

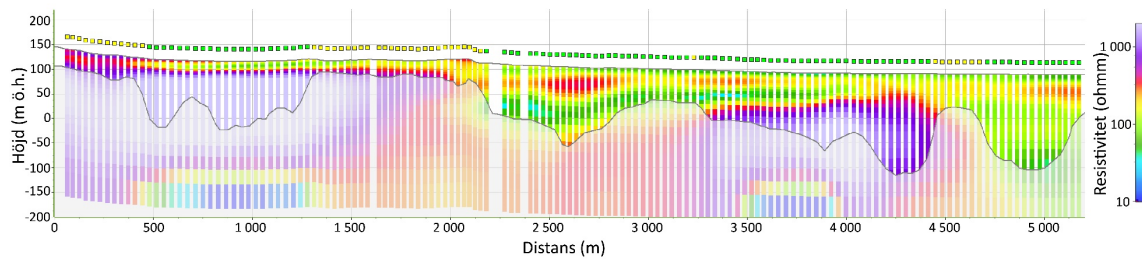
Geologisk 3D-modell

Resistivetssektioner längs flygmätninglinjer vid Vätterns nordvästra strand

Virginie Leroux

november 2021

SGU-rapport 2021:29



Omslagsbild: Exempelbild på resistivitssektion.
Grafik: Virginie Leroux

Författare: Virginie Leroux
Granskad av: Peter Dahlgvist
Ansvarig enhetschef: Jakob Levén
Redaktör: Åsa Gierup
Sveriges geologiska undersökning
Box 670, 751 28 Uppsala
tel: 018-17 90 00
e-post: sgu@sgu.se
www.sgu.se

INNEHÅLL

Sammanfattning.....	4
Inledning.....	4
Intressenter och samarbetspartner	4
Syfte.....	5
Underlag.....	5
Kartor och databaser.....	5
Terrängläge och geologisk översikt.....	5
Mätområdet.....	7
Metoder.....	8
Modellens begränsningar och osäkerhet.....	9
Resultat.....	9
Referenser.....	9

SAMMANFATTNING

I juni 2018 utfördes helikopterburna transient elektromagnetiska mätningar (TEM) på uppdrag av Sveriges geologiska undersökning över ett område mellan Hjo och Karlsborg, längs Vätterns nordvästra strand (fig. 1). Undersökningarna täcker ca 170 km² med flyglinjer, med ca 200 m mellanrum. Syftet med mätningarna var att få kunskap om jordlagrens uppbyggnad i tre dimensioner, en förbättrad jorddjupsmodell och underlag för att skapa geologiska och hydrogeologiska 3D-modeller. Kunskapsunderlaget ska också kunna användas för planering av kommunal och enskild grundvattenförsörjning.

Insamlingen har gett totalt 143 resistivetsprofiler. De går från väst till öst och är 2–11 km långa. Längs dessa profiler är data ofta bortrensade över de högst belägna delarna och runt infrastruktur, på grund av störningar och låga signaler. Profilerna bedöms bidra med värdefull information till geologisk tolkning och SGU har valt att presentera dem i sin helhet, trots dataluckor. Resistivetssektionerna ger en god bild av resistivetsfördelningen i marken och kan tillsammans med annan geologisk data och kunskap användas för att tolka markens uppbyggnad.

Denna rapport beskriver de beräknade resistivetsprofilerna längs flyglinjerna som publiceras i SGUs 3D-visare. Flyglinjerna är relativt parallella med ca 200 m mellanrum.

För en mer ingående beskrivning av mätningarna och beräkningsmetoder hänvisas till Brolin m.fl. (2020). För en översiktlig geologisk tolkning och en mer ingående beskrivning av geologin hänvisas till Dahlqvist m.fl. (2020).

