DCIP målinger i tørre grusformationer

Undersøgelser af sammenhæng mellem DCIP model parametre og sigteanalyser fra boringer, fra råstofkortlægning omkring Stenlille

Arne Bargheer, Tarje Bargheer

Bargheer Geophysics

Ryomgård Januar 2018

i

Resume

Denne rapport beskriver databehandling af geoelektriske data indsamlet omkring Stenlille i 2016 af Rambøll. Fokus er på en beskrivelse af DCIP data med henblik på at bestemme om det er muligt at finde en sammenhæng mellem kornstørrelser af grus og geoelektriske parametre hentet fra DCIP data, og dermed forbedre på hvad der kan opnås blot fra de geoelektriske DC data. Med de forelagte data, samt en nærmere analyse af vandspejlets position, vises det at det er muligt at finde en sammenhæng mellem DCIP-parameteren phimax og kornstørrelsesmålinger indsamlet fra boreprøver.

Forord

Nærværende rapport er udfærdiget af Bargheer Geophysics i perioden november 2017 til januar 2018 for Region Sjælland hvor projektleder har været Bettina Marlene Olsen.

Rapporten omhandler data indsamlet i 2016 ved Stenlille af Rambøll for Region Sjælland i forbindelse med kortlægning af grusforekomster. Boringer er foretaget af Jysk Geoteknik og sigteanalyser er foretaget af Rambøll.

Den primære forfatter til rapporten er Arne Bargheer. Tarje Bargheer har lavet kvalitetssikring og en mængde dataarbejde for rapporten.

Arne Bargheer, Bargheer Geophysics 05.01.2018 www.subsoilsurvey.com

Table of Contents

Resume	ii
Forord	iii
 Indledning 1.1 Formål 1.2 CVES metoden 1.3 Fra DC MEP til DCIP data 1.4 Sigteanalyser 1.5 Sammenligning af data 1.6 Datasættet 	1 1 2 2 3 3
 2 Sammenstilling af DCIP parametre og sigteanalyser 2.1 Alle 27 prøver 2.2 De 15 tørre prøver 	4 4 5
3 Diskussion	9
3.1 Usikkerheder	9
3.1.1 Jordens vand og ion-indnoid og mineralogi 3.1.2 Afstande imellem boringer og geoelektrisk profil	9
3.1.3 Blandeprøver	10
3.1.4 Måleforhold under indsamling af DCIP data	10
3.2 Betragtninger om den fysiske årsag til de fundne tendenser	10
3.3 Anbefalinger	10
4 Konklusion	12
Referencer	13
Bilag 1: DCIP profil linjer	14
Bilag 2: Oversigtskort	23
Bilag 3: Borings og prøve placeringer på profiler	25

1 Indledning

1.1 Formål

Formålet med nærværende rapport er undersøge hvordan IP effekter i grusforekomster over vandspejl hænger sammen med kornstørrelsesanalyser fra boreprøver taget nær de geoelektriske profillinjer.

1.2 CVES metoden

I dette afsnit laves en kort meget kursorisk beskrivelse af CVES metoden, den er på ingen måde fyldestgørende.

Geoelektriske målinger består af målinger på et sæt af 4 spyd der er sat i jorden, disse 4 spyd benævnes i det følgende A, B, M og N. Imellem de to spyd, A og B sendes strøm, imellem de to spyd M og N måles potentiale.

Traditionelt set har man målt den sendte strøm imellem A og B som en værdi i ampere og potentialeforskellen imellem M og N som en værdi i volt. Ud fra dette kan man ved hjælp af ohms lov beregne en specifik modstand. For en måling med et spydsæt kan man give en specifik modstand og vil kunne sige hvad jorden i fald den var et homogent halvrum ville have af modstand.

Når man laver CVES (Continued Vertical Electrical Soundoing) målinger (også kaldet MEP eller ERT,) sætter man en hel række spyd på en række og bruger disse til at lave en hel række 4 spyds målinger.

