

Thesis work for Master of Science 30 ECTS
Engineering Geology, LTH, Lund University

ERT och TEM som verktyg för grundvattenundersökningar

Jämförande studie i Skåne

Henrik Kristoffersson

Teknisk Geologi
Lunds Tekniska Högskola
Lunds Universitet

2014



Thesis work for Master of Science 30 ECTS
Engineering Geology, LTH, Lund University

ERT och TEM som verktyg för grundvattenundersökningar

Jämförande studie i Skåne

ERT and TEM as a tool for
groundwater investigations

Comparative study in Skåne, southern Sweden

Henrik Kristoffersson

Teknisk Geologi/Engineering Geology
Lunds Tekniska Högskola/Faculty of Engineering
Lunds Universitet/Lund University

Lund 2014

ISRN: LUTVDG/TVTG 5136/1-59/2014

Handledare/Supervisors:

Torleif Dahlin, Teknisk Geologi

Biträdande handledare/deputy supervisors:

Hans Jeppsson, WSP

Mattias Gustafsson & Peter Dahlgvist, SGU

Philip Nilsson, ÅF

Examinator/Examiner:

Per-Gunnar Alm, Teknisk Geologi

Sammanfattning

Geofysiska mätmetoder kan tids- och kostnadseffektivt skapa tvådimensionella (2D) och tredimensionella (3D) modeller som avspeglar geologin och som kan användas som ett verktyg för kartläggning av grundvattentillgångar.

I denna studie har fyra profiler belägna i den s.k. Vombsänkan i sydöstra Skåne undersökts med galvanisk resistivitmätning (ERT) och Transient Elektronmagnetisk Sondering (TEM) som en metodstudie. Resistivetsprofilerna från de geofysiska metoderna har studerats och tolkats geologiskt och hydrogeologiskt. Resistivetsmätningar genomförs bl.a. för att få en bild av grovsedimenten i jordlagren och kompletteras med TEM-sonderingar som kan ge en uppfattning om de djupare jordlagrens karaktär samt om djup till berg och berggrundsförhållande.

Studien är ett samarbete med Sveriges Geologiska Undersökningar (SGU) och konsultföretaget WSP. Resultaten gynnar SGU och deras vidare hydrogeologiska kartläggning av viktiga grundvattenmagasin i Sverige. WSP har fått i uppdrag av Sjöbo kommun att undersöka en ny huvudvattentäkt som antingen ersätter eller kompletterar den befintliga vattentäkten. Samarbetet med WSP går ut på att data från de geofysiska metoderna samt rödrivningar (utförs av WSP) ska fungera som underlag för att bedöma området och dess lämplighet som grundvattentäkt.

Inversion av resistivetsdata från ERT är relativt användarvänliga med förinställbara inställningar i Res2DINV som används för att alla profiler ska kunna tolkas efter samma grund. Modellanpassning av TEM-sonderingar kräver praktisk erfarenhet från användaren, något som blivit bättre under projektets gång. TEM-modelleringarna utfördes uteslutande med 3-lagersmodeller för konsekvensen skull. Även för en erfaren användare har metoden sina begränsningar vid höga resistiveter där otillräcklig data finns på grund av den låga strömdensiteten. TEM-sonderingar passar sig bäst i att avgöra skillnader i resistiveter under 150 Ohm-m och lämpar sig därför väl för Skånes inland och dess sedimentära bergarter.

Genom alla profiler har data erhållits med en hög resistivitet i det översta lagret vilket är gemensamt för både TEM och ERT. Generellt för profilerna ses en sjunkande resistivitet mot djupet, undantaget är profil 2 som är placerad i backlandskapet där lermorän dominerar i jordytan. Indikationer på akviferer finns med grovkorniga vattenförande lager ovan mer finkorniga formationer som lermoräner och siltrika material. Detta ses på profil 3 och 4 där rödrivningar utförts och indikationerna väl stämmer med profilerna från ERT och TEM.

TEM och ERT har visat sig komplettera varandra bra. TEM-metoden är en snabb förundersökningsmetod och kräver inte lika stor arbetskraft eller personal och kan därför sägas vara kostnadseffektivare. Ingen åverkan på marken görs och ingen ströminjektion i marken via elektrod krävs. Dock fordras en miljö utan kopplingsbenägenheter.

ERT kräver stora utlägg för att ens komma i närheten av TEM-sonderingars djupnedträngning. Med TEM-sonderingars stora undersökningsdjup kan salt vatten i berggrunden detekteras. Från resultaten har inga indikationer på salt grundvatten setts i projektet då en resistivitet runt 10 Ohm-m hade registrerats på ett relativt stort djup.

Det finns skillnader i upplösning mellan ERT och TEM de översta 50-60 metrarna. ERT är bra på att detektera resistivetskillnader nära markytan och ner till 60 meter beroende på elektrodkonfigurationen. Det har inte gått att uttyda några lagerföljder de översta tiotalen metrarna från TEM-sonderingarna då grovkorniga formationer har naturligt hög resistivitet.

Rördrivningar ger ett bra facit på de annars komplexa översta tiotalet metrarna och är till stor hjälp när profiler tolkas geologiskt.

Nyckelord: Geofysik, Resistivitet, ERT, TEM, Geologi, Hydrogeologi, Akvifer, Grundvatten, Skåne, Vombsänkan.

Abstract

Geophysical methods can create 2D- and 3D-models that reflect the geology. These models can be used as a tool for mapping groundwater resources.

Four profiles, located in Vombsänkan in southeastern Skåne, have been investigated with Electrical Resistivity Tomography (ERT) and ground-based Transient Electromagnetic Soundings (TEM) as a study of the two methods. The resistivity profiles from the geophysical methods have also been studied. ERT, also called CVES, is carried out to get a better understanding of the coarse sediments in the soil layers. This is complemented with TEM soundings that can provide an understanding of the character of the deeper soil layers as well as the depth and the condition of the bedrock.

This study from Lund University is a collaboration with the Geological Survey of Sweden (SGU) and the consulting firm WSP. The results favor the SGU and their further hydrogeological mapping of critical aquifers in Sweden. WSP has been commissioned by Sjöbo municipality to investigate a new main water source to either replace or supplement the existing water supply. Collaboration with WSP involves data from the geophysical methods and drillings (performed by WSP) will serve as a basis for assessing the area with respect to groundwater and its suitability as a water source.

Inversion of resistivity data from ERT is relatively user-friendly with pre-settable settings in Res2DINV used for all profiles to be interpreted by the same conditions. Modeling of TEM-soundings requires practical experience from the user, something that has improved during the project. The TEM-models were modeled exclusively with 3-layer models for the sake of consistency. Even for an experienced user, the method has its limitations at high resistivity where insufficient data exists because of the low current density. TEM-soundings fit best in determining differences in resistivity below 150 Ohm-m and is therefore well suited for Skåne with underlying sedimentary rocks.

Data have been obtained with high resistivity in the top layer through all the profiles. This is common to both the TEM and the ERT. Generally, the resistivity is declining with depth. Profile 2 is the only exception which is located in the hilly landscape where a clayey till/moraine dominates in the soil surface. Indications of aquifers exist with coarse formations above fine-grained formations. These indications can be seen from the drilling reports on profile 3 and 4.

TEM and ERT complement each other well. The TEM-method is a quick preliminary investigation method and does not require as much labor or staff as ERT, and may therefore be termed as cost-effective. No current injection into the ground via electrodes is required, why no damage on the ground is made. However, an environment without coupling is required.

ERT requires a large distance between electrodes to compete with the depth penetration of TEM-soundings. With TEM-soundings and its large depth penetration, saline water in bedrock can be detected with a resistivity around 10 Ohm-m at a relatively great depth. No indications of saline groundwater have been observed in the project.

There are differences in resolution between ERT and TEM in the uppermost 50-60 meters. ERT is good at detecting differences in resistivity near the soil surface and down to 60 meters, depending on the electrode configuration and spacing. There was no indication of any resistivity-layers the uppermost tens of meters. This is because the coarse-grained formations have naturally high resistivity. Drilling gives a good indication of the complex uppermost ten meters and its results come in handy when interpreting the geological profiles.

Keywords: Geophysics, Resistivity, ERT, TEM, Geology, Hydrogeology, Aquifer, Groundwater, Skåne, Vombsänkan.

Förord

Denna studie är genomförd som ett examensarbete på avdelningen för Teknisk Geologi vid Lunds Tekniska Högskola. Examensarbetet har genomförts under 2014 som en avslutande del i civilingenjörsutbildningen för Väg- och Vattenbyggnad. Det är flera personer och företag som hjälpt mig under examensarbetets gång som jag vill tacka:

Min handledare och professor, Torleif Dahlin på Teknisk Geologi, för handledning och stöd genom projektets gång. Ett tack till Philip Nilsson, ÅF, för värdefull hjälp med teori och mätteknik för TEM-metoden. Ett stort tack till handledarna Hans Jeppsson, WSP samt Mattias Gustafsson och Peter Dahlqvist, SGU. Utan deras samarbete, vägledning och gällande utformning av examensarbetet, utlämnat bakgrundsmaterial och på vissa profiler tillhandahållande av fältbil, hade denna studie inte varit genomförbar.

Jag vill tacka fältassistenter Mats Thörnelöf, SGU, Li Stenberg, WSP och Erik Dahlin. Även ett stort tack till examinator och universitetsadjunkt Per Gunnar Alm som assisterat i fält och som gav mig förmånen att få lära mig något inom hans expertisområde, borrhållsloggning, 2 veckor i Åre.

Även ett tack till övriga anställda på Teknisk Geologi för värdefulla diskussioner och stöd genom examensarbetets gång. Jag uppskattade och vill tacka ABEM Instrument AB som höll i introduktionskursen för WalkTEM-instrumentet den 19 mars 2014.

Avslutningsvis ska sägas att studien har gett en djupare förståelse över hur förundersökningar genomförs. Genom en grundlig förstudie om var geofysik ska utföras kan vidare eventuella borrhållningspunkter bestämmas.

Lund augusti 2014

Henrik Kristoffersson

Innehållsförteckning

1	<i>Inledning</i>	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte	3
1.3	Avgränsningar	3
2	<i>Teori</i>	4
2.1	ERT	5
2.2	TEM	7
2.2.1	Mätteknik	7
2.2.2	Magnetfält	9
2.2.3	Kopplingar	10
2.3	Inversionsteori	12
3	<i>Metodik</i>	13
3.1	Förstudie	13
3.2	Fältrekognosering	13
3.3	Förväntningsmodell	14
3.4	Inför fältkampanj	14
3.5	Fältmetodik	14
3.5.1	ERT	14
3.5.2	TEM	16
3.6	Databearbetning	19
3.6.1	ERT	19
3.6.2	TEM	20
3.7	Tolkning och presentation av resultat	20
4	<i>Platsbeskrivning</i>	23
4.1	Regional geologi	23
4.2	Profil 1 – Sövde	25
4.2.1	Beskrivning	25
4.2.2	Förväntningsmodell	25
4.3	Profil 2 – Bussjö	26
4.3.1	Beskrivning	26
4.3.2	Förväntningsmodell	26
4.4	Profil 3 och 4 – Ilstorp och Sövde flygfält	27

4.4.1	Beskrivning	27
4.4.2	Förväntningsmodell	28
5	Resultat och analys	29
5.1	Profil 1 – Sövde	29
5.1.1	Mätresultat och analys	29
5.1.2	Jämförelse mellan ERT och TEM	32
5.2	Profil 2 – Bussjö	34
5.2.1	Mätresultat och analys	34
5.2.2	Jämförelse mellan ERT och TEM	37
5.3	Profil 3 - Ilstorp	39
5.3.1	Mätresultat och analys	39
5.3.2	Jämförelse mellan ERT och TEM	43
5.4	Profil 4 – Sövde flygfält	46
5.4.1	Mätresultat och analys	46
5.4.2	Jämförelse mellan ERT och TEM	50
6	Diskussion	53
6.1	Diskussion gällande resultat	53
6.2	Diskussion gällande TEM och ERT	54
7	Slutsatser	56
6.1	Förslag till framtida studier	57
8	Källförteckning	58
9	Bilagor	
	Bilaga 1 – Använda datorprogram	
	Bilaga 2 – Inställningar på Terrameter LS	
	Bilaga 3 – Mätprotokoll (profil 1 – Sövde)	
	Bilaga 4 – Hårdvaruscript	
	Bilaga 5 – Mjukvaruscript	
	Bilaga 6 – Inversionsinställningar	
	Bilaga 7 – Brunnsborrningar	
	Bilaga 8 – Koordinater	
	Bilaga 9 – Ledningskoll	
	Bilaga 10 – Inversionsresultat TEM-sonderingar	

Figurförteckning

Figur 1: Orienteringskarta över södra Skåne. Rektangeln visar urvalet av undersökt område i studien, se Figur 2 (Google Maps).....	1
Figur 2: Blå markeringar visar de profiler som genomförts i projektet (modifierad topografikarta Lantmäteriet, 2014)	2
Figur 3: Resistivitets- och konduktivitetsintervall för olika geologiska material. Modifierad från Palacky (1987).....	4
Figur 4: Förenklad bild över uppställning av resistivitetsutrustning (Robinson & Coruh, 1988).....	5
Figur 5: Förenklad bild av en ”Central loop”-uppställning, där den yttre loopen är sändarspolen och den inre loopen är mottagarpolen (McNeill, 1994).....	7
Figur 6: Visualisering över hur de olika stadierna fungerar i TEM-metoden (Christiansen, Auken & Sørensen, 2009).....	8
Figur 7: Skillnaden mellan att medelvärdesbilda 50 eller 5000 transienter (Christiansen, Auken & Sørensen, 2009).....	8
Figur 8: Log-log diagram som visar den uppmätta spänningen som funktion av tiden för en transient (McNeil, 1994).....	9
Figur 9: Tre olika tidsprofiler där mörkare färg anger högre strömdensitet. Tidsprofilerna är normaliserade så att de visar samma maximivärde. T.v: Strömmaximum rör sig nedåt och utåt, T.h: Strömmaximum rör sig nedåt och utåt i en trelagers modell, strömdensiteten är betydligt högre i det konduktiva mellanliggande lagret (Christiansen, Auken & Sørensen, 2009).	10
Figur 10: Galvanisk a) och kapacitiv b) koppling med tillhörande datakurvor (Christiansen, Auken & Sørensen, 2009).....	11
Figur 11: Illustrering av (a) modellrespons och (b) inversmodellering.....	12
Figur 12: Elektroduppställning vid första (I) och andra (II) mätuppställningen (Dahlin, 2014).....	16
Figur 13: Konfigurationen visar en färdig uppställning av utrustningen i fält med en 40 x 40 m ² sändarloop med två individuella mottagarloopar (ABEM Instruments, 2014).	17
Figur 14: Visualisering av resistivitetsmodell och brunnsborrning gällande TEM med följande förklaring nedan	21
Figur 15: Profilernas läge på modifierad berggrundskarta med hydrografilinjer över området. Färgkodningen är likt berggrundskartor från SGU. Kartunderlag är Berggrundskartan (SGU Af 214) samt terrängkarta (Lantmäteriet, 2014)	23
Figur 16: Sträckning för profil 1. Färgkodningen är likt jordartskartor från SGU. Kartunderlag är jordartskartan (SGU Ae 99)	25
Figur 17: Sträckning för profil 2. Färgkodningen är likt jordartskartor från SGU. Kartunderlag är jordartskartan (SGU Ae 99)	26
Figur 18: Ilstorp. Sträckning för profil 3 (norr) och 4 (söder). Färgkodningen är likt jordartskartor från SGU. Kartunderlag är jordartskartan (SGU Ae 99)	28
Figur 19: Linje för resistivitetsmätning. Profil 1 ovan ortofoto (Lantmäteriet, 2014)	29
Figur 20: Resistivitetssektion 1 ERT med geologisk tolkning	30

Figur 21: Sonderingspositioner för profil 1 ovan ortofoto (Lantmäteriet, 2014)	31
Figur 22: Resistivitssektion 1 TEM. Se Figur 14 för förklaring gällande resistivitsmodell	31
Figur 23: Jämförelse mellan resistivitssektion från ERT och TEM.	33
Figur 24: Linje för resistivitsmätning. Profil 2 ovan ortofoto (Lantmäteriet, 2014)	34
Figur 25: Resistivitssektion 2 ERT med geologisk tolkning	35
Figur 26: Utvidgad modell. Resistivitssektion 2 ERT	35
Figur 27: Sonderingspositioner för profil 2 ovan ortofoto (Lantmäteriet, 2014)	36
Figur 28: Resistivitssektion 2 TEM. Se Figur 14 för förklaring gällande resistivitsmodell	37
Figur 29: Jämförelse mellan resistivitssektion från ERT och TEM.	38
Figur 30: Linje för resistivitsmätning. Profil 3 ovan ortofoto (Lantmäteriet, 2014)	39
Figur 31: Resistivitssektion 3 ERT med geologisk tolkning	40
Figur 32: Sonderingspositioner för profil 3 ovan ortofoto (Lantmäteriet, 2014)	41
Figur 33: Resistivitssektion 3 TEM. Se Figur 14 för förklaring gällande resistivitsmodell	42
Figur 34: Rördrivning profil 3 (WSP Environmental, 2014)	43
Figur 35: Jämförelse mellan resistivitssektion från ERT och TEM.	44
Figur 36: Linje för resistivitsmätning. Profil 4 ovan ortofoto (Lantmäteriet, 2014)	46
Figur 37: Resistivitssektion 4 (vertical exaggeration=2) ERT med geologisk tolkning.....	47
Figur 38: Sonderingspositioner för profil 4 ovan ortofoto (Lantmäteriet, 2014)	48
Figur 39: Resistivitssektion 4 TEM. Se Figur 14 för förklaring gällande resistivitsmodell	48
Figur 40: Rördrivningar profil 4 (WSP Environmental, 2014)	50
Figur 41: Jämförelse mellan resistivitssektion från ERT och TEM.	51

1 Inledning

Elektriska mätmetoder har använts i ingenjör- och miljömässiga tillämpningar sedan början på 1900-talet medan de transienta elektromagnetiska metoderna är en relativt ny företeelse (Reynolds, 2011). Genom introduceringen och vidareutvecklingen av flygburna elektromagnetiska mätningar har intresset ökat från 2000-talet för elektromagnetiska mätinstrument då ett mer storskaligt undersökningsområde snabbare kan avverkas (Århus Universitet, 2013). En jämförelse och en dokumenterad granskning av de två metoderna ERT (Electrical Resistivity Tomography) och TEM (Transient Elektromagnetisk Sondering) är av intresse. Användningsområdena spänner från förundersökningar till kartläggning av berggrund och övervakning av grundvatten.

1.1 Bakgrund

Förberedelser gällande projektet startade med en kurs på Århus Universitet i januari 2014. Kursen tog upp databehandling och tolkning av data från bland annat de elektro- och elektromagnetiska metoderna som är i fokus i denna studie.

Denna studie är ett samarbete med SGU och WSP. Området som är av intresse i denna studie finns i sydöstra Skåne mellan Sjöbo och Ystad, mer specifikt i de centrala och södra delarna av den så kallade Vombsänkan, mellan horstarna Romeleåsen och Linderödsåsen.

Profil 1 och 2 är utförda i samarbete med SGU. Profil 3 och 4 är utförda i samarbete med WSP. Figur 1 och Figur 2 åskådliggör profilernas geografiska placering och sträckning.



Figur 1: Orienteringskarta över södra Skåne. Rektangeln visar urvalet av undersökt område i studien, se Figur 2 (Google Maps).



Figur 2: Blå markeringar visar de profiler som genomförts i projektet (modifierad topografikarta Lantmäteriet, 2014)

Samarbetet med SGU är ett led i deras hydrogeologiska kartläggning av viktiga grundvattenmagasin i Sverige. Kartläggningen utförs med hjälp av de geofysiska mätmetoderna galvanisk resistivitet-IP-mätning (ERT) och TEM.

WSP har fått i uppdrag av Sjöbo kommun att undersöka en ny huvudvattentäkt som antingen ersätter eller kompletterar den befintliga vattentäkten. Samarbetet med WSP går ut på att data från resistivitet-IP-undersökningar, TEM-sonderingar och rördrivningar (utförs av WSP) ska fungera som underlag för att bedöma området med hänsyn till grundvatten och dess lämplighet som grundvattentäkt.

Geofysiska mätmetoder kan tids- och kostnadseffektivt skapa tvådimensionella (2D) och tredimensionella (3D) modeller som avspeglar geologin och som kan användas som ett verktyg för kartläggning av grundvattentillgångar. Detta gäller såväl magasin i jordlager som i berggrunden. Resistivitets-IP-mätningar genomförs för att bl.a. få en bild av grovsedimenten i jordlagren. De kompletteras med TEM som kan ge en uppfattning om de djupare jordlagrens karaktär samt om djup till berg och berggrundsförhållande med avseende på bergets sprickighet, vittringsgrad och konsolideringsgrad.

Generellt sett är geologin i området högst intressant ur grundvattensynpunkt. Det är issjösediment och isälvsavlagringar innehållande grovsediment med större mäktighet i de övre jordlagren. Ofta med ett underliggande lerlager som agerar likt en barriär gentemot vattnet och kan fungera som en akvifer. Vombsänkan har jordlager med relativt hög mäktighet, uppåt 100 meter på sina ställen, var förväntningen är att det sedimentära berget påträffas. Förhoppningen är att få en bild av grovsedimenten i jordlagren och kunna uttala sig om bergets sammansättning och struktur med tanke på konsolidering, vittring, vattenkvalité (salthalt) och vattenhalt.

Tidigare offentliga undersökningar i området är undersökningsborrningar från SGU och examensarbetet Grundvattenundersökningar i Skåne (Nilsson, 2013).

1.2 Syfte

Syftet med examensarbetet är att jämföra ERT och TEM som en del i en metodstudie och deras lämplighet för att undersöka de hydrogeologiska förhållandena. Detta görs genom applicering av metoden längs fyra profiler och genom tolkningar av de geofysiska modellerna i kombination med data i området som borrhningar och brunnar.

Studiens mål är:

- Analysera styrkor och svagheter hos ERT respektive TEM.
- Tolka resistivitetsmodeller geologiskt och hydrogeologiskt

Från en geologisk och hydrogeologisk tolkning baserat på resistivitetsmodeller, utvärderar SGU och WSP hur bra området är ur grundvattensynpunkt för sin egen räkning.

1.3 Avgränsningar

Möjliga avgränsningar av testlokaler och profiler har skett med tanke på olika intressenter, naturskyddsområden, dikningsföretag, terrängen och störningsmoment. För att få beträda marken krävs klartecken från markägare och i vissa fall kommunen.

Terrameter LS har kapacitet att mäta IP (Inducerad Polarisation), markens uppladdningsförmåga, parallellt med markens resistivitet. Vid databearbetning och analys kommer endast resistivitetsdata att bearbetas och tolkas.

Beroende på elektrodupställning kan olika respons fås beroende på markens uppladdningsförmåga och förmåga att leda ström. Elektroavstånd med dels 5 m och dels med 10 m har använts för att få ett diversifierat undersökningsdjup. Likadant finns det olika elektromagnetiska mätmetoder, där TEM med en 40x40 m² sändarloop används inom studiens omfång.

Undersökningarna som utförs på de olika testlokalerna har snarlika förutsättningar och liknande geologi vilket betyder att analyser och slutsatser är begränsade till rådande geologi och hydrogeologi i de centrala och södra delarna av Vombsänkan. Det är alltså svårt att från studien dra generella slutsatser oavsett geologin.

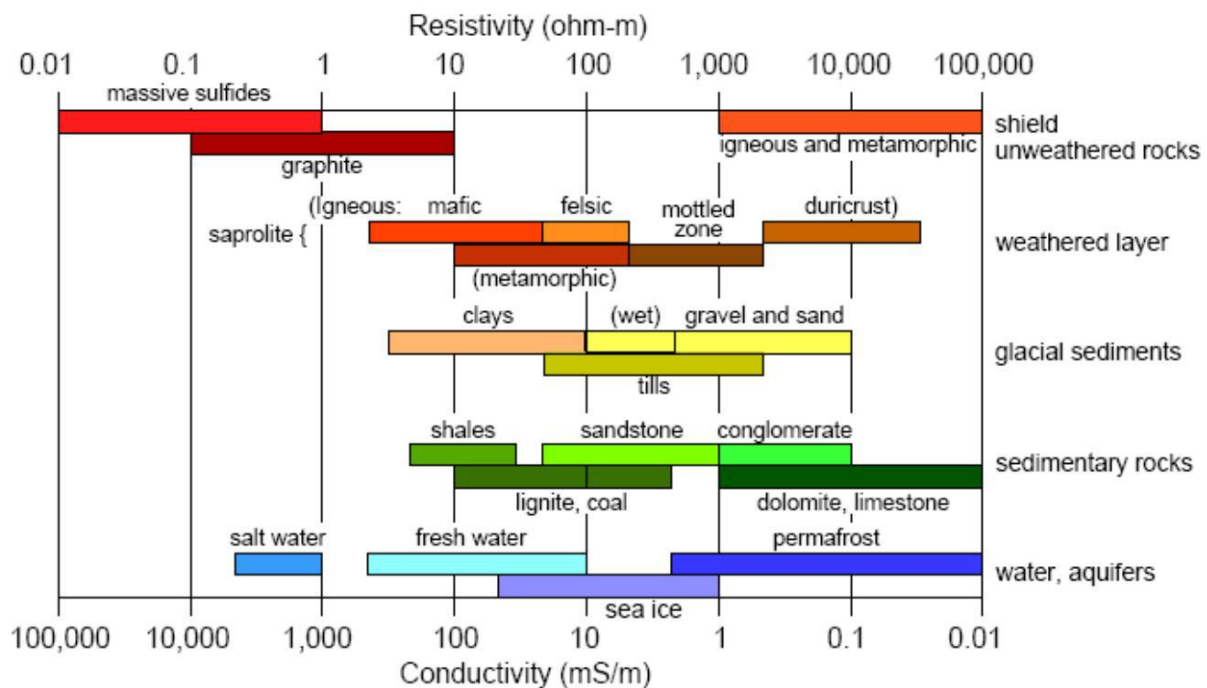
2 Teori

Resultatet från de geofysiska mätningarna är elektrisk resistivitet. Inversen av resistivitet är konduktivitet vilket kan översättas till markens förmåga att leda ström. Resistiviteten kan variera kraftigt i olika geologiska material och beror främst på vattenhalt, vattnets salthalt (jonhalt), lerinnehåll, vittringsgrad och porositet men också på mineralinnehåll och föroreningar i mark.

Faktorer som sänker resistiviteten i geologiska material är (University of Alberta, 2014):

- Om vattenhalten i porerna höjs
- Om salthalten höjs, fler joner som leder ström
- Om lerhalten höjs
- Vittrat berg, kristallint berg har obetydligt vatteninnehåll och därmed hög resistivitet

Dessa faktorer förklarar hur resistiviteten kan variera inom varje geologiskt material. För att kunna tolka mätresultat geologiskt beaktas resistivitetsspektrat hos olika geologiska material enligt Figur 3 nedan. Värt att notera är resistivitetsintervallet för vatten respektive saltvatten.



Figur 3: Resistivitets- och konduktivitetsintervall för olika geologiska material. Modifierad från Palacky (1987).

Nedan presenteras idé och teori för respektive mätmetod, ERT och TEM.

2.1 ERT

Grunden till resistivitetsmätningar är Ohms lag:

$$R = \frac{U}{I}$$

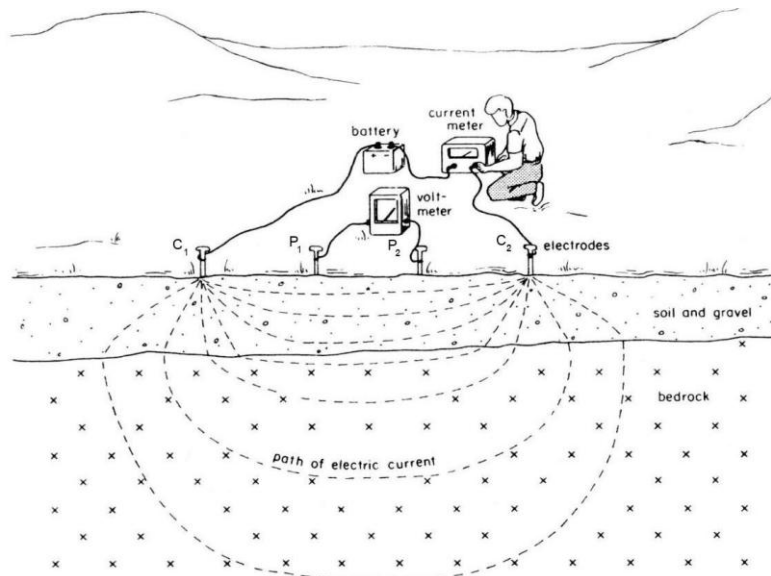
Där R (resistansen i Ω) i en enkel resistor beskriver förhållandet mellan I (strömmen i Ampere) och U (spänningen i Volt). För att beskriva strömflödet i en volym likt marken, då en resistor inte har en volym, måste en elektrisk ström i en finit volym betraktas likt en cylinder.

$$\rho = \frac{R \cdot A}{L}$$

Där ρ ($\Omega\text{-m}$) är den elektriska resistiviteten i ett material, A är tvärsnittsarean i m^2 och L är längden i m. En geometrisk faktor, K (m), introduceras där:

$$K = \frac{A}{L}$$

Resistivitetsmätningar utförs i en mycket mer komplex volym än en tvärsnittsarea. Ström (likström med fyrkantsvåg) skickas ner i marken från två strömelektroder (C_1 och C_2) och potentialen, spänningsdifferensen, mäts mellan två spänningselektroder (P_1 och P_2). Se förenklad uppställning i Figur 4 nedan. Uppmätt och icke behandlad resistivitet i sådana här 3D-miljöer benämns skenbar resistivitet. (Loke, 2013).



Figur 4: Förenklad bild över uppställning av resistivitetsutrustning (Robinson & Coruh, 1988).

Den geometriska faktorn bestäms av elektroduppställningen och då av avståndet (r i meter) mellan elektroderna. Sambandet visas nedan (Loke, 2013).

$$K = \frac{2\pi}{\frac{1}{rc_1P_1}} - \frac{2\pi}{\frac{1}{rc_2P_1}} - \frac{2\pi}{\frac{1}{rc_1P_2}} + \frac{2\pi}{\frac{1}{rc_2P_2}}$$

Sambandet kan skrivas om då potentialen mäts mellan elektrod P1 och P2.

$$K = 2\pi \cdot ([rc_1P_1 - rc_2P_1] - [rc_1P_2 - rc_2P_2])$$

Således kan den skenbara resistiviteten räknas ut genom:

$$\rho_a = K \cdot R.$$

Ekvationen ovan behandlar hur spänningsdifferensen varierar i en homogen halvsfär när ström flödar från elektrod till elektrod. Den skenbara resistiviteten är inte samma som den verkliga resistivitetfördelningen i marken eftersom marken inte är homogen utan varierar i både material och struktur inom materialet. I en heterogen mark är strömdensiteten högre i ett konduktivt lager. Den skenbara resistiviteten går dock att använda för att få en uppfattning om hur det ser ut i marken, detta med en pseudosektion. Loke's (2013) något modifierade definition på skenbar resistivitet är:

Skenbar resistivitet är ett mått på de ingående resistiviteter inom den undersökta markvolymen, endast i fallet med mätning över homogen mark är det lika med den verkliga resistiviteten.

Det finns flera olika elektroduppställningar som används vid resistivitetsmätningar och som var och en har sina styrkor och svagheter. En sådan faktor är att undersökningsdjupet varierar beroende på uppställning och elektrodavstånd. Skillnaden mellan olika uppställningarna är avståndet mellan elektroderna och placeringen av ström- och potentialelektroderna. I denna studie har multipel gradient med "roll-along" teknik använts. En av dess goda egenskaper är lämpligheten för flerkanalig datainsamling då Terrameter LS är ett 12-kanalssystem (7 kanaler används i det aktuella protokollet) (Dahlin & Zhou, 2006).

Då jorden aldrig är helt homogen måste den uppmätta skenbara resistiviteten inverteras via dator och sedan tolkas för att få ut den sanna resistivitetfördelningen i marken.

