

Ny geofysisk metode inviterer til detaljeret geologisk kortlægning

Geologisk tolkning af den øvre geologi i Danmark er på grund af den komplekse opbygning ofte en stor udfordring. En udfordring som skal håndteres indenfor kortlægning af jord- og grundvandsforureninger, grundvandsressourcer, råstofressourcer mv. Med det nyudviklede geofysiske instrument tTEM (tow-TEM) er der tilføjet et vigtigt værktøj til fladedækkende kortlægning af de øverste ca. 50 m af den geologiske lagserie, så en mere detaljeret tolkning af geologien er mulig.

ANDERS JUHL KALLESØE, JESPER B. PEDERSEN, PETER SANDERSEN, ANNE SOPHIE HØYER, FLEMMING JØRGENSEN, ANDERS VEST CHRISTIANSEN, ESSEN AUKEN & BIRGITTE HANSEN

Behovet for bedre kortlægning af den overfladenære geologi

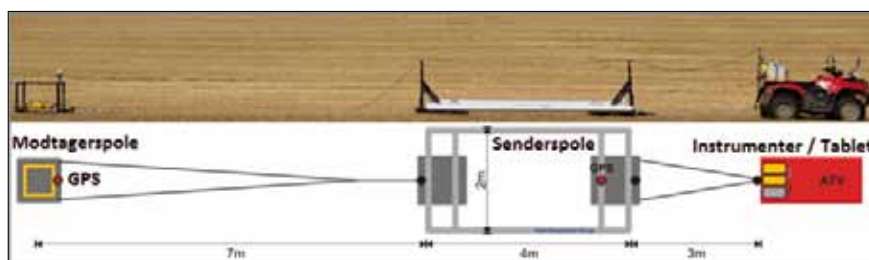
Et solidt kendskab til den overfladenære geologi er ofte en afgørende parameter. Hvad enten det drejer sig om forureningsundersøgelser, råstofindvinding, grundvandsbeskyttelse, grundvandsindvinding eller udfordringer med terrænnært grundvand, så er en detaljeret forståelse af den lokale geologi og hydrogeologi helt central, når der f.eks. skal opstilles hydrologiske modeller med stor detaljeringsgrad og lille usikkerhed. Udfordringen er ofte, om det er muligt at opløse den geologiske variabilitet tilfredsstillende, i henhold til det formål og den problemstilling, som ønskes løst i et givent projekt. I INTERREG-projektet Topsoil (www.topsoil.eu) arbejdes der på at udvikle metoder og arbejds-gange til projektformål, hvor fokus bl.a. er en forbedret kortlægning af de øverste ca. 30-50 meter af jordlagene. Sunds ved Herning er et af de pilotområder i Topsoil-projektet, hvor der er udført en detaljeret geologisk tolkning på grundlag af transient elektromagnetiske

(TEM) data optaget kontinuert ved at trække systemet efter en ATV (towTEM eller blot tTEM). Ligeledes er der i Innovationsfondens forskningsprojekt rOPEN (<http://hgg.au.dk/projects/ropen/>) udført tTEM-kortlægninger i to pilotområder. Bl.a. er der udført en tTEM-kortlægning i et område ved Javngyde 30 km vest for Aarhus. Her er formålet at indsamle detaljeret viden til N-retentionskortlægning af markerne i forhold til beskyttelse af overfladevand.

