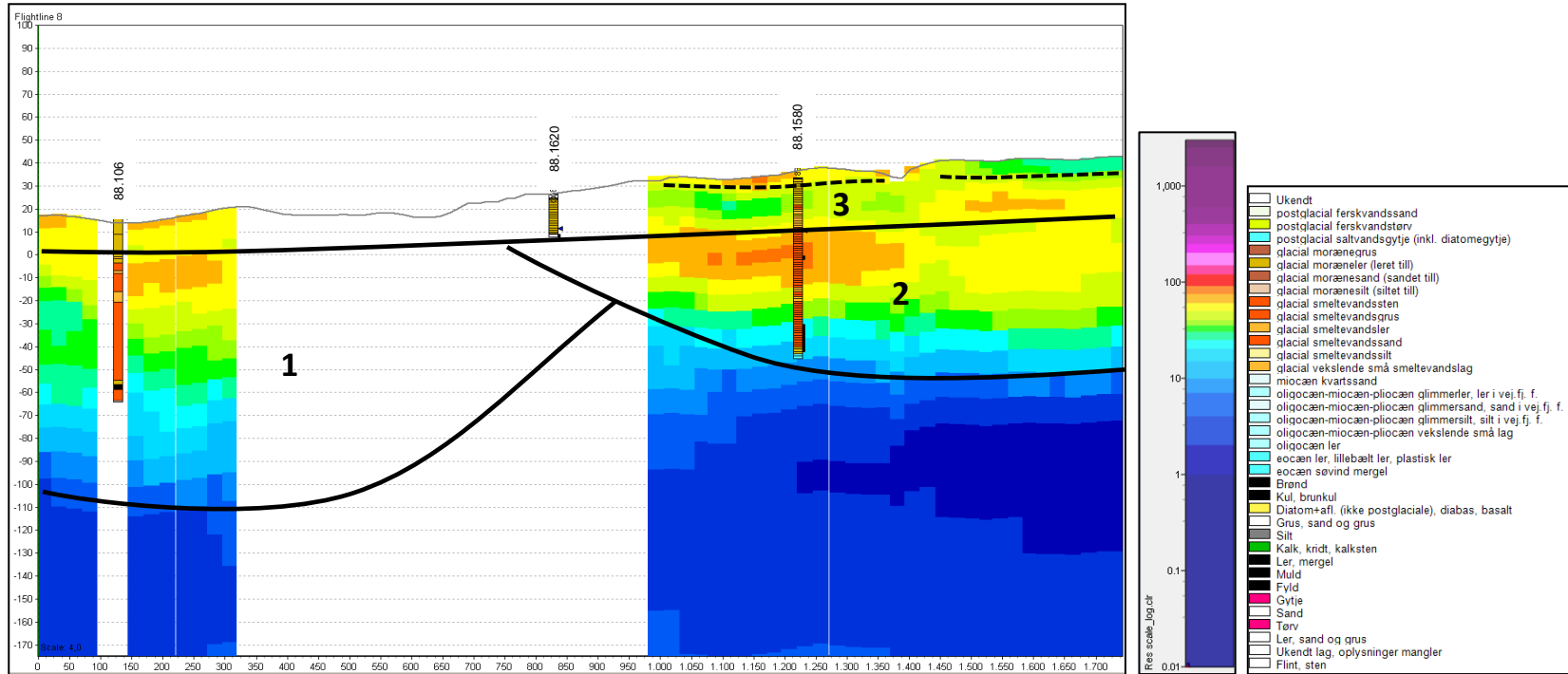


Profil V-Ø 7 (SkyTEM flyvelinje)

