

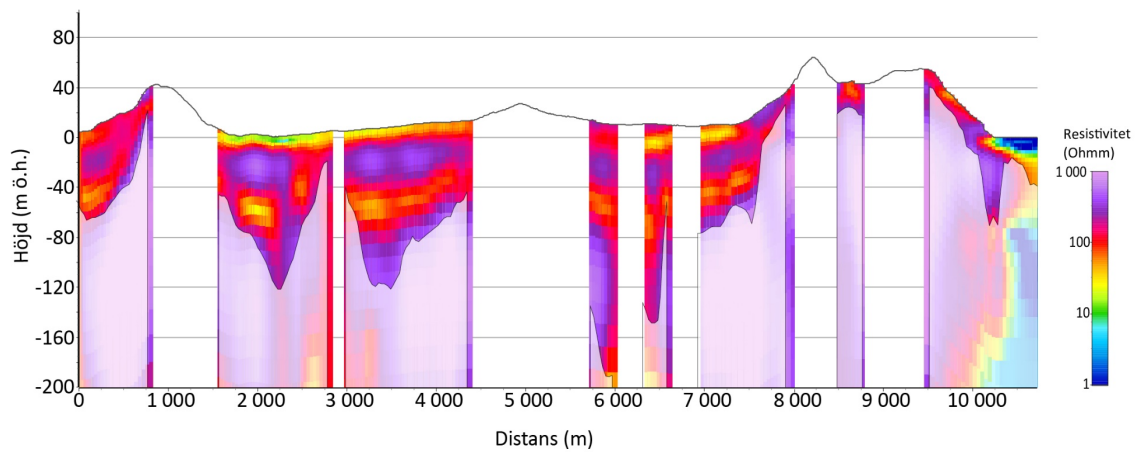
Geologisk 3D-modell

# Resistivetssektioner längs flygmätninglinjer, Falkenberg

Eva Hellstrand

mars 2021

SGU-rapport 2021:15



Omslagsbild: Exempelbild på resistivitssektion.  
Grafik: Eva Hellstrand

Författare: Eva Hellstrand  
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](mailto:sgu@sgu.se)  
[www.sgu.se](http://www.sgu.se)

## INNEHÅLL

|  |   |
|--|---|
| Sammanfattning.....                        | 4 |
| Inledning.....                             | 4 |
| Intressenter och samarbetspartner .....    | 4 |
| Syfte.....                                 | 4 |
| Underlag.....                              | 5 |
| Kartor och databaser.....                  | 5 |
| Terrängläge och geologisk översikt.....    | 5 |
| Mätområdet.....                            | 6 |
| Metoder.....                               | 7 |
| Mätssystem – SkyTEM.....                   | 7 |
| Modellens begränsningar och osäkerhet..... | 8 |
| Resultat.....                              | 8 |
| Referenser.....                            | 9 |

## SAMMANFATTNING

Helikopterburna transient elektromagnetiska mätningar (TEM) har utförts inom Ätrans dalgång nordnordost om Falkenberg. Flygningen utfördes längs parallella flyglinjer under hösten 2017. Insamlingen har gett totalt 67 resistivitetssektioner längs flyglinjerna, som täcker ett område på cirka 83 km<sup>2</sup>. Flyglinjerna är parallella med cirka 200 m mellanrum och samtliga går i sydväst–nordostlig riktning (fig. 1). Resistivitetssektionerna ger en god bild av resistivitetsfördelningen i marken och kan tillsammans med annan geologisk data och kunskap användas för att tolka markens uppbyggnad.