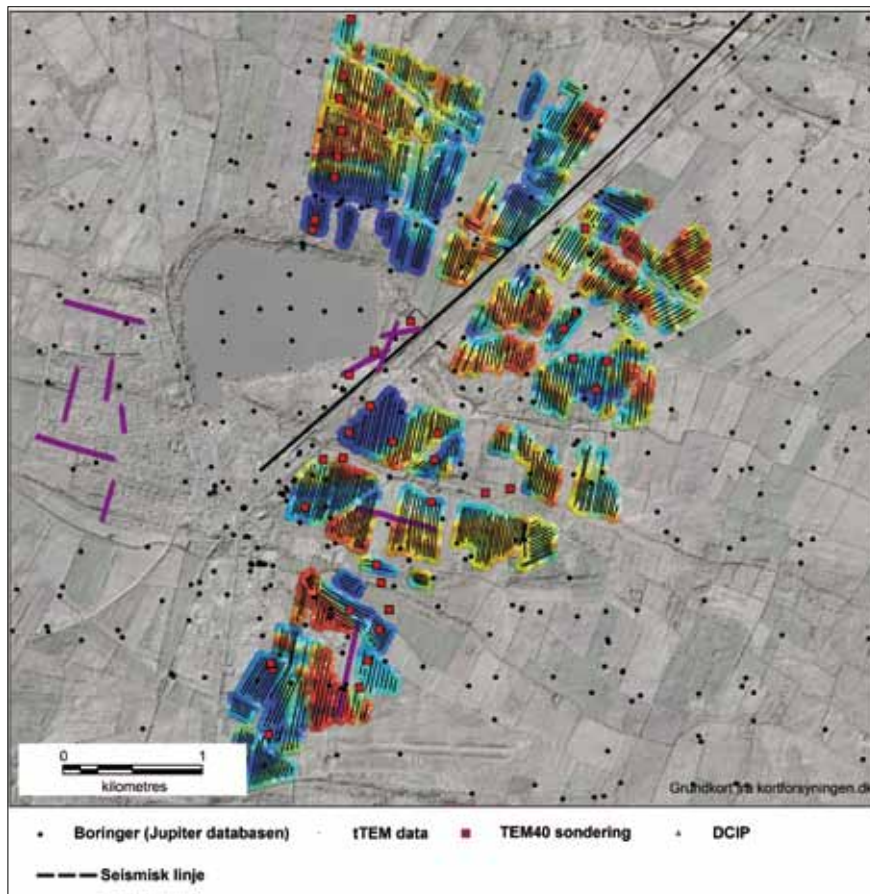
tTEM systemet

tTEM er en transient elektromagnetisk metode ligesom SkyTEM metoden. Systemet er udviklet med henblik på en tre-dimensionel geologisk kortlægning af de øverste 30-70 meter af jorden /1, 2/. TTEM systemet består af to slæder, der trækkes af en ATV (All-Terrain Vehicle) (Figur 1). Alle instrumenterne er monteret bagerst på ATV'en og forrest er der fastgjort en tablet, så man i real-tid kan se hvor,

og hvad man måler. Den forreste slæde bærer en 2x4 meter senderspole, som genererer en kraftig strøm, og derved dannes et kraftigt primært magnetfelt. Når strømmen slukkes abrupt i spolen, vil det primære magnetfelt aftage, hvormed der dannes elektriske hvirvelstrømme i jorden. Disse skaber et sekundært magnetfelt, der langsomt vil henfalde. Henfaldsraten af det sekundære magnetfelt måles i en modtager-spole, som er fastspændt til den anden slæde bag ATV'en. Ud fra henfaldsraten kan man beregne den specifikke elektriske modstand (resistiviteten) af lagene i jorden, da henfaldet af det sekundære magnetiske felt afhænger af modstanden, som igen afhænger af de geologiske lag i undergrunden. F.eks. er ler-aflejringer kendetegnet ved at have en lav resistivitet, og der vil derfor være et langvarigt respons fra disse jordlag, hvorimod der for sand- eller gruslag, som har en høj resistivitet, vil være et kortvarigt respons, idet magnetfeltet hurtigt dør ud. Alle de geofysiske målinger



Figur 1: TTEM systemets opbygning.



Figur 2: Udført geofysik og tilgængelige boringsdata ved Sunds. Med blå og røde farver ses et geofysisk middelmodstandskort for koteintervallet +10 m baseret på tTEM modellerne. Røde farver angiver høje resistiviteter og indikerer sand. Blålige farver viser lave resistiviteter, som i dette tilfælde repræsenterer lerede sediment. Ved den geologiske tolkning er der arbejdet med modstandsintervaller på 1 m vertikalt

bliver georefereret ved hjælp af en GPS som er fastmonteret på senderspolen.

