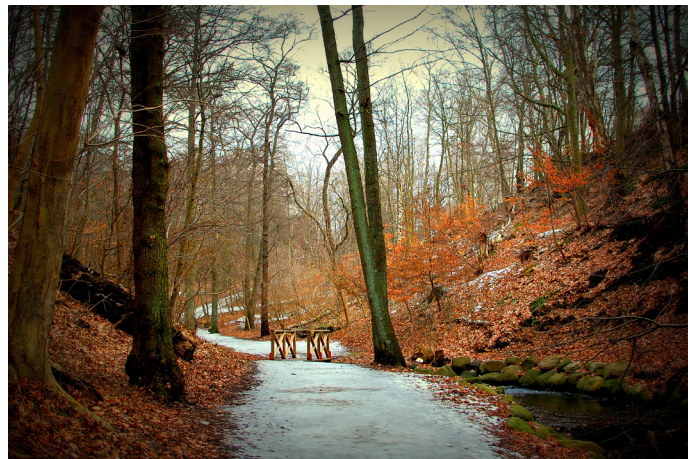


# Geofysiska resistivitetsmätningar i Sjöcrona Park, Helsingborg, undersökning av områdets geologiska egenskaper samt 3D modellering i GeoScene3D

***Robin Kihlén***

Examensarbeten i geologi vid Lunds universitet,  
kandidatarbete, nr 340  
(15 hp/ECTS credits)



Geologiska institutionen  
Lunds universitet  
2013



# **Geofysiska resistivitetmätningar i Sjöcrona Park, Helsingborg, under- sökning av områdets geologiska egenskaper samt 3D modellering i GeoScene3D**

Kandidatarbete  
Robin Kihlén

Geologiska institutionen  
Lunds universitet  
2013

# Innehåll

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1 Introduktion</b>                      | <b>5</b>  |
| 1.1 Inledning                              | 5         |
| 1.2 Mål                                    | 5         |
| 1.3 Syfte                                  | 5         |
| 1.4 Avgränsningar                          | 5         |
| <b>2 Bakgrund</b>                          | <b>5</b>  |
| 2.1 Områdesbeskrivning                     | 6         |
| 2.2 Geologi                                | 6         |
| 2.2.1 Bergarter                            | 6         |
| 2.2.2 Jordarter                            | 6         |
| 2.2.3 Hydrogeologi                         | 7         |
| <b>3 Metod</b>                             | <b>7</b>  |
| 3.1 Resistivitmätning, CVES                | 7         |
| 3.1.1 Teori                                | 7         |
| 3.1.1.1 Resistivitet och resistans         | 7         |
| 3.1.1.2 Resistivitets materialberoende     | 8         |
| 3.1.1.3 Mätning av resistivitet            | 8         |
| 3.1.1.4 CVES- multielektrodmätning         | 9         |
| 3.2.1 Genomförande                         | 9         |
| 3.2.2 Profiler                             | 12        |
| 3.2.3 Processering av data                 | 12        |
| 3.2.4 Felkällor                            | 12        |
| <b>4 Övrig tillgänglig data</b>            | <b>13</b> |
| 4.1 Geotekniska bormingar                  | 13        |
| 4.2 IP-mätningar                           | 13        |
| <b>5 GeoScene3D</b>                        | <b>13</b> |
| 5.1 Teori                                  | 13        |
| 5.2 Genomförande                           | 13        |
| 5.3 Kriging                                | 13        |
| <b>6 Resultat</b>                          | <b>14</b> |
| 6.1 Störningar i mark                      | 14        |
| 6.1.1 Ledningar                            | 14        |
| 6.1.2 Markanläggningar                     | 14        |
| 6.2 Profiler                               | 14        |
| 6.2.1 Profil 1                             | 14        |
| 6.2.2 Profil 2                             | 17        |
| 6.3 Geotekniska borrhull                   | 17        |
| 6.4 Konceptuell geologisk modell           | 18        |
| 6.5 Interpolerade lager med grundvattenyta | 19        |
| <b>7 Diskussion och tolkning</b>           | <b>20</b> |
| <b>8. Slutsats</b>                         | <b>24</b> |
| <b>9. Tack</b>                             | <b>25</b> |
| <b>10. Referenser</b>                      | <b>25</b> |
| Bilaga 1.                                  | 27        |
| Bilaga 2.                                  | 28        |
| Bilaga 3.                                  | 29        |
| Bilaga 4.                                  | 30        |
| Bilaga 5.                                  | 31        |
| Bilaga 6.                                  | 32        |
| Bilaga 7.                                  | 33        |
| Bilaga 8.                                  | 34        |
| Bilaga 9.                                  | 35        |
| Bilaga 10.                                 | 37        |
| Bilaga 11.                                 | 39        |
| Bilaga 12.                                 | 40        |
| Bilaga 13.                                 | 43        |

**Omslagsbild:** Gåsebäcksravinen med Gåsebäcken och gångstig, Sjöcrona Park, Helsingborg. (Foto Robin Kihlén)

# Geofysiska resistivetsmätningar i Sjöcrona Park, Helsingborg, undersökning av områdets geologiska egenskaper samt 3D modellering i GeoScene3D.

ROBIN KIHLEN

Kihlen, R., 2013: Geofysiska resistivetsmätningar i Sjöcrona Park, Helsingborg, undersökning av områdets geologiska egenskaper samt 3D modellering i GeoScene3D. *Examensarbete i geologi vid Lunds universitet*. Nr. 340, 44 sid. 15 hp.

**Sammanfattning:** Sjöcrona Park är en del av ett större utvecklingsprojekt där Helsingborgs stad, med flera entreprenörer, vill bygga om befintliga stadsdelar till nya attraktiva områden som erbjuder ökad tillgänglighet och samhörighet till resterande Helsingborg. I Sjöcrona Park är det planerat att bygga bostäder i olika modeller av flerfamiljshus. Innan exploatering av parken vill Helsingborg stad veta mer om områdets geologiska förhållanden, det vill säga berggrunden (förekomst av sprickzoner), jordlagermäktigheter och de hydrogeologiska förhållandena. För att komplettera tidigare undersökningar som gjorts i området (geotekniska borrhningar och IP-mätningar) utfördes geofysiska resistivetsmätningar. Utifrån resultaten bildades en konceptuell geologiskskiss över området samt en 3D-modell för parken i modelleringsprogrammet GeoScene3D. I den här studien användes Kriging som interpolationsmetod, utifrån information från geotekniska borrhningar interpoleras lagerytor och en grundvattenyta fram. Resultaten visar att jordmäktigheterna varierar över området, vilka är mäktigast i parkens norra delar och tunnast i parkens södra delar. Berggrunden bedöms till att vara relativt uppsprucken över undersökningsområdet och innehåller troligtvis två sprickzoner som följer den dominerande sprickriktningen i nordvästlig- sydöstlig riktning. På grund av tjäle i marken vid undersökningstillfället är det önskvärt att utföra kompletterande undersökningar i området för att förbättra den bristfälliga datakvaliteten från resistivetsmätningarna.

**Nyckelord:** geofysiska mätningar, resistivitet, geotekniska borrhningar, GeoScene3D, sprickzon

**Handledare:** Dan Hammarlund och Mattis Johansson

**Ämnesinriktning:** Geofysik

*Robin Kihlén, Geologiska institutionen, Lunds universitet, Sölvegatan 12, 223 62 Lund, Sverige.*

*E-post: robin\_kihlen@hotmail.se*

# Geophysical resistivity measurements in Sjöcrona Park (Helsingborg) study of the geological characteristics and 3D modeling in GeoScene3D.

ROBIN KIHLEN

*Kihlen, R., 2013: Geophysical resistivity measurements in Sjöcrona Park (Helsingborg) study of the geological characteristics and 3D modeling in GeoScene3D. Dissertations in Geology at Lund University, No. 340, 44 pp. 15 hp (15 ECTS credits).*

**Abstract:** Sjöcrona Park is part of a larger development project. This project is driven by Helsingborg city and several contractors, which want to rebuild existing neighborhoods to new attractive areas offering greater availability and fellowship to the rest of Helsingborg City. The houses that are planned to be built in Sjöcrona Park are of apartment block type. Before the expansion of the Park Helsingborg City wants to know more about the geology in the area, such as bedrock quality, soil layer thickness and the areas hydrogeology conditions. In this study geoelectrical measurements are carried out in 2D resistivity to complement previous studies (geotechnical drilling points and IP-measurements) for the area. Based on the results a conceptual geological model of the park was made and in addition a 3D model of the Park was formed in the modeling program GeoScene3D. The program uses the Kriging interpolation method. The program uses information from the geotechnical drilling points and interpolates layers and a groundwater surface. The results show variation of soil thickness for the study area, it is thickest in the northern parts and thinnest in the southern part. The bedrock in the investigation area is probably relatively fractured with two fracture zones which most likely follow the dominate fracture direction in north west-south east direction. Because of the frozen ground at the time of the investigation it would be useful with further investigations in the area to improve the poor quality of data from the resistivity measurements.

**Keywords:** geophysical measurements, resistivity, geotechnical drilling, GeoScene3D, fracture zone

*Robin Kihlén, Department of Geology, Lund University, Sölvegatan 12, SE-223 62 Lund, Sweden.  
E-mail: robin\_kihlen@hotmail.se*

# 1 Introduktion

## 1.1 Inledning

Året var 1890, industrialiseringen av Helsingborg stad var i full gång och samtidigt växte behovet av en offentlig mötesplats. Överste Johan Joachim Siöcrona väljer att sälja sin mark i Jordbodalen och dess landeri till arbetarrörelsen i Helsingborg för 40 000 kronor. Fem år senare invigs Folkparken i Helsingborg. Parken blir snabbt en viktig plats för stadens invånare och besökare på grund av möjligheterna till nöje och rekreation. Idag har parken döpts om till Sjöcrona Park, och med dess närhet till Jordbodalen och Gåsebäcksravinen utgör den fortfarande en plats som bidrar till att locka människor till dans, teater, utbildning, rekreation och lek (Søholt 2010).

På förslag från Helsingborg stad vill man utveckla området kring Sjöcrona Park till en helt ny stadsdel. Här ska naturen och den kulturhistoriska miljön få framträdande roller men framförallt skall området bli en öppen levande stadsdel som nyttjas av många fler än av de som bor i området. Bostadsförslagen är av flerfamiljshuskaraktär med varierande storlek för att passa in i områdets omväxlande natur (Sjöcrona Park 2013).

Sweco Environment och Infrastructure i Malmö har fått i uppgift från Helsingborg stad att undersöka rådande markförhållanden i området för bedömning av jordlagermäktigheter och berggrundens egenskaper. I ett tidigt skede utfördes 12 stycken geotekniska borrhningar, för att förbättra och komplettera denna geologiska information utfördes det geofysiska undersökningar. För att tidsoptimera fältarbetet utfördes det av två personer för att sedan delas upp i två olika arbeten med inriktning mot geoelektrisk resistivitetsmätning respektive inducerad polarisationsmätning. Denna studie är inriktad på geoelektrisk resistivitetsmätning av Sjöcrona Park dock bör även Linders (2013) resultat från IP-mätningarna betraktas vid en eventuell tolkning av utomstående person.

Metoddelen i arbetet är förhållandevis omfattande, detta för att geoelektrisk resistivitetsmätning är relativt komplext och behöver väl förklaras för att läsaren skall kunna ta till sig resultaten och tolkningarna.

## 1.2 Mål

- *Beräkna jordlagermäktigheter och bedöma berggrundens egenskaper (förekomst av sprickor/ sprickzoner).*
- *Upprätta en principiell geologisk modell för profilerna med hjälp av både resistivitetsmätningar och IP-data från samma område och geotekniska borrhningar.*
- *Skapa en geologisk 3D-modell med grundvattnetyta över Sjöcrona Park med modelleringsprogrammet GeoScene3D utifrån geotekniska borrhningar.*
- *Visualisera resistivitetsmätningarna i GeoScene3D.*

- *Ge förslag på fortsatta undersökningsområden och metoder.*

## 1.3 Syfte

Syftet var att med hjälp av oförstörande geofysiska metoder noggrannare undersöka markförhållandena i Sjöcrona Park på grund av den kommande exploateringen av området.

Arbetet kommer utöver ovanstående att ge en fördjupad kunskap inom geoelektriska mätningar, markundersökningar, planering av större projekt samt visualisering av resultat i datorprogrammet GeoScene3D.

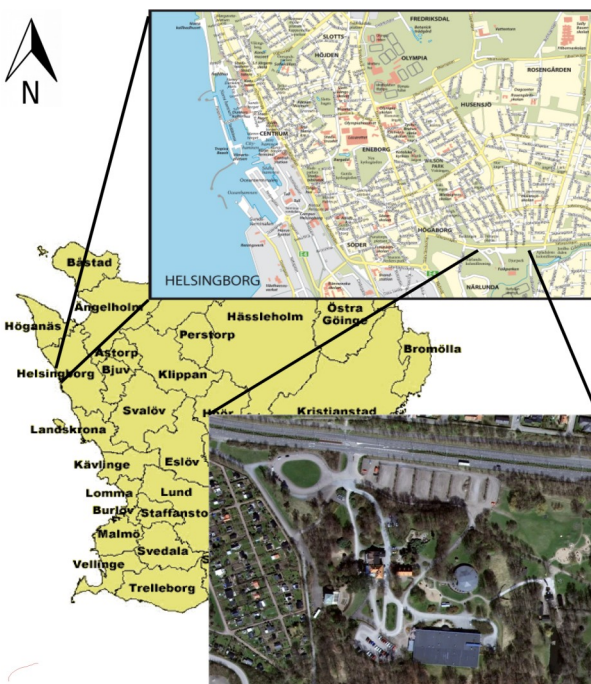
## 1.4 Avgränsningar

På grund av rådande tidsbegränsningar avgränsas studien till att endast behandla den ena av de två geoelektriska metoderna som användes under fältarbetet (Geoelektrisk resistivitetsmätning). I studien kommer teorin bakom interpolationsmetoden Kriging inte förklaras djupare beroende på tidsbrist och dess komplexa funktion. Studien berör inte frågor kring exploatering av Sjöcrona Park utan är enbart inriktad mot markförhållandena i parken.

# 2 Bakgrund

## 2.1 Områdesbeskrivning

Sjöcrona Park (Folkparken) har en 100-årig historia och byggdes under de sista åren av 1890-talet på mark som tillhörde Fältarpsgården (Helsingborgs Stadsbyggnadsförvaltning 2011). Parken är centralt belägen i Helsingborg i närhet av det framväxande H+ området, inklilat mellan de två koloniföreningarna, Apladalen i öster och Närlunda i väster (Figur 1 och Bilaga 1) (Søholt 2010; Sjöcrona Park 2013).



Figur 1. Områdesorientering för Sjöcrona Park (skane.se, matton.se, Lantmäteriet [i2012/927]).

Området karaktäriseras av kuperad terräng med en stor variation av natur i form av stora uppvuxna träd, slingrande gångstigar, Gåsebäcken, anlagda lekplatser, planteringar och gräsytor. Parkens centrala delar utgörs av en platå som sträcker sig 39 meter över havet. Ut från platån stupar marken nedåt mot de lägre områdena, ned mot Fältarpsvägen är det en nivåskillnad på 7 meter medan höjden sjunker med 20 meter ned mot Gåsebäcksravinens lägsta punkt (Helsingborgs Stadsbyggnadsförvaltning 2011).

I parken finns en rad olika byggnader, bland annat en förskola, utomhusscen, miljöverkstad och en dans- och konferensanläggning som är parkens största byggnad (Helsingborgs Stadsbyggnadsförvaltning 2011). Se Bilaga 1 för större översiktskarta.

Sjöcrona Park är en del av ett större utvecklingsprojekt där Helsingborgs stad och en rad entreprenörer vill bygga upp nya öppna attraktiva stadsdelar med ökad tillgänglighet och sammanhörighet till resterande Helsingborg. För parken är det projekterat att bygga natursköna flerfamiljshus av varierande storlek vilket ska passa in i områdets omväxlande natur (Sjöcrona Park 2013).

## 2.2 Geologi

Jordarterna i området domineras av isälvs sand medan platån utgörs av ett lerigt morän lager som avsattes under senaste istiden. I både norr och söder om parken går sedimentärt berg i dagen och kan knytas till Höganäsformationen (Adriellsson et al. 1981). Se bilagorna 2-3 för bergartskartor respektive Bilaga 6-7 för jordartskartor.

### 2.2.1 Bergarter

Urberget under parken tillhör den sydvästsvenska gnejsregionen som överlagras i stratigrafisk följd av en kambrisk kvartsit, alunskiffer (kambrium, ordovicium), övrig paleozoisk skiffer, colonusskiffer, Kågerödsformationen, Helsingborgsledet och Rät (Ulf Sivhed & Wikman 1986). Se Bilaga 3 för bergartskarta över området.

Helsingborgsledet och Rät ingår i Höganäsformationen och dess bergarter har en maximal tjocklek på 250 meter och är de lager som kommer beröras vid en eventuell exploatering av området. Bergarterna består bland annat av sand-, ler-, silt-, mörgel-, kolavlagringar och kalkstenar som förekommer på olika nivåer i lagerföljden. Färgerna i lagren varierar mycket, går från rött, brunt och grönt till svart och vitt, vilket är logiskt då formationens avsättningsmiljöer varierat mellan landområden, strand, deltan och under havsytan. Som regel är bergarterna relativt lösa men hårdare avsnitt kan även förekomma. Lösare partier i området med kol och lera har varit av ekonomiskt intresse då industriell brytning skett (Ulf Sivhed & Wikman 1986).

Undersökningsområdet utgör en del av den så kallade Helsingborgsryggen och är ett upphöjt berggrundparti (Bilaga 4) i Tornquistzonen (Bilaga 5)

(Germundsson & Schlyter 1999). Ryggen sträcker sig i nordvästlig- sydöstlig riktning genom landskapet (vilket även är den dominerande sprickriktningen) med de lägsta nivåerna i nordväst (35-40 m ö.h.) och de högsta i sydost (75-80 m ö.h.). Bergarterna i området är av sedimentära slag och härstammar från post-paleozoikum och består främst av sand och silt (Adriellsson et al. 1981). Överlag är den sedimentära berggrunden i området relativt stökig då den utstätt flertalet berggrunds rörelser (producerat av Tornquistzonen) och nedisningar. Rörelserna har bidragit till att berget spruckit upp vilket skapat urbergshorstar, sänkor och diabasgångar (Germundsson & Schlyter 1999).

Den i nära anslutning liggande Gåsebäcksravin, öster om området, har troligtvis bildats under sen-glacial tid när smältvatten från inlandsisen rört sig genom Gåsebäcksdalen och eroderat sig ned i denna. Erosion pågår fortfarande i dalen, om än inte i samma hastighet, då Gåsebäcken stillsamt rinner genom dalgången (Sundelin 1925; Jansson et al. 2009).

### 2.2.2 Jordarter

Jordlagertäcket över Helsingborgsryggen och undersökningsområdet (se Bilaga 6 och 7) är av relativt liten mäktighet, cirka 5 meter, men beror givetvis på vart man befinner sig längs med ryggen. Jordlagertäckets morfologi följer generellt sett berggrundsytan förutom där berget går i dagen (Adriellsson et al. 1981).

Det leriga moränlagret på platån härstammar från senaste istiden, Weichsel, och avsattes under isavsmältningen. Moränlagret är av lerig karaktär och den allmänna uppfattningen är att den bildats ur relativt lättroderade, unga, sedimentära bergarter som lätt kunnat krossas ned av inlandsisen. Materialet togs upp av isen för att sedan avsättas som en ny jordart då isen smälte (Andréasson 2006).

Isälvsanden i området bildades när stora mängder smältvatten från inlandsisen forsade fram på, i och under isen. Det strömmande vattnet tog med sig mängder med löst material som sten, grus och sand. När vattnet närmande sig iskanten sjönk vattnets transportförmåga på grund av minskad strömhastighet. Det lösa materialet sjönk till botten och avsattes, både framför och under iskanten, som isälvsediment (Andréasson 2006).

### 2.2.3 Hydrogeologi

Enligt grundvattenkartan från Sveriges geologiska undersökning (SGU) (Bilaga 8) har områdets sedimentära berggrund en vattenuttagsmöjlighet på 20 000-60 000 l/h, jordlagrens uttagsmöjligheter i området ligger på under 1l/s. Strax nordväst om undersökningsområdet finns ett långsträckt öppet grundvattenmagasin beläget grusiga isälvsediment som erbjuder uttagsmöjligheter på 1-5 l/s (se Bilaga 8).



### 3 Metoder

Under metodkapitlet behandlas tillvägagångssättet för hur detta examensarbete genomförts. På grund av att resistivitetsmätning är en relativt komplex metod är kapitlet jämförelsevis med andra kapitel tämligen omfattande, detta för att läsaren bättre skall kunna ta del av både resultat och tolkningar.

#### 3.1 Resistivitetsmätning, CVES

Bland de olika geofysiska metoderna som finns är resistivitetsmätningar en av de vanligaste, den upptäcktes under tidigt 1900-tal, blev dock vanligare under 70-talet då det fanns tillräcklig datorkraft för att processera och analysera data (Reynolds 1997). Idag används metoden till att hitta överytan på berggrunden, sprickor/ sprickzoner i berget, kartera jordlager med grovsediment respektive leriga lager samt uppskatta deponiers utbredning och mäktighet. Metoden används även till att spåra förorenad mark och grundvatten oftast genom detektering av lakvatten (Jeppsson & Dahlin 2013).

##### 3.1.1 Teori

###### 3.1.1.1 Resistivitet och resistans

Som Jeppsson & Dahlin (2013) skriver är resistivitet en materialegenskap som beskriver ett materials isolatoriska förmåga, det vill säga förmågan att "inte leda ström". Resistivitet betecknas med  $\rho$  och redovisas med enheten  $\Omega\text{m}$  (ohm-meter). I en elektrisk ledare finns även något som kallas resistans, vilket är det elektriska motståndet i en ledare, betecknas R. Resistansen storlek beror på tre olika faktorer, en materialegenskap (resistivitet) och två geometriska faktorer. De geometriska faktorerna som styr resistansen är tvärsnittsarean A och längden L för det gällande materialet. Resistansen kan då räknas ut med formeln:

$$R = \frac{\rho L}{A} \quad (\text{Jeppsson \& Dahlin 2013}).$$

Resistans har enheten ohm ( $\Omega$ ) och kan förklaras ge-

nom Ohms lag:  $R = \frac{U}{I}$  där (U) är spänningsskillnad, enhet volt (V) och (I) är strömstyrka, enhet ampere (A). Denna formel kan bestämma en ledares resistans genom att mäta spänningsskillnaden som uppstår mellan två punkter i en strömförande elektrisk ledare (Jeppsson & Dahlin 2013).

Dessa två ovanstående formler är avsedda för att räkna ut resistans. För att få ett uttryck för resistivitet behövs en kombination av de båda i ekvationen:

$\frac{\rho L}{A} = \frac{U}{I}$ . Denna ekvation kan reduceras ned då de geometriska faktorerna L och A kan plockas bort genom att använda sig av att spänningsskillnaden (U) är produkten av elektrisk fältstyrka (E) (V/m) och avståndet (L) (meter). Detta betyder att  $U = E \cdot L$  och att strömmen (I) är produkten av strömtäthet ( $J(A/m^2)$ ) och area (A), vilket ger uttrycket  $I = J \cdot A$ . Ekvationen

kan nu skrivas om till:  $\frac{\rho L}{A} = \frac{E \cdot L}{J \cdot A}$  och reduceras ned till  $\rho = \frac{E}{J}$  (Jeppsson & Dahlin 2013).

Detta innebär att ett visst material har en bestämd relation mellan elektrisk fältstyrka (E) och strömtäthet (J). Detta gör att man även kan förklara resistivitet med denna relation, kvoten mellan elektrisk fältstyrka och strömtäthet i en ledare utgör resistivitet (Jeppsson & Dahlin 2013).

###### 3.1.1.2 Resistivitets materialberoende

Olika geologiska material uppvisar resistiviteter som kan variera inom mycket breda intervall, från 1 till  $10^6 \Omega\text{m}$ , (se Tabell 1). Till exempel kan kristallint sprickfattigt berg visa resistiviteter mellan 5000-50 000  $\Omega\text{m}$  medan lera har resistiviteter i intervallet 1-100  $\Omega\text{m}$ . Vid tolkning gäller det att dela upp och bestämma markens olika resistiviteter, lyckas man med det har man ett bra underlag för en geologisk tolkning (Jeppsson & Dahlin 2013). Det finns emellertid vissa komplikationer vid tolkning av bara resistiviteter, flera material kan uppvisa liknade resistivitetsvärden vilket innebär att överlappning sker och försvårar tolkningen (se Tabell 1). Detta innebär att det krävs geologisk kunskap om området för att kunna göra en trovärdig geologisk tolkning om vad som rimligen kan finnas i marken (Jeppsson & Dahlin 2013).

