

Lokalisering af potentielle boresteder ved Kasted på baggrund af geologiske og hydrogeologiske vurderinger

Anne-Sophie Høyer, Troels Norvin Vilhelmsen &
Flemming Jørgensen

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



GEUS

Lokalisering af potentielle boresteder ved Kasted på baggrund af geologiske og hydrogeologiske vurderinger

Anne-Sophie Høyer, Troels Norvin Vilhelmsen &
Flemming Jørgensen

Indhold

Baggrund for undersøgelsen	4
Geologisk ramme	5
Boringsdata (HyGEM modelområde)	7
Geofysiske data (HyGEM modelområde)	8
Den geologiske model	9
Modellerede dale	11
Gennemgang og analyse af de enkelte dale i fokusområdet	14
Mulige nye boresteder	32
Sammenstilling med hydrologiske resultater fra HyGEM	42
Konklusion	46
Referencer	47

Forord

Indeværende undersøgelse er udarbejdet på baggrund af et møde mellem Aarhus Vand A/S og GEUS d. 10. december 2015. På mødet fremlagde Aarhus Vand problemstillingen for Kasted Kildeplads, hvor indvindingen på sigt skal spredes over et større område for at mindske indflydelsen på Kasted mose, samt ideelt set at generere mere overfladevand til Egåen. Aarhus Vand A/S har på den baggrund bedt GEUS om at udføre en vurdering af de geologiske og hydrogeologiske forhold omkring Kasted Kildeplads med henblik på at udpege nye mulige boresteder.

Som et led i vurderingerne blev det aftalt, at resultaterne sammenholdes og korreleres med resultater fra det arbejde, der foregår i regi af HyGEM-projektet. Udover GEUS' geologiske og hydrogeologiske vurderinger indeholder rapporten således også hydrologiske beregninger samt usikkerhedsvurderinger foretaget af Troels Norvin Vilhelmsen fra Hydrogeofysikgruppen, Aarhus Universitet.

Peter Sandersen fra GEUS har bidraget med sparring og kvalitetssikring.

Baggrund for undersøgelsen

Undersøgelsesområdet er beliggende rundt om Kasted Kildeplads, nord for Aarhus (Fig. 1). Undersøgelsen tager udgangspunkt i en geologisk model, der er lavet af GEUS i regi af HyGEM projektet (Høyer et al., 2015) og fokuserer på den østlige del af modelområdet (øst for Ristrup-dalen).

Området blev allerede i 1990'erne dækket af omfattende TEM kortlægninger, der sammen med boringer bekræftede og forfinede tidligere kortlægninger og antagelser af tilstedeværelsen af begravede dale (f.eks. Jørgensen & Sandersen, 2009; Sandersen & Ramsay, 2001). I forbindelse med HyGEM projektet blev der i august 2013 indsamlet nye SkyTEM data. Sammen med den forbedrede opløsning gjorde den større datatæthed det muligt at tolke dalenes forløb i endnu større detalje (Fig. 1).

Kasted Kildeplads er ligesom de omkringliggende kildepladser placeret i begravede dalstrukturer, hvorfor dalenes indbyrdes relationer og stratigrafi er afgørende for hydrologien i området.

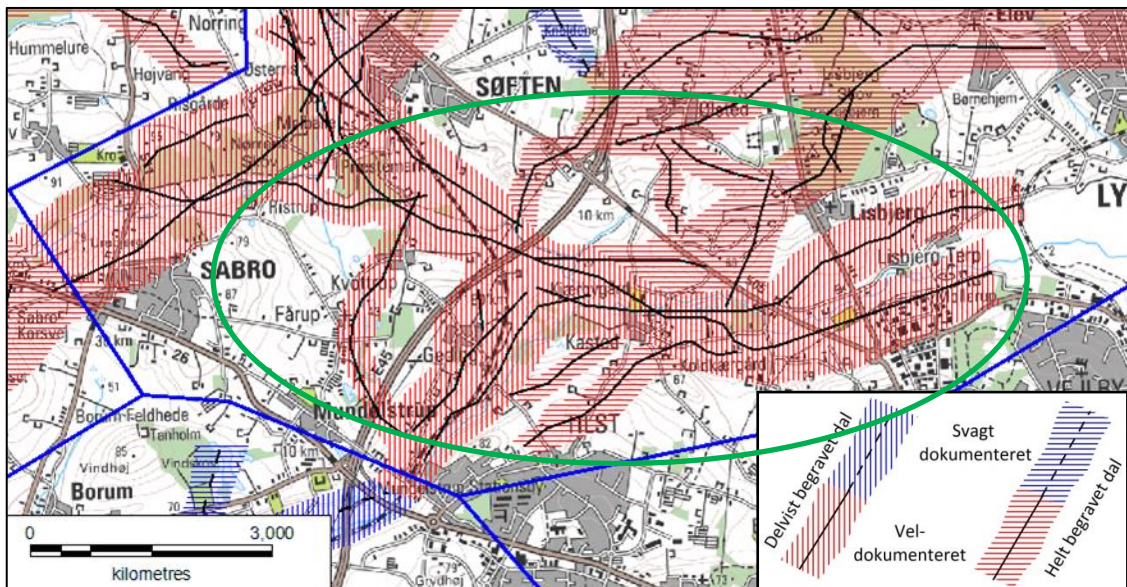


Fig. 1: Undersøgelsesområdet er beliggende indenfor den grønne cirkel og inkluderer området omkring Kasted Kildeplads, der ligger centralt i området. Dalenes skitsering er hentet fra Sandersen & Jørgensen, 2016. Signaturen for de begravede dale er angivet til højre.

Geologisk ramme

Området er karakteriseret ved højtliggende palæogent, plastisk ler, der er gennemskåret af et netværk af begravede dale (Sandersen & Jørgensen, 2016). Det plastiske ler udgør den nedre grænse for grundvandshydrologien, da det består af fede leraflejringer. Leret tilhører hovedsageligt Søvind Mergel og Lillebæltsler Formationerne, der er aflejret i Eocæn (Heilmann-Clausen, 1995). Den elektriske modstand er typisk meget lav (<10 ohm-m), hvilket gør, at aflejringerne er letgenkendelige på elektromagnetiske resistivitets-data. Over det plastiske ler kan der lokalt forekomme Oligocæne og Miocæne aflejringer (Viborg Formationen og Vejle Fjord Formationen, Heilmann-Clausen, 1995). Både Viborg- og Vejle Fjord Formationen viser opad-grovende tendenser; Viborg Formationen fra plastisk ler til siltet ler, og Vejle Fjord Formationen fra siltet ler til sand. De Oligocæne og Miocæne aflejringer er således kendetegnet ved højere resistiviteter end de Eocæne aflejringer.

I Kvartæret er en del af de prækvartære aflejringer borteroderet. Mest udtalt ses dette ved de dybe begravede dale, der er dannet som tunneldale ved smeltevandserosion under isen (Jørgensen & Sandersen, 2006). Dalene genkendes tydeligt via et markant relief af den prækvartære overflade. Ligesom dalfyldet består den overfladenære lagserie af kvartære aflejringer i form af vekslende lag af moræneler og smeltevandsaflejringer. Fyldet i dalene er generelt kendetegnet ved store kornstørrelsesvariationer indenfor korte afstande. Tæt ved dalflankerne kan der forekomme forstyrrede lagserier på grund af skred og nedskyl samt muligheden for glacial deformation (Sandersen & Ramsay, 2001).

De begravede dale er kortlagt af Sandersen & Jørgensen (2016) på baggrund af boringsdata og TEM data (se Figur 1). De dybe dele af dalene er letgenkendelige i TEM resistivitetsdata i form af store kontraster mellem det mellem- til høj-resistive dalfyld og de meget lav-resistive tertiære leraflejringer. Tættere på terræn fremstår dalene mere diffust, eftersom kontrasten mellem de kvartære aflejringer indenfor og udenfor dalene er små. I de fleste af dalene ligger bundkoterne omkring -50 til -75 m, men en del er meget terrænnære og andre når helt ned i bundkoter på -100 m eller mere (Sandersen & Jørgensen, 2016). Dalene viser mange forskellige orienteringer, men sydøst-nordvest og sydvest-nordøst er dominerende. Dalenes aldre er ukendte, men da de er dannet af subglacial smeltevandserosion, må de være dannet under istiderne i kvartæret. Der kan udskilles mindst 3 forskellige generationer af begravede dale i området nord for Århus (Jørgensen og Sandersen 2006). Heraf ser det ud til, at den store SV-NØ-orienterede dal der forløber under Ristrup Kildeplads tilhører den yngste generation. Dette bekræftes af glacialstratigrafiske undersøgelser af boreprøver i området, hvoraf det tolkes at indfyldet er af Saale eller Weichsel alder (Sørensen et al. 2004).

Det nutidige landskab består hovedsageligt af morænelandskab gennemskåret af nogle markante tunneldale (Fig. 2). Der ses dødispræg flere steder på morænebakkerne. Tunneldalene er kendetegnet ved temmelig stejle dalsider og relativt flade dalbunde. En del steder ses det, at nutidige vandløb følger tunneldal-strøgene, ligesom Kasted Mose er beliggende i en af tunneldalene.

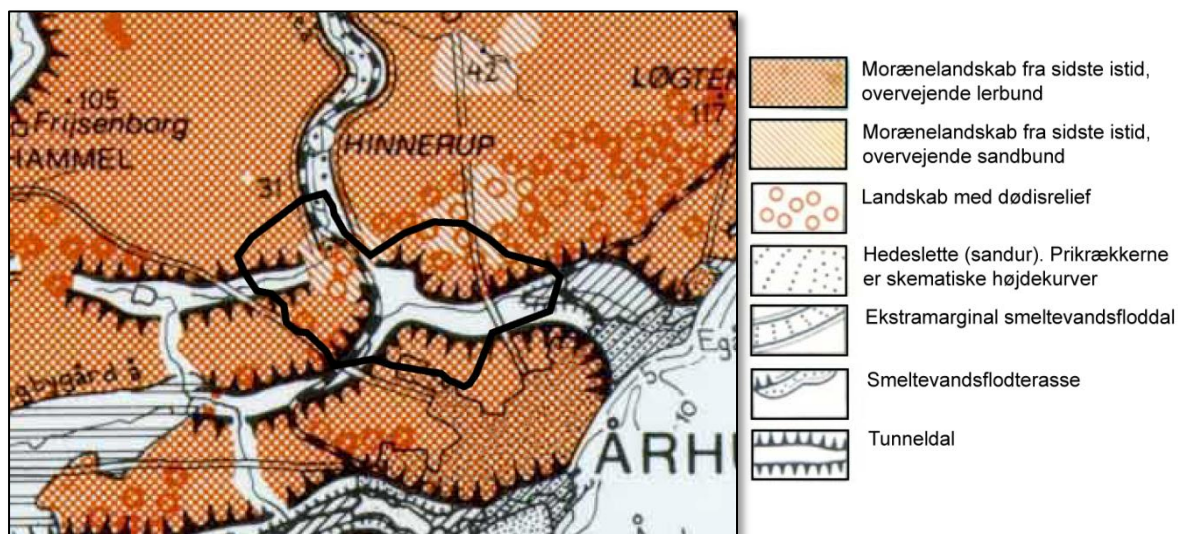


Fig. 2: Per Smed kort (Smed, 1981) for området omkring undersøgelsesområdet (HyGEM modelleringsområdet er markeret med sort).

Terrænet viser et markant relief (Fig. 3) og flere steder ses en sammenhæng mellem de begravede dale og terrænet, hvilket gør, at mange af dalene er kategoriseret som værende delvist begravede (Fig. 1). Eksempelvis er der delvist begravede dale i hele det nuværende dalstrøg, der strækker sig fra Søften i nordvest over Kasted og Østpå til det nuværende åløb for Egåen.

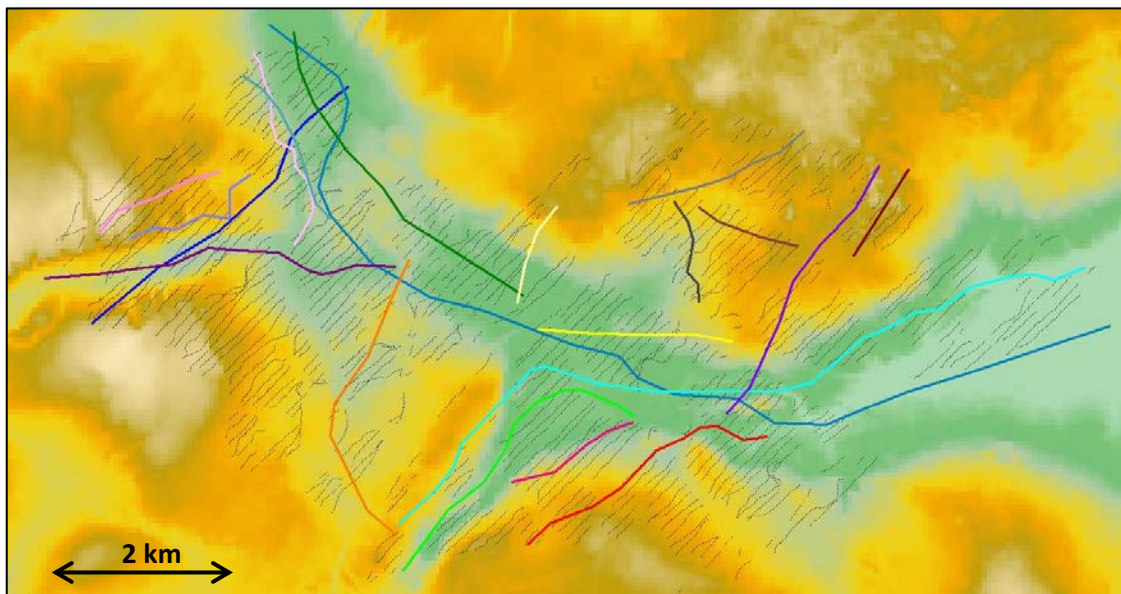


Fig. 3: De dybeste dele af de modellerede begravede dale (thalweg) vist sammen med SkyTEM sonderingerne (sorte prikker) ovenpå topografien. Farverne på thalweg-linjerne repræsenterer de forskellige dalnumre (se Fig. 7a og 8c).

Boringsdata (HyGEM modelområde)

Boringsdata benyttet ved den geologiske modellering er hentet direkte fra Jupiter-databasen d. 11. marts 2014. Indenfor HyGEM-modelområdet er der 435 boringer, hvoraf de fleste er korte (Fig. 4 og 5). Således er godt 30 % kortere end 10 m. De dybe boringer er fortrinsvist placeret i dalstrukturerne og omkring kildepladser, hvorfor den geologiske information er meget koncentreret i lokale områder.

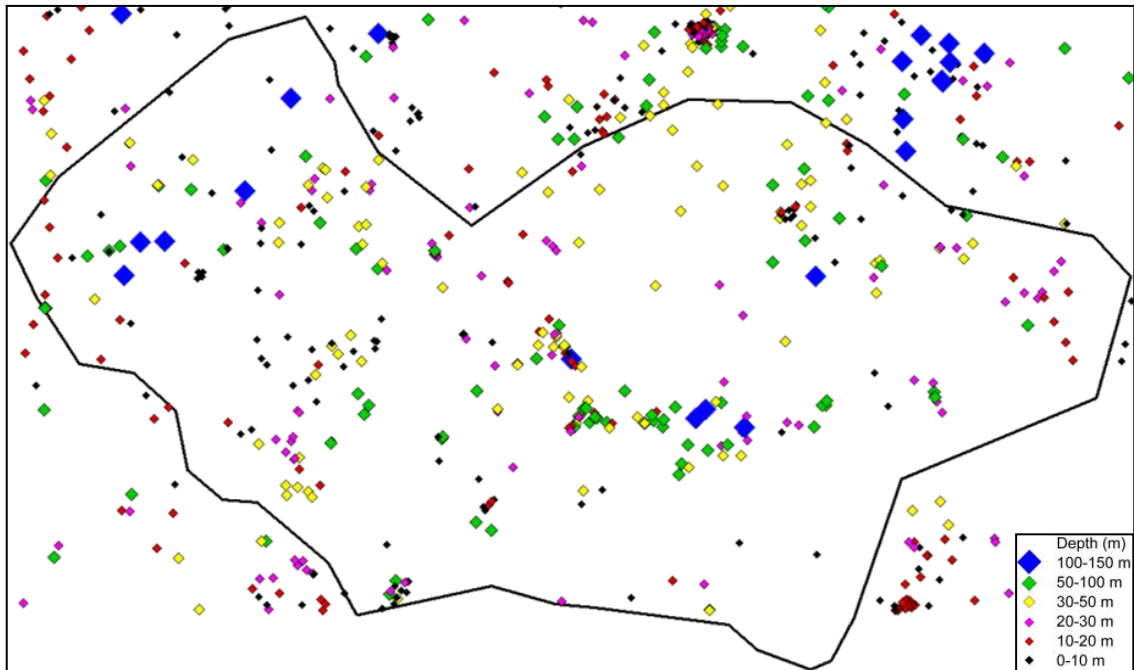


Fig. 4: HyGEM-modelområdet vist sammen med boringerne, inddelt i dybdekategorier.

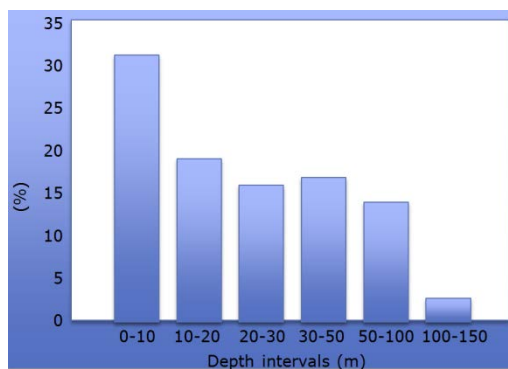


Fig. 5: Den procentvise dybdefordeling af boringerne indenfor HyGEM-modelområdet.

Geofysiske data (HyGEM modelområde)

Til opstillingen af den geologiske model, er der benyttet SkyTEM-data, der er indsamlet i som en del af HyGEM-projektet i august 2013. Til tolkning af dalene i Århus Nord-området er der desuden lavet et resistivitetsgrid, hvor der i områderne uden nye SkyTEM-data er benyttet TEM data fra Gerda-databasen. SkyTEM-dataene blev indsamlet i det område, der senere blev udvalgt til at være HyGEM-modelområdet og dækker 333 linjekilometer med en linjeafstand på 100 m. Efter at koblede data blev fjernet i processeringen, var der 9500 brugbare sonderinger tilbage (Fig. 6).

Den geologiske model er opstillet på baggrund af en 'smooth inversion' med 25 lag. I den geologiske tolkning og modellering er der hovedsageligt benyttet et resistivitetsgrid med en horisontal nodestørrelse på 50 m og vertikal nodetykkelse på 5 m. Derudover er 1D sonderingerne under tiden benyttet ved mere detaljerede undersøgelser. I indeværende undersøgelse er der ydermere benyttet en 'sharp inversion' som alternativ til den oprindelige smooth inversionsmodel.



Fig. 6: 1D-sonderinger fra SkyTEM-surveyet indsamlet i august 2013 vist sammen med baggrundskort. De røde prikker viser indvindingsboringerne ved Kasted.

Den geologiske model

Den geologiske model er opstillet som et led i HyGEM-projektet i softwaret *Geoscene3D*. Modellen er en kombineret lag- og voxelmodel, hvor dalenes forløb er modelleret ved hjælp af lagmodellering, mens fyldet er modelleret med voxelmodellering. Dette er gjort for bedst muligt at repræsentere dalforløbene samt heterogeniteten i dalfyldet. Modellen er afrapporteret i en videnskabelig artikel (Høyer et al., 2015).

Modellen dækker intervallet fra kote -177,5 m to 92,5 m og er diskretiseret med en horisontal nodestørrelse på 50 m og vertikal nodestørrelse på 5 m. Der er modelleret 42 forskellige geologiske enheder, der er defineret ud fra både litologi og dalstratigrafi. Ved hjælp af forskellige symbolister er det muligt både at vise modellen henholdsvis som en litologisk og en dalstratigrafisk model (Fig. 7a og b).