Der kortlægges typisk ved hastigheder på 3-5 meter per sekund, og med dette setup kan man typisk opmåle 60-120 hektar per dag ved en linjetæthed på 10-25 meter. Metoden har et meget lille følsomhedsvolumen, eller footprint, hvilket giver en lateral opløselighed helt ned på 3-10 meter, hvormed der kan kortlægges tre-dimensionele strukturer på mark-skala. Metodens lille footprint giver endvidere den fordel, at man kan komme betydeligt tættere på støjklude såsom højspændingsledninger, elektriske kabler og andre menneskeskabte installationer, som normalt forstyrrer elektromagnetiske målinger.

Geofysisk kortlægning ved Sunds

Ved Sunds nord for Herning er der udover en tTEM kortlægning bl.a. også udført målinger med metoderne DCIP (Direct Current resistivity Induced Polarization) /3/ og TEM40. De forskellige datatyper inkl. boringsinformation er blevet sammenstillet og sammentolket i den opstillede 3D geologiske model for området. DCIP-data har været mulig at indsamle

langs stisystemerne i Sunds by, mens tTEM data er indsamlet i en passende afstand fra menneskeskabte installationer for at undgå støjpåvirkede data. TTEM-kortlægningen er udført på et samlet areal på ca. 600 ha, der er sammenstykket af flere kortlægningsblokke. På figur 2 ses de udførte geofysiske målinger, en eksisterende seismisk linje og fordelingen af boringsdata.

3D Geologisk tolkning ved Sunds

De viste datasæt i Figur 2 har dannet grundlag for tolkningen af den geologiske opbygning af Kvartæret og Miocænet i Sunds-området. Terrænkoten i området ligger omkring 40-50 m. De øverste 10-20 m under terræn udgøres overvejende af smeltevandssand aflejret i Sen Weichsel, da iskappen lå mod øst ved Hovedopholdslinjen for ca. 20.000 år siden /4/. Under dette hedeslette-sand viser tTEM-data en god elektrisk leder (resistiviteter på 10-30 Ω m), hvilket er tolket til at repræsentere det marine Gram ler og Hodde ler fra Mellem-Øvre Miocæn (der tilsammen benævnes Måde Gruppen). TTEM-data viser, at aflejringerne har et uroligt forløb inden for koteintervallet

ca. +35 til -10 m, hvilket antyder, at lagene efter aflejring er blevet deformeret ved et eller flere hændelsesforløb. Tilstedeværelsen af Måde Gruppen i området, samt det bølgende forløb af aflejringerne er beskrevet nærmere i et studie fra brunkulsgravene syd for Herning /5/. Det vurderes, at deformationen hovedsageligt skyldes glacial deformation under Saale-istiden eller tidligere, samt eventuel tektonisk aktivitet i form af sideværtsforkastninger /5/.

I figur 3 ses et middelmodstandskort for tTEM (kote 26 m). Her er skitseret med pile, at deformationerne af Måde Gruppen indikerer et istryk fra nord og nordøst. Ud fra tTEM-data, seismik og boringer er der kortlagt en kvartær begravet dal, dannet under Saale-istiden eller tidligere, som gennemskærer Måde Gruppens aflejringer. Dalen har en nord-syd orientering og er udfyldt med smeltevands-sand og -grus.