INLEDNING

Resistivetssektionerna har producerats inom projektet ”SkyTEM – Östergötland och Västergötland”. Det övergripande syftet med projektet var att samla in och tolka data från helikopterburna TEM-mätningar för att skapa ett kunskapsunderlag som stöd i grundvatten- och vattenförsörjningsfrågor. Projektet har redovisats i rapportform (Dahlqvist m.fl. 2020) och ingår som en del i SGUs regeringsuppdrag om utökad kartläggning och karaktärisering av grundvattenresurser som pågick mellan åren 2018 och 2020.

Inom regeringsuppdraget fanns även ett fokus att utveckla och utöka SGUs arbete med redovisning av geologisk information i 3D. Arbete pågår på SGU med vidare tolkning och uppbyggnad av geologiska 3D-modeller utifrån insamlade data. I 3D-visaren redovisas endast insamlade data i form av processade resistivetssektioner, för att tydliggöra var data finns tillgänglig och ge en översiktlig bild av datasetet. Det går att beställa både beräknade resistivetsmodeller och rådata från SGUs kundtjänst. I denna rapport används ordet flygmätninglinje för att beskriva den linje (projicerad på markytan) längs vilken helikoptern flög och samlade in data (fig.1). En resistivetssektion (eller resistivetsprofil) avser den tvärsnitt som visar resistivetsfördelningen på djupet längs en linje, här alltid en flygmätninglinje. Sektionen redovisas med distans på x-axeln och med meter över havet på y-axeln.

Intressenter och samarbetspartner

Intressenter för insamlade resistivetssektioner är kommuner och länsstyrelser med intressen och verksamheter inom området, bl.a. Hjo, Tibro och Karlsborgs kommuner, Länsstyrelsen Västra Götaland och Vattenmyndigheten, och till dem anknutna konsulter. SGU har haft dialog med berörda kommuner om utformning av flygområdet.

SYFTE

Resistivitetssektionerna ligger till grund för den utökade geologiska och hydrogeologiska tolkningen av området med huvudsyfte att sammanställa ett förbättrat underlag för samhällsplanering avseende grundvattenresurser. Resistivitetsdata är användbart även för andra syften relaterade till t.ex. markfrågor eller undervisning. I slutrapporten för projektet (Dahlqvist m.fl. 2020) diskuteras olika användningsområden och tillvägagångssätt mer ingående.

UNDERLAG

Kartor och databaser

Lantmäteriets höjdmmodell GSD -Höjddata, grid 2+. Omräknat till cellstorlek på 10×10 m.