## INLEDNING

Resistivitetssektionerna har producerats inom projektet ”SkyTEM – Halland”. Det övergripande syftet med projektet var att samla in och tolka data från helikopterburna TEM-mätningar för att peka ut områden som är intressanta ur ett grundvattenperspektiv. Projektet har redovisats i rapportform (Dahlqvist m.fl. 2019) och ingick 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 delprojekt ”Geodata i 3D” med fokus att utveckla och utöka SGUs arbete med redovisning av geologisk information i 3D. Arbetet pågår på SGU med vidare tolkning och uppbyggnad av geologiska 3D-modeller utifrån insamlade data. I 3D-visaren redovisas insamlade data i form av processade resistivitetssektioner, för att tydliggöra var data finns tillgänglig och ge en översiktlig bild av datasetet. Det går att beställa både beräknade resistivitetsmodeller och rådata från SGUs kundtjänst. I denna rapport används ordet flygmätninglinje för att beskriva den linje (projicerad på markytan) längs vilken helikoptern har flugit för att samla in data (fig. 1). En resistivitetssektion avser den tvärsnitt som visar resistivitetsfördelningen 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 resistivitetssektionerna är kommuner och länsstyrelser med intressen och verksamheter inom området, 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. Syftet med att publicera resistivitetssektionerna är att skapa möjlighet för andra verksamma inom området att på ett enkelt sätt kunna ta del av resultaten från datainsamlingen. I slutrapporten för projektet (Dahlqvist m.fl. 2019) diskuteras olika användningsområden och tillvägagångssätt mer ingående.



Figur 1. Undersökningsområdet och flygmättningslinjer.

## UNDERLAG

### Kartor och databaser

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

## TERRÄNGLÄGE OCH GEOLOGISK ÖVERSIKT

Undersökningsområdet i Falkenbergs kommun (fig. 1) karaktäriseras av en kuperad topografi och är koncentrerat kring Ätrans dalgång. I området finns det många berghällar som är omgivna av stora jorddjup vilket vittnar om en kraftigt kuperad topografi, även för berggrunden under jordlagren. Det är vanligt förekommande med ytliga sand- och gruslager som överlagrar ett lerlager med en betydande mäktighet. Under de mäktiga lerlagren finns ibland sand- och gruslager och ibland morän direkt på urberget. Huvudsakliga grundvattenmagasin i jordlagren finns i mäktiga sand- och grusavlagringar i de norra delarna och i utkanten av området, och i slutna

magasin under mäktiga lerlager i mitten på dalgångarna. Berggrunden i Falkenberg består av gnejs, och möjliga grundvattenmagasin i berggrunden utgörs av större sprickzoner.

## Mätområdet

Mätning sker kontinuerligt under hela flygningen och resultatet omvandlas till beräkningspunkter, så kallade resistivitetsmodeller, som representerar resistivitetsfördelningen genom jord och berglager i den aktuella punkten. Det kan liknas vid en fiktiv geofysisk borrhning.

Resistivitetsmodellerna beräknas i punkter med cirka 30–40 m mellanrum längs med flyglinjen och bildar tillsammans en resistivitetssektion. Resistivitetsmodellerna är uppbyggda av 30 lager med en ökande tjocklek på djupet (tabell 1).

Flygningen är utförd i parallella linjer i sydväst till nordostlig riktning, med cirka 200 m mellanrum mellan linjerna.

**Tabell 1.** Modellerade lagrets tjocklek och dess nedre begränsning.

| Lager nr | Lagrets tjocklek (m) | Undre lagergräns |
|----------|----------------------|------------------|
| 1        | 1,0                  | 2,0              |
| 2        | 1,1                  | 3,1              |
| 3        | 1,2                  | 4,3              |
| 4        | 1,3                  | 5,6              |
| 5        | 1,4                  | 7,0              |
| 6        | 1,5                  | 8,5              |
| 7        | 1,6                  | 10,1             |
| 8        | 1,7                  | 11,8             |
| 9        | 1,8                  | 13,6             |
| 10       | 2,0                  | 15,6             |
| 11       | 2,2                  | 17,8             |
| 12       | 2,4                  | 20,2             |
| 13       | 2,6                  | 22,8             |
| 14       | 2,8                  | 25,6             |
| 15       | 3,0                  | 28,6             |
| 16       | 3,4                  | 32,0             |
| 17       | 3,8                  | 35,8             |
| 18       | 4,2                  | 40,0             |
| 19       | 5,0                  | 45,0             |
| 20       | 6,2                  | 51,2             |
| 21       | 9,5                  | 60,7             |
| 22       | 13                   | 73,7             |
| 23       | 18                   | 91,7             |
| 24       | 25                   | 116,7            |
| 25       | 35                   | 151,7            |
| 26       | 50                   | 201,7            |
| 27       | 80                   | 281,7            |
| 28       | 120                  | 401,7            |
| 29       | 200                  | 601,7            |
| 30       | ∞                    | ∞                |

## METODER

Den insamlade datamängden består av mätningar från avklingningsförloppet av ett inducerat sekundärt magnetfält. Från data till resistivitetsmodell används inversionsmodellering. I Dahlqvist m.fl. (2019) finns en utförligare beskrivning av metoden och bearbetning av data.