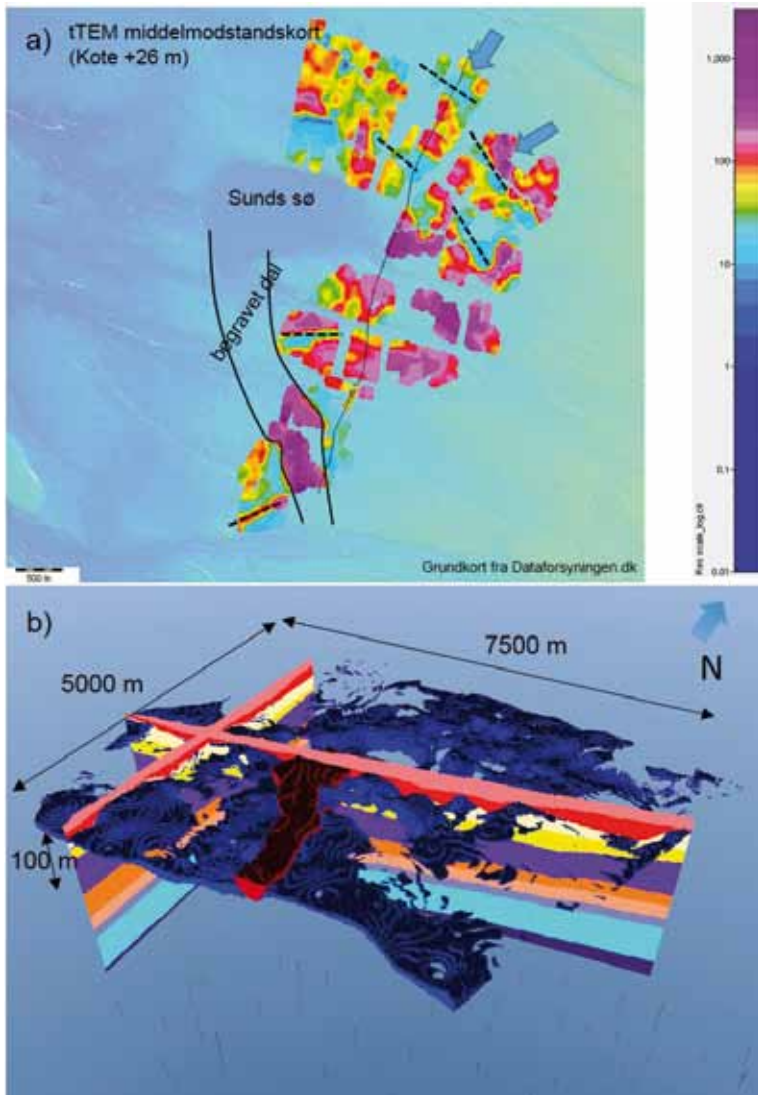
I figur 4 er vist et tolket og tolket tværnsnitprofil, der forløber fra syd til nord gennem det tTEM-kortlagte område. Det ses, at modstandskontrasterne i geofysikken tydeligt opløser toppen af Måde Gruppen. De abrupte skift i lithologi og koteniveauer indenfor korte afstande giver dog udfordringer ift. den geologiske tolkning på tværs af markblokkene kortlagt med tTEM. Bunden af Måde Gruppen er mere diffus i data og vanskeligere at tolke geologisk, da niveauet for bunden af leret flere steder er beliggende omkring tTEM-sonderingernes maksimale indtrængningsdybde. Det nederste profil på figur 4 viser den tolkede 3D geologiske model som baggrund. Modellen er en voxelmodel opbygget af "litologiske kasser" med xyz dimensionerne 25x25x2 m.

TTEM kortlægning og geologisk tolkning ved Javngyde

Den geologiske ramme i de østjyske morænelandskaber er en anden end ved Sunds på den midtjyske hedeslette. Mens den ældre glacial deformation af Måde Gruppens ler ved Sunds er blevet dækket af sandede smeltevandssedimenter i den sidste del af Weichsel-istiden, så viser det østjyske morænelandskab glacial processer fra Weichsel helt til terrænniveau. Det er derfor interessant at få indsigt i, hvilke detaljer tTEM potentielt kan opløse i et morænelandskab, hvor de rette modstandskontraster er til stede.

På Figur 5 ses kortlægningsområdet ved Javngyde med tTEM-middelmodstandsdata i koteniveauet +60 m, samt to vest-øst orienterede tværprofiler (profil A og B).