Tabell 1. Resistivitetsintervall för olika geologiska material (Jeppsson & Dahlin 2013).

| Material                             | Normalt resistivitetintervall, $\Omega\text{m}$ |
|--------------------------------------|---|
| Lera                                 | 1- 200  |
| Torr sand                            | 800 - 5 000                                     |
| Våt sand                             | 100 - 500                                       |
| Morän, lerfattig                     | 300 - 3 000                                     |
| Moränlera                            | 20 - 200  |
| Urberg, sprickfattigt                | 2 000 - 50 000                                  |
| Urberg, sprucket                     | 200 - 4 000                                     |
| Urberg, sprucket och lervittrat      | 100 - 500                                       |
| Sandsten                             | 100 - 20 000                                    |
| Lerskiffer                           | 50 - 10 000                                     |
| Kalksten                             | 300 - 3 000                                     |
| Hushållsavfall                       | 10 - 50   |
| Bygg-/rivningsavfall                 | 30 - 3 000                                      |
| Industriavfall                       | 1 - 10 000                                      |
| Lakvattenplym från hushållsavfall    | 1 - 100   |
| Vatten (havsvatten – avjonat vatten) | $10^{-1}$ - $10^5$                              |

Det finns ett flertal faktorer som påverkar resistiviteten i ett geologiskt material, följande tre är de viktigaste: porositet, porfyllnadsgrad (andelen porer som är vätskefyllda) och porvätskans resistivitet. Många geologiska mineraler är uppbyggda av mineral med hög resistivitet där porinnehållet nästan helt bestämmer deras förmåga att leda ström. Porösa material med porer som innehåller luft (eller annan gas) ger materialet en hög resistivitet. Är porerna istället fyllda med vatten resulterar detta i en tydligt lägre resistivitet. Porvätskans resistivitet beror till största del på saltinnehållet det vill säga höga salthalter ger låga resistiviteter (Jeppsson & Dahlin 2013).

När det gäller lermineral och resistivitet har de ofta stor inverkan på förmågan att leda ström. Lermineral har en ytstruktur som täcks av lätttrörliga positiva joner vilket medför att resistiviteten blir låg. Förekomsten av dessa mineral är stor och återfinns de i flera jordarter, sedimentära bergarter och i kristallina vittringszoner (Jeppsson & Dahlin 2013).

Jordlager kan förenklat delas in i två olika zoner, den mättade zonen med helt vattenfyllda porer och den omättade zonen med endast delvis vattenfyllda porer. En mättad zon uppvisar oftast låg resistivitet medan i den omättade zonen är det främst varierande porfyllnadsgrad som styr resistiviteten. Variationen beror på porstorleken och klimatförhållanden (nederbörd). Detta betyder att i material med stor porositet (sand, grus) kan grundvattenytan detekteras beroende på att den mättade zonen och den omättade zonen uppvisar stor resistivitetskontrast (Jeppsson & Dahlin 2013).

Kristallina bergarter uppvisar i regel låg porositet vilket gör att resistiviteten vanligtvis blir hög. Om det förekommer zoner med lägre resistiviteter kan detta tyda på sprickzoner med högre porositet. Uppträder det riktigt låga resistiviteter kan detta vara ett tecken på en levittringszon (Jeppsson & Dahlin 2013).

Resistivitet är även temperaturberoende, vilket beror på att den elektriska ledningsförmågan bygger på hur bra joner kan förflytta sig i sprickvattnen och porer. Vattnets viskositet är temperaturberoende och bestämmer jonernas mobilitet. Under normala temperaturförhållanden minskar resistiviteten med ökande temperatur och tvärtom vid sänkt temperatur. När vatten fryser sker en markant ökning av resistiviteten till följd av att jonmobiliteten drastiskt sänks. Detta innebär att det går kartera permafrostutbredning (Jeppsson & Dahlin 2013).

Det finns även två andra faktorer, mineralsammansättning och mineralstruktur, som påverkar resistiviteten, om än inte i samma utsträckning. Om mineralkornen i en bergart med låg resistivitet är isolerade från varandra påverkas inte bergartens resistivitet i sin helhet. Däremot om det förekommer utdragna mineralkorn i bergartkroppen som har inbördes kontakt med varandra, kan detta resultera i en mycket låg resistivitet (Jeppsson & Dahlin 2013).

Porositeten, porfyllnadsgraden och porvätskans egenskaper kan summeras ihop i till en gemensam formel, Archies lag. Formeln beskriver sambandet

mellan porvätskans resistivitet, porositeten och bergkroppens resistivitet.

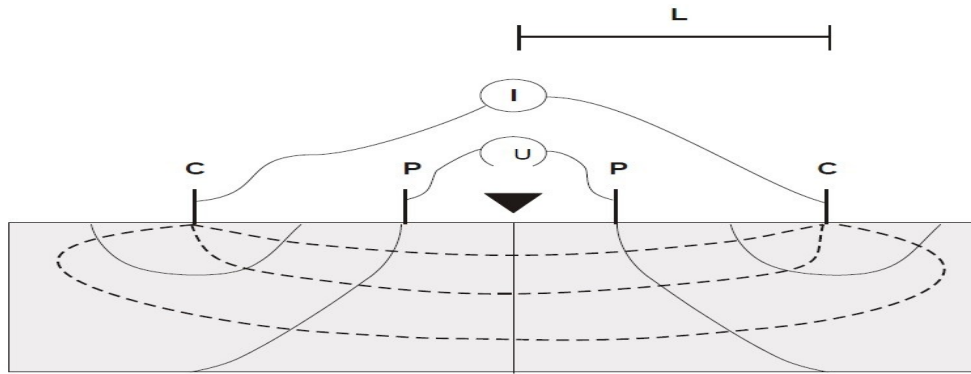
Archies lag:  $\rho = a \phi^{-m} s^{-n} \rho_w$  där:  $\rho$  = bergartskroppens resistivitet,  $\rho_w$  = porvätskans resistivitet,  $\phi$  = porositet,  $s$  är andelen av porvolymen som är fylld med vatten och  $a$ ,  $m$ ,  $n$  är empiriskt bestämda genom vetenskapliga uträkningar. Vanliga värden för de empiriskt bestämda talen är  $0,5 < a < 2,5$ ,  $1,3 < m < 2,5$  och  $n \approx 2$  (Jeppsson & Dahlin 2013).

### 3.1.1.3 Mätning av resistivitet

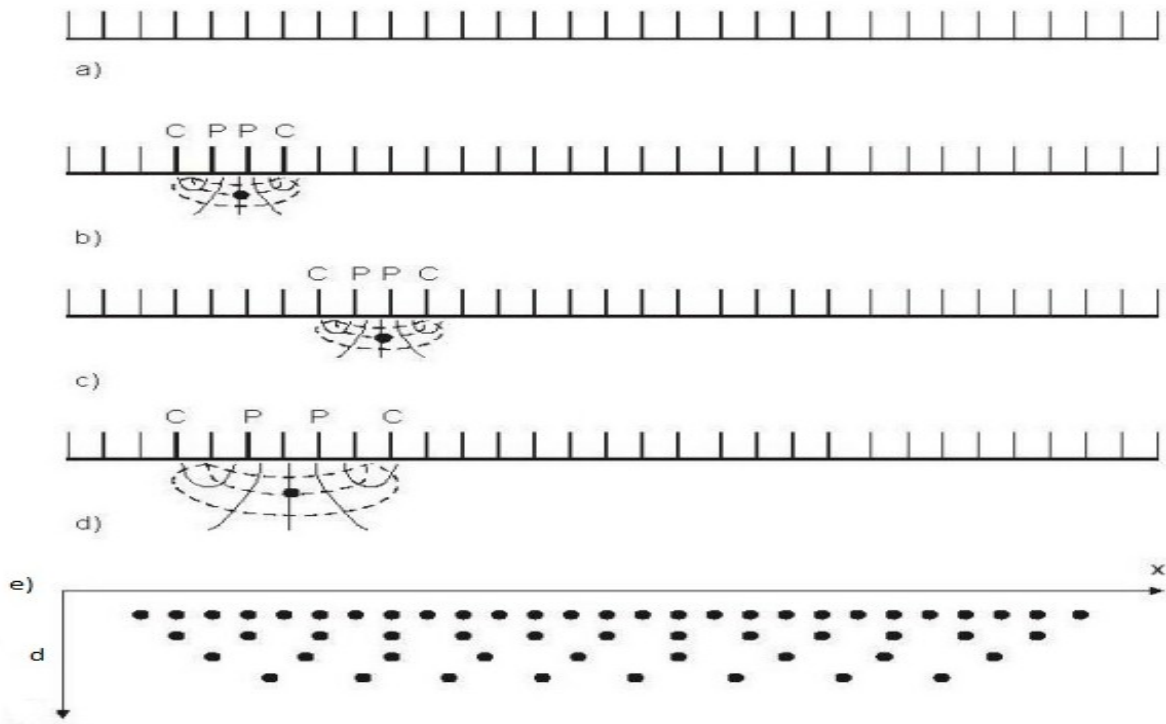
Vid mätning av resistivitet och beskrivning av ett visst materials elektriska egenskaper används ett mätinstrument som för ned en känd strömstyrka i marken genom två strömelektroder (C), den uppkomna spänningsskillnaden (U) mäts sedan mellan två potential-elektroder (P) (se Figur 2). I marken mellan de två strömelektroder (C) uppstår ett tredimensionellt spänningsfält vilket redovisas som linjer (potentiallinjer) i Figur 2. Den uppmätta spänningsskillnaden och strömfältet beror således på markens resistivitet vilket gör att resistansen nu kan beräknas med hjälp av Ohms lag (Jeppsson & Dahlin 2013).

För att kunna räkna ut resistiviteten i en tredimensionell ledare behöver man emellertid en geometrisk faktor G som betecknas med enheten (m). Denna geometriska faktor beror på avståndet mellan uppställningens elektroder. I Figur 2 redovisas avståndet med bokstaven L. Med hjälp av olika elektroduppställningar, där avståndet mellan elektroderna justeras, kan det praktiska nedträngningsdjupet bestämmas (Jeppsson & Dahlin 2013). Strömfältet som bildas har egentligen en oändlig djupnedträngning men strömtätheten avtar på djupet varav det praktiska nedträngningsdjupet brukar räknas till 50 % av det djup strömmen når (Reynolds 1997). Ett annat enklare” ungefärligt sätt för djupbestämning är att ta ”halva avståndet mellan strömelektroderna” (Jeppsson & Dahlin 2013). Vilken elektroduppställning som ska användas beror på syftet med mätningen, uppställningarna skiljer sig åt i djupnedträngning, upplösning, signalstyrka och arbetsinsats i fält. Exempel på uppställningar är Wenner, Schlumberger, Dipol – dipol, Pol – dipol och Gradient (Jeppsson & Dahlin 2013).

Varje uppmätt resistivitetsvärde kommer från en mätpunkt i centrum av elektroduppställningen. Denna mätpunkt påverkas dock av rådande förhållanden inom den tredimensionella markvolymen. I den perfekta av alla världar är marken helt homogen, vilket inte är verklighet utan marken är uppbyggd av heterogeniteter. Närliggande heterogeniteter påverkar mätvärdet mer än andra delar som ligger längre bort. Detta innebär att mätvärdet blir ett slags medelvärde av en mängd olika markkroppars resistiviteter, fenomenet kallas för skenbar resistivitet vilket även är det värde som registreras vid mätning (Jeppsson & Dahlin 2013).



Figur 2. Principalskiss för resistivitetsmätning i en Wenneruppställning. I = Strömkälla, Triangel = Mätspänning, C = Strömelektroder, P = Potentialelektroder, U = Spänningsskillnad, L = Avstånd mellan mätspänning och yttrelektroder, Heldragna linjer = Potentiallinjer, Streckade linjer = Strömlinjer (Jeppsson & Dahlin 2013).



Figur 3. Principalskiss över multielektrods mätning. A) utplacering av ett stort antal elektroder. B-C) mätning görs med litet elektrodavstånd och ett litet nedträngningsdjup längs med linjen i olika punkter. D) elektrodavståndet ökas vilket medför att nedträngningsdjupet också ökas och nya mätningar genomförs. E) ett diagram som visar varje genomförd mätning. Varje punkt representerar en x-koordinat och ett visst nedträngningsdjup (d) (Jeppsson & Dahlin 2013).

### 3.1.1.4 CVES- multielektrods mätning

Fram till ca 1990-talet användes en metodik där 4 elektroder flyttades systematiskt längs en linje för att få fram en tvådimensionell bild längs profilen. Detta innebar mycket flyttande av elektroder vilket var tidskrävande. Teoretiskt användes två olika metoder, profiler (resistivitetsvariationer i x-led) och sondering (variationer i z-led). Multielektrods mätning är en kombination av dem båda där ett stort antal elektroder placeras ut längs med raka profiler. Elektroden kopplas sedan in till ett mätinstrument med multiledarkablar så varje elektrod har kontakt med mätinstrumentet. Metoden kommer således att ge en mer effektiv datainsamling i xz-plan. Mätproceduren fungerar på så sätt att i

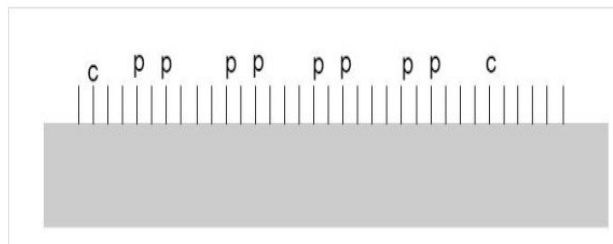
mätinstrumentet finns en dator som bestämmer över hur och vilka elektroder som skall användas allt enligt en så kallad protokollfil. Elektrodkombinationerna med de fyra elektroden väljs så att mätningarna genomförs med olika punkter i x-led vilket ger olika nedträngningsdjup (se Figur 3) (Jeppsson & Dahlin 2013).

### 3.2.1 Genomförande

Under mätningarna i Sjöcrona Park användes mätinstrumentet SAS 4000 från ABEM med Lund Cabel System och för studien valdes multielektrodsuppställningen gradient. Denna är lämpad för flerkanal mätning som ger större datamängd på kortare tid samt att

den ger en bra upplösning trots högre störningskänslighet jämfört med andra konfigurationer (Dahlin & Zhou 2004). Flerkanalsmätning innebär att ström leds ned i marken mellan två strömelektroder. Mellan dessa mäts spänningen. Samtidigt sker samma sak över flera andra par potenzialelektroder, vanligtvis fyra par, vilket ger en flerkanalsmätning (se Figur 4) (Jeppsson & Dahlin 2013).

Lund Cabel System är ett system som är uppbyggt av fyra multiledarkablar med 21 elektroduttag på vardera kabel. Det finns två varianter av kablar, en som är 40 meter lång och har ett konstant elektroduttagsavstånd på 2 meter (användes i studien) respektive en som är 100 meter och har 5 meters elektroduttagsavstånd. Detta elektroduttagsavstånd motsvarar det minsta elektrodavstånd som kan mätas med sträckta kablar. Kablarna sammankopplas med kopplingsdosor och elektroduttagen kopplas samman med elektroder, därigenom också med marken via jumpers (se Figur 5). Vid varje skarv överlappas elektroduttagen och kopplas till samma elektrod (se Figur 6). Sammanlagd längd på de fyra kablarna som kopplas ihop blir då 160 meter eller 400 meter, i studiens fall 160 meter (se Figur 7). Mätinstrumentet skall alltid vara inkopplat vid mitten av profilen, men för att mätningen skall bli fulländad och få mätpunkter längs med hela profilen krävs det att mätinstrumentet flyttas längs med profilen. Detta löses genom att man ”talar om” för mätinstrumentet att antingen första eller sista kabeln är urkopplad och på så vis kan mätinstrumentet flyttas mellan de tre skarvarna och alltid befinna sig i mitten av mätningen (se Figur 8). Mätningen drivs av ett 12 Volts batteri vilket även är strömkällan för mätningen (Jeppsson & Dahlin 2013). Under mätningarna fördes en strömstyrka mellan 500-20 milliamperer (mA) ned i marken. Vid majoriteten av mätningarna låg strömstyrkan endast på 20 mA, vilket är den lägsta strömstyrkan som instrumentet kan använda sig av. Den låga strömstyrkan berodde troligtvis på den frusna marken och dålig elektrodkontakt. I studien användes två metoder för att öka elektrodkontakten vilka var att väta elektroderna med högkonduktivvätska eller vatten, samt utplacering av multipla elektroder vinkelrätt mot profilriktningen vilket gör att den totala resistansen blir lägre än för en enskild elektrod (Reynolds 1997). För att mätningen skulle bli så fullständig som möjligt användes två olika mätprotokoll, GRAD4LX8 (långt) och GRAD4S8 (kort) (se Figur 9).



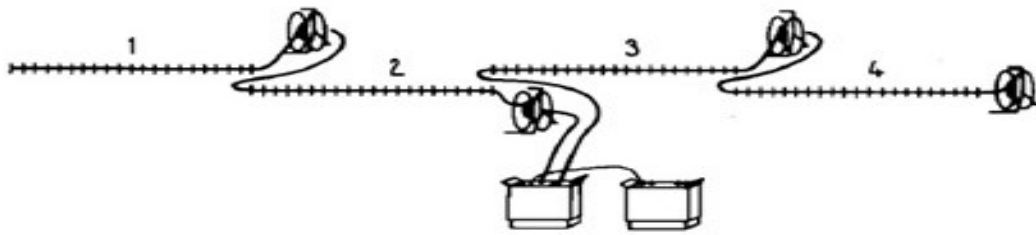
Figur 4. Principskiss över en gradientkonfiguration med fyrakanalsmätning. Ström leds ned mellan strömelektroden C-C och spänning mäts över de fyra potenzialelektrodsparen P-P (Jeppsson & Dahlin 2013).



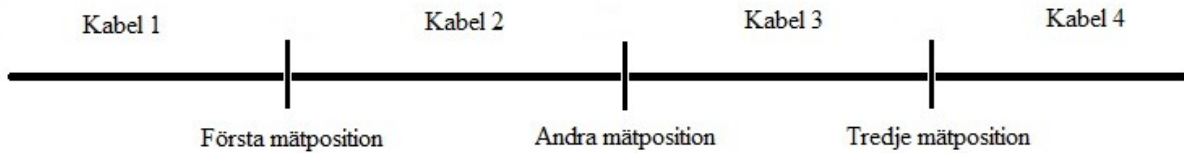
Figur 5. Utlägg med multiledarkabel, i marken nedstuckna elektroder som kopplas samman med jumpers och multiledarkabeln.



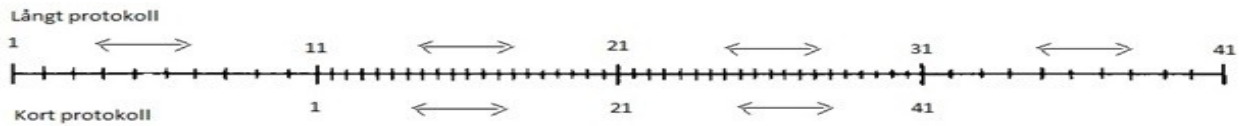
Figur 6. Vid kabelskarvarna kopplas första och sista elektroduttaget ihop till en gemensam elektrod (Jeppsson & Dahlin, 2013).



Figur 7. Principskiss över en 160 meter lång profil med fysisk ihopkoppling av multiledarkabel, mätinstrument och elektrodväljare. Observera att skissen inte har någon strömkälla, vilket i vanliga fall är ett 12 volts batteri (ABEM 2010)



Figur 8. Principskiss över en mätprocedur. Första mätning sker över kablarna (0), 1, 2, och 3. Kabel (0) är "urkopplad" för att mätningen skall ske i mitten av de fyra aktuella kablarna. Andra mätposition sker mätning över alla fyra kablarna. Tredje mätpositionen sker mätning över kabel 2, 3, 4, och (5) som kopplas "bort".



Figur 9. Skiss över hur det långa respektive korta protokollet mäter över de fyra kablarna. Det långa protokollet mäter över varannan elektrod på alla fyra kablar (41 elektroder) medan det korta protokollet mäter vid varje elektrod på de två mittersta kablarna (41 elektroder).



Figur 10. Karta över Sjöcrona Park med utmärkta geofysiska mätprofiler (160 meter långa) och geotekniska borrpunkter 12 stycken utmärkta med röd fyrkant och numrering. (bakgrundskarta från Lantmäteriet [i2012/927]).

### 3.2.2 Profiler

Utifrån att studerat berggrundskartor (SGU 1986, a) och strukturkartor (SGU 1986, b) över området kunde en dominerande sprickriktning identifieras i nordvästlig-sydöstlig riktning. Profiler skall helst läggas vinkelrätt mot dominerande strukturer för att minska 3D effekter (Jeppsson & Dahlin 2013), dock möjliggör inte områdets karaktär detta, utan profilriktningarna måste anpassas till byggnader, markanläggningar, lekplatser och planteringar. Se Figur 10 för profilplacering. I fält syftades och stakades raka profiler ut med käppar för att sedan kunna dra ut kabeln mellan dessa, raka profiler är av stor betydelse vid mätning av resistivitet och IP. Profilerna mättes sedan in med GPS systemet SWEREF 99 13 30.

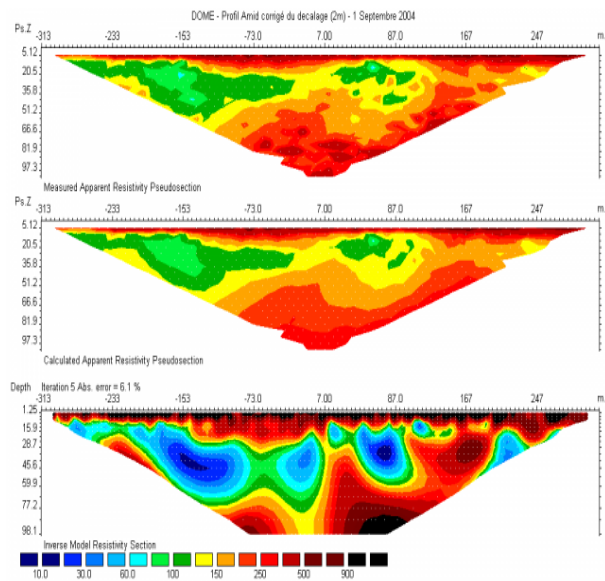
Profil 1 lades i en öst-västlig riktning och profil 2 i nordöstlig-sydvästlig riktning. Avsikten med profil 2 riktning var att den vinkelrätt skulle korsar dominerande strukturer i berggrunden, detta för att minska 3D-effekter, medan i profil 1 var avsikten att undersöka slänten närmare och att profilerna skulle korsas för att ge kompletterande information vid en senare interpolation i GeoScene3D.

### 3.2.3 Processering av data

Data från uppmätta skenbara resistiviteter går ej att använda vid direkt tolkning av geologin utan det behövs ett program som gör om skenbar resistivitet till en geologisk tolkningsbar resistivitetsmodell. I denna studie användes programmet RES2DINV som interpolerar och inverterar uppmätt data genom ett rutnät och presenteras i en 2D-modell, så kallade pseudosektioner (Geotomo Software 2012). Programmet använder sig av den uppmätta resistivitetdatan (DAT-fil) (skenbara resistiviteter) och tillverkar en ny beräknad version av modellen. Den nya modellen beräknas om, så kallad iteration, tills differensen mellan uppmätt och beräknad pseudosektion kommer under en viss förbestämmd procentsats (RMS= Root Mean Square Error). Dessa två pseudosektioner presenterar inga verkliga värden, men när önskad felmarginall uppnåtts avbryts iterationerna (i studien utfördes 7 iterationer) och en ny tredje modell presenteras med verkligt djup. Detta gör att den kan användas vid geologisk tolkning (Jeppsson & Dahlin 2013). Se Figur 11 för tre principsektioner. För att värdena skall bli så pålitliga som möjligt behöver topografi läggas in i programmet. Detta görs genom att koordinater från inmätningen av profilerna matas in i de redan befintliga resistivitetsdatafilerna, RES2DINV tillverkar sedan en topografi för vardera profil. Studiens använda inställningar för RES2DINV återfinns i Bilaga 9. Noterbart är att RES2DINV väljer att halvera elektrodavståndet i inversionsprocessen till 1 meter istället för 2 meter beroende på höga resistiviteter vid markytan.

I studien användes även ett program, Erigraph 2.19, för efterredigering av den färdiga modellen. Programmet ger användaren möjlighet att visualisera modellen i olika färgskalor, vilket kan göra det lättare

upptäcka avvikande strukturer (Bo Bergman muntligt 2013-05-06).



Figur 11. En principbild för tre olika inversionssektioner i programmet RES2DINV. Översta pseudosektionen är uppmätt skenbar resistivitet, mittersta är en beräknad pseudosektion som utgår ifrån den översta modellen, underst är den slutgiltiga resistivitetsmodell som genomgått 5 iterationer och har ett RMS error på 6,1 %. Modellen visar verkliga djup och är den modell som geologisk tolkning kan baseras på ([www.geophysical.nc/node/93](http://www.geophysical.nc/node/93)).

### 3.2.4 Felkällor

Det finns vissa svårigheter vid resistivitmätning som kan orsaka problem vid tolkning av uppmätt data. Förutom att elektroderna behöver bra kontakt med varandra och marken, vilket kan vara svårt i frusen, torr och stenig mark, kan det även vara svårt att få information från något som ligger under ett högkonduktivt lager till exempel lera. Upplösningen minskar med djupet, metallföremål och elledning kan även störa mätningen och orsaka problem. Då strömmen sprids tredimensionellt ned i marken beskrivs uppmätt data och inte bara det som finns rakt under elektrodupställningen (som visualiseras i 2D pseudosektionerna) utan även det som finns på sidorna. Detta kan förorsaka 3D-effekter, vilket betyder att det skenbara resistivitetvärdet påverkas av allt som berörs av det tredimensionella strömfältet. Ett annat problem är ekvivalensproblem som uppstår vid tolkning, problemet kommer från att mer än en uppmätt resistivitetsmodell kan ge liknande resistiviteter. Detta gör att olika strukturer i marken kan avbildas med likartade resistiviteter. Ett annat mer reellt problem är att den iterationen som redovisar lägst RMS error inte alls behöver vara den bästa geologiska modellen utan det kan vara en iteration med högre RMS error (Jeppsson & Dahlin 2013).