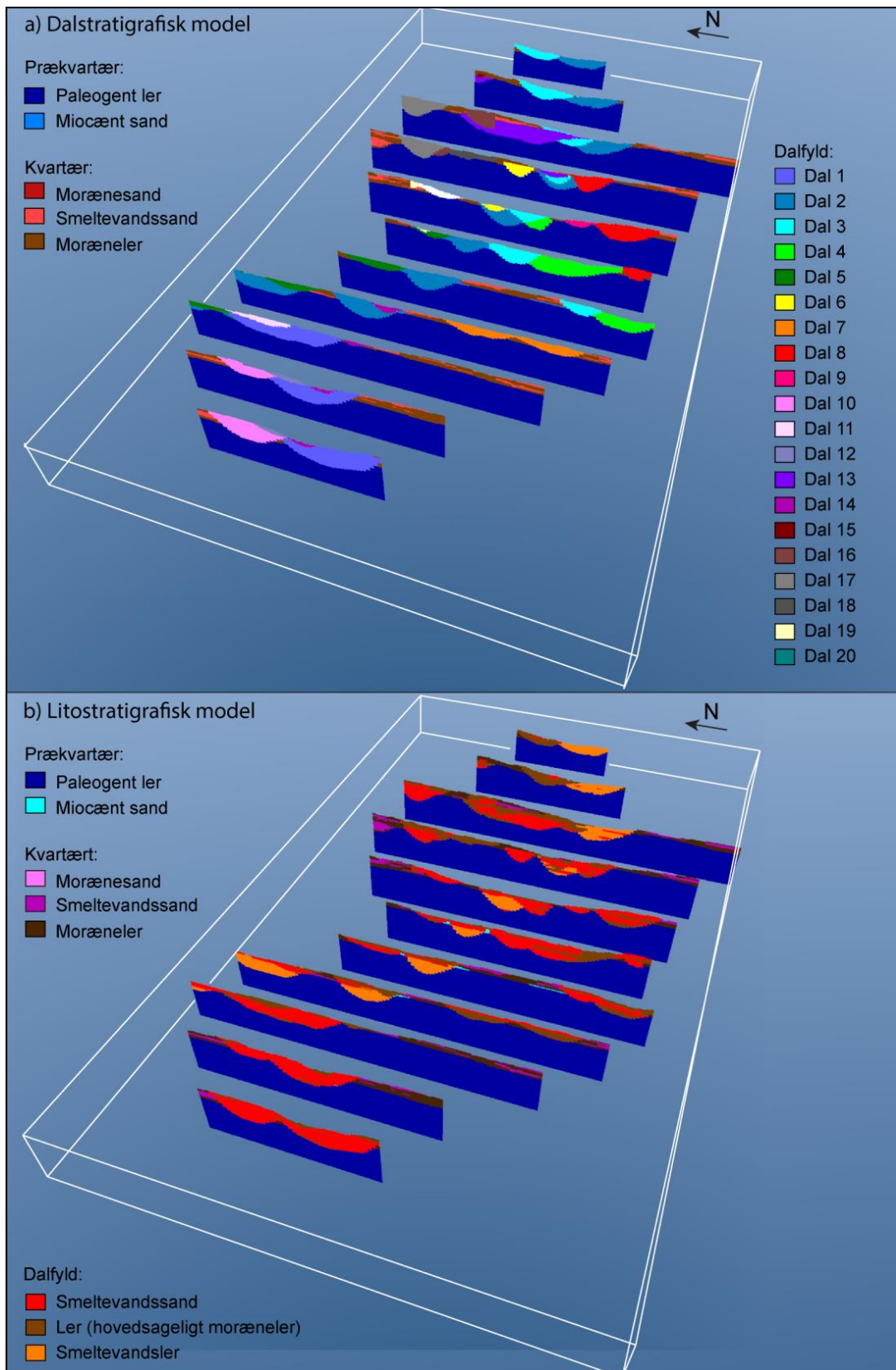


Fig. 7: Snit gennem 3D modellen; a) Dalstratigrafi, b) Litostratigrafi.

Modellerede dale

Indenfor HyGEM-modelområdet er der identificeret 20 forskellige dale af varierende dybder og udbredelser (se Fig. 8c og Tabel 1). Dalene er kortlagt ud fra SkyTEM og boringsdata. På SkyTEM data ses dalene tydeligt, fordi fyldet viser en kontrast i resistiviteten i forhold til aflejringerne udenfor dalene (Fig. 8a). Som det er gældende for hele Århus Nord-området, fremstår de dybe dale meget tydeligt via et relief i overfladen af det Paleogene ler (Fig. 8b), mens de overfladenære dale er sværere at tolke, da dalfyldet viser resistiviteter i samme størrelsesorden som de omkringliggende kvartære sedimenter.

Mange af dalene er eroderet ned i tidligere dalforløb, hvorpå der er dannet et netværk af begravede dale, der krydser indover hinanden. Der er to fremherskende orienteringer: sydøst-nordvest og sydvest-nordøst (Tabel 1). Det fremgår på Fig. 8C hvorledes nogle af dalene (f.eks. Dal 3) pludselig skifter orientering. Dette skyldes sandsynligvis, at erosionen er foregået i en tidligere dannet begravet dal, hvor fyldet var mere eroderbart end de omkringliggende palæogene sedimenter. Dybderne varierer fra meget overfladenære dale (omkring 40 m) til dybe dale (ned til 170 m), mens bredden af dalene typisk er mellem 400 og 1100 m (Tabel 1). Dalbundene er ofte meget irregulære og ved mange af dalene ses tærskler i længdeforløbet. Dette er eksempelvis meget udtalt for dal nummer 13 (Fig. 8c og Fig. 17).

I forbindelse med den geologiske modellering er dalene inddelt i forskellige generationer hovedsageligt baseret på deres foretrukne orientering samt en analyse af, hvilke dale der krydser andre og dermed er yngst. Inddelingen kan ses i Tabel 1, mens det fremgår af Figur 8C, hvilke dale der skærer gennem hinanden.

Dalene er fyldt med både finkornede og grovkornede aflejringer hovedsageligt bestående af smeltevandsand og moræneler. En del af dalene har dog også betydelige indslag af smeltevandsler, og for en enkelt (Dal 2) udgør det ligefrem hovedbestanddelen. Generelt er fyldet inhomogent og der sker hurtige skift i kornstørrelsen over korte afstande. I Tabel 1 er den modellerede sand-andel for fyldet af de enkelte dale angivet.

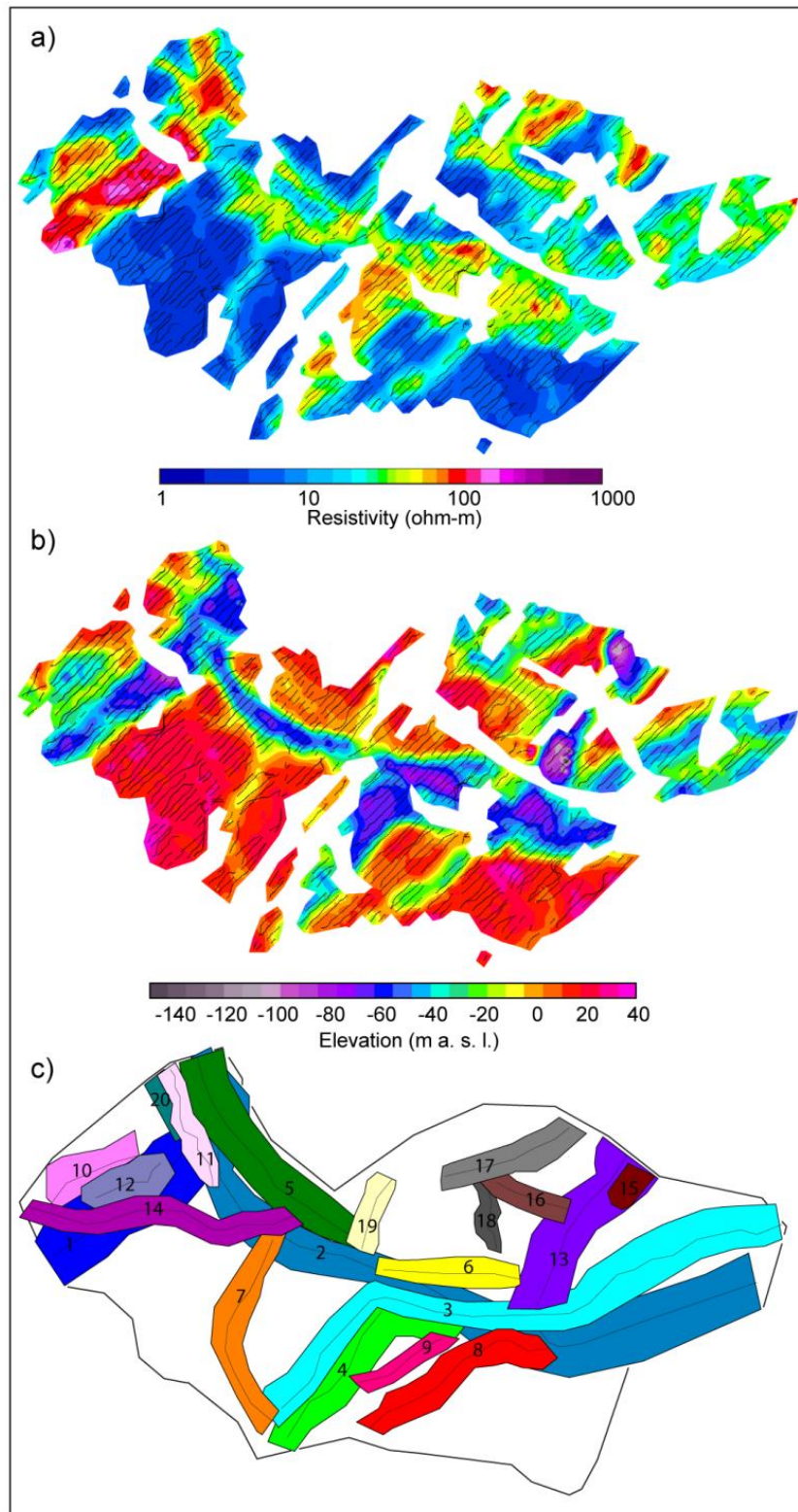


Fig. 8: SkyTEM-data i HyGEM-modelområdet; a) middelresistivitetsskorte 5 m over havniveau. Resistivitetsskalaen er gældende for alle figurer med resistivitetsdata, b) dybden til den gode leder (= det palæogene ler), c) de modellerede dale i området – vist med nummerering. Dale, der er vist øverst, skærer gennem underliggende dale.

Tabel 1: Fakta omkring dalene: Dominerende orientering, max dybde og bredde, tolket dalgeneration, udregnet sand-andel (baseret på de modellerede enheder i voxelmodellen), boringer der indvinder til Kasted vandværk og mulige nye kildepladser. Dalene udenfor fokusområdet (længst mod vest) er skrevet med grå skrift i kursiv, og er ikke medtaget i gennemgangen af de forskellige dale herunder.

Dal	Fremherskende orientering	Max dybde (m)	Max bredde (m)	Tolket generation	Sand-andel	Indvinding Kasted vandværk	Mulige boplcsteder og vurderet interesse: <i>kat1</i> (bedst) - <i>kat5</i> (dårligst)	Foretaget hydrologisk beregning af afsækning og oplands usikkerhed
1	<i>SW-NE</i>	140	1000	2	94 %			
2	SE-NW	120	700	3	16 %	89. 1054 89. 452	1 (<i>kat5</i>) & 2 (<i>kat5</i>)	
3	SW-NE	100	700	5	37 %		3 (<i>kat3</i>)	X
4	SW-NE	105	700	4	50 %	89. 825 89. 1221 89. 824 89. 418 89. 1053 89. 977	4 (<i>kat3</i>)	X
5	SE-NW	50	700	5	70 %		5 (<i>kat4</i>)	
6	W-E	100	600	7	85 %	89. 461 89. 1055	6 (<i>kat2</i>)	X
7	S-N	60	500	6	30 %			
8	SW-NE	90	700	7	63 %	89. 535	7 (<i>kat3</i>)	X
9	SW-NE	40	400	8	42 %			
10	<i>SW-NE</i>	140	700	4	91 %			
11	<i>S-N</i>	40	400	7	4 %			
12	<i>SW-NE</i>	30	800	6	100 %			
13	SW-NE	130	1100	6	57 %		8 (<i>kat1</i>)	X
14	W-E	40	400	8	0 %			
15	SW-NE	80	600	7	100 %		9 (<i>kat1</i>)	
16	SE-NW	90	700	7	43 %		10 (<i>kat4</i>)	
17	SW-NE	120	700	8	60 %		11 (<i>kat4</i>)	
18	S-N	50	400	6	0 %			
19	S-N	95	600	6	57 %			
20	<i>SE-NW</i>	60	500	1	0			

Gennemgang og analyse af de enkelte dale i fokusområdet

I det følgende er de enkelte dale indenfor fokusområdet analyseret. For hver af dalene er der præsenteret et profil langs dalens dybeste del (dalens thalweg), som er vist både som et snit gennem resistivitetsgriddet fra SkyTEM, et gennem voxelmodellen, der viser dalstratigrafien og ét, der viser litologien. Sammen med snittet gennem den dalstratigrafiske model er der vist vandtyper (Hansen et. al, 2009) for de borer, hvor informationen haves.

Dal 2

Dal 2 er delvist begravet og ligger således under det nuværende dalstrøg, der strækker sig fra Søften mod sydøst over Kasted og herfra i østlig retning (Fig. 8C). Dalen er tolket til at tilhøre den tredje dalgeneration, der er fundet i området, og dalen gennemskæres af mange af de yngre dale (se Fig. 8C).

Profilen (Fig. 9) skærer omtrent vinkelret på flyvelinjerne, men grundet den tætte flyveafstand (100 m) ligger SkyTEM-data generelt tæt ved profilet undtagen, hvor koblede data er fjernet. Dette gør sig for eksempel gældende mellem profilafstand 6,5 km og 7 km, hvilket svarer til området lige nord for Kasted by. Den sidste del af profilet (9-11,5 km) ligger lidt syd for selve SkyTEM-kortlægningen, og resistivitetsværdierne i dette område er derfor baseret på interpolation af sonderinger, der ligger op til 300-450 m fra profilet. Resistivitetsgriddet er derfor behæftet med betydeligt større usikkerheder i dette område. Der er en del borer, der gennemborer dalfyldet.

Dalens bundkote varierer let langs dalens forløb, men ligger typisk omkring kote -60 m. Dybden af dalen er mellem 50 og 120 m, mens bredden er op til 700 m (Tabel 1). Fyldet af dalen viser generelt lave resistiviteter (10-20 ohm-m), og ifølge borerne består det hovedsageligt af smeltevandsler, der overvejende beskrives som værende 'fedt' (f.eks. DGU 78. 40). Der ses dog også et terrænnært sandlag (over kote 0 m), der delvist er dækket af et lag med moræneler i den vestlige del af dalen (indtil profilafstand 6,5 km). Det er i dette sandlag (profilafstand 5,5 km), at der indvindes vand i borerne ved Bukbæk (Tabel 1). Sandlaget er direkte forbundet med sandfyldet i Dal 6. Derudover er der tolket sand i store dybder (ned til kote -50 m) fra profilafstand 6,5 til 8,5 km. Denne tolkning er baseret på de dybe borer nord for Kasted, der viser sand, selvom SkyTEM griddet viser lave resistiviteter (profilafstand 6,2-7,3 km). De lave resistiviteter kan dels skyldes, at der er langt til de nærmeste SkyTEM sonderinger, og at de nærmeste sonderinger således befinder sig udenfor dalstrukturen. En anden forklaring kan være, at der skulle have været fjernet lidt flere data i dataprocesseringen, og at de lave resistiviteter derfor skyldes resterne af en koblingseffekt.

Vandprøver fra smeltevandssandet viser stort set kun vandtype C (Fig. 9, midt), som er den mest hensigtsmæssige vandtype til vandindvinding, da den er kvalitetsmæssigt og behandlingsmæssigt fordelagtig. Den centrale del svarer til området nord for Kasted by.

Eftersom det meste af dalen indeholder fed ler, vil den agere som en grundvandsbarriere i de tilfælde, at den skærer gennem andre dale. Dog tilhører dalen en af de ældste generationer og skærer således kun Dal 1 (Ristrup dalen) i den nordligste del af modelområdet.

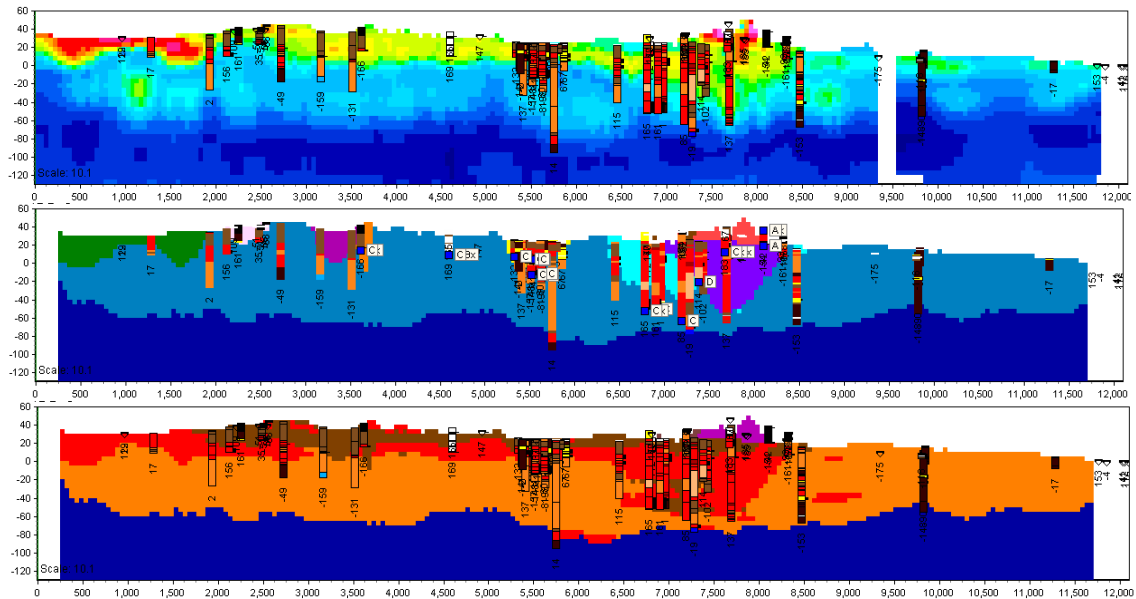


Fig. 9: Længde-profil langs thalweg af Dal 2 vist fra vest (venstre) mod øst (højre). Boringer indenfor 200 m buffer afstand er vist. Øverst: Resistivitetsgrid baseret på SkyTEM (smooth inversion). For resistivitetskala se Fig. 8a. Midt: Dalstratigrafi (fyldt af Dal 2 ses med lyseblå). Vandtyper er vist ved boringerne. Nederst: Litologi (Farveskala se Fig. 7b). Overhøjning = 10x.

Dal 3

Dal 3 er helt begravet i den sydligste del. Dalen løber fra sydvest mod nordøst (Fig. 8c), hvor forløbet knækker næsten 90 grader (Fig. 10, profilafstand 2,3 km) mod øst og fortsætter langs det nutidige dalforløb til Egå Engsø. Dalen er således delvist begravet i denne del. Det bratte retningsskift skyldes sandsynligvis, at en del af dalen følger forløbet af en ældre dal, hvor sedimenterne har været mere eroderbare end de omkringliggende. Dalen er tolket til at tilhøre den femte dalgeneration (Tabel 1) og skærer således igennem flere af de ældre dale (Fig. 10).

Der er en del steder hvor længdeprofilen langs dalens dybeste del (Fig. 10) ligger langt fra SkyTEM-data, fordi disse er blevet fjernet som følge af koblinger. Dette gør sig specielt gældende ved profilafstandene: 0-2 km, 3,5-4 km, 5,1-5,7 km og 7,5-8 km. Resistivitetsgriddet er i disse områder derfor baseret på data, der ligger i stor afstand fra profilet og er således behæftet med en vis usikkerhed her. Der er mange dybe boringer i den centrale del (profilafstand 2,5-5,5 km), hvoraf en del er indvindingsboringer til Kasted vandværk. Ellers er der kun få boringer langs resten af profilet. I områderne, hvor der er få boringer, og samtidig langt til de nærmeste sonderinger, er tolkningerne selvsagt mest usikre.

Dalens bundkote varierer en del i dalens længderetning. Den ligger højt i den sydlige del (kote 10 m) og er dybest, hvor dalen ændrer sit forløb mod øst (kote -70 m). Dybden af dalen varierer således mellem 50 og 100 m og bredden er op til 700 m (Tabel 1). Fyldet af dalen viser markant forskellige resistiviteter langs dalens forløb. Der ses høje resistiviteter (~ 60-90 ohm-m) mellem profilafstand 0,5-2,9 km, mellemhøje- (~ 30-40 ohm-m) mellem 2,9-4,3 km og lave- (~ 20-30 ohm-m) mellem 5-7 km.

Den sydvestlige del af dalfyldet er tolket til at være sandet med et terrænnært morænelers-lag, mens dalfyldet længst mod øst (5,1-8,8 km) er tolket til at bestå af morænelers. Omkring Kasted vandværk er sandet i dette niveau (kote -20 til +20 m) hovedsageligt beskrevet som smeltevandssand af varierende

grovhed. En del er beskrevet som værende gruset. Det er vanskeligt at vurdere grovheden af sedimenterne i den sydlige del af dalforløbet, eftersom næsten ingen borerer gennemborer sekvensen her.

De analyserede vandprøver findes alle i den centrale del og viser vandtype C. Sandet i Dal 2 og 3 er i fuld kontakt, og vandtypen er den samme (Fig. 10).