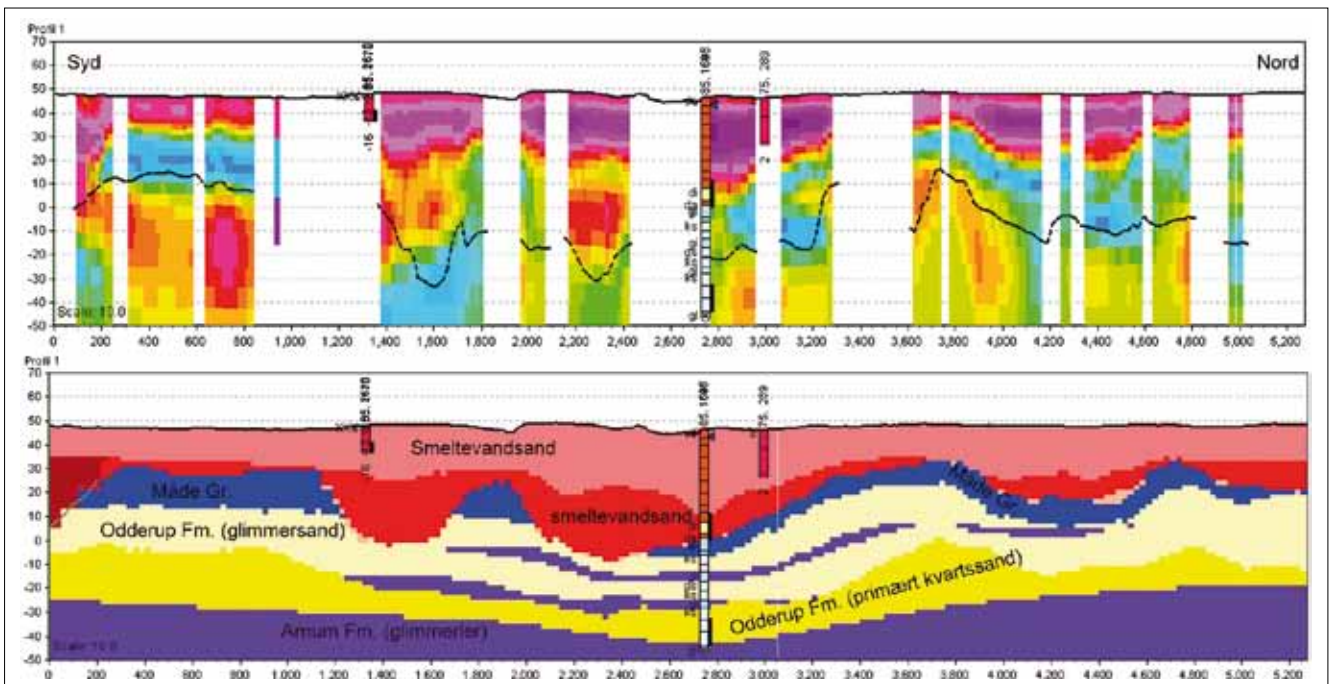
Det ses på profil A og B, at tTEM data afspejler en meget heterogen geologi. Ved tolkningen af de geofysiske modeller er det muligt at korrelere to af de glacialtektoniske