Beskrivelsen med en måling af en potentialeforskel og en ampere måling, for et 4 spydsæt er det man traditionelt har brugt til at lave MEP i mange år, såkaldte DC målinger (Direct Current). Undergrunden er dog mere kompleks og fungerer ikke som en perfekt modstand. Der foregår mange effekter når man påtrykker jorden en potentialeforskel mellem spyddene A og B. Imellem M og N vil man ikke måle et konstant potentiale, men derimod en spænding der har en variation over tid og som så vil stabilisere sig. Beskrivelsen af disse effekter går under navnet Induced Polarisation, IPeffekter.

En matematisk model der har vist sig at kunnet beskrive de IP-effekter der observeres i et tidsinterval på M og N, hvor strømmen tændes og løber imellem A og B (eller efter at en strøm er slukket) er en såkaldt Cole-Cole model.

I denne rapport bruges en parametrisering af Cole-Cole modellen hvor undergrunden beskrives med de 4 følgende IP-parametre, rho, phimax, taumax og C, den såkaldte MPA model (maximum phase angle). [Madsen, 2017]

Der foretages en såkaldt inversion af de indsamlede data hvor man laver en baglæns matematisk beregning hvor en 2D model af undergrunden findes der tilpasser data bedst muligt. Data er inverteret med AarhusInv og MatLab scripts der primært er udviklet af Gianluca Fiandaca fra HGG på Aarhus universitet.

Der er en god teoretisk beskrivelse af sammenhængen imellem IP parametre og kornstørrelser, porerum og ion indhold i jorden når jorden er væskemættet. Disse har også vist sig at passe fra feltmålinger [Bargheer, 2016].

Der er dog for så vidt vides ikke lavet en lignende beskrivelse af hvad der foregår over vandspejl hvor jorden ikke er væskemættet og der kun er det bundne vand til stede. I denne rapport undersøges ud fra DCIP målinger og kornstørrelsesanalyser om en sammenhæng kan findes imellem kornstørrelsesanalyser og IP parametre.

1.3 Fra DC MEP til DCIP data

Den geoelektriske kortlægning som I 2016 blev lavet for Region Sjælland er lavet omkring Stenlille er en traditionel MEP kortlægning hvor der er målt den elektriske resisitivitet, rho, og der er ikke målt nogen IP parametre.

Der blev dog, selvom der i første omgang kun blev målt DC data, samlet såkaldte full waveform data ved hjælp af et ABEM LS Terrameter, hvor der laves en sampling af både den målte strøm og det målte potentiale men den høj frekvens (1000Hz eller højere). Det er ud fra disse full waveform data at der er blevet trukket IP henfald [Olsson, 2015] som så er blevet inverteret med igen sådan at der i stedet for kun at være en geoelektrisk parameter, rho, er 4 parametre for hver modelcelle, rho, phimax, taumax og C.

1.4 Sigteanalyser

Sigteanalyser af prøver fra boringer foregår ved at en prøven rystes igennem en række sier af forskellige størrelser. Det materiale der ikke passerer igennem en given si vejes og man får på den måde et mål for indholdet af forskellige diametre af materiale i prøven.

De sigteanalyser der bruges i denne rapport er foretaget af Rambøll. De fleste af prøverne er såkaldte samleprøver hvor man tager en række forskellige prøver fra forskellig dybde og blander dem og derefter laver en sigteanalyse på de blandede prøver. Således er sigteanalysen et udtryk for en gennemsnitlig kornstørrelsesanalyse over et dybdeinterval i en boring.





Figur 1: Eksempel på en sigteanalyse udført af Rambøll fra Stenlille projektet.

Der bruges i denne rapport fremadrettet 2 værdier fra sigteanalysen, middelkornstørrelsen og Uværdien som er et udtryk for hvor stor variation der er kornstørrelser i prøven. Værdien er beregnet som d60/d10 hvor d10 og d60 er diameteren for hvilken henholdsvis 10% og 60% af kornene i vægt vil falde igennem en si med denne diater. I eksemplet i Figur 1 er det således ca 6mm/0.4mm hvilket giver 15. Desto højere U-værdi desto større spredning af kornstørrelser i prøven.

Middelkornstørrelsen er kornstørrelsen hvor 50% af prøvens vægt vil falde igenenm en si med denne diameter. Desto større middelkornstørrelse en prøve har desto mere gruset/stenet vil den være.