## 4 Övriga tillgängliga data

### 4.1 Geotekniska borrhningar

I ett tidigare skede genomförde Sweco Infrastructure AB geotekniska borrhningar i området och de skall agera underlag i den kommande miljökonsekvensbeskrivningen. Målet med undersökningen var att undersöka och fastställa de geologiska och geohydrologiska egenskaperna i området. Med hjälp av en skruvborrbandvagn typ 604D utfördes 12 borrhningar varav i 11 hål installerades det observationsrör för undersökning av grundvattenyta. Varje borrhål mättes in med GPS-systemet SWEREF 99 13 30 (Lundkvist 2013). Se Figur 10 för borrhningsplacering, fullständig redogörelse från borrhningarna redovisas i Bilaga 10. Noterbart är att enligt SGU:s jordartskarta består större delen av platån av ett lerigt moränlager och de låglänta områdena av isälvsmaterial men enligt de geotekniska borrhningarna utgörs lagerföljden mestadels av fyllning och sand. Termen fyllning är ett sätt att beskriva jordinnehåll med okänt ursprung, det kan vara allt ifrån rivningsmassor, tegel och omschaktat material (Mattis Johansson muntligt 2013-05-06).

### 4.2 IP-mätningar

I Bilaga 13 redovisas fyra sektioner av IP-mätningar från Linders (2013). Studien utgörs av två profiler som visualiseras vardera i två olika IP-effektsintervall, 1-10 och 1-150 millivolt/volt (mV/V).

## 5 GeoScene3D

### 5.1 Teori

GeoScene3D är ett danskutvecklat mjukvaruprogram, för Windows-datorer, som är byggt för att på ett bra och snyggt sätt kunna visualisera en mängd olika geologiska dataset i två- eller tredimensionella modeller, till exempel: terräng, borrhål, vattenytor, lagerytor och geofysikdata. Detta innebär att programmet är mycket användbart inom miljögeologi och hydrogeologi. Programmet kan utföra både 2D- och 3D-interpolationer med tre olika interpolationsalternativ, vilket gör att det klarar av att bygga upp olika lagerytor som senare kan användas vid geologiska tolkningar och eventuellt presentationer av det specifika undersökningsområdet (I-GIS 2013).

För att föra in data i programmet behövs det att aktuella data finns i en kompatibel databas, programmet läser in information från olika databaser och visualiserar dessa i en modell (I-GIS 2013).

### 5.2 Genomförande

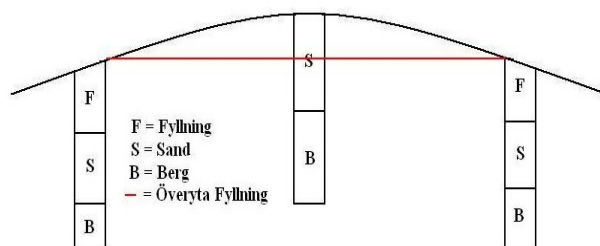
Inför studien hölls det en tvådagarskurs i GeoScene3D på Swecos kontor i Malmö. Två representanter från företaget presenterade programmet och gav en kort introduktion i tillämpningsområden för programmet.

I modellen som visualiseras i studien har en 2-

meters terrängmodell och en 1-meters ortofoto använts som laddats ned från Lantmäteriet [i2012/927]. För att denna visualisering skall bli helt korrekt krävs det att all inläst data visas i samma koordinatsystem (SWEREF 99 13 30 valdes för studien) och att även samma höjdsystem används (i studien användes RH 2000).

En accessdatabas har tillverkats för borrhpunkter från Lundkvist (2013), dessa har sedan implementerats i modellen som XYZ-punkter. Dessa XYZ-punkter innehåller information om lagerytor och en grundvattenyta. Utifrån dessa borrhpunkter har ytterligare en databas gjorts med avseende på att tillverka en lagerföljd över hela området och inte bara för varje borrhål. För att åstadkomma detta behöver man interpolera varje sammanhängande lageryta med interpolationsmetoden Kriging.

I vissa fall där en tvålagerföljd är omringad av trelagerföljder kan interpolationen bli fel (se Figur 12). För att undvika att interpolationen för fyllningen i Figur 12 går genom sanden måste fyllningens underyta placeras till sandens överyta trots att det inte existerar någon fyllning i den aktuella borrhpunkten. Detta korrigeras i accessdatabasen.



Figur 12. Förklaring av interpolationsproblem som kan uppstå då en tvålagerföljd befinner sig mellan trelagerföljder.

Avsikten var att komplettera den geotekniska informationen som finns över området med arbetets framtagna geofysiska data och då få en säkrare interpolation med större sannolikhet. Dessvärre har programmet begränsningar (version 9.5.0.377) och kan inte genomföra interpolationer från resistivitmätningar, utan resistivitssektionerna visualiseras i profilutläggen som 2D Figurer.

I GeoScene3D visualiseras nu en tredimensionell modell över Sjöcrona Park som visar en terrängmodell, höjd- och nivåskillnader, med ett ortofoto placerat ovanpå. Under mark visas tre olika geologiska lager (fyllning, sand och berg) likaså är borrhålen visualiserade med lagerföljd och grundvattennivåer, se Bilaga 11 för bilder över Sjöcrona Park i GeoScene3D.

### 5.3 Kriging

Av de tre interpolationsmetoderna (Kriging, Nearest Neighbor och Inverse distance weighting) som GeoScene3D använder sig av kommer endast interpolationsmetoden Kriging att appliceras i denna studie. Namnet Kriging kommer ifrån den sydafrikanske gruvingenjören Kriege, han utvecklade empiriska metoder för att bestämma malmklassfördelningar (Söderholm 2010).

Kriging är en geostatistisk metod som interpolerar fram värden för icke provtagna punkter, metoden anses ofta vara den som ger bäst resultat. Fördelen med metoden är att den först analyserar datavariationen i en variogramanalys, vilket medför att variogrammet (som styr interpolationen) blir korrelerat. Variogrammet är en funktion som helt enkelt beskriver variationerna i provpunkterna. För att funktionen skall beskriva den aktuella variationen korrekt krävs det att det finns tillräckligt många provpunkter. Ett riktvärde för antal provpunkter är minst 50, vid färre antal blir interpolationen av sämre kvalitet (Söderholm 2010; Söderström 2010).

## 6 Resultat

I kapitlet redovisas resultat från fältarbetet, modeller i RES2DINV, Erigraph och GeoScene3D. Interpolerade modeller och geologiska skisser få ses som resultat från denna studie och inte tolkningar av tidigare studiers resultat. Resultat från båda profilerna redovisas vardera i form av tre inverterade 2D modeller med olika resistivitetsintervall (10-100 Ohm-m, 100-1000 Ohm-m och 1000-10000 Ohm-m). De olika intervallen gör det möjligt att urskilja höga och låga resistivitet och olika strukturer. I sektionerna är höjddata inlagt och anges i meter över havet, topografin är också medberäknad vilket beskriver den ojämna överytan på sektionerna. Två närliggande geotekniska borrhypunkter är även inritade i profilerna, borrhypunkt 4 och 6. Beskrivning av sektionerna inriktas på hög- respektive lågresistiva områden. Större figurer över sektionerna redovisas i Bilaga 12.

### 6.1 Störningar i mark

#### 6.1.1 Ledningar

Av ledningskartor från området framgick det att vid ungefär 60 meter in på profil 1 visar kartan att det finns en OPTO-kabel (optisk kabel) och en fjärrvärmekabel. Det finns även två troliga ledningar för gatubelysning. Den första finns i angränsning till vägen omkring 70 meter in på profilen och den andra vid cykelvägen efter cirka 115 meter. Precis i början av profil 2 finns en jordkabel (lågspänning). Vid cirka 40 meter in på profilen passerar samma OPTO-kabel och fjärrvärmekabel som går förbi profil 1, det finns även gatubelysning på samma avstånd. Fjärrvärmeledningen dyker upp igen längs med profilen vid cirka 55 meter och likaså gatubelysningen återfinns igen vid cirka 140 meter (Ledningskollen 2013).

#### 6.1.2 Markanläggningar

Profil 1 börjar vid en asfalterad parkering, ungefär 65-70 meter in på profilen (i sänkan) går det en mindre asfalterad bilväg (se Figur 10). Från vägen vid cirka 105 meter passerar profilen ett staket (troliga fundament vid staketstolparna). Strax efter staketet efter 115

meter går en grusad cykelväg som profilen även korsar. Profil 2:s första 40 meter består av markanläggningar. De första 20 metrarna går över stenläggningar och en blomsterrabatt, återstående 20 meter är plattlagd väg med anslutande gångvägar, även lyckstolpar passerar vid cirka 40 meter. De sista 120 metrarna är relativt förskonade från markanläggningar förutom samma staket och cykelvägen som återfinns i profil 1, staketet passerar efter 130 meter och cykelvägen vid omkring 140 meter.

Värt att nämna är att profilerna korsar varandra vid 115 meter för profil 1 respektive vid 140 meter för profil 2 (se Figur 10). Det bör också nämnas att mätningarna utfördes när det var tjäle i marken.

### 6.2 Profiler

Profil 1 har sin start längst i väster (0 meter) och sitt slut längst i öst (160 meter) (Figur 13-15): profilen har en öst-västlig riktning. Profil 2 startar i sydväst vid 0 meter och slutar i nordost vid 160 meter (Figur 16-18). Profilriktningen är nordöstlig-sydvästlig. Felmarginalen (RMS-error) i inversionsmodellerna för profil 1 är 6,9 % och 6,6 % för profil 2.

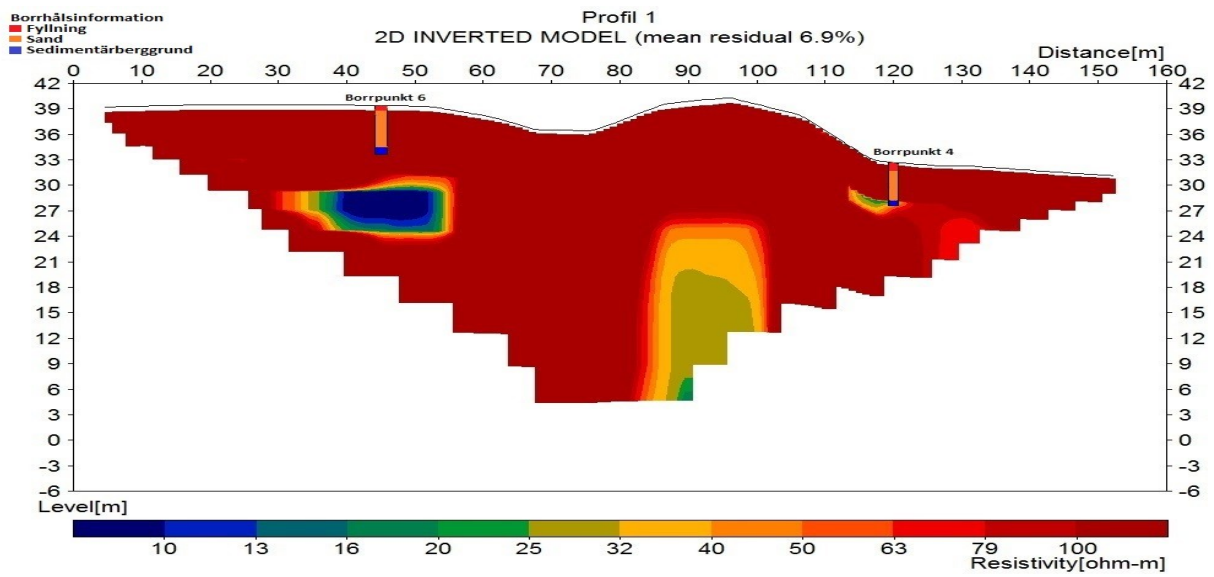
#### 6.2.1 Profil 1

I Figur 13 finns det två områden som utmärker sig med mycket låga resistiviteter. Det ena (blå området), som sträcker sig från 30 meter in på profilen till cirka 55 meter, ligger på ett djup av cirka 10 meter och uppvisar resistiviteter lägre än 10  $\Omega$ m. Det andra området (gulgrön) återfinns mellan 80 meter och 100 meter längs profilen och visar ett lågt resistivitetsspann mellan 20 och 40  $\Omega$ m.

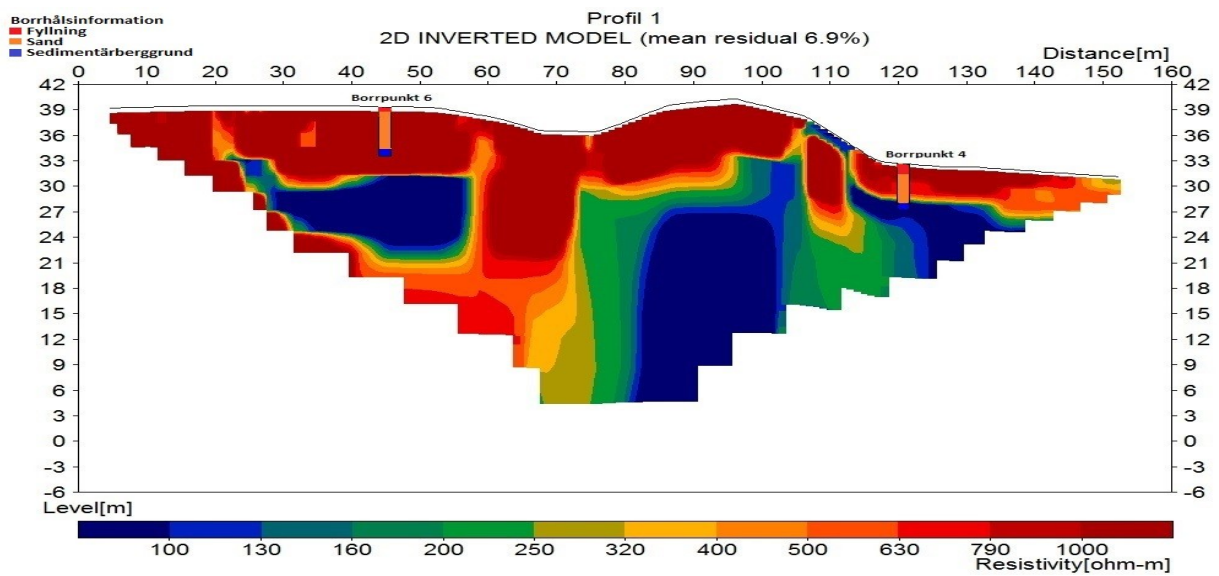
Figur 14 uppvisar stor variation av resistivitet, riktigt högresistiva områden (över 1000  $\Omega$ m/m) finns längs med markytan i hela profilen och har ett djup på omkring 7 meter förutom vid ungefär 65 meter där det sträcker sig djupare. Under detta högresistiva lager återfinns samma lågresistiva områden som i Figur 13, fast nu med större utbredning och har resistiviteter mellan under 100  $\Omega$ m till cirka 250  $\Omega$ m.

I sista sektionen (Figur 15) för profil 1 kan det urskiljas variationer i resistivitet från det marknära högresistiva området från Figur 14. Resistiviteterna har ett djup på omkring 7 meter och uppvisar resistivitetsvärden mellan 1300  $\Omega$ m och över 10 000  $\Omega$ m. Dominerande värden är dock 2000-4000  $\Omega$ m.

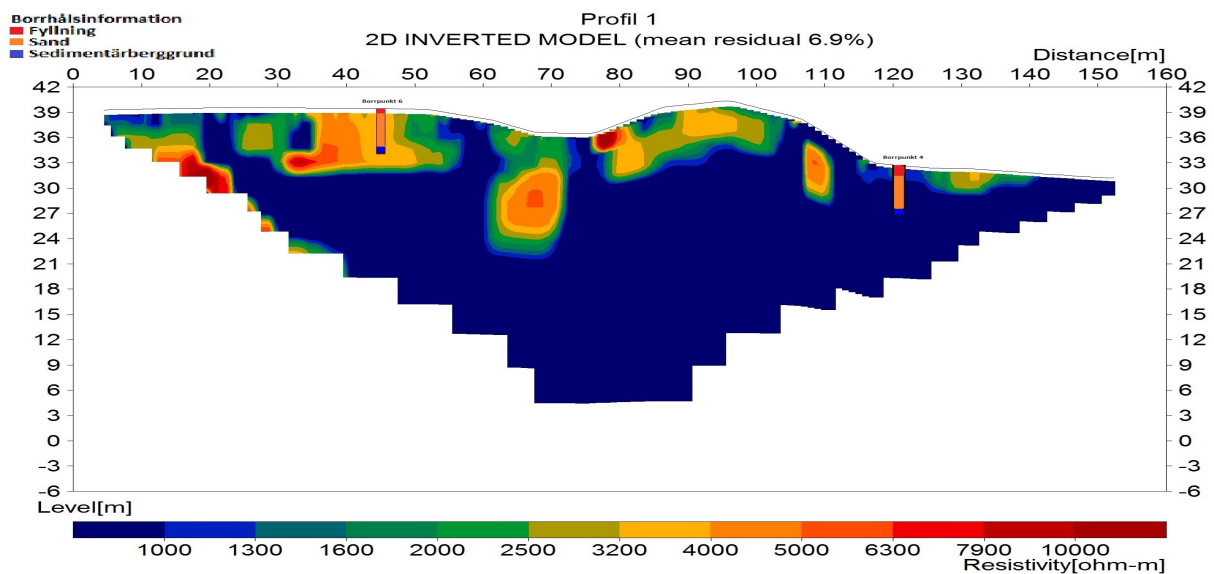




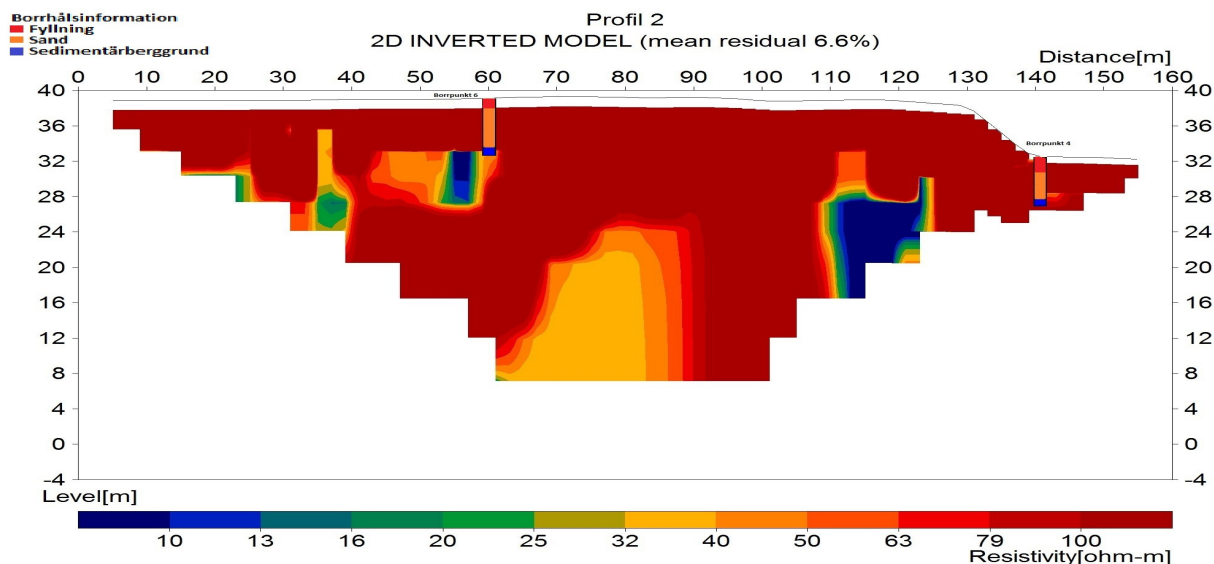
Figur 13. Inversionsmodell för Profil 1 med borrpunkterna 4 och 6 redovisade. Resistivitetsvärden mellan 10 och 100 Ohm-m.



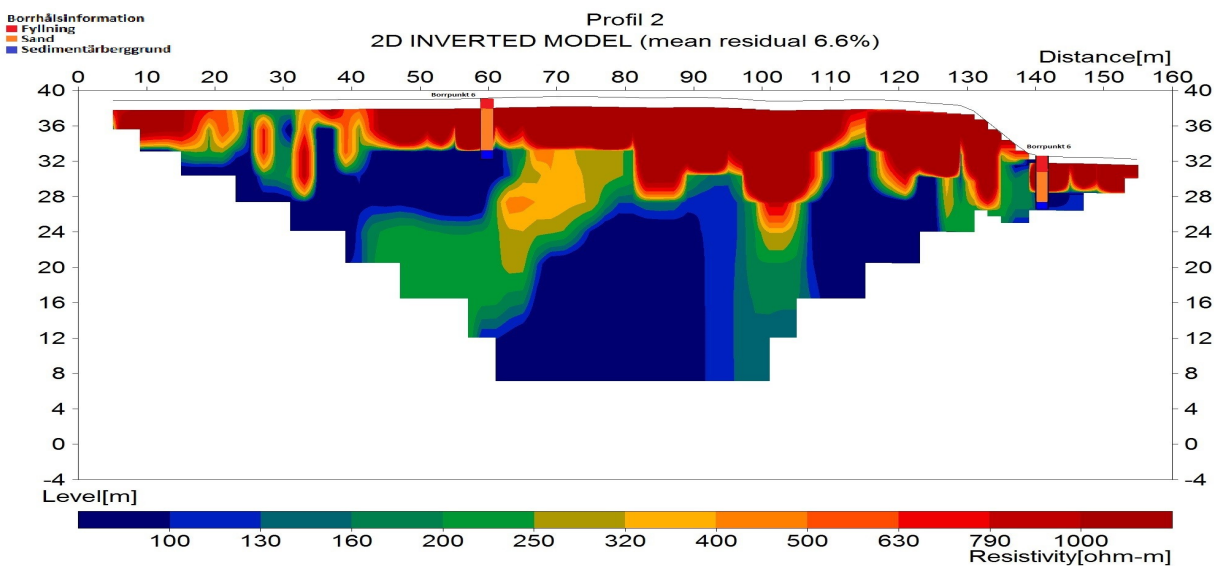
Figur 14. Inversionsmodell för Profil 1 med borrpunkterna 4 och 6 redovisade. Resistivitetsvärden mellan 100 och 1000 Ohm-m.



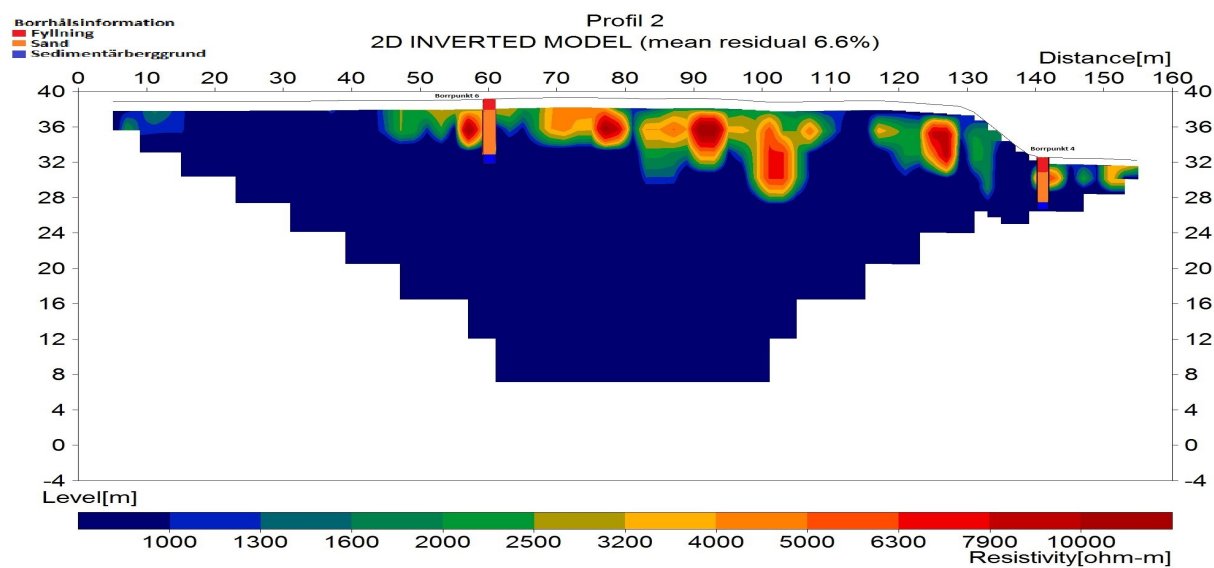
Figur 15. Inversionsmodell för Profil 1 med borrpunkterna 4 och 6 redovisade. Resistivitetsvärden mellan 1000 och 10000 Ohm-m.



Figur 16. Inversionsmodell för Profil 2 med borrhållena 4 och 6 redovisade. Resistivitetsvärden mellan 10 och 100 Ohm-m



Figur 17. Inversionsmodell för Profil 2 med borrhållena 4 och 6 redovisade. Resistivitetsvärden mellan 100 och 1000 Ohm-m



Figur 18. Inversionsmodell för Profil 2 med borrhållena 4 och 6 redovisade. Resistivitetsvärden mellan 1000 och 10000 Ohm-m.

### 6.2.2 Profil 2

I Figur 16 finns tre intressanta områden som uppvisar lägre resistivitet än omkringliggande partier. Första området är beläget omkring 6 meter ned i marken och sträcker mellan 40 meter och 60 meter in på profilen, uppvisar resistiviteter omkring 10/ och 40  $\Omega\text{m}$ . Det andra lite större området sträcker sig mellan 60 och 90 meter och befinner sig cirka 12 meter under mark, har resistitivetsvärden mellan 32 och 63  $\Omega\text{m}$ . Omkring 10 meter ned och 105-125 meter in på profilen återfinns det tredje området som uppvisar sektionens lägsta resistiviteter, under 10  $\Omega\text{m}$ .

Vid markytan i Figur 17 återfinns mestadels mycket höga resistiviteter, över 1000  $\Omega\text{m}$ . Lagret har varierande tjocklek, från någon meter upp till 14 meter. Under finns mer lågresistiva områden: tre partier sticker ut med lägre resistiviteter än 100  $\Omega\text{m}$ . Dessa partier hittas på samma ställen som de tre områdena i Figur 16, dock med en större utbredning.