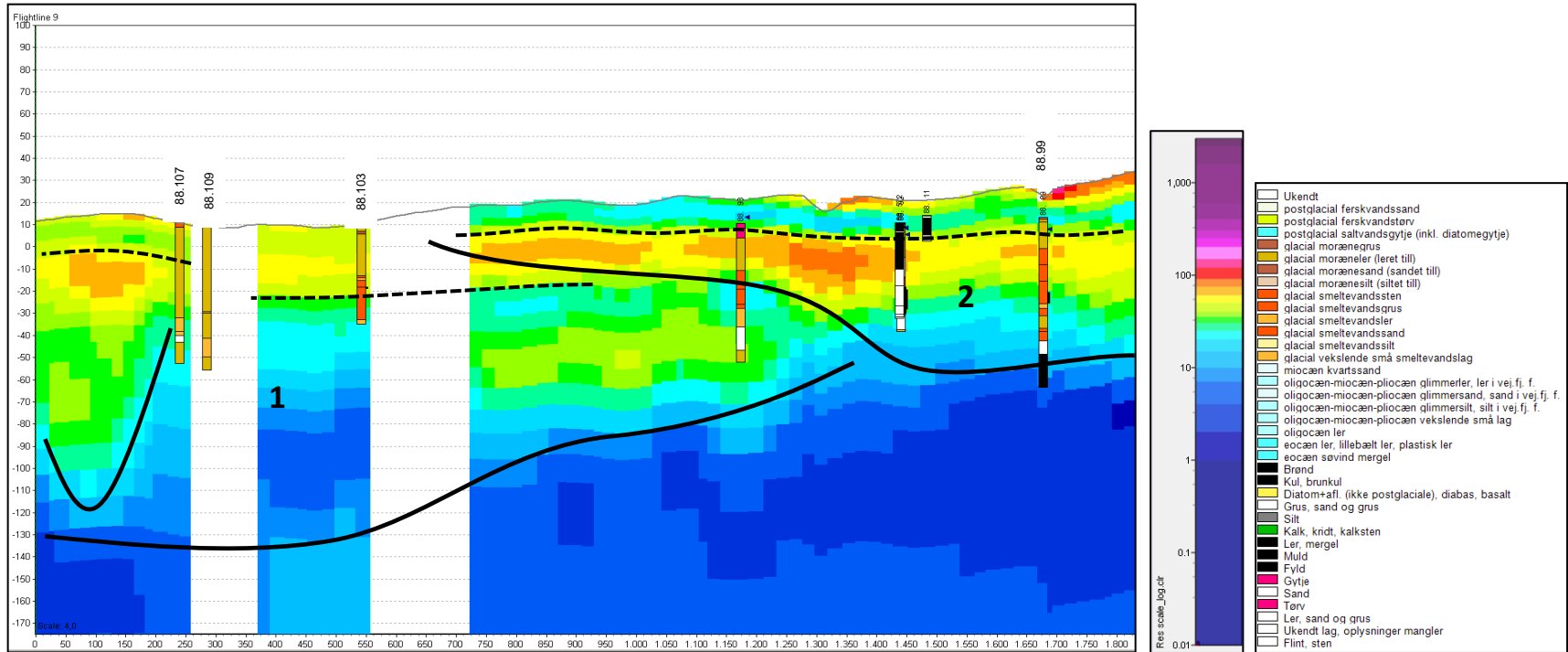


- Ukendt
- postglacial ferskvandssand
- postglacial ferskvandsterv
- postglacial saltvandsgytje (inkl. diatomegytje)
- glacial morænegrus
- glacial moræneler (leret till)
- glacial morænesand (sandet till)
- glacial morænesilt (siltet till)
- glacial smeltevandssten
- glacial smeltevandsgrus
- glacial smeltevandsler
- glacial smeltevandssand
- glacial smeltevandssilt
- glacial vekslede små smeltevandstag
- miocæn kvartssand
- oligoocæn-miocæn-pliocæn glimmerler, ler i vej fj. f.
- oligoocæn-miocæn-pliocæn glimmersand, sand i vej fj. f.
- oligoocæn-miocæn-pliocæn glimmersilt, silt i vej fj. f.
- oligoocæn-miocæn-pliocæn vekslede små lag
- oligoocæn ler
- eoocæn ler, lillebælt ler, plastisk ler
- eoocæn søvind mergel
- Brønd
- Kul, brunkul
- Diatom+aff. (ikke postglaciale), diabas, basalt
- Grus, sand og grus
- Silt
- Kalk, kridt, kalksten
- Ler, mergel
- Muld
- Fyld
- Gytje
- Sand
- Tøv
- Ler, sand og grus
- Ukendt lag, oplysninger mangler
- Flint, sten

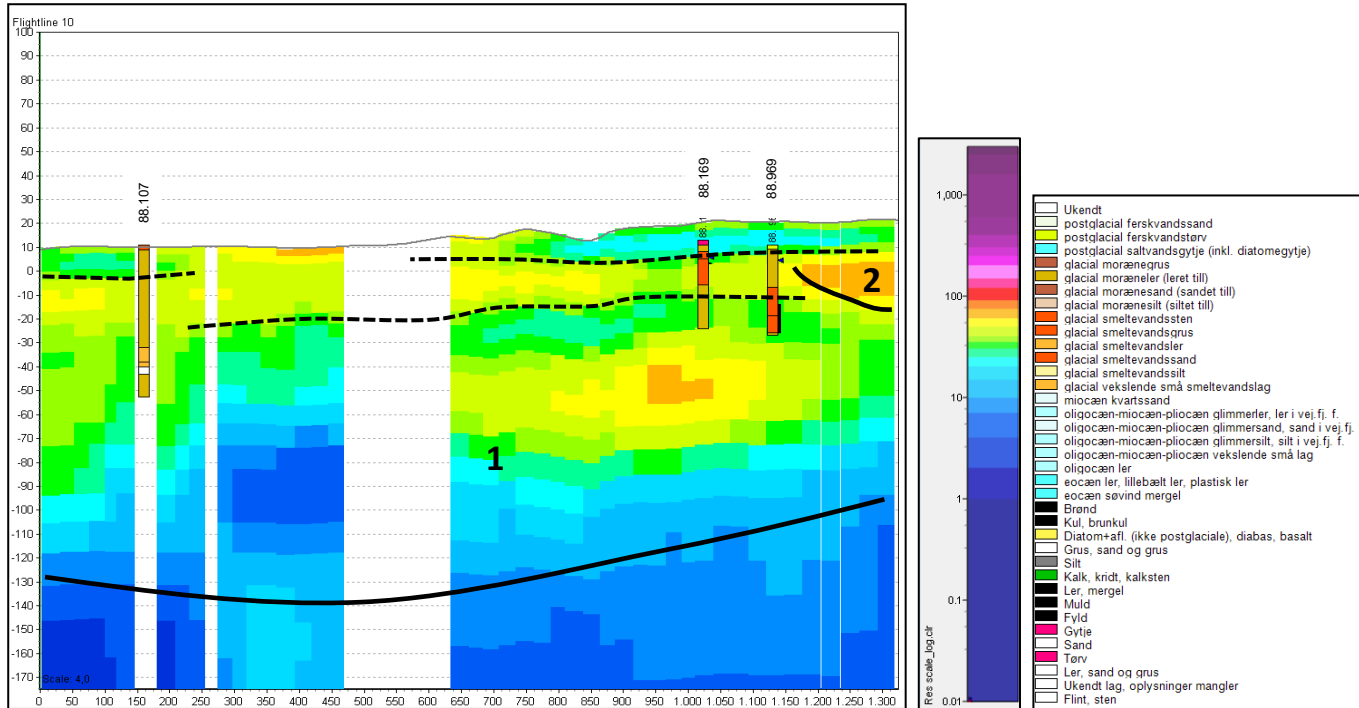
Profil V-Ø 8 (SkyTEM flyvelinje)



