

Geofysiska IP-undersökningar och 3D-modellering av geofysiska samt geotekniska resultat i GeoScene3D, Sjöcrona Park, Helsingborg, Sverige

Wictor Linders

Examensarbeten i geologi vid Lunds universitet,
kandidatarbete, nr 341
(15 hp/ECTS credits)



Geologiska institutionen
Lunds universitet
2013

Geofysiska IP-undersökningar och 3D-modellering av geofysiska samt geotekniska resultat i GeoScene3D, Sjöcrona Park, Helsingborg, Sverige

Kandidatarbete
Wictor Linders

Geologiska institutionen
Lunds universitet
2013

Innehåll

1 Introduktion	5
1.1 Inledning	5
1.2 Syfte	5
1.3 Frågeställningar och mål	5
1.4 Avgränsningar	5
2 Bakgrund	5
2.1 Allmänt	5
2.2 Områdesbeskrivning (Sjöcrona Park)	5
2.3 Geologi	6
2.3.1 Berggrund	6
2.3.2 Jordarter	6
2.3.3 Hydrogeologi	7
3 Metod	7
3.1 IP - Inducerad Polarisation	7
3.1.1 Allmän IP-teori	7
3.1.2 Beskrivning av IP-effekt	8
3.1.2.1 Membranpolarisation	8
3.1.2.2 Elektrodpolarisation	8
3.1.3 Tidsdomän-IP	9
3.1.4 IP-effekt i geologiska material	9
3.1.5 Genomförande	9
3.2 Databearbetning	11
3.3 GeoScene3D	13
3.3.1 Teori	13
3.3.2 Genomförande	13
3.3.2.1 Geologisk 3D-modell	13
3.3.2.2 Interpolation av grundvattenyta	14
4 Övriga tillgängliga data	14
4.1 Geotekniska borrhningar	14
4.2 Resistivitetmätningar	15
5 Resultat	15
5.1 Geofysiska och geotekniska resultat	15
5.2 Konceptuell geologisk modell utifrån de geotekniska borrhningarna	15
5.3 Geologisk 3D-modell och interpolerad grundvattenyta	15
6 Diskussion och tolkning	20
6.1 Återkoppling till frågeställningar och mål	20
6.2 Felkällor	24
7 Slutsatser	24
8 Tack	25
10 Referenslista	26
Bilaga 1: Översiktsbild Sjöcrona Park	28
Bilaga 2: Bergartskarta över Skåne	29
Bilaga 3: Bergartskarta över Helsingborg	30
Bilaga 4: Helsingborgsryggens utbredning	31
Bilaga 5: Tornquistzonens utbredning	32
Bilaga 6: Jordartskarta över Skåne	33
Bilaga 7: Jordartskarta över Helsingborg	34
Bilaga 8: Grundvattenkarta över Helsingborg	35
Bilaga 9: Översiktsbild Sjöcrona Park med profilågen och geotekniska borrhningar	36
Bilaga 10: Inversionsparametrar för RES2DINV	37
Bilaga 11: Protokoll över de geotekniska borrhningarna	40
Bilaga 12: Resistivitetmätningar för profil 1 och 2	42
Bilaga 13: Översiktsbild av 3D-modellen i GeoScene3D (ovanifrån och underifrån)	45

Omslagsbild: Flygbild över Sjöcrona Park. Källa: Helsingborgs Stadsbyggnadsförvaltning (2013).

Geofysiska IP-undersökningar och 3D-modellering av geofysiska samt geotekniska resultat i GeoScene3D, Sjöcrona Park, Helsingborg, Sverige

WICTOR LINDERS

Linders, W., 2013: Geofysiska IP-undersökningar och 3D-modellering av geofysiska samt geotekniska resultat i GeoScene3D, Sjöcrona Park, Helsingborg, Sverige. *Examensarbete i geologi vid Lunds universitet*, Nr 341. 45 sid. 15 hp.