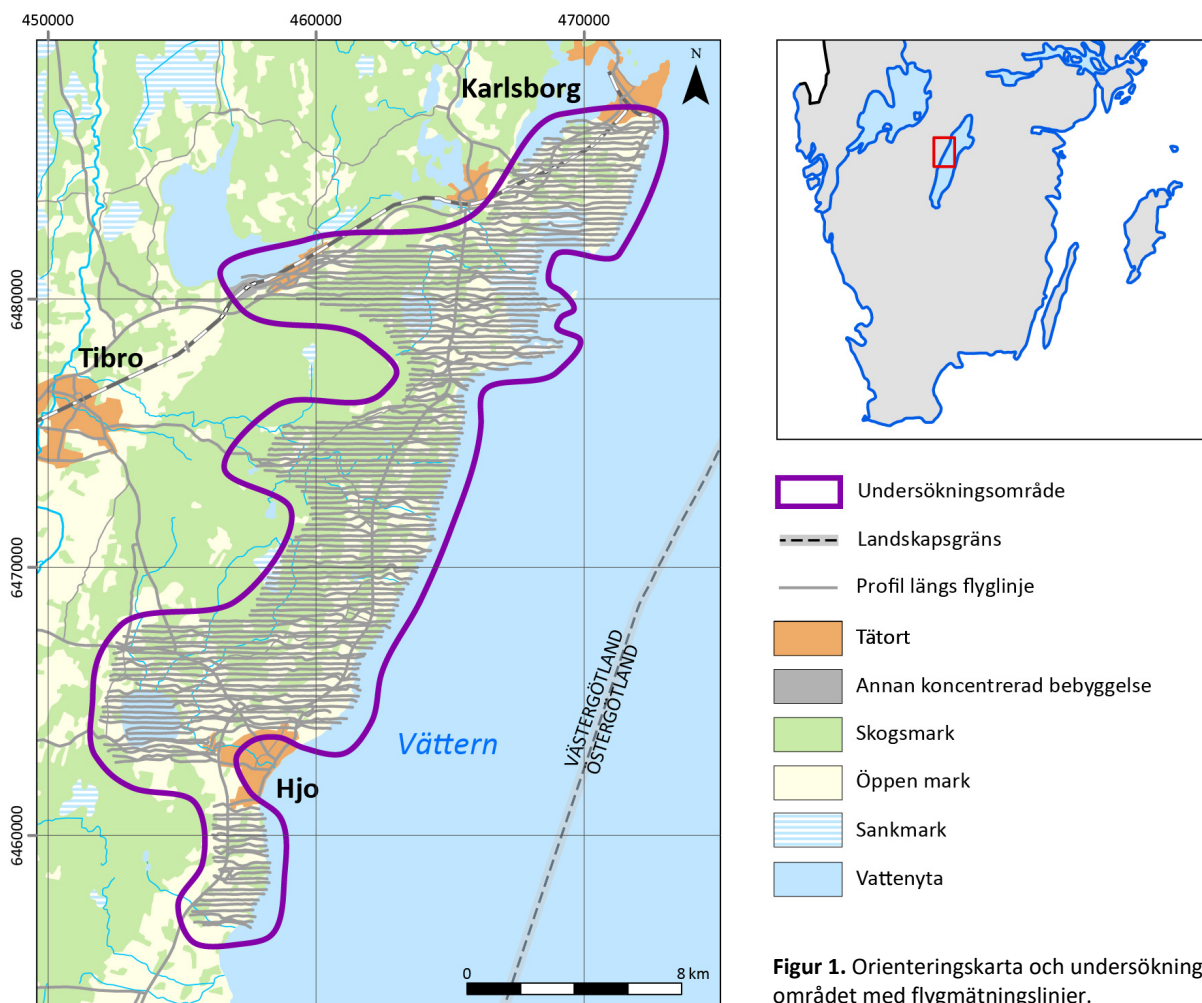
TERRÄNGLÄGE OCH GEOLOGISK ÖVERSIKT

Undersökningsområdet täcker 170 km² fördelade över Karlsborg, Tibro och Hjos kommun, längs Vättern västra strand (fig. 1). Området karaktäriseras av ett avlångt skogbeklätt höjdområde i de västra delarna och en flackare lägre del i öster. Området i öster domineras av jordbruksmark, särskilt nära sjön Vättern som avgränsar hela området. Sjöarna Mullsjön och Örlen ligger i sydväst respektive i nordväst.

Nästan hela området ligger under högsta kustlinjen och har en komplex deglaciationshistoria. Jordlagren är ofta mer än 20 m mäktiga och domineras av morän, isälvsediment (ibland täckta av morän) och postglacial sand. Glacial lera, silt och torv förekommer i låglänta delar. Berggrunden består av granit, överlagrad av sedimentär berggrund i form av Visingsösandsten i östra delen. Många hållar finns i höjdområdet, medan berggrunden täcks av mellan 20 och upp till ca 70 m kvartära avlagringar i de flacka delarna i öster mot Vättern. Borrningar visar att Visingsösandstenen är relativt homogen i området, är dåligt konsoliderad och mestadels består av ren sand. Större grundvattentillgångar förekommer i sand- och grusavlagringar i öppna och slutna akviferer, samt i porakviferer i sandstenen (Dahlqvist m.fl. 2020).

Tabell 1 är hämtad från Dahlqvist m.fl. (2020) och visar de typiska resistivitetsvärdena i resistivitetsdata för olika geologiska material i området. Dessa fastställdes efter jämförelse mellan resistivitetsdata och geologisk information från brunnar och borrningar. Resistivitetsvärdena är inte absoluta, men kan användas som en vägledning när man tolkar data från undersökningsområdet.