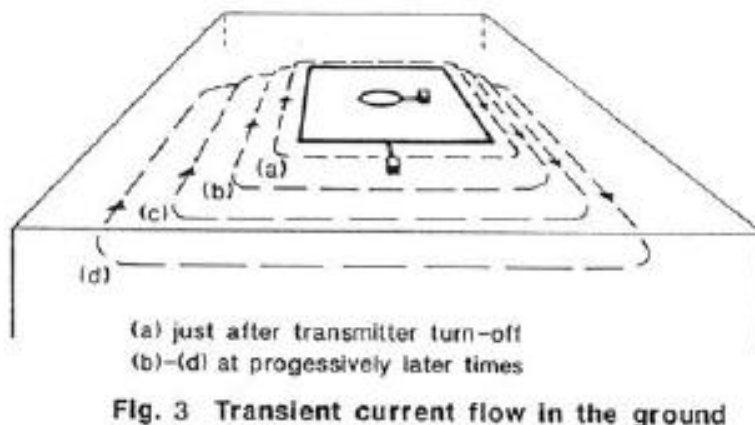
Förhållandet mellan skenbar och sann resistivitet kallas enligt Loke (2013) för "inverse problem". Ytterligare ett problem finns vid modellering som kallas för "forward problem".

Inversionsteorin tas upp i kapitel 2.3.

2.2 TEM

Transient Elektromagnetisk Sondering är en elektromagnetisk metod baserad på ett tidsdomänsystem där data registreras som en funktion av tiden. En annan elektromagnetisk metod är ett frekvensdomänsystem där en eller flera frekvenser används för dataregistrering. Exempel på två typer av frekvensdomänsystem är Slingram och VLF (Reynolds, 2011).

I studien har en så kallad ”central loop”-uppställning, likt Figur 5 nedan, bestående av två mottagarpoler som är placerade i mitten av en 40x40 meter sändarloop använts. En TEM-sondering kan ställas upp på flera olika sätt: flera mottagarpoler, icke centrerad mottagarpole, olika storlekar på sändarloopen beroende på undersökningsdjupet m.fl. Teorin är uppdelad så att en TEM-uppställning med endast en mottagarpole kommer att beskrivas då teorin med två mottagarpoler är densamma.



Figur 5: Förenklad bild av en ”Central loop”-uppställning, där den yttre loopen är sändarspolen och den inre loopen är mottagarpolen (McNeill, 1994).

2.2.1 Mätteknik

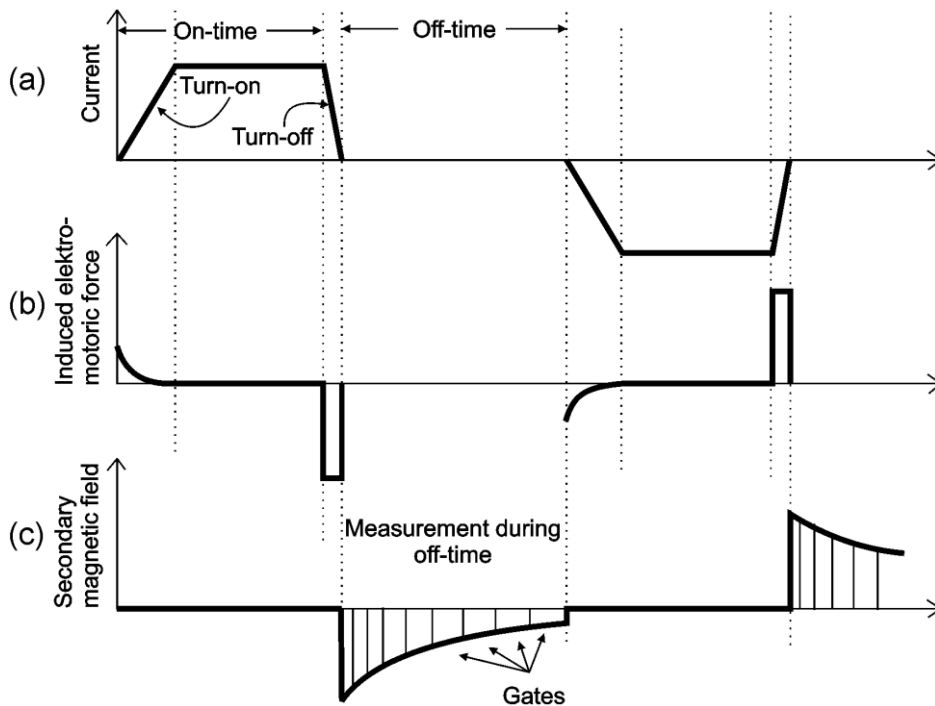
Resultatet från en sondering ger information om konduktiviteten i marken som en funktion av djupet. I Figur 6 med tillhörande förklaring visas principen och mättekniken för TEM-metoden (Christiansen, Auken & Sørensen, 2009).

- En likström (fyrkantsvåg) är påslagen i sändarspolen under en kortare tid, vanligtvis 1-40 ms, och bildar ett statiskt magnetfält.
- Strömmen stängs snabbt av, inom 1 – 30 μ s och det statiska primära magnetfältet klingar snabbt av och inducerar enligt Faradays lag en elektromotorisk kraft ner i marken, under den tid den elektriska signalen stängs av, med så kallade virvelströmmar (eddy currents). Fenomenet Faraday's lag kan beskrivas matematiskt:

$$\varepsilon = -N \frac{d\Phi}{dt}$$

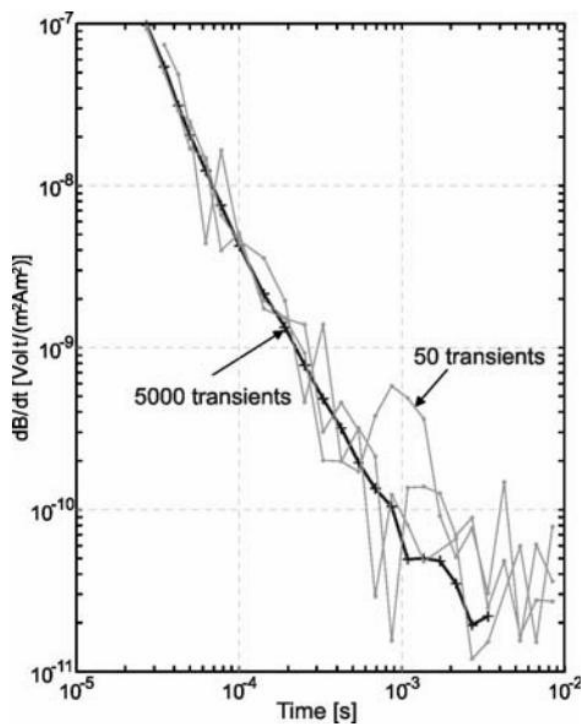
Där ε är den elektromotoriska spänningen som beror på antalet varv på sändarspolen, N , samt tidsderivatan av magnetfältet Φ . Det är önskvärdt att stänga av strömmen i sändarspolen så snabbt som möjligt för att få en så stor elektromagnetisk kraft som möjligt (McNeill, 1980).

- Det sekundära magnetfältets avklingning från den inducerade elektromotoriska kraften registreras (i gates) i mottagarpolen som en spänning. Spänningen är mätt som funktion av tiden i mottagarloopen och kan översättas till skenbar resistivitet. Det sekundära magnetfältet är proportionellt mot det primära magnetfältet som existerade just efter strömmen stängts av.



Figur 6: Visualisering över hur de olika stadierna fungerar i TEM-metoden (Christiansen, Auken & Sørensen, 2009).

Registreringen av det avklingande magnetfältet sker i så kallade gates (tidsfönster), vilka är arrangerade i ett logaritmiskt tidsintervall. De första tidsfönsterna är väldigt korta för att senare öka i längd, detta för att kunna erhålla en starkare signal eftersom de är mer influerade av brus från bakgrunden. Varje sondering består av 500-1000 enskilda strömpulser (transienter) där det bildade magnetfältets avklingning mäts varpå data medelvärdesbildas. Säkerheten ökar desto fler transienter som medelvärdesbildas likt Figur 7, där 5000 transienter har medelvärdesbildats som exempel (Christiansen, Auken & Sørensen, 2009).



Figur 7: Skillnaden mellan att medelvärdesbilda 50 eller 5000 transienter (Christiansen, Auken & Sørensen, 2009).

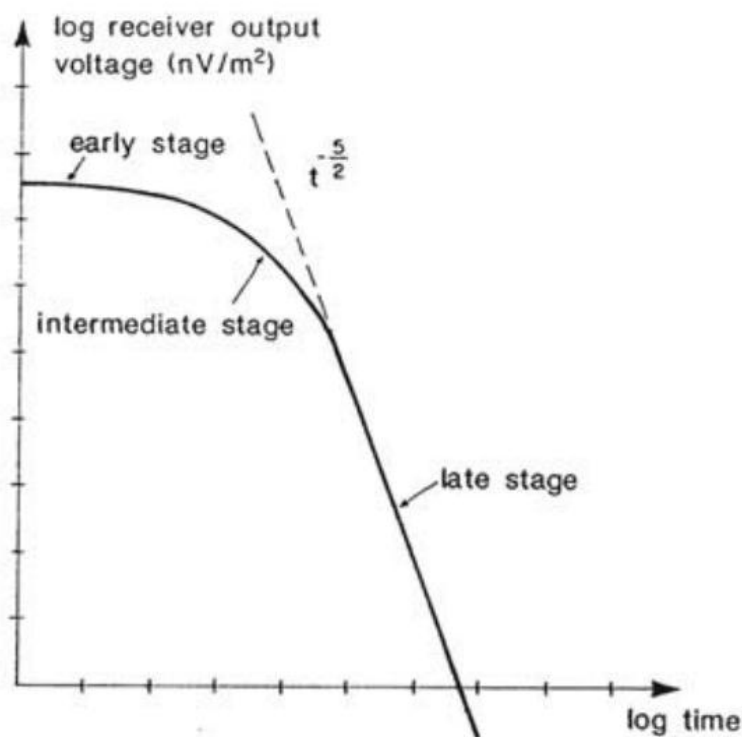
Den elektriska signalen är en fyrkantsvåg, vilket betyder att efter varje mätpuls ändras strömriktningen likt i Figur 6a). Detta för att undertrycka elnätets frekvens. Vid påslagning (turn-on) av den elektriska signalen bildas det också transienter vilka inte är av intresse och de hinner avklinga eftersom likströmmen är påslagen en längre tid.

2.2.2 Magnetfält

Definitionen av skenbar resistivitet är detsamma som i avsnittet för ERT. Registreringen av den skenbara resistiviteten sker i mottagarspolen genom inducerad spänning. I Figur 8 nedan markeras hur och var den skenbara resistiviteten kan registreras och beräknas, det tidiga stadiet eller det sena stadiet.

Det är betydligt mer fördelaktigt att räkna ut den skenbara resistiviteten på det sena stadiet. Detta enligt Fitterman och Labson (2005) som menar att avklingningen sker konstant med tiden vid det tidiga stadiet vilket gör att den skenbara resistiviteten också avtar konstant. Dock sker det resistansförluster som gör att en svagare signal erhålls med tiden samt att då den inducerade signalen minskar i styrka erhålls en lägre skenbar resistivitet.

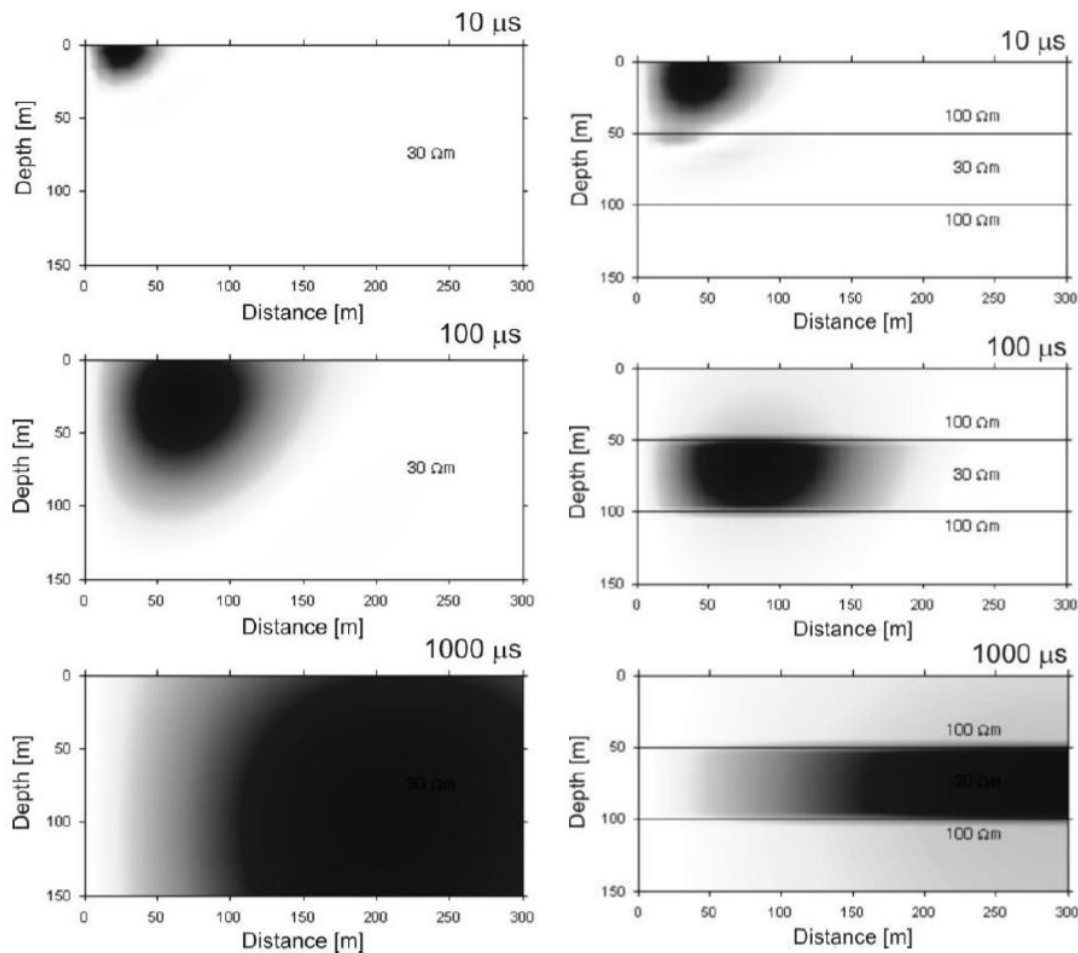
Vid det sena stadiet kommer mycket höga skenbara resistiviteter att erhållas i det tidiga stadiet då det stadiet approximeras likt den streckade linjen ($t^{-5/2}$) i figuren nedan. Det tidiga stadiet som här approximeras infinner sig under en så liten tid att det kan bedömas ha en liten inverkan (Fitterman & Labson, 2005)



Figur 8: Log-log diagram som visar den uppmätta spänningen som funktion av tiden för en transient (McNeil, 1994)

Ju snabbare strömmen stängs av desto snabbare förändras magnetfältet och en högre spänning uppkommer, allt enligt Faradays lag. En kort tid efter att strömmen stängts av kommer den att diffundera nedåt och utåt i marken med virvelströmmar och avta med tiden. Enligt Christiansen, Auken och Sørensen (2009) förflyttas strömmens maximum asymptotiskt med en vinkel på 30° från horisontalplanet, likt Figur 5. Diffusionshastigheten är beroende på markens konduktivitet. Vilket betyder att ett lager med hög resistivitet kommer ge en hög diffusionshastighet och därmed inte ge

tillräcklig information om lagrets material och sammansättning. Följaktligen fungerar TEM-sonderingar bäst i konduktiv mark, och då med resistiviteter under 150 ohm-m (Christiansen, Auken & Sørensen, 2009). För att underlätta förståelsen av dessa företeelser visualiseras de i Figur 9 nedan.



Figur 9: Tre olika tidsprofiler där mörkare färg anger högre strömdensitet. Tidsprofilerna är normaliserade så att de visar samma maximivärde.

T.v: Strömmaximum rör sig nedåt och utåt,

T.h: Strömmaximum rör sig nedåt och utåt i en trelagers modell, strömdensiteten är betydligt högre i det konduktiva mellanliggande lagret (Christiansen, Auken & Sørensen, 2009).

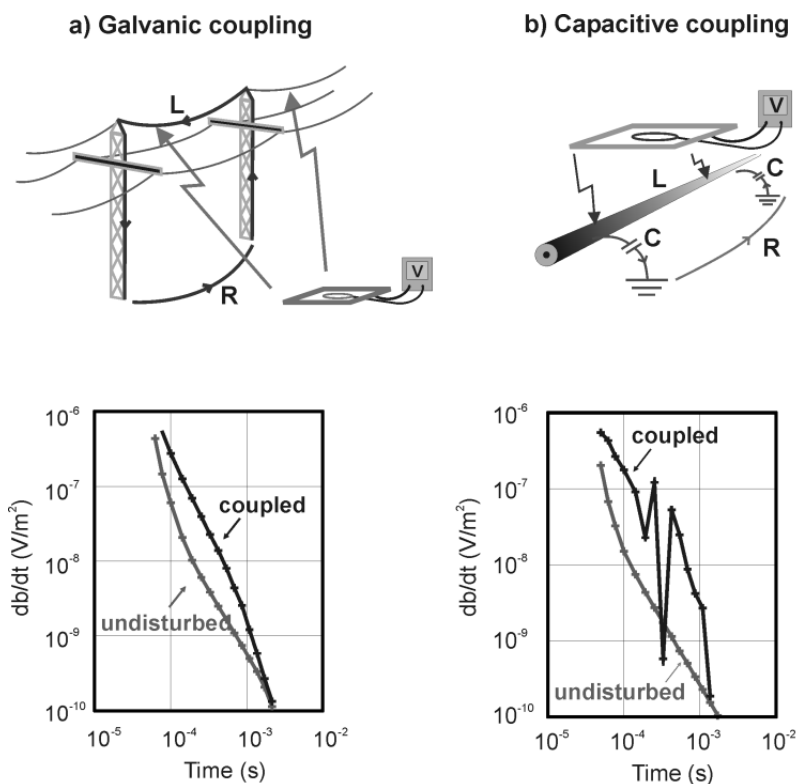
Ekvivalens- och undertryckningsprincipen är alltid närvarande och måste tas i beaktning. De två fenomenen finns beskrivet i kapitlet för inversionsteorin, kapitel 2.3.

2.2.3 Kopplingar

TEM är en känslig geofysisk metod som främst är känslig för elektriska och magnetiska fält. Dessa fält syns i så kallade kopplingar i signalen. Om inte kopplingar är identifierade fås en felaktig tolkning av geologin. De olika kopplingarna är galvanisk och kapacitiv koppling och det behövs ett säkerhetsavstånd mellan sondering och kopplingskällor som luftburna ledningar, nedgrävda kablar, metallstaket, elektrifierat staket, tågräls mm (Christiansen, Auken & Sørensen, 2009). Figur 10 visualiserar de olika kopplingarna och hur de kan identifieras.

Galvanisk koppling är den svåra av de två att identifiera och sortera ut eftersom signalen förstärks av närliggande elektriska ledare. För att kunna identifiera denna typ av koppling är det enklaste sättet att jämföra sonderingen med sonderingar i närheten, tyvärr är detta krångligt då anomalin kan komma av geologiska strukturer. Ett väl tilltaget säkerhetsavstånd på mer än 100 meter från kraftledningar, elstängsel och andra störande elektriskt ledande objekt bör tas (Christiansen, Auken & Sørensen, 2009). Viktigt för kommande analyser är att vid högre resistivitet i markytan ökar säkerhetsavståndet då en högre resistivitet minskar strömdensiteten. Kapacitiv koppling uppkommer från metalliska föremål som nedgrävda kablar och är lätt att känna igen och sortera ut på grund av sin oscillerande karaktär (Christiansen, Auken & Sørensen, 2009).

Störd och korrupt data kan inte användas och bör gallras bort. I fallet med störd data från kapacitiv koppling kan ibland enbart de störda gatesen sorteras bort och del av data kan bli användbar.



Figur 10: Galvanisk a) och kapacitiv b) koppling med tillhörande datakurvor (Christiansen, Auken & Sørensen, 2009).

2.3 Inversionsteori

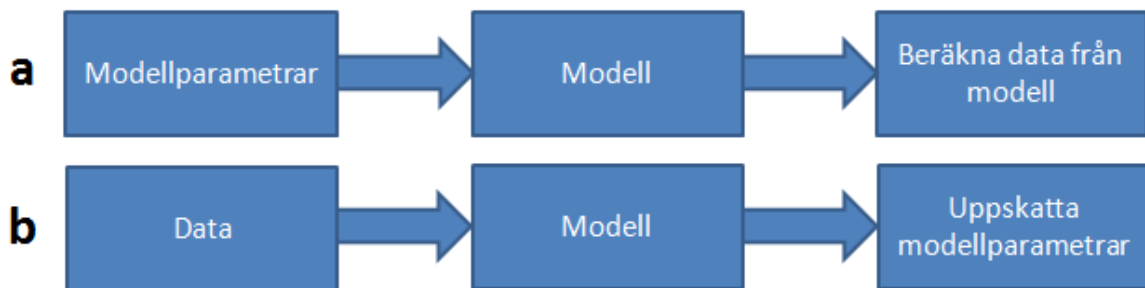
Inversionsteorin nedan är skriven med mer fokus på ERT än på TEM.

Syftet med invers numerisk modellering, inversion, är att skapa modeller baserat på uppmätt data. I detta fall handlar det om att uppskatta fördelningen av resistiviteten i marken. Mätdata i form av skenbara resistiviteter ger endast en kvalitativ och översiktlig bild som inte kan tolkas geologiskt.

Nedan i Figur 11 följer en definition av begrepp (Menke, 1989):

(a) Modellrespons innebär att prediktera data med hjälp av en känd modell.

(b) Inversmodellering innebär att uppskatta en modell av en okänd fördelning av resistivitet utifrån kända data.



Figur 11: Illustrering av (a) modellrespons och (b) inversmodellering

Med framåtmodellering, vilken ger modellresponsen, menas i detta fall en känd modell med specificerad resistivitetsfördelning vars syfte är att beräkna en syntetisk pseudosektion (skenbar resistivitet). Vid inversmodellering är pseudosektionen med skenbara resistiviteter känd och syftet är att uppskatta den okända resistivitetsfördelningen i marken.

Det finns många olika tänkbara modeller som kan ge upphov till snarlika eller nästan identiska mätdata. Vilket betyder att det är omöjligt att hitta en "sann" modell. Svårigheter med icke-unika modeller tas upp nedan:

Mätningar med större elektrodavstånd (likt de som använts i studien) påverkas av strukturer horisontellt från mätlinjen vilket betyder att uppmätta datapunkter är influerade av variation i resistivitet utanför mätlinjen eftersom mätningar utförs likt en halvsfär i marken. Vid passning av datapunkter till en 2D-modell uppkommer vissa svagheter som kallas för 3D-effekter. (Loke, 2013).

En modell är heller aldrig unik i meningen att flera modeller kan framställa samma modellsvar. Dessa tvetydligheter kommer från två principer som kallas ekvivalensprincipen och undertryckningsprincipen. Undertryckningsprincipen betyder att ett relativt tunt lager med en resistivitet mellan två lager ovan och under kommer undertryckas om inte mäktigheten på lagret är stor. Ekvivalensprincipen betyder att två olika lager kan tolkas som ett och samma om produkten mellan tjocklek och resistivitet är densamma (Heacock, 1977).

Genom att använda annan känd information, t.ex. djup till en lagergräns från borrhning, för att avgränsa variationsmöjligheterna och styra upp modellen kan man minska osäkerheterna dramatiskt.

3 Metodik

De föreslagna profilerna från SGU och WSP har utvärderats, beskrivits och mätts med hjälp av den beskrivna metodiken nedan. Åtta profiler har utvärderats och reducerats till två profiler i SGU-samarbetet, detta för att inkludera intressant geologiska strukturer i mätningarna. I samarbetet med WSP är två profiler planerade för geofysisk undersökning.

Använda datorprogram genom projektet redovisas med en kort beskrivning i bilaga 1.

3.1 Förstudie

Områdena utvärderas med hjälp av geografiska informationssystem (GIS) med mjukvaran ArcMap. De kartor som används vid utvärderingen i GIS är terrängkartan, fastighetskartan, översiktskartan och ortofoton från Lantmäteriets GET-tjänst (Geographic Extraction Tool). I fält är strävan mot så få störningsmoment som möjligt. Vid utvärdering av kartmaterial görs följande kontroller som gör det lättare att i fält kontrollera de fysiska förutsättningarna:

1. Störningsmoment för geofysisk metod (gäller främst för TEM)
 - Vägar, byggnader och andra strukturer
 - Järnväg
 - Vindkraftverk
 - Kraftledningar och andra källor till elektriska fält
 - Nedgrävda ledningar
2. Framkomlighet i terräng hos respektive profil

Förstudien skapar ett underlag som underlättar fältrekognoseringen genom att undvika de större fysiska störningsmomenten.

3.2 Fältrekognosering

Fortsättningen på utvärderingen är att göra en rekognosering ute i fält för att undersöka de fysiska förutsättningarna i fält. Aspekter som undersöks är framkomligheten i fält med utrustning och möjliga störningskällor som taggtråd, stängsel och annat som kan försvåra mätningarna och uppställningen av utrustning. Profilens sträckning undersöks till fots för att inte stöta på oväntade hinder genom terrängen. Vid närhet eller kontakt med möjliga elektriska kopplingskällor antecknas avståndet för att vidare utvärdera hur stort säkerhetsavstånd som behövs för att inte riskera kopplingar i TEM-mätningarna. Resistivitetmätningar är relativt robusta vad gäller störningar, möjliga störningar från strömkällor bör dock noteras. Rekognoseringen genomförs med fotodokumentation och en förberedd hand-GPS.

De profiler som bedöms vara genomförbara eller möjliga med mindre justering eller eventuell omplacering tas i fortsatt beaktande. I samarbetet med SGU valdes två profiler att ingå i studien. Utöver dessa två profiler genomförde SGU ytterligare resistivitetmätningar i deras hydrogeologiska kartläggning men som inte ingår i denna studie.

Fältrekognoseringen med WSP och Hans Jeppsson, utfördes efter att profilernas läge i princip var bestämda. Ute i fält kontrollerades störningsmoment i terrängen och hur i bästa mån nedgrävda ledningar kunde undvikas efter studerat medhavt kartmaterial över nedgrävda ledningar från WSP.

Rekognoseringen utfördes i början på mars för att fältarbetet helst skulle komma igång så tidigt som möjligt. Detta för att inte förutsättningarna skulle hinna ändras nämnvärt med tanke på vårbruk, betesdjur och övrig växtlighet.

3.3 Förväntningsmodell

Efter fältrekognosering utvärderas profilerna igen med avseende på genomförbarhet och om det tros bli ostörda resultat från mätningarna efter de fysiska förutsättningarna med tanke på kopplingskällor. Förväntningsmodeller upprättas för de valda profilerna som ska undersökas.

Verktyg för utformning av förväntningsmodeller är: jordartskarta, bergartskarta och hydrogeologisk karta, alla med tillhörande beskrivning från SGU, jorddjupskarta från SGU, topografisk karta samt data från borrhål. Det existerar ingen hydrogeologisk karta i mer detaljerad skala över området än de som finns i länsvis skala, Skåne Län, vilket är i skala 1:200 000. Med hjälp av brunnsarkiv och förväntningsmodell fås en bra bild av förväntad geologi. Det hjälper till att bedöma de hydrogeologiska och geologiska förhållandena i området för profilerna.

3.4 Inför fältkampanj

Efter att förväntningsmodeller är upprättade ska markägarkontakt tas för att beträdande på privat mark kräver ett godkännande från markägare. Uppgifter om markägare är lagrade och uppdaterade i SGU:s interna databas. I fall där markägare är onåbar eller där stiftelser och andra organisationer äger marken kan det vara svårt att få kontakt med markägare, då kan kontakt tas med närliggande fastigheter och grannar.

Före fältarbete bör inventering av material göras för att försäkra att all nödvändig utrustning finns och är i gott skick. Det är bra att planera fältarbetet och sammanställa en tidplan. En ledningskoll över nedgrävda ledningar bör göras strax efter att valda profiler har blivit upprättade för att i bästa mån kunna undvika nedgrävda och luftburna ledningar under mätning. Förfrågan om ledningskoll sker via ledningskollen.se. I samarbetet med WSP var en ledningskoll utförd innan fältrekognosering då det var bestämt exakt vilka profiler som skulle undersökas och mätas.

3.5 Fältmetodik

Utrustning och etablering hanteras med lätthet vid de flesta fältarbeten av två personer, vid ERT kan det vara bra att ha en tredje person för assistans för att påskynda utläggningsarbetet. Hjälpmedel som en hanterbar vagn eller en cykelkärra är att föredra i fält. En generell metodik för utrustning i fält, uppställning och fältmätning gällande resistivitetsmätningar, ERT, samt TEM-sonderingar beskrivs nedan.

3.5.1 ERT

Nedan följer en lista över utrustning i fält, etablering av utrustning i fält och hur fältmätning genomförs.

3.5.1.1 Utrustning

I studien har en Terrameter LS, 12 kanals-system, från ABEM Instruments AB använts. Kompletterande nödvändig utrustning som använts i fält för ett 4-kabelssystem, som använts på två profiler, är följande (8-kabelsystem har också använts med liknande teknik):

- **Mätutrustning**
- 4 st. elektrodkablar med fem meter mellan elektroduttagen och totalt 21 elektroduttag vardera
- 2 st. kabelsammankopplare (cable joints)
- 81 st. kopplingskablar, för koppling mellan elektrodskabel och elektrod (cable jumpers)
- 81 st. stålektroder
- 12V batteri med anslutningskabel till Terrameter LS
- **Övrigt:**
- Hand-GPS, Garmin GPSmap 60C
- Cykelkärra/vagn
- Kamera för fotodokumentation
- Hammare med PUR-hölje (Polyuretan) för utsättning av elektroder i marken
- GNSS-utrustning för inmätning av elektroder
- Stakkäppar
- Vatten och eventuellt kontaktmedel, Johnson Revert, för att förbättra elektrodkontakten med mark
- Walkie Talkie vid längre utlägg, svårare terräng, väder och vind

Rekommenderat är att alltid ha med ytterligare utrustning i fält: ett extra 12V batteri, extra elektroder, cable jumpers, cable joints och extra elektrodskabel. Det kan vara en god idé att ha en hel extra uppsättning elektrodskabel med tillhörande utrustning för att påskynda fältarbetet vid pågående mätning genom förberedelse för kommande stationsförflyttning.

Om ett 8-kabelssystem används utnyttjas en reläväxel (elektrisk kopplingsanordning) inklusive ett batteri av mindre storlek som strömkälla samt en separat kopplingskabel mellan reläväxel och Terrameter LS för kommunikation sinsemellan.

3.5.1.2 Etablering och fältmätning

Inför varje fältkampanj skapades en fördefinierad utgångspunkt och riktpunkt i medhavd hand-GPS för att möjliggöra skapandet av en rutt mellan punkterna. Målet är att profilen ska läggas på en så rak linje som möjligt varför stakkäppar sätts ut för syftning av profilen innan uppställning av utrustning.

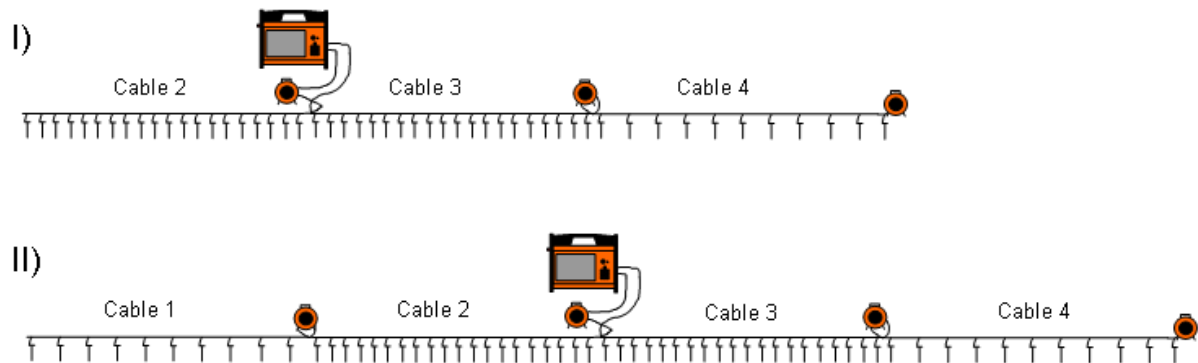
Mätningar har utförts dels med 10 meters elektrodavstånd, i samarbete med SGU, för att få ett större undersökningsdjup och dels med 5 meters elektrodavstånd, i samarbete med WSP, där undersökningsdjupet inte var av lika stor prioritet. Mätningarna genomfördes med elektroduppställning multipel gradient med tillhörande protokoll, GradientXL. Sändar- och mottagarinställningar kan ses i Bilaga 2.