1.5 Sammenligning af data

For hver CVES modellinje findes de boringer der ligger nær CVES profilet, generelt ligger boringer inden for nogle få meter fra profilet, dog er boringer med op til 32m afstand til profilet medtaget. I de boringer hvor der findes sigteanalyser trækkes fra CVES modellen gennemsnitsværdier i en horisontal søjle med kortest mulig ahorisontal fstand imellem CVES profil og boring i samme dybdeinterval som sigteanalysen dækker. Det er disse data fra boring og CVES profil der danner baggrund for de følgende plots i denne rapport.

1.6 Datasættet

Til denne rapport er 9 DCIP profiler indraget, der er udvalgt de profiler hvor der ligger boringer med så mange sigteanalyser som muligt.

Der er indraget 14 boringer der ligger nær de 8 DCIP profiler.

I disse 14 boringer er der 27 sigteanalyser tilgængelige.

2 Sammenstilling af DCIP parametre og sigteanalyser

2.1 Alle 27 prøver

De 27 prøver der eksisterer langt DCIP linjerne har fået udtrukket geoelektriske modelparametre, resultatet ses i de to figurer i dette afsnit



Figur 2: 2D plot for alle prøver over de enkelte sigteprøvers middel kornstørrelse og U-faktor, farverne angiver den geoelektriske specifikke modstand, rho. Mørke farver er lav resistivet og lyse farver er høj resisitivet

I figur 2 ses den specifikke modstand som funktion af parametre udtrukket fra kornstørrelsesanalysen. Der ses her ikke noget tydeligt mønster eller sammenhæng, dog er alle modstande høje hvor de laveste har en specifik modstand lige under 100 ohmm, hvilket også er forventeligt da boreprøver generelt er udtaget til sigteanalyse når der er forventetet potentiale for råstofudvinding. Fra figuren kan ikke konkluderes andet end det allerede kendte faktum at sand og grus har høj specifik modstand og grus generelt ofte har højere specifik modstand end sand.

4



Figur 3: 2D plot over de enkelte sigteprøvers middel kornstørrelse og spredningen af kornstørrelser i prøven, den såkaldte U-faktor, farverne angiver den geoelektriske chargeabilitet, phimax. Mørke farver er lav chargeabilitet og lyse farver er høj chargeabilitet

I figur 3 ses chargeabiliteten, phimax, som funktion af parametre udtrukket fra kornstørrelsesanalysen. Der er ikke en tydelig korrelation at se her, men dog synes der at være en antydning af en tendens imod at store kornstørrelser medfører en høj chargeabilitet.

2.2 De 15 tørre prøver

I forbindelse med udførslen af råstofboringerne er der ikke foretaget nogen bestemmelse af vandspejl i boringerne, efter nærmere undersøgelse af de originale håndskrevne borerapporter kan det dog konkluderes at en antagelse om at alle prøver har været tørre ikke holder.

Der er derfor foretaget en gennemgang af de håndskrevne originale borerapporter. Sigteprøver fra intervaller dybere end den første prøve som er beskrevet som våd er frasorteret. Dette efterlader 15 sigteprøver som med større sikkerhed kan forventes at være over vandspejl, herunder både primært og eventuelle sekundære vandspejl, 12 prøver er således frasorteret.

Dette giver følgende resultater

5



Figur 4: 2D plot for alle tørre prøver over de enkelte sigteprøvers middel kornstørrelse og U-faktor, farverne angiver den geoelektriske specifikke modstand, rho. Mørke farver er lav resistivet og lyse farver er høj resisitivet

Sammenlignes figur 4 med figur 2 ses lidt overraskende ikke den store tendens i hvilke "ikke tørre" prøver der er fjernet . Umiddelbart ville det være forventeligt at det var de lavere modstande der udgik på denne konto, det virker til at der i hvert fald for de her behandlede prøver ikke er den helt store korrelation at finde med modstanden ud over den allerede kendte egenskab at høj resistivitet indikerer sand eller grusforekomster, hvilket også er den egenskab der har dannet grundlag for at man har brugt MEP metoden omkring Stenlille tilbage i 2016. Her resisitivitetsmodeller i princicppet har dannet grundlag for udpegning af områder med potentielt interessante råstofområder hvor der så er blevet placeret boringer.