Sammanfattning: Helsingborgs Stad vill i samarbete med HSB, PEAB och Riksbyggen exploatera Sjöcrona Park i centrala Helsingborg, Sverige, med flerbostadshus. Inför en exploatering är det viktigt att ha god kunskap om geologiska förhållanden så som jordlagermäktigheter, hydrogeologi och om det finns sprickzoner eller lervittrade sprickzoner i berggrunden som påverkar bergkvaliteten. För att få en bättre bild av dessa faktorer genomfördes i denna studie geoelektriska mätningar med tidsdomän-IP. Resultaten från IP-mätningarna vägdes samman med information från geotekniska borrhningar och geoelektriska resistivitetsmätningar från tidigare studier. En konceptuell geologisk modell samt en 3D-modell i datorprogrammet GeoScene3D tillverkades. Modellen i GeoScene3D skapades genom interpolation av lagerytor och interpolation av en grundvattenyta, samtliga med interpolationsmetoden Inverse Distance Weighting. Resultaten klargjorde att det i det nordliga avsnittet av Sjöcrona Parks högst lokaliserade delar troligtvis finns en sprickzon och en lervittrad sprickzon. Båda bedömdes vara 20 m breda och orienterade i nordväst-sydöstlig riktning. Resultaten visade även att grundvattenytan var placerad i berggrunden i parkens högst belägna avsnitt och i jordlagren i de lågt placerade delarna. De geoelektriska mätningarnas datakvalitet var på grund av rådande tjäle dålig. Dessutom var antalet punkter för att erhålla tillfredsställande interpolationer för få. För att få en bättre uppfattning av geologin och hydrogeologin i Sjöcrona Park skulle det vara intressant med fler geofysiska och geotekniska undersökningar.

Nyckelord: Sjöcrona Park, geofysik, tidsdomän-IP, GeoScene3D, modellering.

Handledare: Dan Hammarlund och Mattis Johansson.

Ämnesinriktning: Geofysik

*Wictor Linders, Geologiska institutionen, Lunds universitet, Sölvegatan 12, 223 62 Lund, Sverige.
E-post: wic_linders@hotmail.com*

Geophysical IP measurements and 3D modelling of geophysical and geotechnical results in GeoScene3D, Sjöcrona Park, Helsingborg, Sweden

WICTOR LINDERS

Linders, W., 2013: Geophysical IP measurements and 3D modelling of geophysical and geotechnical results in GeoScene3D, Sjöcrona Park, Helsingborg, Sweden. *Dissertations in Geology at Lund University*, No 341. 45 pp. 15 hp (15 ECTS credits).

Abstract: The city of Helsingborg together with HSB, PEAB and Riksbyggen wants to construct apartment buildings in Sjöcrona Park in central Helsingborg, Sweden. Before a construction it is important to have good knowledge about geological conditions such as ground layer thickness, hydrogeology and if there are any clay weathered fracture zones that may affect the quality of the bedrock. To obtain a better estimation about these circumstances this study was carried out with geoelectrical time domain-IP measurements. By compiling information from the IP-measurements but also from geotechnical drillings and geoelectrical resistivity measurements from other studies a conceptual geological model and a 3D model in the computer program GeoScene3D could be created. The GeoScene3D model was produced by interpolations of layer surfaces and interpolation of a groundwater table. All interpolations were done by using Inverse Distance Weighting as interpolation method. The results showed that in the northern section of the elevated parts of Sjöcrona Park probably existed one fracture zone and one clay weathered fracture zone, both about 20 m wide, orientated in north west to south east direction. The results also indicated that the groundwater table was located in the bedrock in the central, elevated, parts of the park and in the ground layers in the low-altitude parts. The data quality from the geoelectrical measurements was low because of frozen ground. The number of points needed to obtain excellent interpolation results was also too low. In order to obtain a better perception about the geology and hydrogeology in Sjöcrona Park it would be interesting to carry out more geophysical and geotechnical investigations.

Keywords: Sjöcrona Park, geophysics, timedomain-IP, GeoScene3D, modelling.