Följande teknik med 5-meters elektrodavstånd har använts vid etablering av utrustning:

Första mätuppställningen hanterar tre kabellängder likt Figur 12 nedan varför endast tre längder läggs ut. Elektroder slås ner i marken och kopplingskablar kopplar samman elektrod med kabel på varje elektroduttag förutom på den sista kabeln där enbart vartannat uttag används för insamling av data. Terrameter LS kopplas sedan in mellan kabel 1 och 2. Det fördefinierade projektet med tillhörande protokoll väljs och startas upp med ett automatiskt elektrodtest för att kontrollera att elektrodkontaktarna är godkända enligt ett tidigare inställt värde (se ”bad electrode” och ”fail electrode” i bilaga 2). Elektrodtest startar endast om utrustningen är rätt kopplad och uppställd enligt protokoll.

Vid höga elektrodkontaktsmotstånd eller icke anslutna elektroder och felmeddelande om negativa resistiviteter längs mätning utfördes följande justeringar:

- Kontroll av elektroder och kopplingskablar.
- En extra elektrod kan användas, alternativt kan kopplingskabel bytas ut eller justeras
- Addering av vatten och eventuellt kontaktmedel (Johnson Revert)



Figur 12: Elektroduppställning vid första (I) och andra (II) mätupställningen (Dahlin, 2014)

För att spara tid i fält kan uppställning 2 (där alla fyra kabellängder hanteras) förberedas samtidigt som mätning på uppställning 1 pågår likt Figur 12 ovan. Vid ett fullt utlägg används enbart vartannat kabeluttag för insamling av data på första och sista kabeln.

Vid avslut av profilen används återigen enbart tre kabellängder enligt likadant resonemang som första mätupställningen.

Inmätning av elektrodernas position kunde utföras med GPS under pågående mätningar.

Liknande teknik användes vid etablering av uppställning med 10 meters elektrodavstånd. Vid fullt utlägg hanteras åtta kabellängder där varannan elektrod användes och där en reläväxel måste bidra med insamling av data genom en separat kopplingskabel till Terrameter LS.

3.5.2 TEM

Utrustning och etablering av mätutrustning samt mätteknik i fält har följts och förfinats efter beskrivningar från dels ABEM:s användarmanual för WalkTEM (ABEM Instruments, 2014) och dels från Grundvattenundersökningar i Skåne Transient Elektromagnetisk Sondering (Nilsson, 2013).

3.5.2.1 Utrustning

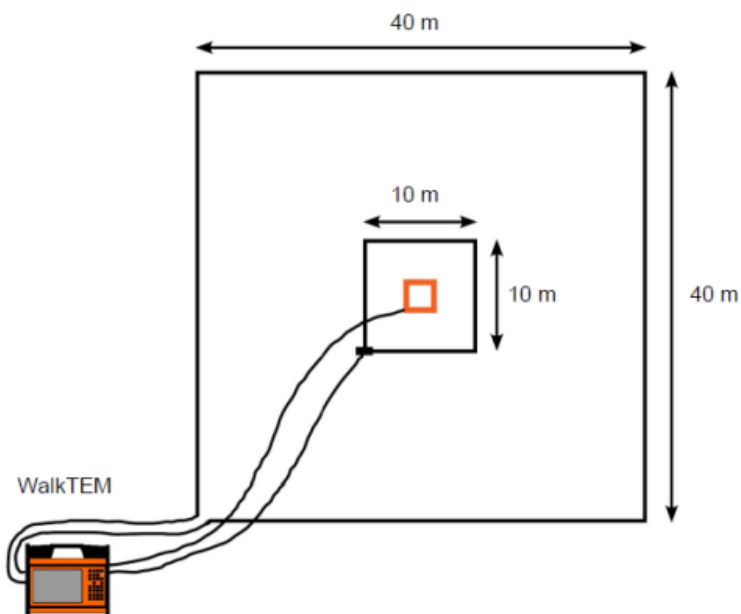
TEM-utrustning i fält:

- **Sändarspole:**
 - Tx-loop: TL-1k6 40 x 40 m²
 - Dämpningsmotstånd, 330 Ohm, kopplas parallellt med Tx-loopen
 - 3 meters förlängningskabel för Tx-loopen
- **Antenner/mottagarspolar**
 - RC-5, 0.5 x 0.5 m²
 - RC-200, 10 x 10 m²
- **Mätinstrument:**
 - WalkTEM från ABEM

- **Övrigt:**
- Ett 12V batteri med anslutningskabel till WalkTEM-instrumentet (ett eller två extra medtages)
- Måttband
- Tältpinnar av plast för etablering av sändar- och mottagarspolar, 8 till antalet
- USB-minne, datormus och tangentbord med USB-kontakter
- Förberedda mätprotokoll för fältanteckningar (Se bilaga 3 för ett exemplar av ett ifyllt protokoll)
- Hand-GPS, Garmin GPSmap 60C
- Cykelkärra/vagn
- Kamera för fotodokumentation

3.5.2.2 Etablering

Mätningarna genomfördes dels i öppen terräng och dels i tät vegetation med en 40 x 40m² sändarloop. Figur 13 visar uppställning av utrustning.



Figur 13: Konfigurationen visar en färdig uppställning av utrustningen i fält med en 40 x 40 m² sändarloop med två individuella mottagarloopar (ABEM Instruments, 2014).

Inför varje fältkampanj skapades en fördefinierad utgångspunkt och riktpunkt i en hand-GPS, detta för att möjliggöra en rutt mellan punkterna där varje sondering kunde placeras på ett förbestämt men ungefärligt avstånd från varandra. Då resistivitetsmätningar utfördes före TEM-mätningarna kunde profilen för ERT passa som utgångsmodell för TEM. Målet är att sonderingarna ska genomföras på ett jämnt avstånd efter varandra och inte avvika alltför mycket i sidled för att kunna skapa en bra 2D-modell vid visualisering av profilerna. Detta kommer inte alltid att vara möjligt på grund av yttre störningsmoment och ogenomtränglig terräng. Följande teknik med en 40 x 40 m² sändarspole har använts vid etablering av utrustning:

- 1) Bestäm mätplats varefter den mindre mottagarloopen, RC-5, läggs ut så att öppen terräng finns tillgänglig i vinkel från hörnen. Om möjligt välj en öppen yta på 10 x 10 m² för att slippa demontering av den större mottagaren, RC-200.
- 2) För att etablera hörnen på sändarloopen och den större mottagarloopen mäts avstånden upp med måttband. Måttbandet dras, och hålls sträckt, från borte hörnet av RC-5 och tangerar andra hörnet på RC-5:an. Avstånden som mäts upp är 28,5 meter och 7,4 meter från borte änden av RC-5:an. Vid dessa positioner trycks tälpinnar ner som markeringar.
Avstånden, x, är beräknade enligt följande:
 28,5 meter: *Halva hypotenusan hos sändarloopen + halva hypotenusan hos den mindre mottagarloopen, RC-5.*
 7,4 meter: *halva hypotenusan hos den större mottagarloopen + halva hypotenusan hos den mindre mottagarloopen, RC-5:*

$$x = \frac{\sqrt{a^2 + a^2}}{2} + 0,4$$
Sidorna hos RC-5 är 0,59 m och halva hypotenusan är 0,4 m.
a utgör sidorna på önskad spole som skall etableras.
- 3) Proceduren från punkt 2 upprepas till dess att alla hörn är etablerade och markerade.
- 4) Sändarloopen läggs ut genom att starta från en fördefinierad startpunkt. Änden på kabeln fästs vid startpunkten och fältpersonalen lägger ut sändarspolen i medurs riktning med tälpinnarna som hörn. Startpunkten och punkten för mätutrustningen är densamma genom alla gjorda sonderingar under studiens gång, nedre högra hörnet i profilens riktning.
- 5) Efter eller samtidigt som sändarloopen etableras kan den större mottagarspolen läggas ut. All kabel ska rullas ut från looparna och de ska ej ha något slack. Där kablarna passerar över spolarna ska de göra det så vinkelrätt som möjligt för att minimera störningar från elektriska fält.
- 6) Mätinstrumentet kopplas till extern kraft innan det startas upp. Kablar från mottagarspolarna ansluts till instrumentet. Sändarloopen ansluts via den 3 meter långa förlängningskabel, som är till för att minska störningarna från metallen i instrumentet, tillsammans med en resistor på 330 Ohm som parallellkopplas över sändarloopen anslutning. Varje storlek på sändarloopen har ett specifikt värde på dämpningsmotstånd som ska användas.
 Vid etableringen av alla tre spolar är det viktigt att riktningen blir rätt för att erhålla en positiv signal i mätningarna. Detta uppnås genom att spolarna läggs ut i medurs riktning. För att kontrollera om mätningarna ger positiv signal körs ett test innan ordinarie mätning. Röda markeringar i dB/dt-vyn indikerar att looparna är korrekt utlagda och genererar positiv signal.
- 7) All kringutrustning som kan ge störningar på mätningar, kapacitiva störningar, ska placeras på ett tilltaget säkerhetsavstånd från mätutrustningen.

Vid etablering av mätutrustning har teknik utarbetad av Nilsson (2013) använts.

3.5.2.3 Fältmätning

När utrustningen är etablerad kan instrumentet förberedas inför mätning. I WalkTEM-enheten finns en inbyggd Windows XP-dator installerad med mjukvaran WalkTEMUI (WalkTEM User Interface) som startas automatiskt när instrumentet startas. Gränssnittet är lätthanterligt och det tar inte lång tid att lära sig att navigera, skapa projekt och starta en mätning. Det finns även en inbyggd GPS-enhet i instrumentet, där positionen för varje sondering lagras tillsammans med mätdata. Det finns en applikation som frågar om mottagarlooparna är centrerade i sändarloopen eller inte. I fall där de inte är centrerade kan en offset matas in, annars lämnas dessa fält med nollor.

En TEM-sondering styrs från fördefinierade mätskript som finns inlagda i mätinstrumentet. Ett skript innehåller information om mjukvaran och hur mätningen skall genomföras såsom information för de olika sändarmomenten, antalet stackningar och tiderna då signalen skall mätas. Ett annat skript innehåller information om hur hårdvaran skall ställas in inför varje mätning såsom hur lång en gate ska vara och hur stor den effektiva mätarean är för varje mottagarpole. Skripten redovisas i bilaga 4 och 5.

I denna studie har skriptet, DualMoment_10ms_32gates, från ABEM använts genom alla mätningar. Mätningar körs utifrån information från skriptet och de är för högt moment, lågt moment och för brus. Då mätningar sker med två individuella mottagarpoler fås sex enskilda mätresultat per station som är indata för varje sondering.

I skriptet körs 15 cykler med en tidsåtgång på 1080 sekunder (15 minuter). I varje mätcykel sker en stackning för högt moment och lågt moment (för ett diversifierat undersökningsdjup) samt brus på respektive 500 stackningar, 1080 stackningar och 500 stackningar. Frekvensen för det höga momentet är 25 Hz och frekvensen för det låga momentet är 225 Hz.

Innan ordinarie mätning kan ett testskript startas för att kontrollera om signalerna är positiva och om utrustningen är korrekt och konsekvent utlagd. Om testet ger positiva resultat och acceptabla grafer kan rätt projekt, ordinarie skript, antalet cykler och rätt kanaler ställas in och mätningen kan startas.

3.6 Databearbetning

För framställning av resultat har en rad program och tekniker använts för de två olika geofysiska mätmetoderna. Nedan beskrivs databearbetningen för ERT och TEM separat.

Databearbetning omfattar:

- Export av data från instrument
- Processering av mätdata
- Inversion av data
- Visualisering av resistivitetsmodell

3.6.1 ERT

Export från Terrameter LS görs via programmet Terrameter LS Toolbox. Innan data exporteras adderas topografi genom en extern men unik fil för varje profil. Data exporteras i .dat-format till det användarvänliga programmet Res2Dinv där processering och invertering utförs.

Den icke processerade .dat-filen kontrolleras för datapunkter som är uppenbart felaktiga, punkter som är störda av brus eller negativa resistiviteter. Dessa punkter kan tas bort med försiktighet. Om höga kontaktmotstånd eller negativa resistiviteter inte varit ett problem genom mätningarna är det vanligtvis inga större problem med defekta datapunkter i resistivitetsmätningarna.

För att skapa en modell av uppmätta värden körs invertering i Res2Dinv. Inställningar för inversion är bifogat i Bilaga 6.

Ur den färdiga inversionsmodellen väljs den iteration med lägst residual (iterationen med lägst avvikelse mellan uppmätta data och syntetiska modellsvar) för export i Lund-format "Lund format file" (.rho) för vidare visualisering i Erigraph.

I Erigraph väljs en passande skala för resistivitetspektrat. Vidare kan resistivitetsmodellen redigeras i ett bildredigeringsprogram för att underlätta tolkning av resultat.

Tekniken som använts vid databearbetningen från resistivitetsmätningar har utarbetats av ABEM Instruments (2012).

3.6.2 TEM

Programmet ViewTEM har ett lätthanterligt användargränssnitt som används för att processera, invertera och påvisa korrupt och felaktig transient elektromagnetisk data. Varje projekt, innehållande sonderingar från profilen i fråga, lagras i en databas kallad Gerda Database (GDB).

I ViewTEM kan mätpunkter som avviker tas bort. Att mätdata avviker kan bero på brus eller kopplingar. Mätpunkter från sonderingar som har blivit mycket störda av koppling tas bort. Mätpunkter som innehåller mindre avvikelser men som tycks användbara kan ges en större standardavvikelse, vilket kan ses som en ökad osäkerhetsnivå, och får inte lika stor betydelse vid inversion. Varje sondering innehåller 6 stycken kanaler där den större och den mindre mottagarloopen är uppdelade i de olika kanalerna högt moment, lågt moment och brus.

Inversionsberäkningar och modellanpassning av sonderingar utförs i ViewTEM. En snabbinversion utförs på bearbetad data som resulterar i två modellanpassningar, smooth model (20 lager) och layered model (5 lager). En begränsning sätts på smooth model, två intilliggande lagers resistivitet kan ändras med en faktor på högst 4 (loose), 2 (normal) eller 1,5 (tight). Lagermodellen (layered model) har få lager och inte några begränsningar på tjocklek.

En optimerad inversion av lagermodellen görs för att arbeta fram verklighetstroga gissningar för en modell med färre lager då en modell med fem lager ofta har en större standardavvikelse i de flesta lager. Avsikten är att en modell av verkligheten ska mynna ut efter inversion som har bra passning mot mätdata och som har låga standardavvikelser för varje lager för resistivitet, lagertjocklek och djup.

Färdiga inversionsmodeller från de sonderingar som var inverterbara markeras för export som en .xyz-fil (kolonn fil). De exporterade filerna finns i databasen för gällande projekt som sedan vidarebearbetas med Aarhus Workbench.

Aarhus Workbench är ett visualiseringsprogram för geofysisk data och kan även processera och invertera data från vissa geofysiska metoder. De 1-dimensionella modellerna från ViewTEM kan med hjälp av interpoleringar mellan sonderingar bygga upp längre 2-dimensionella profiler.

Topografi inkluderas i sonderingarna via en grid-fil, .grd, innehållandes x, y och z-värden där z-värden interpoleras och en yta med de sanna interpolerade höjderna skapas. Interpoleringen i Aarhus Workbench skapar en DEM, Digital Elevation Model, och kan senare inkluderas i de långsträckta 2D-profilerna. Höjddatabasen är från svenska lantmäteriet.

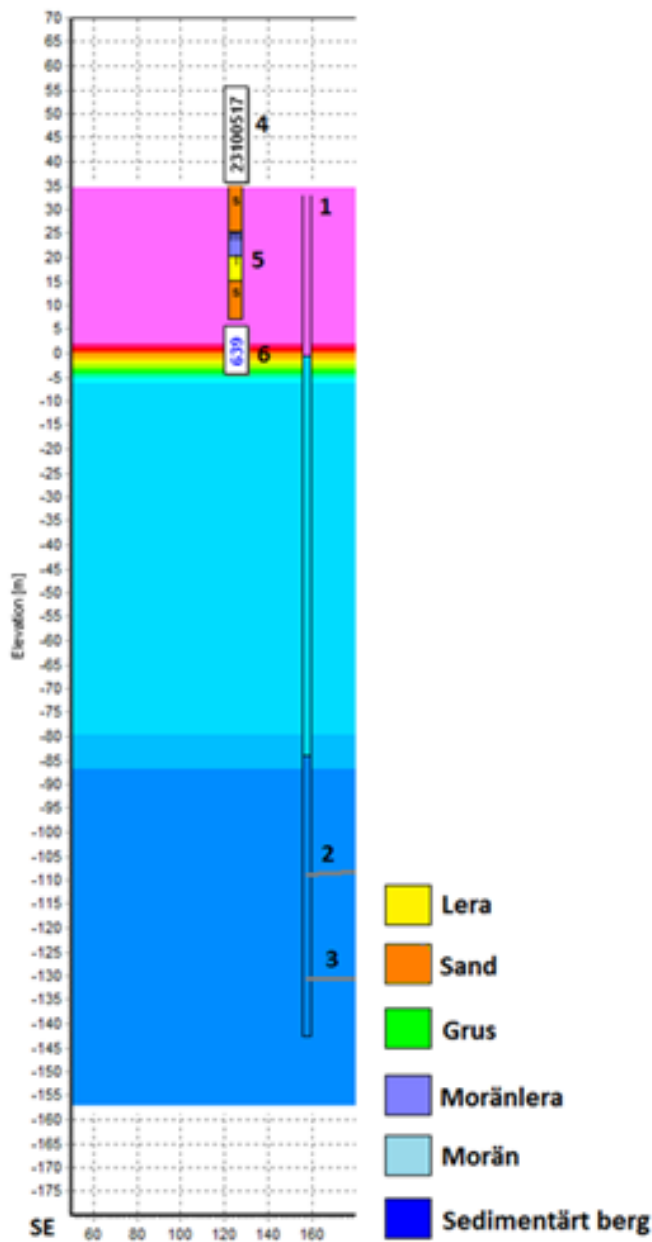
3.7 Tolkning och presentation av resultat

Resultat från de färdiga inversionsmodellerna ger en bild av hur fördelningen av resistiviteten i marken ser ut. Det är inte egentliga sanningar av hur marken under ytan ser ut, då verkligheten är otroligt komplex. Resultaten har analyserats och tolkats från den bakgrundsinformation över området som finns, exempelvis de upprättade förväntningsmodellerna över mätlokalerna, borrhålsdata med mera.

Använd geologisk- och hydrogeologisk information är hämtad från SGU:s publikationer; jordartskartan Ae nr 99, berggrundskartan Af nr 214, karta över grundvattnet i Skåne län Ah nr 15, samt tillhörande beskrivningar till kartbladen. Jordlagrens mäktighet har observerats och hämtats från jorddjupskarta över sydvästra Skåne Ba nr 28.

Kart- och brunnsmaterial från SGU med hjälp av Figur 3, som på ett sätt beskriver resistivitetsintervallet för olika geologiska material (bergarter och jordartsmaterial), användes för att tolka resistivitetsprofilerna geologiskt och hydrogeologiskt.

Resistivetsprofilerna för ERT har en förklaring under respektive figur för att möjliggöra tolkning av vilken färg som representerar vilket resistivitetsintervall. I Figur 14 nedan visas resultat från en TEM-sondering med tillhörande förklaring för att underlätta tolkning av resultat från TEM-mätningar.



Figur 14: Visualisering av resistivetsmodell och brunnborrning gällande TEM med följande förklaring nedan

1. Utförd sondering där stapeln visar värden för resistivitet enligt färgkodning.
2. Övre gräns för penetrationsdjup i gällande sondering, data ovanför den tunna grå linjen kan anses säkra utifrån tolkning.
3. Undre gräns för penetrationsdjup i gällande sondering. Området mellan den övre och undre gränsen kan användas men med stor försiktighet. Data under den tunna grå linjen bör ej tolkas.
4. SGU:s brunn-ID för aktuell brunn.
5. Lagerföljder för aktuell brunnborrning där färgkodningen är likt jordartskartor från SGU. Se Figur 14 för beskrivning av färgkod.
6. Brunnborrningsens sidoavstånd från profilen i meter.

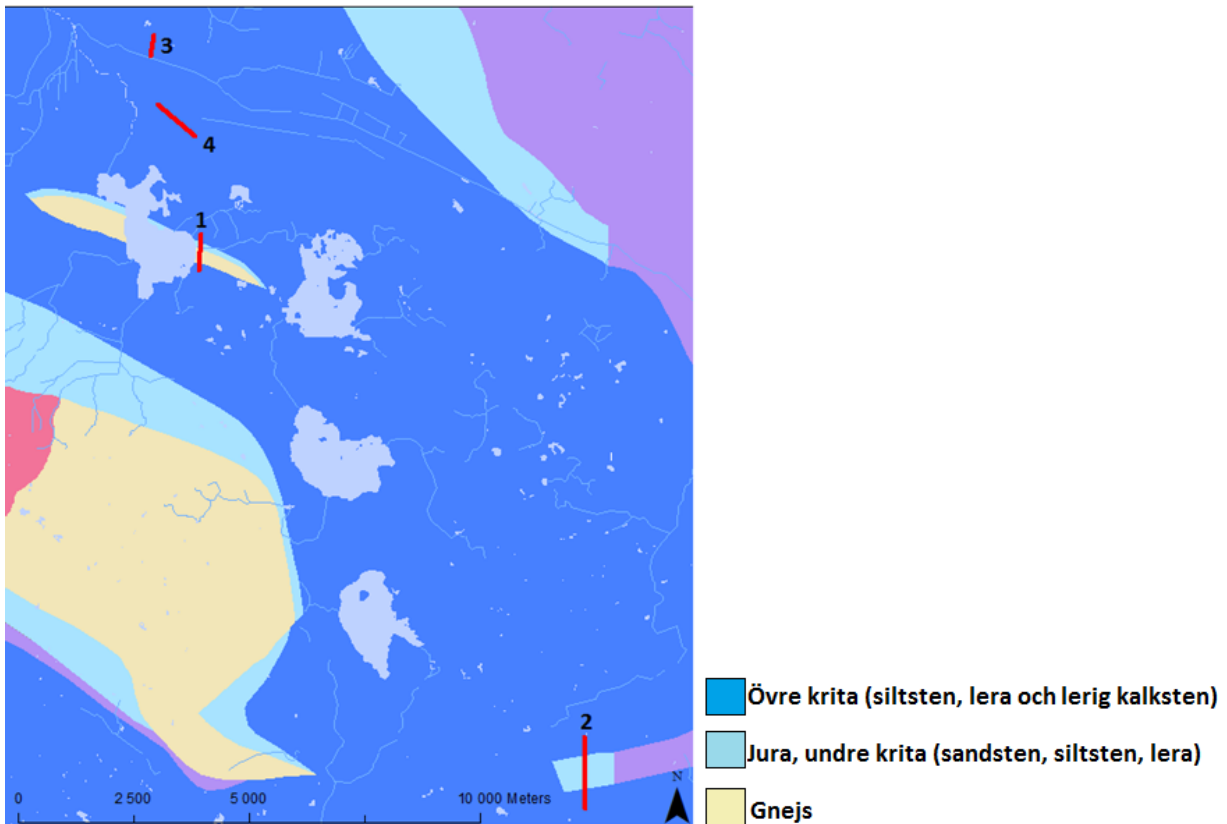
Använda brunnborrningar presenteras i bilaga 7. Koordinater för resistivetsprofilerna och TEM-sonderingarna presenteras i bilaga 8.

Ledningskoll över respektive profils område gjordes innan fältkampanj för att i bästa möjliga mån kunna undvika nedgrävda och luftburna ledningar. Ledningskoll via ledningskollen.se har gjorts över profil 1 och 2 och en ledningskoll över profil 3 och 4 har erhållits av WSP. De kan ses i sin helhet i bilaga 9.

Resultaten från TEM och ERT är uppdelade på de olika profilerna. Inversionsresultat från TEM-sonderingarna presenteras i sin helhet i bilaga 10.

4 Platsbeskrivning

4.1 Regional geologi



Figur 15: Profilernas läge på modifierad berggrundskarta med hydrografflinjer över området. Färgkodningen är likt berggrundskartor från SGU. Kartunderlag är Berggrundskartan (SGU Af 214) samt terrängkarta (Lantmäteriet, 2014)

De södra och centrala delarna av Vombsänkan innehållandes alla profiler, om än något utspridda sådana, begränsas av Romeleåsen till väster, Fyledalens förkastningszon till öster och än mer till öster Linderödsåsen. Berggrundens rörelse genom tiden har i stort skett längs en nordvästlig förkastningszon varför Romeleåsen i sydväst och Linderödsåsen i nordost bildats. Berggrunden har en låg blottningsgrad då den östra delen av Romeleåsen nästan är helt jordtäckt men även på grund av vittring vid eventuell blottning av uppstickande berggrund. Vombsänkan är en sänka i urberget och har en relativt stor jordmäktighet, 40-60 meter (SNA, 1999).

Berggrunden i Vombsänkan är sedimentär och består till större delen av sandsten, kalksten och lersten från yngre, övre, krita (mörkblått i Figur 15) med äldre, undre, uppstickande partier med liknande sedimentära bergarter från jura (ljusblått och ljusgult i Figur 15). Bergets sammansättning och vattenkvot är svår att uttala sig om. Det sedimentära berget förväntas vara av en finkornig bergmassa.

Med Romeleåsens utbredning i väster och i viss mån Linderödsåsen i öster kan det antas att det sker en tillrinning till området i Vombsänkan och då att grundvattenytan ligger relativt ytligt på sina ställen. Det finns flertalet större sjöar och ett stort antal åar i området. I sänkor, i områden med hög grundvattenyta och i igenväxta sjöar har kärr växt fram. Utifrån jordartskartan kan det ses att svämsediment, som ofta består av sorterade sediment från ler upp till grus, är ofta förekommande ovanpå kärr där vattendrag finns och funnits tidigare. Enligt Daniel (1992) har svämsediment avsatts i postglacial tid under perioder med stark vattenföring.

De övre jordlagren är ofta mycket svåra att skilja på och Daniel (1992) menar att mäktigheten sällan överstiger 5 meter. I terrängens lägre delar är ofta mäktigheten större än i terrängens högre delar. Utbredningen av intermoräna avlagringar som finsand och sand påträffas sannolikt inom den dominerande underliggande moränen. (Daniel, 1992)

Från kartmaterial över området framgår det att utbredningen av de glaciala finkorniga sedimenten issjösediment och isälvsavlagringar är stor, främst i norra delen av området där det finns ett sammanhängande system av isälvsavlagringar. Gränsen mellan en isälvsavlagring och ett issjösediment är flytande och är mycket svår att urskilja (Daniel, 1992).

Söderut i området, i det så kallade backlandskapet, är glacial lera i markytan ofta förekommande. Längre norrut förekommer ofta den glaciala leran under isälvs- och issjösediment. De glaciala sedimenten utgörs av finkornigt material som silt och ler. De avsattes längre bort med strömmar från isälvsmyningarna (Daniel, 1992).

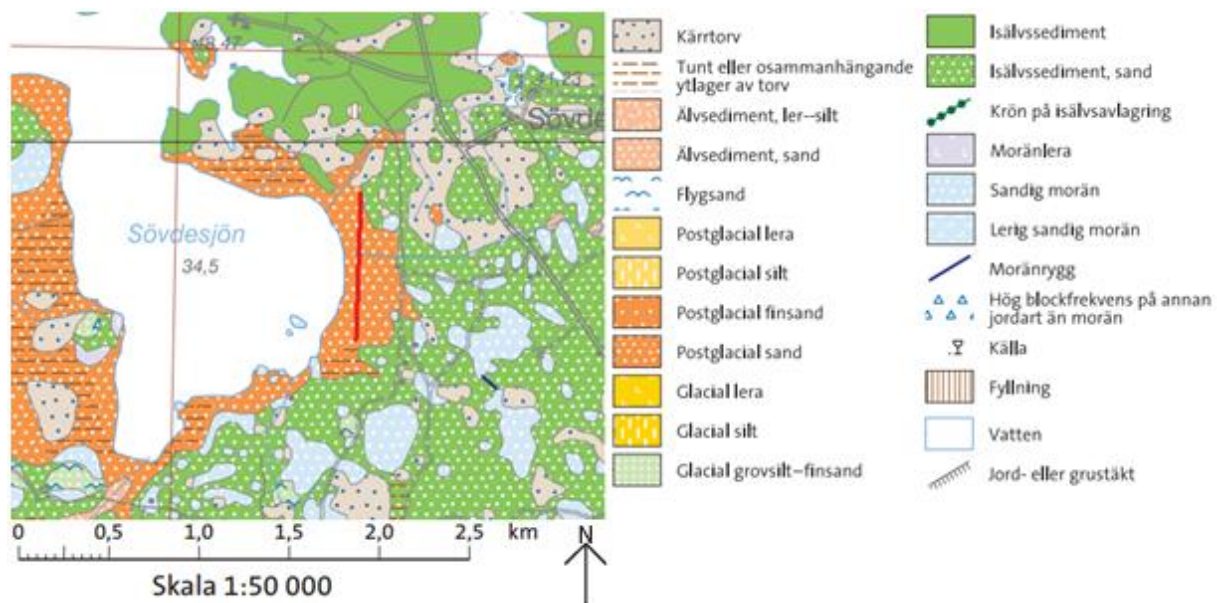
4.2 Profil 1 – Sövde

4.2.1 Beskrivning

Profilen är placerad omedelbart öster om Sövdesjön och sträcker sig med sina 800 meter från söder till norr genom en relativt plan terräng. Norrut begränsas profilen av ett mindre kärr. Söderut finns en glesare skog som definierade utgångsläget för profilen. Profilen korsar en mindre bäck på 5 meter och en ännu mindre, nästan uttorkad bäck, där ett icke elektrifierat stängsel föreligger.

Marken fungerar som betesmark för boskap, troligtvis kor, vilka inte hade gått på grönbeta vid mätillfällena. Ute på fältet fanns en stor förekomst av vildsvinshögar som i mindre skala begränsade framkomligheten.

4.2.2 Förväntningsmodell



Figur 16: Sträckning för profil 1. Färgkodningen är likt jordartskartor från SGU. Kartunderlag är jordartskartan (SGU Ae 99)

Underliggande berggrund längs profilen är intressant då det är sandsten eller kalksten från yngre krita med en mycket smal uppstickande prekambrisk berggrund i västlig-sydostlig riktning (se berggrundskartan i Figur 15). Utanför området för den uppstickande berggrunden är jordmaktigheten stor, uppgifter gällande jordmaktigheten har observerats i närliggande borrhål och från jorddjupkartan, och kan uppgå till 70 meter. Från jordartskartan (Figur 16) kan det ses att Sövdesjön omges av ett ytnära område postglaciala sandiga sjösediment. En strandkant utmed östra delen av sjön kunde anas vid fältrekognosering och utbreder sig troligtvis som ett intermoränt sediment under marken. De delvis torvtäckta sedimenten i norra delen av profilen utgör gamla bottensediment från tiden då sjön var betydligt större. Sövdesjön är i gränslandet från det stora området av isälvsediment norrut och det stora området lermorän som utbreder sig i backlandskapet söderut.

Flera mindre bäckar utgör tillflöden till Sövdesjön. Bäckarna som korsar profilen har i fält uppskattats vara 1 respektive 5 meter breda. Med denna närhet till sjön är det högst troligt att grundvattennivån ligger nära markytan.