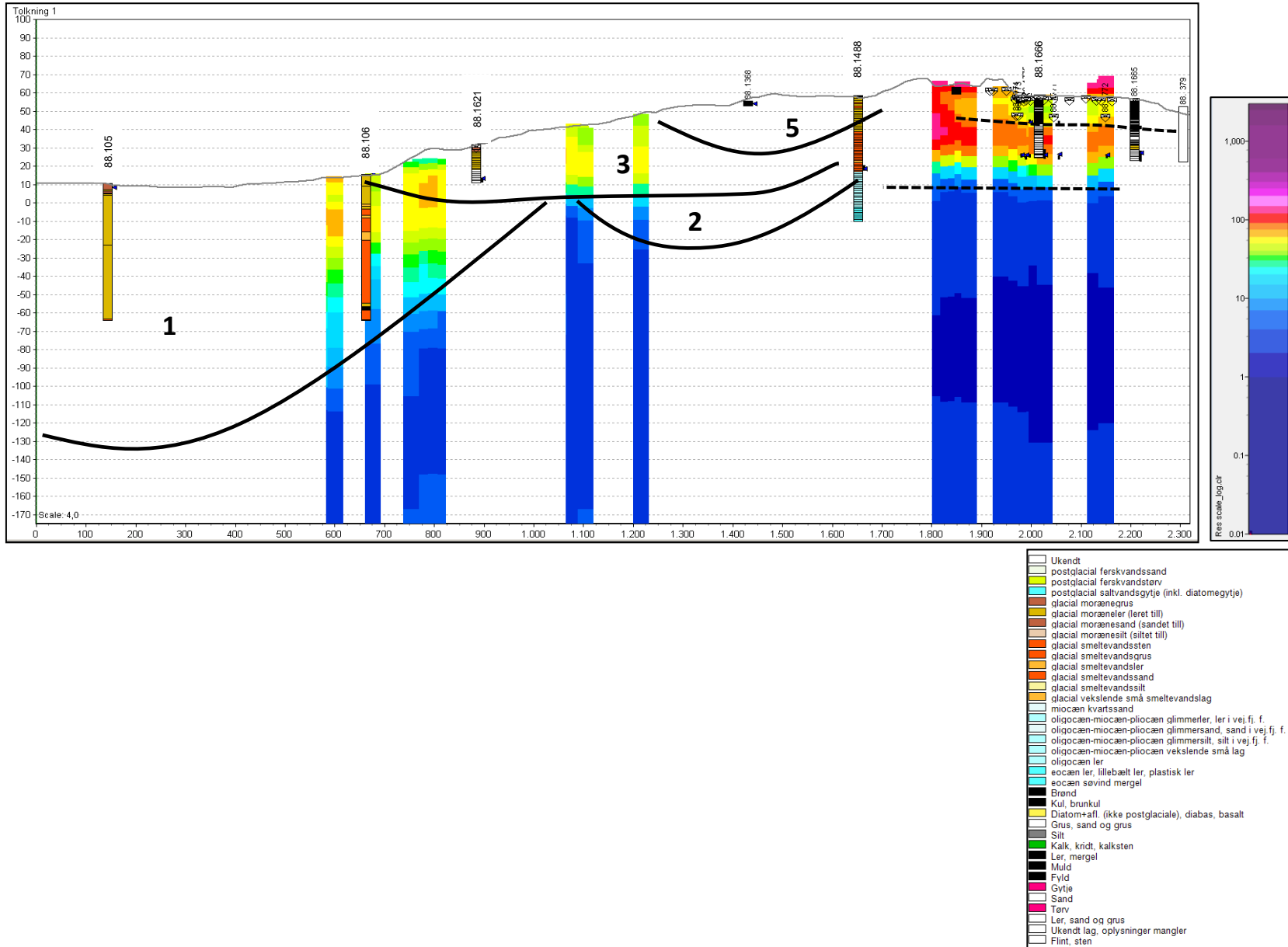
Profil V-Ø 9 (SkyTEM flyvelinje)