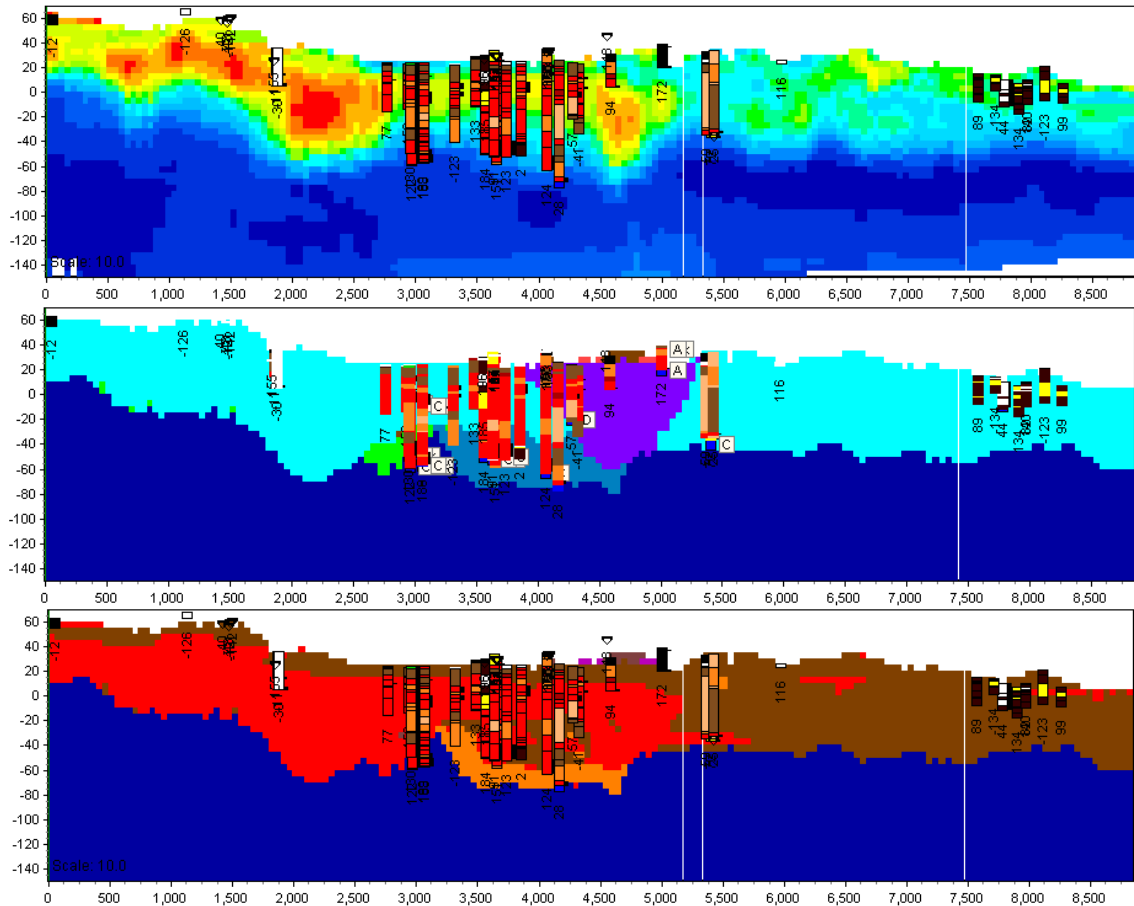


Fig. 10: Længde-profil langs thalweg af Dal 3 vist fra sydvest (venstre) mod nordøst (højre). Dalforløbet knækker næsten 90 grader ved profilafstand 2,3 km mod øst. Borerer indenfor 200 m buffer afstand er vist. Øverst: Resistivitetsgrid baseret på SkyTEM (smooth inversion). For resistivitetskala se Fig. 8a. Midt: Dalstratigrafi (fyldt af Dal 3 ses med turkis). Vandtyper er vist ved borerne. Nederst: Litologi (Farveskala se Fig. 7b). Overhøjning = 5x.

Dal 4

Dal 4 ligger i den sydlige del af området (Fig. 8c) og løber langs det nuværende dalstrøg lige vest for Tilst mod nordøst for derefter at dreje mod øst ved Kasted Mose (Fig. 11, profilafstand 2,8 km). Dalen er delvist begravet i hele forløbet og er stort set parallel med den vestligste del af Dal 3 (Fig. 8c). Dalen er tolket at tilhøre den fjerde dalgeneration i området og gennemskæres af dalene 3 og 9.

Profilen (Fig. 11) løber generelt tæt på omkringliggende SkyTEM sonderinger. Afstanden til sonderingerne er størst ved profilafstand 1-1,7 km og 3-3,6 km, hvor afstanden til de nærmeste sonderinger dog

ikke overstiger 200 m. Profilet løber tæt forbi Kasted kildeplads, og de dybe borerer ses i den nordøstligste del af profilet. I den centrale del af profilet er der kun få borerer.

Ligesom for nabodalen (Dal 3), ligger dalens bundkote højest mod syd (omkring kote -20 m) og falder så til omkring kote -70 m, hvor dalen drejer mod øst. Daldybden er i samme størrelsesorden som Dal 3 (mellem 60 og 105 m), mens bredden er op til 700 m (Tabel 1). Fyldet af dalen viser hovedsageligt to forskellige resistivitetsniveauer; lave (~10-30 ohm-m) og mellemhøje (~50-70 ohm-m). I sharp inversionen ses større resistivitskontraster, og det noteres således, at der er høje resistiviteter (omkring 100 ohm-m) lokalt mellem profilafstand 400-500 m.

Den sydligste del af dalfyldet er tolket til hovedsageligt at være moræneler, men dog med et 10-30 m tykt sandlag med bund omkring kote -10-0 m. Dette lag er tykkest ved dalens nordvestlige flanke, hvor det støder op til sandet i Dal 3. Det forventes derfor, at der er fuld hydraulisk kontakt mellem fyldet i disse to dale. Fra profilafstand 1,4 km og i resten af profilets udstrækning er der desuden tolket et sandlag på større dybde. Dette sandlag adskilles fra det ovenfor nævnte øvre sandlag af et lag af moræneler, der tynder ud mod nordøst. Fra profilafstand 2,9 km er der tolket en direkte forbindelse mellem de to sandlegemer.

I det sydligste sandlegeme findes der kun få, ældre borerer (fra 40'erne og 50'erne), hvor boremetoden ikke er angivet. To af disse er borerer ved Mundelstrup Stationsbys vandværk (DGU 89. 449B og DGU: 89. 502) beskriver laget som henholdsvis leret, mellemkornet sand og svagt gruset sand. Lidt længere mod nord beskriver DGU 89. 366 sandlaget som værende glacialt smeltevandssand, der er 'opad grovende' fra fint sand til groft grus. Ved profilafstand 2,9-3,3 km løber profilet forbi Kasted kildeplads' borererne. På nær nogle overfladenære filtre i den sydligste del er der tale om vandtype C i alle borerer.

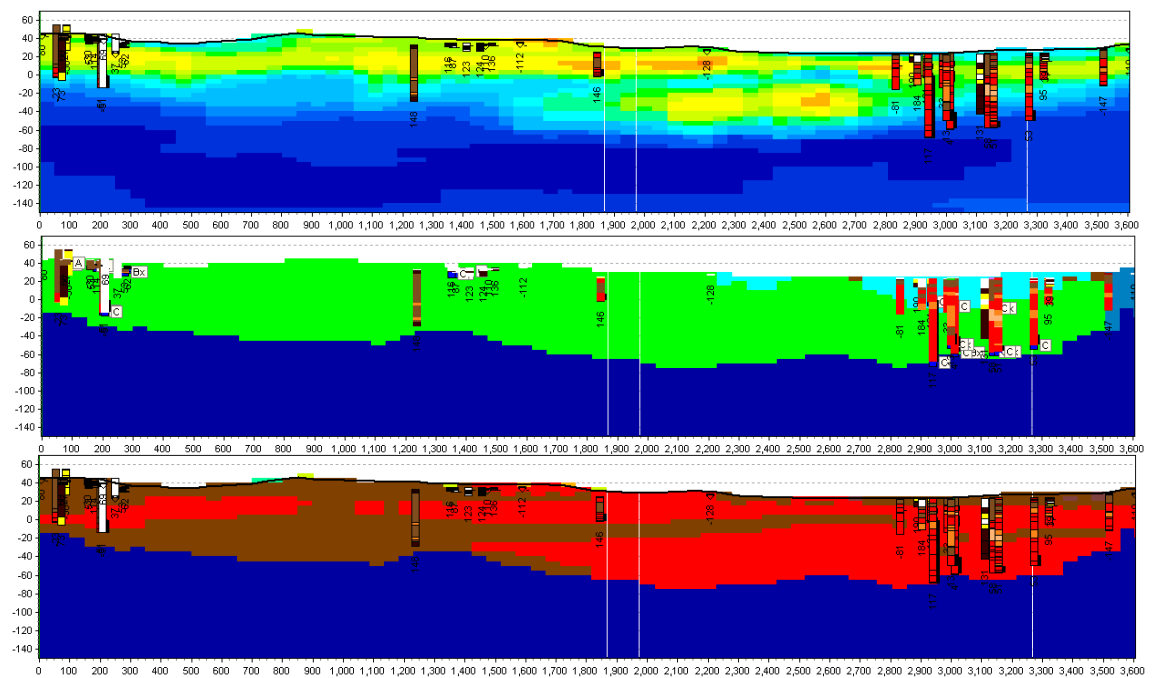


Fig. 11: Længde-profil langs thalweg af Dal 4 vist fra sydvest (venstre) mod nordøst (højre). Dalforløbet knækker næsten 90 grader ved profilafstand 2,8 km mod øst. Borerer indenfor 200 m buffer afstand er vist. Øverst: Resistivitetsgrid baseret på SkyTEM (smooth inversion). For resistivitetskala se Fig. 8a. Midt: Dalstratigrafi (fyld af Dal 4 ses med grøn). Vandtyper er vist ved borererne. Nederst: Litologi (Farveskala se Fig. 7b). Overhøjning = 3x.

Dal 5

Dal 5 løber fra nordvest mod sydøst gennem den nordvestligste del af modelområdet (Fig. 8c). Det er kun den sydøstligste halvdel, der ligger indenfor fokusområdet for dette studie. Dalen følger et nutidigt dalstrøg og er således delvist begravet. Dalen er tolket til at tilhøre den femte dalgeneration og skærer igennem Dal 1 og 2.

Profilen langs thalweg (Fig. 12) skærer vinkelret på flyvelinjerne i området. Omkring profilafstand 1,5 km til 2,4 km er der fjernet sonderinger pga. koblinger. På Fig. 12 fremgår det ved profilafstand 1,75 km at resistivitetsgriddet viser et 'hak', fordi afstanden mellem sonderingerne er større end interpolationens søgeradius.

Dalen viser en næsten konstant bundkote ved omtrent kote 0 m, og dalens dybde varierer mellem 30 og 50 m. Bredden er op til 700 m (Tabel 1). Det meste af dalfyldet viser høje resistiviteter (omkring 100 ohm-m), mens et terrænnært lag fra profilafstand 1,4 til 3,7 km viser lavere resistiviteter (~20-40 ohm-m).

Dalen er tolket til at indeholde smeltevandssand, men med et terrænnært morænelers-lag i den sydlige del (fra profilafstand 1,5 km). Sandlaget findes i hele dalens bredde. I den nordlige del er der fuld kontakt til sand i Dal 1, mens der i den sydlige del er kontakt til sand i Dal 2. Som for mange af de andre dale er sandet beskrevet meget forskelligartet i borerne. En af de nyeste borer (DGU 79. 1436 fra 2007) beskriver sandet som værende mellem- til grovkornet og at indeholde et par grusindslag. Alle vandprøver i borerne angiver vandtype C.

Det noteres, at der er en uoverensstemmelse mellem tolkningen af palæogent ler og SkyTEM dataene mellem profilafstand 1,5 og 1,7 km. Således ses det, hvordan profilen viser middelhøje resistiviteter ned til kote -40 m, hvor der er tolket palæogent ler. Disse atypiske, høje resistiviteter er dog en følge af en stor afstand til de omkringliggende sonderinger (300 m), hvorfor resistivitetsværdierne i det interpolerede, viste resistivitetsgrid formentlig ikke er retvisende.

Sandlaget i den sydlige del af dalen er ikke særlig tykt og er desuden meget overfladenært og derfor ikke særlig beskyttet. Sandlaget ligger således helt oppe i overfladen ved profilafstand 0-1,2 km og 3,8-4 km.

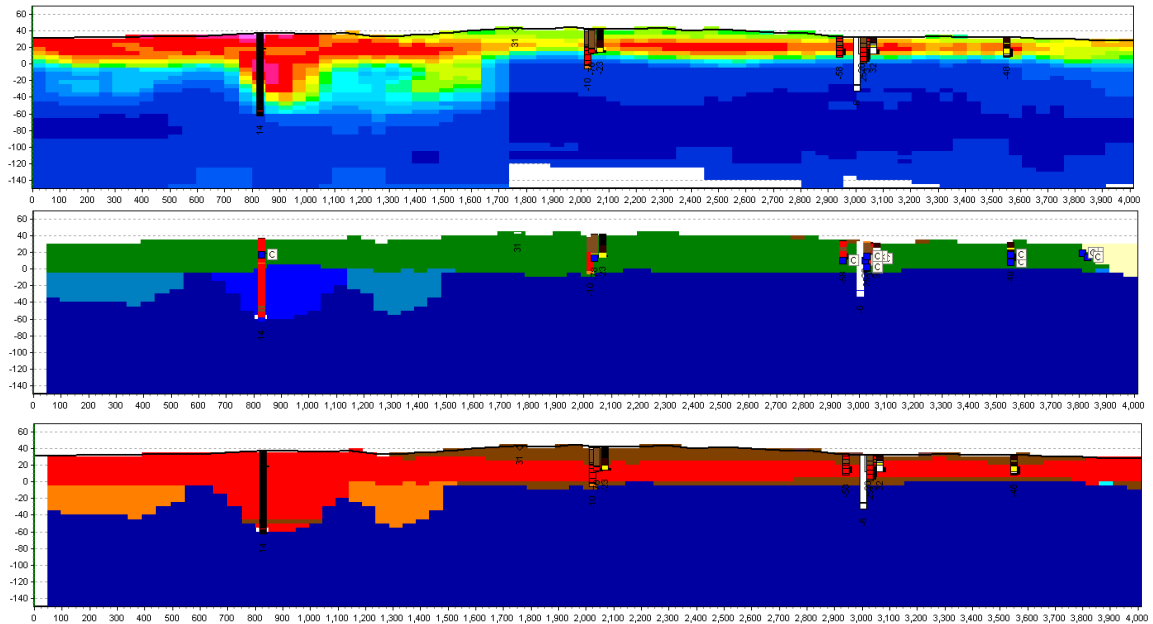


Fig. 12: Længde-profil langs thalweg af Dal 5 vist fra nordvest (venstre) mod sydøst (højre). Boringer indenfor 100 m buffer afstand er vist. Øverst: Resistivetsgrid baseret på SkyTEM (smooth inversion). For resistivitetsskala se Fig. 8a. Midt: Dalstratigrafi (fyld af Dal 5 ses med mørkegrøn). Nederst: Litologi (Farveskala se Fig. 7b). Overhøjning = 3x.

Dal 6

Dal 6 stryger fra vest mod øst og følger det eksisterende tunneldals-strøg i området (Fig. 8c). Dalen er tolket til at tilhøre en af de yngste dalgenerationer (generation 7) og skærer således gennem de omkringliggende dale.

SkyTEM-data ligger forholdsvis tæt på profilet i hele dets forløb. Boringerne i dalen ligger alle i den vestlige ende (ved Bukbæk, Kasted kildeplads).

Dalen er ikke særlig dyb i den vestlige ende, hvor bundkoten ligger omkring kote -10 m, men den falder markant ved profilafstand 800 m (Fig. 13) ned til kote -55 m (profilafstand 1400 m). Den maksimale dybde af dalen svarer dermed til 100 m, mens bredden er op til 600 m (Tabel 1). Dalen slutter brat ved profilafstand 1950 m. Dalfyldet viser overvejende mellem-høje resistiviteter, mens der terrænnært ses lave resistiviteter.

Dalfyldet er tolket til at være smeltevandssand, der er overlejret af et tyndt (10-20 m) lag moræneler. Moræneleret er i den østligste del aflejret ovenpå dalfyldet. Der er fuld forbindelse til sandet i Dal 2 og 3. Sandet er hovedsageligt beskrevet som gruset i varierende grader. Nogle af boringerne angiver desuden egentlige gruslag, og f.eks. DGU 89. 1054 angiver et 4,5 m tykt lag bestående af 'sten'. Filtrene i boringerne er placeret tæt på bunden af dalen, og nogle er placeret i den underliggende i Dal 2 (Tabel 1).

Der udvindes vand fra dalfyldet ved Bukbæk. Sandlaget er delvist gruset og det forventes, at det har en meget høj hydraulisk ledningsevne. Sandet ligger tilsyneladende beskyttet under moræneleret i hele dalens forløb, og de filtersatte boringer viser vandtype C. Dog er sandet muligvis forbundet med et sand-

legeme, der ligger helt oppe i overfladen nord for dalforløbet ved profilafstand 700-1300 m (ses ikke på Fig. 13 da det befinder sig udenfor dalforløbet). Dette er dog en usikker tolkning i et område, hvor data er fjernet pga. koblinger (lige under motorvejen).

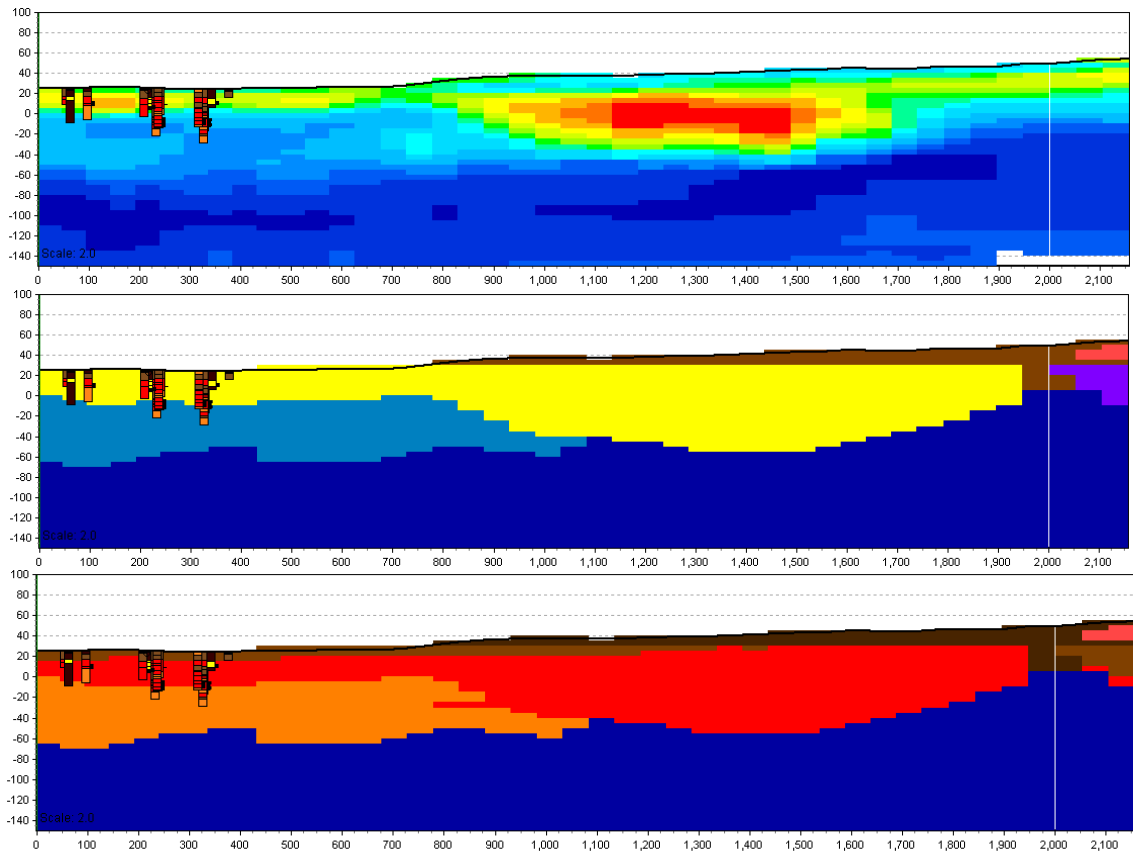


Fig. 13: Længde-profil langs thalweg af Dal 6 vist fra vest (venstre) mod øst (højre). Boringer indenfor 150 m bufferafstand er vist. Øverst: Resistivitetsskala baseret på SkyTEM-data (smooth inversion). For resistivitetsskala se Fig. 8a. Midt: Dalstratigrafi (fyldt af Dal 6 ses med gult). Nederst: Litologi (Farveskala se Fig. 7b). Overhøjning = 2x.

Dal 7

Dal 7 ligger i den sydlige del af undersøgelsesområdet (Fig. 8c) og er helt begravet. Dalen er tolket til at tilhøre en af de yngre generationer (generation 6) og skærer igennem Dal 2.

Den sydligste del (profilafstand 0-750 m) af profilet langs thalweg (Fig. 14) krydser motorvejen, hvor data er fjernet pga. koblinger. Der er nogle steder derfor op til 350 m til nærmeste sonderinger i dette område. Data ligger nogenlunde jævnt fordelt langs resten af profilets forløb. Der er spredte, korte borer i dalfyldet.

Bunden af dalen ligger i omtrent kote 0 m i hele dalens udstrækning. Dalen er således op til 60 m dyb, mens den er op til 500 m bred (Tabel 1). Fyldet af dalen viser en del resistivitetsvariationer fra lave resistiviteter (omkring 10 ohm-m) til høje (omkring 80-100 ohm-m) (Fig. 14).

Den nederste del af dalfyldet er tolket til at være moræneler på nær en sandlinse i den nordlige del af profilet (afstand 2,6 til 3,2 km). Den øverste, højresistive, del af fyldet er tolket til at være smeltevands-sand. Det tolkede moræneler viser en del variationer i resistivitet langs dalens forløb og viser desuden bemærkelsesværdigt lave resistiviteter i en del af dalen (ned til 10 ohm-m). De lave resistiviteter kan skyldes, at moræneleret lokalt er iblandet palæogent ler eller, at der er smeltevandsler i dalen som blot ikke er gennemboret. Boringen, der er filtersat i laget (DGU: 89.856, profilafstand 2,65 km) beskriver laget som 'vandførende grus'. Vandprøverne fra dette lag viser i overensstemmelse med de fleste andre prøver i denne dybde, vandtype C. Vandprøverne tættere på terræn viser vandtype A.

Det meste af sandet i dalen ligger ved terræn. Sandlinsen i den nordlige del er sammenhængende med sandet, hvorfra der allerede udvindes vand længere mod øst i Dal 2 (ved Bukbæk).