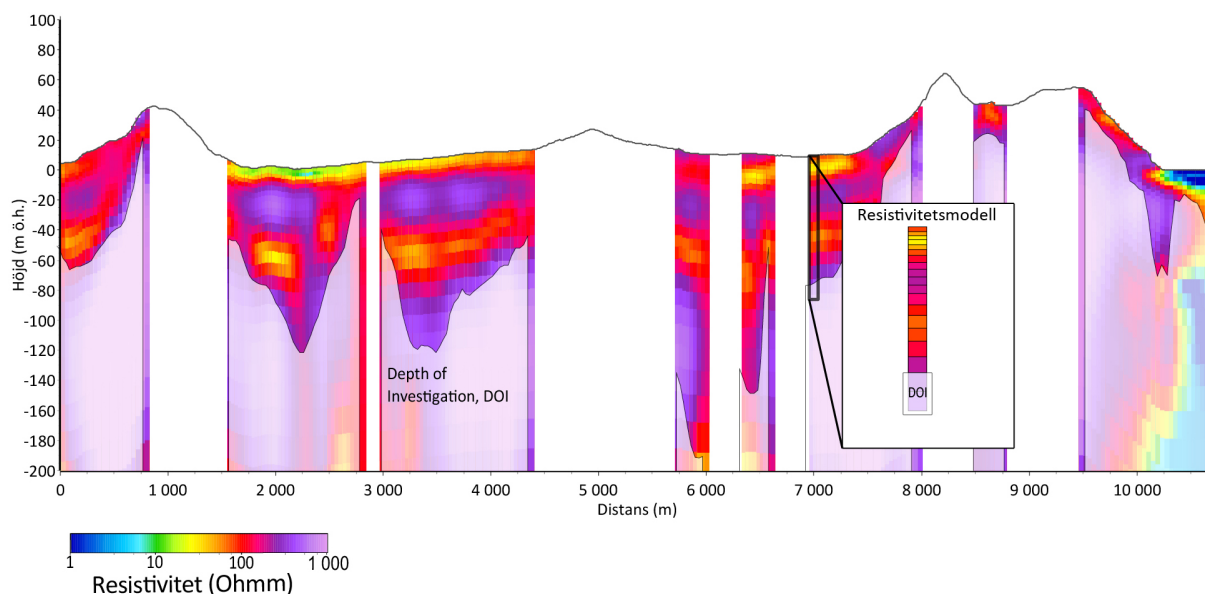
### Mätsystem – SkyTEM

Den insamlade datamängden består av mätningar med helikopterburna transient elektromagnetiska mätningar (TEM). Insamling av data har utförts med mätsystemet SkyTEM 306 M HP av företaget SkyTEM Aps. Mätsystemet består av en ram som monteras hängande under en helikopter. Ramen utgör själva spolen i mätsystemet, genom vilken en stark ström skickas som sedan stängs av momentant och ger upphov till ett magnetiskt fält. Responsen på det magnetiska fältet i omgivande material ger upphov till ett sekundärt inducerat elektriskt och magnetiskt fält. Förändringen i det sekundära magnetiska fältet mäts i en mottagarspole som också hänger under helikoptern. Styrkan på fältet och hur snabbt det avklingar beror på primärfältets styrka, markens elektriska ledningsförmåga, flyghöjd och förekomsten av olika störningar. Rådata består av avklingningskurvor (även kallad TEM-sondering) för det inducerade magnetfältet (dB/dt).