I modellen med högre resistitivetsvärden (Figur 18) är de första 45 metrarna av det översta lagret relativt lågresistivt, för att sedan öka i resistivitet de sista 115 metrarna med en variation mellan 2000 och 10 000

$\Omega\text{m}$ . I tjocklek från markytan skiftar resistiviteter mellan 4 och 10 meter. Det finns fyra högresistiva områden, över 10 000  $\Omega\text{m}$ , alla har ungefär samma storlek och befinner sig på samma djup (3 meter) under markytan. Dessa återfinns längs med profilen vid 58/, 78/, 92/ och 125 meter.

### 6.3 Geotekniska borrpunkter

Fullständigt resultat från de geotekniska borrpunkterna redovisas i Bilaga 10 och i Figur 19 redovisas en sammanställning av djupet till berggrunden vid respektive geoteknisk borrpunkt. Sammanställningen visar att tjockleken på jordtäcket varierar över området. Måktigheterna är störst i norra delen av parken och tunnans ut i riktning mot Gäsebäcksravinen och Jordbodalen

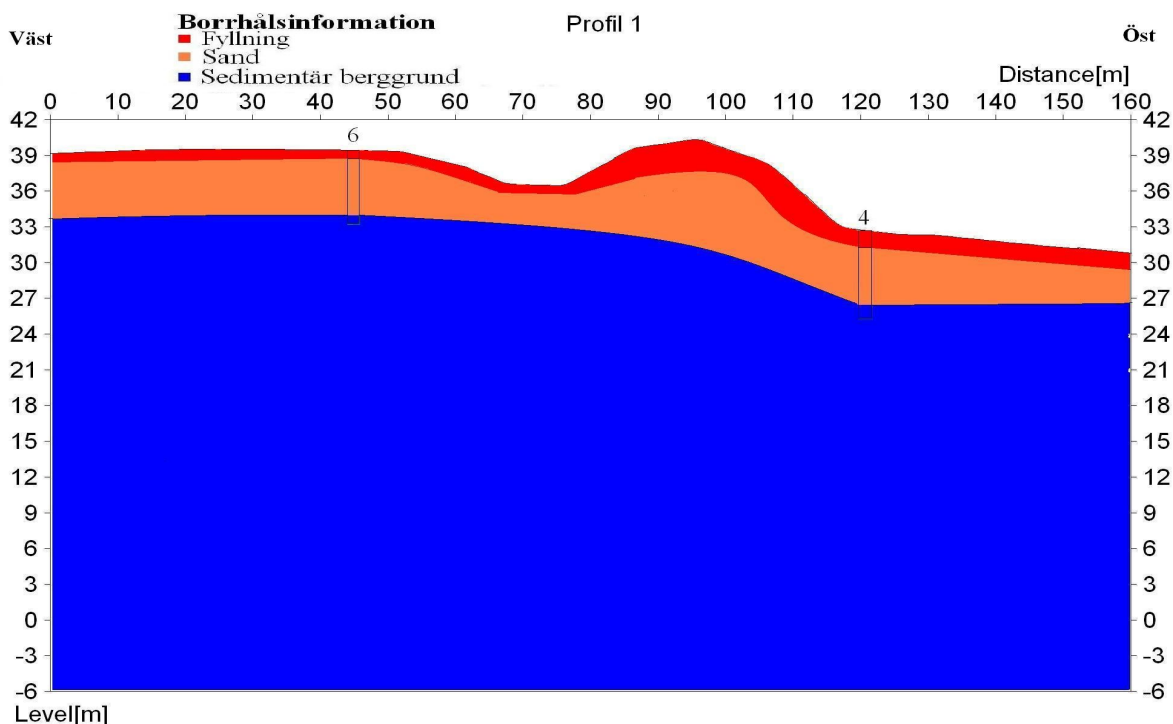


Figur 19. Geotekniska borrpunkter med redovisat djup till berggrund för respektive borrpunkt. P = borrpunktsnummer, djupet anges i meter (m).

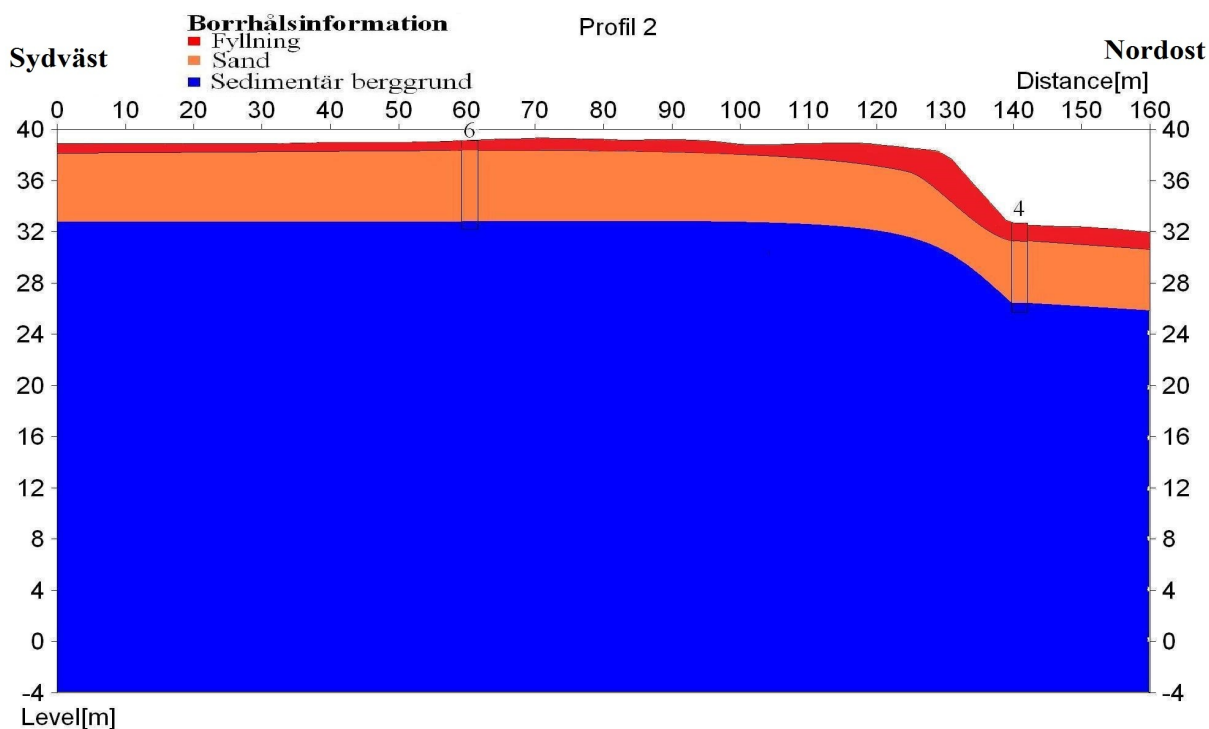
## 6.4 Konceptuell geologisk modell

Utifrån de geotekniska borrhälsinformationerna har två geologiska principskisser för vardera profil utformats (Figur 20 och 21), jordlagermäktigheterna baseras endast på in-

formationen från borrhälsinformationerna 6 och 4. Observera att dessa borrhälsinformationer inte ligger rakt över profilerna utan är belägna sidledes från profilerna.



Figur 20. Konceptuell geologisk skiss för profil 1 utifrån information från de geotekniska borrhälsinformationerna. Rött = Fyllning, Orange = Sand, Blått = Sedimentär berggrund.

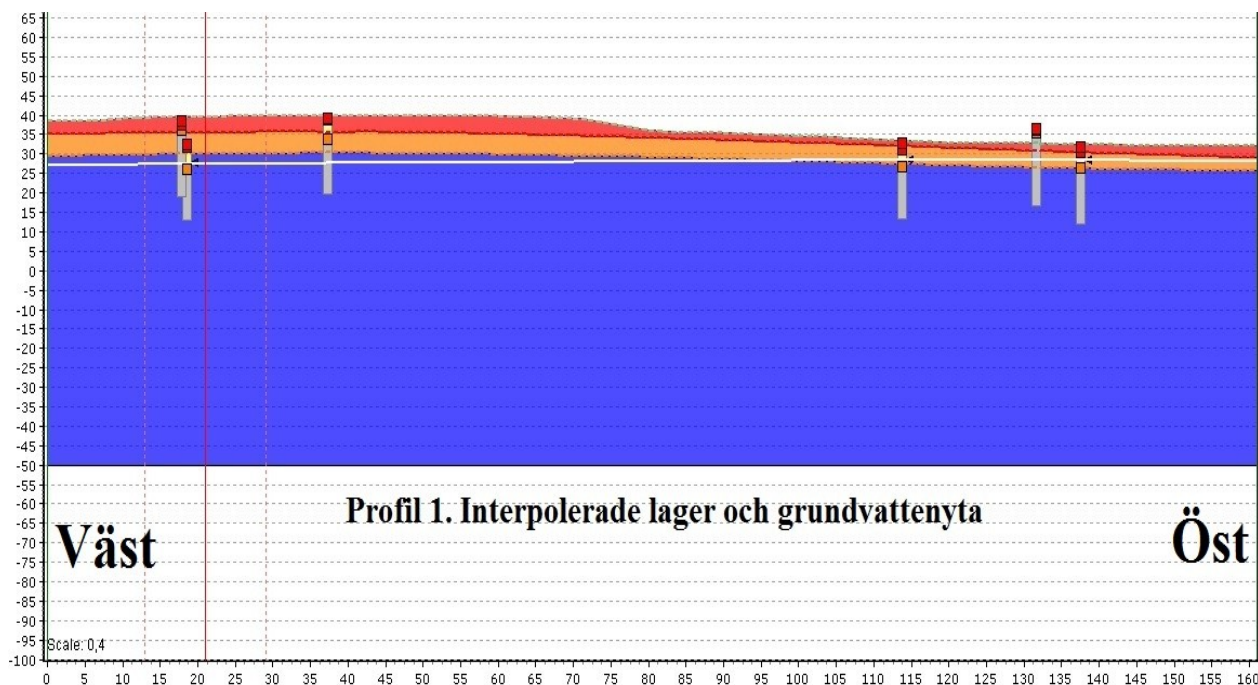


Figur 21. Konceptuell geologisk skiss för profil 2 utifrån information från de geotekniska borrhälsinformationerna. Rött = Fyllning, Orange = Sand, Blått = Sedimentär berggrund.

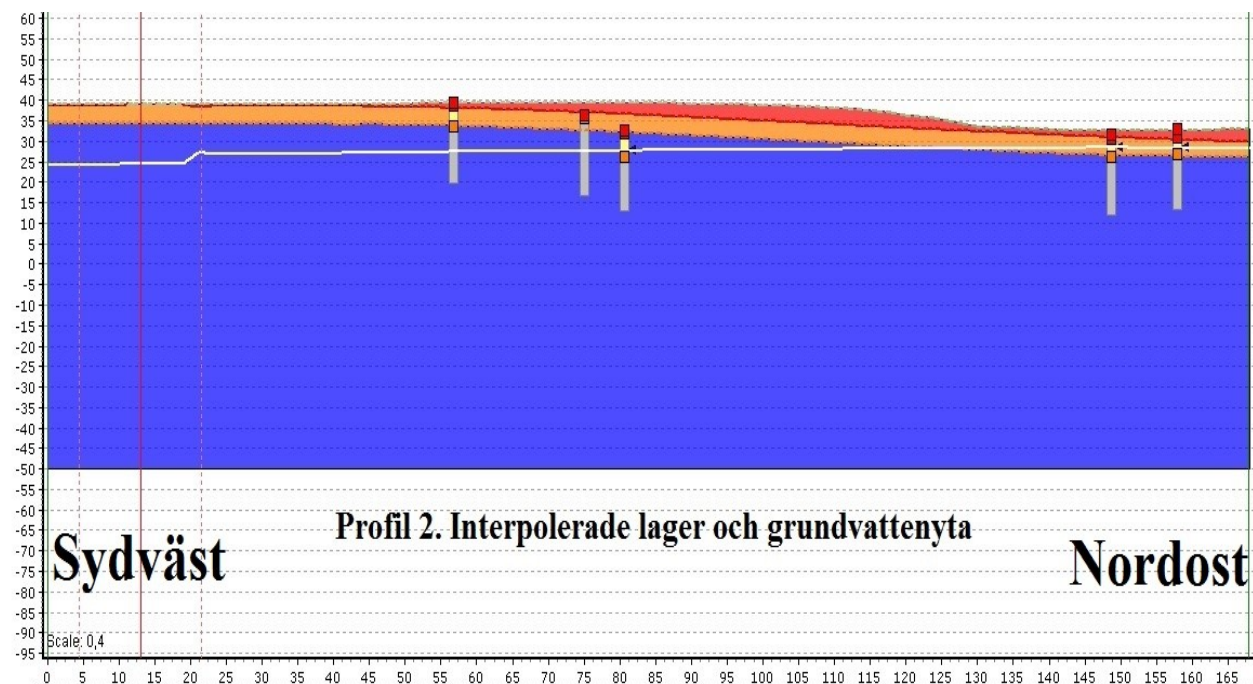
## 6.5 Interpolerade lager med en uppmätt grundvattenyta

De två undersökningsprofilerna är redovisade som tvärsnitt från programmet GeoScene3D (Figur 22 och 23), jordlagren, berggrundens överyta och grundvattenytan är framinterpolerade med metoden Kriging. Programmet väljer att visualisera alla borrhöjningar i

tvärsnittet som omfattas av profilens utsträckning och även sidledes från profilen, vilket gör att vissa borrhöjningar visualiseras under markytan på grund av området omväxlande topografi. Observera att profilernas topografi kan vara missvisande beroende på höjdaxelns stora skala.



Figur 22. Profil 1 med interpolerade lager och grundvattenyta (vit linje). Interpolationen är gjord med metoden kriging. Borrhöjningarna som visualiseras i bilden ligger inte rakt över profilen utan dessa borrhöjningar ligger antingen vinkelrätt djupare in i bilden eller framför profilen.



Figur 23. Profil 2 med interpolerade lager och grundvattenyta (vit linje). Interpolationen är gjord med metoden kriging. Borrhöjningarna som visualiseras i bilden ligger inte rakt över profilen utan dessa borrhöjningar ligger antingen vinkelrätt djupare in i bilden eller framför profilen.

## 7 Diskussion och tolkning

Under följande kapitel diskuteras och redovisas tolkningar av studiens resultat för att på bästa möjliga sätt besvara målsättningarna från kapitel 1.2. Det skall beaktas att datakvaliteten är av bristfällig karaktär beroende på tjäle i marken vid undersökningstillfället.

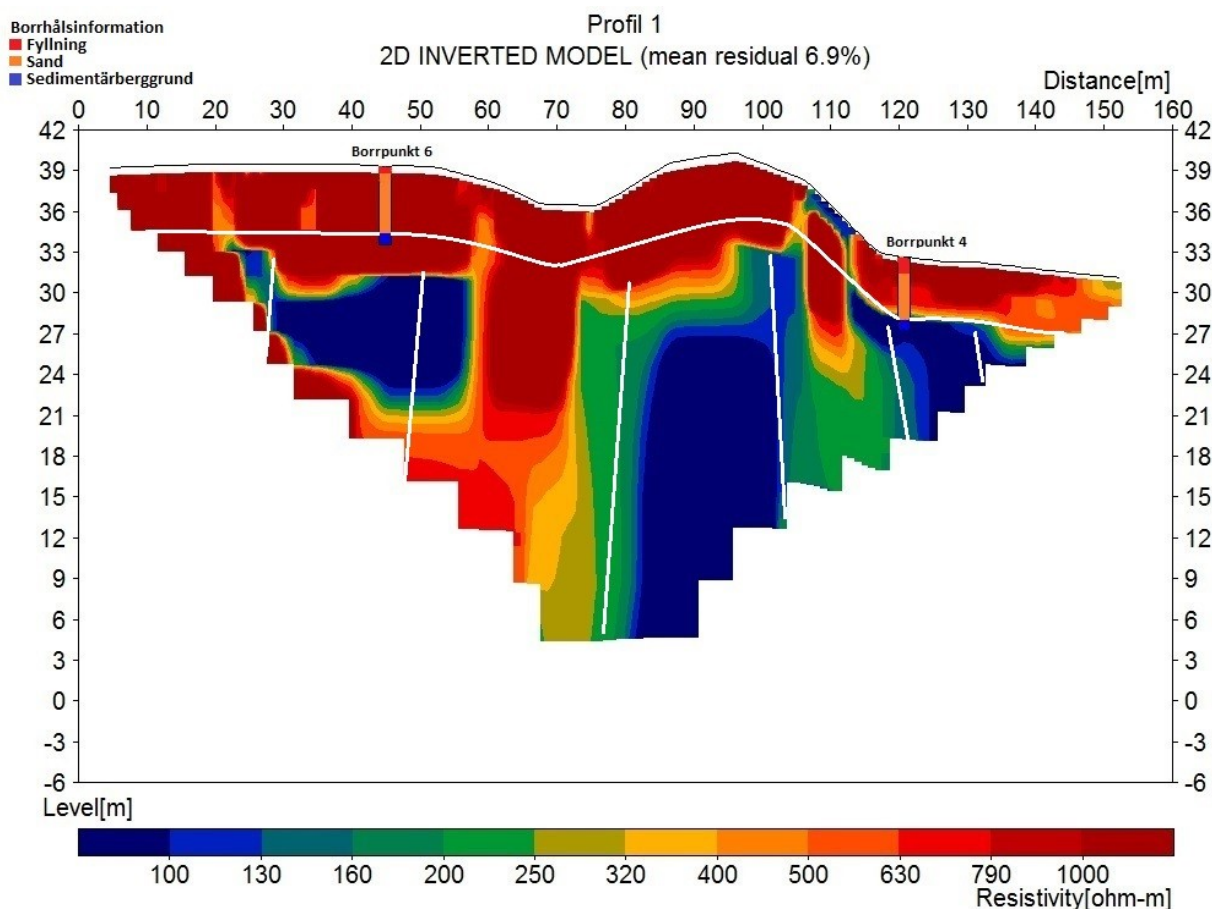
**Beräkna jordlagermäktigheter och bedöma berggrundens egenskaper (förekomst av sprickor/ sprickzoner).**

### Jordlagermäktigheter

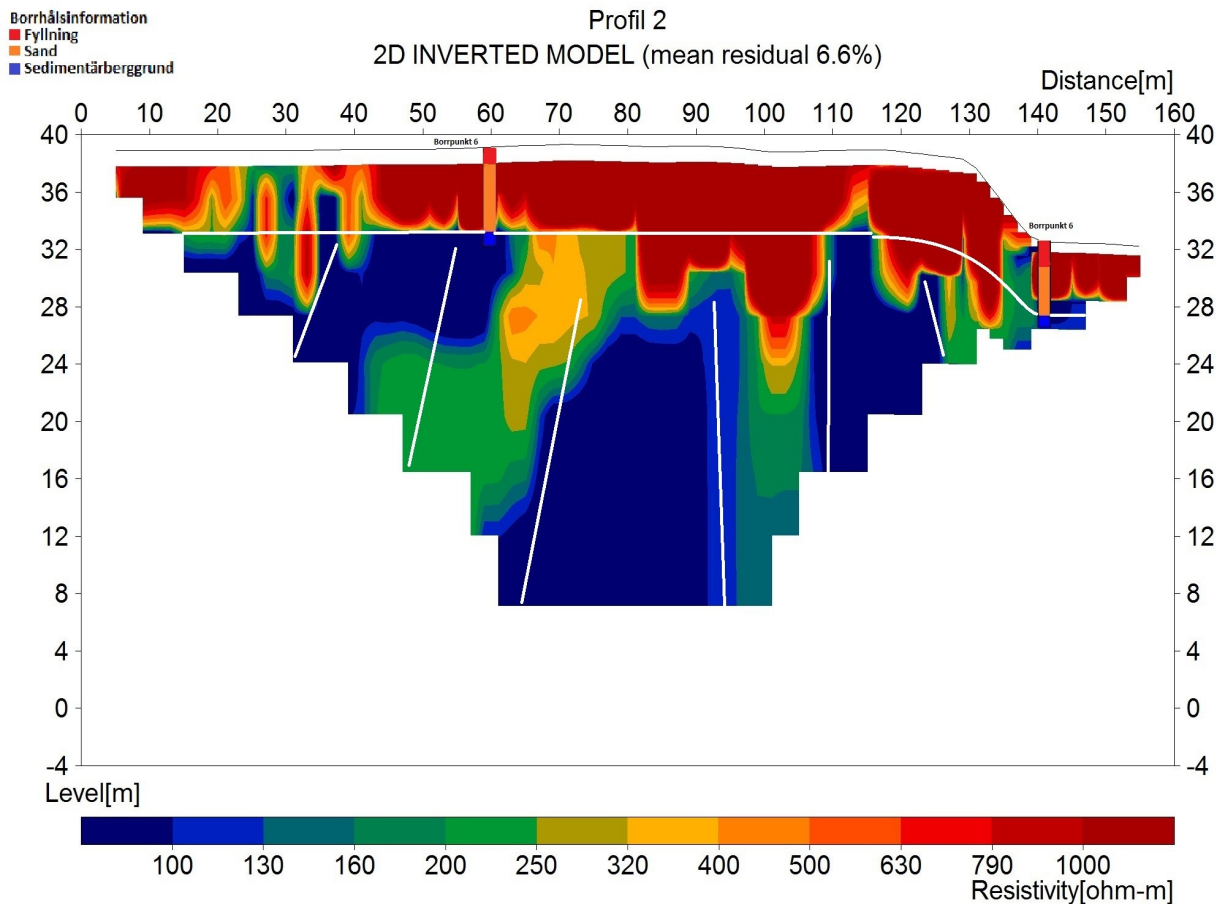
Utifrån de geotekniska borrhningarna som redovisas i Bilaga 10 och i Figur 19 fastställs en säker jordlagermäktighet för borrhningarna 6 (5,6 meter) och 9 (2,5 meter) där skruvborren stoppas av sedimentärt berg. I punkterna där borren stoppas av förmodat berg (punkt 4,7,8,10,11 och 12) varierar jordlagermäktigheter mellan 0,85 och 6,1 meter. Stopp i förmodat berg kan antingen tolkas som sedimentärt berg, hårt packad sand eller annat hårt material. För de kvarvarande punkterna (1,2,3 och 5) där skruven "ej kan nedföras längre enligt vanligt förförande" varierar jordlagrens mäktighet mellan 5,5 och 9,3 meter, vilket innebär att det troligtvis är stopp i sedimentärt berg. Dock utesluter inte

detta chansen till att jordlagren kan vara av mäktigare karaktär. Möjligheterna till att det även kan finnas stora moränblock eller annat hinder i marken vilket kan sätta stopp för fortsatt nedförande av skruvborren får inte heller uteslutas.

Tolkningar av profil 1 och 2 resistivitetssektioner, för bedömning av jordlagermäktigheter redovisas i Figur 24 och 25. Vid tolkning beaktas de närliggande geotekniska borrhningarna 6 och 4. Punkt 6 har ett fastställt djup till berggrunden på 5,6 meter medan punkt 4 har ett förmodat djup till berget på 5,5 meter. Troligtvis är bergets överyta uppsprucken/vittrad vilket kan resultera i lokala nivåvariationer för registrering av bergöverytan, vilket medför att resultat från resistivitmätningarna och borrhningarna kan skilja sig åt vad gäller jordmäktigheter. De höga resistiviteter som finns längs med marken i de båda profilerna beror med största säkerhet på tjäle i marken. Dessa höga resistiviteter tyder annars på sprickfattigt kristallint urberg. Tjälén gör att elektrodkontakten blir dålig och strömstyrkan blir låg (majoriteten av värdena 20 mA) vilket resulterade i dålig datakvalitet och sämre inversionsmodeller. Trots den något sämre datakvaliteten kan vissa strukturer och ytor tolkas fram. Berggrundens överyta följer nästintill underytan på de marknära högresistiva lagren i profilerna (se Figur 24 och 25) vilket då motsvarar en ungefärlig jordlagermäktighet.



Figur 24. Inversionsmodell för profil 1 med intolkad berggrundsöveryta (översta vita linjen) och tolkade sprickzoner (blåa områden mellan de vita linjerna).



Figur 25. Inversionsmodell för profil 2 med intolkad berggrundsövertyta (översta vita linjen) och tolkade sprickzoner (blåa områden mellan de vita linjerna).

### Berggrundens egenskaper (förekomst av sprickor/sprickzoner)

Berggrundens egenskaper tolkas utifrån resistivitetsresultaten och intolkade zoner redovisas i figurerna (24 och 25). Båda profilerna uppvisar vardera tre lågresistiva zoner vilket tolkas som möjliga sprickzoner. Tre av dessa sprickzoner är troligtvis lervittrade: i profil 1 (Figur 24) den inritade zonen längst till vänster och i profil 2 de två inritade områdena till vänster och i mitten (Figur 25). Efter jämförelse och tolkning av resultat från Linders (2013) (Bilaga 13) sammanfaller endast dessa tre partier med IP-resultaten. IP-mätningar uppvisar ofta högre uppladdningsförmåga vid till exempel lervittrade sprickzoner, vilket även kan tyda på en vattenförande zon då dessa sprickor ligger under grundvattennivån (Jeppsson & Dahlin 2013).