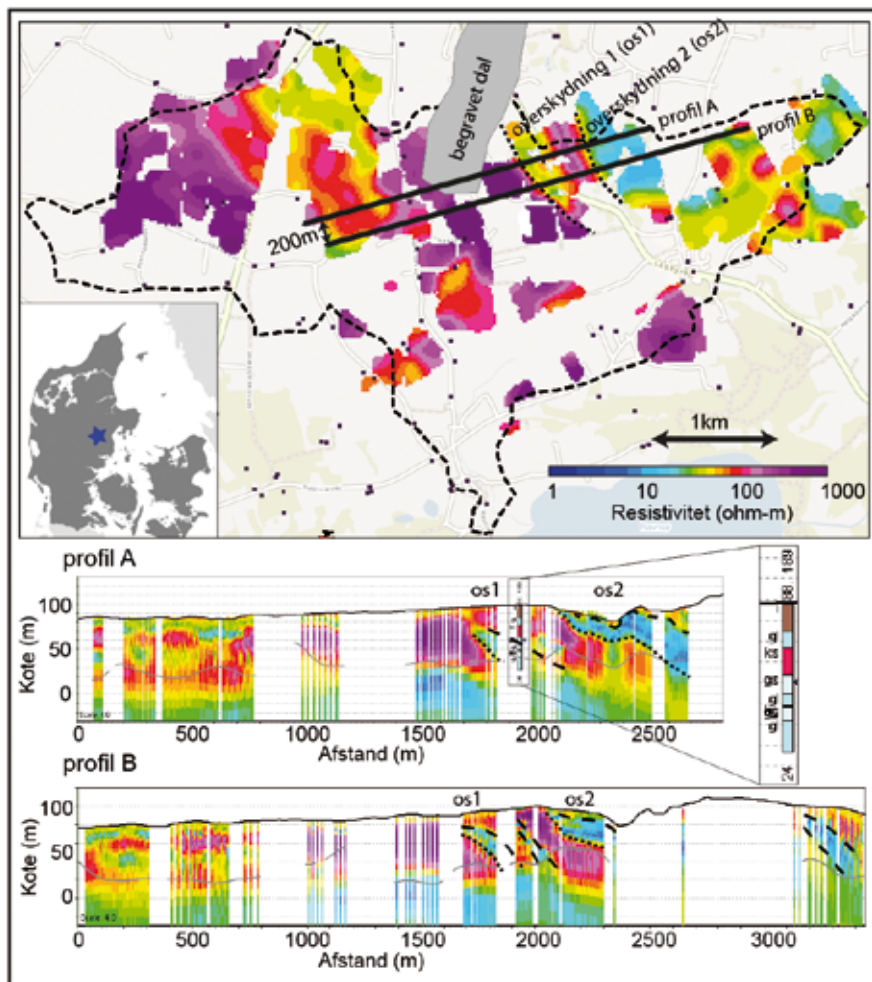
Figur 3: Sunds:
 a) Geofysisk middelmødsstandskort for tTEM data ved kote 26 m baseret på et 3D grid med en gridcellestørrelse på 10x10x1 m. Der er tolket en nord-syd orienteret kvartær begravede dal baseret på borer, seismik og tTEM-data. Ligeledes er markeret strukturer i data, der indikerer deformation af et istryk fra nord/nordøst (sorte stiplede linjer). De optegnede pile viser retning af formodet istryk. Den optegnede syd-nord gående profilinje er vist i figur 4.
 b) 3D visning af det tolkede ler i Måde Gruppen (blå) og den begravede dal (rød) i den geologiske model ved Sunds. Leret i Måde Gruppen er tolket til at variere i tykkelser fra 0-25 m inden for koteintervallet +35 m til -10 m.

overskydninger (OS1 og OS2) mellem profilerne. Tolkningen understøttes af borerne fremhævet på profil A, der viser Miocæne aflejringer tæt ved terrænet. De lave resistivitet indikerer glacialt opskudte og skråtstillede miocæne og palæogene ler-aflejringer forårsaget af gletscherfremstød fra en øst/nordøstlig retning.

Dimensionerne af de glaciære overskydninger er i dette tilfælde mere end 1000 m i bredden (nordvest-sydøst), og de opskudte flager af ler har en vertikal udstrækning på op til 40 m. Tykkelserne af overskydningerne er i tTEM-data tolket fra under 5 m til 20 m, og eksempelvis OS2 kan i data følges helt op til terrænniveau. Dette åbner for nye muligheder for at vurdere sårbarhed og grundvandsbeskyttelse på lille skala.



Figur 4: Sunds: Øverst er vist et syd-nord orienteret profil med et 3D grid for tTEM-data (diskretisering af 3D grid: 10x10x1 m). Profillets forløb og legende for de geofysiske middelmødsstande er vist på figur 3a). Med sort stiplede linje er vist DOI (Depth Of Investigation), hvorunder de geofysiske modeller er baseret på få data, og derfor er mere usikre. Nederst ses samme tværsnit, hvor den tolkede 3D geologiske voxel model er vist som baggrund. De tolkede geologiske enheder er markeret med labels.



Figur 5: Kortlægningsområde ved Javngyde vest for Aarhus visende tTEM-middelmålinger for kote +60 m og forløbet af de to tværprofiler, profil (A) og profil (B). Der er optegnet to tolkede glacialtektoniske overskydninger, som er markeret på både oversigtskort og tværprofiler. Profilerne er vist med tTEM-modeller og borer i en buffer på 50 m fra profilinjen. Med grå linje er vist DOI (Depth of Investigation).

Muligheden for geologisk at tolke disse strukturer med stor detalje giver også en vigtig forståelse af områdets dannelse. Det beskrevne eksempel med strukturer, der når helt til terræn gør også digitale højdemodeller potentielt kan anvendes endnu mere indgående i tolkningen af den øvre geologi. Hermed vil det være muligt at få en bedre forståelse af interaktionen mellem grundvand og overfladevand.