Från den hydrogeologiska kartan (Ah 15) ses det att området har klassats som en sluten akvifer, överlagrad av morän, med en uttagsmöjlighet större än 25 l/s. I denna slutna akvifer anses tillrinningen till de troliga intermoräna lager komma främst från Romeleåsen som ligger i sydvästlig riktning från profilen men även från den öppna akvifer i isälvsavlagringen som ligger just norr om profilen vid Sövde där grundvattenuttaget har bedömts som mycket goda.

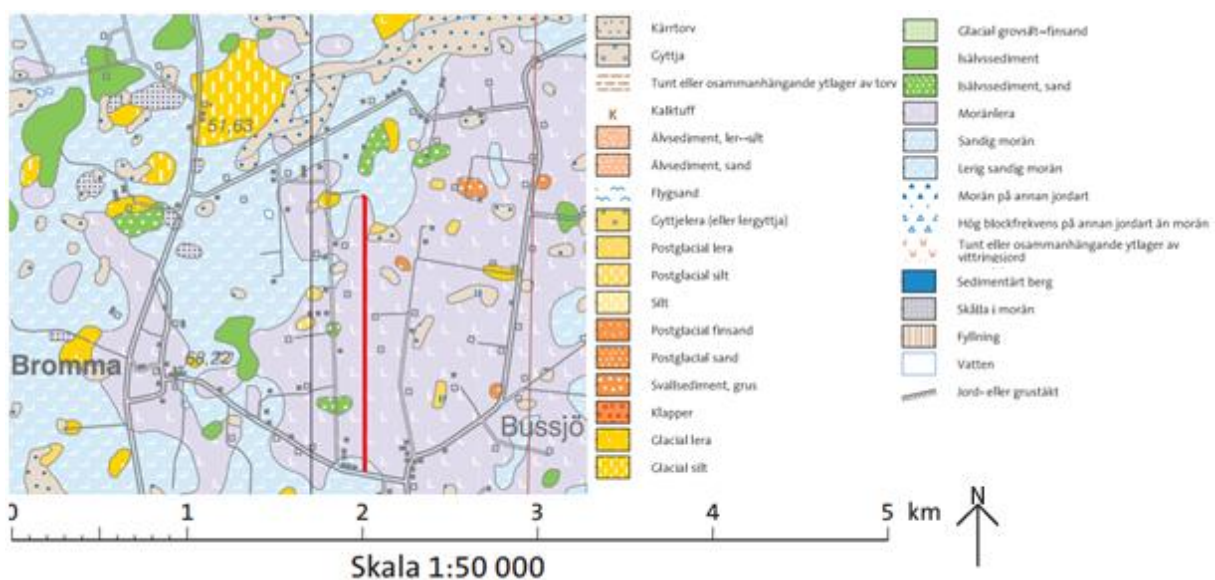
4.3 Profil 2 – Bussjö

4.3.1 Beskrivning

Profilen sträcker sig i en syd- nordlig riktning och är placerad just öster om Bussjö backe. Söderut begränsas profilen av Bygdegårdsvägen där profilens lågpunkt är. Terrängen i detta backlandskap är kraftigt kuperad, variationen i höjdled längs profilen är drygt 20 meter. Profilen är placerad över flera åkrar med olika markägare. Marken varierar från bördig åkermark till åker i träda där ingen gröda som är avsedd för skörd, bete eller gröngödsling får etableras innan 15 juli (Jordbruksverket, 2014).

Längs profilen korsar ett par luftburna elledningar som ställer till det för TEM-sonderingarna då ett väl tilltaget säkerhetsavstånd till ledningarna förespråkas. Dess läge kan ses i bilaga 9.

4.3.2 Förväntningsmodell



Figur 17: Sträckning för profil 2. Färgkodningen är likt jordartskartor från SGU. Kartunderlag är jordartskartan (SGU Ae 99)

Underliggande berggrund längs profilen i Vombsänkan är intressant då det är sandsten eller kalksten från yngre krita. Herrestadsryggen skjuter ut från Fyledaldens förkastningszon och korsar profilen (se berggrundskartan i Figur 15). Det är en smal, brant och äldre underjurassisk berggrund i västlig-sydostlig riktning med ett par hundra meters mäktighet. Fyledalens förkastningszon skiljer den yngre berggrunden i Vombsänkan från den äldre berggrunden i den s.k. Colonusskifferträget (Erlström, et al., 2004).

Terrängen är kuperad och jordmäktigheten har observerats i närliggande borrhål och jorddjupkartan och kan uppgå till 50-60 meter men den varierar kraftigt i denna del backlandskapet. De småkulliga moränformerna med mjukt rundade kullar dominerar. I sänkorna förekommer ofta torv eller vattenfyllda dödisgröpar. Daniel (1992) menar att förutsättningarna att påträffa intermoräna sediment

är goda och från SGU:s brunnarkiv har intermoräna sediment påträffats vid flera brunnborringar på 10-20 m djup runt området/profilen. Små isälvsavlagringar (grus- och sandavlagringar) sägs ha påträffats i markytan i området men dessa tillhör troligtvis de intermoräna sediment som sticker upp genom moränen som finns i området (Daniel, 1992).

Profilen är utlagd över ett område som klassats enligt den hydrogeologiska kartan (Ah 15) som en sluten akvifer, överlagrad av morän, med en uttagsmöjlighet större än 25 l/s. Grundvattenytan bör ligga relativt ytligt i den södra delen av profilen då profilen startar just väster om ett mindre kärr beläget i den lägsta terrängen i området. Just norr om profilen påträffas en mindre damm som tyder på att grundvattennivån ligger relativt ytligt i det området.

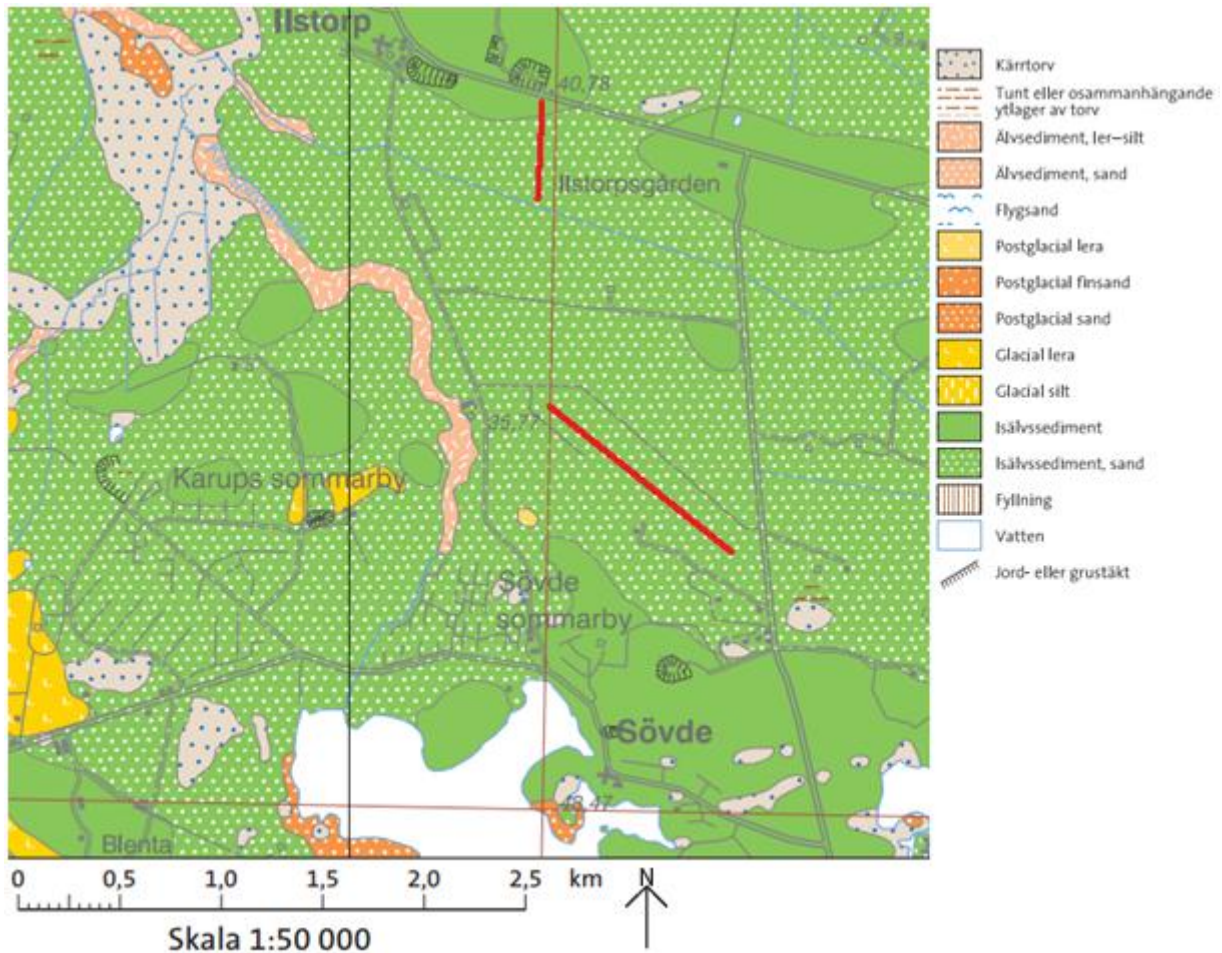
4.4 Profil 3 och 4 – Ilstorp och Sövde flygfält

4.4.1 Beskrivning

Profil 3 (Ilstorp) sträcker sig i nord- sydlig riktning och är placerad i ung björkskog som tätnar söderut. Topografin är jämn med enbart några meter i fallhöjd från norr till söder. I norr begränsas profilen av landsväg samt en stor grustäkt i Ilstorp och i söder av ett dike utgrävt från Klingavälsån. Öster om profilen finns bördig åkermark där restriktioner om att beträda marken fanns (efter att WSP varit i kontakt med markägare).

Profil 4 (Sövde flygfält) sträcker sig i sydost- nordvästlig riktning och är placerad på en 70 m bred gräsremsa mellan en motorbana och en segelflygbana på Sövde flygfält. Under motorbanan finns kablar för landningsljus och vid sidan om banan finns tunnare ej-elektrifierade vildsvinsstängsel. Inga kablar eller ledningar korsar profilens 1200 meter. TEM-sonderingarna placeras så tätt in på segelflygsbanan som möjligt för att få ett säkerhetsavstånd på åtminstone 30 meter till det mindre stängslet.

4.4.2 Förväntningsmodell



Figur 18: Ilstorp. Sträckning för profil 3 (norr) och 4 (söder). Färgkodningen är likt jordartskartor från SGU. Kartunderlag är jordartskartan (SGU Ae 99)

Det förväntas inga större variationer i berggrunden i denna del av Vombsänkan. Underliggande berggrund längs profilen är sandsten eller kalksten från yngre krita. Jordmäktigheten har observerats i närliggande borrhål och djup till berggrund kan uppgå till 60 meter vilket även framgår av SGU:s jorddjupskarta.

Profilerna är placerade inom ett benämnt grundvattenmagasin, Ilstorp. Från jordartskartan kan det ses att issjösediment dominerar i området. Just norr om Ilstorp är en stor grustäkt belägen då det i området antas finnas ytliga isälvsavlagringar med grovsediment vilket även jordartskartan (Figur 18) berättar om. Vid visuell inspektion av Klingavälsån som ligger söder om Ilstorp kan det antas att grundvattenytan ligger i höjd med kanalen vilket är 2-3 meter under marken. Likt profil 3 antas grundvattenytan ligga relativt ytligt på Sövde flygfält, vilket är 3-5 meter under marken. Från den hydrogeologiska kartan (Ah 15) ses det att underliggande berggrund, kalksten, har klassats som en utmärkt akvifer med goda uttagmöjligheter i sedimentärt berg med en mediankapacitet på 6-16 l/s. Samma karta har klassat grundvattentillgången i jordlager som ovanligt stor med ovanligt goda uttagmöjligheter större än 125 l/s.

I flertalet brunnsborringar i området kan det ses att under issjösedimenten och isälvsavlagringarna påträffas ofta finkornigare sediment som kan verka som en barriär gentemot grundvattnet och därmed kan området fungera som en god akvifer.

5 Resultat och analys

5.1 Profil 1 – Sövde

5.1.1 Mätresultat och analys

Profilens längd är 800 meter och är mätt med ett elektrodavstånd på 10 meter. TEM-mätningarna utfördes med ett sonderingsavstånd på 150-200 meter. Den första mindre bäcken med tillhörande icke elektrifierat stängsel var under rådande väder och klimat passerbar och ställde bara till det med tanke på transport av utrustning vid både resistivitets- och TEM-mätningarna. Den bredare bäcken på ca 5-6 meter inkluderas i mätningen genom att resistivitetselektrodena placerades just före och efter kanten på bäcken.

5.1.1.1 ERT

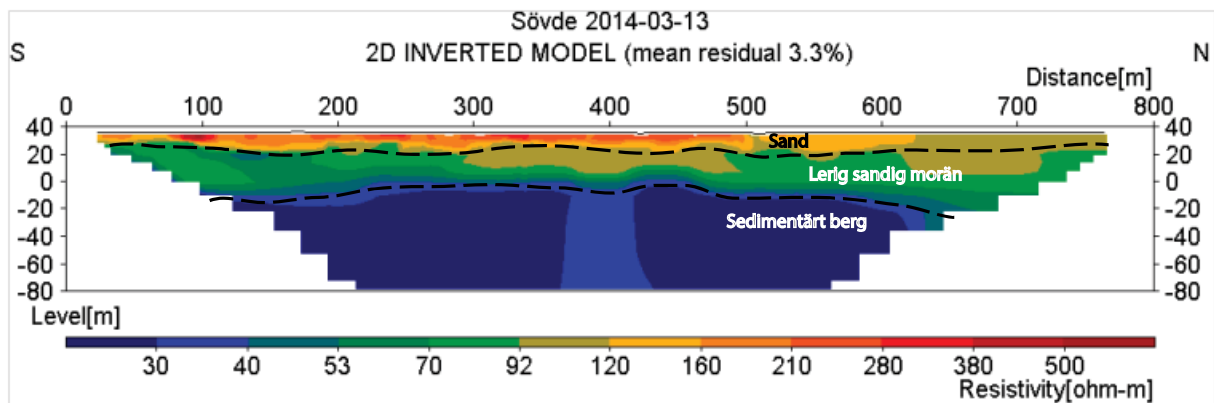


Figur 19: Linje för resistivitetsmätning. Profil 1 ovan ortofoto (Lantmäteriet, 2014)

Elektrodkontaktmotstånden var höga till följd av att det ytligaste lagret var sandigt och att marken var torr. Konfigurationsfilen (spread-filen), specifik för 10 meters elektrodavstånd, visade sig ha ett litet fel som medförde att en elektrod inte kunde användas, vilket justerades inför kommande fältmätningar.

Då resistivitetsmätningarna utfördes med ”roll-along” teknik och sista stationen (åt norr) inte hanns med under fältdagens ramar saknas data för kortaste elektrodavståndet de sista 200 metrarna. Detta bedöms dock inte påverka resistivitetsmodellen i någon större omfattning.

Mätdata innehöll en del brusiga datapunkter, varav en del med negativ resistivitet, vilka redigerades bort före inversionen. En dataresidual på 3,3 % erhöles på inversionsmodellen.



Figur 20: Resistivitssektion 1 ERT med geologisk tolkning

Resultatet från resistivitsprofil över Sövde i Figur 20 ger indikationer på tre horisontella lager med tanke på resistivitsfördelningen:

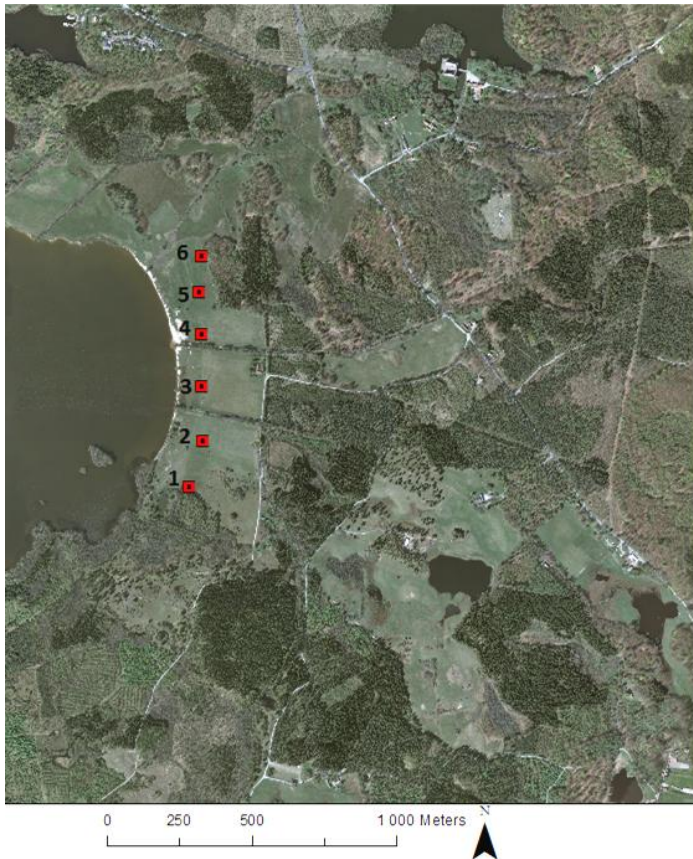
Ett osammanhängande högresistivt ytlager på 120-500 ohm-m med en mäktighet på 5-15 meter. Ett mellanliggande lager på 50-120 ohm-m med en lagertjocklek på 15-30 meter. Ett tredje lager med en resistivitet under 40 ohm-m med en mäktighet på 60-80 meter.

Baserat på förväntningsmodell och borrhålsinformation görs följande tolkning från indikationer på resistivitsmodellen:

Ytlagret är med stor sannolikhet omättad sand med resistivitet över 200 ohm-m. Grundvattenytan tros befinna sig relativt ytligt längs profilen och således finns mättad sand med något lägre resistiviteter under grundvattenytan. Detta sandlager tros befinna sig ovan den stora utbredningen av isälvsediment varvat med lermorän som kan ses från jordartskartan innehållandes de grövre kornfraktionerna grus och sand vilket någorlunda överensstämmer med resistivitsfördelningen hos det mellanliggande lagret.

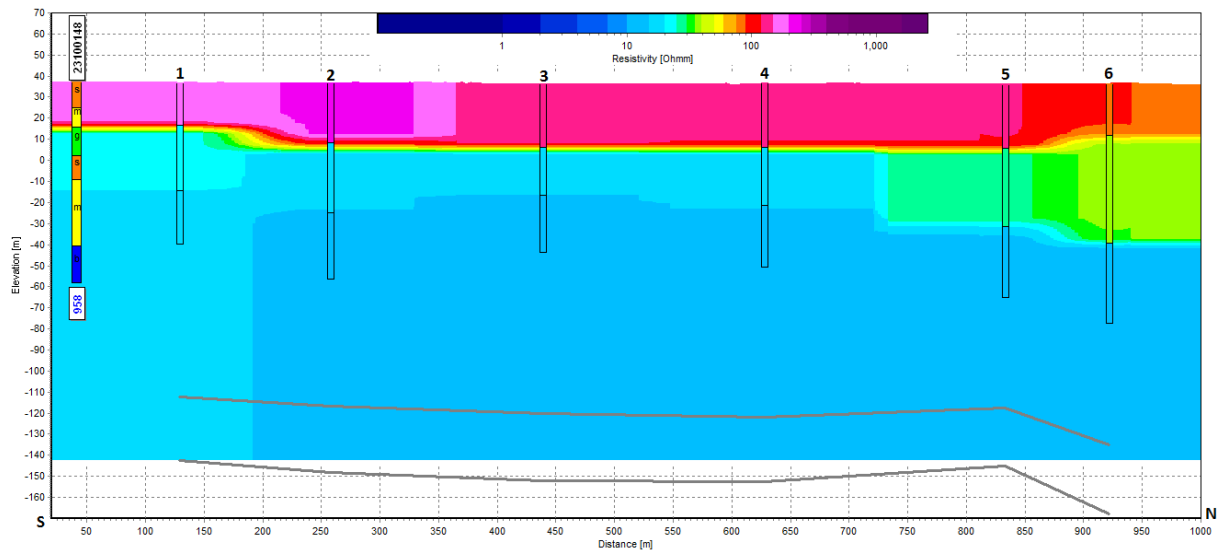
Det undre lagret som troligen är berggrunden utifrån förväntat jorddjup har en väldigt låg resistivitet. Bergets sammansättning är svår att säga något säkert om. Det är troligt att bergmassan innehåller lera och lersten med en hög vattenhalt med tanke på den höga konduktivitet berggrunden visar upp. Utifrån brunnborrningar i området är det troligt att det sedimentära bergets sammansättning är till största delen finkornigt material såsom mörkelsten och lersten med överlagrande finkornigare sediment som ler och lermorän.

5.1.1.2 TEM



Figur 21: Sonderingspositioner för profil 1 ovan ortofoto (Lantmäteriet, 2014)

Dagen då TEM-sonderingarna utfördes var det regnigt och hade varit så i några dagar varför marken var vattensjuk på sina ställen. Med den öppna terrängen kunde TEM-sonderingarna med lätthet utföras och alla 6 sonderingar uppvisade goda resultat. Sonderingspositionerna presenteras i Figur 21 med tillhörande numreringar. En tänkbar kopplingskälla i form av en tunn taggråd återfanns mellan andra och tredje sonderingen. Mätresultaten var av god kvalitet och uppvisade inga tecken på koppling. Inversioner som är framtagna för profilen är uteslutande 3-lagersmodeller.



Figur 22: Resistivtetssektion 1 TEM. Se Figur 14 för förklaring gällande resistivtetsmodell

I Figur 22 kan det inverterade resultatet ses. Resistivitetsprofilen visar att strukturerna inte har en stor variation i höjdded eller i resistivitet och ger indikationer på tre horisontella lager med tanke på resistivitetsfördelningen. Sonderingarnas olika lager har god säkerhet i sin bestämning vid resistivitet, tjocklek och djup.

Det är genomgående jämn resistivitet mellan 80 och 200 Ohm-m i det övre lagret med en mäktighet på ungefär 30 meter. De två underliggande lagren har en resistivitet som inte skiljer sig så mycket från varandra, enbart några tiotals Ohm-m.

Om gränsen mellan de två undre lagren på profilen är det sedimentära berget överensstämmer det tämligen bra med förväntat djup. Dock så har det en väldigt låg resistivitet vilket gör det svårt att uttala sig om det sedimentära bergets sammansättning. Med tanke på de låga resistiviteterna som undre lagret visar upp kan berggrunden förväntas innehålla en hög vattenhalt på grund av de troliga finkornigare sedimenten ler och lermorän som kan förväntas överlagra berggrunden.

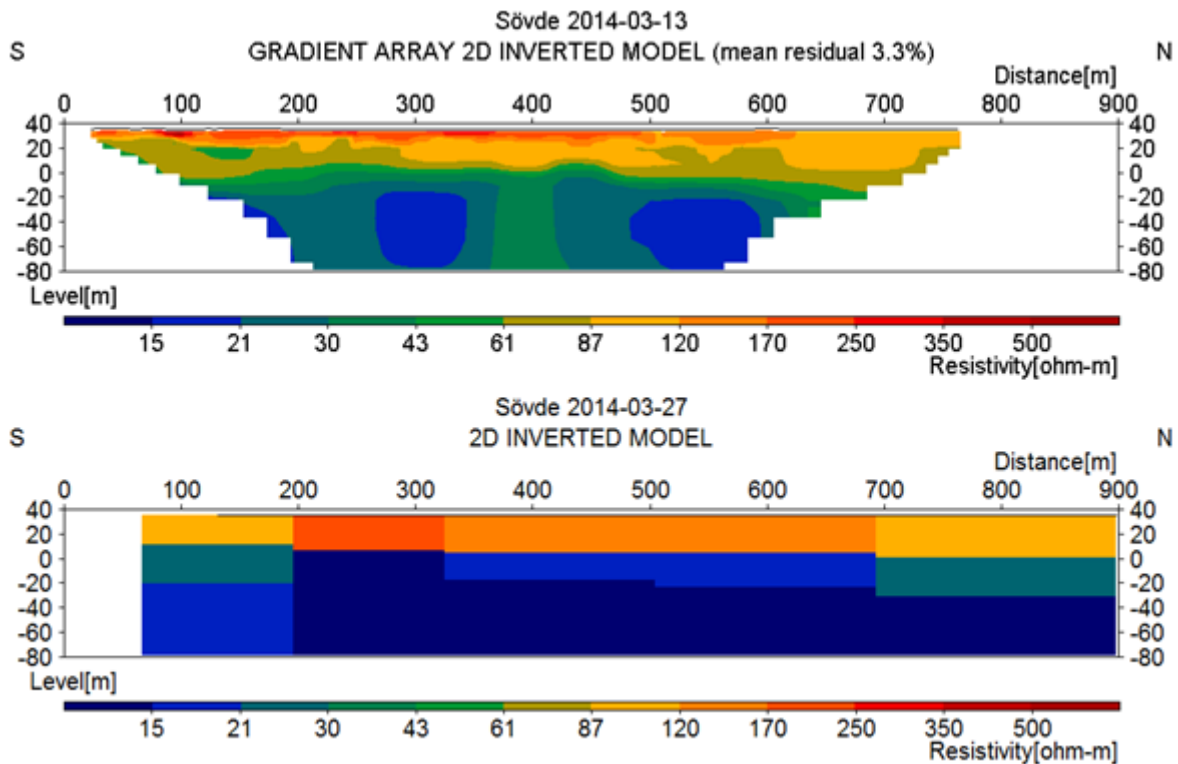
Den brunnsborrning, brunns-ID: 23100148, som finns belägen cirka 950 meter öster om profilen visar på ett flertalet lager med en dominans av grova kornfraktioner som sand och grus med mellanliggande ler och lermorän vilket tycks vara en relativt bra passning till resistivitetsmodellen. Att brunnsborrningen är relativt långt bort från profilen gör det svårt att jämföra de två men då profilen är placerad på den uppstickande berggrund som sluttar mot öster är det sannolikt att underliggande sedimentärt berg bör befinna sig något ytligare.

Området skulle kunna förväntas innehålla stora mängder sand från den postglaciala sandavlagring runt Sövdesjön. Troligtvis är sanden mättad på vatten någon meter under marknivån, dels för närheten till sjön och dels för stor nederbörd, vilket ger den relativt låga resistiviteten (runt 100 Ohm-m) för sand. Mellanliggande lager kan vara vattenmättad sand varvat med lermorän för dess låga resistivitet mellan 20 och 50 Ohm-m.

5.1.2 Jämförelse mellan ERT och TEM

TEM-resultaten får anses som mycket goda utan några problem i samband med datainsamlingen, till skillnad från resistivitetsmätningarna där problem uppstod på grund av dålig elektrodkontakt. De förutsättningar som rådde vid TEM-mätning hade gynnat ERT och dess kontaktmotstånd vilka sannolikt blivit av bättre kvalitet. Elektrodkontaktsmotståndet hade gynnats av regn vilket hade lett till en mark med högre vattenhalt.

Nedan i Figur 23 redovisas resistivitetsprofilerna för TEM och ERT med ett jämförbart resistivitetsintervall. TEM visas med blockig struktur i Erigraph och ERT är av den mjuka interpolerade varianten.



Figur 23: Jämförelse mellan resistivitssektion från ERT och TEM.

Följande likheter och skillnader mellan ERT och TEM anses finnas på mätlokalen:

- Resultaten visar en överensstämmelse genom att resistiviteten sjunker med djupet, även lagertjocklekarna är av någorlunda överensstämmelse.
- Ytlagret är med stor sannolikhet omättad sand vilket ses bäst på ERT där grundvattenytan befinner sig relativt ytligt längs profilen.
- Det mellanliggande lagret kan bestå av isälvsediment varvat med lermorän vilket överensstämmer med resistivitetsfördelningen.
- Det undre lagret som troligen är berggrunden utifrån förväntat jorddjup har en väldigt låg resistivitet vilket kan ses på båda profilerna. Det är troligt att bergmassan innehåller lera och lersten med en hög vattenhalt.

5.2 Profil 2 – Bussjö

5.2.1 Mätresultat och analys

Profilens längd är 1000 meter och är mätt med ett elektrodavstånd på 10 meter. TEM-mätningarna utfördes med ett sonderingsavstånd på 150-200 meter och TEM-profilens längd är ca 1500 meter. Den kuperade terrängen utgjorde inget hinder, ej heller åkrarna som korsades med respektive metod. Vid TEM-sonderingarna påträffades olika störningsmoment och dess resultat blev negativt påverkat. Förutsättningarna vid resistivitetsmätningarna sågs som goda och goda resultat kunde erhållas.

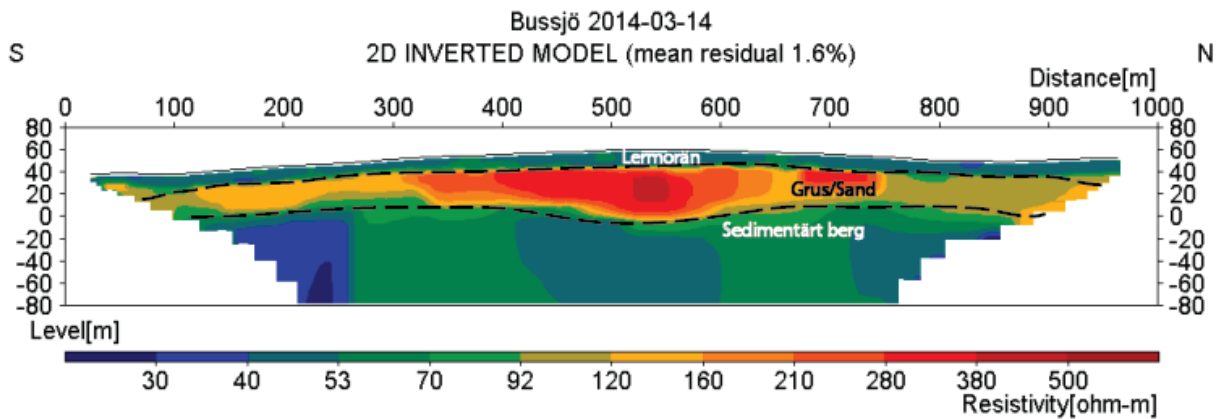
5.2.1.1 ERT



Figur 24: Linje för resistivitetsmätning. Profil 2 ovan ortofoto (Lantmäteriet, 2014)

Resistivitetsmätningarna utfördes under en dag och ett fullt utlägg (800 meter) samt en förflyttning tillryggalades under fältdagen. Elektrodkontakten var mycket god i den något leriga markytan. Fältdarbetet flöt på i bra takt med bra kvalitet på data och inga meddelande om negativa resistiviteter uppstod från Terrameter LS.

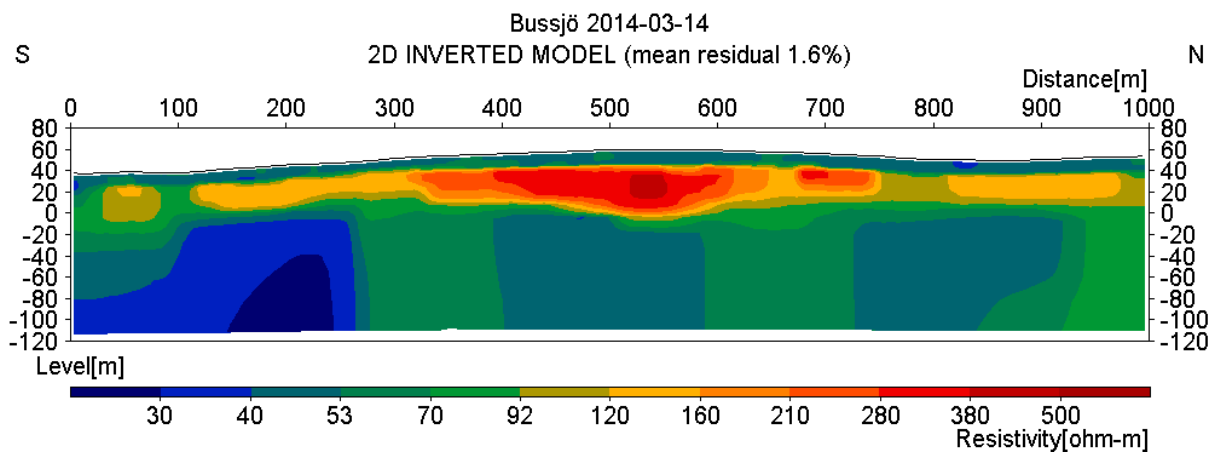
Mätdata var mycket god där en dataresidual på 1,6 % erhöles från inversionsmodellen. Inga avvikande punkter tycktes finnas vid kontroll av data i programmet Res2Dinv. Resultatet från resistivitetsprofilen över Bussjö kan ses i Figur 25.