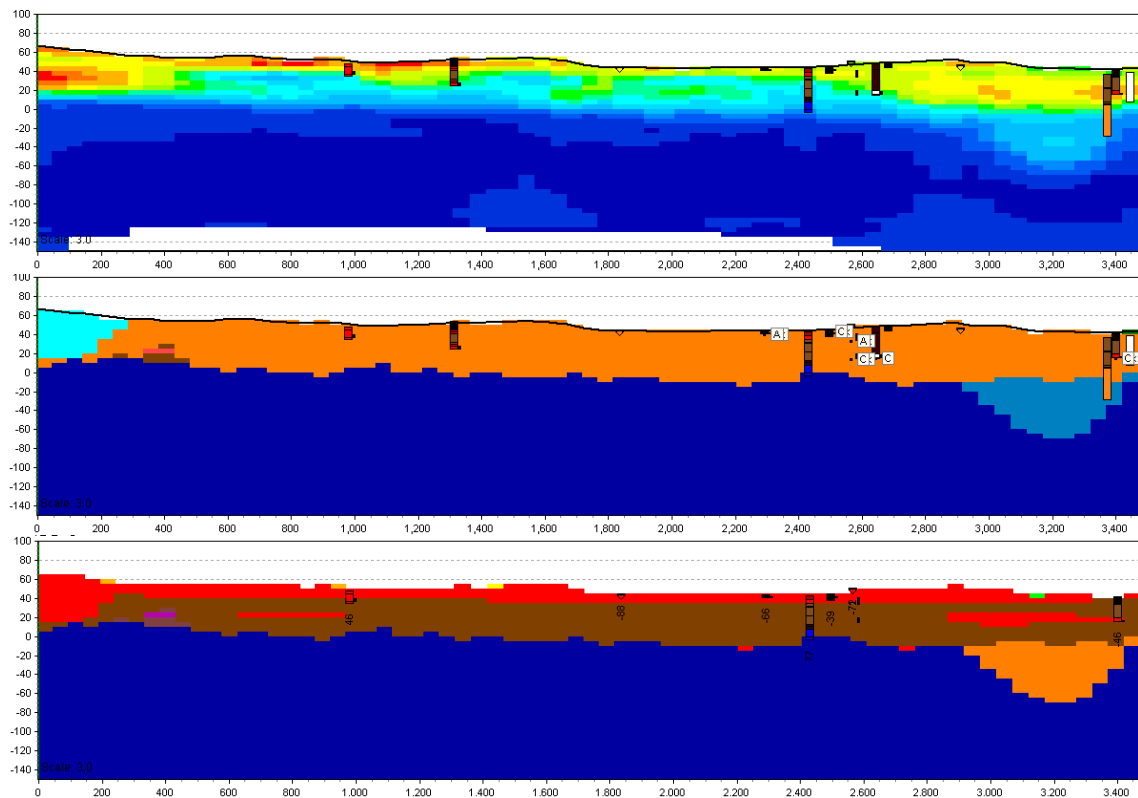


Fig. 14: Længde-profil langs thalweg af Dal 7 vist fra syd (venstre) mod nord (højre). Boringer indenfor 150 m buffer afstand er vist. Øverst: Resistivitsgrid baseret på SkyTEM (smooth inversion). For resistivitetsskala se Fig. 8a. Midt: Dalstratigrafi (fyld af Dal 7 ses med orange). Nederst: Litologi (Farveskala se Fig. 7b). Overhøjning = 3x.

Dal 8

Dal 8 findes i den sydlige del af undersøgelsesområdet og har en orientering sydvest-nordøst (Fig. 8c). Den tilhører den næstnyeste dalgeneration og skærer gennem Dal 2.

I den største del af længdeprofillets udstrækning (Fig. 15) ligger profilet tæt ved omkringliggende sonderinger. Der er fjernet sonderinger et par steder langs profilet, men afstanden til nærmeste sonderinger er maksimalt i størrelsesordenen 200 m. Der findes kun borer i den nordøstlige del af dalen (profilafstand 2 til 2,7 km), hvilket er lige sydøst og øst for Kasted by.

Dalbunden findes omkring kote -20 m og er let varierende i dalens længdeforløb. Mod nordøst bliver dalen mindre dyb, idet bundkoten stiger næsten helt op til terræn. Dalen er op til 90 m dyb og 700 m bred (Tabel 1). Resistiviteterne er generelt lave, undtagen i overfladen, hvor der ses høje resistiviteter mellem profilafstand 0 og 1,5 km.

Dalfyldet er tolket til at bestå af to litologiske kategorier: Ler og sand. Lerkategorien består af både moræneler og smeltevandsler. Sammenkoblingen af lerkategorien er gjort på grund af store usikkerheder i beskrivelserne af de to sedimenttyper. Smeltevandssandet ses dels i et overfladenært lag, samt i et gennemgående lag omkring kote 20 til 40 m. Sidstnævnte er hovedsageligt tolket på baggrund af boreringsinformationen, eftersom resistiviteterne er i den lave ende for sand. Den tilsyneladende lave resistivitet for sand i dette lag kan skyldes, at det ikke er tilstrækkeligt opløst i SkyTEM data. Eftersom laget ikke fremgår tydeligere i resistivetsdata er tykkelsen af sandlegemet usikker, og det er muligt, at sandlaget kan være af en mindre mægtighed end det tolkede. Geologien fremstår meget kompleks tæt ved borerne, hvor én af Kasted vandværks borer (DGU 89. 535) viser sand næsten helt til terræn. Borerne beskriver hovedsageligt sandet som værende mellemkornet. Dog findes der i DGU 89. 535, et 19 m tykt grovkornet sandlag, hvorfra vandindvindingen sker.

Det fremgår, at der er sand næsten helt til terræn omkring profilafstand 2,2 til 2,4 km. Denne tolkning beror udelukkende på de litologiske informationer fra boring DGU 89. 535. Boringen er en lufthæveboring, hvorfra der typisk kommer gode prøver, og der er ikke noget, der indikerer, at der skulle være fejlfortolkninger i boringen. Ifølge vandprøven er vandkvaliteten god (vandtype C).

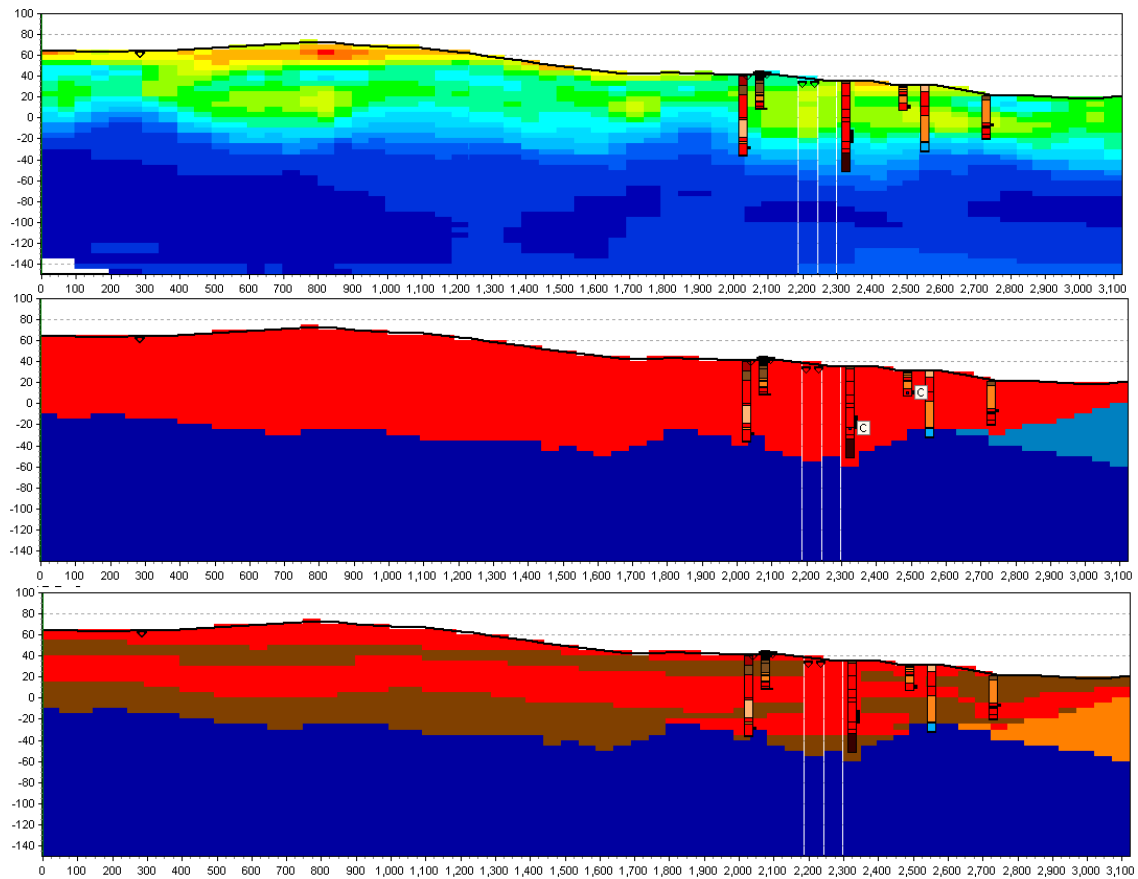


Fig. 15: Længde-profil langs thalweg af Dal 8 vist fra sydvest (venstre) mod nordøst (højre). Boringer indenfor 100 m bufferafstand er vist. Øverst: Resistivetsgrid baseret på SkyTEM (smooth inversion). For resistivetskala se Fig. 8a. Midt: Dalstratigrafi (fyldt af Dal 8 ses med rød). Nederst: Litologi (I dette tilfælde dækker den brune farve over en samlet lerkategori bestående af både smeltevandsler og moræneler). Overhøjning = 3x.

Dal 9

Dal 9 findes sydvest for Kasted By og er orienteret sydvest-nordøst (Fig. 8c). Dalen menes at tilhøre den yngste dalgeneration (Tabel 1) og skærer således de omkringliggende dale. SkyTEM-sonderingerne er tætliggende i området, men der er til gengæld ikke er nogen boringer i dalfyldet.

Dalen er hverken særlig dyb (40 m) eller bred (400 m), og dalbunden er temmelig konstant i dalens forløb (omkring kote -10 m). Resistivitetene er mellem til høje (30-60 ohm-m), men hovedparten ligger på omkring 50 ohm-m (gult på resistivetsgriddet). Denne værdi ligger lige på grænsen mellem typiske værdier for moræneler og smeltevandssand (tabel 2). Eftersom der ikke er nogen boringer i dalen er tolkning af dalfyldet usikker. Dalfyldet menes dog hovedsageligt at bestå af moræneler med et tyndt lag smeltevandssand.

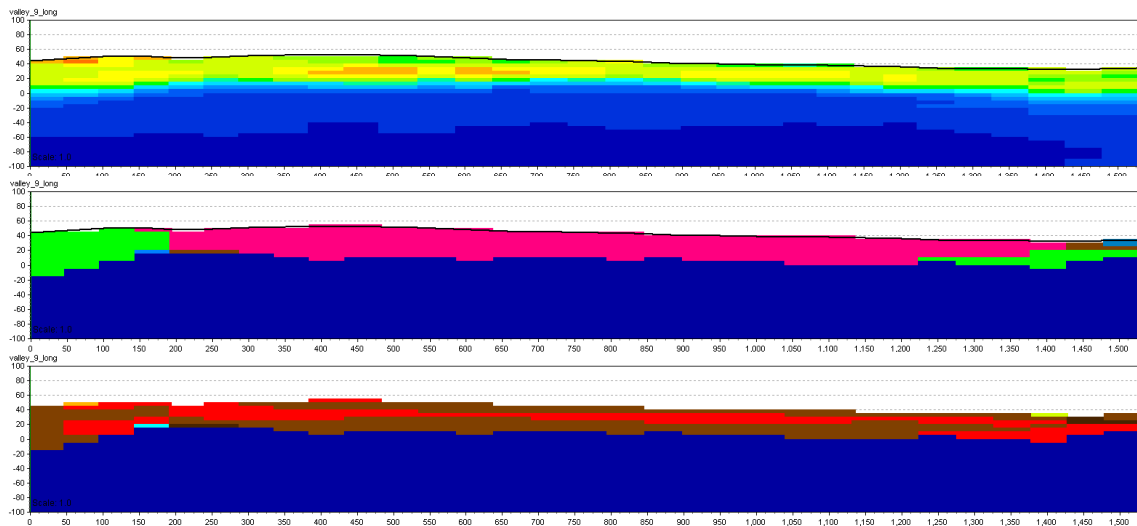


Fig. 16: Længde-profil langs thalweg af Dal 9 vist fra sydvest (venstre) mod nordøst (højre). Boringer indenfor 100 m bufferafstand er vist. Øverst: Resistivitetsskala baseret på SkyTEM (smooth inversion). For resistivitetsskala se Fig. 8a. Midt: Dalstratigrafi (fyld af Dal 9 ses med pink). Nederst: Litologi (Farveskala se Fig. 7b). Ingen overhøjning.

Dal 13

Dal 13 er helt begravet og løber fra sydvest mod nordøst (Fig. 8C). Dalen er tolket til at tilhøre den sjette generation i området, og den skærer Dal 3. Både Dal 6, 15 og 16 skærer igennem dalen.

SkyTEM-data ligger nogenlunde tæt ved længdeprofilet (Fig. 17), men der er dog fjernet data ved motorvejen (profilafstand 600-850 m), ligesom der er fjernet en del sonderinger længere mod nord (profilafstand 2 til 2,7 km). Der er tre dybe borer i dalfyldet, der ses på Fig. 17: DGU 89. 589, DGU 79. 1252 og DGU 79. 1418. Sidstnævnte står dog på flanken af dalen, og det er dermed reelt kun en lille del af boringen, der står i dalfyldet.

Dalen er en af de dybeste (op til 130 m) og bredeste (op til 1100 m), der er kortlagt i området (Tabel 1). Dalbunden varierer kraftigt og viser for eksempel en markant tærskel omkring profilafstand 2,3 km. Bunden hælder således fra kote -35 m (profilafstand 0 m) til kote -100 m (profilafstand 1,05 km), hvorefter den stiger til kote -25 m (profilafstand 2,3 km) for så igen at falde ned til kote -90 m (profilafstand 3,1 km).

Fyldet af dalen viser meget forskellige resistivitetseværdier (fra 10 ohm-m til 100 ohm-m). De høje resistiviteter ses mest udtalt mellem profilafstand 850 og 1400 m. Derudover ses også et højresistivt område mod syd (profilafstand 400 m) og ét mod nord (profilafstand 3,1 km). Den sydligste boring (DGU 89. 589) er en vandværksboring, der udover nogle tynde indslag af ler, viser sand fra 36 meters dybde og nedefter. Sandet er hovedsageligt beskrevet som værende fin- og mellemkornet men med enkelte grusindslag. Den korte naboboring, der også står i dalfyldet (DGU 89. 531, profilafstand 200 m) viser også sand i den nedre del. Boringen er filtersat nederst (dybde 21 til 28 m), og sandet er beskrevet som værende gruset. Den dybe boring ved profilafstand 1,8 km (DGU 79. 1252) viser hovedsageligt moræneler. Den nordligste dybe boring (DGU 79. 1418), der står i kanten af dalen, er en vandværksboring i Lisbjerg. San-

det i denne boring er beskrevet som værende mellem- og grovkornet og med grusindslag. Vandtypen i boringen er registreret som C.

Dalen er udfyldt med smeltevandssand og ler (moræneler og smeltevandsler). Toppen af smeltevandssandet ligger omkring kote 10 m, og sandet er overlejret af ler. Ovenpå dette dalfyld findes en lagpakke der er aflejret efter dalindfyldningen. Denne består af blandet moræne- og smeltevandsler med linser af smeltevandssand.

Smeltevandssandet er frindes hovedsageligt i den sydlige og i den nordlige del af profilet, og de to sandlegemer synes ikke at være sammenhængende. Det nordlige sandlegeme er forbundet til sand i Dal 15 og 16, mens det sydlige sandlegeme er forbundet til sand i Dal 2, 3 og 8. Sandlaget i den sydlige del er tykt og menes at være sammenhængende på tværs af den lavresistive struktur (forhøjning) mellem profilafstand 500 og 800 m. Tolkningen af sammenhængen på tværs af den lavresistive struktur er således baseret på en antagelse af, at de lave resistiviteter ved profilafstand 500 til 800 m skyldes koblede data. Resistivitetsgriddet er derfor påvirket af koblede sonderinger forholdsvis tæt på motorvejen (sonderingerne ved profilafstand 600 m). På fladekortene ses den lavresistive struktur/tærskel at befinde sig netop under motorvejen (Fig. 18). Antagelsen af, at der her findes koblede data er usikker, og det kan ikke udelukkes, at strukturen skyldes et naturligt geologisk fænomen i form af en tærskel i dalen eller lavresistivt dalfyld.

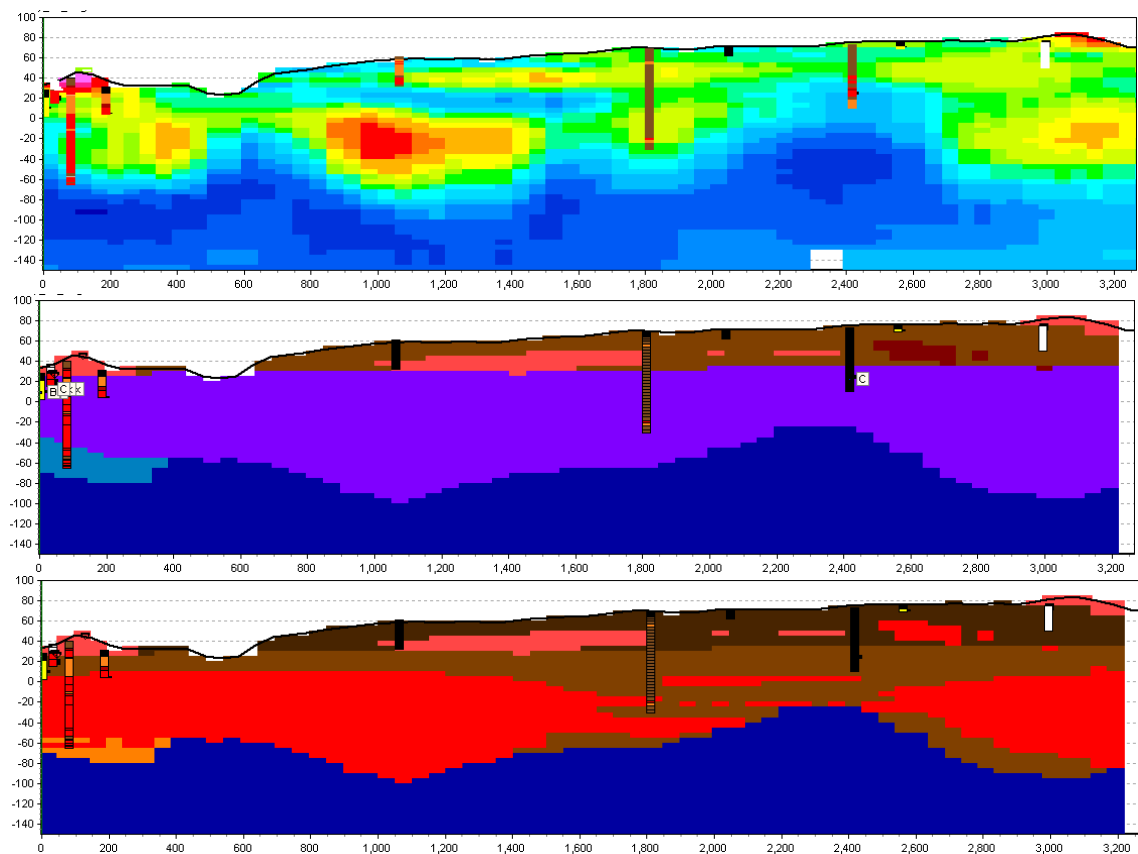


Fig. 17: Længde-profil langs thalweg af Dal 13 vist fra sydvest (venstre) mod nordøst (højre). Boringer indenfor 200 m bufferafstand er vist. Øverst: Resistivitetsgrid baseret på SkyTEM (smooth inversion). For resistivitetskala se Fig. 8a. Midt: Dalstratigrafi (fyld af Dal 13 ses med lilla). Nederst: Litologi (den brune farve dækker både moræneler og smeltevandsler). Overhøjning = 3x.

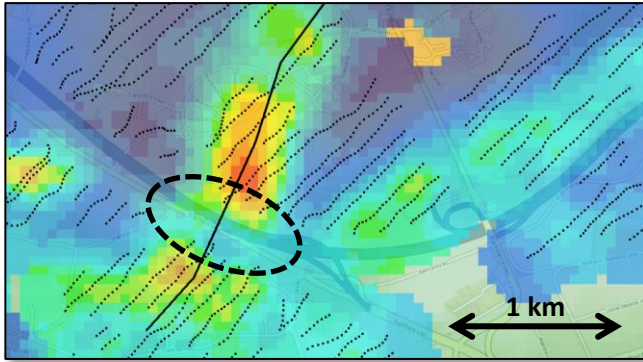


Fig. 18: Middelresistivitetskort i kote -22,5 m. For resistivitetsskala se Fig. 8a. Beliggenheden af længdeprofilet fra Fig. 17 er vist med sort. Den stiplede ellipse viser området ved motorvejen, hvor der måske er en koblingspåvirkning

Dal 14

Dal 14 er orienteret fra vest mod øst (Fig. 8c). Dalen følger det nuværende dalstrøg i terrænet og er således delvist begravet. Dalen tilhører den yngste dalgeneration og skærer alle de tilstødende dale. SkyTEM-sonderingerne ligger tæt på det meste af profilet vist på Fig. 19. Der er tre borer, der berører aflejringerne i dalen, hvoraf den ene ligger langt ude på flanken af dalen (boringen ved afstand 2,35 km på Fig. 19).