I Figur 26 har de lågresistiva zonerna (tolkade sprickzoner) markerats ut för vardera profil. I figuren har även en grov möjlig tolkning gjorts av hur de eventuella sprickzonerna sitter ihop. Utifrån att bara studera resistivitetssektionerna kan det tyckas självklart att de båda lågresistiva områdena i mitten på varje sektion (Figur 24 och 25) har något samband och kan länkas ihop. Det är troligtvis inte så enkelt eftersom dessa sprickor befinner sig på sådant stort sidledes avstånd från varandra att de troligtvis inte har ett

samband (se Figur 26). De möjliga sprickzonerna har sammanlänkats med den dominerande sprickriktningen i åtanke som är nordvästlig - sydöstlig. Två sprickor har markerats ut varav den västligaste är en trolig lervittringszon och den östliga bedöms som en trolig sprickzon, den senare sammanfaller väl med områdets topografi som sjunker precis vid "sprickzonsgränsen" ned mot gräsområdet. Sådana nivåskillnader associeras ofta med svaghetszoner (sprickzoner) i berggrunden (Bo Bergman muntligt 2013-05-06).

Det skall dock tilläggas att det inte behöver vara sprickzoner som utgör anomalierna i resultaten utan kan utgöras av något annat, till exempel en liten diabasgång (vilken inte är redovisad på SGU:s berggrundskartor, se Bilaga 2 och 3). Runt diabasgångar förekommer ofta lervittring detta beroende på kontaktmetamorfos (Jeppsson & Dahlin 2013). Det kan möjligen vara förklaringen till att det finns en lervittrad sprickzon mitt på plåtån, där det torde vara mer sprickfattig berggrund.

Det kan även nämnas att områdets komplexa geologi kan ha något med resultaten att göra, då det om vart annat skett avsättning av lerlinsor, kalklager och kolavlagringar samt att området utstått upprepande nedisningar, vilket troligtvis kan försvåra tolkningen av mätresultaten.

Mätresultaten uppvisar att områdets sedimentära

berggrund är lågresistiv med värden som knappt sträcker sig över 1000  $\Omega\text{m}$  vilket möjligen tyder på att den är relativt porös och uppsprucken. Dock kan värdena likväl bero på den låga strömstyrka (20 mA) som användes under mätningen, vilket innebär att mätningen blir mer störningskänslig och får sämre precisionsförmåga.

Notera att under datainsamlingstillfället rådde det försvarande förhållanden (tjäle, ledningar, markalaggeningar, gatubelysning med mera) vilket resulterade i att datakvaliteten blev bristfällig. Detta gör att tolkningarna endast kan beaktas som tolkningar och inte "verkliga" geologiska förhållanden.

***Upprätta en principiell geologisk modell för profilerna med hjälp av resistivetsmätningar, IP-mätningar och geotekniska borrpunkter från samma område.***

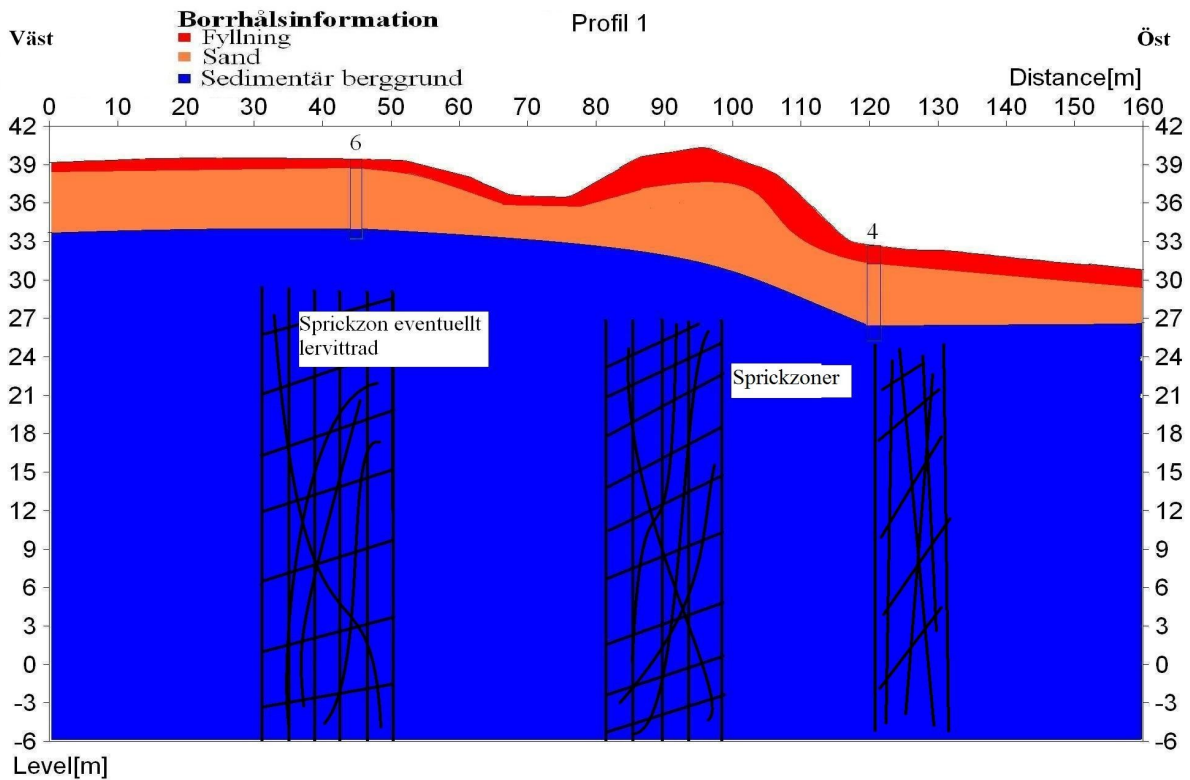
De principiella geologiska modellerna som gjorts för vardera profil utifrån de geotekniska borrpunkterna

redovisas i kapitlet 6.4 (Figur 20 och 21). Dessa ligger till grund för den slutgiltiga principiella geologiska modellen, som även baseras på resistivetsmätningar och IP-mätningar. I båda sektionerna (Figur 27 och 28) redovisas möjliga sprickzoner samt eventuella lervittringszoner. Dessa sprickzoner har tolkats fram genom en jämförelse av resistivetssektionerna och IP-sektionerna. Där eventuella lervittringszoner förekommer har båda metoderna gett utslag och då tolkats som lervittringszon. Där endast resistivetsmätningarna visat på förekomst av sprickzon har detta område tolkats som sprickzon utan lervittring. Jordlagermäktigheterna baseras på de geotekniska borrpunkterna 4 och 6. Detta bör ses som väldigt grova tolkningar då tolkningarna endast bygger på två borrpunkter, vilket är för få undersökningspunkter för att kunna säkerställa jordmäktigheter för en hel profil. Det bör dessutom tilläggas att borrpunkterna inte ligger rakt över profilerna utan några meter i sidled (se Figur 26).

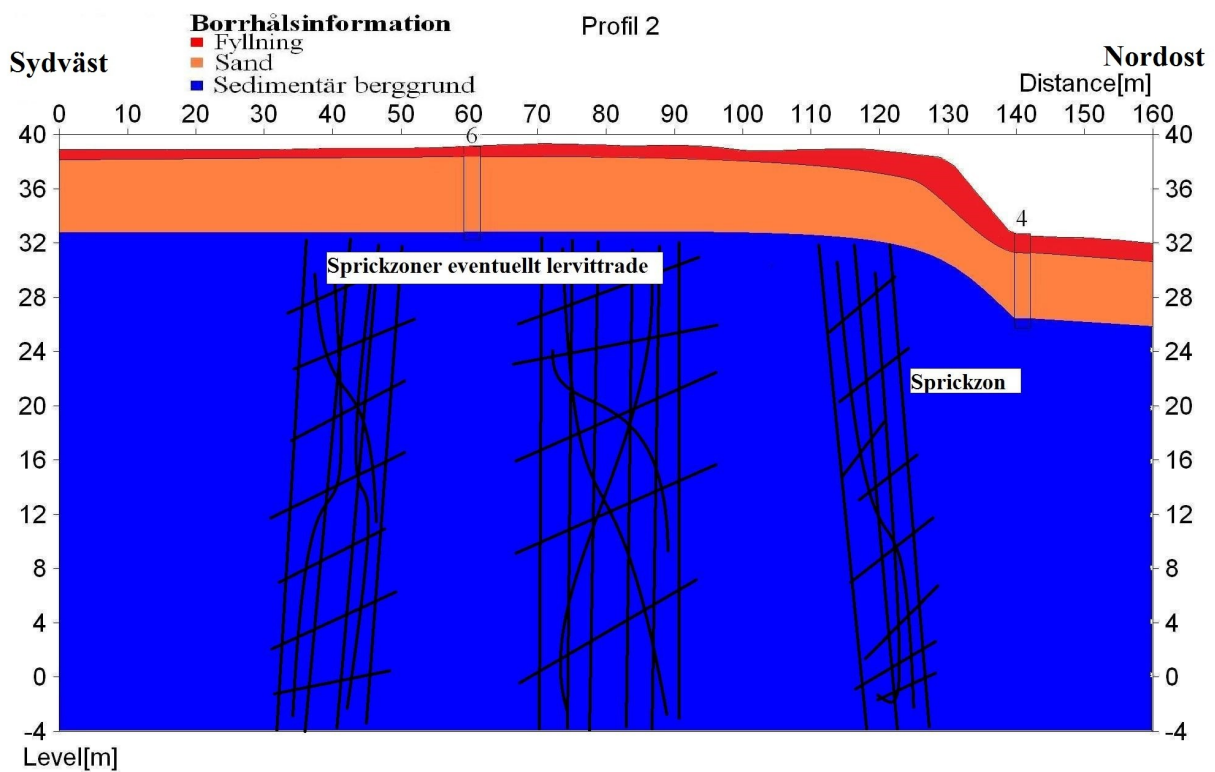


Figur 26. Karta över Sjöcrona Park med utmarkerade lågresistiva områden (sprickzoner). Linjerna längs med profilerna visar början och slut för vardera zon. Områdena har sedan bundits samman utifrån dominerande sprickfrekvens. (Turkos = Eventuell lervittrad sprickzon, Grön = Sprickzon.)





Figur 27. Principiell geologisk skiss för profil 1. Jordlagren och bergöverytan är tolkade utifrån de geotekniska borrhälsorna 4 och 6. Sprickzoner och eventuella lervittringszoner är tolkats fram från resistivitetsmätningar och IP-mätningar.



Figur 28. Principiell geologisk skiss för profil 2. Jordlagren och bergöverytan är tolkade utifrån de geotekniska borrhälsorna 4 och 6. Sprickzoner och eventuella lervittringszoner är tolkats fram från resistivitetsmätningar och IP-mätningar.

### ***Skapa en geologisk 3D-modell med grundvattenyta över Sjöcrona Park med modelleringsprogrammet GeoScene3D utifrån geotekniska borrhypor.***

En 3D-modell över Sjöcrona Park har skapats i programmet GeoScene3D, den redovisas som två tvärsnittssektioner för profil 1 och profil 2 (se Figur 22 och 23). I sektionerna visas en trelagerföljd med en vit visualiserad grundvattenyta, denna har interpolerats fram med interpolationsmetoden kriging. En interpolerad yta är ingen verklighet utan endast en uppskattning av uppmätt data. Borrhyporna som använts i studien är relativt få (12 stycken), när interpolation sker vill metoden arbeta med så mycket information och så bra datakvalitet som möjligt detta för att få ett bra och trovärdigt resultat. Framförallt kan krigingmetoden vara lite känslig när endast 12 punkter finns till förfogande. Metoden vill gärna arbeta med mer än 50 punkter (Söderström 2010). Beroende på att det finns för få borrhypor i ett relativt stort område med stora topografiförändringar gör det att interpolationen blir dålig över områdena med minst borrhypor. Val av annan interpolationsmetod hade troligtvis inte gjort någon nämnvärd skillnad med tanke på de få borrhypor som finns. Det skall nämnas att det finns lera i borrhyp 10 som inte kan visualiseras då det inte går att interpolera med endast en punkt.

Av de tolv punkter som jordlagren är framinterpolerade ur används endast åtta av dessa till interpolationen av grundvattentytan, detta för att det bara finns åtta punkter med en registrerad grundvattenyta. Grundvattennivån befinner sig i jordlagren på de mer låglänta partierna medan på platån (mer höglänt område) försvinner grundvattennivån in i berggrunden. Dock tar inte GeoScene3D hänsyn till att det kan finnas två olika grundvattentytor i området, en i jordlagren och en i berget.

### ***Visualisera resistivitetsmätningarna i GeoScene3D.***

Detta mål har tyvärr inte kunnat genomföras till fullo då den resistivitetsdata som visualiseras i GeoScene3D inte visas korrekt. Detta beror på att databasen som används för att visualisera resistivitetsmätningarna inte är rätt konstruerad, troligtvis är databasen byggd i fel koordinatsystem. Detta problem kan emellertid lösas men på grund av tidsramarna för studien och kunskapsbrist gällande skapandet av databaser så har dessvärre inte målet kunnat uppnås.

### ***Ge förslag på fortsatta undersökningsområden och metoder.***

Det rekommenderas att mätningarna som utförts i denna studie görs om i frostfria förhållanden för att få mer störningsfria datakvaliteter. Dessa mätningar bör kompletteras med ett större antal mätprofiler för lokalisering av fler eventuella sprickzoner och undersökning av jordmäktigheter. Över den troliga lervittringszonen mitt på platån skulle det vara intressant att med

magnetometri undersöka teorin om det möjligen kan finnas en diabasgång med lervittrade kontaktzoner, dock är magnetometrimetoden känslig i närheten av elinstallationer. Det vore även klokt att utföra fler geotekniska borrhypor för undersökning av mer exakta jorddjup och bergkvalitet samt även utföra fler grundvattenobservationer under en längre tid för en säkrare bedömning av grundvattennivåerna. I områdets mest störningsdrabbade delar vore det intressant att utöka mätmetoderna med refraktionsseismik eller georadar för att verifiera resultaten från resistivitetsmätningarna. Relaktionsseismik är inte lika störningskänslig som resistivitet och ger en bra bild av jorddjup och bergets egenskaper men är dock känslig för vibrationer. Georadar är en snabb och enkelt metod som är bra på att detektera berggrundens överyta men den fungerar sämre vid storblockig morän och vid heterogena fyllnadsmassor (Jeppsson & Dahlin 2013). Om ingen metod ger önskvärt resultat kan ett alternativ vara att gräva ned till berget vilket är en säker metod för att bestämma jorddjup och bergegenskaper.

## **8. Slutsats**

Undersökningsområdet har en varierande topografi, utifrån de geotekniska borrhyporna och resistivitetsmätningarna tolkas jordlagermäktigheterna (över rådet kring profilerna) till att variera mellan 5 och 6 meter. Berggrunden är av sedimentär art, relativt porös och uppsprucken med troligtvis två sammanhängande sprickzoner i undersökningsområdet varav den ena är en möjlig lervittringszon. Sprickriktningen för de två möjliga sprickzonerna följer den dominerande sprickfrekvensen i landskapet, nordvästlig – sydöstlig (Figur 26). Det finns möjligtvis även två lokala sprickzoner längs med profilerna som ej gick att binda ihop. Området har en grundvattennivå som troligtvis befinner sig i berggrunden på de högre partierna i området medan i de mer låglänta områdena återfinns den i jordlagren. På grund av tjäle i marken vid undersökningstillfället, vilket resulterade i låg datakvalitet, är resultaten relativt svårtolkade. Det rekommenderas att göra om mätningarna under frostfria förhållanden med fler mätprofiler samt att komplettera undersökningarna med fler geotekniska borrhypor och grundvattenmätningar. Det vore även önskvärt att utöka mätningarna med seismiska undersökningar, magnetometri och georadar för att få en så bra bild över de geologiska förhållandena som möjligt.

GeoScene3D är ett användarvänligt program med stora möjligheter för visualisering av geologiska förhållanden. Avsevärda förbättringar kan dock göras gällande visualisering av geofysiska resistivitetsmätningar. I nuläget finns det två stora problem som programutvecklarna borde åtgärda: för de första utveckla ett behändigare sätt att överföra data från RES2DINV till GeoScene3D och för det andra göra så att interpolation från borrhypor och interpolation från geofysikdata "samarbetar" till en gemensam förbättrad interpola-

tion. Om programmet klarar av detta i framtiden är upp till I-GIS men lyckas de kan GeoScene3D bli ett mer kompetent program än vad det redan är idag.

## 9. Tack

Jag vill först och främst tacka min eminenta fältarbetspartner till likaså arbetspartner Wictor Linders för dina goda idéer och höga arbetsmoral. Jag vill självklart rikta stora tack till mina handledare Mattis Johansson, konsult på SWECO Environment i Malmö, och Dan Hammarlund, professor vid Geologiska institutionen i Lund, för deras tidsupppoffring och värdefulla kommentarer som varit till stor nytta under rapportskrivandet. Även stort tack till Bo Bergman som hjälpte oss under fältarbetet och analysdelen, likaså tack till Alfredo Mendoza och Ulrika Sabel för deras hjälp vid modellering och visualisering av resultaten i GeoScene3D, alla tre konsulter på SWECO Environment i Malmö. Vill likaså tacka Sweco Environment och I-GIS för att jag fick medverka på GeoScene3D kursen och använda programmet i mitt examensarbete.

## 10. Referenser

- Adriellsson, L., Mohrén, E. & Daniel, E., 1981: *Beskrivning av Jordartskartan, Helsingborg SV*. Sveriges Geologiska Undersökning.
- Andréasson, P.-G., 2006: *Geobiosfären : en introduktion*. Studentlitteratur. 604 pp.
- Dahlin, T. & Zhou, B., 2004: A numerical comparison of 2D resistivity imaging with 10 electrode arrays. *Geophysical Prospecting* 52, 379-398.
- Geotomo Software, 2012: RES2DINVx32 ver. 3.71 with multi-core support. Geotomo Software Malaysia. 157 pp.
- Germundsson, T., & Schlyter P., 1999: *Sveriges Nationalatlas – Atlas över Skåne*. Uppsala. 184 pp.
- Helsingborgs Stadsbyggnadsförvaltning, 2011: Planogram för fastigheten Folkparken 1M FL Närlanda, Helsingborg stad. 16 pp.
- Jansson, C., Gustavsson, K. & Narvelo, W., 2009: Helsingborgs raviner och dalar - ett urval. 36 pp.
- Jeppsson, H. & Dahlin, T., 2013: Geoelektriska Metoder inom tillämpad geofysik, Resistivitetsmätning, IP-mätning, SP-mätning. *Kompendium i Geofysiska undersökningsmetoder, GEOC04*. Geologiska institutionen vid Lunds Universitet. 69 pp.
- Linders, W., 2013: Geofysiska IP-undersökningar och 3D-modellering av geofysiska samt geotekniska resultat i GeoScene3D, Sjöcrona Park, Helsingborg, Sverige. Geologiska institutionen Lunds Universitet. 47 pp.
- Lundkvist, A., 2013: Markteknisk Undersökningsrapport Sjöcrona Park. Sweco Infrastructure AB. 14 pp.
- Reynolds, J. M., 1997: *An introduction to applied and environmental geophysics*. Wiley. 796 pp.
- Sundelin, U., 1925: *Hälsingborgstraktens geologiska historia*. 70 pp.
- Sveriges Geologiska Undersökning, a., 1986: Berggrundskartan 3C Helsingborg SV 1:50 000. *AF nr 149*.
- Sveriges Geologiska Undersökning, b., 1986: Strukturgeologiska kartan 3C Helsingborg SV 1:50 000. *AF nr 149*.
- Söderholm, H., 2010: Beskrivning till kartan, Grundvattenförekomster i Enköpings kommun Uppsala, Sveriges geologiska undersökning. 62 pp.
- Söderström, M., 2010: Interpolerade markkartor- några riktlinjer. Teknisk Rapport nr 21 ed., Institutionen för mark och miljö Precisionsodling och pedometri. 20 pp.
- Søholt, H., 2010: Sjöcrona Park - Helsingborg. Analys av problem & möjligheter. Gehl arcitects. 30 pp.
- Ulf Sivhed & Wikman, H., 1986: *Beskrivning till Bergartkartan- Helsingborg SV*. Uppsala. 108 pp.

### Internet

- I-Gis. 2013. Retrieved, from <http://i-gis.dk/GeoScene3D/tabid/62/language/en-GB/Default.aspx>. Hämtad 2013-05-03
- Lediningskollen. 2013. Information om ledningar. Retrieved, from <https://www.ledningskollen.se/>. Hämtad 2013-04-29
- Sjöcrona Park. 2013. Retrieved, from <http://www.xn--sjcronapark-sfb.se/>. Hämtad 2013-04-13

### Muntliga referenser

- Bo Bergman, 2013-05-06
- Mattis Johansson, 2013-05-06

### Bilder och bilagor

- Bergartskarta över Helsingborg och Sjöcrona Park, hämtad från SGUs kartgenerator, 2013-04-29
- Grundvattenförhållanden, hämtad från SGUs kartgenerator, 2013-04-29
- Helsingborgsryggen, hämtad ifrån Germundsson, T., & Schlyter P., 1999: *Sveriges Nationalatlas – Atlas över Skåne*. Uppsala. 184 pp.
- Helsingborgstads-karta: [http://www.matton.se/map\\_extend.php?i=7239](http://www.matton.se/map_extend.php?i=7239) hämtad: 2013-05-07
- Jordartskarta över Helsingborg och Sjöcrona Park, hämtad från SGUs kartgenerator, 2013-04-29
- Jordartskarta över Skåne, hämtad ifrån Germundsson, T., & Schlyter P., 1999: *Sveriges Nationalatlas – Atlas över Skåne*. Uppsala. 184 pp.

RES2DINV bild, hämtad ifrån <http://www.geophysical.nc/node/93>, 2013-05-14

Skånekarta: [http://www.skane.se/Halsa\\_Vard/Vardsok-Skane-247219/Telefonnummer\\_till\\_halso\\_och\\_sjukvard/](http://www.skane.se/Halsa_Vard/Vardsok-Skane-247219/Telefonnummer_till_halso_och_sjukvard/) hämtad:2013-05-07

Skånes berggrund, hämtad från Germundsson, T., & Schlyter P., 1999: *Sveriges Nationalatlas – Atlas över Skåne*. Uppsala. 184 pp.

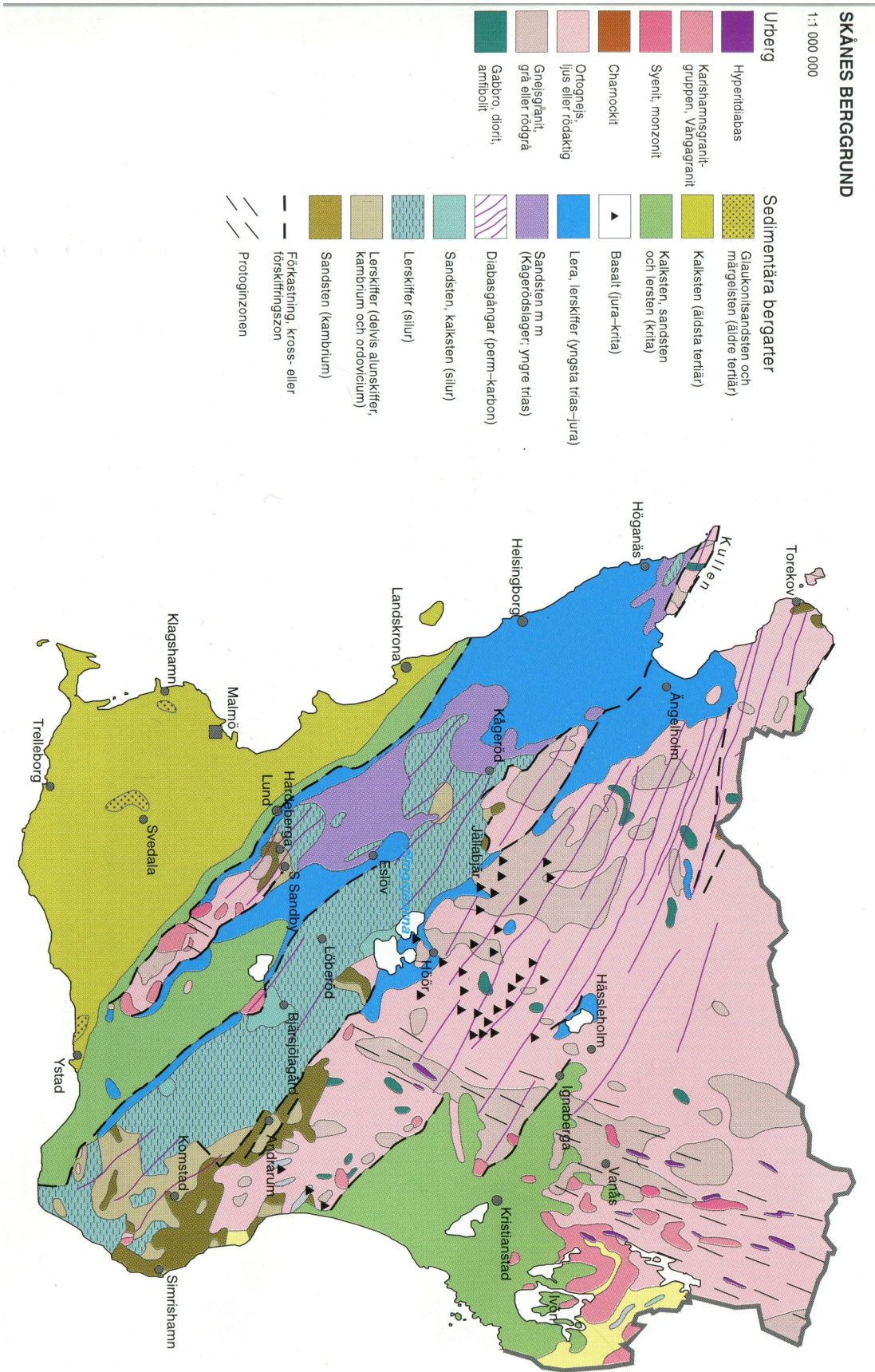
Tornquistzonen, hämtad ifrån Germundsson, T., & Schlyter P., 1999: *Sveriges Nationalatlas – Atlas över Skåne*. Uppsala. 184 pp.