*Wictor Linders, Department of Geology, Lund University, Sölvegatan 12, SE-223 62 Lund, Sweden.
E-mail: wic_linders@hotmail.com*

1 Introduktion

1.1 Inledning

Sjöcrona Park är beläget i de sydöstra delarna av centrala Helsingborg och är genom det centrala men samtidigt natursköna läget inressant ur exploateringssynpunkt. Helsingborgs Stad, HSB, PEAB och Riksbyggen har planer på att exploatera området med flerbostadshus. Inför miljökonsekvensbeskrivningen (MKB) som skulle ligga till grund för exploateringen godkännande fick Sweco i uppdrag att utreda de geologiska och hydrogeologiska förhållandena i området varför Sweco Infrastructure AB under januari 2013 gjorde 12 st. geotekniska borrhningar. För att i ett andra senare skede noggrannare undersöka områdets geologiska förhållanden utfördes det här examensarbetet i samarbete med Sweco Environment AB och gruppen för geologi och grundvatten med geoelektriska mätningar med tidsdomän-IP.

Examensarbetet handlar om både allmän geologi, geofysiska undersökningar och geologisk modellering. I texten som följer kommer nedanstående förkortningar att användas:

A	– Elektroavstånd
C	– Strömelektrod
I	– Ström
IDW	– Inverse Distance Weighting
IP	– Inducerad Polarisation
GS3D	– GeoScene3D
HK	– Högsta Kustlinjen
M	– Chargeability, ett sätt att beskriva IP-effekt
N	– Avståndet mellan potentialelektroden och den närmsta strömelektroden
P	– Potentialelektrod
RMS	– Residual Mean Error, felmarginal vid inversioner
S	– Antalet potentialmätningar som kan utföras per ströminjektion
SGU	– Sveriges Geologiska Undersökning, svensk myndighet för geologi
U	– Spänning

Målen och frågeställningarna i studien är många och rör sig över flera discipliner. För att läsaren skall kunna ta till sig sammanhanget i stort krävs en grundlig bakgrunds-/metoddel. Utvärdering och tolkning av geofysiska data erfordrar kunskap om de bakomliggande fysiska och kemiska processerna. Bedömning av datorgenererade interpolationers trovärdighet kräver en förståelse om ett områdes geologi såväl regionalt som lokalt.

1.2 Syfte

Syftet med examensarbetet var att noggrannare undersöka markförhållandena inför den kommande exploateringen med hjälp av oförstörande geofysiska undersökningsmetoder samt att visualisera resultat från dels denna studie men även från andra undersökningar inom samma område i datorprogrammet GeoScene3D.

Utöver detta gav studien fördjupade kunskaper om geofysiska undersökningar, interpolation av punktdata samt 3D-modellering av geologisk data.

1.3 Frågeställningar och mål

För att uppnå syftet formulerades följande frågeställningar och mål:

1. *Bestämma jordlagrens mäktighet.*
2. *Undersöka om det finns lervittrade sprickzoner i berggrunden.*
3. *Upprätta en konceptuell geologisk modell över profilerna från de geotekniska borrhningarna, IP-mätningarna och resistivitetsmätningar från Kihlén (2013).*
4. *Upprätta en geologisk 3D modell över Sjöcrona Park i GeoScene3D utifrån de geotekniska borrhningarna (interpolera fram lagerytor och en grundvattenyta).*
5. *Använda resultat från IP-mätningarna för att förbättra 3D-modellen i GeoScene3D.*
6. *Formulera idéer på fortsatta geofysiska och geotekniska undersökningar.*
7. *Utforma förslag på effektivisering av databearbetning, inläsning samt visualisering i GeoScene3D inför framtida undersökningar.*

1.4 Avgränsningar

På grund av de snäva tidsramarna för denna studie utfördes endast två mätprofiler. De geofysiska undersökningarna delades upp i två delar där utförande, tolkning och presentation av resistivitetsmätningar utfördes av Kihlén (2013) medan denna del av studien har fokuserat på IP-mätningarna. En stark rekommendation är att resultaten, tolkningarna och rekommendationerna från de båda examensarbetena vävs samman till en enhetlig bild.