Ligesom Dal 9, der også tilhører den yngste dalgeneration, er dalen ikke særlig dyb (10-40 m) og samtidig ret smal (under 400 m). Resistivitetsværdierne ligger hovedsageligt omkring 30-40 ohm-m, og borerne viser alle moræneler. Dalfyldet er derfor tolket som moræneler.

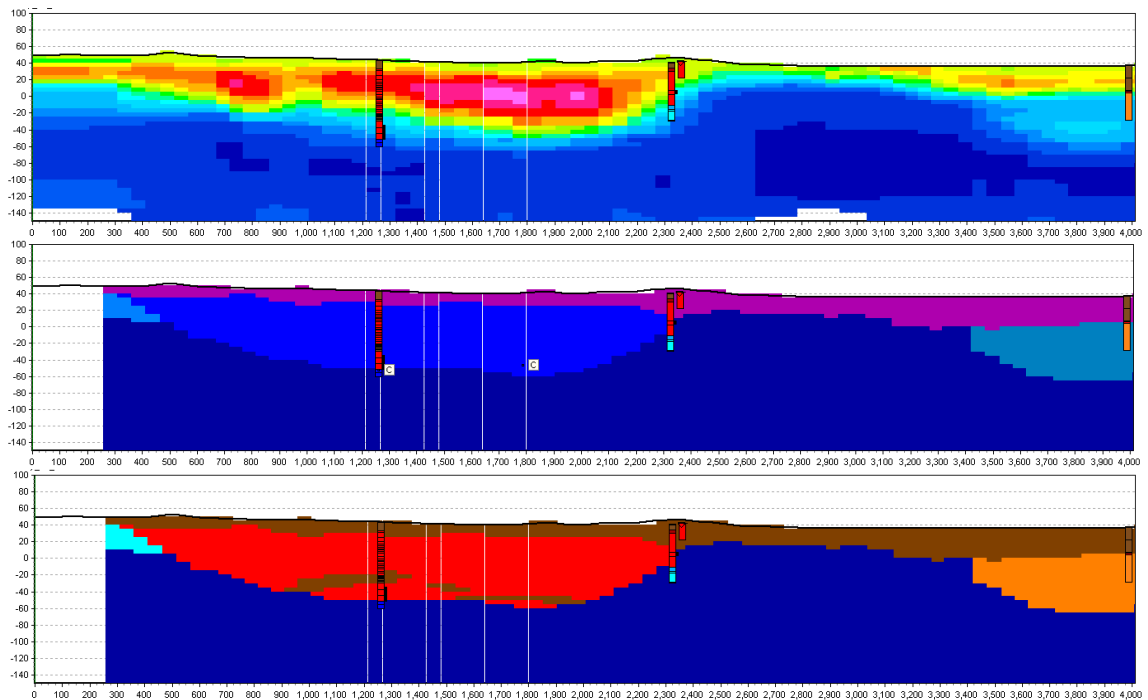


Fig. 19: Længde-profil langs thalweg af Dal 14 vist fra vest (venstre) mod øst (højre). Borerne indenfor 100 m bufferafstand er vist. Øverst: Resistivetsgrid baseret på SkyTEM (smooth inversion). For resistivitetsskala se Fig. 8a. Midt: Dalstratigrafi (fyld af Dal 14 ses med lilla). Nederst: Litologi (Farveskala se Fig. 7b). Overhøjning = 3x.

Dal 15

Dal 15 stryger sydvest-nordøst og er beliggende lige nord for Ølsted, hvor den er nedskåret i dalfyldet af Dal 13 (Fig. 8c). Den centrale del af længdeprofilen (Fig. 20) ligger tæt på SkyTEM-sonderinger. Der er ingen boringer i dalfyldet.

Bunden af dalen ligger imellem kote -10 og -20 m og dalen er op til 80 m dyb og 600 m bred. Resistivitetterne er generelt høje (>100 ohm-m). Dalfyldet menes på basis af resistivitetterne at bestå af smeltevandssand. Sandet er i direkte forbindelse med smeltevandssandet i Dal 13. Dalen er overlejret af 10-20 m moræneler.

Dalfyldet fremstår meget høj-resistivt, og da dalen er overlejret af et sammenhængende lerlag, kan det formodede smeltevandssand i dalen være af grundvandsinteresse.

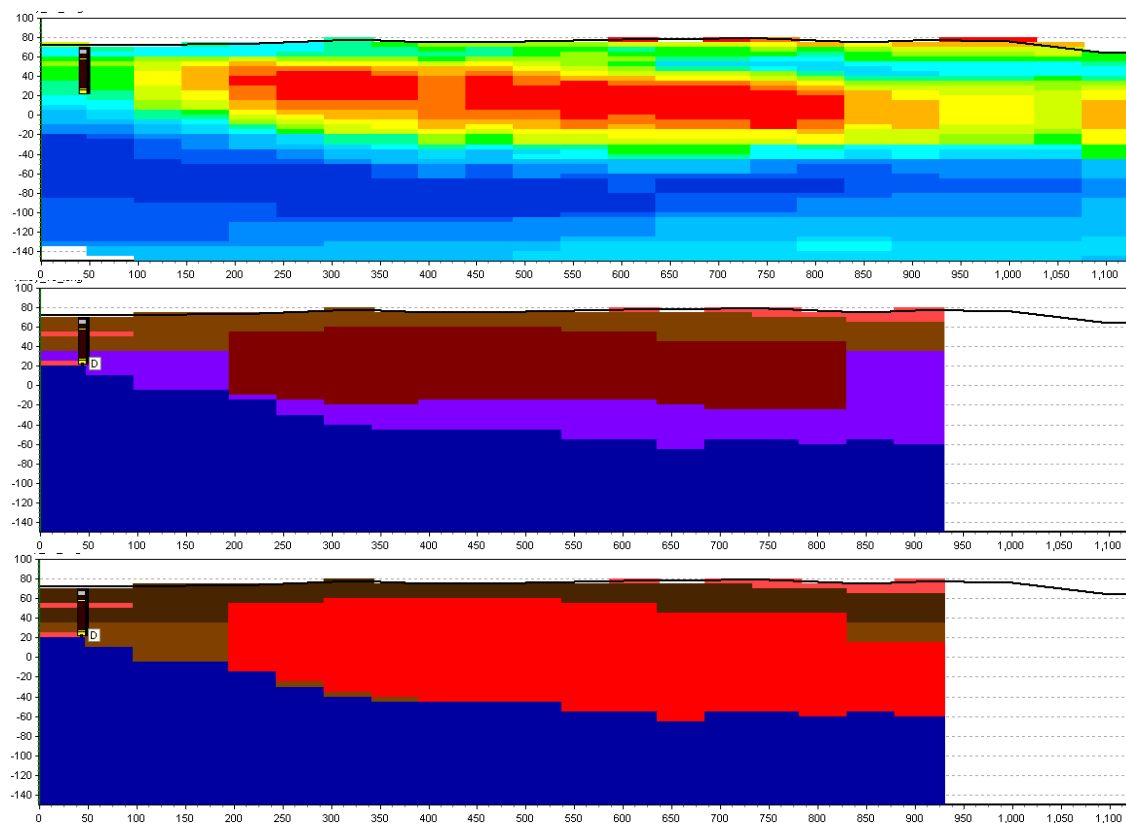


Fig. 20: Længde-profil langs thalweg af Dal 15 vist fra sydvest (venstre) mod nordøst (højre). Boringer indenfor 100 m buffer afstand er vist. Øverst: Resistivetsgrid baseret på SkyTEM (smooth inversion). For resistivitetsskala se Fig. 8a. Midt: Dalstratigrafi (fyld af Dal 15 ses med bordeaux). Nederst: Litologi (Farveskala se Fig. 7b). Ingen overhøjning.

Dal 16

Dal 16 strækker sig fra vest mod øst i den nordlige del af området (Fig. 8c). Dalen er helt begravet. Sky-TEM sonderingerne ligger tæt på længdeprofillet (Fig. 21) i hele dets udstrækning. Der er en enkelt dyb boring (ved profilafstand 1,1 km).

Dalens bund ligger i et nogenlunde konstant niveau omkring kote -20 m. Dalen er op til 90 m dyb og 700 m bred (Tabel 1). Resistiviteterne i dalen er generelt moderate (30-60 ohm-m), og fyldet menes at bestå af moræneler med et par gennemgående sandlag. Tolkningen er usikker, da der kun findes en enkelt boring i dalen, samtidig med at resistivitetsværdierne både kan repræsentere en blanding af ler- og sandlag (som tolket), men også (sandet) moræneler.

Den dybe boring ved profilafstand 1,1 km (DGU 79. 1416) viser et sandlag fra 39 til 57 meters dybde, hvilket er beskrevet til at være mest grovkornet. Laget er filtersat, og vandtypen er vandtype C. Der er fuld hydraulisk forbindelse mellem sandet, som boringen står i og sandet i Dal 13.

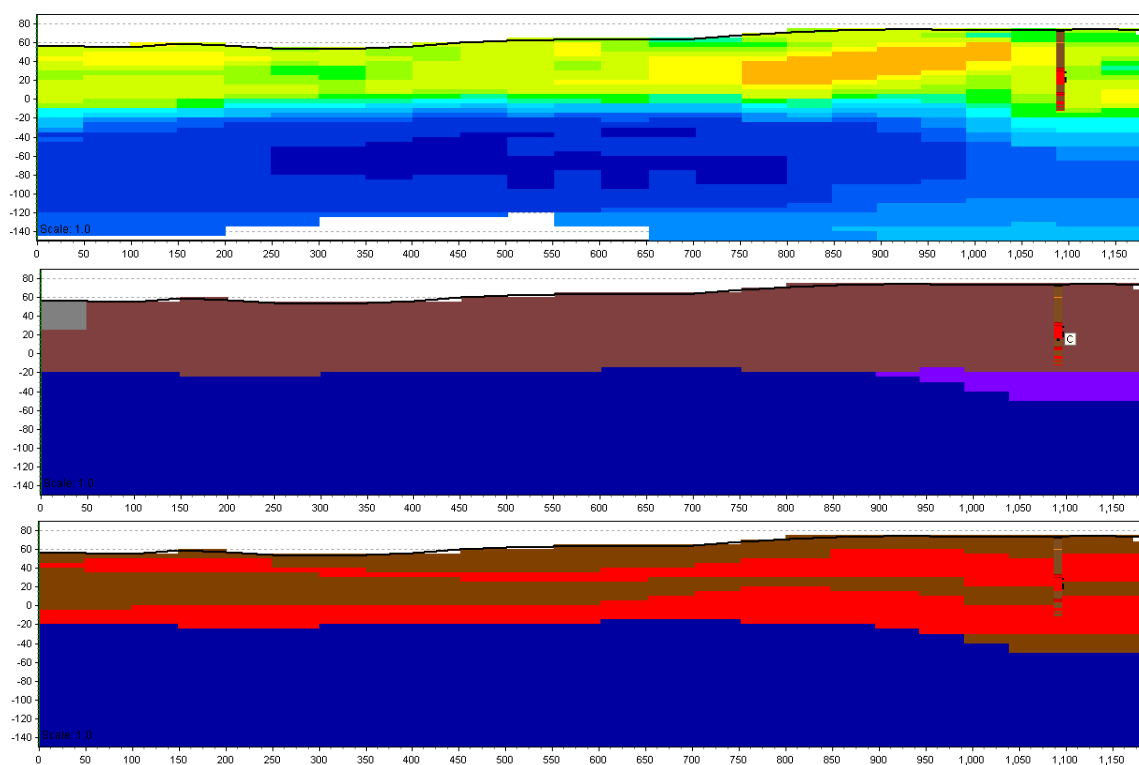


Fig. 21: Længde-profil langs thalweg af Dal 16 vist fra vest (venstre) mod øst (højre). Boringer indenfor 200 m bufferafstand er vist. Øverst: Resistivetsgrid baseret på SkyTEM (smooth inversion). For resistivetskala se Fig. 8a. Midt: Dalstratigrafi (fyld af Dal 16 er mørkebrunt). Nederst: Litologi (Farveskala se Fig. 7b). Ingen overhøjning.

Dal 17

Dal 17 er en helt begravet dal, der befinder sig i den nordlige del af undersøgelsesområdet og stryger fra sydvest mod nordøst (Fig. 8c). SkyTEM-sonderingerne ligger nogenlunde tæt på det meste af længdeprofilets forløb (Fig. 22). Der ligger boreringer jævnt fordelt i dalen, hvoraf de fleste dog er korte. Den dybeste boring (DGU: 79. 1417) er en undersøgelsesboring fra 2006, der er 75 m dyb. Boringen befinder sig desværre på kanten af dalen og er udenfor bufferafstanden på længdeprofilet, hvorfor den ikke ses på Fig. 22.

Bunden af dalen ligger i omtrent kote -40 m. Dybden af dalen er op til 120 m og bredden er op til 700 m (Tabel 1). Der er to områder i dalen, der viser høje resistiviteter (>100 ohm-m) (ved profilafstand 0-400 ohm-m og 1,1-2,1 km). resistiviteterne herimellem er hovedsageligt moderate (40-50 ohm-m). Derudover ses et par mindre, afgrænsede legemer at have lave resistiviteter. Undersøgelingsboringen fra 2006 penetrerer det højresistive legeme (den er boret 250 m fra profilet ved profilafstand 1400 m). Boringen antyder, at det højresistive legeme består af smeltevandssand og -grus, hvoraf meget af sandet er kategoriseret som groft. Alle borerne i dalen viser moræneler i den overfladenære del.

Dalfyldet er tolket til at være overvejende sandet i de dybere dele, mens fyldet tæt på terræn hovedsageligt består af moræneler.

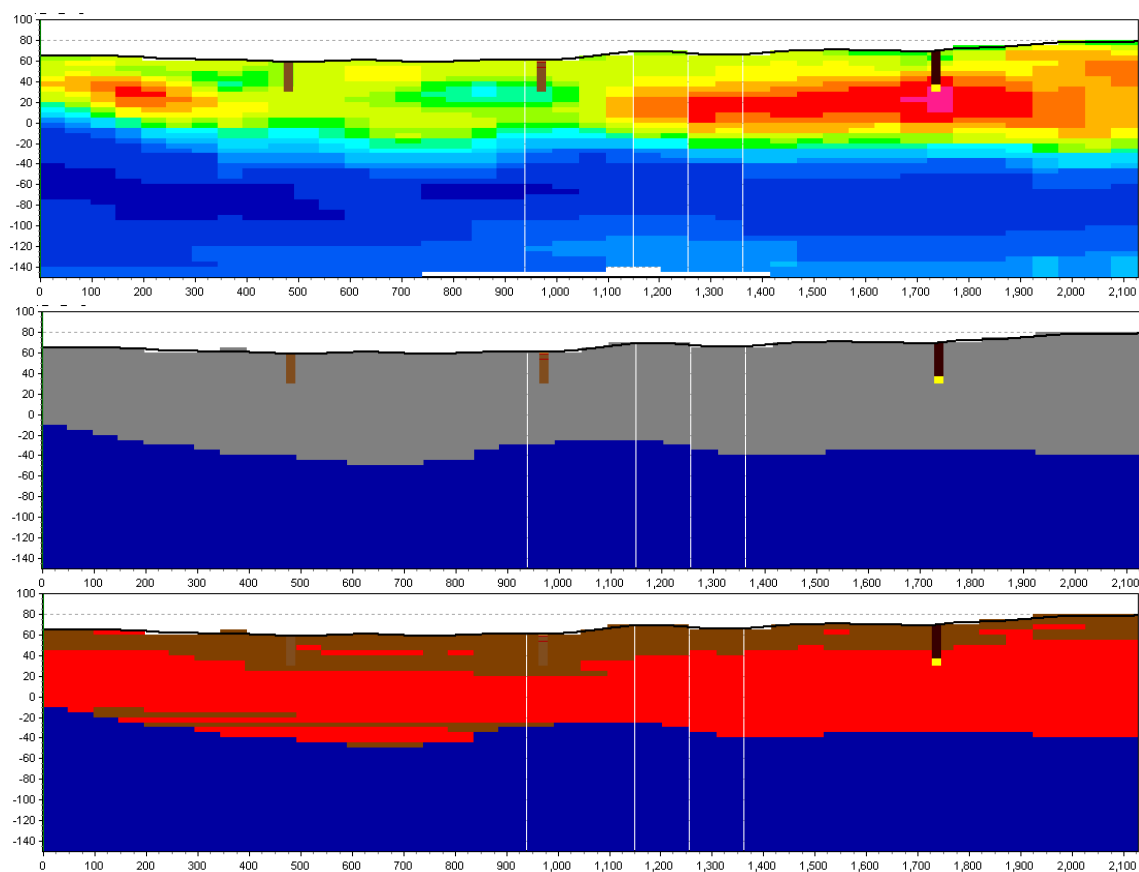


Fig. 22: Længde-profil langs thalweg af Dal 17 vist fra sydvest (venstre) mod nordøst (højre). Borerne indenfor 200 m bufferafstand er vist. Øverst: Resistivetsgrid baseret på SkyTEM (smooth inversion). For resistivitetsskala se Fig. 8a. Midt: Dalstratigrafi (fyld af Dal 17 er gråt). Nederst: Litologi (Farveskala se Fig. 7b). Overhøjning = 2x.

Dal 18

Dal 18 er en helt begravet dal, der løber fra syd mod nord i den nordlige del af området (Fig. 8c). Der er SkyTEM-sonderinger fordelt jævnt langs dalens forløb, men der er til gengæld kun en enkelt boring i dalfyldet (Fig. 23).

Bunden af dalen ligger tæt på kote 0 m, og dalen er op til 50 m dyb og 400 m bred (Tabel 1). Resistiviteterne er moderate (30-50 ohm-m), og fyldet er primært tolket som moræneler.

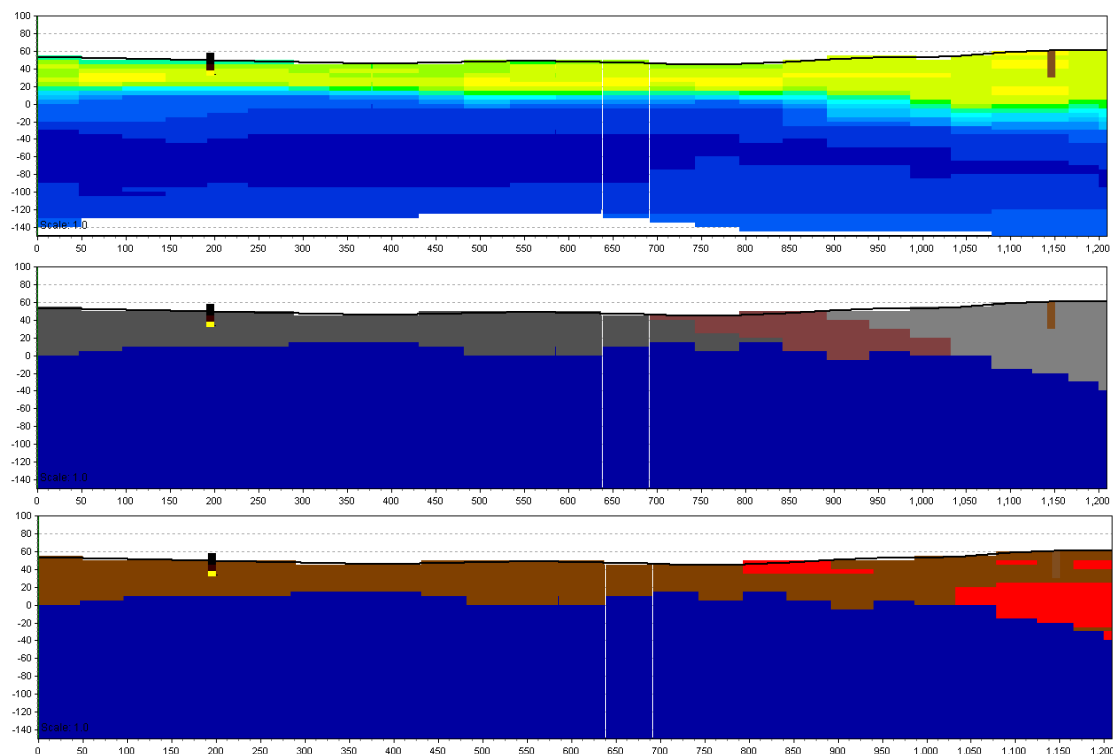


Fig. 23: Længde-profil langs thalweg af Dal 18 vist fra syd (venstre) mod nord (højre). Boringer indenfor 200 m bufferafstand er vist. Øverst: Resistivetsgrid baseret på SkyTEM (smooth inversion). For resistivetskala se Fig. 8a. Midt: Dalstratigrafi (fyld af Dal 18 er mørkegråt). Nederst: Litologi (Farveskala se Fig. 7b). Ingen overhøjning.

Dal 19

Dal 19 befinder sig i den nordlige del og stryger syd-nord (Fig. 8c). Den sydligste del af dalen ligger i det nuværende dalstrøg i terrænet, mens den nordligste del ligger helt begravet under morænelandskabet. Dalen findes tæt på motorvejen, og der er derfor fjernet sonderinger pga. koblinger. Der er kun korte borer i dalfyldet (se Fig. 24).

Bunden af dalen befinder sig i et nogenlunde konstant niveau omkring kote 0 m, og dybden af dalen er derfor markant størst mod nord (95 m), hvor terrænet er højest. Dalen er op til 600 m bred (Tabel 1). Resistiviteterne er generelt høje tæt ved terræn, men lave under kote ca. 20 m.