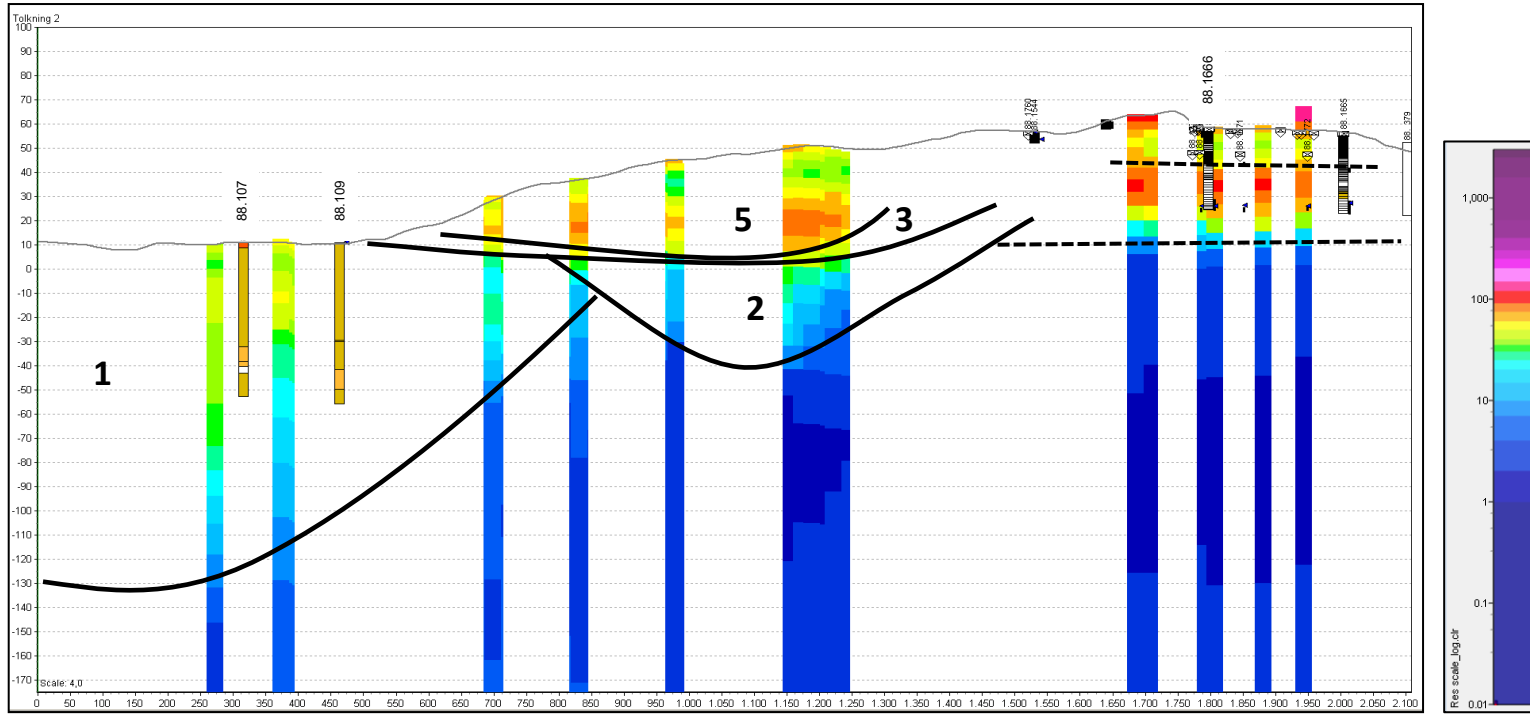
Profil V-Ø 10 (SkyTEM flyvelinje)