Översiktskarta, hämtad från Google Earth, 2013-05-14

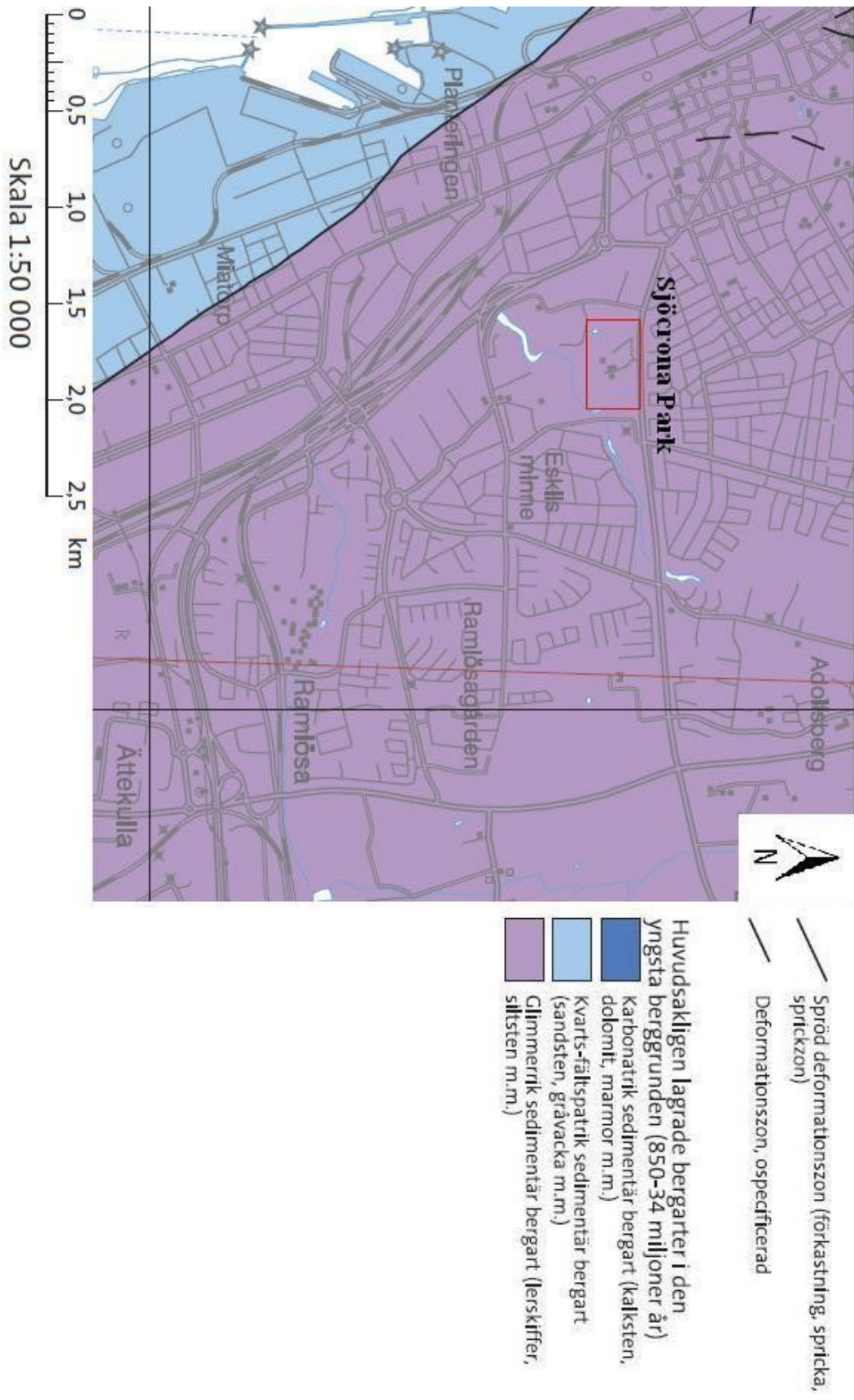
Bilaga 1. Översiktskarta över Sjöcrona Park.



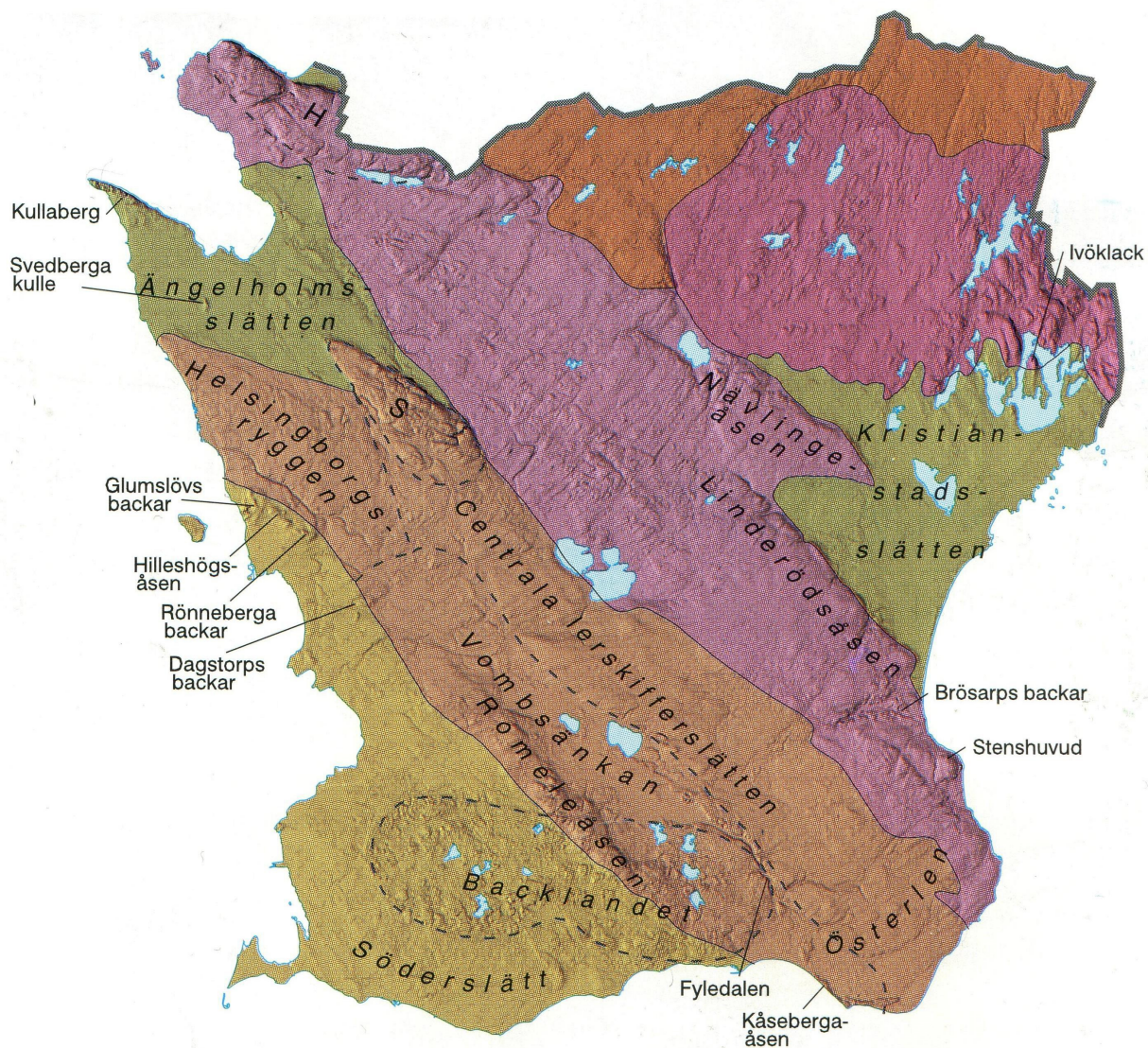
Bilaga 2. Skånesberggrund.



Bilaga 3. Bergartskarta över Helsingborg och Sjöcrona Park.









Bilaga 4. Helsingborgsryggen.



**LANDFORMER**

1:1 250 000













-  1. Slättlandskap och böljande moränkullar
-  2. Horstar och gravsänkor
-  3. I huvudsak urbergsterräng med horstar; Centralt ett småkuperat område med landformer från jura (vulkankupper)
-  4. Ängelholms-, Kristianstads- och Laholmslättern
-  5. Storkuperat område med urbergskullar från krita
-  6. Utlöpare av sydsmländska urbergsslätten

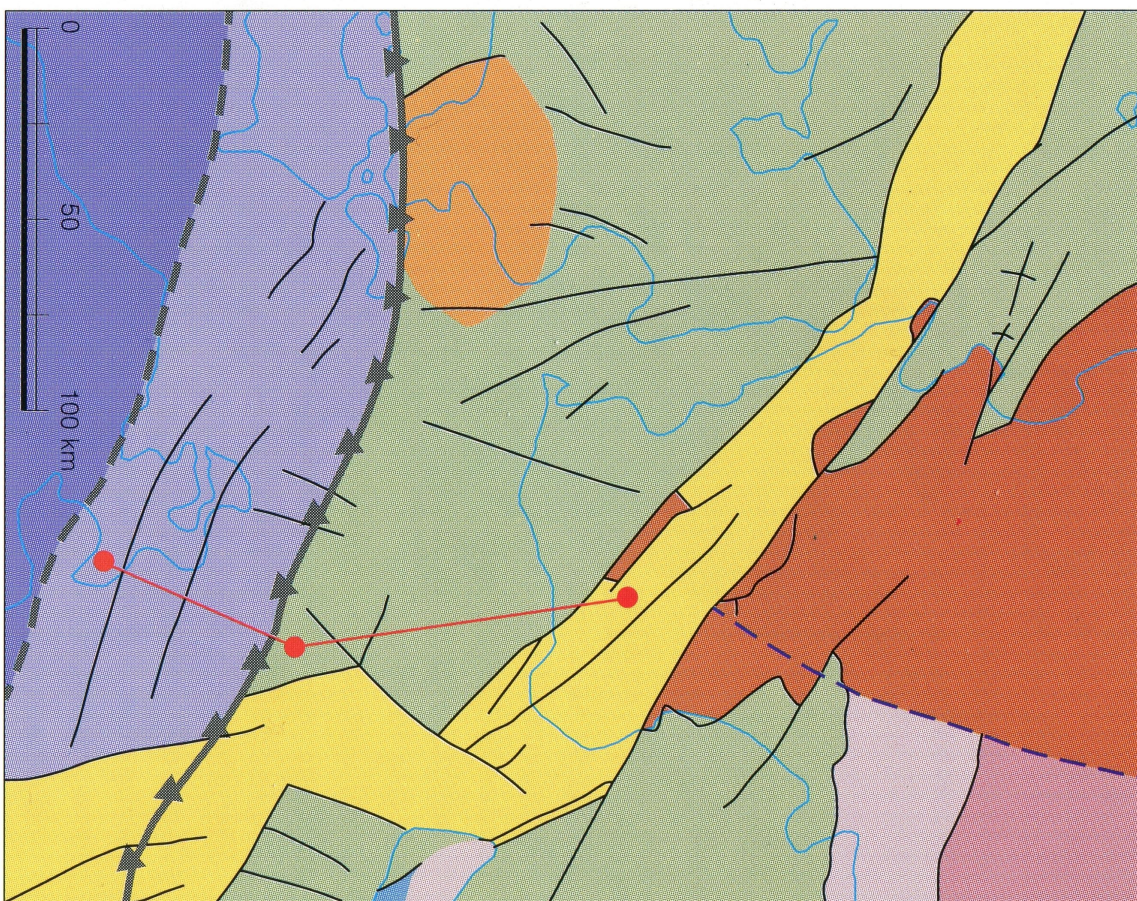
H Hallandsås

S Söderåsen



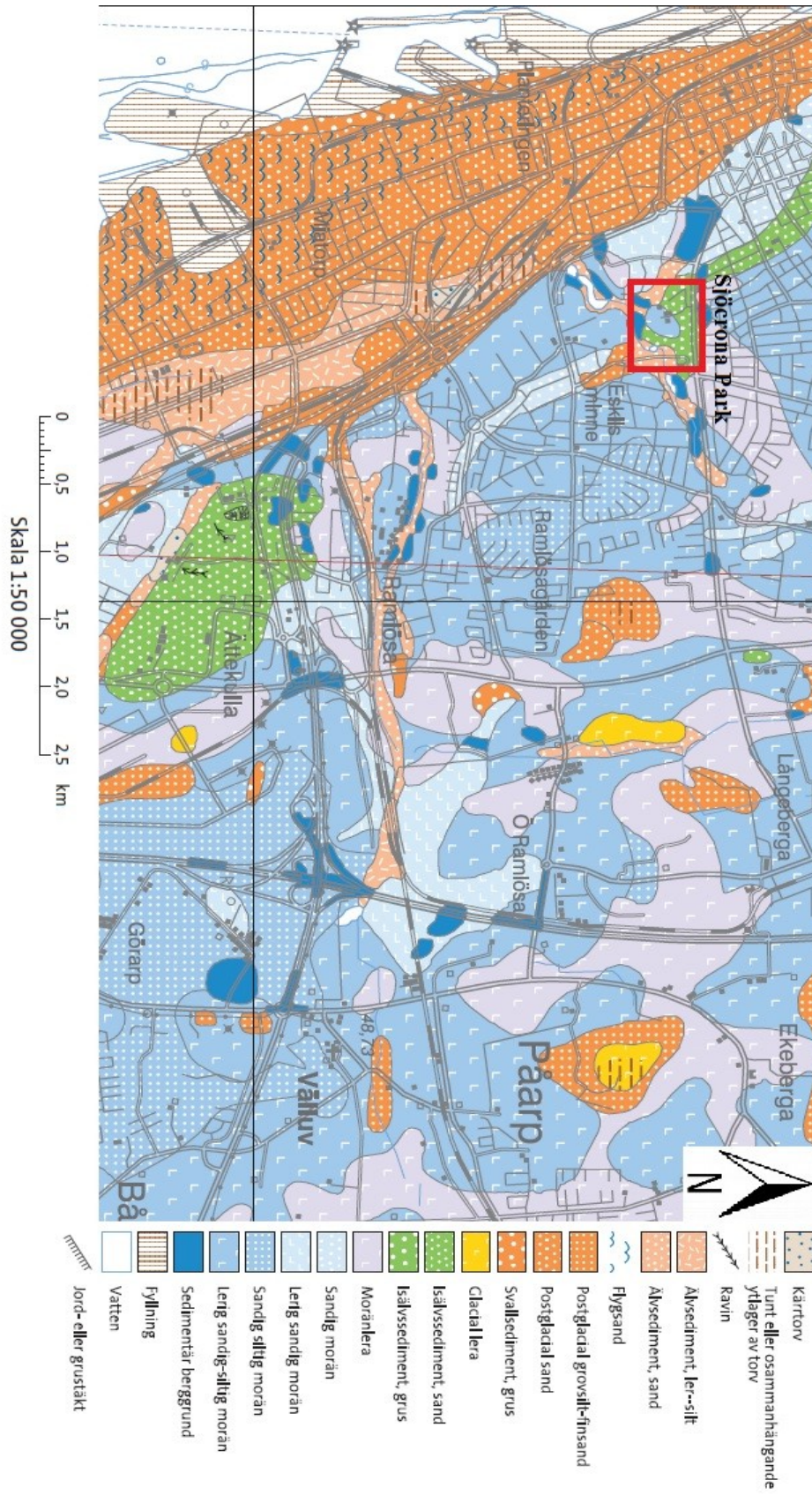
**BERGARTSPROVINSER OCH SPRICKZONER**

-  Blekinge-Bornholmsprovinser, graniter
-  Transskandinaviska granit-porfyrbåttat
- Sydvästskandinaviska provinserna**
-  Grå och röda gnejser, gnejsgraniter
-  Ringkøbing-Fynhöjdyggen, urberg täckt av tunna mesozoiska sediment
- Kaledoniska överskjutningszonen**
-  Deformerade kambrosiluriska bergarter på Baltiska plattan, täckta av yngre sedimentbergarter
-  Måttiga fanerozoiska sedimentbergarter på Avaloniaplattan
- Fanerozoiska bergarter**
-  Mesozoiska och kenozoiska sedimentära bergarter på Baltiska plattan
-  Exponerade kambrosiluriska bergarter utanför Tornquistzonen
-  Tornquistzonen
- Prologizonen**
-  Större förkastning
-  Deformationsfront
-  Förmodad plattgräns

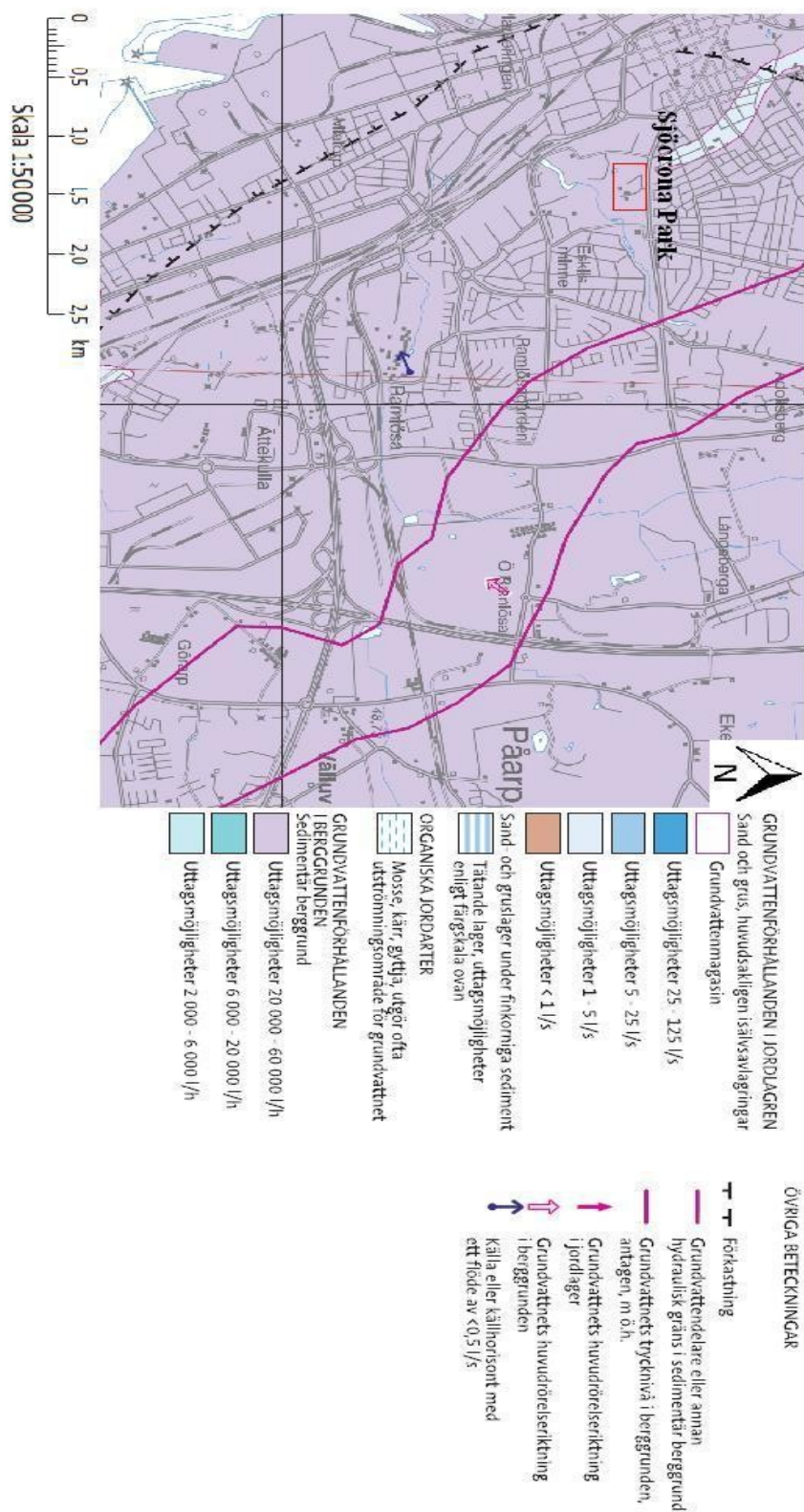




Bilaga 7. Jordartskarta över Helsingborg och Sjöcrona Park.



Bilaga 8. Grundvattenförhållanden över Helsingborg och Sjöcrona Park.



## Bilaga 9. Inversionsparametrar.

### Inversion settings

Initial damping factor (0.01 to 1.00)

0.2000

Minimum damping factor (0.001 to 0.75)

0.0200

Line search option (0=Never, 1=Sometimes, 2=Always)

2

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)

1.0000

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 datum 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 datum 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)

0

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=Least-squares,2=Smooth,3=Robust)

3

Type of time-lapse inversion method (0=Simultaneous,1=Sequential)

0

Thickness of first layer (0.25 to 1.0)

1.0000

Factor to increase thickness layer with depth (1.0 to 1.25)

1.1110

USE FINITE ELEMENT METHOD (YES=1,NO=0)

1

WIDTH OF BLOCKS (1=NORMAL WIDTH, 2=DOUBLE, 3=TRIPLE, 4=QUADRUPLE, 5=QUINTUPLE)

1

MAKE SURE BLOCKS HAVE THE SAME WIDTH (YES=1,NO=0)

1

RMS CONVERGENCE LIMIT (IN PERCENT)

0.050

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)

0.250

USE AUTOMATIC IP DAMPING FACTOR (YES=1,NO=0)

1

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)  | sion (0=No,1=Yes)                                 |
| 0.50  | 1   |
| Combined Combined Marquardt and Occam inversion   | Use active constraint balancing (0=No,1=Yes)      |
| (0=Not used,1=used)   | 0   |
| 0   | Type of active constraints (0=Normal,1=Reverse)   |
| Type of optimisation method (0=Gauss-Newton,2=Incomplete GN)  | 0   |
| 2   | Lower damping factor limit for active constraints |
| Convergence limit for Incomplete Gauss-Newton method (0.005 to 0.05)  | 0.4000  |
| 0.005   | Upper damping factor limit for active constraints |
| Use data compression with Incomplete Gauss-Newton (0=No,1=Yes)  | 2.5000  |
| 0   | Water resistivity variation damping factor        |
| Use reference model in inversion (0=No,1=Yes)   | 8.0000  |
| 1   |   |
| Damping factor for reference model (0.0 to 0.3)   |   |
| 0.01000   |   |
| Use fast method to calculate Jacobian matrix. (0=No,1=Yes)  |   |
| 0   |   |
| 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 constant 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 inver-   |   |

Bilaga 10. Resultat från geotekniska borrhningar (Lundkvist 2013).