Dalfyldet er tolket som værende smeltevandssand tæt ved overfladen og smeltevandsler i de dybere dele.

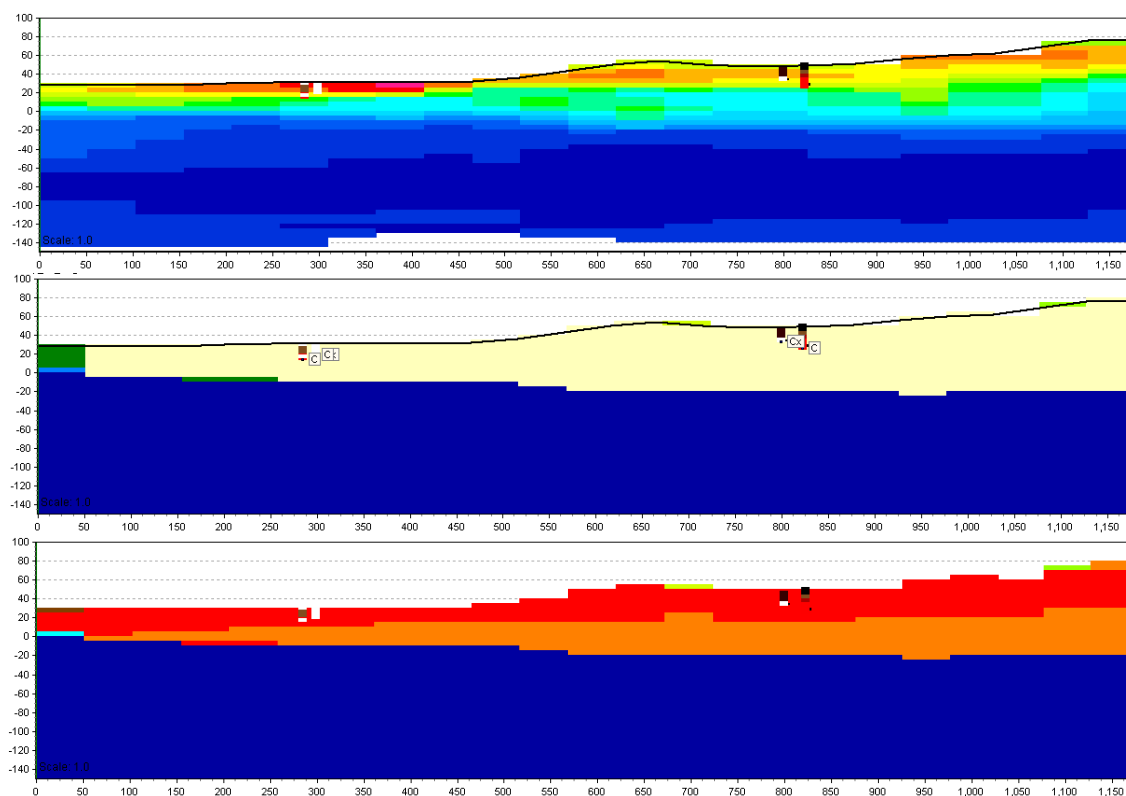


Fig. 24: Længde-profil langs thalweg af Dal 19 vist fra syd (venstre) mod nord (højre). Borer inden for 200 m bufferafstand er vist. Øverst: Resistivetsgrid baseret på SkyTEM (smooth inversion). For resistivitetsskala se Fig. 8a. Midt: Dalstratigrafi (fyld af Dal 19 er lysegult). Nederst: Litologi (Farveskala på Fig. 7b). Ingen overhøjning.

Mulige nye boresteder

På baggrund af analysen af dalene er fokusområdet gennemgået for mulige nye boresteder. Indfyldet i dalene er således analyseret med henblik på at finde magasiner med mættede, grovkornede aflejringer, som ideelt set ligger beskyttet under lerede aflejringer. Mange af lokaliteterne mangler boringsinformation, hvorfor det er usikkert, hvor grovkornede sedimenterne er.

Gennemgangen fokuserer på en række faktorer:

1. Litologien af det potentielle grundvandsmagasin.
2. Størrelsen og udbredelsen af det potentielle magasin.
3. Mulig sammenhæng mellem det potentielle magasin og de magasiner, hvorfra der foregår indvinding nu.
4. Dybden af det potentielle magasin og den mulige tilstedeværelse af beskyttende lag ovenover i form af leraflejringer.
5. Beliggenheden af grundvandsspejlet i forhold til magasinet, da det ikke er hensigtsmæssigt at hente vand fra frie magasiner.
6. Beliggenheden af magasinet i forhold til nuværende byområder og andre forureningskilder.
7. De beskrevne vandtyper i magasinet, hvor vandtype C er den mest hensigtsmæssige.
8. Usikkerheden relateret til magasinet. Herunder en række usikkerhedsparametre: Både usikkerhed relateret til sandlegemets eksistens, usikkerhed relateret til hvor grovkornede/hvor hydraulisk ledende sedimenterne er, usikkerhed relateret til beskyttelsen af magasinet, samt usikkerhed relateret til sammenhængsgraden med andre magasiner.

De potentielle boresteder er opdelt i 5 forskellige kategorier baseret på, hvor interessante de er vurderet til at være. Således er de mest interessante lokaliteter vurderet som *kat1*, mens lokaliteter der slet ikke har nogen interesse, men blot er undersøgt i denne gennemgang har fået benævnelsen *kat5*

Området ved Kasted samt ved Truelsbjerg vandværker er ikke taget i betragtning, da magasinerne allerede er kendte. Et kort med alle lokaliteter ses på Fig. 25. Figuren viser desuden de borer, der er omtalt i teksten (sorte med label), samt indvindingsboringer ved Kasted (røde prikker).

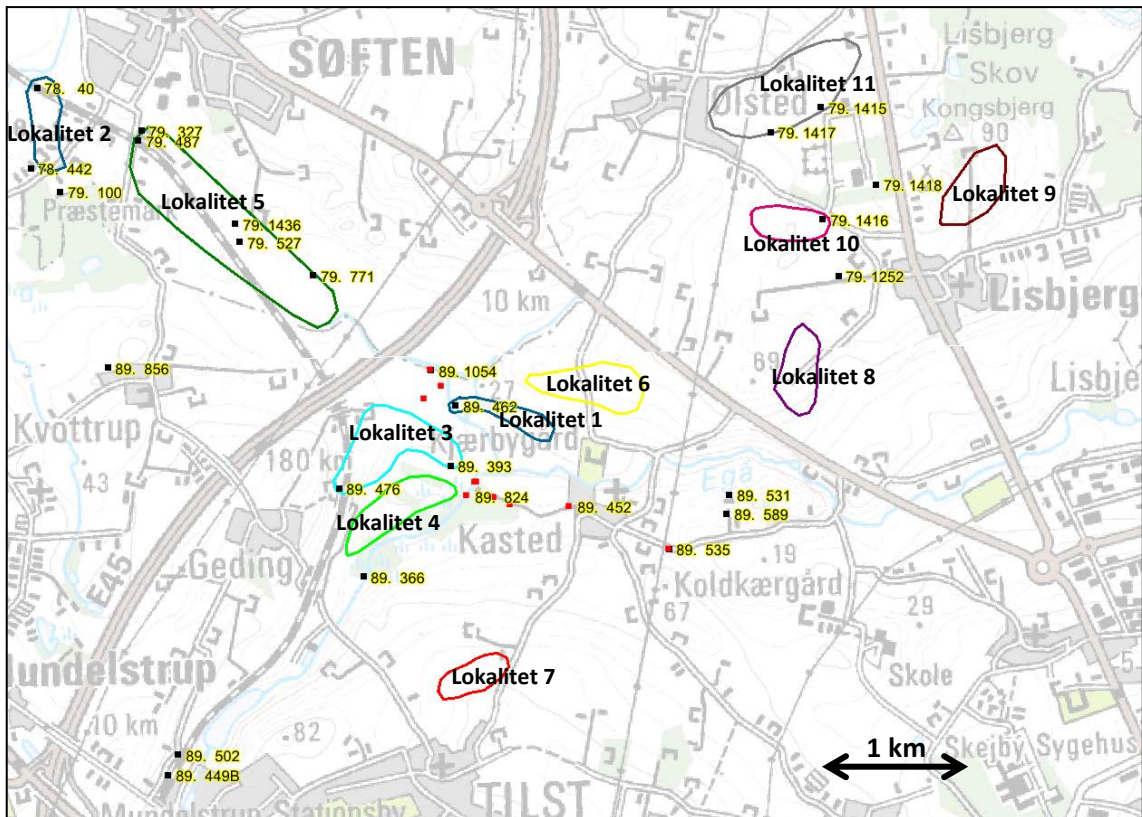


Fig. 25: Beliggenheden af de beskrevne lokaliteter. Farverne refererer til hvilke dale, lokaliteterne er beliggende i. Indvindingsboringer ved Kasted er vist med røde firkanter. Boringer ved Truelsbjerg vandværk er vist med lilla firkanter. De beskrevne boringer i teksten er vist med sort og har tilhørende label.

Lokalitet 1

Lokalitet 1 befinder sig i Dal 2 (Fig. 26). Her findes der ved profilafstand 5750 m en boring (DGU: 89. 462), der viser sand i stor dybde (102 til 112 m). Denne tolkning har dannet baggrund for tolkning af et lille sandlegeme i denne dybde (se Fig. 26). Eftersom SkyTEM har svært ved at opløse tynde sandlag på stor dybde er det teoretisk muligt, at dette legeme kan have en vis lateral udbredelse, selvom det ikke er opløst af resistivetsdata. Lokaliteten er derfor undersøgt som en mulig lokalitet. Brøndborerrapporten beskriver dog sandet som moræneler, og niveauet er ikke filtersat. Det tyder derfor på, at leret er udskyllet af den prøve, der er modtaget hos DGU, og at der derfor ikke er sand i boringen.

Det vurderes derfor, at der ikke er noget magasin her, og lokaliteten har derfor *ingen grundvandsinteresse (kat5)*.

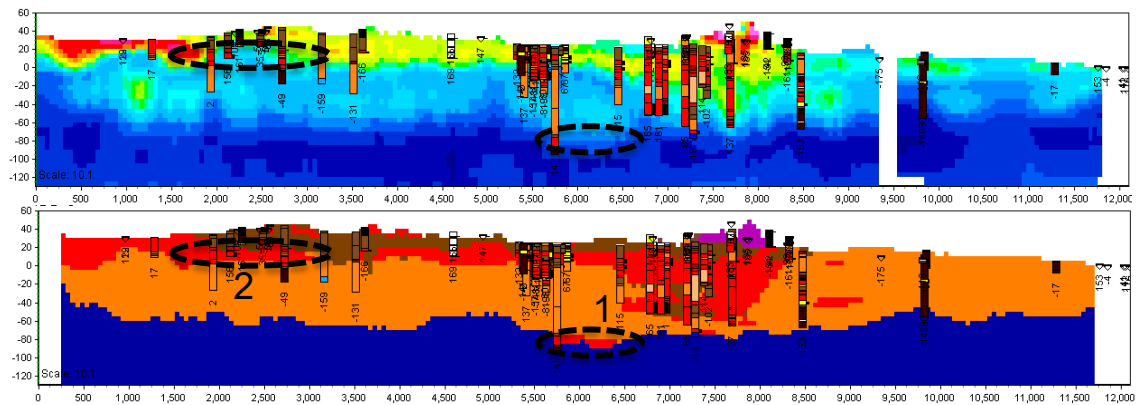


Fig. 26: Længde-profil langs thalweg af Dal 2 vist fra vest (venstre) mod øst (højre). For legende og beskrivelser, se fig. 9, der viser samme profil. På denne figur er markeret de undersøgte lokaliteter i dalen: Lokalitet 1 og 2. Overhøjning = 10x.

Lokalitet 2

Lokalitet 2 befinder sig i Dal 2 og fokuserer på området ved profilafstand 1800-3000 m (Fig. 26), hvor der er tolket sand i intervallet fra ca. kote 0 til 20 m. Sandet er påvist i en række borer (DGU 78. 40, 78. 1336, 78.442 og 79. 100), hvoraf de to dybeste, der viser tykke sandlegemer kun er filtersatte over nogle få meter. SkyTEM-resistiviteterne er meget lave og ifølge borerne er sandet overvejende finkornet. Det vurderes derfor, at aflejringen udgør en sandet facies af smeltevandsaflejringen, der muligvis indeholder mere ler end beskrevet i borerne (grundet de lave resistiviteter).

Grundet de finkornede aflejringer vurderes legemet at have *ingen grundvandsinteresse (kat5)*.

Lokalitet 3

Lokalitet 3 befinder sig i Dal 3 (profilafstand 1800-2800 m, Fig. 27). Magasinet er tolket på baggrund af meget høje modstande i SkyTEM griddet. Legemet er beliggende i omtrent 20 til 80 meters dybde og er sammenhængende med et højresistivt legeme i området på bakkedraget mod syd (profilafstand 0-1800 m). Området på bakkedraget er dog ikke inddraget som interesseområde, da grundvandsspejlet ligger for dybt her.

Der er ingen borer, der penetrerer den midterste del af legemet, men der er to borer i kanten (DGU 89.393 og DGU 89.476), der begge beskriver sandet som værende hovedsageligt fint. Eftersom borerne begge står i udkanten af legemet er det tvivlsomt, hvorvidt beskrivelserne er repræsentative.

Magasinet vurderes som værende af en *vis interesse (kat3)*, idet SkyTEM resistiviteterne tyder på meget sandede aflejringer, mens det dog er usikkert, hvor finkornede sedimenterne er. Desuden er legemet tolket til at være direkte sammenhængende med magasinet ved Kasted vandværk.

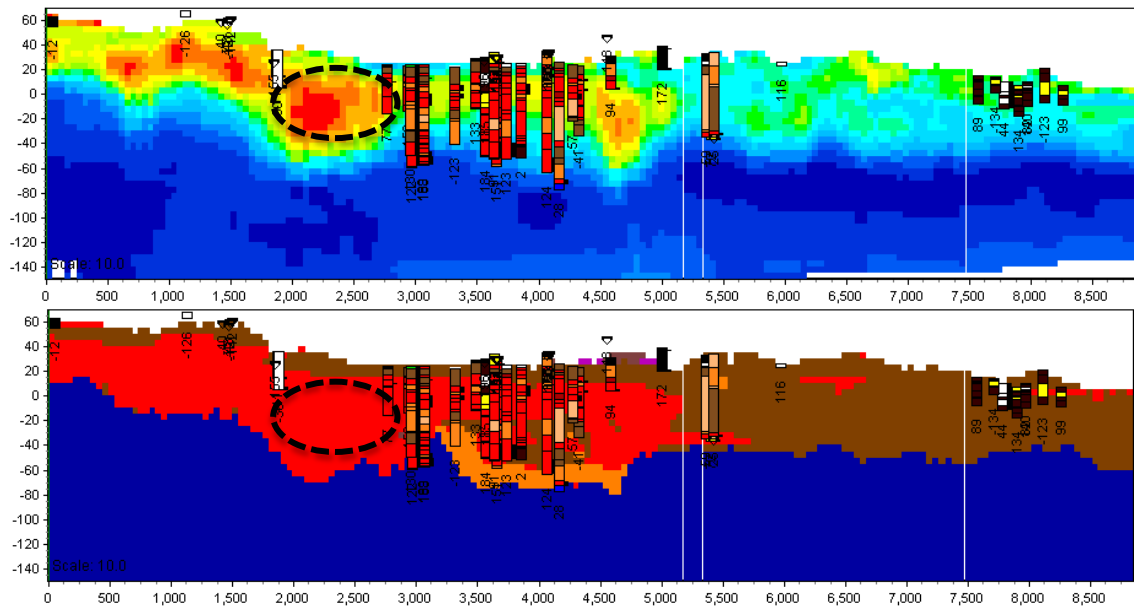


Fig. 27: Længde-profil langs thalweg af Dal 3 vist fra sydvest (venstre) mod nordøst (højre). Dalforløbet knækker næsten 90 grader ved profilafstand 2,3 km mod øst. For legende og beskrivelser, se fig. 10, der viser samme profil. På denne figur er markeret beliggenheden af lokalitet 3. Overhøjning = 5x.

Lokalitet 4

Lokalitet 4 befinder sig i Dal 4 (profilafstand 1900-2800 m, Fig. 28). Magasinet ligger tæt på magasinet ved Lokalitet 3, og de to er sandsynligvis delvist sammenhængende. SkyTEM data viser middelhøje resistiviteter i et område, der ellers er karakteriseret ved lave resistiviteter. Legemet ligger i en dybde på 35 til 70 m dybde. Der er ingen boringer direkte i strukturen, men Kasteds vandværksboringer ligger lige øst for. Det ses i øvrigt, at Kasted-boringerne viser filtersat sand i dybder, hvor SkyTEM data viser lave resistiviteter, hvilket gør det svært at vurdere magasinets udbredelse på basis af resistiviteterne alene. Det vurderes dog, at magasinerne hænger sammen (Fig. 28).

Lokaliteten vurderes kun at være af en *vis interesse (kat3)* grundet den umiddelbare nærhed til magasinet ved Kasted vandværk.

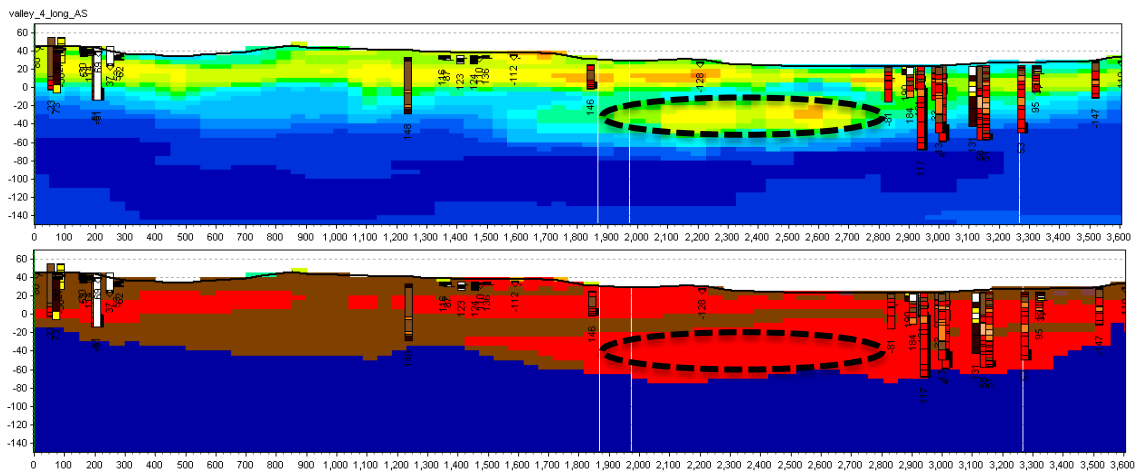


Fig. 28: Længde-profil langs thalweg af Dal 4 vist fra sydvest (venstre) mod nordøst (højre). Dalforløbet knækker næsten 90 grader ved profilafstand 2,8 km mod øst. For legende og beskrivelser, se fig. 11, der viser samme profil. På denne figur er markeret beliggenheden af lokalitet 4. Overhøjning = 3x.

Lokalitet 5

Lokalitet 5 befinder sig i Dal 5 (profilafstand 2000-3700 m, Fig. 29). Magasinets top er meget overfladenær (0-10 m) og magasinet er ikke særlig tykt, da Tertiæret ligger tæt på terræn (kote 0 m). SkyTEM griddet viser meget høje modstande og mange af borerne i magasinet rapporterer om filtersat sand under et tyndt lag moræneler (DGU 79. 327, 79.487, 79.1436, 79.527, 79.771). Der er en del vandprøver fra borerne i den centrale del af legemet, og disse viser alle vandtype C.

Magasinet vurderes umiddelbart til at være af *begrænset interesse (kat4)* grundet den overfladenære beliggenhed og den begrænsede størrelse af legemet.

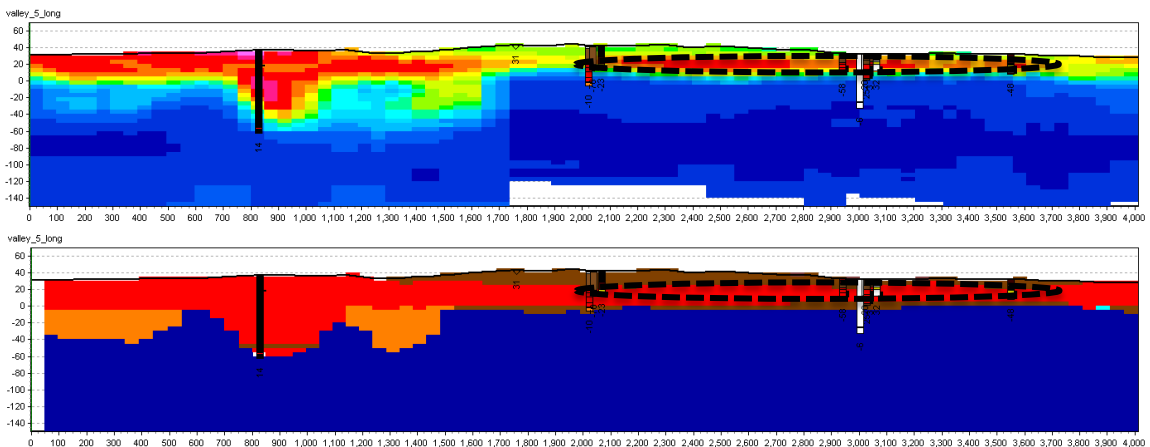


Fig. 29: Længde-profil langs thalweg af Dal 5 vist fra nordvest (venstre) mod sydøst (højre). For legende og beskrivelser, se fig. 12, der viser samme profil. På denne figur er markeret beliggenheden af lokalitet 5. Overhøjning = 3x.