Profil N-S 1

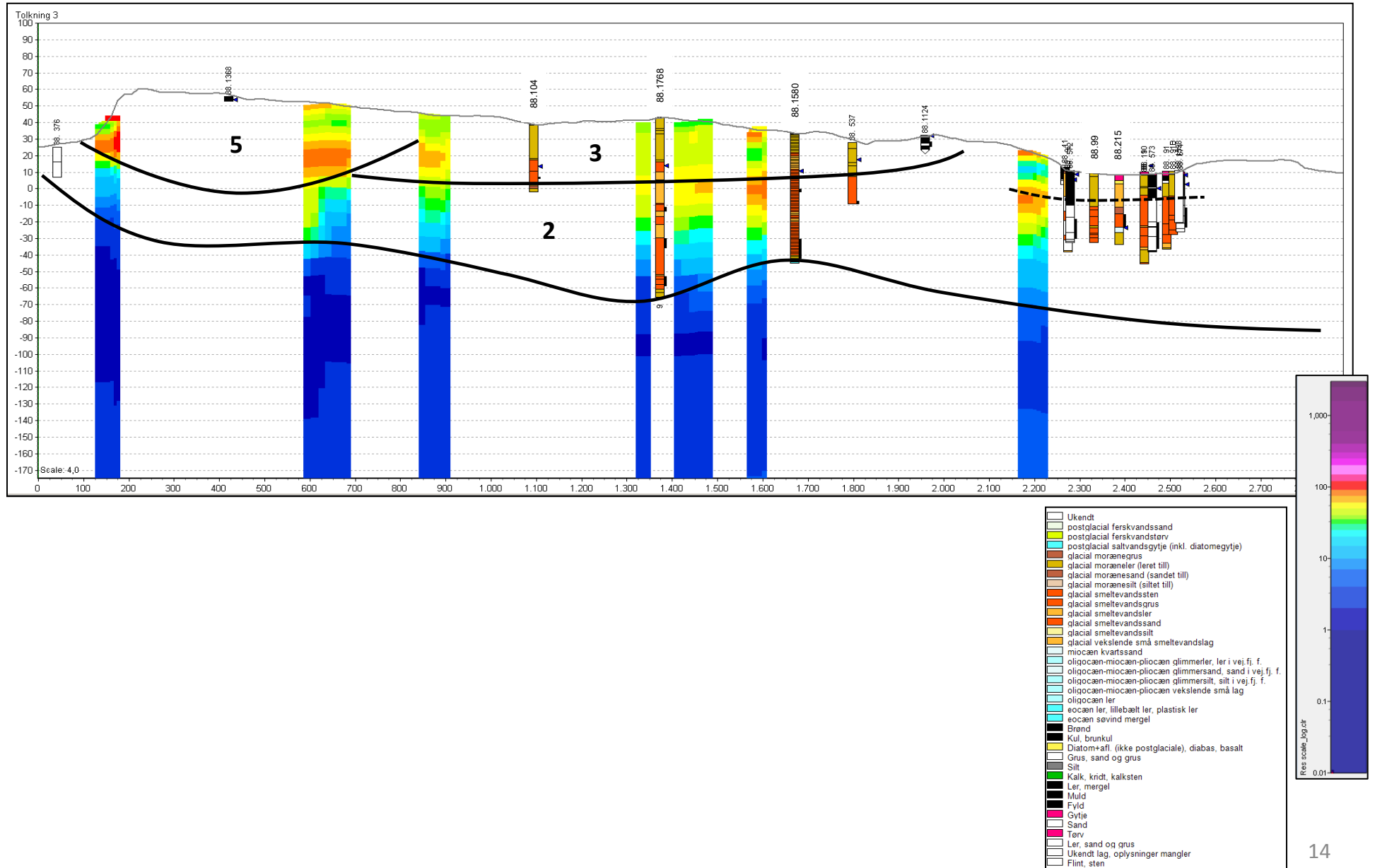


Profil N-S 2

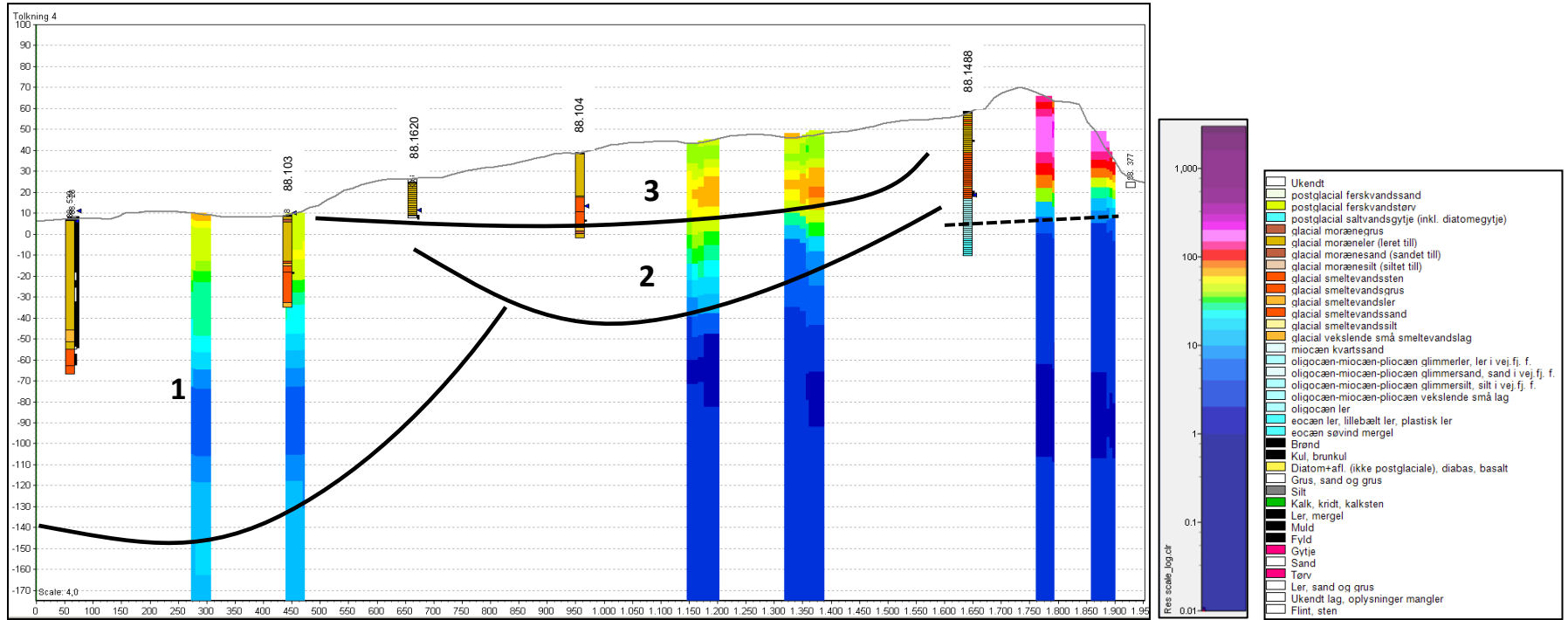


- Ukendt
- postglacial ferskvandsand
- postglacial ferskvandsstøv
- postglacial saltvandsgytte (inkl. diatomegytte)
- glacial morænegrus
- glacial moræneler (leret till)
- glacial morænesand (sandet till)
- glacial morænesilt (siltet till)
- glacial smeltevandssten
- glacial smeltevandsgrus
- glacial smeltevandsler
- glacial smeltevandsand
- glacial smeltevandsilt
- glacial vekslende små smeltevandslag
- miocæn kvartssand
- oligocæn-miocæn-pliocæn glimmerler, ler i vej.fj. f.
- oligocæn-miocæn-pliocæn glimmersand, sand i vej.fj. f.
- oligocæn-miocæn-pliocæn glimmersilt, silt i vej.fj. f.
- oligocæn-miocæn-pliocæn vekslende små lag
- oligocæn ler
- eocæn ler, lillebælt ler, plastisk ler
- eocæn søvind mergel
- Brønd
- Kul, brunkul
- Diatom+ afl. (ikke postglaciale), diabas, basalt
- Grus, sand og grus
- Silt
- Kalk, kridt, kalksten
- Ler, mergel
- Muld
- Fyld
- Gytte
- Sand
- Tørv
- Ler, sand og grus
- Ukendt lag, oplysninger mangler
- Flint, sten