Figur 25: Resistivitetssktion 2 ERT med geologisk tolkning

Utifrån resistivitetsprofilen kan ett genomgående övre lager tydas med en mäktighet på cirka 15-20 meter och med en resistivitet mellan 40 och 90 Ohm-m. Ett mellanliggande högresistivt lager kan anas där resistiviteten minskar utmed sidorna. Modulen visar att det har en mäktighet mellan 30 och 40 meter och en resistivitet som spänner sig från 90 till 500 Ohm-m. Ett tredje lager framträder svagt med lågresistiva artefakter i norra och södra delen av profilen. Mellan dessa strukturer i norr och söder är resistiviteten mellan 40 och 70 Ohm-m. Datamängden sjunker både på djupet och utmed kanterna varför inte tillräcklig data finns. En utvidgad inversionsmodell (Extended model) utfördes för att kunna skilja mellan verkliga data och artefakterna från den icke förlängda modellen. Den utvidgade modellen presenteras nedan i Figur 26.

Från den utvidgade modellen kan strukturernas utbredning anas men det är fortfarande svårt att uttala sig om det tredje lagret. Mätdata från en profil som täcker över strukturerna hade varit av högsta intresse.



Figur 26: Utvidgad modell. Resistivitetssktion 2 ERT

Baserat på förväntningsmodell och borrhållsinformation i området görs följande tolkning från resistivitetsmodellen:

Det översta lagret är i medel 15 meter tjockt vilket, baserat på resistiviteten och jordartskartan, kan tolkas som lermörän. Det högresistiva mellanliggande lagret är med stor sannolikhet de utbredda intermoräna isälvsedimenten som kan bestå av fraktionerna grusblandad sand till finsand med tanke på de höga resistiviteterna kan ses i mitten av profilen. I de yttre delarna och i den lägre delen av terrängen kan det mellanliggande lagret vara varvat med lermörän på grund av den sjunkande

resistivitet som uppvisas. Det undre lagret kan vara det sedimentära berget. Detta lager har osammanhängande resistivitet och i brunn ID: 23100108, vilken är gjord i mitten på profilen, påträffas inget sedimentärt berg enligt förklaringen av brunnborrningen vilket det gör i brunn ID: 23100109.

5.2.1.2 TEM



Figur 27: Sonderingspositioner för profil 2 ovan ortofoto (Lantmäteriet, 2014)

Som befarat med den närhet till strukturer, som byggnader och vägar, och luftburna- och nedgrävda ledningar uppvisade TEM-sonderingarna kopplingar och andra störningar på resultaten. Sonderingspositionerna presenteras med tillhörande numrering i Figur 27.

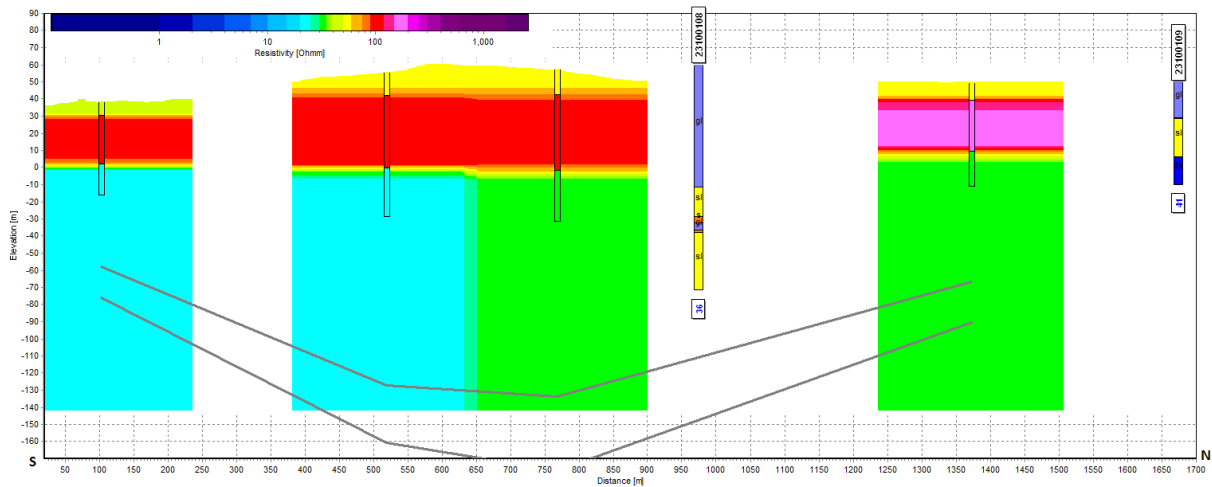
Sondering 1 och 6 har ett litet undersökningsdjup för närheten till störningsmoment och kopplingskällor där sena gates i de sonderingarna inte kunde inkluderas på grund av troliga kapacitiva kopplingar.

Resultatet från sondering 2 uppvisade korrupt och felaktig data. Sonderingen placerades över ett stenröse och därför är det troligt att korrupt data uppkom då inga kopplingskällor syntes och tros ha haft inverkan på sonderingen.

Sondering 5 har sorterats ut på grund av koppling i resultat då sonderingen placerades nära en luftburen ledning. Ett större säkerhetsavstånd hade behövts i det fallet.

Sondering 7 sorterades ut på grund av korrupt data, kapacitiv koppling. Efter mättillfället fastställdes det vara en nedgrävd ledning som korsat sonderingens placering. Ytterligare förberedelser hade varit att studera ledningskollen än närmre, då skulle sonderingen med största sannolikhet kunnat genomföras genom mindre förflyttning och en bättre datakvalité hade erhållits.

Sonderingar där inversioner var möjliga är framtagna med 3-lagersmodeller. I Figur 28 kan det inverterade resultatet ses.



Figur 28: Resistivitetssektion 2 TEM. Se Figur 14 för förklaring gällande resistivitetsmodell

Resistivetsprofilen visar att strukturerna inte har en stor varians i höjddled eller i resistivitet och ger indikationer på tre horisontella lager med tanke på resistivitetsfördelningen.

Sonderingarnas övre lager har hög grad av osäkerhet i sin bestämning av mäktigheten medan standardavvikelsen för resistiviteten ligger jämn men relativt högt på 3-5. Resistiviteten för gällande lager är 40 till 70 Ohm-m. Mellanliggande lagrets mäktighet är 30-50 meter och ser ut att följa topografin relativt väl. Dess resistivitet är mellan 100 till 200 Ohm-m. Det under lagret har en lägre resistivitet mellan 20 och 40 Ohm-m men ett undersökningsdjup som minskar till norr och söder.

Baserat på förväntningsmodell och borrhållsinformation i området görs följande tolkning från resistivetsprofilen:

Från jordartskartan förväntades det att ytlagret bestod av moränlera med intermoräna sediment som i vissa fall går upp i ytan. De intermoräna sedimenten är troligen grus och sandavlagringar som ses utbreda sig under den förväntade moränleran. De två översta lagren stämmer rimligen väl överens med antagandena. Det tredje lagret är svårt att uttala sig om och från de vita partierna mellan sonderingarna ses data som fallit bort som annars skulle interpoleras och en säkrare och bättre data hade fåtts.

Från brunnborrningarna som är belägna enbart tioalet meter från profilens sträckning kan det ses att översta lagret överensstämmer väl med grusblandad lera vilket från profilen tolkats som lermorän överlagrad isälvsediment. Från brunn-ID: 23100109 som är belägen norr om sondering 6 har kalksten påträffats på 44 meters djup vilket väl kan vara gränsen mellan det andra och tredje lagret.

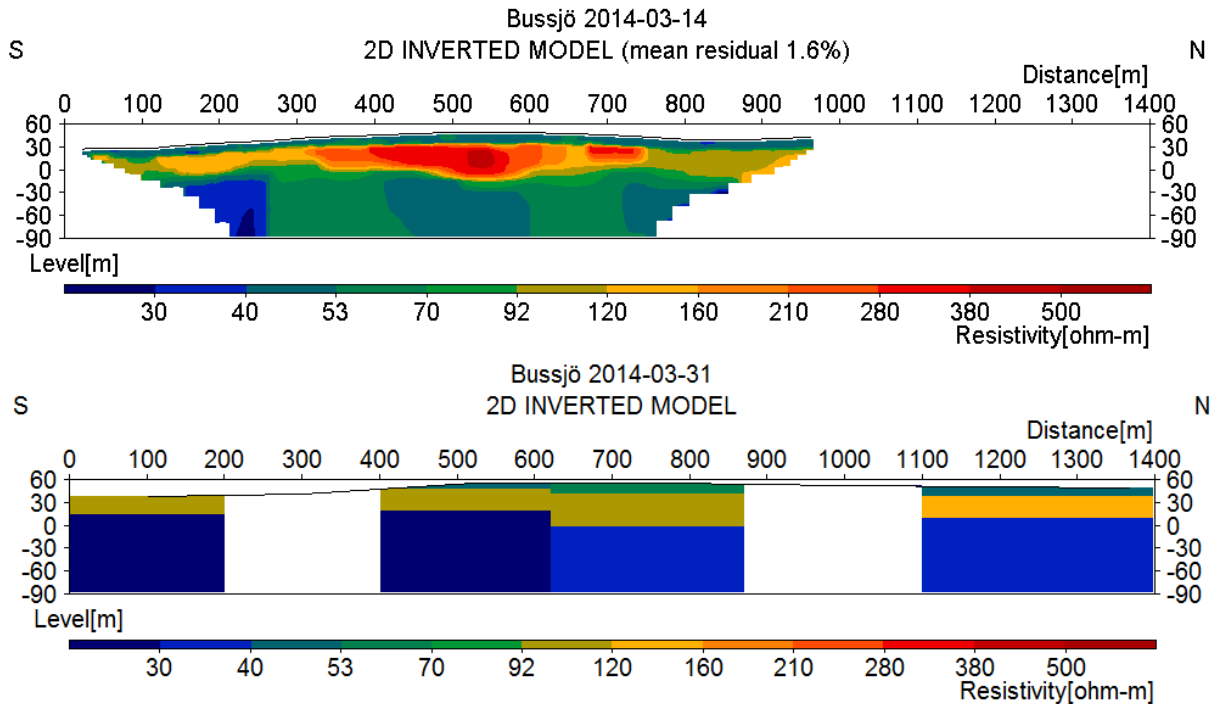
5.2.2 Jämförelse mellan ERT och TEM

Resistivetsmätningarna som utfördes på mätlokalen var av bra kvalitet där inga problem uppstod. TEM-sonderingarna var av en annan karaktär, stora problem uppstod längs med mätlinjen. Av 7 sonderingar var endast 4 sonderingar möjliga att processera och invertera. De tre sonderingar där resultat uteblev uppvisade störningar från galvanisk koppling, kapacitiv koppling och korrupt data genom troliga 3D effekter.

En förlängning av profilen hade varit av stort intresse för att få med den underliggande struktur som kan anas i söder och norr på resistivetsmätningarna. En förlängning av profilen fanns inte utrymme

för med tanke på den väg som begränsar i söder och ett stort och långt gånget grönkålsfält som sätter gräns i norr. Vad gäller TEM-mätningarna på mätlokalen hade det varit intressant att göra ytterligare mätningar parallellt med profilen för att undvika rådande störningskällor längs den ursprungliga profilen.

Nedan i Figur 29 redovisas resistivitetsprofilerna för TEM och ERT med ett jämförbart resistivitetsintervall. TEM visas med blockig struktur i Erigraph och ERT är av den mjuka interpolerade varianten.



Figur 29: Jämförelse mellan resistivitetssektion från ERT och TEM.

Följande likheter och skillnader mellan ERT och TEM kan noteras:

- Det översta lagret där resultaten överensstämmer relativt väl i mäktighet och resistivitet.
- Det högresistiva mellanliggande lager som har tolkats vara intermoräna grovkorniga sediment stämmer ganska väl i mäktighet men når inte upp i riktigt lika hög resistivitet för TEM som för ERT.
- Det understa lagret har något lägre resistivitet för TEM jämfört med ERT.

Vidare noteras att:

- På grund av den stora variation som finns i höjdlid är det svårt att uttala sig om grundvattenytans läge i de högre partierna.
- I södra delen av profilen kan grundvattnet antas ligga relativt ytligt då det anas kärr och sankmark vid den mindre damm just öster om starten på profilen.

5.3 Profil 3 - Ilstorp

5.3.1 Mätresultat och analys

TEM- mätningarna utfördes cirka 50 meter väster om resistivitetsprofilen för att undvika störningar från betongcylindrar med trolig armering i. Förutsättningarna som topografi och jordlager antas vara likvärdiga på de två olika sträckningarna. Sondering 4 och 5 mättes i betydligt tätare björkskog med mycket björkris och fallna träd på marken som röjdes undan för att kunna etablera sändar- och mottagarpolarna. Resistivitetsmätningarna utfördes med ett elektrodavstånd på 5 meter och med en total längd på 500 meter.

Rördrivning utfördes av WSP 150 meter in på resistivitetsprofilen och ger en form av facit för de översta 30 metrarna i området. Lagerföljden jämförs med ERT och TEM.

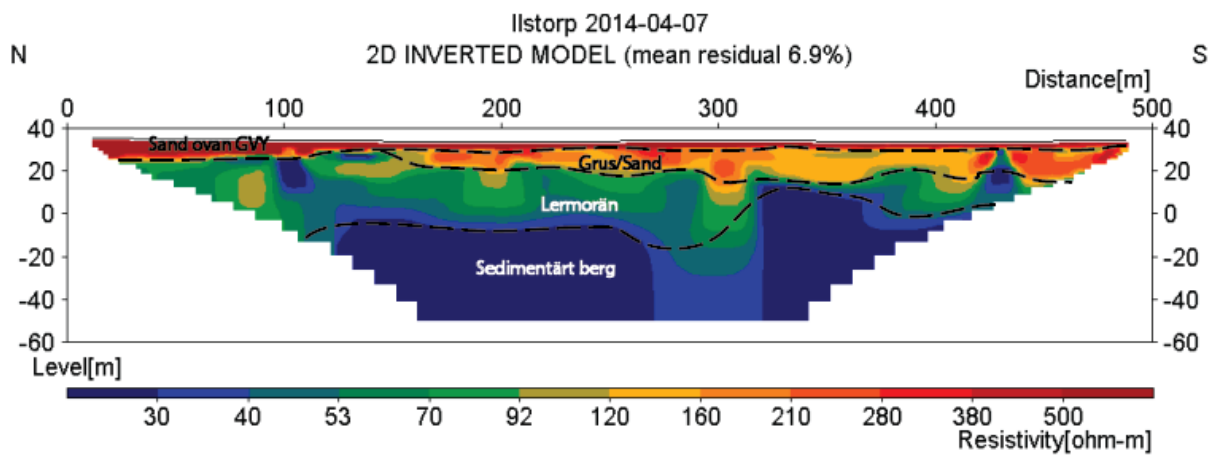
5.3.1.1 ERT



Figur 30: Linje för resistivitetsmätning. Profil 3 ovan ortofoto (Lantmäteriet, 2014)

Resistivitetsmätningarna utfördes längs den tänkta linjen. Elektrodkontaktmotståndet längs profilen var mycket högt, uppemot 15 kOhm, vilket var väntat då de större kornfraktionerna som grus och sand dominerade i den något torra ytlagret. Som åtgärd för att förbättra kontakten något mellan mark och stålelektrod hälldes det vatten på elektroderna längs hela profilen. Kontaktmedlet Johnson Revert hade kunnat ge ytterligare förbättring om det hade tagits med och använts i fält.

På grund av de höga kontaktmotstånden och det stora resistivitetspektrat med mycket hög resistivitet vid ytan erhöles en dataresidual på 6,9 % på inversionsmodellen.



Figur 31: Resistivitssektion 3 ERT med geologisk tolkning

Resultatet från resistivitsprofil över Ilstorp visualiseras i Figur 31. Baserat på förväntningsmodell och borrhålsinformation samt antydningar från resistivitsfördelningen görs följande tolkning utifrån en 4-lagersmodell:

Det högresistiva ytlagret, med resistivitet över 500 Ohm-m, som minskar i mäktighet från norr till söder är med stor sannolikhet torr sand ovan grundvattenytan. Under detta ytlager finns ett lager som är högst osammanhängande med lägre resistivitet omkring 120 till 500 Ohm-m vilket åter kan vara issjösediment. Tredje lagret med en resistivitet under 120 Ohm-m kan vara finsediment som ler och lermorän ovanpå en trolig diskontinuerlig berggrundsytta med resistivitet under 40 Ohm-m vars sammansättning förväntas vara av största delen finkornigt material såsom mägersten och lersten.

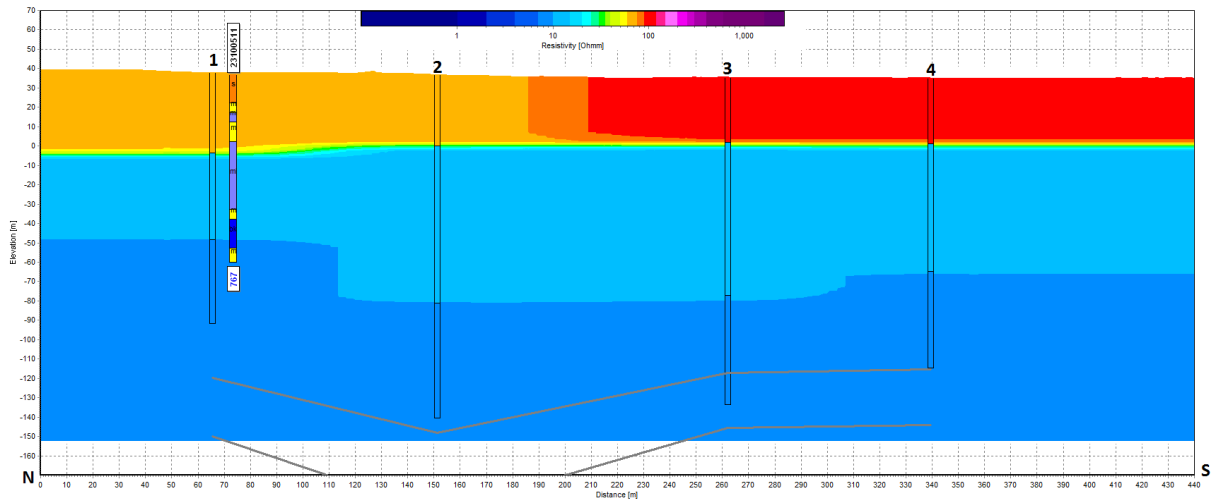
5.3.1.2 TEM



Figur 32: Sonderingspositioner för profil 3 ovan ortofoto (Lantmäteriet, 2014)

Resultatet från sondering 5 visade på trolig koppling och ingen processering eller inversion utfördes. Det är troligtvis en nedgrävd ledning som korsar profilen som gav kapacitiva kopplingar på data, ledningens läge kan ses i bifogad ledningskoll i bilaga 9. I övriga sonderingar var resultaten av god kvalitet och bra modellanpassning med små standardavvikelser erhöles. Sonderingspositioner med numrering visas i Figur 32.

Det sammanvägda resultatet kan ses i Figur 33 där strukturerna har en relativt jämn lagerfördelning vad gäller resistivitet och varians i höjddled. Det översta lagret minskar i mäktighet från norr till söder tillsammans med en avtagande resistivitet mellan 80 och 100 Ohm-m. Det andra lagret, vilket enbart skiljer sig med ett tiotal Ohm-m från underliggande lagret, har en resistivitet på cirka 20 Ohm-m. Det undre lagret har en lägre resistivitet på cirka 10 Ohm-m vilket inte tolkas som saltvatten på grund av dess smärre djup och avståndet till kustlinjen.



Figur 33: Resistivetssektion 3 TEM. Se Figur 14 för förklaring gällande resistivetsmodell

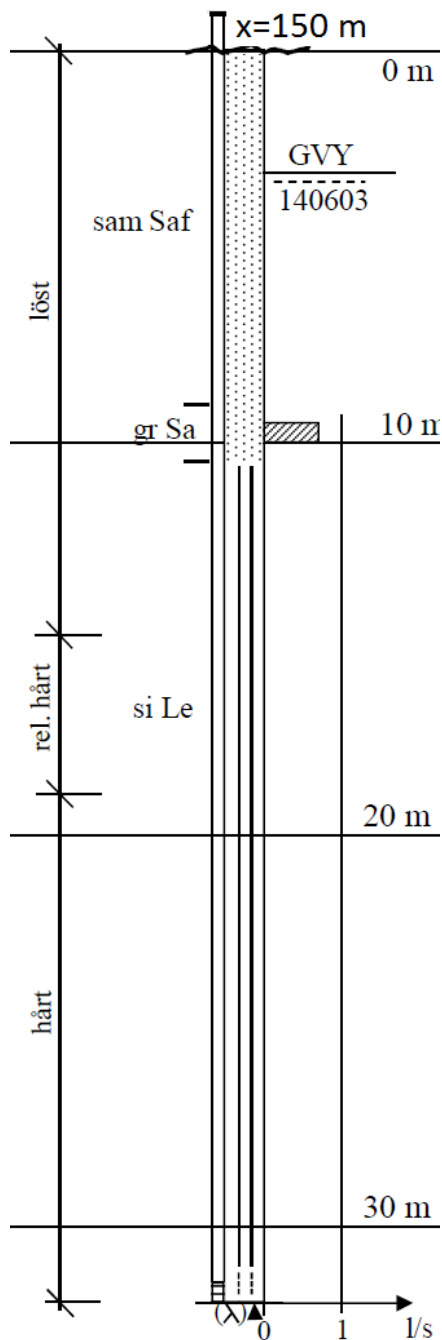
Vid tolkning av resistivetsprofilen har antagandena styrkts av information från förväntningsmodell och borrhållsinformation i området:

Det översta lagret tolkas som sand och issjösediment, troligtvis en torr sand i översta skiktet där en grundvattenyta ligger relativt ytligt i profilen. Under det grovkornigare lagret av issjösediment finns ett lager med relativt låg resistivitet där sannolikt mättad lermorän varvat med lera förekommer. Lagergränsen mellan lager 2 och 3 är troligtvis det sedimentära bergets läge vilket den brunnborrning som finns i området indikerar. Brunnborrningen visar på att lermorän överlagrar lera som i sin tur ansluter mot berg, mörkelsten. Det ska sägas att brunnborrningen finns drygt 750 meter väster om profilen vilket gör det osäkert att uttala sig om profilens sammansättning men brunnborrningen kan mycket väl avspegla hur geologin ter sig på mätlokalen. Det finns flera likheter mellan brunnborrningen och resistivetsprofilen som nämnts.

5.3.1.3 Rördrivningar

Rördrivningen är placerad vid $x=150$ m (150 m från första elektroden i norr) i Figur 31. Resultatet av rördrivningen visualiseras i Figur 34. Beteckningarna och förkortningarna är enligt SGF/BGS beteckningssystem (SGF, 2014).

Grundvattenytan har uppskattats till omkring 4 m under marken. De översta 9 metrarna finns mellansandig finsand som överlagrar ett mindre skikt av grusig sand. Från uppskattningen av vattenföringen finns inga värden under 10 m då det är siltig lera som tar vid och dominerar ner till botten av undersökningsdjupet.



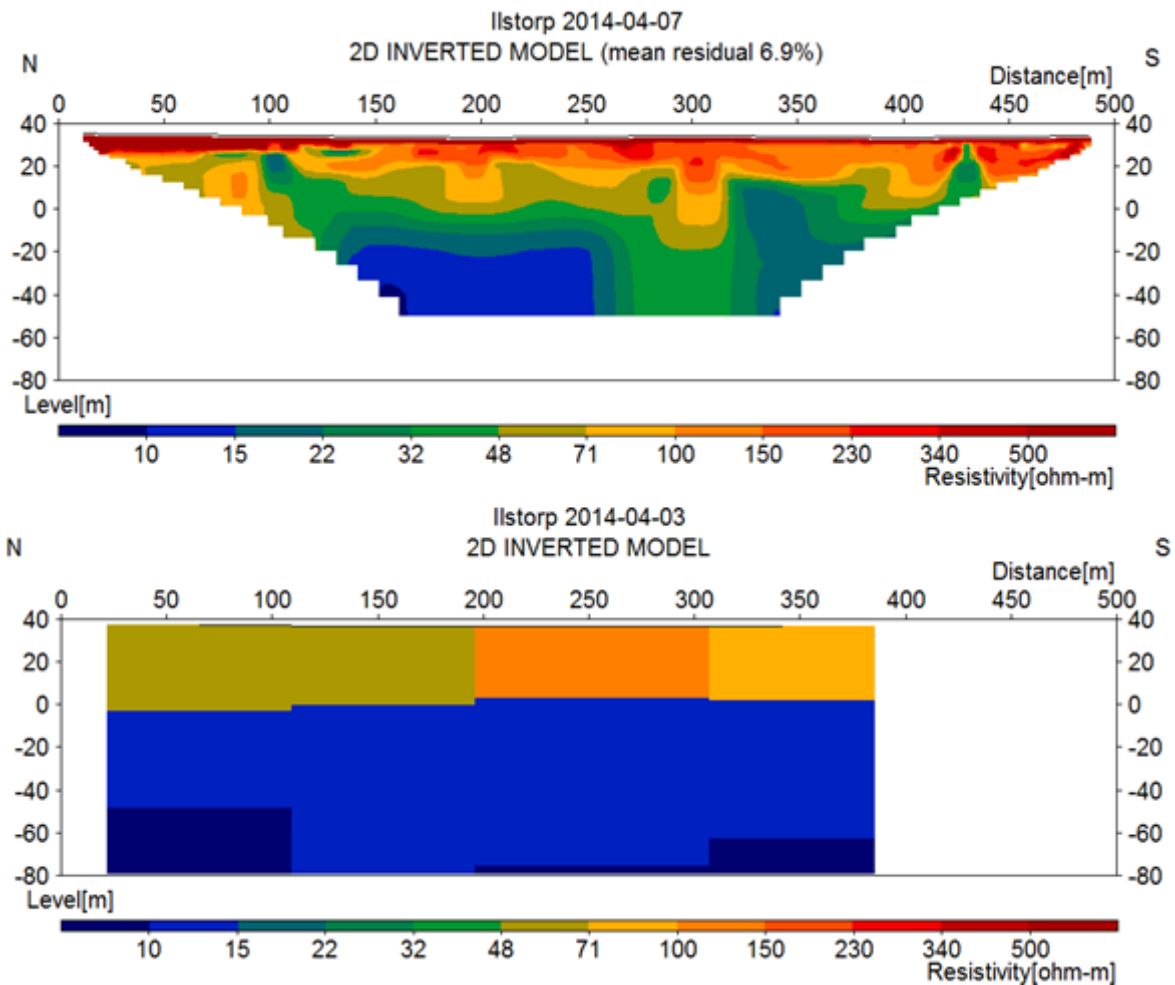
Figur 34: Rödrivning profil 3 (WSP Environmental, 2014)

5.3.2 Jämförelse mellan ERT och TEM

Resistivitmätningarna som utfördes visade upp en hög dataresidual på 6,9 % som en följd av sämre elektrodkontakt även om en smärre åtgärd genom att hålla vatten på elektroderna togs.

Sonering 5 från TEM-mätningarna hade inget tillförlitligt resultat att presentera på grund av trolig koppling. En alternativ placering för att undvika den nedgrävda ledningen hade varit av intresse för ett resultat hade gett en längre sträckning av resistivetsprofilen.

Nedan i Figur 35 redovisas resistivitetsprofilerna för TEM och ERT med ett jämförbart resistivitetsintervall. TEM visas med blockig struktur i Erigraph och ERT är av den mjuka interpolerade varianten.



Figur 35: Jämförelse mellan resistivitssektion från ERT och TEM.

Följande likheter och skillnader mellan resistivitsmätningar och TEM anses finnas:

- Det högresistiva översta lager som minskar i mäktighet från norr till söder. TEM-metoden har svårigheter att avgöra skillnader i resistivitet över 150 Ohm-m och det är troligt att resistiviteten är likt resultatet från resistivitsmätningarna med en betydligt högre resistivitet.
- Det översta lagret är sannolikt betydligt mer komplext än vad TEM visar då det bland annat finns en grundvattenyta inom lagret.
- Från resultatet och upplösningen på resistivitsmätningen med den höga dataresidualen är det svårt att uttala sig om det sedimentära bergets placering. Från TEM-mätningarna finns troligen det sedimentära bergets yta på ett djup om cirka 80 meter.
- Det mellanliggande lagret visade upp låga resistiviteter på respektive metod.
- Den brunnborring som är inkluderad i Figur 33 har likheter med främst ERT men också med TEM.

De rördrivningar som var motiverade att utföra på mätlokalen för att med större säkerhet kunna uttala sig om geologins översta 30 metrar visar:

- En ytligt liggande grundvattenyta, 4 meter under marken, med en torr sand ovan GV
- Mellansand till finsand ner till 9 meter ovan ett mindre skikt av grusig sand
- Från 10 meter och ner finns siltig lera

Grundvattenytan som rördrivningen visar stämmer väl överens med det högresistiva lagrets mäktighet och utbredning från resistivitetsmätningarna.

Det grovkorniga material ovan den mäktiga siltiga leran kan uppföra sig som en grundvattenakvifer, en grund sådan.

5.4 Profil 4 – Sövde flygfält

5.4.1 Mätresultat och analys

Förutsättningarna för de två metoderna sågs som mycket goda. Resistivitetmätningarna genomfördes utan problem. Mätningarna utfördes längs den gräsremsa som finns mellan motorbanan och segelflygbanan. Under fältdagen tillryggalades 11 stationer med en total längd på 1200 meter och med ett elektrodavstånd på 5 meter.

8 stycken TEM-sonderingar var tänkta att utföras längs med profilen med ett sonderingsavstånd på 150 till 200 meter. Den första sonderingen visade kopplingsbenägenhet vid testmätning och inkluderades inte. Resultaten visar de 7 utförda sonderingarna. Sonderingarna utfördes med sändarloopens ena sida tätt inpå segelflygbanan för att få ett säkerhetsavstånd till det tunna vildsvinsstängslet.

Två rördrivningar utfördes av WSP, en vid $x=900$ meter och den andra 80 meter sydväst om den förstnämnda. Borrprofilerna ger en form av facit för de översta 30 metrarna i området. Lagerföljden jämförs med ERT och TEM.

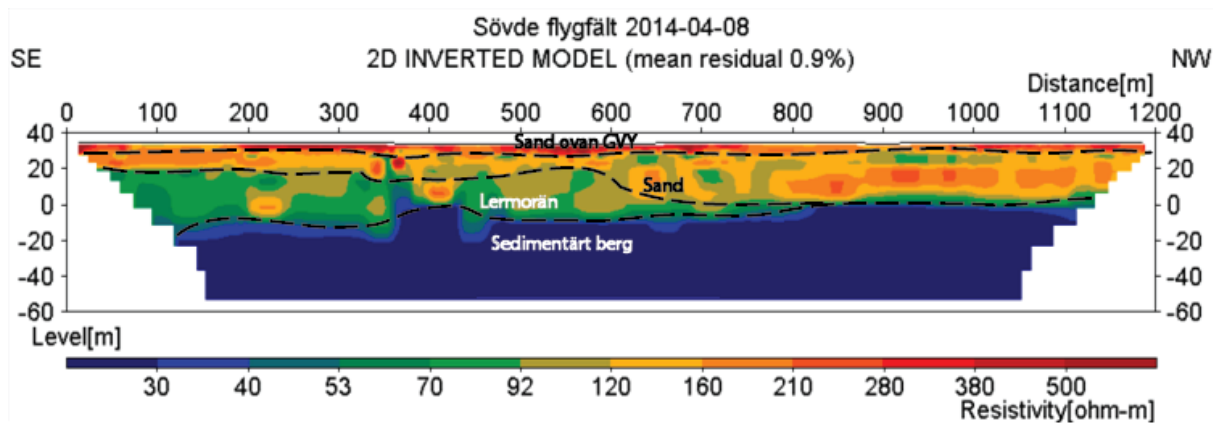
5.4.1.1 ERT



Figur 36: Linje för resistivitetmätning. Profil 4 ovan ortofoto (Lantmäteriet, 2014)

Vid visuell inspektion kunde det ses att markytan inte innehöll samma kvantitet av isälvsediment som profilen i Ilstorp samt att marken var fuktigare och antagligen finkornigare vilket bidrar till bättre elektrodkontakt. Elektrodstesterna längs profilen var mycket bra, runt 1 kOhm.