Lokalitet 6

Lokalitet 6 befinder sig i Dal 6 (Fig. 30, profilafstand 800-1600 m). Legemet er karakteriseret ved meget høje modstande i SkyTEM griddet. Der er ingen borer i strukturen, som er op til 300 m bredt og 700 m langt og ligger i en dybde af 20 til 60 m. SkyTEM data tyder på, at der er et lerlag ovenover magasinet. Legemet er tolket til at være sammenhængende med sandet vest for, hvor der indvindes vand ved Bukbæk. Dette er dog usikkert.

Magasinet vurderes at være af *stor interesse (kat2)* grundet de meget høje resistiviteter og den gode størrelse af legemet. Der er dog ingen borer, så det er uklart, hvor grovkornede sedimenterne er.

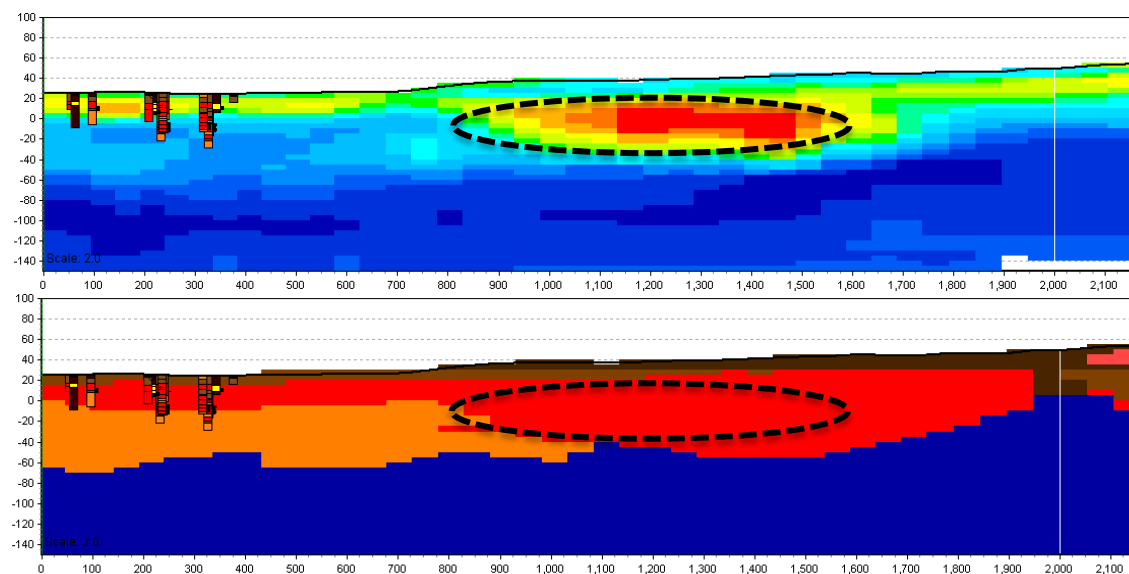


Fig. 30: Længde-profil langs thalweg af Dal 6 vist fra vest (venstre) mod øst (højre). For legende og beskrivelser, se fig. 13, der viser samme profil. På denne figur er markeret beliggenheden af lokalitet 6. Overhøjning = 2x.

Lokalitet 7

Lokalitet 7 befinder sig i Dal 8 (Fig. 31, profilafstand 500-1000 m). Legemet ligger i en dybde af 40 til 70 m. Resistiviteterne er kun middelhøje, men svarer til de værdier, der ses længere mod nord ved Kasted, hvor der er filtersat i sand. Dog ligger resistivitetsværdierne i et niveau, der også kan være karakteristisk for moræneler. Der er ingen borer i strukturen.

Lokaliteten vurderes at være af en *vis interesse (kat3)* på grund af den store usikkerhed, der er relateret til sedimenternes hydrauliske ledningsevne pga. de middelhøje resistiviteter og manglende borer.

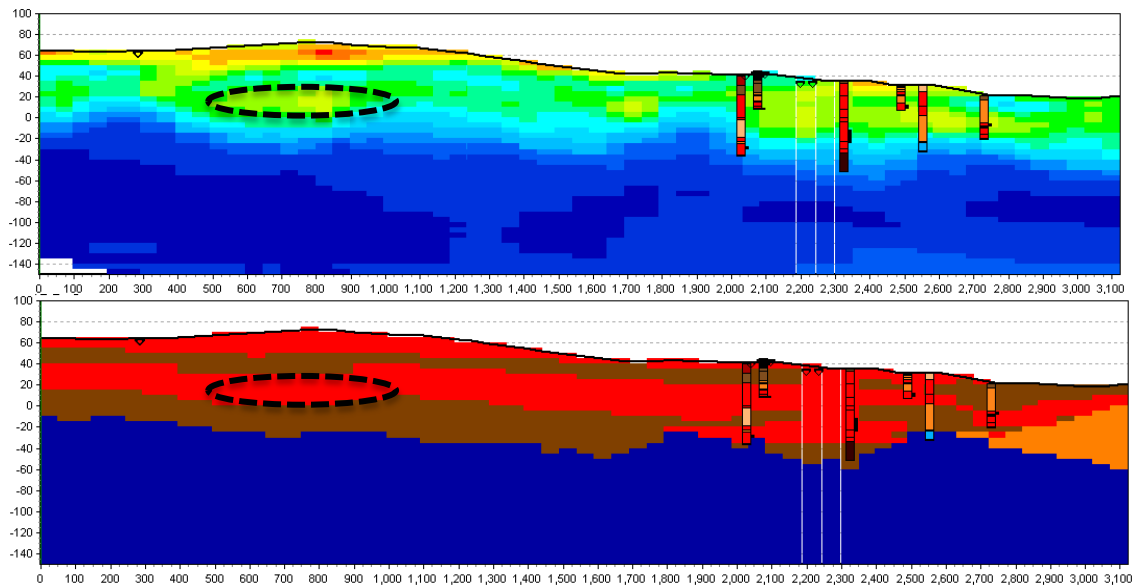


Fig. 31: Længde-profil langs thalweg af Dal 8 vist fra sydvest (venstre) mod nordøst (højre). For legende og beskrivelser, se fig. 15, der viser samme profil. På denne figur er markeret beliggenheden af lokalitet 7. Overhøjning = 3x.

Lokalitet 8

Lokalitet 8 befinder sig i Dal 13 (Fig. 32, profilafstand 850-1400 m). Legemet ligger i en dybde på 50 til 110 m, hvor det er tykkest. Legemet er karakteriseret ved meget høje resistiviteter, men der er ingen borer i legemet. Det er meget usikkert, hvorvidt legemet er sammenhængende med strukturer nord- og syd for (se afsnittet omkring Dal 13). Den nordligste ende af den tolkede Dal 13 er beliggende ved Truelsbjerg og viser et fint magasin, der dog ikke er beskrevet her, da det allerede er kendt. Legemet er overlejret af lerede sedimenter og vurderes derfor at være godt beskyttet.

Det vurderes, at magasinet ved Lokalitet 8 er af *høj interesse (kat1)*, men idet der ikke er borer i strukturen, er det uklart, hvor grovkornede aflejringerne er.

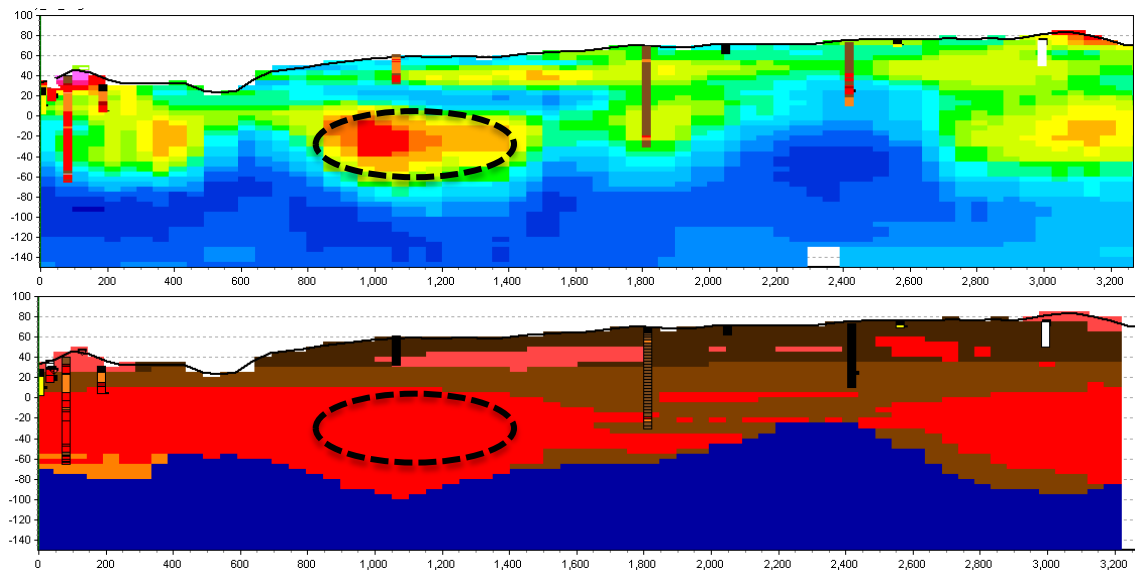


Fig. 32: Længde-profil langs thalweg af Dal 13 vist fra sydvest (venstre) mod nordøst (højre). For legende og beskrivelser, se fig. 17, der viser samme profil. På denne figur er markeret beliggenheden af lokalitet 8. Overhøjning = 3x.

Lokalitet 9

Lokalitet 9 befinder sig i Dal 15 (Fig. 33, profilafstand 200-800 m), der er nederoderet i Dal 13. Toppen af legemet ligger i 10 til 40 meters dybde og er omtrent 40 m tykt. Legemet er karakteriseret ved meget høje resistiviteter, men der er ingen boringer til at give litologisk information. Lokaliteten er tæt på Truelsbjerg vandværk og er derfor beliggende på grænsen af fokusområdet i dette studie. Dog tyder det ifølge de nyeste SkyTEM-data på, at legemet kun har begrænset eller ingen kontakt til de magasiner, hvorfra der indvindes vand til Truelsbjerg vandværk (Fig. 34).

Det vurderes, at magasinet ved Lokalitet 9 er af *stor interesse (kat1)*, såfremt lokaliteten ikke ligger for tæt på Truelsbjerg vandværk. Eftersom der ikke er boringer i strukturen, er det dog uklart, hvor grovkornede aflejringerne er.

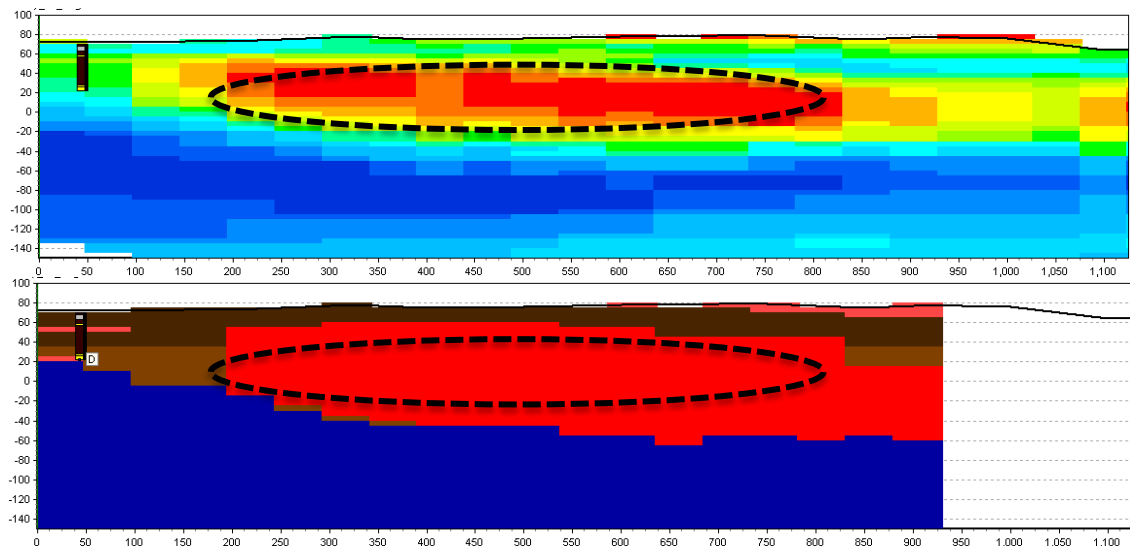


Fig. 33: Længde-profil langs thalweg af Dal 15 vist fra sydvest (venstre) mod nordøst (højre). For længde og beskrivelser, se fig. 20, der viser samme profil. På denne figur er markeret beliggenheden af lokalitet 9. Ingen overhøjning.

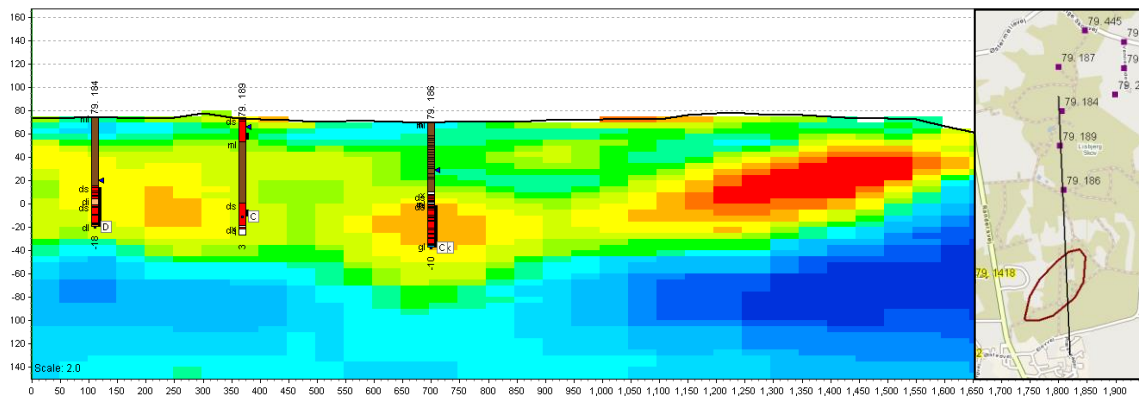


Fig. 34: Profil der går fra nord mod syd gennem data fra den nyeste SkyTEM kortlægning fra legemet i Dal 15 (profilafstand 1000-1600 m) til borerne ved Truelsbjerg (DGU 79.186, 79. 189 og 79.184). Beliggenheden af profilet er vist på det indsatte kort til højre.

Lokalitet 10

Lokalitet 10 befinder sig i Dal 16 (Fig. 35, profilafstand 700-1200 m). Legemet er karakteriseret ved middelhøje resistiviteter. På flanken af dalen ligger boringen DGU 79. 1416. Boringen viser gruset sand, men i et niveau, der ligger under de højeste resistiviteter i SkyTEM griddet. Eftersom grundvandsspejlet ligger under morænelaget er det muligt, at de høje resistiviteter repræsenterer tørt moræneler. Pumpning i boringen har vist en nogenlunde ydelse, men grundvandsspejlet ligger i toppen af magasinet, hvorfor det vil blive et frit magasin, hvis der sker nogle meters sænkning. Dette vil gøre magasinet meget sårbar.

Magasinet vurderes således at være af *ringe interesse (kat4)* på grund af den dybe beliggenhed af grundvandsspejlet.

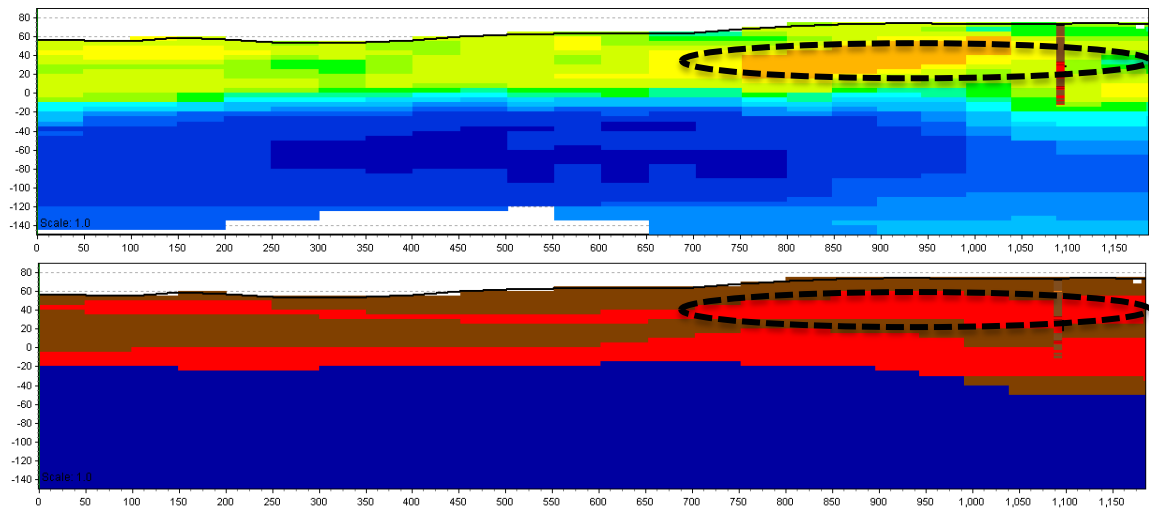


Fig. 35: Længde-profil langs thalweg af Dal 16 vist fra vest (venstre) mod øst (højre). For legende og beskrivelser, se fig. 21, der viser samme profil. På denne figur er markeret beliggenheden af lokalitet 10. Ingen overhøjning.

Lokalitet 11

Lokalitet 11 befinder sig i Dal 17 (Fig. 36, profilafstand 1100-2100 m). Legemet er karakteriseret ved høje resistiviteter fra dybder omkring 10 til 70 m. To boreringer i legemet (DGU 79. 1417 og 79. 1415) viser begge groft sand fra en dybde på omtrent 30 m. Grundvandspejlet ligger tæt ved overfladen af magasinet i DGU 79. 1417, mens det ligger under sandlaget i DGU 79. 1415.

Magasinet vurderes at være af *ringe interesse (kat4)* grundet den dybe beliggenhed af grundvandspejlet.

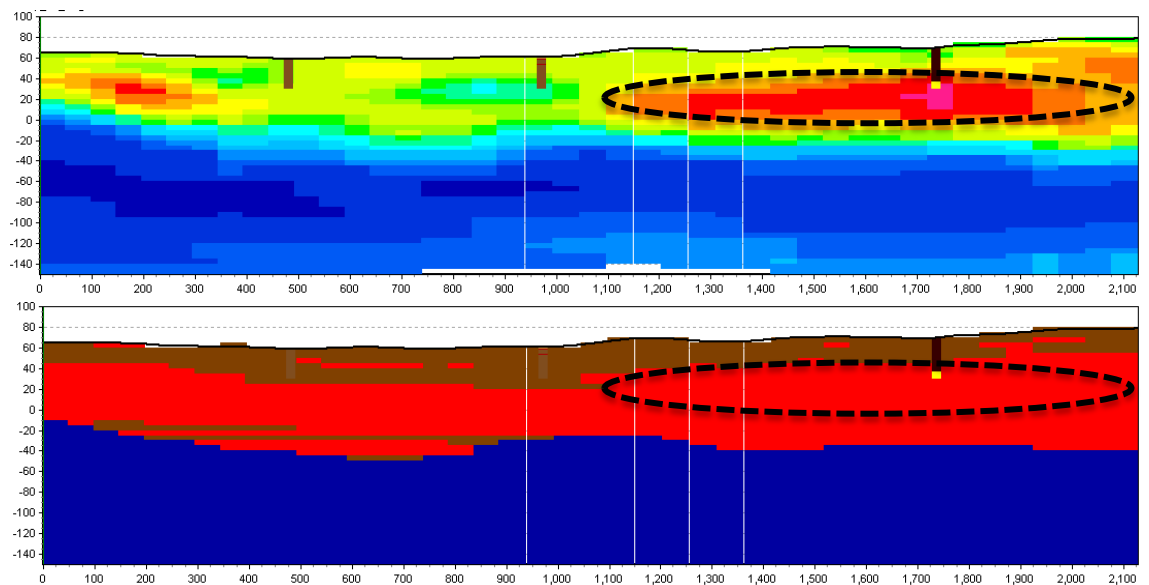
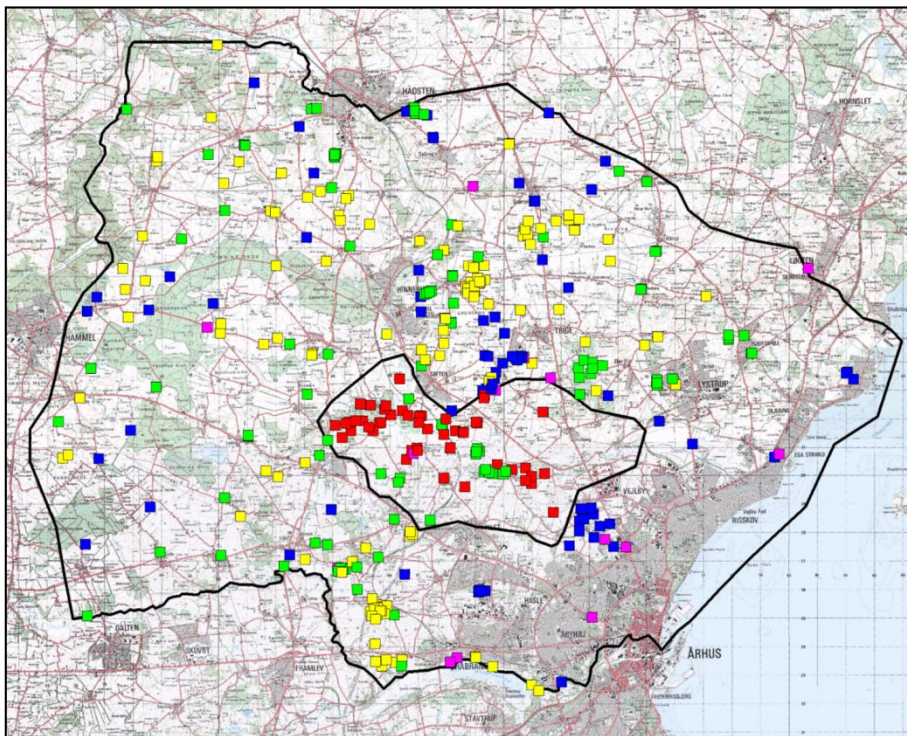


Fig. 36: Længde-profil langs thalweg af Dal 17 vist fra sydvest (venstre) mod nordøst (højre). For legende og beskrivelser, se fig. 22, der viser samme profil. På denne figur er markeret beliggenheden af lokalitet 11. Overhøjning = 2x.