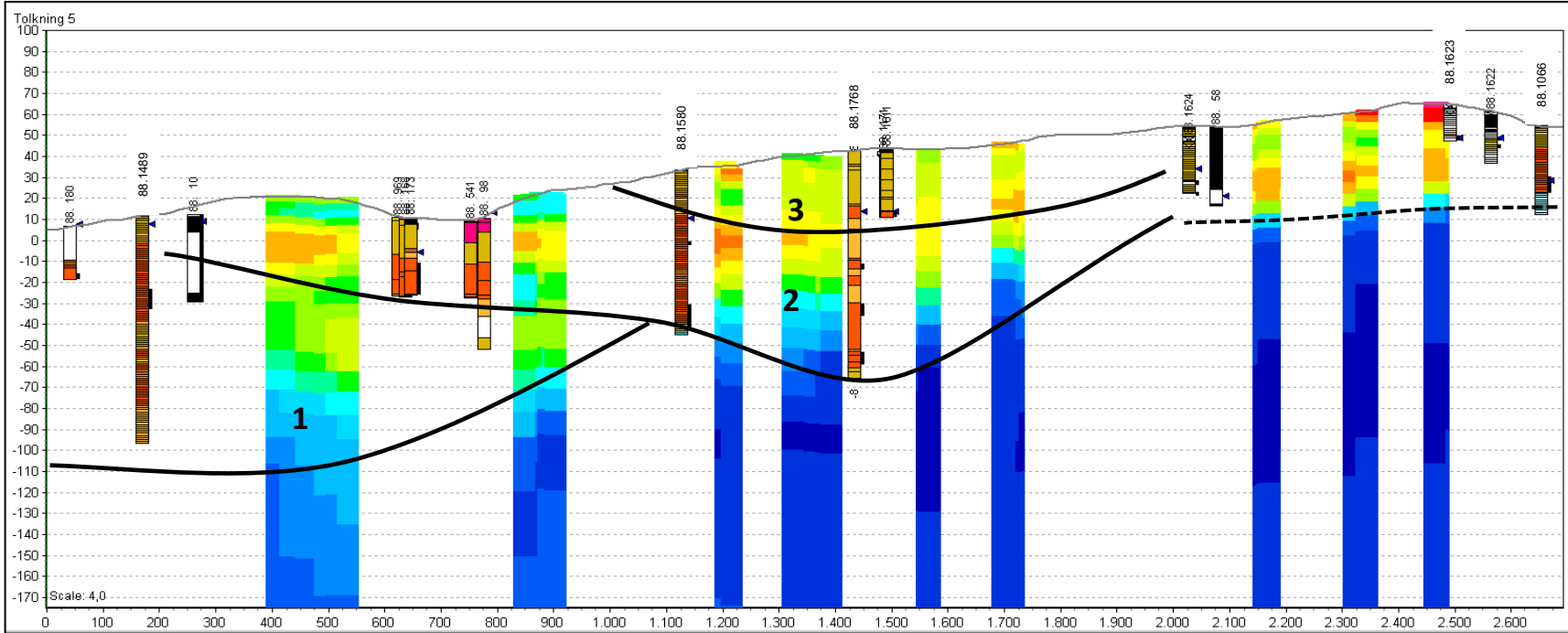
Profil N-S 3



Profil N-S 4

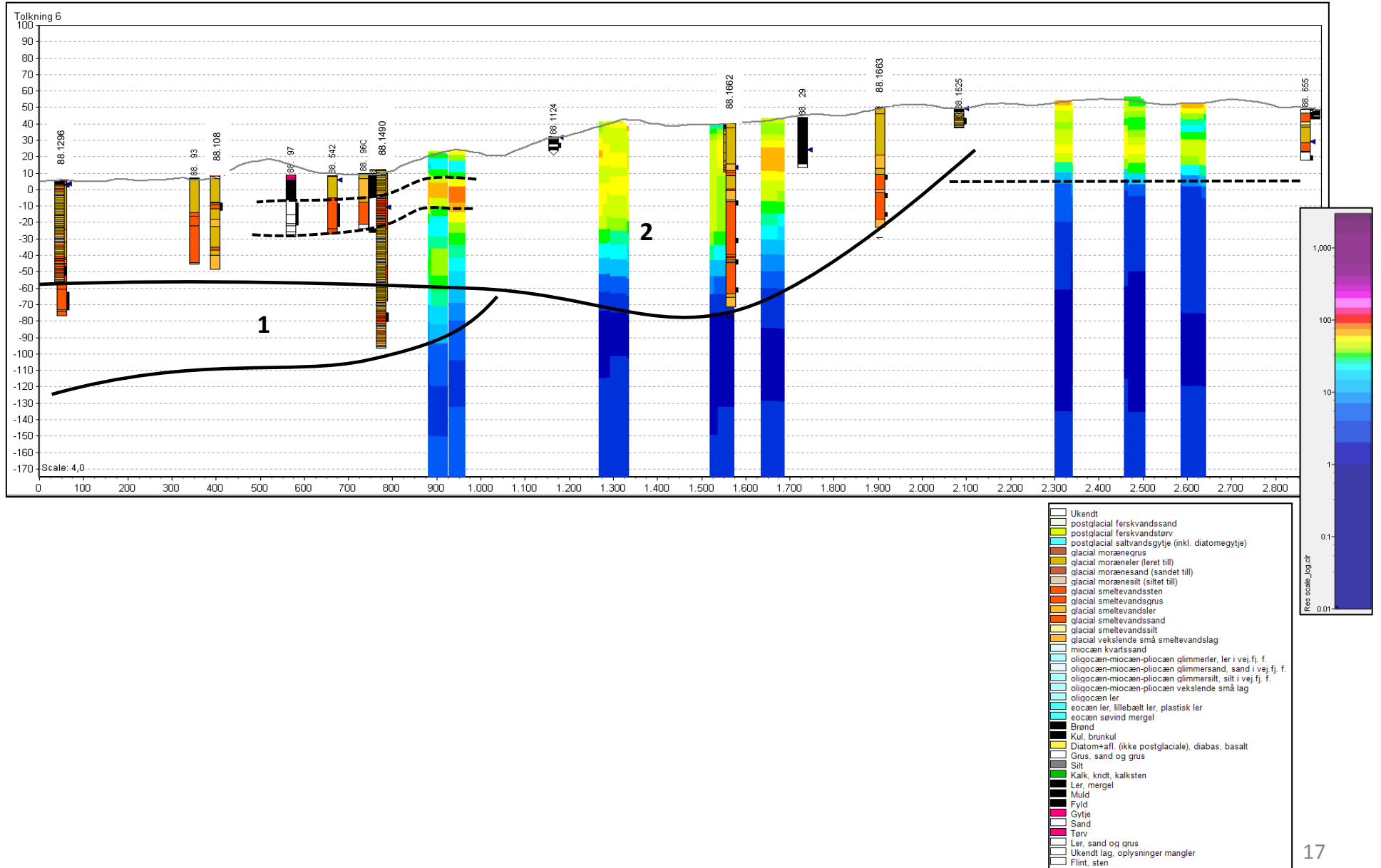


Profil N-S 5

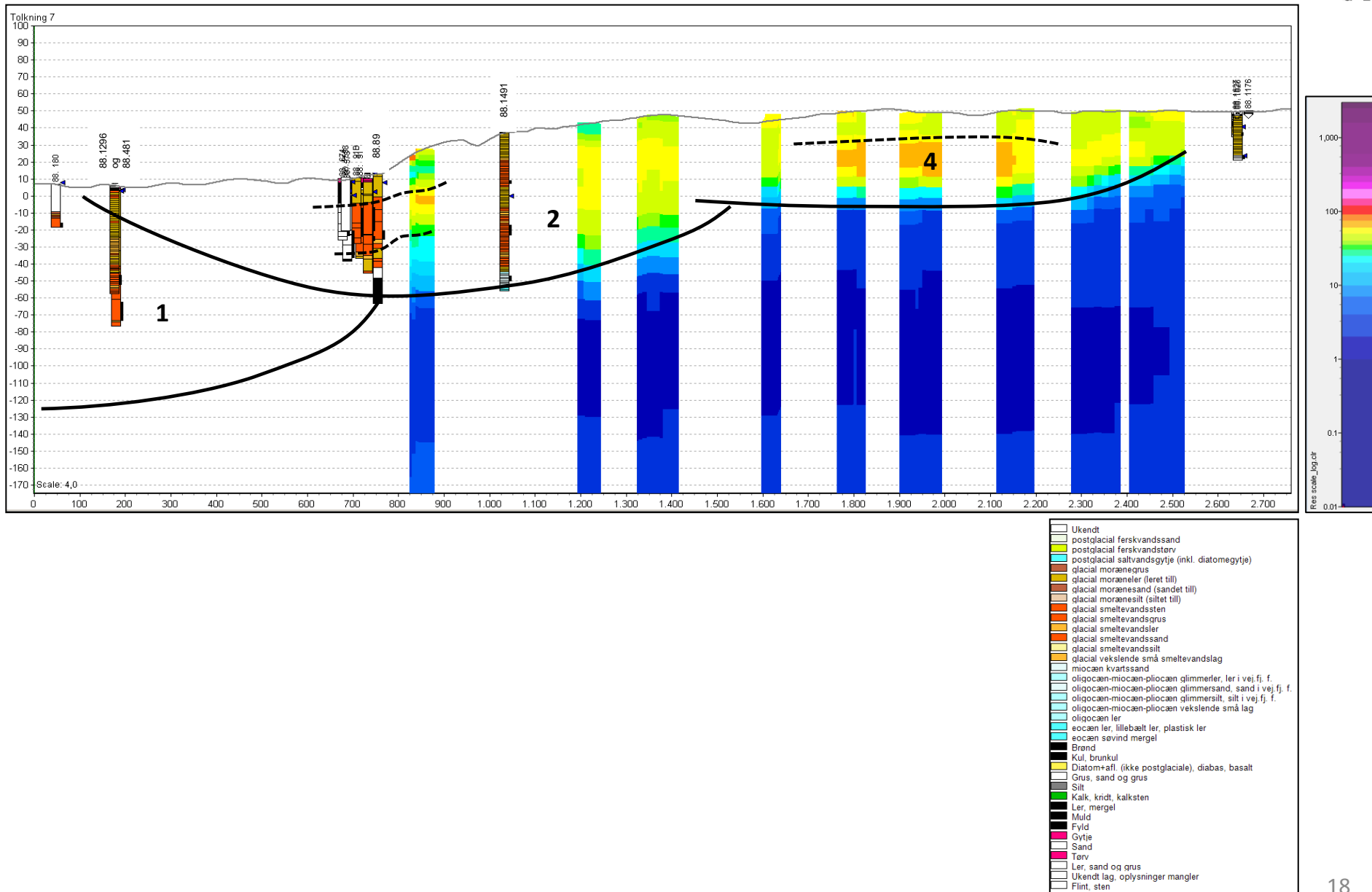


- Ukendt
- postglacial ferskvandssand
- postglacial ferskvandstøv
- postglacial saltvandsgytje (inkl. diatomegytje)
- glacial morænegrus
- glacial moræneler (leret till)
- glacial morænesand (sandet till)
- glacial morænesilt (siltet till)
- glacial smeltvandssten
- glacial smeltvandsgrus
- glacial smeltvandsler
- glacial smeltvandsand
- glacial smeltvandsilt
- glacial vekslede små smeltvandslag
- miocæn kvartssand
- oligoocæn-miocæn-plioocæn glimmerler, ler i vej fj. f.
- oligoocæn-miocæn-plioocæn glimmersand, sand i vej fj. f.