### Inversionsmetod

Data från mätningarna bearbetas och inverteras i programvaran Aarhus Workbench, Aarhus GeoSoftware. Först kvalitetsgranskas data och felaktiga data rensas bort. Störningar kan bero på många olika källor och är oundvikliga när mätningar görs i områden med infrastruktur. Kvalitetsgranskningen görs både genom en automatiserad och en manuell process. Efter datarensningen skapas resistivitetsmodeller genom inversion.

Inversion innebär att man ansätter en resistivitetsmodell och beräknar vilken respons den skulle ge upphov till (för TEM en avklingningskurva av magnetfältet). Den beräknade och uppmätta responsen jämförs, och modellen ändras i en iterativ process till dess att beräknad och uppmätt data är tillräckligt nära varandra. Den använda modellen antar att marken är uppbyggd av 30 lager med ökande mäktighet på djupet (tabell 1 och fig. 2). Vid inversion antas att resistiviteten enbart varierar med djupet och modellen är därför att betrakta som endimensionell. Inversionen anpassas så att det är mjuka övergångar för resistivitetsvärdena i både vertikal- och horisontalled (smooth inversion). Den horisontella anpassningsmetodiken kallas ”spatially constrained inversion” (SCI) (Viezzoli m.fl. 2008). Resultatet blir en kvasi-3D-modellering av resistivitetsfördelningen. Inversionen ger också en uppskattning för djupkänningen (DOI) för varje modell. Gränsen för DOI är inkluderad i resistivitetssektionerna, genom att modellerna är skuggade under denna gräns. DOI ska dock inte ses som en exakt nivå.



Figur 2. Exempel på resistivetssektion och resistivetsmodell samt hur Depth of Investigation, DOI, redovisas i profilerna.

## MODELLENS BEGRÄNSNINGAR OCH OSÄKERHET

Resistivetssektionerna visar en möjlig resistivetsfördelning i jord och berglager längs flygmätninglinjerna. Resultaten beror på kvaliteten av ingående data och de geologiska förutsättningarna för mätmetoden. I första steget rensas data från störningar så att endast variationer som avspeglar geologin kvarstår. Denna datarensning är mycket omfattande och består av många avvägningar. Det kan finnas kvar störningar i data som inte har identifierats. Inversionen 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 vidare detaljer kring mätosäkerhet i data hänvisas till Dahlvist m.fl. (2019)

Mätmetoden fungerar optimalt vid plan topografi där det finns en kraftig ledare på djupet, såsom lager med högre lerinnehåll eller högt vatteninnehåll som därmed framträder med tydliga kontraster. Metoden fungerar därmed sämre i områden med kraftigt varierande topografi, tunna torra jordlager på kristallint berg och mäktiga ytliga lerlager.

Inom undersökningsområdet finns både goda och dåliga geologiska förutsättningar för metoden. I huvudsak är det möjligt att särskilja övergångar mellan olika enheter, såsom övergång från jordlager till berg eller övergång mellan jordarter med tydligt olika resistivitet såsom kraftigt ökat lerinnehåll. Det är kontrasten snarare än exakta resistivetsvärden som ska betraktas.

## RESULTAT

Längs totalt cirka 360 km flyglinjer har sammanlagt 67 resistivetssektioner tagits fram. Totalt har 5 660 resistivetsmodeller tagits fram inom undersökningsområdet. Modellerna tillsammans med annan geologisk information och kunskap ger ett mycket 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 och den kristallina berggrunden kunnat identifieras (Dahlqvist m.fl. 2019). I mitten av dalgången ligger mäktiga lerlager som framträder tydligt i mätdata och dess geometri har gått att avgränsa relativt väl, dock blir djupkänningen under dessa lager begränsad.

## REFERENSER

- Dahlqvist, P., Brolin, C., Hellstrand, E., Erlström, M., Gustafsson, M., Malmberg Persson, K., Engdahl, M., Lång, L.-O & Andersson, J., 2019: Helikopterburna TEM-mätningar i Halland – Geologiska tolkningar och hydrogeologisk tillämpning. *Rapporter och meddelanden 147*. Sveriges geologiska undersökning, 124 s.
- Viezzoli, A., Christiansen, A.V., Auken, E., Sørensen, K., 2008: Quasi-3D modelling of airborne TEM data by spatially constrained inversion. *Geophysics* 73, 105–113.