For små middelkornstørrelser og lav U-værdi i nederste venstre hjørne af figuren ses dog en fin tendens som forventet.



Figur 5: 2D plot over de enkelte tørre sigteprøvers middel kornstørrelse og spredningen af kornstørrelser i prøven, den såkaldte U-faktor, farverne angiver den geoelektriske chargeabilitet, phimax. Mørke farver er lav chargeabilitet og lyse farver er høj chargeabilitet

I figur 5 ses en tendens til at de tørre prøver med stor middel kornstørrelse har højere chargeabilitets værdier.

For værdier med lav U-faktor ses en klar tendens. De to punkter med høj U og middel kornstørrelse omkring 1 kunne tænkes at være forårsaget af højere lerindhold som har for lille kornstørrelse til at kunne måles i de foretagne sigteanalyser hvor den mindste si har en hul-diameter på 0.063mm.

7



Figur 6: De samme data som i figur 5 blot med interpolation.

En interpoleret version af figur 5 som vist i figur 6 fremhæver den fundne tendens med højere chargeabilitet for større kornstørrelser endnu mere klart end når man kun har punktmålingerne at vurdere ud fra.

Der er blevet kigget på taumax parameteren også for at se om det var muligt at finde nogen korrelation fra denne med sigteanalyserne. Det har ikke været muligt at finde nogen sammenhæng, hvilket heller ikke var forventet taget i betragtning blandt andet effekten af den begrænsede udsendte strøm og måleindstillingerne, dette diskuteres nærmere i afsnit 3.1.4.

3 Diskussion

3.1 Usikkerheder

Der er en række usikkerheder der bør tages i betragtning i forbindelse med dette projekt, de vigtigste af disse er nævnt i dette afsnit.

3.1.1 Jordens vand og ion-indhold og mineralogi

Den største usikkerhed i forbindelse med dette projekt er faktorer som har stor påvirkning af de geoelektriske parametre, men som der ikke er taget højde for når data blot holdes op imod sigteanalyser. Alt andet lige antages det, når der forsøges at finde en sammenhæng alene med kornstørrelsesforhold, at andre parametre som påvirker de geoelektriske er ens. Denne antagelse er som udgangspunkt forkert så snart man bevæger sig fra laboratoriet og ud i "den geologiske virkelighed".

Som beskrevet i afsnit 2.2 er der forsøgt at tage hensyn til at nogle prøver er våde, men hvornår en prøve bliver vurderet som våd og tør er blot vurderinger af hvor på en glidende profil af vandindhold en given prøve befinder sig. De overfladenære boreprøver og geoelektriske målinger er ydermere påvirket af meterologiske, landbrugs og vækstmæssige forhold under målearbejdet der har strukket sig over en måneds tid i august-september måned.

Mange faktorer kan gøre at der for to ellers ens geologiske prøver er et forskelligt indhold af ioner, dette har direkte indflydelse på de geoelektriske målinger og er også en del af grunden til at DCIP målinger har en stadig stigende anvendelse til forureningskortlægning. I forhold til dette projekt er det dog at betragte som en usikkerhed.

Målinger af IP henfaldet er helt oprindeligt først udviklet til mineralefterforskning. Forskellige mineraler, især dem der har et metalindhold, har stor forskel i geoelektriske parametre. Igen er dette for dette projekt en ulempe, da forskellige geologiske lag kan forventes at have forskellig "IP-signatur" og IP signalet altså ikke kun vil være afhængigt af kornstørrelsesforhold.

Yderligere gennemgang af boreprøver, geologiske beskrivelser og hydrologiske forhold vil sikkert kunne forklare nogen af de "outliers" der ses i figur 2 til 5.

Dog vil der selv efter et sådant ekstra arbejde stadig stå en ikke ubetydelig usikkerhed tilbage fra de 3 her nævnte faktorer.

3.1.2 Afstande imellem boringer og geoelektrisk profil

Der er op til 32 meters horisontal afstand imellem borepunkt og de geoelektriske profiler, grunden til afstandene har ophav i praktiske hensyn.