Tolkningen av resistivitetsdata har lett till en viss revidering av geologiska kartor och jorddjupsmodellen över området.



Figur 1. Orienteringskarta och undersökningsområdet med flygmätninglinjer.

Tabell 1. Resistivitetsintervall för olika geologiska material i området.

Geologi	Grundvattenmiljö	Resistivitetsintervall (ohmm)	Kommentar
Torv, lera, gyttja	Under grundvattenytan	40 till 80	Ofta vattenmättade jordarter, ibland med hög halt lermineral.
Sand/grus	Över grundvattenytan	300 till över 1000	Främst i mäktiga isälvavlagringar.
Sand/grus	Under grundvattenytan	80 till 200	Under grundvattenytan sänks resistiviteten i sand- och grusavlagringar.
Morän	Över grundvattenytan	300 till över 1000	Tunna eller högt liggande avlagringar, ofta sandig morän i området.
Morän	Under grundvattenytan	40 till 80	Lerinhåll och vattenmättnadsgrad sänker resistiviteten.
Visingsösandsten	Under grundvattenytan	Övre del 150 till 600 Undre del 30 till 150	Vattenmättnadsgrad och lerinhåll gör troligen skillnaden.
Urberg	Över grundvattenytan	Över 1000	Ytligt, ofta högt liggande
Urberg	Under grundvattenytan	300 till över 1000	Vattenmättnadsgrad och totaldjup påverkar.

Mätområdet

Mätning sker kontinuerligt under hela flygningen och resultatet omvandlas till beräkningspunkter, så kallade resistivitetsmodeller eller TEM-sonderingar som representerar resistivitetsfördelningen genom jord och berglager i den aktuella punkten. Det kan liknas vid en fiktiv geofysisk borrhning. Resistivitetsmodellerna beräknas i punkter med ca 30–40 m mellanrum längs med flyglinjen. Resistivitetsmodellerna är uppbyggda av 30 lager med en ökande tjocklek på djupet (tabell 2).

Flygningen är utförd i parallella linjer i väst–östlig riktning som regel med ca 200 m mellanrum mellan linjerna.

Tabell 2. Modellerade lagrets tjocklek och dess nedre begränsning.

Lager	Lagrets tjocklek	Undre lagergräns
1	1	1,0
2	1,1	2,1
3	1,3	3,4
4	1,4	4,8
5	1,6	6,4
6	1,8	8,2
7	2,1	10,3
8	2,3	12,6
9	2,6	15,2
10	3,0	18,2
11	3,3	21,5
12	3,8	25,3
13	4,3	29,6
14	4,8	34,4
15	5,4	39,8
16	6,1	45,9
17	6,9	52,8
18	7,8	60,6
19	8,8	69,4
20	9,9	79,3
21	11,2	90,5
22	12,6	103,1
23	14,2	117,3
24	16,0	133,3
25	18,1	151,4
26	20,4	171,8
27	23,0	194,8
28	26,0	220,8
29	29,3	250,1
30	∞	∞