Sammenstilling med hydrologiske resultater fra HyGEM

På baggrund af grundvandsmodellering er der lavet en analyse af muligheder for etablering af nye indvindingsboringer i området omkring Kasted kildeplads og et uddrag af disse beregninger er præsenteret nedenfor.

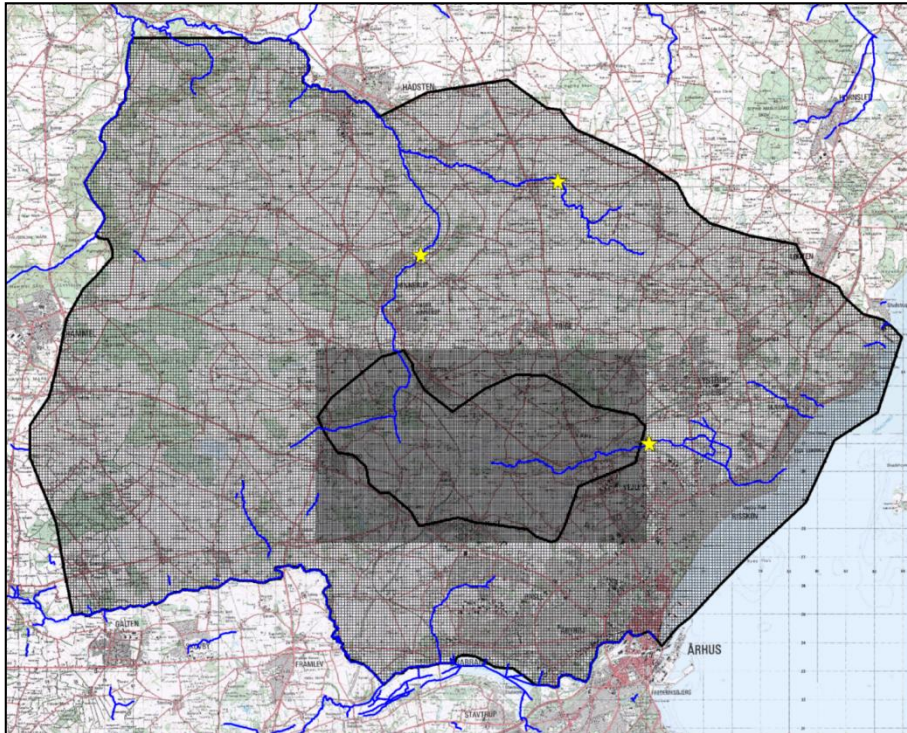
Beregningerne er udført på basis af en grundvandsmodel opstillet i MODFLOW-USG (Panday et al., 2015). For at tage højde for potentielle uensigtsmæssige effekter af randbetingelser, er den hydrologiske model opsat for et større, regionalt område end selve det geologiske modelområde (Fig. 37). I det regionale område er der anvendt en *diskretisering* på 100 x 100 meter, mens der i HyGEM modelområdet er anvendt en *diskretisering* på 50 x 50 meter (Fig. 38). Vertikalt er modellen opbygget af 11 lag med varierende tykkelse. Hydrostratigrafien i grundvandsmodellen er i det regionale område baseret på en cluster-model ud fra principperne beskrevet i Marker et al. (2015) og Foged et al. (2014).



Figur 37: Området for den hydrologiske model. Den ydre afgrænsning definerer det regionale område, mens den indre markerer 'HyGEM modelområdet'. Punkterne angiver hydrologiske observationsdata, der er opdelt i forskellige grupper: De grønne er boringer der pumpes fra, og de røde er boringer indenfor HyGEM modelområdet. De gule og blå er filtersat henholdsvis i og udenfor de kendte, kortlagte begravede dale. De lilla repræsenterer data af så dårlig kvalitet, at de ikke er inddraget i modellen.

Grundvandsmodellen er en stationær model, som er kalibreret med det modelafhængige inversionssoftware PEST (Doherty, 2010). Modellen er kalibreret op imod stationære trykniveauer og baseflow-estimer fra Egåen, Lilleåen og yderligere et tilløb til Lilleåen (Fig. 38).

I HyGEM-modelområdet er der som udgangspunkt benyttet den detaljerede geologiske model, til den initiale udpegning af boringslokalitet, mens usikkerhedsberegningerne er baseret på stokastiske realisationer af strukturerne. Til usikkerhedsanalysen er der udført beregninger på 70 realisationer af modellens struktur. Realisationerne er baseret på k-means clustering af resultaterne fra lerfraktionsanalysen og resistivitetedata baseret på SkyTEM kortlægningen inden for HyGEM-området. Hver af disse 70 modelrealisationer er kalibreret op mod de samme hydrologiske dataset som beskrevet oven for. Resultaterne er derfor primært domineret af de usikkerheder, som er at finde i modellens struktur, og til en mindre grad af usikkerhederne på de estimerede parameterværdier. Usikkerheden på parametrene er kun medtaget i det omfang at forskellige realisationer af modellens struktur resulterer i mindre variationer i de estimerede parametre.

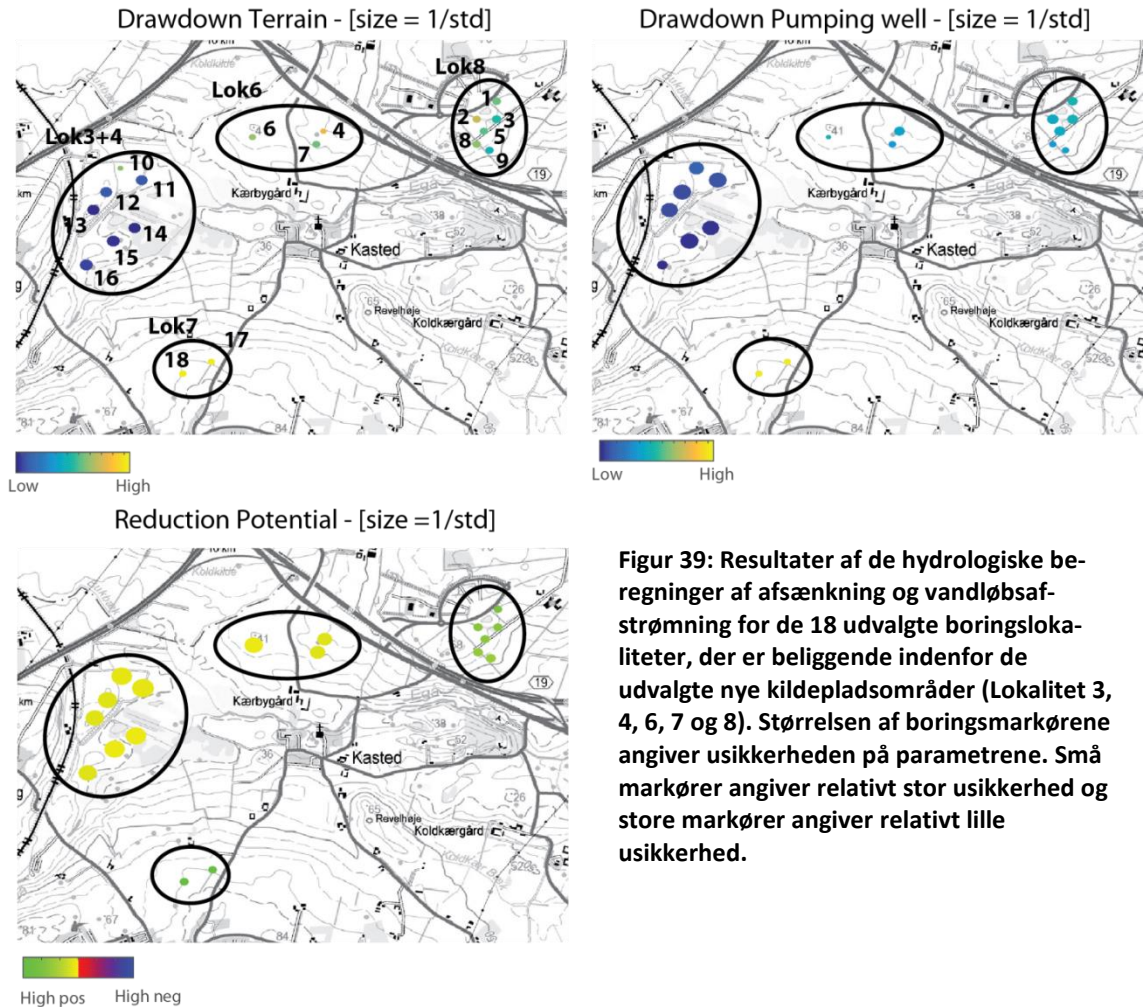


Figur 38: Oversigtskort over vandløbsstationer (markeret med stjerner) vist sammen med grundvandsmodellens horisontale diskretisering

I det følgende er der præsenteret hydrologiske beregninger for de nye mulige kildepladser, der i den geologiske gennemgang blev vurderet at være af størst interesse (Tabel 1 & Fig. 30). Lokalitet 9 blev dog fravalgt grundet lokalitetens korte afstand til Truelsbjerg vandværk. Indenfor de udvalgte mulige kildepladser er der udpeget 18 potentielle boringslokaliteter (Fig. 39). Disse lokaliteter blev valgt ud fra en maksimering af den forventede transmissivitet, potentielle boringsdybde og for at sikre maksimal rummelig fordeling inden for hvert delområde.

Beregningerne er foretaget på baggrund af en reference situation svarende til det nuværende indvindingsbillede. Ud fra reference situationen er der beregnet et trykniveau for området samt en vandbalance for Egåen opstrøms målestationen. For hver boringslokalitet er der efterfølgende regnet på et scenarie, hvor indvindingen på borerne omkring Kasted Mose reduceres med 25 %, og denne indvinding flyttes til de nye mulige boringslokaliteter.

For hver af borerne er der beregnet en resulterende afsækning, samt dertilhørende usikkerhed ved terræn og i boringens filtersatte niveau. Dette er gjort for at vurdere de lokale transmissivetsforhold. Der er desuden beregnet et såkaldt "reduction potential", der svarer til den modellerede ændring af vandføringen i Egåen, hvis indvindingen flyttes. For hver af de 18 lokaliteter er der desuden udført usikkerhedsanalyse af oplandet til hver af borerne.

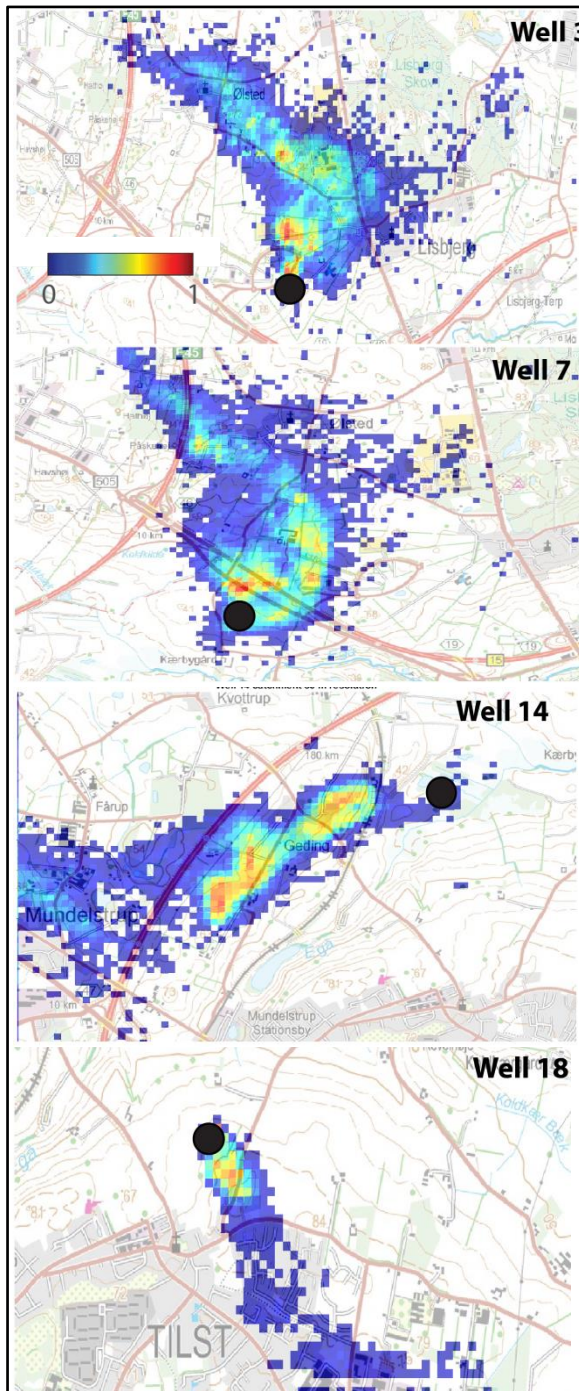


Figur 39: Resultater af de hydrologiske beregninger af afsækning og vandløbsafstrømning for de 18 udvalgte borerlokaliteter, der er beliggende indenfor de udvalgte nye kildepladsområder (Lokalitet 3, 4, 6, 7 og 8). Størrelsen af boreringsmarkørerne angiver usikkerheden på parametrene. Små markører angiver relativt stor usikkerhed og store markører angiver relativt lille usikkerhed.

De hydrologiske beregninger af afsækning og ændring af vandføring i Egåen med dertilhørende usikkerheder er vist på Fig. 39. Boringerne beliggende inden for Lokalitet 3 og 4 er generelt forbundet med den mindste usikkerhed, og de bedste transmissivetsforhold (mindste afsækning). Usikkerheden er lav, da disse borer er beliggende i nærheden af den eksisterende kildeplads, og dermed i et område med relativt god hydrologisk datadækning. På baggrund af simuleringerne af vandløbspåvirkningen, forventes det dog, at flytning af indvinding til disse kildepladser kun vil have en meget begrænset positiv effekt på vandløbsafstrømningen. Resultaterne for borerne placeret inden for Lokalitet 6 vil forventeligt generere en større afsækning, men dette er dog mere usikkert. Indvirkningen på vandbalancen i Egåen, forventes at være den samme som for borerne placeret i Lokalitet 3 og 4. Boringerne beliggende i Lokalitet 7 vil ifølge analysen generere den største afsækning af de analyserede områder, men samtidig have en relativt stor positiv effekt på vandløbsafstrømningen. Boringerne beliggende i Lokalitet

8 er i forhold til den simulerede afsækning sammenlignelige med borerne beliggende i Lokalitet 6, men effekten på vandløbs afstrømningen er bedre.

For hver af de 18 potentielle boringslokalteter er der ydermere udført en beregning af boringsoplandets usikkerhed. Figur 40 viser resultatet for 4 borer, der repræsenterer hver deres lokalitet. Usikkerhedsberegningen er foretaget ved at beregne oplandet for alle strukturelle realisationer, summere disse over et 50 x 50 meter grid og normalisere med antallet af modeller. De største usikkerheder er igen forbundet med områderne med mindst datadækning. Borningsoplandene for Lokalitet 3, 4 og 7 er derfor mere velbestemte end for Lokalitet 6 og 8.



Figur 40: Usikkerhedsanalyse af oplandene for 4 af borerne, der repræsenterer hver sin Lokalitet. (Well 3: Lokalitet 8, well 7: Lokalitet 6, well 14: Lokalitet 3 og 4, well 18: Lokalitet 7). Blå farver repræsenterer områder, hvor få af simuleringerne angiver oplande, mens alle modeller er enige om, at der er oplande i røde områder.

Konklusion

På baggrund af den geologiske model for Kasted (Høyer et al., 2015) er der udpeget nye mulige borelokaliteter i Kasted området. Der blev i denne analyse fokuseret på 11 lokaliteter, hvoraf kun 6 blev vurderet til at være af middel til stor interesse.

Tre af disse lokaliteter (3, 4 og 6) ligger tæt på den nuværende indvinding ved Kasted, og det blev i den geologiske gennemgang noteret, at sandlegemerne var sammenhængende med de magasiner, hvorfra der indvindes vand ved Kasted. I overensstemmelse hermed viste de hydrologiske resultater, at afstrømningen i Egåen ikke forventes at blive markant ændret ved at flytte noget af indvindingen fra den nuværende kildeplads til en af disse lokaliteter.

De to lokaliteter, der ligger længst fra den nuværende indvinding ved Kasted, er Lokalitet 7 og 9. Lokalitet 9 er karakteriseret ved et afgrænset dalfyld, der viser meget høje resistiviteter og er vurderet til at være af stor interesse. Eftersom lokaliteten ligger tæt på Truelsbjerg kildeplads, er den dog ikke inddraget i de hydrologiske beregninger for Kasted kildeplads. For Lokalitet 7 er det meget usikkert, hvor hydraulisk ledende et eventuelt magasin er, eftersom legemet kun viser middelhøje resistiviteter, og der ikke er nogen borer til at underbygge tolkningen. Desuden viser oplandsberegningerne, at oplandet for kildepladsen spreder sig ind under Tilst by, hvilket ikke er hensigtsmæssigt. Det kan således ikke anbefales at flytte indvinding til denne lokalitet.

Lokaliteten, der må vurderes at være af størst interesse er således Lokalitet 8, der er karakteriseret af et relativt stort legeme med høje resistiviteter, der dog ikke er gennemboret. De hydrologiske beregninger for lokaliteten viser, at der er en forventet svag positiv effekt på vandløbsafstrømningen, hvis noget af indvindingen flyttes til denne lokalitet. Eftersom de modellerede afsænkninger inden for området er større end dem, der observeres i området omkring den eksisterende kildeplads, er det dog sandsynligt, at kun en mindre del af den nuværende indvinding kan flyttes til dette område. Oplandsberegningerne for borerne placeret i Lokalitet 8 indikerer desuden relativ stor usikkerhed, hvilket skyldes den begrænsede datadækning.

Referencer

- Doherty, J., 2010. PEST Model-Independent Parameter Estimation User Manual: 5th Edition, pp. pp. 336.
- Foged, N., Marker, P.A., Christiansen, A.V., Bauer-Gottwein, P., Jørgensen, F., Høyer, A.-S. and Auken, E., 2014. Large scale 3D-modeling by integration of resistivity models and borehole data through inversion. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18: 4349-4362.
- Hansen, B., Mossin, L., Ramsay, L., Thorling, L., Ernstsen, V., Jørgensen, J. & Kristensen, M; 2009, Kemisk Grundvandskortlægning, Geo-vejledning 6, særudgivelse. GEUS, København K.
- Heilmann-Clausen, C., 1995, Palæogene aflejringer over Danskekalken. I Aarhus Geokompender nr. 1, " Danmarks Geologi fra Kridt til i dag". Geologisk Institut, Aarhus Universitet.
- Høyer, A.-S., Jørgensen, F., Sandersen, P. B. E., Viezzoli, A. & Møller, I., 2015, 3D geological modelling of a complex buried-valley network delineated from borehole and AEM data, *Journal of Applied Geophysics*, 122, 94-102.
- Jørgensen, F., & Sandersen, P. B. E., 2009, Kortlægning af begravede dale i Danmark: Opdatering 2007-2009
- Jørgensen, F., & Sandersen, P. B. E., 2006, Buried and open tunnel valleys in Denmark – erosion beneath multiple ice sheets, *Quaternary Science Reviews*, 25, 11-12, 1339-1363.
- Marker, P.A., Foged, N., He, X., Christiansen, A.V., Refsgaard, A., Auken, E. and Bauer-Gottwein, P., 2015. Performance evaluation of groundwater model hydrostratigraphy from airborne electromagnetic data and lithological borehole logs. *HESS*, 19: 3875-3890.
- Panday, S., Langevine, C.D., Niswonger, R.G., Ibaraki, M. and Hughes, J.D., 2015. MODFLOW-USG version 1.3.00: An unstructured grid version of MODFLOW for simulating groundwater flow and tightly coupled processes using a control volume finite-difference formulation: U.S. Geological Survey Software Release, 01 December 2015.
- Sandersen, P. B. E. & Jørgensen, F., 2016, Kortlægning af begravede dale i Danmark: GEUS særudgivelse (under udarbejdelse)
- Sandersen, P. B. E & Ramsay, L, 2001, Århus Kommunale Værker – Beskyttelsesplan for grundvandet i Kastedområdet. Delrapport 1: Teknisk grundlag, WaterTech, Aarhus.
- Smed, P., 1981, Landskabskort Midtjylland. Geografforlaget.
- Sørensen, J., Kronborg, C., Bjørslev Nielsen, O., Krohn, C., og Kragelund, A. 2004: Århus Nord, Fase 2. Petrprgrafisk korrelation af 9 borer fra Århus Nord. Afdelingen for Sediment-Geologi, Geologisk Institut, Aarhus Universitet. 28 p.