Afstanden tilføjer en ekstra signifikant usikkerhed til sammenstillingerne imellem geofysik og boringer i dette projekt.

Selvom boringer ligger direkte på et geoelektriske profil vil der dog også være et usikkerhedsmoment i og med at en boring er en punktmåling hvor fysikken i geoelektrikken gør at det vil være midlet over et rumfang, denne usikkerhed er større jo større dybde en prøve befinder sig på.

3.1.3 Blandeprøver

Det at mange af sigteanalyserne er lavet som blandeprøver er til en sammenligning af geofysik og sigteanalyser ikke optimalt. Der er midlet over dybden i det geoelektriske profil over den samme dybde som prøverne er blandet over. Dette burde, hvis alle prøver havde samme størrelse og der blev blandet ligeligt over indholdet i boresøjlen, udligne sig sådan at både det geoelektriske og boringen bliver en middelbetragning. Det er næppe praktisk muligt at lave en fuldstændig midlende blanding af boreprøver, især når der bores med sneglebor hvor mængden af opboret materiale varierer. Det er forventligt at der er et bias i forhold til sigteprøvernes indhold.

3.1.4 Måleforhold under indsamling af DCIP data

Data blev samlet i 2016 hvor der siden er sket en del udvikling af måle setup og date er i sin tid samlet med det primære formål for øje at samle DC data og ikke DCIP data. Disse to faktorer har gjort at der er blevet brugt mindre elektrisk effekt og kortere måletider end hvad der ellers kunne have været optimalt for indsamling af DCIP data. IP data er af ganske god kvalitet i store områder, men erfaringer fra senere kortlægninger har vist at det er muligt at opnå langt bedre IP data end hvad der blev samlet under projektet i 2016.

3.2 Betragtninger om den fysiske årsag til de fundne tendenser

Det vil for dette projekts rammer strække for vidt at komme detaljeret ind på detaljerede teoretiske betragninger for IP effekter, der findes store mængder videnskabelig litteratur på området.

Hvis ionindhold, vandindhold og mineralogi holdes konstant (se også afsnit 3.1.1) så vides at for væskemættede ukonsiliderede prøver så kan IP effekterne beskrives som en effekt af kornstørrelsesforhold. Forholdene af såkaldte porehalse er stærkt bidragende til IP effekten [Maurya, 2017]. Det kan tænkes at for umættede forhold vil det bundne vand som er rundt om kornene gøre at der opstår helt andre "porehalse" hvor ionerne kan adskille sig i kationer og anioner, ligeledes vil Stern laget udgøre en forholdsmæssigt meget større del af vandindholdet. Disse og andre geometriske forhold kan tænkes at være styrende for IP effekterne for geologiske lag med kun bundet vand.

En stigende chargeabilitet med større kornstørrelser, som er den tendens som figur 5 viser, er modsat hvad man ser under vandspejlet. Dette er ud fra ovenstående hurtigt opsummerede betragninger ikke urimeligt.

Som tidligere nævnt er boreprøverne der behandles i denne rapport primært udtaget for grusholdige formationer. Det virker ikke usandsynligt at der vil findes andre tendenser hvis man undersøger IP effekter for andre geologiske lag med mindre kornstørrelser som for eksempel lerholdige formationer, der også ofte er meget nær vandmættede på trods af at de befinder sig over et vandspejl. De to punkter i figur 5 med lav middel kornstørrelse og høj spredningsfaktor kunne tænkes at være et eksempel på andre "geologiske" effekter der påvirker IP henfaldet.

3.3 Anbefalinger

Resultaterne i denne rapport er et godt eksempel på værdien af at medtage IP data som er kommet "gratis" med under feltarbejdet, hvor der i 2016 kun var fokus på at lave indsamle standard MEP data. Der er uden tvivl langt mere yderligere værdifuld information at hente ved også at betragte IP delen af de indsamlede data. Det er også vist at specifikke modstand bliver bedre opløst i den geoelektriske model ved at medtage IP henfald i inversionen af data [Fiandaca, 2017].