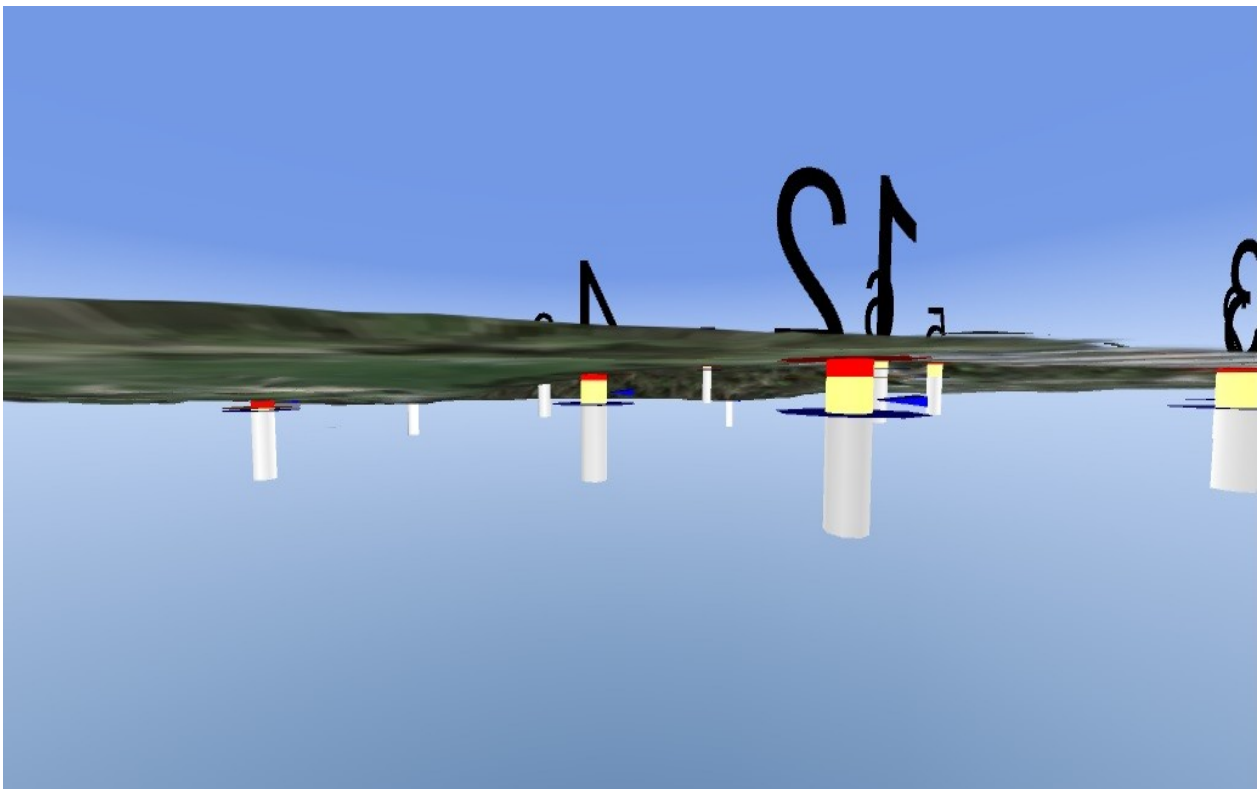
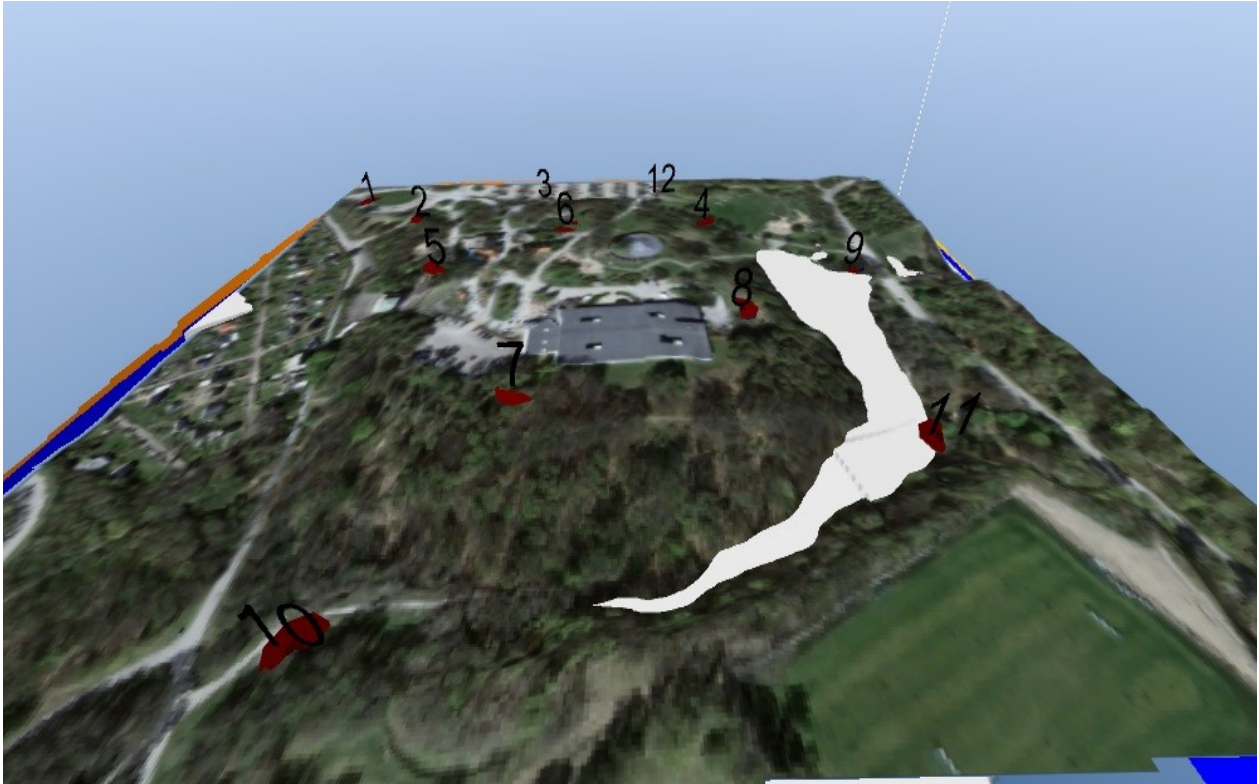
| <b>Borrpunkts. Nr</b> | <b>Marknivå/<br/>Djup under markyta<br/>(m)</b> | <b>Jordart</b>   | <b>Grundvattennivå<br/>(m över havet) /<br/>Datum</b> |
|-----------------------|---|--|---|
| <b>1</b>              | + 31,6  |  | 27,9/ (2013-01-30)                                    |
|                       | 0-0,35  | Fyllning – något mullhaltig, något grusig Sand                             | 27,8/ (2013-02-20)                                    |
|                       | - 1,5   | Fyllning – något grusig Sand   |   |
|                       | - 3,2   | Sand   |   |
|                       | - 3,7   | Något grusig Finsand   |   |
|                       | - 5,4   | Något grusig sand  |   |
|                       | - 6,0   | Finsand  |   |
|                       | -6,6  | Grusig sand  |   |
|                       |   | Skraven kan ej neddrivas ytterligare enligt metoden för normalt förförande |   |
| <b>2</b>              | +34,8   |  | 25,8/ (2013-01-30)                                    |
|                       | 0-0,25  | fyllning – något mullhaltig Sand   | 25,8/ (2013-02-20)                                    |
|                       | -2,0  | fyllning – Sand och Lera   |   |
|                       | -9,3  | Sand   |   |
|                       |   | Skraven kan ej neddrivas ytterligare enligt metoden för normalt förförande |   |
| <b>3</b>              | +32,5   |  | 27,8/ (2013-01-30)                                    |
|                       | 0-0,6   | fyllning – något grusig Sand   |   |
|                       | -3,0  | Sand   |   |
|                       | -6,4  | Finsand  |   |
|                       |   | Skraven kan ej neddrivas ytterligare enligt metoden för normalt förförande |   |
| <b>4</b>              | +31,8   |  | 28,3/ (2013-01-30)                                    |
|                       | 0-1,15  | Något mulhaltig sand   | 28,4/ (2013-02-20)                                    |
|                       | -5,5  | Sand   |   |
|                       | -6,0  | Sedimentärt berg   |   |
|                       |   | Stop i förmodat berg   |   |
| <b>5</b>              | +37,6   |  |   |
|                       | 0-0,55  | Fyllning – något mullhaltig sand   |   |
|                       | -5,5  | Sand   |   |
|                       |   | Skraven kan ej neddrivas ytterligare enligt metoden för normalt förförande |   |

| Borrpunkts. Nr | Marknivå/<br>Djup under markyta<br>(m) | Jordart  | Grundvattennivå<br>(m över havet) /<br>Datum |
|----------------|--|--|--|
| <b>6</b>       | +39,3                                  |  |  |
|                | 0-0,45                                 | Något mulhaltig sand                             |  |
|                | -5,6                                   | Sand   |  |
|                | -(6,3)                                 | Sedimentärt berg                                 |  |
| <b>7</b>       | +38,6                                  |  |  |
|                | 0-1,2                                  | Något grusig sand                                |  |
|                | -3,75                                  | Sedimentärt berg                                 |  |
|                |  | Stopp i förmodat berg                            |  |
| <b>8</b>       | +36,4                                  |  |  |
|                | 0-0,15                                 | Något mullhaltig sand                            |  |
|                | -0,85                                  | Sand   |  |
|                | 1,45                                   | Sedimentärt berg                                 |  |
|                |  | Stopp i förmodat berg                            |  |
| <b>9</b>       | +25,7                                  |  | 25,5/ (2013-01-30)                           |
|                | 0-0,9                                  | Fyllning – något grusig sand med rester av tegel |  |
|                | -1,8                                   | Fyllning – grusig lerig sand                     |  |
|                | -2,5                                   | Något grusig lerig sand                          |  |
|                | -(3,2)                                 | Sedimentärt berg                                 |  |
| <b>10</b>      | +18,0                                  |  | 16,8/ (2013-01-30)                           |
|                | 0-1,1                                  | Något mullhaltig siltig sand                     | 16,5/ (2013-02-20)                           |
|                | -1,3                                   | Lera   |  |
|                | -2,7                                   | Sedimentärt berg                                 |  |
|                |  | Stopp i förmodat berg                            |  |
| <b>11</b>      | +23,6                                  |  | 22,9/ (2013-01-30)                           |
|                | 0-0,15                                 | Något mullhaltig sand                            | 22,8/ (2013-02-20)                           |
|                | -1,45                                  | Sand   |  |
|                | -1,8                                   | Sedimentärt berg                                 |  |
|                |  | Stopp i förmodat berg                            |  |
| <b>12</b>      | +33                                    |  | 28,4/ (2013-01-30)                           |
|                | 0-0,5                                  | Fyllning – stenig sand                           | 28,4/ (2013-02-20)                           |
|                | -1,4                                   | Fyllning – något stenig sand med rester av tegel |  |
|                | -2,0                                   | Fyllning – lerig sand                            |  |
|                | -4,0                                   | Något grusig sand                                |  |
|                | -4,65                                  | Finsand med tunna siltskikt                      |  |
|                | -6,1                                   | Siltig finsand                                   |  |
|                | -7,0                                   | Sedimentärt berg                                 |  |
|                |  | Stopp i förmodat berg                            |  |

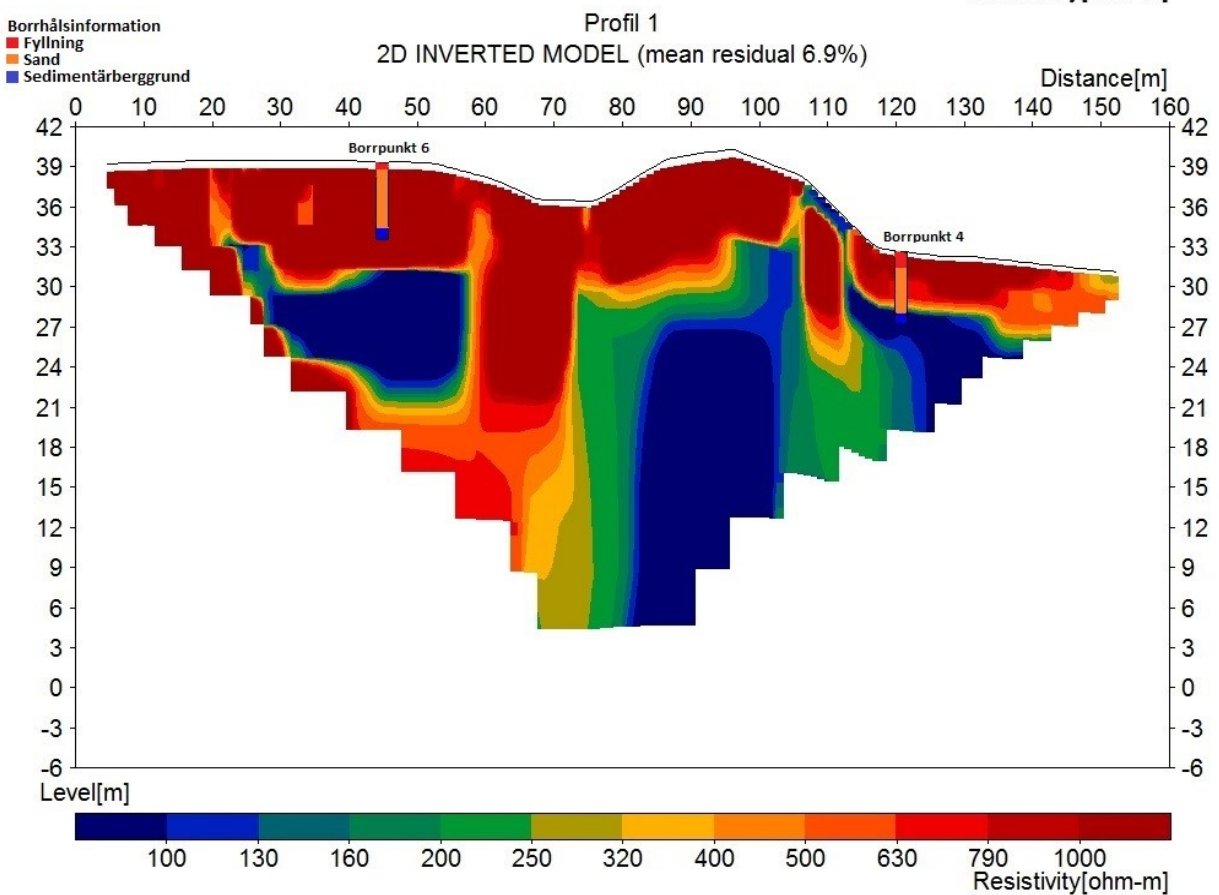
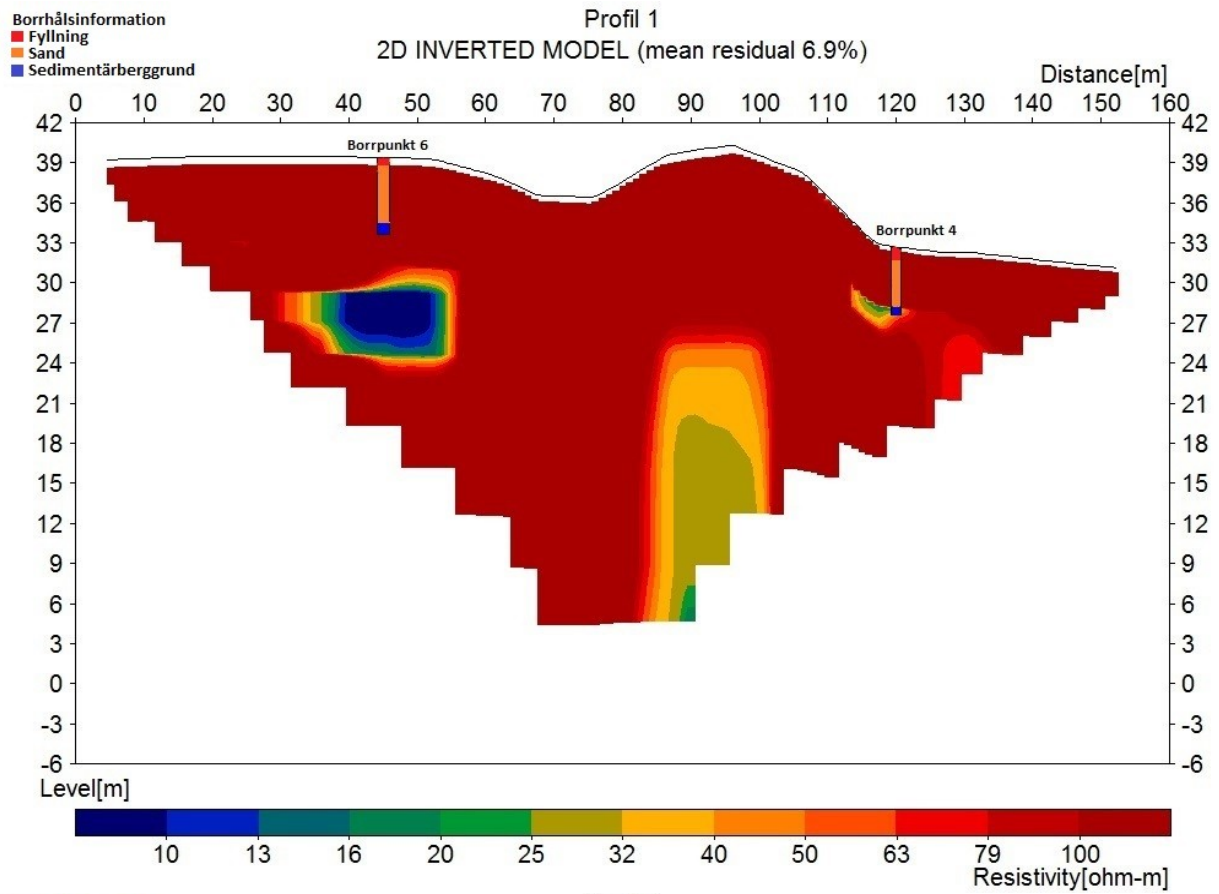


Bilaga 11. Bilder från GeoScene3D över Sjöcrona Park.

Översta bilden visualiserar Sjöcrona Park med de tolv utförda geotekniska borrhningarna(siffrorna), vitt område är fram interpolerad grundvattenyta, sammanfaller med Gåsebäcken. Undre bilden visar områdets topografi och borrhningarnas informationsinnehåll. Rött= fyllning, Gult=Sand, Grått= Berg, Blåpil= Grundvattenyta.

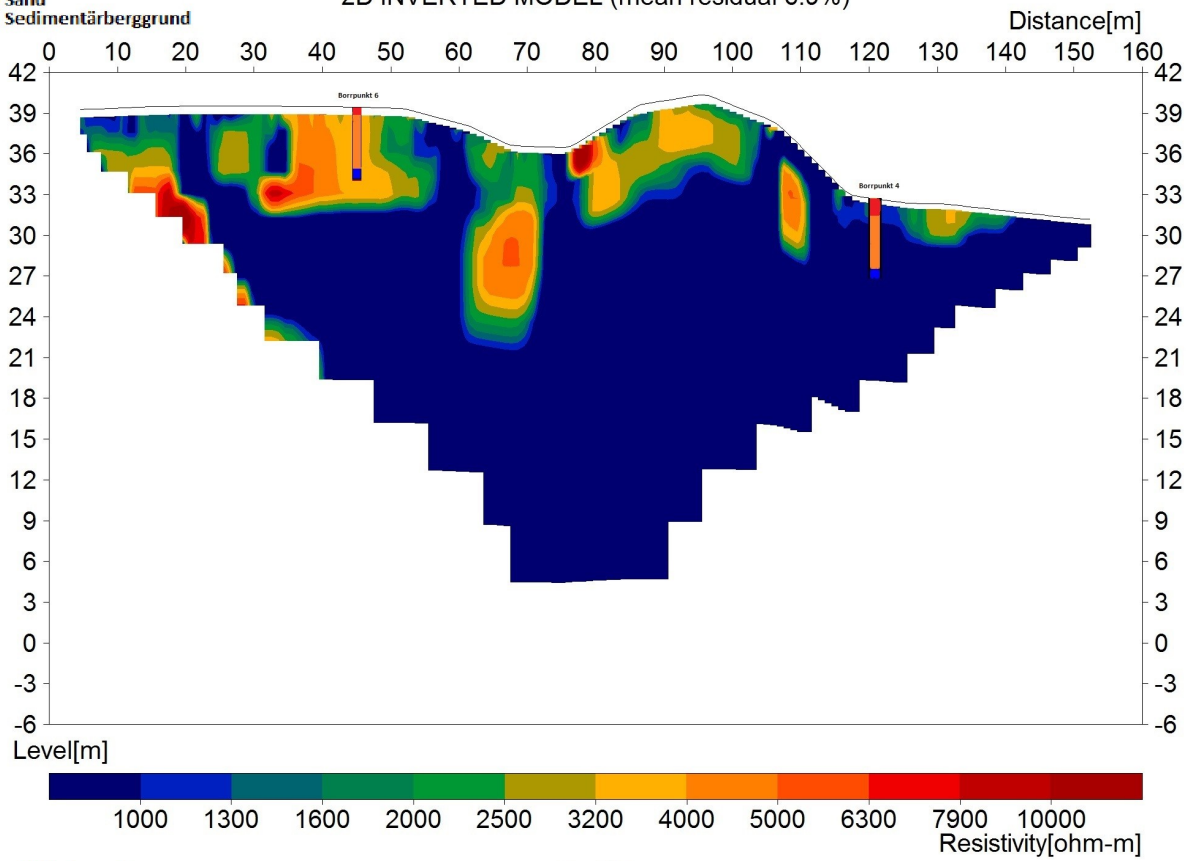


Bilaga 12. Tre inversionsmodeller för vardera profil, resistivitetsvärden mellan 10 och 100, 100 och 1000, 1000 och 10 000 Ohm-m.



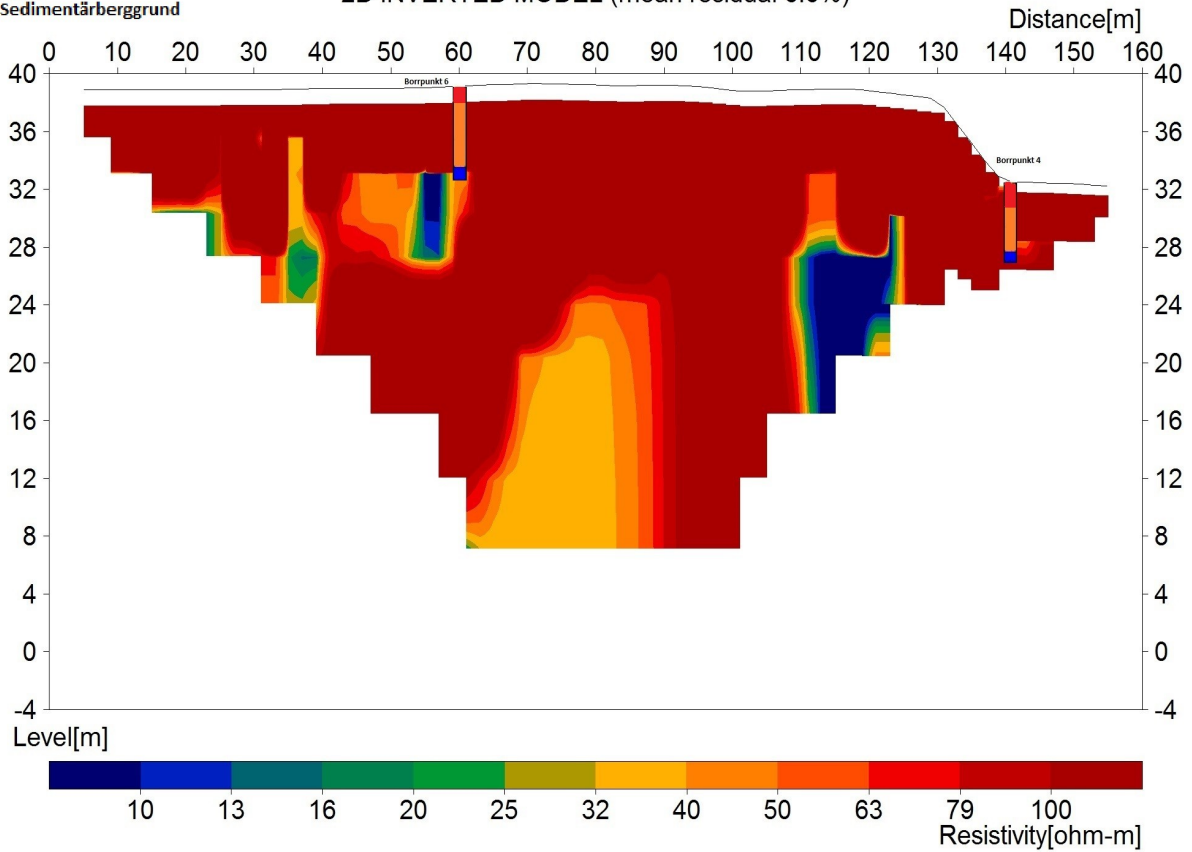
Borrhålsinformation  
 ■ Fyllning  
 ■ Sand  
 ■ Sedimentärberggrund

Profil 1  
 2D INVERTED MODEL (mean residual 6.9%)



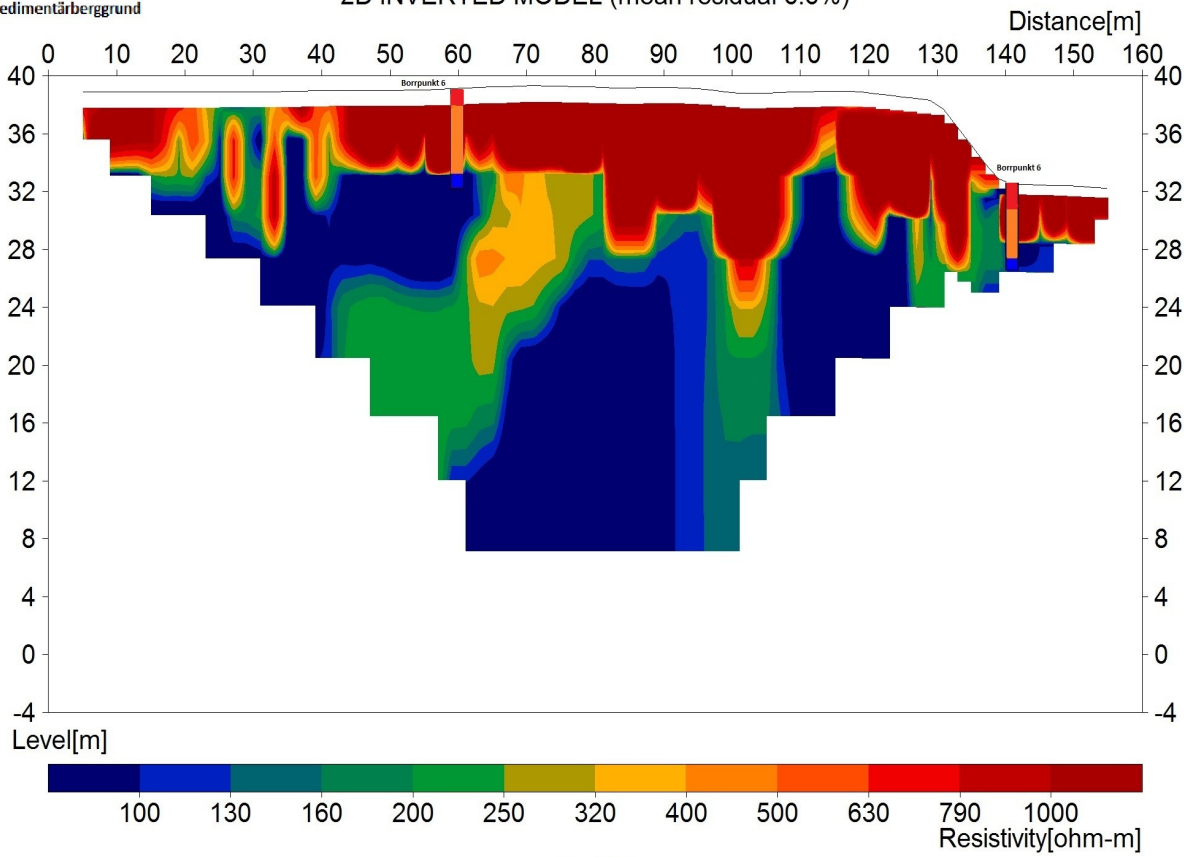
Borrhålsinformation  
 ■ Fyllning  
 ■ Sand  
 ■ Sedimentärberggrund