Från processering och inversion av mätdata erhöles en dataresidual på 0,9 % på inversionsmodellen. Resultatet från resistivetsprofil över Sövde flygfält visualiseras i Figur 37. Modellen har expanderats i höjddled för att göra profilen lättöverskådlig, med andra ord ett värde av 2 i vertical exaggeration (normalt 1).



Figur 37: Resistivitssektion 4 (vertical exaggeration=2) ERT med geologisk tolkning

Baserat på förväntningsmodell och borrhålsinformation samt resistivitsfördelningen görs följande tolkning:

I denna längre profil har en 4-lagersmodell beskrivits utifrån resistivitsprofilen över området. En tunn och genomgående högresistiv, över 200 Ohm-m, markyta kan ses i resistivitsprofilen som troligtvis består av isälvsediment med sand över grundvattenytan. Underliggande lager, det som ses i nyans av gul, med en resistivitet mellan 120 och 210 Ohm-m kan också vara sand, alternativt finkornigare, under grundvattenytan. Detta andra lager är förmodligen heterogent med olika karaktär i sydöst och nordväst. I nordväst finns en enhet med tydligt högre resistivitet vilken är svår att kategorisera.

Ovan det lågresistiva understa lagret finns ett lager med resistivitet mellan 40 och 120 Ohm-m vilket kan vara finsediment som ler och lermorän. Det lågresistiva, under 40 Ohm-m, understa lagret utbreder sig längs hela profilen och ligger på successivt grundare djup från sydost till nordväst. Detta lager är det sedimentära berget enligt förväntningsmodellen.

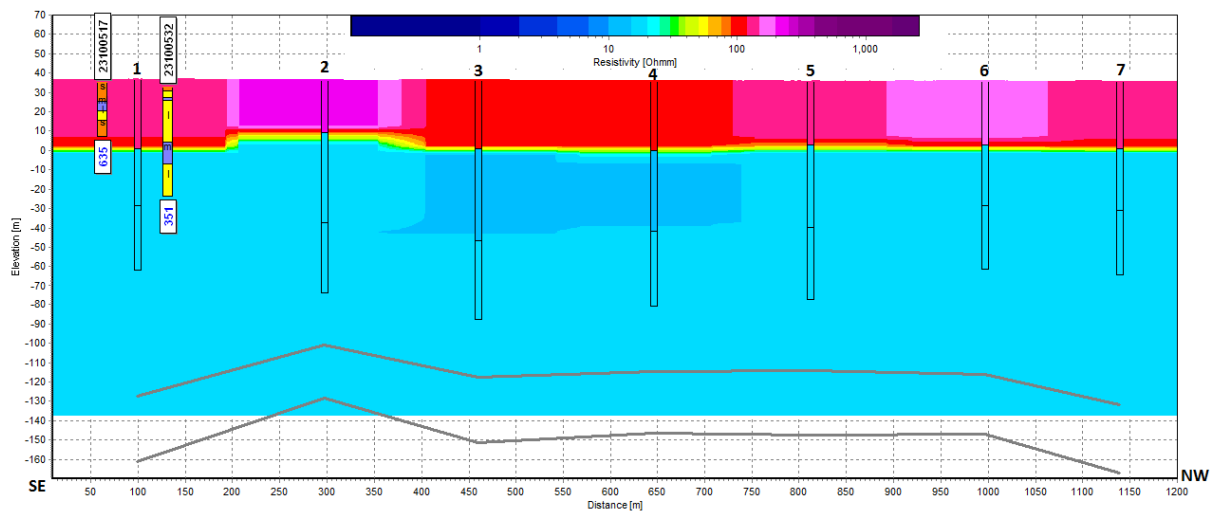
5.4.1.2 TEM



Figur 38: Sonderingspositioner för profil 4 ovan ortofoto (Lantmäteriet, 2014)

Sonderingarnas positioner kan ses i Figur 38. Den öppna terrängen i området underlättade etableringen av mätutrustning då inga hinder eller tät markvegetation fanns på mätlokalen. Ursprungligen var tanken att utföra 8 stycken sonderingar. Innan första stationen (här benämnda sondering 1) fanns en station där ingen god kvalitet på data kunde erhållas på grund av trolig kopplingsbenägenhet. Flertalet testmätningar och justeringar av sändarloopen testades utan framgång och sondering 1 flyttades således fram i fält.

De 7 sonderingarna gav bra resultat där 3-lagersmodeller anpassades och standardavvikelser under 2 erhöles. Det sammanvägda resultatet kan ses i Figur 39.



Figur 39: Resistivitssektion 4 TEM. Se Figur 14 för förklaring gällande resistivitsmodell

Gränsen mellan de två översta lagren är tydlig. Översta lagret har en relativt konstant mäktighet på cirka 35 meter med en resistivitet mellan 100 och 300 Ohm-m. Den undre gränsen, gränsen mellan lager 2 och 3 är mycket svår att urskilja då skillnaden i resistivitet är runt 10 Ohm-m i sonderingarna med resistiviteter runt 10-20 Ohm-m. Sonderingarna har en mycket god dataresidual i genomsnitt 0,7.

Baserat på förväntningsmodell och borrhållsinformation i området görs följande tolkning från resistivitetsprofilen:

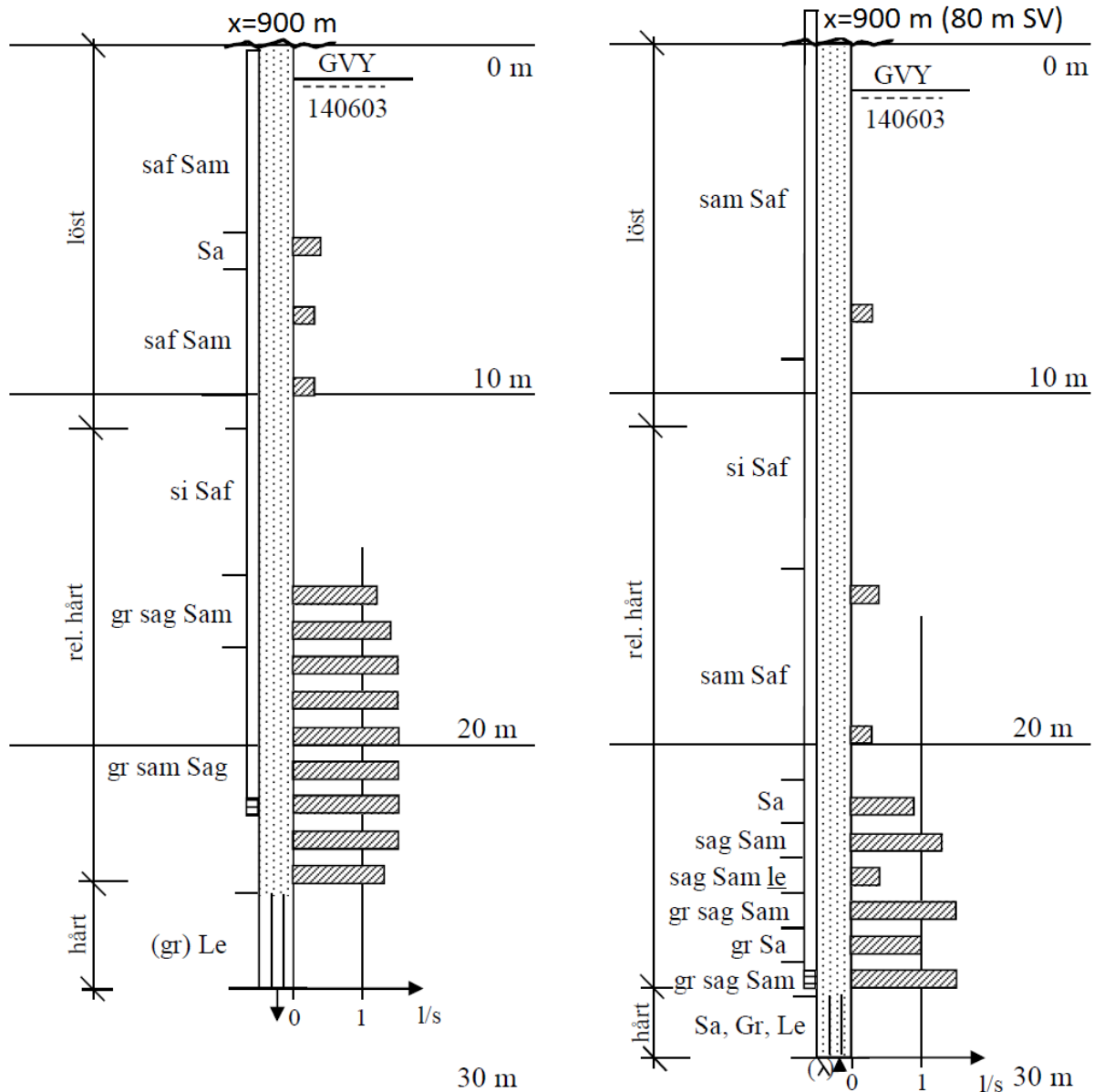
Det översta och relativt mäktiga lagret utifrån resistivitetsprofilen är högresistivt och tolkas som grovkornigt sediment som sand eller issjösediment. En ytnära grundvattenyta är trolig då medelvärdet för det översta lagret är ganska lågt för en grovkornig formation som sand. Gränsen mellan det andra och tredje lagret från sonderingarna syns väldigt dåligt i resistivitetsprofilen då skillnaden i resistivitet är väldigt låg och är troligen gränsen till det sedimentära berget. Den lilla skillnaden i resistivitet kan bero på att ler och lermorän överlagrar det sedimentära berget vilka båda har en hög vattenhalt. Brunnsborrningar i området stärker teorin om att ler eller lermorän överlagrar lersten, kalksten eller mägersten.

5.4.1.3 Rördrivningar

Borrningarna är motiverade för att underlätta tolkningen av den högresistiva enhet som syns i NV-delen i samma figur.

Resultatet av rördrivningarna visualiseras i Figur 40. Beteckningarna och förkortningarna är enligt SGF/BGS beteckningssystem (SGF, 2014).

De två rördrivningarna samtolkas i bästa mån med något större vikt på borrningen i linje med profilen. Grundvattenytan har estimerats till omkring 1,5 m under marken. De översta 11 metrarna finns mellansand till finsand som överlagrar siltig finsand ner till 15 meter. 15-25 meter under marken återfinns sand i något grövre fraktion, grusig grovsandig mellansand med eventuellt ett inskränkt lerskikt. Runt 25 meter under marken hittas en något grusig lera som är det sista som påträffas innan det 27-28 meter djupa borrhålet slutar och ingen vattenföring finns i det täta lerskikt.



Figur 40: Rördrivningar profil 4 (WSP Environmental, 2014)

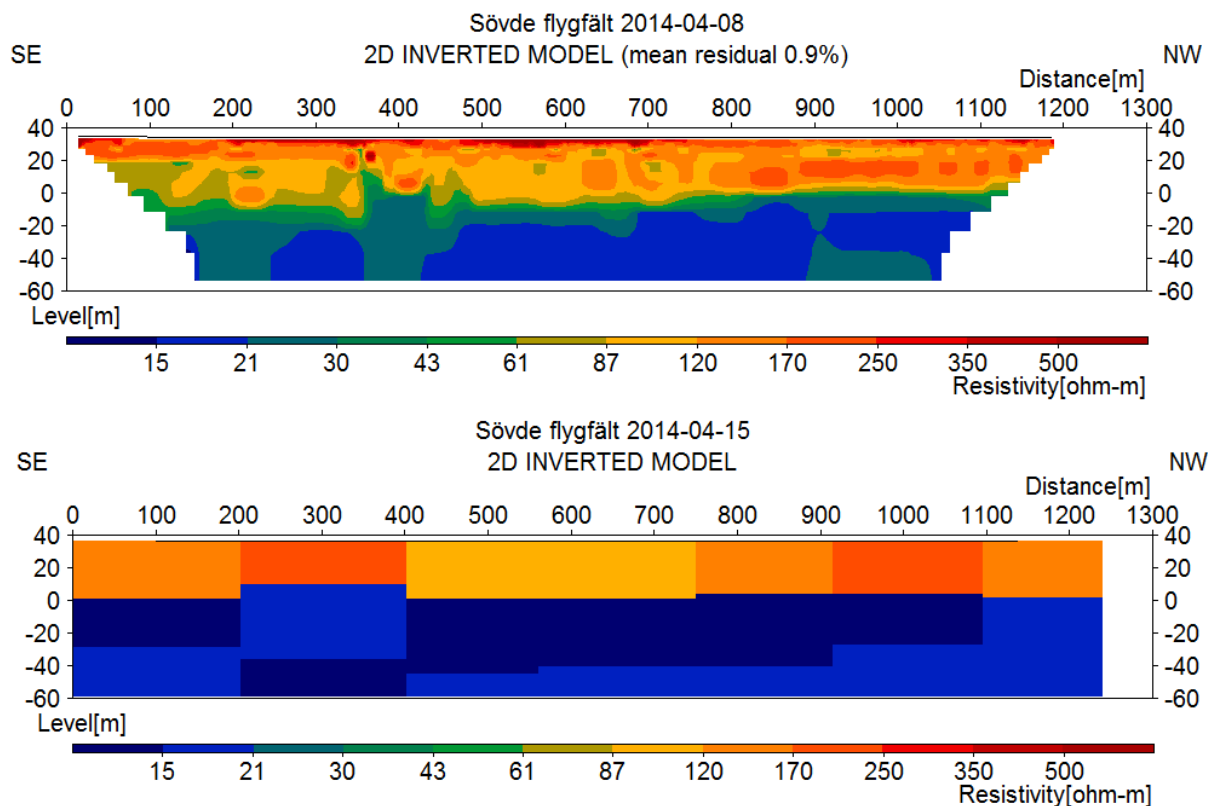
5.4.2 Jämförelse mellan ERT och TEM

Från förutsättningarna för de två metoderna var resultaten av god kvalitet. Elektrodkontakten var mycket bra längs gräsremsan och en dataresidual på 0,9 % erhöles. TEM-sonderingarna placerades med största möjliga säkerhetsavstånd från det mindre vildsvinsstängslet och de 7 mätta sonderingarna visade på mycket bra resultat med goda dataresidualer och låga standardavvikelser.

De två presenterade brunnsborringarna i Figur 39, vilka är belägna 350 respektive drygt 600 meter från profilen, visar båda upp sandiga fraktioner nära ytan. Dessa marknära sandlager underlagras av ler och lermorän och i ett fall sand vilket kan stämma bra överens med det heterogena lagret som ses i resistivitetsmätningarna i nordväst.

Med en så liten kontrast i resistivitet mellan lermorän och sedimentärt berg från TEM-resultaten är det svårt att uttala sig om berggrundytans läge och resistivitet. En yta kan anas vilken är belägen på någorlunda lika nivå som i resistivitetsmätningarna vilka uppvisar ett tydligt läge för berggrundens läge med en tillhörande låg resistivitet.

Nedan i Figur 41 redovisas resistivitetsprofilerna för TEM och ERT med ett jämförbart resistivitetsintervall. TEM visas med blockig struktur i Erigraph och ERT är av den mjuka interpolerade varianten.



Figur 41: Jämförelse mellan resistivitssektion från ERT och TEM.

Det finns likheter och skillnader mellan resistivitsmätningarna och TEM-mätningarna på mätlokalen:

- Översta lagret från TEM-mätningarna visar ett konsekvent högresistivt material som inte varierar i tjocklek. Den resistivitsfördelning som ERT uppvisar kombineras i TEM-sonderingarna till ett effektivt sammanvägt lager med en genomsnittlig resistivitet.
- Det sedimentära bergets läge utifrån resistivitsmätningarna anses vara på ett djup om 50 meter. Utifrån TEM-mätningarna kan djupet uppgå till 70 meter. Denna skillnad kan vara förklaringen att differensen var mycket liten mellan lager 2 och 3 från TEM-mätningarna och en bra modellpassning var svår att hitta även om TEM generellt är bra på att finna skillnader i låga resistiviteter.
- De brunnborrningar, vilka inte går ner till berget, som är inkluderade i Figur 39 har likheter med både TEM och ERT. Resultatet från resistivitsmätningarna har en relativ komplex lagerfördelning vilket TEM-mätningarna inte visar.

De rördrivningar, likt profil 3 - Ilstorp, som var motiverade att utföra på mätlokalen för att med större säkerhet kunna uttala sig om geologins översta 30 metrar visar:

- En ytligt liggande grundvattenyta, 1-2 meter under marken, med en torr sand i det översta skiktet
- Mellansand till finsand ner till 11 meter ovan siltig finsand ner till 15 meter
- Grovsand till mellansand ner till 25 meter
- 25 meter och ner finns Grusig lera

De grovkorniga fraktioner ovan lera som i sin tur överlagrar det sedimentära berget ger indikationer på en möjligt god grundvattenakvifer.

Den lagerföljd som rördrivningarna visar verkar ha likheter med resultatet från ERT. Den högresistiva enhet som fordrade att undersökas visas även på rördrivningarna som grövre sand under det tunna lagret med siltig finsand.

6 Diskussion

Instrumenten Terrameter LS och WalkTEM med tillhörande utrustning och programvaror har fungerat utan problem i fält. Det har funnits möjlighet att uppdatera mjukvaror under projektets gång, ingen mjukvara har uppdaterats för att ha samma förutsättningar genom hela projektet och för att inga problem skulle uppstå.

Under projektets gång har fältmätningarna gett erfarenhet och djupare förståelse som gjort att fältmetodikerna fungerat smidigare och effektivare. Hinder som terräng och kopplingskällor har i ett tidigare skede kunnat undvikas utefter projektets gång genom mer erfarenhet i fält. Profil 1 och 2 mättes med 10 meters elektrodavstånd. Med 800 meter och 2 personer i fält på profil 1 respektive med 1000 meter och 3 personer i fält på profil 2 var det två fysiskt krävande profiler som inledde studien i mars 2014. Vid fältarbetet på profil 3 och 4 fanns ett fyrhjulsdrivet fordon tillgängligt från WSP vilket underlättade både tids- och kraftmässigt även om terrängen var mer lättillgänglig. TEM-sonderingarna hade efter en väl inarbetad och utvecklad fältmetodik en genomsnittlig tid mellan två sonderingar på 45-55 minuter. Projektet har lett till en mängd intressanta resultat men även problem och felkällor har uppstått.

6.1 Diskussion gällande resultat

I fält togs riktmärken ut med hjälp av stakkäppar längs profilen för att få profilerna så raka som möjligt, detta gällde både för ERT och TEM. I vissa fall var det svårt att få profilerna raka på grund av kuperad terräng eller dålig sikt med tanke på profillängder upp mot 1000 meter. Alla elektroder på projektets två första profiler blev inmätta med GPS vilket gjorde resistivitetsprofilerna än mer exakta och man kan se hur mycket profilerna avtar från den ursprungliga sträckningen.

Den första profilen, profil 1, mättes med en konfigurationsfil (spread-fil) som hade ett litet fel i sig som medförde att en elektrod inte kunde användas. Detta korrigerades inför kommande fältmätningar.

De äldre uppstickande partierna av den sedimentära berggrunden är baserade på dels borrhningar och dels gravimetri vilket gör det väldigt svårt att säkert veta läget för de uppstickande partierna. Profil 1 och 2 placerades över just de uppstickande berggrundspartier där mätningarna inte inkluderat hela anomalin. Det är svårt att uttala sig om geologin från bara kartmaterial och brunnsarkiv då de bara är hjälpmedel och inga sanningar vilket är viktigt att komma ihåg. Resultaten från de två geofysiska metoderna visar en lågresistiv formation som tolkats som en berggrund som troligt består av en okonsoliderad bergart eller en långt gången vittring på bergartsformationen.

Profilernas geologi skiljer sig generellt inte, med undantagen att i norr dominerar grovsediment som isälvmaterial och i söder dominerar backlandskapet med de finkornigare lermoränerna. Detta har lett till olika elektrodkontakt motstånd, med generellt högre kontakt motstånd för profilerna kring de sandiga avlagringarna från isälvsavlagringarna norröver. Vädret har också spelat en faktor med en fuktigare mark som hjälpt till att förbättra elektrodkontakten.

Dataresidualer från resistivitetsmätningarna på 3,3, 1,6, 6,9 och 0,9 % anses som bra resultat på inversionsmodellerna. De inversionsinställningar i Res2DINV som gav lägst dataresidual och därmed bäst passning valdes och behölls genom alla profiler i projektet. En utvidgad inversionsmodell utfördes på profil 2 för att om möjligt inkludera mer data kring artefakterna i norr och söder. Då datamängden sjunker både på djupet och utmed kanterna finns det inte tillräckligt med data kring dessa artefakter och en förlängning av profilen behövs för att få bättre datatäckning. Det fanns inte utrymme för en förlängning av profilen i denna studie även om värdet av detta hade varit stort.

TEM-modelleringarna har uteslutande utförts med 3-lagersmodeller för att vara konsekvent samtidigt som den bästa passningen hittats. Modellerna har bra dataresidualer på alla sonderingar och låga standardavvikelse på lagren. Om modelleringar utförts med 4-lagersmodeller hade troligen en bättre datatäckning ner mot berggrunden erhållits men då med en troligt ökande dataresidual då osäkerheten ökar mot djupet.

Om parallella TEM-profiler utförts, vilket inte fanns utrymme för, hade det varit möjligt att från osäker data uttala sig säkrare om det är anomali eller koppling samt att sortera bort felaktig data. Detta hade varit möjligt och behövligt på profil 2 då flertalet sonderingar föll bort på grund av korrupt data. En femte och sista sondering på profil 3 föll bort på grund av kapacitiv koppling från en trolig underliggande kabel som korsade profilen i söder. Det ska kommas ihåg att försiktighet ska tas vid närhet till kopplingskällor och om möjligt ska framtagna ledningskoll studeras än närmre för att planera profilen därefter.

Genom alla profiler ses en hög resistivitet i det översta lagret vilket är gemensamt för både TEM och ERT. Generellt för profilerna ses en sjunkande resistivitet mot djupet, undantaget är profil 2 som är placerad i backlandskapet där lermorän dominerar i jordytan. Där utbredda sig ett högresistivt mellanliggande lager som med stor sannolikhet är de utbredda intermoräna isälvsedimenten.

Indikationer på akviferer finns med grovkorniga vattenförande lager ovan mer finkorniga formationer som lermoräner och siltrika material. På profil 3 och 4 där rödrivningar utförts stämmer indikationerna väl överens med profilerna från ERT och TEM. På profil 1 hade en eller flera borrhningar behövts göras för att med större säkerhet kunna uttala sig om jordlagerföljden och det sedimentära bergets sammansättning och karaktär.

Slutligen kan det sägas att resultaten i studien har kommit väl till nytta av både SGU och WSP.

6.2 Diskussion gällande TEM och ERT

Den upplösning och komplexitet som resistivitetsmätningar ger kan inte TEM-sonderingar återge och det blir på så sätt svårt att jämföra resultaten direkt mot varandra. En samversion, Mutually Constrained Inversion (MCI), av de två metoderna hade varit av intresse för att försöka sammanfoga två olika dataset med varandra för att producera en gemensam modell. De två metoderna är inte helt jämförbara då TEM och ERT inte mättes under samma dag och förutsättningarna inte var desamma med tanke på rådande klimat och markens fuktighet ovan grundvattenytan.

Vid en ytligt liggande grundvattenyta med översta metrarna omättad respektive mättad sand, likt profil 1-3, generaliserar TEM-metoden de översta tiotal metrarna till ett förhållandevis lågt resistivt lager då den inte har samma upplösningsegenskaper som ERT har nära markytan.

På profil 1 och 2 använde ett elektroavstånd på 10 meter för att få bättre dataupplösning ner mot det sedimentära berget och på så sätt ett större undersökningsdjup. TEM-metoden har svårigheter att avgöra skillnader i resistivitet över 150 Ohm-m och passar sig därför bra på mark med större jorddjup med underliggande sedimentära bergarter likt geologin i Skånes inland och i Danmark. För ett mer diversifierat undersökningsdjup kan en större sändarloop än 40x40 m² väljas.

Inversion från resistivitetsmätningar är relativt användarvänliga med förinställbara inställningar i Res2DINV som används för att alla profiler ska kunna tolkas efter samma grund. Databehandling och modellering av TEM-sonderingar kräver erfarenhet, något som växt fram under projektets gång. Utan den erfarenheten är det svårt att utesluta felaktig TEM-data. Även för en erfaren användare har metoden sina begränsningar vid höga resistiviteter där otillräcklig data erhålls på grund av den låga

strömdensiteten. Modellanpassningen är också beroende på standardavvikelser och felstaplar (errorbar) på varje mätpunkt. Från en tillbakablick på databearbetningen kan det ses att det var modellanpassningen för TEM som tog merparten av tiden vilket också har att göra med mindre användarerfarenhet för metoden.

TEM-sonderingar gör ingen åverkan på marken. Resistivitetsmätningar kräver däremot en markyta som måste lämpa sig för nedsättning av elektroder. Ett torrt ytskikt ställer ofta till med problem genom att inte tillräckligt mycket ström kan skickas ned i marken på grund av för dålig elektrisk koppling mellan mark och elektrod. I urban miljö kan det krävas borrhutrustning för att komma genom en hårdgjord yta som asfalt med elektroderna. TEM-metoden är även behändigare då den inte kräver lika stora utlägg och tung utrustning som ERT.

Något som gäller för de båda geofysiska metoderna är att de har en osäkerhet gällande 3D-effekter, ekvivalens- och undertryckningsprincipen något som har tagits upp i teorin men en vidare analys gällande dessa görs inte.

Resistivitetsmätningar och TEM-sonderingar är bra på att kartlägga olika aspekter i marken. En jämförelse mellan de två metoderna över 4 profiler kan konstatera följande:

- TEM-metoden är en snabb förundersökningsmetod och kräver inte lika stor arbetskraft eller personal och kan därför sägas vara kostnadseffektivare. Metoden kan detektera små variationer i markkonduktivitet då den har svårt att avgöra skillnader i resistivitet över 150 Ohm-m.
- TEM-metoden har stor djupnedträngning och mycket bättre upplösning djupare ner i marken, något som ERT kräver långa utlägg för. Med TEM-sonderingars stora undersökningsdjup kan salt vatten i berggrunden detekteras med en resistivitet runt 10 Ohm-m på ett relativt stort djup. Inga indikationer har setts på större djup.
- TEM-signalen är fokuserad nedåt och är därför inte lika känslig för horisontella resistivitetsskillnader och lokal inomhogen geologi.
- Vid TEM-sonderingar behövs ingen ström injekteras i marken vilket är bra i torr mark där elektrodkontakt kan vara ett problem.
- ERT är en mycket välkänd och använd metod och har mer robust och användarvänlig utrustning. Dess resultat är mer tillförlitliga och säkrare i den bemärkelsen att tekniken är mer förståelig.
- ERT är bra på att detektera skillnader i resistivitet nära markytan och ner till 60-80 meter beroende på elektrodkonfigurationen. Speciellt bra är ERT vid en ytnära grundvattenyta där TEM-sonderingar istället generaliserar lager.
- Parallellt med resistivitetsmätningarna mäter Terrameter LS inducerad polarisation (IP) vilket har flera användningsområden varav ett är detektering av mineraliseringar.

7 Slutsatser

Då denna studie är dels en geologisk och hydrogeologisk tolkning av resistivitetsmodeller och dels en metodstudie görs följande slutsatser:

- Genom alla profiler ses en hög resistivitet i det översta lagret vilket är gemensamt för både TEM och ERT. Generellt för profilerna ses en sjunkande resistivitet mot djupet, undantaget är profil 2 som är placerad i backlandskapet där lermorän dominerar i markytan med underliggande utbredda intermoräna isälvssediment.
- Indikationer på akviferer finns med grovkorniga vattenförande lager ovan mer finkorniga formationer som lermoräner och siltrika material. Detta ses bäst på profil 3 och 4 där rördrivningar utförts och indikationerna väl stämmer med profilerna från ERT och TEM.
- Det finns skillnader i upplösning mellan ERT och TEM i de översta 50-60 metrarna. ERT är bra på att detektera resistivitetsskillnader nära markytan och ner till 60 meter beroende på elektrodkonfigurationen. Det har inte gått att uttyda några lagerföljder de översta tiotalen metrarna från TEM-sonderingarna men i gengäld har information erhållits djupare.
- TEM-metoden är en snabb förundersökningsmetod och kräver inte lika stor arbetskraft eller personal och kan därför sägas vara kostnadseffektivare. Ingen åverkan på marken görs och ingen ströminjektion i marken via elektrod krävs. Dock fordras en miljö utan kopplingsbenägenheter, något som infrastrukturen innehåller.
- Ytterligare fördelar resistivitetsmetoden har är att den ger tjänliga resultat i de flesta geologiska miljöer och att den ger kontinuerlig datatäckning, detta i kontrast till TEM-metoden som kräver en omgivning icke störd av infrastruktur med dess kopplingsbenägenheter.

TEM och ERT kompletterar varandra bra. TEM alternativt flygburna EM-mätningar (SkyTEM) kan användas för att få en relativt snabb överblick över ett stort undersökningsområde och vid mindre lokala områden som kräver bra upplösning kan ERT utföras.

6.1 Förslag till framtida studier

En förlängning eller komplettering av profil 2 (även profil 1) hade varit av intresse med tanke på den äldre uppstickande underliggande strukturen som kunde ses på berggrundskartan. På profil 2 hade en utökning av profilens sträckning varit av största intresse för att ha fått täckning över artefakterna i söder och norr. Profilen begränsades dock i söder och norr av en landsväg respektive ett större grönkålsfält. Denna förlängning av profil 2 skulle gjorts med ERT då resultaten från TEM var av sämre karaktär på grund av kopplingskällorna längs profilens sträckning.

För att få säkrare data kan parallella utlägg med TEM utföras. Det hade kunnat implementeras på profil 2, både för att förlänga profilen men också för att kunna avfärda eller påvisa koppling och kopplingskällor. Med parallella utlägg hade säkrare data kunnat erhållas och felaktig mätdata hade kunnat uteslutas.

Rördrivningarna på profil 3 och 4 var till stor hjälp då profilerna tolkades geologiskt. Kontrollborrningar på väl utvalda ställen på profil 1 och 2 hade varit av intresse för att påvisa utbredningen av de intermoräna sediment, utreda om det finns finkorniga sediment ovan det sedimentära berget samt för att klarlägga markens beskaffenhet som akvifer.

Då TEM och ERT presenterar samma egenskap, resistivitet, men med olika känslighet och olika respons från marken hade en kombinerad inversion av de två geofysiska metoderna varit av intresse. En MCI (Mutually Constrained Inversion) är den process där två datauppsättningar inverteras till att producera en gemensam modell. Detta fanns inte utrymme för i studien men denna samversion kan göras genom mjukvaran AarhusInv som Århus Universitet har tagit fram.