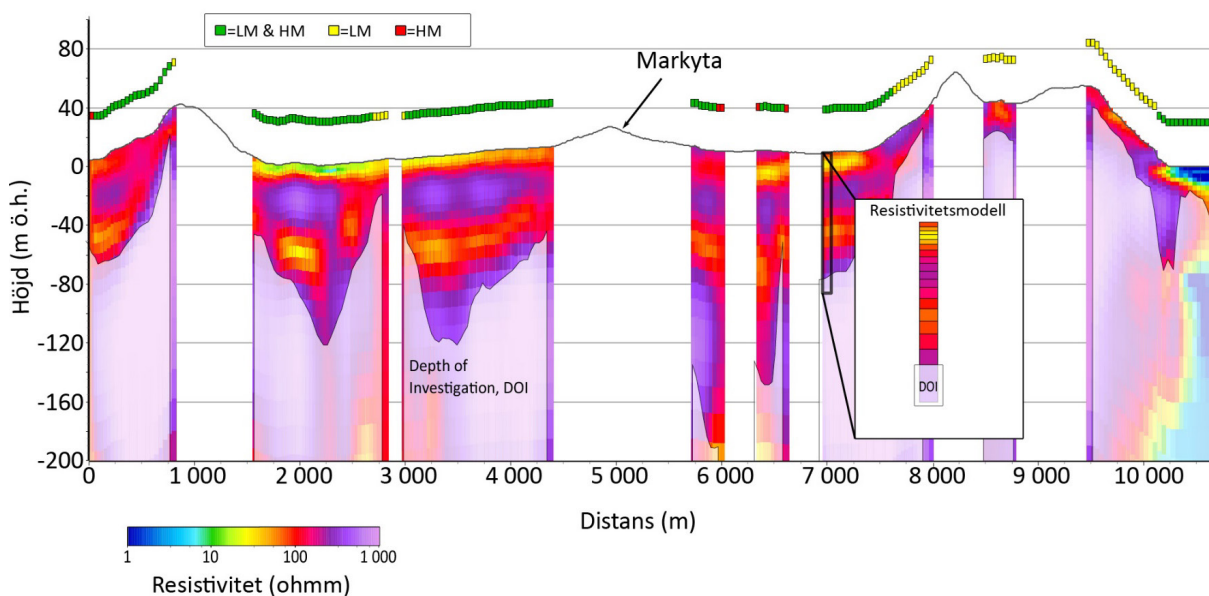
METODER

Den insamlade datamängden består av data från helikopterburna transient elektromagnetiska mätningar (TEM). Insamling av data har utförts med mätsystemet SkyTEM 304M av företaget SkyTEM Aps. Insamlade rådata har sedan rensats från störningar och resistivitetsmodeller har tagits fram med inversionsberäkningar i programvaran Aarhus Workbench. I datarapporten för undersökningen (Brolin m.fl. 2020) redovisas detaljer om metod, mätsystem och inversionsberäkningar till resistivitetsmodeller och ett antal kvalitetsindex för mätningarna. Alla kvalitetsindex redovisas inte i 3D-visaren, men kan fås vid databeställning från SGUs kundtjänst.

Mätningar med SkyTEM-systemet består av ett två-kanal-system, vilket innebär att en mätsekvens består av en strömpuls med hög ström och därmed kraftigare primärt magnetfält, High Moment (HM), och en strömpuls med lägre ström och därmed svagare primärt magnetfält, Low Moment (LM). HM medger förutsättningar för större djupkänning medan LM ger bättre upplösning i de yt nära marklagren. Kombinationen ger alltså både hög upplösning i yt nära lager och stor djupkänning.

I varje profil redovisas ungefärligt maximalt undersökningsdjup, depth of investigation (DOI), beräknat för varje resistivitetsmodell. Under den angivna nivån för DOI har modellen en större osäkerhet och modellen är därför skuggad under denna nivå (fig. 2).

I resistivitetssktionerna indikerar en färgkodad punkt placerad ovanför markytan vilka kanaler som ingått i beräkningen för respektive resistivitetsmodell (fig. 2). Grön färg visar att data från både LM och HM ingår. Gul färg betyder att det endast finns LM, vilket betyder att upplösningen är god i ytan men att djupkänningen är begränsad (resulterar i en ytligare DOI). Röd färg visar att endast data från HM har inkluderats i modellberäkningen. För dessa punkter krävs viss aktsamhet i tolkningen. I de ytligaste lagren har resistivitetsmodeller med röd punkt ovanför markytan inte samma höga upplösning som i de modeller där både LM och HM ingår. Uppgifter om LM och HM kan ses som ett kvalitetsindex för mätningen i den givna punkten och ska beaktas vid vidare tolkning.