Profil 2  
 2D INVERTED MODEL (mean residual 6.6%)



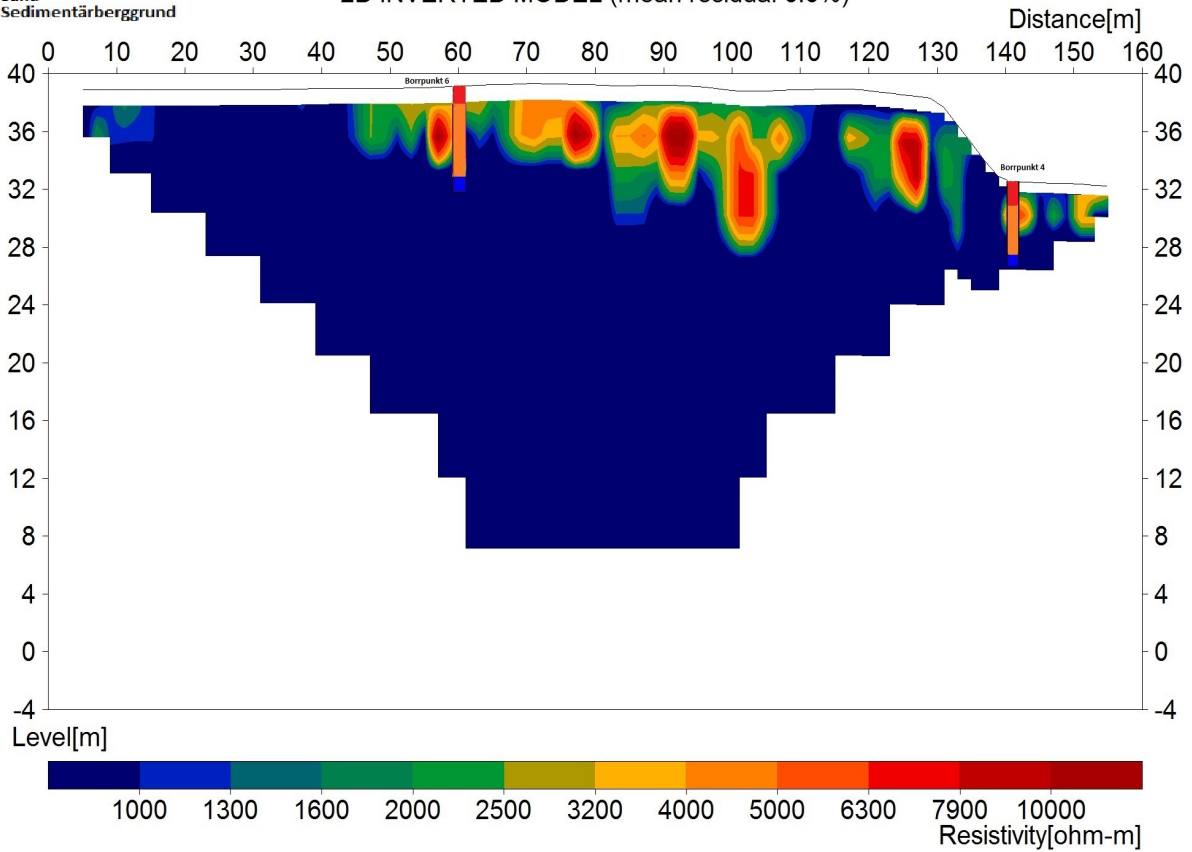
- Borrhålsinformation
- Fyllning
- Sand
- Sedimentärberggrund

Profil 2  
2D INVERTED MODEL (mean residual 6.6%)

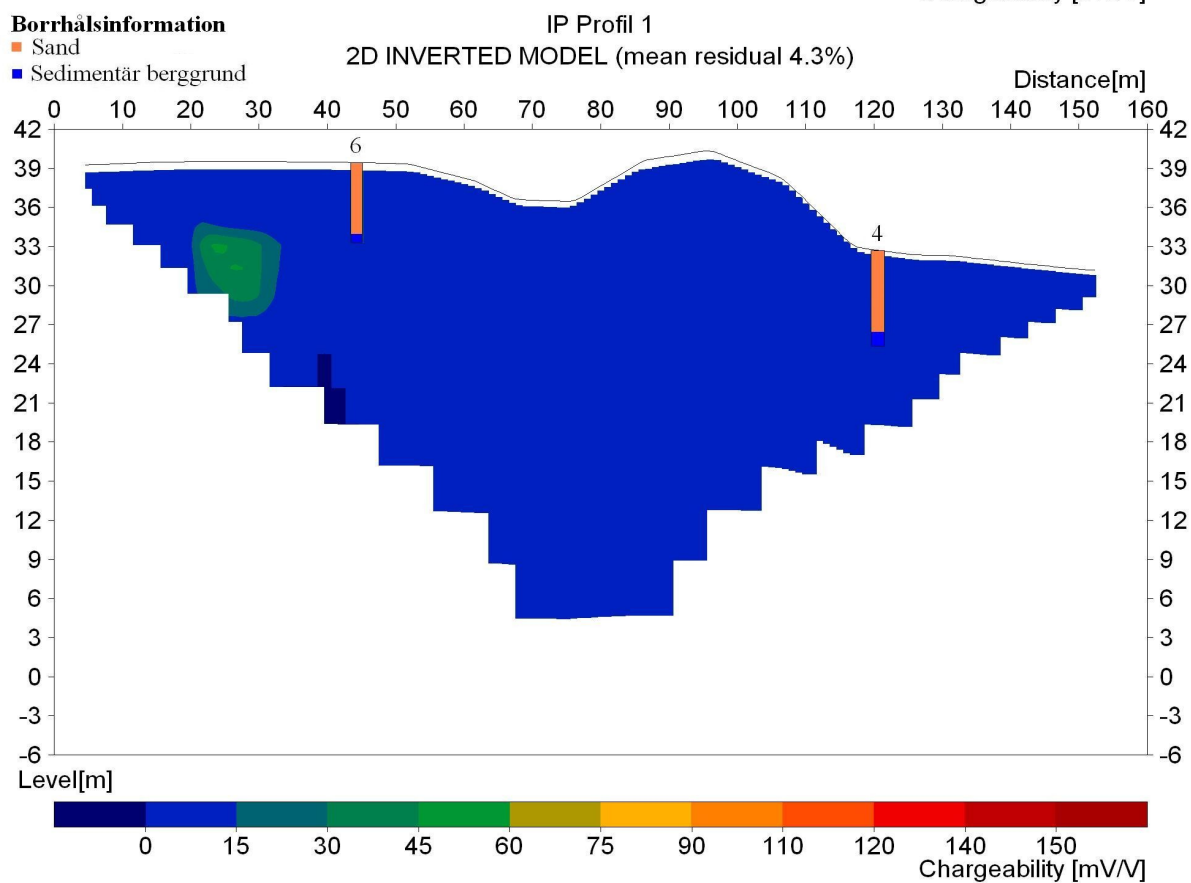
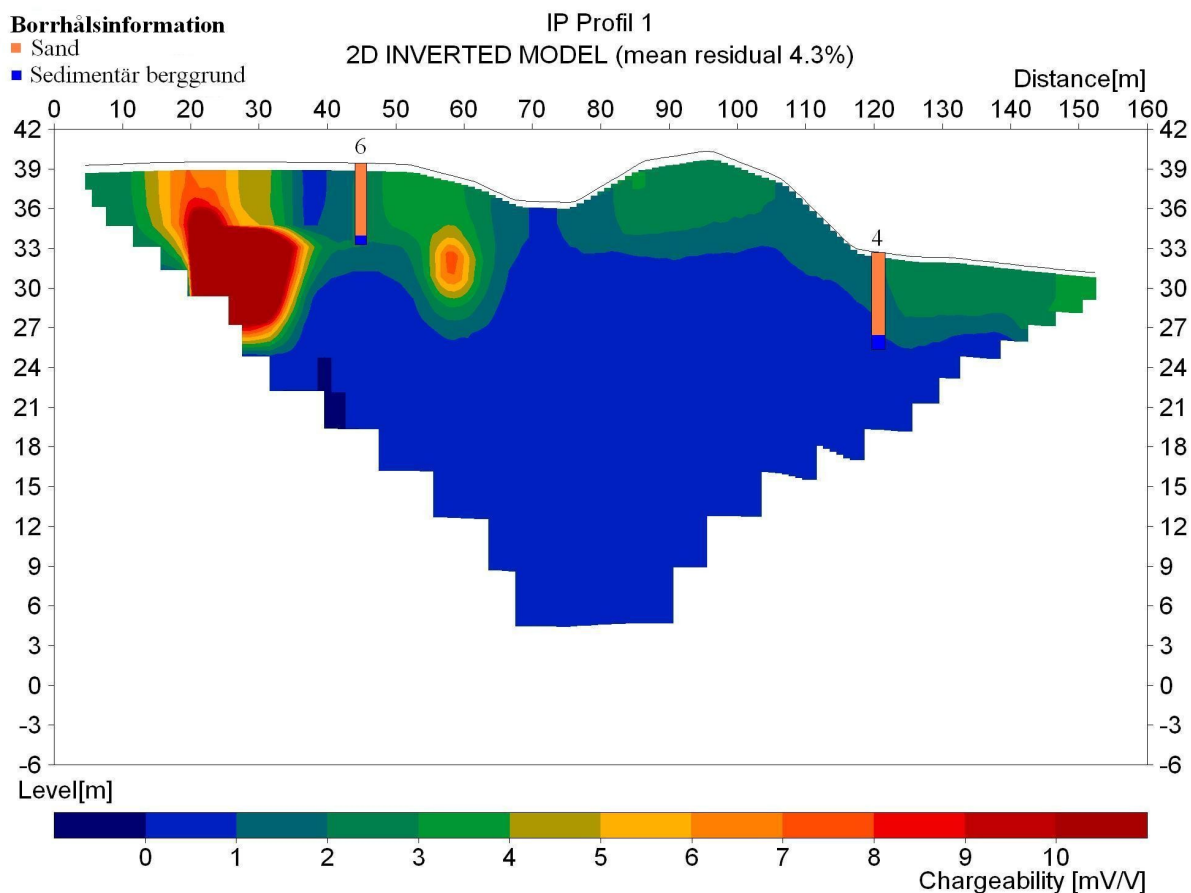


- Borrhålsinformation
- Fyllning
- Sand
- Sedimentärberggrund

Profil 2  
2D INVERTED MODEL (mean residual 6.6%)



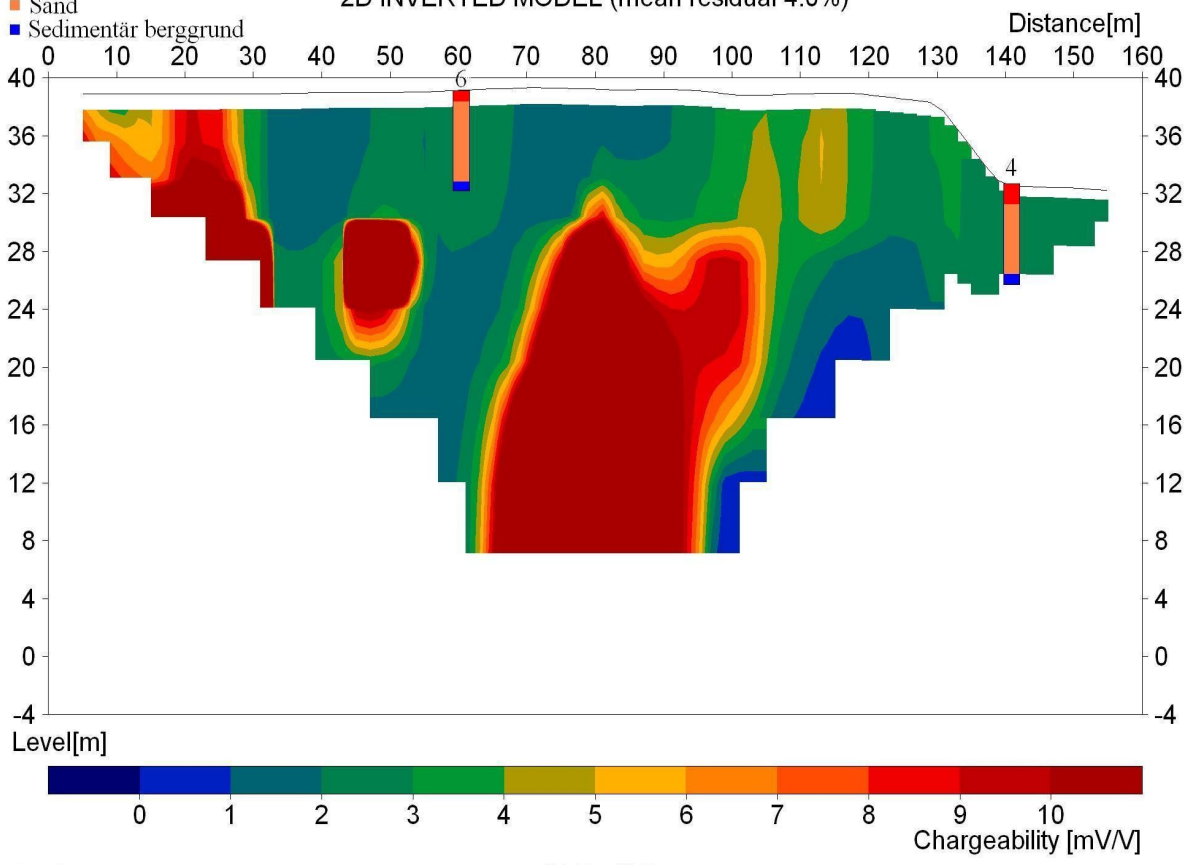
Bilaga 13. Två inversionsmodeller för vardera profil gällande IP-effekter mellan 1 och 10 mV/V samt mellan 1 och 150 mV/V (Linders 2013).



**Borrhålsinformation**

- Fyllning
- Sand
- Sedimentär berggrund

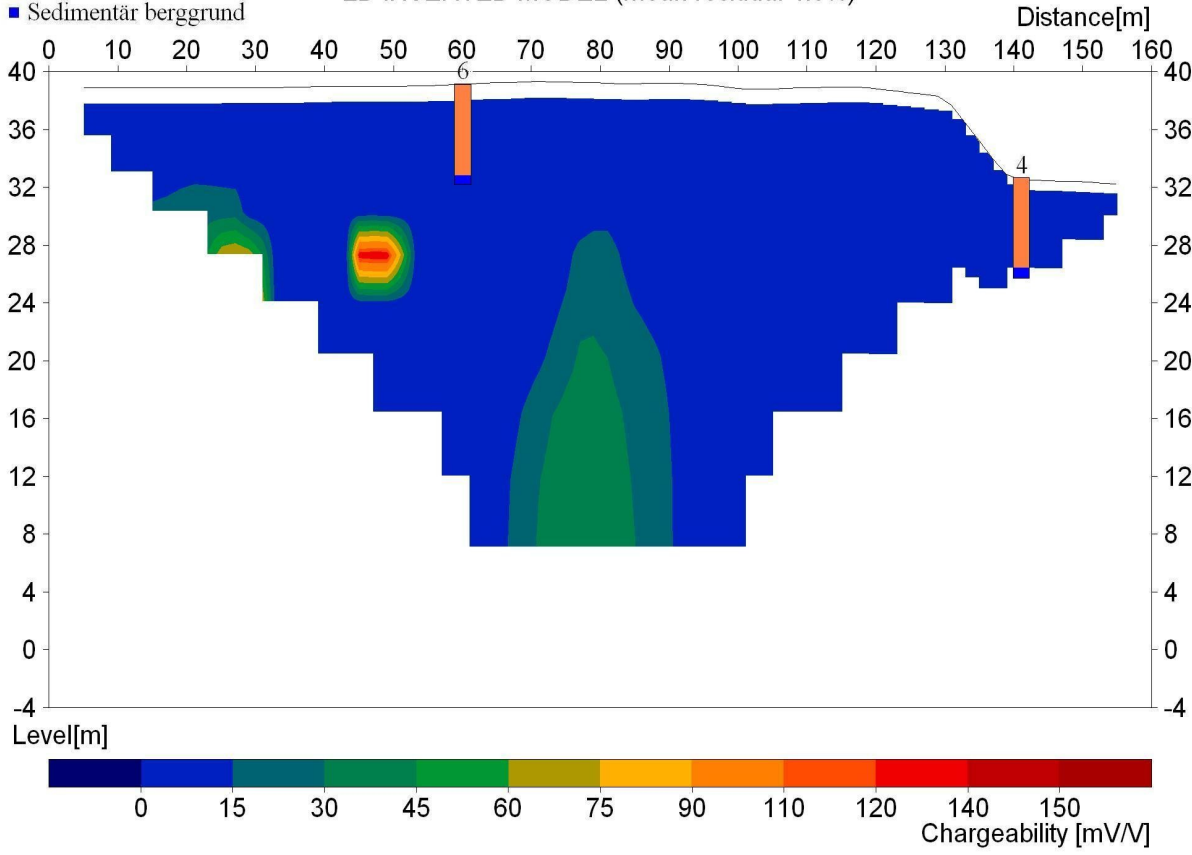
IP Profil 2  
2D INVERTED MODEL (mean residual 4.0%)



**Borrhålsinformation**

- Sand
- Sedimentär berggrund

IP Profil 2  
2D INVERTED MODEL (mean residual 4.0%)



**Tidigare skrifter i serien  
”Examensarbeten i Geologi vid Lunds  
universitet”:**

290. Ning, Wenxing, 2011: Testing the hypothesis of a link between Earth’s magnetic field and climate change: a case study from southern Sweden focusing on the 1<sup>st</sup> millennium BC. (45 hp)
291. Holm Östergaard, Sören, 2011: Hydrogeology and groundwater regime of the Stanford Aquifer, South Africa. (45 hp)
292. Tebi, Magnus Asiboh, 2011: Metamorphosed and partially molten hydrothermal alteration zones of the Akulleq glacier area, Paamiut gold province, South-West Greenland. (45 hp)
293. Lewerentz, Alexander, 2011: Experimental zircon alteration and baddeleyite formation in silica saturated systems: implications for dating hydrothermal events. (45 hp)
294. Flodhammar, Ingrid, 2011: Lövestads åsar: En isälvsavlagring bildad vid inlandsisens kant i Weichsels slutskede. (15 hp)
295. Liu, Tianzhuo, 2012: Exploring long-term trends in hypoxia (oxygen depletion) in Western Gotland Basin, the Baltic Sea. (45 hp)
296. Samer, Bou Daher, 2012: Lithofacies analysis and heterogeneity study of the subsurface Rhaetian–Pliensbachian sequence in SW Skåne and Denmark. (45 hp)
297. Riebe, My, 2012: Cosmic ray tracks in chondritic material with focus on silicate mineral inclusions in chromite. (45 hp)
298. Hjulström, Joakim, 2012: Återfyllning av borrhål i geoenergisystem: konventioner, metod och material. (15 hp)
299. Letellier, Mattias, 2012: A practical assessment of frequency electromagnetic inversion in a near surface geological environment. (15 hp)
300. Lindenbaum, Johan, 2012: Identification of sources of ammonium in groundwater using stable nitrogen and boron isotopes in Nam Du, Hanoi. (45 hp)
301. Andersson, Josefin, 2012: Karakterisering av arsenikförorening i matjordsprofiler kring Klippans Läderfabrik. (45 hp)
302. Lumetzberger, Mikael, 2012: Hydrogeologisk kartläggning av infiltrationsvattentransport genom resistivitetsmätningar. (15 hp)
303. Martin, Ellinor, 2012: Fossil pigments and pigment organelles – colouration in deep time. (15 hp)
304. Rådman, Johan, 2012: Sällsynta jordartsmetaller i tungsand vid Haväng på Österlen. (15 hp)
305. Karlstedt, Filippa, 2012: Jämförande geokemisk studie med portabel XRF av obehandlade och sågade ytor, samt pulver av Karlshamnsdiabas. (15 hp)
306. Lundberg, Frans, 2012: Den senkambriska alunskiffern i Västergötland – utbredning, mäktigheter och faciestyper. (15 hp)
307. Thulin Olander, Henric, 2012: Hydrogeologisk kartering av grundvattenmagasinet Ekenäs-Kvarndammen, Jönköpings län. (15 hp)
308. Demirer, Kursad, 2012: U-Pb baddeleyite ages from mafic dyke swarms in Dharwar craton, India – links to an ancient supercontinent. (45 hp)
309. Leskelä, Jari, 2012: Loggning och återfyllning av borrhål – Praktiska försök och utveckling av täthetskontroll i fält. (15 hp)
310. Eriksson, Magnus, 2012: Stratigraphy, facies and depositional history of the Colonus Shale Trough, Skåne, southern Sweden. (45 hp)
311. Larsson, Amie, 2012: Kartläggning, beskrivning och analys av Kalmar läns regionalt viktiga vattenresurser. (15 hp)
312. Olsson, Håkan, 2012: Prediction of the degree of thermal breakdown of limestone: A case study of the Upper Ordovician Boda Limestone, Siljan district, central Sweden. (45 hp)
313. Kampmann, Tobias Christoph, 2012: U-Pb geochronology and paleomagnetism of the Westerberg sill, Kaapvaal Craton – support for a coherent Kaapvaal-Pilbara block (Vaalbara). (45 hp)
314. Eliasson, Isabelle Timms, 2012: Arsenik: förekomst, miljö och hälsoeffekter. (15 hp)
315. Badawy, Ahmed Salah, 2012: Sequence stratigraphy, palynology and biostratigraphy across the Ordovician-Silurian boundary in the Röstånga-1 core, southern Sweden. (45 hp)
316. Knut, Anna, 2012: Resistivitets- och IP-mätningar på Flishultsdeponin för

- lokalisering av grundvattenytor. (15 hp)
317. Nylén, Fredrik, 2012: Förädling av ballastmaterial med hydrocyklon, ett fungerande alternativ? (15 hp)
318. Younes, Hani, 2012: Carbon isotope chemostratigraphy of the Late Silurian Lau Event, Gotland, Sweden. (45 hp)
319. Weibull, David, 2012: Subsurface geological setting in the Skagerrak area – suitability for storage of carbon dioxide. (15 hp)
320. Petersson, Albin, 2012: Förutsättningar för geoenergi till idrottsanläggningar i Kallerstad, Linköpings kommun: En förstudie. (15 hp)
321. Axbom, Jonna, 2012: Klimatets och människans inverkan på tallens etablering på sydsvenska mossar under de senaste århundradena – en dendrokronologisk och torvstratigrafisk analys av tre småländska mossar. (15 hp)
322. Kumar, Pardeep, 2012: Palynological investigation of coal-bearing deposits of the Thar Coal Field Sindh, Pakistan. (45 hp)
323. Gabrielsson, Johan, 2012: Havsisen i arktiska bassängen – nutid och framtid i ett globalt uppvärmningsperspektiv. (15 hp)
324. Lundgren, Linda, 2012: Variation in rock quality between metamorphic domains in the lower levels of the Eastern Segment, Sveconorwegian Province. (45 hp)
325. Härling, Jesper, 2012: The fossil wonders of the Silurian Eramosa Lagerstätte of Canada: the jawed polychaete faunas. (15 hp)
326. Qvarnström, Martin, 2012: An interpretation of oncoid mass-occurrence during the Late Silurian Lau Event, Gotland, Sweden. (15 hp)
327. Ulmius, Jan, 2013: P-T evolution of paragneisses and amphibolites from Romeleåsen, Scania, southernmost Sweden. (45 hp)
328. Hultin Eriksson, Elin, 2013: Resistivitmätningar för avgränsning av lakvattenplym från Kejsarkullens deponis infiltrationsområde. (15 hp)
329. Mozafari Amiri, Nasim, 2013: Field relations, petrography and  $40\text{Ar}/39\text{Ar}$  cooling ages of hornblende in a part of the eclogite-bearing domain, Sveconorwegian Orogen. (45 hp)
330. Saeed, Muhammad, 2013: Sedimentology and palynofacies analysis of Jurassic rocks Eriksdal, Skåne, Sweden. (45 hp)
331. Khan, Mansoor, 2013: Relation between sediment flux variation and land use patterns along the Swedish Baltic Sea coast. (45 hp)
332. Bernhardson, Martin, 2013: Ice advance-retreat sediment successions along the Logata River, Taymyr Peninsula, Arctic Siberia. (45 hp)
333. Shrestha, Rajendra, 2013: Optically Stimulated Luminescence (OSL) dating of aeolian sediments of Skåne, south Sweden. (45 hp)
334. Fullerton, Wayne, 2013: The Kalgoorlie Gold: A review of factors of formation for a giant gold deposit. (15 hp)
335. Hansson, Anton, 2013: A dendroclimatic study at Store Mosse, South Sweden – climatic and hydrologic impacts on recent Scots Pine (*Pinus sylvestris*) growth dynamics. (45 hp)
336. Nilsson, Lawrence, 2013: The alteration mineralogy of Svartliden, Sweden. (30 hp)
337. Bou-Rabee, Donna, 2013: Investigations of a stalactite from Al Hota cave in Oman and its implications for palaeoclimatic reconstructions. (45 hp)
338. Florén, Sara, 2013: Geologisk guide till Söderåsen – 17 geologiskt intressanta platser att besöka. (15 hp)
339. Kullberg, Sara, 2013: Asbestkontamination av dricksvatten och associerade risker. (15 hp)
340. Kihlén, Robin, 2013: Geofysiska resistivitmätningar i Sjöcrona Park, Helsingborg, undersökning av områdets geologiska egenskaper samt 3D modellering i GeoScene3D. (15 hp)



# LUNDS UNIVERSITET

Geologiska institutionen  
Lunds universitet  
Sölvegatan 12, 223 62 Lund