Konklusion og perspektiver

Erfaringerne med geologisk tolkning af tTEM-data er endnu begrænsede, men de foreløbige resultater viser at:

- TTEM-data kan kortlægge detaljer i geologien, da dataindsamling med tætte datapunkter giver en opløselighed af objekter på 3-10 meter. Herved kan der potentielt kortlægges tredimensionelle strukturer på markblok-skala, såfremt de rette resistiv-

tetskontraster er tilstede.

- Det er væsentligt at have en god geologisk forståelse som ramme for tolkningen af tTEM-data. Uden en sådan kan vigtige elementer i de geofysiske datasæt potentielt blive overset og dermed gå tabt. Ligeledes vil det være nødvendigt med geologisk tolkning i "datatomme" områder mellem de tTEM kortlagte arealer, da udstyret er begrænset af arealtilgængeligheden i det givne kortlægningsområde. TTEM udstyret kræver tilgængelige åbne arealer, hvilket vanskeliggør dataindsamling i f.eks. skovområder.
- Sammentolkning af digitale højdemodeller og tTEM-data vil potentielt kunne bidrage til en bedre forståelse af landskabselementerne og disses dannelse.
- Det har vist sig muligt at opløse glacialtektoniske overskydninger af lerede sedimenter i tTEM-data.

- TTEM kortlægningen ved Sunds har bidraget til detaljeret geologisk tolkning af deformeret ler under hedeslettesandet. Ligeledes viser data meget abrupte skift i lithologi, såsom overgangen til en kvartær begravet dal lokaliseret under den sydlige del af Sunds by.

Flere kortlægninger med tTEM-systemet vil bidrage til øget geologisk forståelse af den overfladenære geologi og dens kompleksitet. Det vil samtidig potentielt give grundlag for mere geologisk detailtolkning i det åbne land på en skala, som er interessant for sårbarheds-kortlægning af grundvand, N-retentionskortlægning i forhold til beskyttelse af overfladevand, pesticidkortlægning af punktkilder, kildepladsvurderinger og råstoftkortlægninger mv.

Referencer

- 1/ Christiansen A.V, Auken E., Pedersen J.B., Madsen L. M., "Comparing a new towed TEM system to geophysical and geological data", EEGS Annual Meeting Nashville, Tennessee, USA, 2018
- 2/ Auken E., Christiansen A. V. Pedersen J.B., Eiskjær T., "A towed groundbased TEM system for 3D imaging of the top 70 meter of the subsurface", EEGS Annual Meeting, Nashville, Tennessee, USA, 2018
- 3/ Gazoty A., Fiandaca G., Pedersen J., Auken E., Christiansen A. V. og Pedersen J. K., 2012, "Application of time domain induced polarization to the mapping of lithotypes in a landfill site", Hydrol. Earth Syst. Sci., 16(6), 1793–1804, doi:10.5194/hess-16-1793-2012, 2012.
- 4/ Houmark-Nielsen M., Krüger J., Kjær K.H., 2005; "De seneste 150.000 år i Danmark", Geovidens, nr. 2, 2005.
- 5/ Koch E., 1989; "Geology of the Søby-Fasterholt area", DGU serie A nr. 22, 1989.

ANDERS JUHL KALLESØE, De nationale geologiske undersøgelser for Danmark og Grønland

JESPER BJERGSTED PEDERSEN, Institut for Geoscience, Aarhus Universitet

PETER SANDERSEN, De nationale geologiske undersøgelser for Danmark og Grønland

ANNE SOPHIE HØYER, De nationale geologiske undersøgelser for Danmark og Grønland

ANDERS VEST CHRISTIANSEN, Institut for Geoscience, Aarhus Universitet

FLEMMING JØRGENSEN, De nationale geologiske undersøgelser for Danmark og Grønland

ESBEN AUKEN, Institut for Geoscience, Aarhus Universitet

BIRGITTE HANSEN, De nationale geologiske undersøgelser for Danmark og Grønland