Det er forholdsvist tungt at processere, invertere og bearbejde DCIP data frem for rene DC data, det vil derfor ofte være mest omkostningseffektivt først at lave en ren DC inversion af data og så kigge på hvor der er behov for at medtage IP data for at få mere information end hvad der findes i den rene DC inversion. I moderne geoelektriske måleinstrumenter er det muligt at optage fullwaveform data som kan gemmes til senere brug samtidig med at man laver den sædvanlige "hurtige" DC inversion.

Der sker en hurtig udvikling af de geoelektriske metoder i disse år og hvad der får få år tilbage var umuligt er i dag muligt, der er ikke noget der tyder på at denne udvikling stopper foreløbigt, opdateret geofysik viden er derfor vigtigt at få ind allerede i planlægningsfasen af projekter hvor geoelektrik forventes at blive anvendt.

En vigtig anbefaling i forhold til at få gode IP data er at have fokus på at få bruge højest mulige elektriske effekt og at have så lang måletid som muligt.

I fald der er mulighed for det anbefales det at laves en god "tidsbuffer" i feltarbejdet, sådan at man først laver den geoelektriske kortlægning og så dernæst at gå over til borefasen. På denne måde kan man bedre udvælge boringsplaceringer optimalt og har også mulighed for at inddrage IP data for at få en endnu bedre placering af boringer.

4 Konklusion

Målet med dette projekt har været at trække ekstra informationer ud af de MEP data der er samlet omkring Stenlille i 2016 ved at sammenholde dem med informationer fra sigteprøver.

Det er lykkedes at finde en signifikant tendens imod højere chargeabilitet for større kornstørrelser i grusforekomster.

Ydermere har resultaterne vist værdien af at lave IP målinger når der laves geofysiske kortlægninger efter grus, dette kan gøres uden store ekstra omkostning i forhold til rene DC målinger.

Resultaterne i denne rapport løfter kun en lille flig af det potentiale der er at hente i at bruge IP i forhold til geologiske kortlægnigner og kan forhåbentlig være medvirkende til at der bliver lavet mere forskning og produktudvikling der kan være til gavn for alle brugere af geofysik.

Referencer

- Bargheer, Arne: "Undersøgelse af korrelation mellem DCIP modelparametre og hydrologiske parametre, underbygget med MRS og kornstørrelsesanalyse". Speciale fra HGG, Aarhus universitet. 2016.
- Fiandaca, Gianluca, Line Meldgaard Madsen, and Pradip Kumar Maurya. "Reparameterization of the Cole-Cole Model for Improved Spectral Inversion of Induced Polarization Data." 23rd European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics. 2017.
- Meldgaard Madsen, Line, et al. "Resolution of well-known resistivity equivalences by inclusion of time-domain induced polarization data." Geophysics 83.1 (2017): 1-39.
- Maurya, Pradip Kumar. "Imaging lithology, water conductivity, and hydraulic permeability at contaminated sites with induced polarization." (2017).
- Olsson, Per-Ivar, et al. "Measuring time-domain spectral induced polarization in the ontime: decreasing acquisition time and increasing signal-to-noise ratio." Journal of Applied Geophysics 123 (2015): 316-321.

Bilag 1: DCIP profil linjer



















Bilag 2: Oversigtskort







Bilag 3: Borings og prøve placeringer på profiler

Boring	DCIP profil	Profil koordinat	Prøvedybder (m.u.t.)
205.1036	SLI26	580m	0.8-3.4
205.1037	SLI26	284m	6.2-10-1
205.1038	SLI26	74m	4.2-9.6
205.1041	SLI07	700m	2.4-4,4-5,5-11,12-15.8
205.1042	SLI25	116m	4.4-8
205.1046	SLI07	210m	0.3-6.4,6.4-16,16-17.5
205.1052	SLI10	1040m	0.4-3.7,3.7-9.5
205.1053	SLI10	352m	0.9-4,4-5.1
210.1326	SLI02	800m	1.5-5.1
210.1327	SLI03	170m	3-5.7
211.976	SLI20	315m	0.6-5.7,6.2-8.7
211.977	SLI18	645m	1-2.8,6.7-13.1,13.1-18.8
211.978	SLI18	995m	10-13,13-16
211.982	SLI17	85m	6.1-7,7-12