Figur 2. Exempel på resistivitetssktion och resistiviteitsmodell samt färgkodning för LM och HM för respektive resistiviteitsmodell längs en flyglinje.

MODELLENS BEGRÄNSNINGAR OCH OSÄKERHET

Resistivitetssektionerna visar en möjlig resistivitetsfördelning i jord- och berglager längs flygmätning-linjerna. Resultaten beror på kvaliteten av ingående data och de geologiska förutsättningarna för mätmetoden. I första steget, från rådata till resistivitetsmodell, rensas data från störningar så att endast variationer som avspeglar geologin kvarstår. Denna störningsrensning är mycket omfattande och består av många avvägningar. Det kan finnas kvar störningar i data som inte har identifierats.

Resistivitetsmodellen bygger på inversion som är en matematisk process som ger *en* möjlig modell av de data som samlats in. Modellen antar att resistiviteten endast varierar med djupet (endimensionell) och att närliggande modeller inte skiljer sig så mycket från varandra, vilket är en generalisering av en tredimensionell värld. För mer detaljer om mätosäkerhet i data och inversionsmetod hänvisas till Brodin m.fl. (2020).

Mätmetoden fungerar optimalt vid plan topografi där det finns en kraftig ledare på djupet, som t.ex. ett lager med högre lerinnehåll eller högt vatteninnehåll som därmed framträder med tydliga kontraster. Metoden fungerar sämre i områden med kraftigt varierande topografi eller i områden med tunna torra jordlager på kristallint berg. Metoden har som bäst vertikal upplösning två till fyra meter från markytan. Upplösningen blir sämre med ökande djup och är t.ex. ca 30 m vid 200 m djup (se tabell 2).

Det finns både bra och sämre geologiska förutsättningar för metoden inom undersökningsområdet. Geologisk tolkning av resistivitetsdata bör endast göras på en relativt översiktlig skala, där större mönster kan kartläggas. I huvudsak är det övergångar mellan olika geologiska enheter, så som övergång från jordlager till berg eller övergång från sedimentärt berg till kristallint berg, som kan urskiljas. Det är kontrasten mellan de geologiska enheterna, snarare än exakta resistivitetsvärden, som ska betraktas.

RESULTAT

Längs totalt ca 804 km flyglinjer har sammanlagt 143 resistivitetssektioner tagits fram. Totalt har ca 15 633 resistivitetsmodeller tagits fram inom undersökningsområdet. Modellerna tillsammans med annan geologisk information och kunskap ger ett bra underlag för att tolka markens uppbyggnad. Beroende på det tänkta användningsområdet för resistivitetssektionerna och den antagna geologiska komplexiteten inom mätområdet är skalan för användningsområdet varierande.

Inom i stort sett hela undersökningsområdet har övergången mellan jordlager, den sedimentära berggrunden och den kristallina berggrunden kunnat identifieras (Dahlqvist m.fl. 2020). Ett antal intressanta grundvattenmagasin har pekats ut i området, ofta med relativt mäktiga sand- och grusavlagringar som delvis överlagras av morän.

REFERENSER

- Brodin, C., Leroux, V. & Dahlqvist, P., 2020: Bearbetning av helikopterburna TEM-data i delar av Östergötland och Västergötland. *SGU-rapport 2020:23*. Sveriges geologiska undersökning, 60 s.
- Dahlqvist, P., Henriksson, O., Pile, O., Lång, L.-O., Lindh, Å., Gustafsson, M., Leroux V. & Andersson, J., 2020: Helikopterburna TEM-mätningar vid Vätterns nordvästra strand – geologiska tolkningar och hydrogeologisk tillämpning. *SGU-rapport 2020:24*. Sveriges geologiska undersökning, 71 s.
- SkyTEM, 2018: SkyTEM Survey: Östergötland and Örebro, Sweden. Data report, SkyTEM Surveys Aps, Denmark, SGU dnr: 312-1408/2020, 44 s.