8 Källförteckning

- ABEM Instruments AB, 2012. Processing and presentation of resistivity-IP data measured by ABEM Terrameter Lund System. (utkast 2012-11-26).
- ABEM Instruments AB, 2014. WalkTEM user's guide. [pdf]
<<http://www.abem.se/support/downloads/user-manuals/abem-walktem-users-guide-33-8000-97-20140616.pdf>> [2014-07-29].
- Christiansen, A. V., Auken, E., Sørensen, K., 2009. The transient electromagnetic method. Kirsch, I. R., Groundwater geophysics (s.179-226). Springer Berlin Heidelberg.
- Dahlin, T., 2014. Personlig kommunikation.
- Daniel, E., 1992. Beskrivning till jordartskartan Tomelilla SV och Ystad NV. Uppsala: Sveriges Geologiska Undersökning.
- Dahlin, T., Zhou, B., 2006. Multiple-gradient array measurements for multichannel 2D resistivity imaging. Near Surface Geophysics 4, sid 113-123.
- Erlström, M., Sivhed, U., Wikman, H., Kornfält, K-A., 2004. Beskrivning till bergartskartorna 2D Tomelilla NV, NO, SV, SO, 2E Simrishamn NV, SV, 1D Ystad NV, NO, 1E Örnahusen NV. Sveriges Geologiska Undersökningar.
- Fitterman, V. D., Labson, F. V., (2005) Electromagnetical induction methods for environmental problems. D. K. Butler (red.), Investigations in geophysics No. 13 Near-surface geophysics, (s. 301-355). Tulsa: Society of Exploration Geophysicists.
- Heacock, J.G., (1977). The Earth's Crust: Its Nature and Physical Properties. American Geophysical Union. Hämtat från
<<http://books.google.se/books?id=TcaBiy9cO9YC&printsec=frontcover&hl=sv#v=onepage&q&f=false>> [2014-05-07].
- Jordbruksverket, 2014. Det här gäller vid träda. Hämtat från:
<[http://www.jordbruksverket.se/amnesomraden/stod/saminternet/tankpadethar/dethargallervi> \[2014-05-08\].](http://www.jordbruksverket.se/amnesomraden/stod/saminternet/tankpadethar/dethargallervi<trada)
- Lantmäteriet, 2014. Lantmäteriets GET-tjänst. Hämtat från <maps.slu.se/get/> [2014-07-24].
- Loke, M.H., 2013. Tutorial 2-D and 3-D electrical imaging surveys. Dr. M.H.Loke. [pdf]
<<http://www.geotomosoft.com/coursenotes.zip>> [2014-06-04].
- McNeill, D. J., (1980). Technical Note TN-7. Application of transient electromagnetic techniques. Ontario: Geonics Limited. Hämtat från: <<http://geonics.com/html/technicalnotes.html>> [2014-08-15]
- McNeill, D. J., (1994). Technical Note TN-27. Principles and application of time domain electromagnetic techniques for resistivity sounding. Ontario: Geonics Limited. Hämtat från: <<http://geonics.com/html/technicalnotes.html>> [2014-08-15]
- Menke, W., 1989. Geophysical Data Analysis: Discrete Inverse Theory. Academic Press, New York.

- Nilsson, P., 2013. Grundvattenundersökningar i Skåne Transient Elektromagnetisk Sondering. Examensarbete, Teknisk Geologi, Lunds Tekniska Högskola, Lunds Universitet.
- Palacky, G., 1987. Resistivity characteristics of geological targets, in electromagnetic methods in applied geophysics. Society of Exploration Geophysicists. Volume 1 (55).
- Reynolds, J. M., 2011. An Introduction to Applied and Environmental Geophysics. Second edition. Oxford: John Wiley & Sons Ltd.
- Robinson, E.S., Coruh, C., 1988. Basic Exploration Geophysics. New York: Wiley. ISBN: 978-0-471-612797.
- SGF, 2001. SGF/BGS Beteckningssystem. Svenska Geotekniska Föreningen. Hämtat från: <<http://www.sgf.net/web/page.aspx?refid=2674>> [2014-05-20].
- SNA, 1999. Sveriges nationalatlas. Första utgåvan. Almqvist och Wiksell, Uppsala 1999.
- Sveriges Geologiska Undersökning, 2005. Berggrundskartan SGU serie Af nr 214, 1:50 000. Uppsala, Sveriges Geologiska Undersökningar. 2D Tomelilla SV & 1D Ystad NV.
- Sveriges Geologiska Undersökning, 2000. Karta över grundvattnet i Skåne län Ah nr 15, 1:200 000. Uppsala: Sveriges Geologiska Undersökningar. Ah, 15.
- Sveriges Geologiska Undersökning, 1989. Jordartskartan SGU Ser. Ae nr 99, 1:50 000. Uppsala, Sveriges Geologiska Undersökningar. 2D Tomelilla SV.
- Sveriges Geologiska Undersökning, 1980. Jorddjupskarta över sydvästra Skåne SGU Ser. Ba nr 28, 1:100 000. Uppsala, Sveriges Geologiska Undersökningar.
- University of Alberta, 2014. Resistivity of rocks and minerals [pdf] <<http://www.ualberta.ca/~unsworth/UA-classes/424/notes424/424B-2014.pdf>> [2014-08-01].
- WSP Environmental, 2014. Rödrivningar utförda av WSP Environmental för Sjöbo kommun som beställare. Outgiven
- Århus Universitet, 2011. Transient Electromagnetic. Hämtat från <<http://hgg.au.dk/research/transientelectromagnetic/>> [2014-07-24].

9 Bilagor

Bilaga 1 – Använda datorprogram

<i>Aarhus Workbench:</i>	Mjukvara där geofysisk data kan visualiseras, processeras och inverteras
<i>ArcMap:</i>	Huvudkomponenten i ArcGIS
<i>Erigraph:</i>	Mångsidig mjukvara för presentation av geofysisk data
<i>Res2DINV:</i>	Data från Terrameter LS Toolbox exporteras till Res2DINV för vidare processering och invertering
<i>ViewTEM:</i>	Mjukvaran används för att processera, invertera och visualisera TEM-data
<i>WalkTEMUI:</i>	Inbyggd mjukvara i instrumentet WalkTEM
<i>Terrameter LS Toolbox:</i>	Mjukvaran för visualisering, filtrering, exportering med mera av data från Terrameter LS

Bilaga 2 – Inställningar på Terrameter LS

Följande tabeller visar vilka inställningar som användes på Terrameter LS under mätningar. Inställningar anpassades efter rådande förhållande.

Tabell 1. Sändarinställningar för Terrameter LS

Transmitter settings

Minimum current	10 mA
Maximum current	500 mA
Max power	250 W
Max output voltage	600 V
Bad electrode	5 k Ω
Fail electrode	500 k Ω
Electrode test current	20 mA

Tabell 2. Mottagarinställningar för Terrameter LS.

Receiver settings

Minimum # of stackings	2
Maximum # of stackings	2
Error limit	1 %
Delay time	0,4 s
Acq. Time	0,6 s
Number of IP stackings	8
Power line frequency	50Hz

Tabell 3. IP-fönster för Terrameter LS.

Window #	Time[ms]
1	20
2	40
3	60
4	80
5	120
6	160
7	200
8	280
Sum	960

Bilaga 3 – Mätprotokoll (profil 1 – Sövde)

Namn:	Sovde_01 Project 34			
Datum:	2014-03-27			
Väderstreck:	S-N			
Väder:	Molnigt, regndugg på förmiddagen, vindstilla.			
Markförhållande:	Betydligt mer vattenmättat än dagen då ERT utfördes, i början på profilen var det vattensjuk mark, torrare mark längre norrut			
Inställningar:	Mätscript: DualMoment_10ms_32gates Testscript: New_Standard_LHNM 15 cykler med en mättid på 1080 sekunder. RC-5 Ch A, RC-200 Ch B.			
Station	Tid	Avstånd från start	Kommentar	Filnamn
1	10:25	0m	Testfil 1-4	102730_953
2	11:25		Testfil 5-6, ca 50m till stängsel från Tx-loopen	113055_953
3	12:30		Testfil 7, ca 50m till stängsel från Tx-loopen	123443_359
4	13:35		Testfil 8	134425_843
5	14:40		Testfil 9-10	144854_234
6	15:40		Testfil 11	154418_156
7				
8				

Övrigt:

WalkTEM har en inbyggd GPS. Stationerna och RC-5:ans position mättes också in med hand-GPS
Efter sondering 6 utfördes ett test med individuella mottagarloopar

Bilaga 5 – Mjukvaruscript

[VERSION]
VERSION=2

[HARDWARE]
NHARDCH=2

[SOFTWARE]
SOFTCHIDS=1 2 3 4 5 6

[SOFTWAREID_1]
HARDCHID=0
MOMENTID=1

[SOFTWAREID_2]
HARDCHID=0
MOMENTID=2

[SOFTWAREID_3]
HARDCHID=0
MOMENTID=3

[SOFTWAREID_4]
HARDCHID=1
MOMENTID=1

[SOFTWAREID_5]
HARDCHID=1
MOMENTID=2

[SOFTWAREID_6]
HARDCHID=1
MOMENTID=3

[DATASEQSET]
DATASEQSETIDS=1

[DATASEQSETID_1]
MOMENTIDS=3 1 2 1 2 1 2 1 2 1 2

[MOMENT]
MOMENTIDS=1 2 3

[MOMENTID_1]
TXCOILID=160
TXLOOPAREA=001.0
GAINID=2
BANDFILTID=1
NDATASERIES=500
NPATTERNREP=250
SIGNPATTERN=+1 -1
TXON=1
PERIODTIME=20000E-6
ONTIME=10000E-6
CURRENTMEATIME=9800E-6
CURRENTMEAOFFTIME=18000E-6
STARTMEATIME=10000E-6
LENGTHMEATIME=9743E-6
FRONTGATETIME=10020E-6
STOONTIME=100E-6
NIndex=32
StartSlaveMeaTime=0E-6
LengthSlaveMeaTime=0E-6
FrontGateSlaveTime=0E-6
NSlaveIndex=0

[MOMENTID_2]
TXCOILID=128
TXLOOPAREA=001.0
GAINID=2
BANDFILTID=1
NDATASERIES=1080
NPATTERNREP=540
SIGNPATTERN=+1 -1
TXON=1
PERIODTIME=2222E-6
ONTIME=1000E-6
CURRENTMEATIME=900E-6
CURRENTMEAOFFTIME=1800E-6
STARTMEATIME=1000E-6
LENGTHMEATIME=1000E-6
FRONTGATETIME=1000E-6
STOONTIME=1000E-6
NIndex=22
StartSlaveMeaTime=0E-6
LengthSlaveMeaTime=0E-6
FrontGateSlaveTime=0E-6
NSlaveIndex=0

[MOMENTID_3]
TXCOILID=0
TXLOOPAREA=001.0
GAINID=2
BANDFILTID=1
NDATASERIES=500
NPATTERNREP=250
SIGNPATTERN=+1 -1
TXON=1
PERIODTIME=20000E-6
ONTIME=10000E-6
CURRENTMEATIME=9900E-6
CURRENTMEAOFFTIME=10900E-6
STARTMEATIME=10000E-6
LENGTHMEATIME=9743E-6
FRONTGATETIME=10000E-6
STOONTIME=100E-6
NIndex=32
StartSlaveMeaTime=0E-6
LengthSlaveMeaTime=0E-6
FrontGateSlaveTime=0E-6
NSlaveIndex=0

[MOMENTID_1_SAMPLE_1]
SAMPLEINDEX=4
SAMPLEFACTOR=3.0104972e-06
SAMPLECENTERTIME=2.1900000e-06

[MOMENTID_1_SAMPLE_2]
SAMPLEINDEX=8
SAMPLEFACTOR=3.0104972e-06
SAMPLECENTERTIME=6.1900000e-06

[MOMENTID_1_SAMPLE_3]
SAMPLEINDEX=12
SAMPLEFACTOR=3.0104972e-06
SAMPLECENTERTIME=1.0190000e-05

[MOMENTID_1_SAMPLE_4]
SAMPLEINDEX=16
SAMPLEFACTOR=3.0104972e-06
SAMPLECENTERTIME=1.4190000e-05

[MOMENTID_1_SAMPLE_14]
SAMPLEINDEX=158
SAMPLEFACTOR=3.4465528e-07
SAMPLECENTERTIME=1.4219000e-04

[MOMENTID_1_SAMPLE_5]
SAMPLEINDEX=20
SAMPLEFACTOR=3.0104972e-06
SAMPLECENTERTIME=1.8190000e-05

[MOMENTID_1_SAMPLE_15]
SAMPLEINDEX=200
SAMPLEFACTOR=2.6184526e-07
SAMPLECENTERTIME=1.7919000e-04

[MOMENTID_1_SAMPLE_6]
SAMPLEINDEX=25
SAMPLEFACTOR=2.3588744e-06
SAMPLECENTERTIME=2.2690000e-05

[MOMENTID_1_SAMPLE_16]
SAMPLEINDEX=251
SAMPLEFACTOR=2.1529040e-07
SAMPLECENTERTIME=2.2569000e-04

[MOMENTID_1_SAMPLE_7]
SAMPLEINDEX=32
SAMPLEFACTOR=1.6462235e-06
SAMPLECENTERTIME=2.8690000e-05

[MOMENTID_1_SAMPLE_17]
SAMPLEINDEX=316
SAMPLEFACTOR=1.6864747e-07
SAMPLECENTERTIME=2.8369000e-04

[MOMENTID_1_SAMPLE_8]
SAMPLEINDEX=40
SAMPLEFACTOR=1.4301837e-06
SAMPLECENTERTIME=3.6190000e-05

[MOMENTID_1_SAMPLE_18]
SAMPLEINDEX=398
SAMPLEFACTOR=1.3352119e-07
SAMPLECENTERTIME=3.5719000e-04

[MOMENTID_1_SAMPLE_9]
SAMPLEINDEX=50
SAMPLEFACTOR=1.1328482e-06
SAMPLECENTERTIME=4.5190000e-05

[MOMENTID_1_SAMPLE_19]
SAMPLEINDEX=501
SAMPLEFACTOR=1.0619762e-07
SAMPLECENTERTIME=4.4969000e-04

[MOMENTID_1_SAMPLE_10]
SAMPLEINDEX=63
SAMPLEFACTOR=8.6354991e-07
SAMPLECENTERTIME=5.6690000e-05

[MOMENTID_1_SAMPLE_20]
SAMPLEINDEX=631
SAMPLEFACTOR=8.4076530e-08
SAMPLECENTERTIME=5.6619000e-04

[MOMENTID_1_SAMPLE_11]
SAMPLEINDEX=79
SAMPLEFACTOR=6.9769525e-07
SAMPLECENTERTIME=7.1190000e-05

[MOMENTID_1_SAMPLE_21]
SAMPLEINDEX=794
SAMPLEFACTOR=6.7015126e-08
SAMPLECENTERTIME=7.1269000e-04

[MOMENTID_1_SAMPLE_12]
SAMPLEINDEX=100
SAMPLEFACTOR=5.2851599e-07
SAMPLECENTERTIME=8.9690000e-05

[MOMENTID_1_SAMPLE_22]
SAMPLEINDEX=1000
SAMPLEFACTOR=5.3000680e-08
SAMPLECENTERTIME=8.9719000e-04

[MOMENTID_1_SAMPLE_13]
SAMPLEINDEX=126
SAMPLEFACTOR=4.2537080e-07
SAMPLECENTERTIME=1.1319000e-04

[MOMENTID_1_SAMPLE_23]
SAMPLEINDEX=1259
SAMPLEFACTOR=4.2139045e-08
SAMPLECENTERTIME=1.1296900e-03

[MOMENTID_2_SAMPLE_1]
SAMPLEINDEX=4
SAMPLEFACTOR=3.0104972e-06
SAMPLECENTERTIME=2.1900000e-06

[MOMENTID_1_SAMPLE_24]
SAMPLEINDEX=1585
SAMPLEFACTOR=3.3468460e-08
SAMPLECENTERTIME=1.4221900e-03

[MOMENTID_2_SAMPLE_2]
SAMPLEINDEX=8
SAMPLEFACTOR=3.0104972e-06
SAMPLECENTERTIME=6.1900000e-06

[MOMENTID_1_SAMPLE_25]
SAMPLEINDEX=1995
SAMPLEFACTOR=2.6605146e-08
SAMPLECENTERTIME=1.7901900e-03

[MOMENTID_2_SAMPLE_3]
SAMPLEINDEX=12
SAMPLEFACTOR=3.0104972e-06
SAMPLECENTERTIME=1.0190000e-05

[MOMENTID_1_SAMPLE_26]
SAMPLEINDEX=2512
SAMPLEFACTOR=2.1094808e-08
SAMPLECENTERTIME=2.2536900e-03

[MOMENTID_2_SAMPLE_4]
SAMPLEINDEX=16
SAMPLEFACTOR=3.0104972e-06
SAMPLECENTERTIME=1.4190000e-05

[MOMENTID_1_SAMPLE_27]
SAMPLEINDEX=3162
SAMPLEFACTOR=1.6775961e-08
SAMPLECENTERTIME=2.8371900e-03

[MOMENTID_2_SAMPLE_5]
SAMPLEINDEX=20
SAMPLEFACTOR=3.0104972e-06
SAMPLECENTERTIME=1.8190000e-05

[MOMENTID_1_SAMPLE_28]
SAMPLEINDEX=3981
SAMPLEFACTOR=1.3312648e-08
SAMPLECENTERTIME=3.5716900e-03

[MOMENTID_2_SAMPLE_6]
SAMPLEINDEX=25
SAMPLEFACTOR=2.3588744e-06
SAMPLECENTERTIME=2.2690000e-05

[MOMENTID_1_SAMPLE_29]
SAMPLEINDEX=5012
SAMPLEFACTOR=1.0574217e-08
SAMPLECENTERTIME=4.4966900e-03

[MOMENTID_2_SAMPLE_7]
SAMPLEINDEX=32
SAMPLEFACTOR=1.6462235e-06
SAMPLECENTERTIME=2.8690000e-05

[MOMENTID_1_SAMPLE_30]
SAMPLEINDEX=6310
SAMPLEFACTOR=8.3984524e-09
SAMPLECENTERTIME=5.6611900e-03

[MOMENTID_2_SAMPLE_8]
SAMPLEINDEX=40
SAMPLEFACTOR=1.4301837e-06
SAMPLECENTERTIME=3.6190000e-05

[MOMENTID_1_SAMPLE_31]
SAMPLEINDEX=7943
SAMPLEFACTOR=6.6751600e-09
SAMPLECENTERTIME=7.1266900e-03

[MOMENTID_2_SAMPLE_9]
SAMPLEINDEX=50
SAMPLEFACTOR=1.1328482e-06
SAMPLECENTERTIME=4.5190000e-05

[MOMENTID_1_SAMPLE_32]
SAMPLEINDEX=9743
SAMPLEFACTOR=6.0557228e-09
SAMPLECENTERTIME=8.8431900e-03

[MOMENTID_2_SAMPLE_10]
SAMPLEINDEX=63
SAMPLEFACTOR=8.6354991e-07
SAMPLECENTERTIME=5.6690000e-05

[MOMENTID_2_SAMPLE_20]
SAMPLEINDEX=631
SAMPLEFACTOR=8.4076530e-08
SAMPLECENTERTIME=5.6619000e-04

[MOMENTID_2_SAMPLE_11]
SAMPLEINDEX=79
SAMPLEFACTOR=6.9769525e-07
SAMPLECENTERTIME=7.1190000e-05

[MOMENTID_2_SAMPLE_21]
SAMPLEINDEX=794
SAMPLEFACTOR=6.7015126e-08
SAMPLECENTERTIME=7.1269000e-04

[MOMENTID_2_SAMPLE_12]
SAMPLEINDEX=100
SAMPLEFACTOR=5.2851599e-07
SAMPLECENTERTIME=8.9690000e-05

[MOMENTID_2_SAMPLE_22]
SAMPLEINDEX=1000
SAMPLEFACTOR=5.3000680e-08
SAMPLECENTERTIME=8.9719000e-04

[MOMENTID_2_SAMPLE_13]
SAMPLEINDEX=126
SAMPLEFACTOR=4.2537080e-07
SAMPLECENTERTIME=1.1319000e-04

[MOMENTID_3_SAMPLE_1]
SAMPLEINDEX=4
SAMPLEFACTOR=3.0104972e-06
SAMPLECENTERTIME=2.1900000e-06

[MOMENTID_2_SAMPLE_14]
SAMPLEINDEX=158
SAMPLEFACTOR=3.4465528e-07
SAMPLECENTERTIME=1.4219000e-04

[MOMENTID_3_SAMPLE_2]
SAMPLEINDEX=8
SAMPLEFACTOR=3.0104972e-06
SAMPLECENTERTIME=6.1900000e-06

[MOMENTID_2_SAMPLE_15]
SAMPLEINDEX=200
SAMPLEFACTOR=2.6184526e-07
SAMPLECENTERTIME=1.7919000e-04

[MOMENTID_3_SAMPLE_3]
SAMPLEINDEX=12
SAMPLEFACTOR=3.0104972e-06
SAMPLECENTERTIME=1.0190000e-05

[MOMENTID_2_SAMPLE_16]
SAMPLEINDEX=251
SAMPLEFACTOR=2.1529040e-07
SAMPLECENTERTIME=2.2569000e-04

[MOMENTID_3_SAMPLE_4]
SAMPLEINDEX=16
SAMPLEFACTOR=3.0104972e-06
SAMPLECENTERTIME=1.4190000e-05

[MOMENTID_2_SAMPLE_17]
SAMPLEINDEX=316
SAMPLEFACTOR=1.6864747e-07
SAMPLECENTERTIME=2.8369000e-04

[MOMENTID_3_SAMPLE_5]
SAMPLEINDEX=20
SAMPLEFACTOR=3.0104972e-06
SAMPLECENTERTIME=1.8190000e-05

[MOMENTID_2_SAMPLE_18]
SAMPLEINDEX=398
SAMPLEFACTOR=1.3352119e-07
SAMPLECENTERTIME=3.5719000e-04

[MOMENTID_3_SAMPLE_6]
SAMPLEINDEX=25
SAMPLEFACTOR=2.3588744e-06
SAMPLECENTERTIME=2.2690000e-05

[MOMENTID_2_SAMPLE_19]
SAMPLEINDEX=501
SAMPLEFACTOR=1.0619762e-07
SAMPLECENTERTIME=4.4969000e-04

[MOMENTID_3_SAMPLE_7]
SAMPLEINDEX=32
SAMPLEFACTOR=1.6462235e-06
SAMPLECENTERTIME=2.8690000e-05

[MOMENTID_3_SAMPLE_17]
SAMPLEINDEX=316
SAMPLEFACTOR=1.6864747e-07
SAMPLECENTERTIME=2.8369000e-04

[MOMENTID_3_SAMPLE_8]
SAMPLEINDEX=40
SAMPLEFACTOR=1.4301837e-06
SAMPLECENTERTIME=3.6190000e-05

[MOMENTID_3_SAMPLE_18]
SAMPLEINDEX=398
SAMPLEFACTOR=1.3352119e-07
SAMPLECENTERTIME=3.5719000e-04

[MOMENTID_3_SAMPLE_9]
SAMPLEINDEX=50
SAMPLEFACTOR=1.1328482e-06
SAMPLECENTERTIME=4.5190000e-05

[MOMENTID_3_SAMPLE_19]
SAMPLEINDEX=501
SAMPLEFACTOR=1.0619762e-07
SAMPLECENTERTIME=4.4969000e-04

[MOMENTID_3_SAMPLE_10]
SAMPLEINDEX=63
SAMPLEFACTOR=8.6354991e-07
SAMPLECENTERTIME=5.6690000e-05

[MOMENTID_3_SAMPLE_20]
SAMPLEINDEX=631
SAMPLEFACTOR=8.4076530e-08
SAMPLECENTERTIME=5.6619000e-04

[MOMENTID_3_SAMPLE_11]
SAMPLEINDEX=79
SAMPLEFACTOR=6.9769525e-07
SAMPLECENTERTIME=7.1190000e-05

[MOMENTID_3_SAMPLE_21]
SAMPLEINDEX=794
SAMPLEFACTOR=6.7015126e-08
SAMPLECENTERTIME=7.1269000e-04

[MOMENTID_3_SAMPLE_12]
SAMPLEINDEX=100
SAMPLEFACTOR=5.2851599e-07
SAMPLECENTERTIME=8.9690000e-05

[MOMENTID_3_SAMPLE_22]
SAMPLEINDEX=1000
SAMPLEFACTOR=5.3000680e-08
SAMPLECENTERTIME=8.9719000e-04

[MOMENTID_3_SAMPLE_13]
SAMPLEINDEX=126
SAMPLEFACTOR=4.2537080e-07
SAMPLECENTERTIME=1.1319000e-04

[MOMENTID_3_SAMPLE_23]
SAMPLEINDEX=1259
SAMPLEFACTOR=4.2139045e-08
SAMPLECENTERTIME=1.1296900e-03

[MOMENTID_3_SAMPLE_14]
SAMPLEINDEX=158
SAMPLEFACTOR=3.4465528e-07
SAMPLECENTERTIME=1.4219000e-04

[MOMENTID_3_SAMPLE_24]
SAMPLEINDEX=1585
SAMPLEFACTOR=3.3468460e-08
SAMPLECENTERTIME=1.4221900e-03

[MOMENTID_3_SAMPLE_15]
SAMPLEINDEX=200
SAMPLEFACTOR=2.6184526e-07
SAMPLECENTERTIME=1.7919000e-04

[MOMENTID_3_SAMPLE_25]
SAMPLEINDEX=1995
SAMPLEFACTOR=2.6605146e-08
SAMPLECENTERTIME=1.7901900e-03

[MOMENTID_3_SAMPLE_16]
SAMPLEINDEX=251
SAMPLEFACTOR=2.1529040e-07
SAMPLECENTERTIME=2.2569000e-04

[MOMENTID_3_SAMPLE_26]
SAMPLEINDEX=2512
SAMPLEFACTOR=2.1094808e-08
SAMPLECENTERTIME=2.2536900e-03

[MOMENTID_3_SAMPLE_27]
SAMPLEINDEX=3162
SAMPLEFACTOR=1.6775961e-08
SAMPLECENTERTIME=2.8371900e-03

[MOMENTID_3_SAMPLE_28]
SAMPLEINDEX=3981
SAMPLEFACTOR=1.3312648e-08
SAMPLECENTERTIME=3.5716900e-03

[MOMENTID_3_SAMPLE_29]
SAMPLEINDEX=5012
SAMPLEFACTOR=1.0574217e-08
SAMPLECENTERTIME=4.4966900e-03

[MOMENTID_3_SAMPLE_30]
SAMPLEINDEX=6310
SAMPLEFACTOR=8.3984524e-09
SAMPLECENTERTIME=5.6611900e-03

[MOMENTID_3_SAMPLE_31]
SAMPLEINDEX=7943
SAMPLEFACTOR=6.6751600e-09
SAMPLECENTERTIME=7.1266900e-03

[MOMENTID_3_SAMPLE_32]
SAMPLEINDEX=9743
SAMPLEFACTOR=6.0557228e-09
SAMPLECENTERTIME=8.8431900e-03

Bilaga 6 – Inversionsinställningar

Inversion settings:

Initial damping factor (0.01 to 1.00)

0.1500

Minimum damping factor (0.001 to 0.75)

0.0200

Local optimization option (0=No, 1=Yes)

1

Convergence limit for relative change in RMS error in percent (0.1 to 20)

5.0000

Minimum change in RMS error for line search in percent (0.5 to 100)

0.5000

Number of iterations (1 to 30)

7

Vertical to horizontal flatness filter ratio (0.25 to 4.0)

0.5000

Model for increase in thickness of layers(0=default 10%, 1=default 25%, 2=user defined)

2

Number of nodes between adjacent electrodes (2 or 4)

2

Flatness filter type, Include smoothing of model resistivity (0=model changes only,1=directly on model)

1

Reduce number of topographical data points? (0=No,1=Yes. Recommend leave at 0)

0

Carry out topography modeling? (0=No,1=Yes)

1

Type of topography trend removal (0=Average,1=Least-squares,2=End to end)

0

Type of Jacobian matrix calculation (0=Quasi-Newton, 1=Gauss-Newton, 2=Mixed)

1

Increase of damping factor with depth (1.0 to 2.0)

1.1000

Type of topographical modeling (0=None, 1=No longer supported so do not use, 2=uniform distorted FEM, 3=underwater, 4=damped FEM, 5=FEM with inverse Swartz-Christoffel)

4

Robust data constrain? (0=No, 1=Yes)

1

Cutoff factor for data constrain (0.0001 to 0.1))

0.0500

Robust model constrain? (0=No, 1=Yes)

1

Cutoff factor for model constrain (0.0001 to 1.0)

0.0050

Allow number of model parameters to exceed data points? (0=No, 1=Yes)

1

Use extended model? (0=No, 1=Yes)

0

Reduce effect of side blocks? (0=No, 1=Slight, 2=Severe, 3=Very Severe)

2

Type of mesh (0=Normal,1=Fine,2=Finest)

0

Optimise damping factor? (0=No, 1=Yes)

1

Time-lapse inversion constrain (0=None,1&2=Smooth,3=Robust)
0
Type of time-lapse inversion method (0=Simultaneous,1=Sequential)
0
Thickness of first layer (0.25 to 1.0)
0.5000
Factor to increase thickness layer with depth (1.0 to 1.25)
1.2000
USE FINITE ELEMENT METHOD (YES=1,NO=0)
0
WIDTH OF BLOCKS (1=NORMAL WIDTH, 2=DOUBLE, 3=TRIPLE, 4=QUADRUPLE,
5=QUINTIPLE)
1
MAKE SURE BLOCKS HAVE THE SAME WIDTH (YES=1,NO=0)
1
RMS CONVERGENCE LIMIT (IN PERCENT)
0.100
USE LOGARITHM OF APPARENT RESISTIVITY (0=USE LOG OF APPARENT RESISTIVITY,
1=USE RESISTANCE VALUES, 2=USE APPARENT RESISTIVITY)
0
TYPE OF IP INVERSION METHOD (0=CONCURRENT,1=SEQUENTIAL)
0
PROCEED AUTOMATICALLY FOR SEQUENTIAL METHOD (1=YES,0=NO)
0
IP DAMPING FACTOR (0.01 to 1.0)
1.000
USE AUTOMATIC IP DAMPING FACTOR (YES=1,NO=0)
0
CUTOFF FACTOR FOR BOREHOLE DATA (0.0005 to 0.02)
0.00010
TYPE OF CROSS-BOREHOLE MODEL (0=normal,1=halfsize)
0
LIMIT RESISTIVITY VALUES(0=No,1=Yes)
0
Upper limit factor (10-50)
50.000
Lower limit factor (0.02 to 0.1)
0.020
Type of reference resistivity (0=average,1=first iteration)
0
Model refinement (1.0=Normal,0.5=Half-width cells)
0.50
Combined Combined Marquardt and Occam inversion (0=Not used,1=used)
0
Type of optimisation method (0=Gauss-Newton,2=Incomplete GN)
2
Convergence limit for Incomplete Gauss-Newton method (0.005 to 0.05)
0.005
Use data compression with Incomplete Gauss-Newton (0=No,1=Yes)
0
Use reference model in inversion (0=No,1=Yes)
1
Damping factor for reference model (0.0 to 0.3)
0.01000

Use fast method to calculate Jacobian matrix. (0=No,1=Yes)
1
Use higher damping for first layer? (0=No,1=Yes)
1
Extra damping factor for first layer (1.0 to 100.0)
5.00000
Type of finite-element method (0=Triangular,1=Trapezoidal elements)
1
Factor to increase model depth range (1.0 to 5.0)
1.050
Reduce model variations near borehole (0=No, 1=Yes)
0
Factor to control the degree variations near the boreholes are reduced (2 to 100)
5.0
Factor to control variation of borehole damping factor with distance (0.5 to 5.0)
1.0
Floating electrodes survey inversion method (0=use fixed water layer, 1=Incorporate water layer into the model)
1
Resistivity variation within water layer (0=allow resistivity to vary freely,1=minimise variation)
1
Use sparse inversion method for very long survey lines (0=No, 1=Yes)
0
Optimize Jacobian matrix calculation (0=No, 1=Yes)
0
Automatically switch electrodes for negative geometric factor (0=No, 1=Yes)
1
Force resistance value to be consistent with the geometric factor (0=No, 1=Yes)
0
Shift the electrodes to round up positions of electrodes (0=No, 1=Yes)
0
Use difference of measurements in time-lapse inversion (0=No,1=Yes)
0
Use active constraint balancing (0=No,1=Yes)
0
Type of active constraints (0=Normal,1=Reverse)
0
Lower damping factor limit for active constraints
0.4000
Upper damping factor limit for active constraints
2.5000
Water resistivity variation damping factor
8.0000
Use automatic calculation for change of damping factor with depth (0=No,1=Yes)
0