- oligoocæn-miocæn-plioocæn glimmersilt, silt i vej fj. f.
- oligoocæn-miocæn-plioocæn vekslede små lag
- oligoocæn ler
- eoocæn ler, lillebælt ler, plastisk ler
- eoocæn søvind mergel
- Brønd
- Kul, brunkul
- Diatom+aff. (ikke postglaciale), diabas, basalt
- Grus, sand og grus
- Silt
- Kalk, kridt, kalksten
- Ler, mergel
- Muld
- Fyld
- Gytje
- Sand
- Tørv
- Ler, sand og grus
- Ukendt lag, oplysninger mangler
- Flint, sten

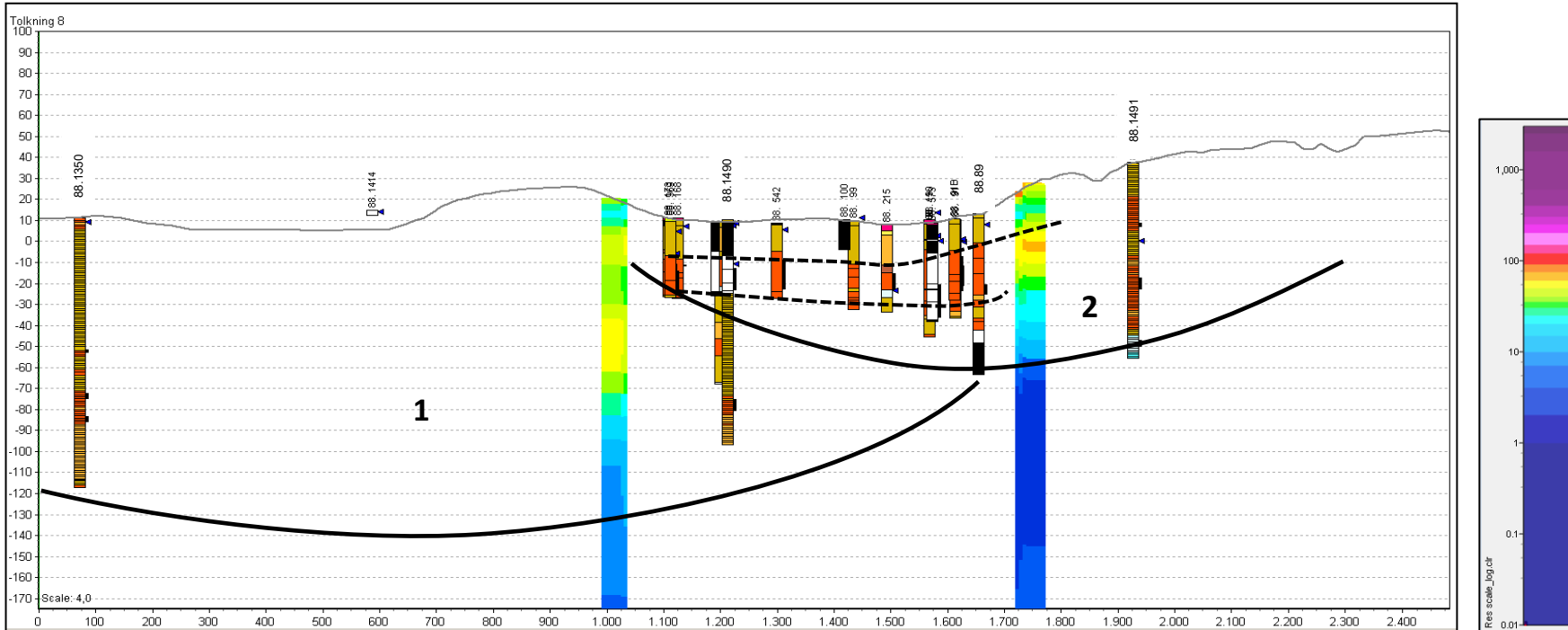
Profil N-S 6



Profil N-S 7



Profil N-S 8



- Ukendt
- postglacial ferskvandssand
- postglacial ferskvandstør
- postglacial saltvandsgytje (inkl. diatomegytje)
- glacial morænegrus
- glacial moræneler (leret till)
- glacial morænesand (sandet till)
- glacial morænesilt (siltet till)
- glacial smeltevandssten
- glacial smeltevandsgrus
- glacial smeltevandsler
- glacial smeltevandssand
- glacial smeltevandssilt
- glacial vekslende små smeltevandslag
- miocæn kvartssand
- oligoocæn-miocæn-pliocæn glimmersand, ler i vej, fj, f.
- oligoocæn-miocæn-pliocæn glimmersand, sand i vej, fj, f.
- oligoocæn-miocæn-pliocæn glimmersilt, silt i vej, fj, f.
- oligoocæn-miocæn-pliocæn vekslende små lag
- oligoocæn ler
- eoocæn ler, lillebalt ler, plastisk ler
- eoocæn søvind mergel
- Brønd
- Kul, brunkul
- Diatom+aff. (ikke postglaciale), diabas, basalt
- Grus, sand og grus
- Silt
- Kalk, kridt, kalksten
- Ler, mergel
- Muld
- Fyld
- Gytje
- Sand
- Tør
- Ler, sand og grus
- Ukendt lag, oplysninger mangler
- Flint, sten