Bilaga 7 – Brunnsborrningar

Profil 1	Sövde
SGU Brunns-ID	23100148
Borrdjup	95.5
Höjd	37
VerticalRef	DVR90
XUTM	417926
YUTM	6158820
UTMZon	33N
Datum	EUREF89

Topp	Botten	Beskrivning	Symbol
0.0	12.5	"sand"	s
12.5	21.5	"grusbl. lera"	m
21.5	28.0	"lerbl.grus"	g
28.0	35.0	"fingrus"	g
35.0	46.5	"sjösand"	s
46.5	58.0	"lera"	m
58.0	60.5	"lera"	m
60.5	69.0	"lera"	m
69.0	78.0	"lera"	m
78.0	93.0	"berg"	b
93.0	95.5	"berg"	b

Profil 2	Bussjö
SGU Brunns-ID	23100108
Borrdjup	132
Höjd	60
VerticalRef	DVR90
XUTM	425347
YUTM	6148112
UTMZon	33N
Datum	EUREF89

Topp	Botten	Beskrivning	Symbol
0.0	6.0	"brunn"	gl
6.0	72.0	"grusbl. lera"	gl
72.0	89.0	"sandbl. lera"	sl
89.0	93.0	"finsand"	s
93.0	97.0	"grusbl. lera"	gl
97.0	98.5	"finsand"	s
98.5	112.0	"sandbl. lera"	sl
112.0	113.5	"sandbl. lera"	sl
113.5	128.0	"sandbl. lera"	sl
128.0	132.0	"sandbl. lera"	sl

Profil 2	Bussjö
SGU Brunns-ID	23100109
Borrdjup	132
Höjd	50
VerticalRef	DVR90
XUTM	425339
YUTM	6148811
UTMZon	33N
Datum	EUREF89

Topp	Botten	Beskrivning	Symbol
0.0	3.9	"brunn"	gl
3.9	12.0	"grusbl. lera"	gl
12.0	21.5	"grusbl. lera"	gl
21.5	22.0	"grus"	g
22.0	31.0	"sandbl. lera"	sl
31.0	44.0	"sandbl. lera"	sl
44.0	47.0	"kalksten"	ds
47.0	60.3	"kalksten"	ds

Profil 3	Ilstorp
SGU Brunns-ID	23100511
Borrdjup	97.5
Höjd	37
VerticalRef	DVR90
XUTM	415165
YUTM	6164186
UTMZon	33N
Datum	EUREF89

Topp	Botten	Beskrivning	Symbol
0	15.0	"sand"	s
15.0	20.0	"lera"	m
20.0	25.0	"moränlera"	ml
25.0	35.0	"lera"	m
35.0	60.0	"moränlera"	ml
60.0	70.0	"moränlera"	ml
70.0	75.0	"lera"	m
75.0	90.0	"märgelsten"	bk
90.0	97.5	"lera"	m

Profil 3	Ilstorp
SGU Brunns-ID	23100562
Borrdjup	78
Höjd	37
VerticalRef	DVR90
XUTM	415376
YUTM	6163289
UTMZon	33N
Datum	EUREF89

Topp	Botten	Beskrivning	Symbol
0.0	2.0	"Sandig mo"	s
2.0	8.0	"Lerig mo"	m
8.0	13.5	"mellansand"	s
13.5	15.5	"sand"	s
15.5	20.0	"mo"	l
20.0	41.0	"lera"	l
41.0	47.0	"moränlera"	l
47.0	47.0	"grovsand"	s
47.2	49.5	"moränlera"	l
49.5	65.0	"lersten"	ds
65.0	78.0	"märgelsten"	bk

Profil 4	Sövde flygfält
SGU Brunns-ID	23100532
Borrdjup	57
Höjd	33
VerticalRef	DVR90
XUTM	416595
YUTM	6161604
UTMZon	33N
Datum	EUREF89

Topp	Botten	Beskrivning	Symbol
0.0	0.5	"SANDJORD"	s
0.5	2.5	"SAND"	s
2.5	6.0	"LERA"	l
6.0	7.5	"MORÄNLERA"	ml
7.5	29.0	"LERA"	l
29.0	40.5	"MORÄNLERA"	ml
40.5	57.0	"LERA"	l

Profil 4	Sövde flygfält
SGU Brunns-ID	23100517
Borrdjup	28
Höjd	35
VerticalRef	DVR90
XUTM	417286
YUTM	6162311
UTMZon	33N
Datum	EUREF89

Topp	Botten	Beskrivning	Symbol
0.0	5.0	"SAND"	s
5.0	10.0	"SAND"	s
10.0	15.0	"MORÄNLERA"	ml
15.0	20.0	"SED. LERA"	l
20.0	28.0	"SAND"	s

Bilaga 8 – Koordinater

ERT:

Koordinater är angivna i Sweref99 TM. Profil 3 och 4 har enbart mätstationernas koordinater.

Profil 1 – Sövde:

Elektrod	N	E
SOVDE-001	6160572.226	161517.139
SOVDE-002	6160582.208	161517.722
SOVDE-003	6160592.155	161518.437
SOVDE-004	6160602.162	161519.115
SOVDE-005	6160612.186	161519.715
SOVDE-006	6160622.167	161520.602
SOVDE-007	6160632.180	161521.520
SOVDE-008	6160642.106	161522.369
SOVDE-009	6160652.109	161523.210
SOVDE-010	6160662.048	161524.162
SOVDE-011	6160671.960	161525.385
SOVDE-012	6160682.043	161526.140
SOVDE-013	6160691.988	161526.823
SOVDE-014	6160701.977	161527.468
SOVDE-015	6160712.008	161528.199
SOVDE-016	6160721.948	161529.083
SOVDE-017	6160731.922	161529.817
SOVDE-018	6160741.826	161530.646
SOVDE-019	6160751.836	161531.240
SOVDE-020	6160761.754	161531.942
SOVDE-021	6160771.666	161532.852
SOVDE-022	6160781.438	161533.152
SOVDE-023	6160791.539	161533.654
SOVDE-024	6160801.558	161534.012
SOVDE-025	6160811.507	161534.506
SOVDE-026	6160821.526	161535.202
SOVDE-027	6160831.490	161536.052
SOVDE-028	6160841.532	161536.635
SOVDE-029	6160851.150	161537.013
SOVDE-030	6160861.379	161537.688
SOVDE-031	6160871.341	161538.189

SOVDE-032	6160881.490	161538.607
SOVDE-033	6160891.629	161538.931
SOVDE-034	6160901.597	161539.155
SOVDE-035	6160911.584	161539.688
SOVDE-036	6160921.586	161540.208
SOVDE-037	6160931.542	161540.632
SOVDE-038	6160941.586	161541.248
SOVDE-039	6160951.525	161541.840
SOVDE-040	6160961.524	161542.527
SOVDE-041	6160971.511	161543.125
SOVDE-042	6160981.633	161543.896
SOVDE-043	6160991.636	161544.380
SOVDE-044	6161001.609	161545.115
SOVDE-045	6161011.567	161545.848
SOVDE-046	6161021.610	161546.584
SOVDE-047	6161031.615	161547.242
SOVDE-048	6161041.524	161548.084
SOVDE-049	6161051.575	161548.701
SOVDE-050	6161061.484	161549.279
SOVDE-051	6161071.564	161549.743
SOVDE-052	6161080.509	161550.848
SOVDE-053	6161090.492	161551.018
SOVDE-054	6161100.545	161551.276
SOVDE-055	6161110.475	161551.584
SOVDE-056	6161120.539	161552.012
SOVDE-057	6161130.489	161552.396
SOVDE-058	6161140.578	161552.689
SOVDE-059	6161150.589	161552.913
SOVDE-060	6161160.610	161553.207
SOVDE-061	6161170.583	161553.684
SOVDE-062	6161180.929	161554.898
SOVDE-063	6161190.930	161555.458
SOVDE-064	6161200.922	161555.996

SOVDE-065	6161210.890	161556.329
SOVDE-066	6161220.862	161556.845
SOVDE-067	6161230.989	161557.421
SOVDE-068	6161240.949	161557.965
SOVDE-069	6161250.985	161558.334
SOVDE-070	6161260.980	161559.101
SOVDE-071	6161270.851	161559.869
SOVDE-072	6161281.011	161560.419
SOVDE-073	6161290.942	161561.184
SOVDE-074	6161300.964	161561.660

SOVDE-075	6161310.972	161562.080
SOVDE-076	6161320.938	161562.582
SOVDE-077	6161330.974	161563.152
SOVDE-078	6161340.964	161563.915
SOVDE-079	6161350.941	161564.259
SOVDE-080	6161360.978	161564.787
SOVDE-081	6161370.938	161564.539

Profil 2 – Bussjö:

Elektrod	N	E
BUSSJO-001	6149091.173	170169.011
BUSSJO-002	6149101.266	170168.743
BUSSJO-003	6149111.059	170167.909
BUSSJO-004	6149121.085	170167.229
BUSSJO-005	6149131.080	170166.692
BUSSJO-006	6149141.025	170166.090
BUSSJO-007	6149151.019	170165.208
BUSSJO-008	6149160.946	170164.298
BUSSJO-009	6149170.900	170163.204
BUSSJO-010	6149180.842	170162.411
BUSSJO-011	6149190.876	170161.866
BUSSJO-012	6149200.768	170161.309
BUSSJO-013	6149210.728	170160.970
BUSSJO-014	6149220.678	170160.495
BUSSJO-015	6149230.648	170159.697
BUSSJO-016	6149240.611	170159.141
BUSSJO-017	6149250.463	170158.549
BUSSJO-018	6149260.491	170158.178
BUSSJO-019	6149270.438	170156.979
BUSSJO-020	6149280.336	170156.410
BUSSJO-021	6149290.374	170155.383
BUSSJO-022	6149300.244	170154.247
BUSSJO-023	6149310.217	170153.229
BUSSJO-024	6149320.235	170152.194
BUSSJO-025	6149330.106	170151.327
BUSSJO-026	6149340.125	170150.477
BUSSJO-027	6149350.078	170149.565
BUSSJO-028	6149360.020	170148.746
BUSSJO-029	6149369.981	170148.211
BUSSJO-030	6149379.991	170148.002
BUSSJO-031	6149390.363	170147.492
BUSSJO-032	6149400.474	170147.105
BUSSJO-033	6149410.584	170146.590
BUSSJO-034	6149420.611	170145.907

BUSSJO-035	6149430.576	170144.998
BUSSJO-036	6149440.453	170143.689
BUSSJO-037	6149450.464	170142.574
BUSSJO-038	6149460.480	170141.900
BUSSJO-039	6149470.435	170141.656
BUSSJO-040	6149480.456	170141.334
BUSSJO-041	6149490.427	170140.956
BUSSJO-042	6149499.878	170140.514
BUSSJO-043	6149509.880	170139.975
BUSSJO-044	6149519.924	170139.505
BUSSJO-045	6149529.916	170139.254
BUSSJO-046	6149539.923	170138.840
BUSSJO-047	6149549.900	170138.339
BUSSJO-048	6149559.910	170137.730
BUSSJO-049	6149569.917	170137.237
BUSSJO-050	6149579.913	170136.491
BUSSJO-051	6149589.841	170136.223
BUSSJO-052	6149599.949	170135.737
BUSSJO-053	6149609.908	170135.155
BUSSJO-054	6149619.908	170134.510
BUSSJO-055	6149629.855	170133.688
BUSSJO-056	6149639.849	170132.839
BUSSJO-057	6149649.886	170132.124
BUSSJO-058	6149659.823	170131.401
BUSSJO-059	6149669.802	170130.547
BUSSJO-060	6149679.831	170129.972
BUSSJO-061	6149689.754	170129.289
BUSSJO-062	6149699.820	170128.939
BUSSJO-063	6149709.743	170128.257
BUSSJO-064	6149719.718	170127.508
BUSSJO-065	6149729.716	170126.697
BUSSJO-066	6149739.744	170126.037
BUSSJO-067	6149749.724	170125.429
BUSSJO-068	6149759.761	170125.094
BUSSJO-069	6149769.737	170124.813

BUSSJO-070	6149779.697	170124.184
BUSSJO-071	6149789.673	170123.542
BUSSJO-072	6149799.684	170122.971
BUSSJO-073	6149809.758	170122.308
BUSSJO-074	6149819.657	170121.537
BUSSJO-075	6149829.700	170120.886
BUSSJO-076	6149839.649	170119.979
BUSSJO-077	6149849.593	170119.302
BUSSJO-078	6149859.503	170118.534
BUSSJO-079	6149869.484	170117.848
BUSSJO-080	6149879.419	170117.256
BUSSJO-081	6149889.318	170116.432
BUSSJO-082	6149899.456	170115.717
BUSSJO-083	6149909.393	170114.849
BUSSJO-084	6149919.400	170114.251
BUSSJO-085	6149929.316	170113.511

BUSSJO-086	6149939.339	170112.917
BUSSJO-087	6149949.299	170112.252
BUSSJO-088	6149959.310	170111.581
BUSSJO-089	6149969.230	170110.995
BUSSJO-090	6149979.172	170110.400
BUSSJO-091	6149989.356	170109.949
BUSSJO-092	6149999.303	170109.064
BUSSJO-093	6150009.286	170108.237
BUSSJO-094	6150019.188	170107.521
BUSSJO-095	6150029.216	170106.697
BUSSJO-096	6150039.152	170105.871
BUSSJO-097	6150049.158	170104.984
BUSSJO-098	6150059.113	170104.269
BUSSJO-099	6150069.121	170103.277
BUSSJO-100	6150079.058	170102.696
BUSSJO-101	6150089.085	170102.225

Profil 3 – Ilstorp:

Station	N	E
ERT Station 1	6163923	415925
ERT Station 2	6163828	415907
ERT Station 3	6163726	415895
ERT Station 4	6163629	415882

Profil 4 – Sövde flygfält:

Station	N	E
ERT Station 1	6161763	416899
ERT Station 2	6161831	416824
ERT Station 3	6161893	416751
ERT Station 4	6161958	416673
ERT Station 5	6162028	416601
ERT Station 6	6162092	416525
ERT Station 7	6162155	416451
ERT Station 8	6162227	416372
ERT Station 9	6162290	416301
ERT Station 10	6162356	416224
ERT Station 11	6162420	416151

TEM:

Det är inte mitten av sonderingen som är inmätt utan det är mätinstrumentets placering i det sydöstra hörnet för varje sondering som är inmätt, koordinater är angivna i Sweref 99 TM.

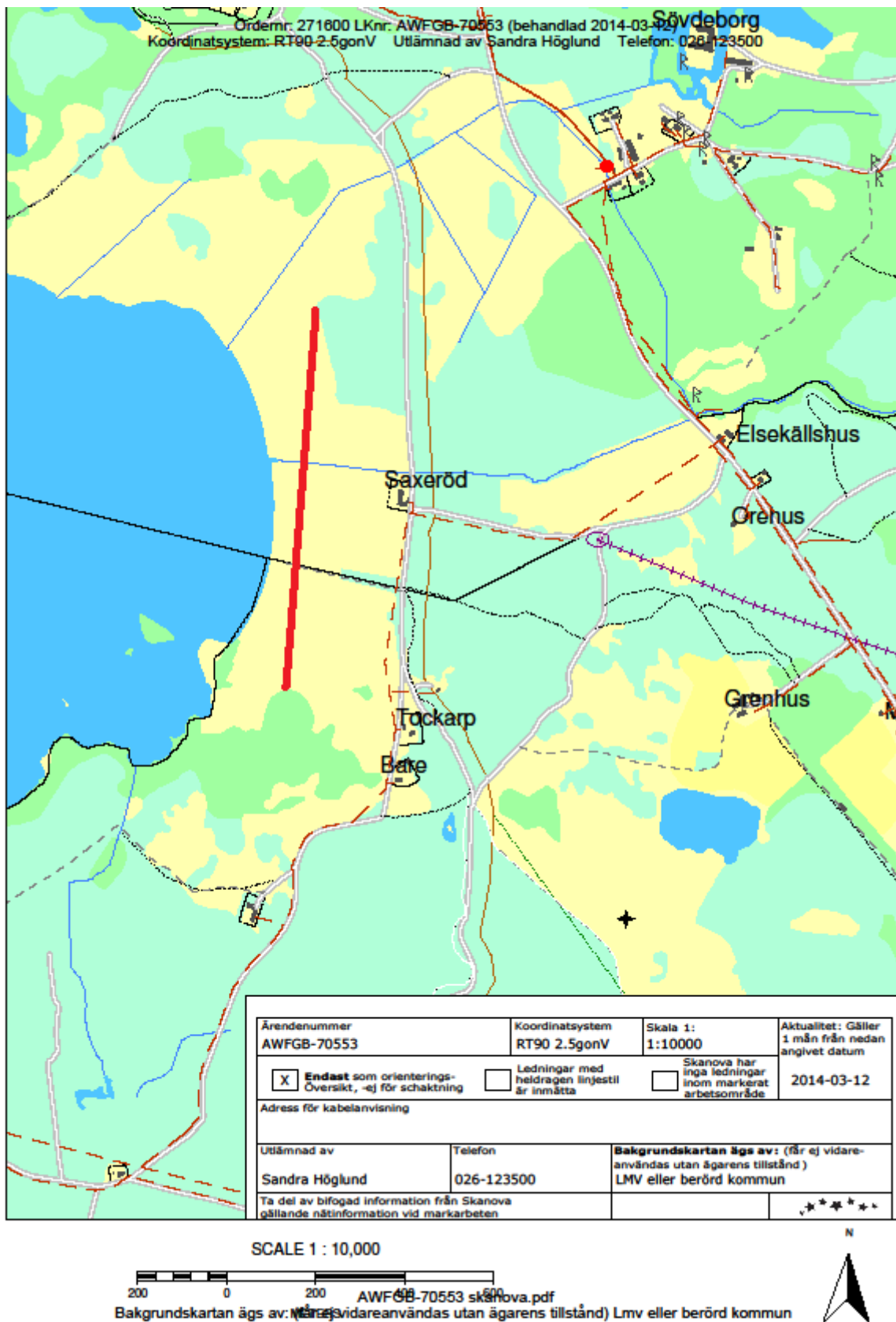
Profil 1 – Sövde	N	E
Sondering 1	6158915	416954
Sondering 2	6159041	416979
Sondering 3	6159224	416975
Sondering 4	6159409	416994
Sondering 5	6159621	416974
Sondering 6	6159703	416990

Profil 2 – Bussjö	N	E
Sondering 1	6147235	425324
Sondering 2	6147443	425328
Sondering 3	6147652	425317
Sondering 4	6147903	425300
Sondering 5	6148216	425297
Sondering 6	6148510	425312
Sondering 7	6148721	425311

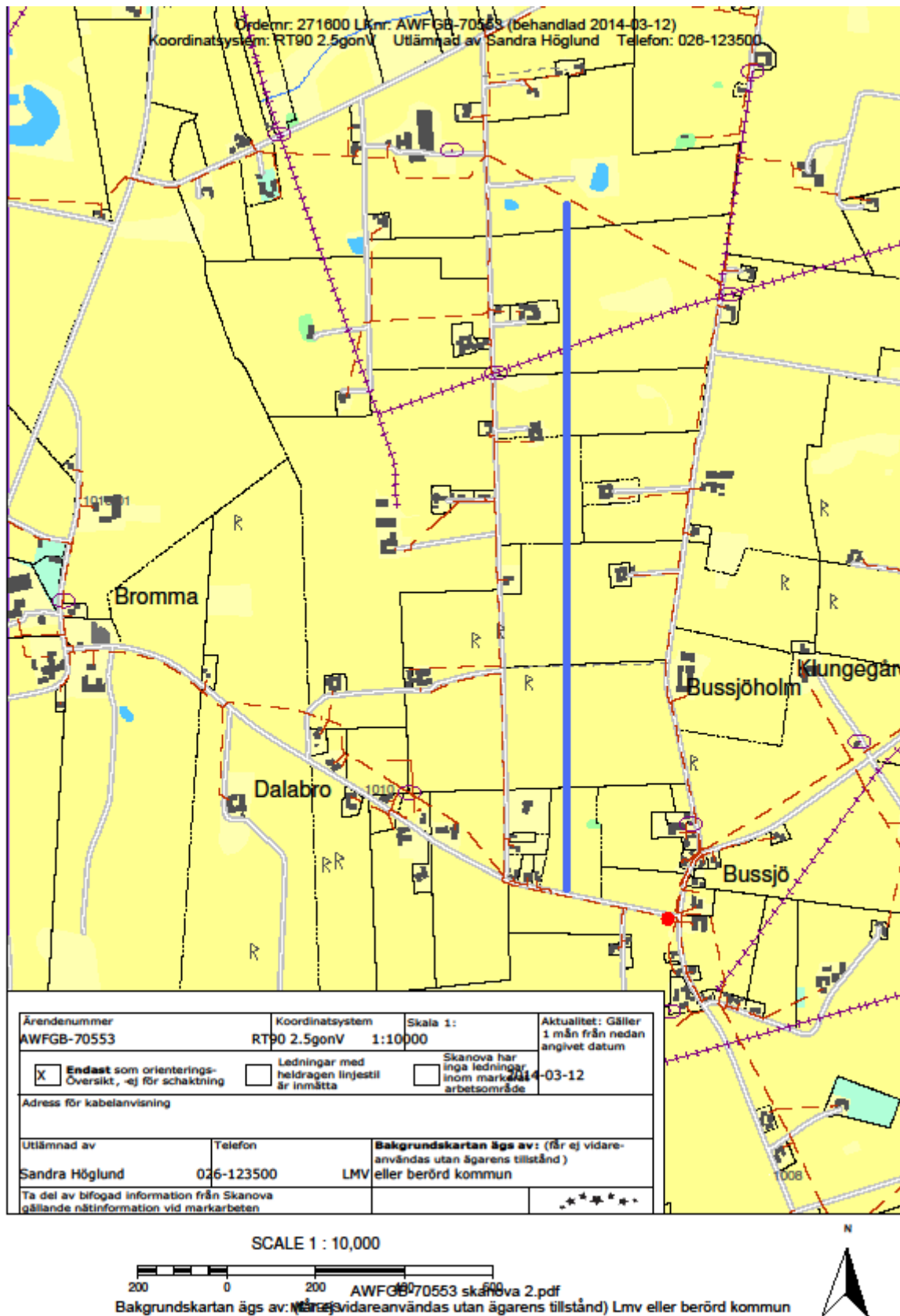
Profil 3 – Ilstorp	N	E
Sondering 1	6163984	415914
Sondering 2	6163899	415893
Sondering 3	6163803	415875
Sondering 4	6163722	415831
Sondering 5	6163625	415812

Profil 4 – Sövde flygfält	N	E
Sondering 1	6161844	416841
Sondering 2	6161972	416691
Sondering 3	6162079	416568
Sondering 4	6162205	416430
Sondering 5	6162309	416302
Sondering 6	6162434	416165
Sondering 7	6162526	416057

Bilaga 9 – Ledningskoll



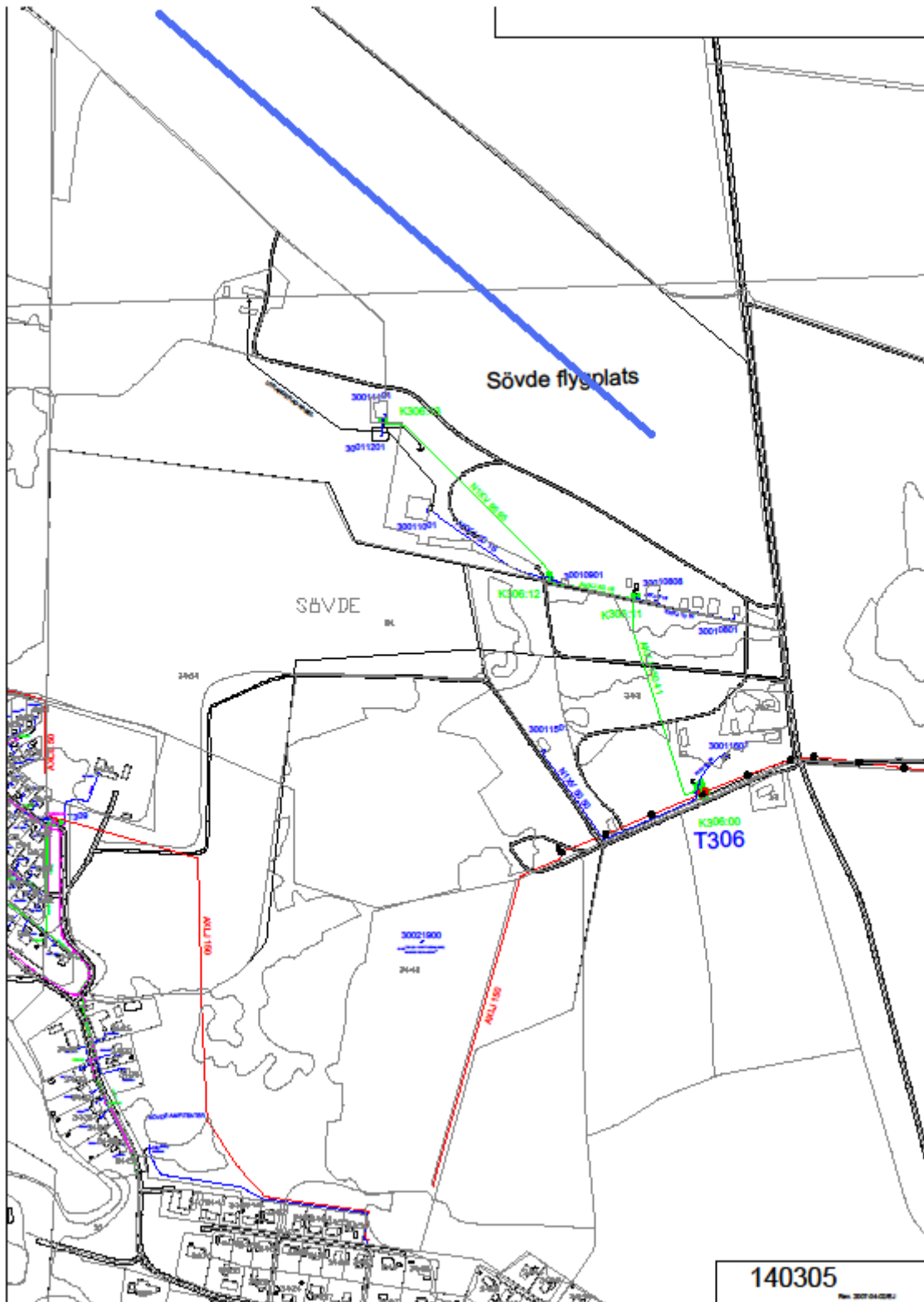
Figur: Ledningskoll med sträckning (rött) av profil 1, Sövde (ledningskollen.se)



Figur: Ledningskoll med sträckning (blått) av profil 2, Bussjö (ledningskollen.se)



Figur: Ledningskoll med sträckning (blått) av profil 3, Ilstorp (Skala saknas)



Figur: Ledningskoll med sträckning (blått) av profil 4, Sövde flygfält (Skala saknas)

Bilaga 10 – Inversionsresultat TEM-sonderingar

Profil 1 - Sövde	Data residual	Resistivitet (Ohm-m)	STD resistivitet	Tjocklek (m)	STD tjocklek	Djup (m)	STD djup
Sondering 1	0,6						
Lager 1		111	4,96	24,1	2,26	24,1	2,26
Lager 2		21,6	1,71	31,7	1,5	55,8	1,53
Lager 3		16,3	1,12				
Sondering 2	0,8						
Lager 1		207	3,54	28,6	1,21	28,6	1,21
Lager 2		15,3	1,18	35,5	2,9	62,1	1,65
Lager 3		13,5	1,09				
Sondering 3	0,7						
Lager 1		139	3,27	30,6	1,7	30,6	1,7
Lager 2		17,2	2,29	22,9	1,81	53,6	1,54
Lager 3		12,5	1,07				
Sondering 4	0,6						
Lager 1		129	2,23	31	1,42	31	1,42
Lager 2		18,1	1,53	27,4	1,54	58,5	1,36
Lager 3		13,6	1,08				
Sondering 5	0,7						
Lager 1		96,5	1,4	35,2	1,705	35,2	1,71
Lager 2		28,3	1,85	31,5	1,37	66,7	1,15
Lager 3		13,4	1,06				
Sondering 6	0,6						
Lager 1		90	1,5	25	1,86	25	1,86
Lager 2		36,6	1,27	51	1,27	76	1,06
Lager 3		13,1	1,09				

Profil 2 - Bussjö	Data residual	Resistivitet (Ohm-m)	STD resistivitet	Tjocklek (m)	STD tjocklek	Djup (m)	STD djup
Sondering 1	0,9						
Lager 1		40,9	2,84	8,28	99	8,28	99
Lager 2		106	2,39	28,1	2,5	36,4	1,13
Lager 3		21,4	1,07				
Sondering 3	0,7						
Lager 1		54,8	4,42	14	99	14	99
Lager 2		119	5,4	42,5	5,97	56,4	1,16
Lager 3		24,2	1,09				
Sondering 4	0,4						
Lager 1		57,3	4,36	15,4	99	15,4	99
Lager 2		100	6,1	43,9	99	59,3	1,384
Lager 3		30,8	1,13				
Sondering 6	0,8						
Lager 1		51	4,55	10,9	99	10,9	99
Lager 2		154	7,91	29,8	4,23	40,6	1,28
Lager 3		33,1	1,1				

Profil 3 - Ilstorp	Data residual	Resistivitet (Ohm-m)	STD resistivitet	Tjocklek (m)	STD tjocklek	Djup (m)	STD djup
Sondering 1	0,6						
Lager 1		71,3	1,05	41,8	1,03	41,8	1,03
Lager 2		11,8	1,06	45	1,2	86,8	1,1
Lager 3		7,48	1,14				
Sondering 2	0,6						
Lager 1		68,1	1,04	37,1	1,02	37,1	1,02
Lager 2		11,7	1,03	81,3	1,37	118	1,22
Lager 3		8,49	1,3				
Sondering 3	0,6						
Lager 1		115	1,36	33,7	1,06	33,7	1,06
Lager 2		12	1,05	79,1	1,58	113	1,33
Lager 3		9,47	1,63				
Sondering 4	0,6						
Lager 1		98,8	1,13	34,5	1,04	34,5	1,04
Lager 2		12,8	1,04	65,6	1,3	100	1,18
Lager 3		9,31	1,32				

Profil 4 - Sövde flygfält	Data residual	Resistivitet (Ohm-m)	STD resistivitet	Tjocklek (m)	STD tjocklek	Djup (m)	STD djup
Sondering 1	0,8						
Lager 1		123	1,7	36,1	1,27	36,1	1,27
Lager 2		15,5	1,41	29,8	99	65,9	2,95
Lager 3		16,2	1,1				
Sondering 2	0,6						
Lager 1		201	1,27	27,4	1,02	27,4	1,02
Lager 2		17,3	1,03	46,5	1,75	73,9	1,35
Lager 3		15,1	1,18				
Sondering 3	0,7						
Lager 1		111	1,22	36	1,07	36	1,07
Lager 2		14,5	1,07	47,2	1,74	83,2	1,29
Lager 3		17,9	1,2				
Sondering 4	0,6						
Lager 1		100	1,15	36,2	1,06	36,2	1,06
Lager 2		14,4	1,08	41,8	2,01	78	1,35
Lager 3		17,1	1,15				
Sondering 5	0,6						
Lager 1		145	1,7	33	1,14	33	1,14
Lager 2		15,4	1,12	42,6	2,48	75,6	1,47
Lager 3		17,7	1,16				
Sondering 6	0,7						
Lager 1		172	2,61	33,5	1,22	33,5	1,22
Lager 2		15,4	1,28	31,4	5,74	64,9	1,75
Lager 3		17,2	1,1				
Sondering 7	0,5						
Lager 1		124	1,48	34,8	1,16	34,8	1,16
Lager 2		16	1,22	31,8	6,23	66,6	1,8
Lager 3		17,5	1,08				