2 Bakgrund

2.1 Allmänt

I bakgrunden beskrivs geologin lokalt för Sjöcrona Park, men även regionalt för den del av nordvästra Skåne som Helsingborg tillhör. För att förstå val av metod samt tolkning av resultat behövs en noggrann genomgång av de bakomliggande faktorerna.

2.2 Områdesbeskrivning (Sjöcrona Park)

Sjöcrona Park är en stadsdel i centrala Helsingborg belägen i sydöstra delarna av centrum (se Fig. 1). Det kraftigt kuperade området avgränsas av bostadsområdet Närlunda i väster, Fältarpsvägen i norr, bostadsområdet Eskilsminne i öster samt Gåsebäcken i söder (se Bilaga 1) (Helsingborgs Stadsbyggnadsnämnd 2011). Parken bildades 1895 genom att Helsingborgs stad köpte gården Fältarp av släkten Sjöcrona (Sundspärlan 2013). Under 1900-talet byggdes parkområdet om under olika skeden med bland annat en teaterbyggnad, en danspaviljong och ett tivoli för att i slutet av århundradet vara en av Sveriges populäraste folkparker och en

viktig samlingspunkt för Helsingborgs invånare (Sundspärlan 2013). Med anledning av den fina naturmiljön och det centrala läget med närhet till det framväxande H+-området vill Helsingborgs Stad i samarbete med PEAB, Riksbyggen och HSB exploatera området med flerbostadshus (Sjöcrona Park 2013).

Utöver Sjöcrona Parks kulturhistoriska värden är det ett uppskattat rekreationsområde med elljusspår och grillplatser. Området ligger i direkt anslutning till det ekologiskt och geologiskt intressanta grönområdet Jordbodalen som genomkorsas av Gåsebäcken (Jansson et al. 2013).

De centrala delarna av Sjöcrona Park utgörs av en platå som når upp till 39 m ö.h. Från platån lutar markytan ned mot de lägre liggande delarna med nivåskillnader på upp mot 20 m (Helsingborgs Stadsbyggnadsförvaltning 2011).

2.3 Geologi

2.3.1 Berggrund

Områdets stratigrafi består i stigande ordning av urberg som ingår i den sydvästsvenska gnejsregionen, kvartsit (sandsten) från kambrium, alunskiffer från kambrium och ordovicium, övrig paleozoisk skiffer, colonusskiffer, Kågerödsformationen, Helsingborgsledet och Rät (Sivhed & Wikman 1986). För översiktlig geologisk tidsskala se Fig. 2. Enligt SGU (2013) består den yngsta berggrunden i Sjöcrona Park av glimmerrika sedimentära bergarter som lerskiffer och siltsten (se Bilaga 2 och 3) (SGU 2013).

Dessa yngre bergarter från sen trias eller tidig jura räknas antingen till Helsingborgsledet eller Rät. Båda ingår i Höganäsformationen som blivit känd för sina ekonomiskt intressanta kolflötsar och lerlager (Sivhed & Wikman 1986). Noterbart är att bergarterna som bildades i sen trias/tidig jura är olika i sammansättning, något som speglar den varierande avsättningsmiljön med sjöar, floder, tidvattendominerande kuster, deltan och grunda laguner (Germundsson & Schlyter 1999).

Undersökningsområdet utgör en del av ett upphöjt parti berggrund, känt som Helsingborgsryggen, orienterat i nordvästlig-sydöstlig riktning (se Bilaga 4). Berggrundsytan lutar svagt och stiger från 35-40 m ö.h. i nordväst till 75-80 m ö.h. i öst (Adriellsson et al. 1981).

Den i öster liggande Jordbodalen är av typen genombrottsdal och har troligtvis bildats i slutet av den senaste istiden, Weichselistiden, när en uppdämd sjö av smältvatten från isen på kort tid dränerades ut till havet. I samband med dräneringen eroderades jordlager och underliggande sandsten till den dalgång som idag karaktäriserar Jordbodalen. Erosion av berggrunden pågår fortfarande till följd av Gåsebäckens strömmande vatten, dock av mindre magnitud än vid dräneringen av smältvattensjön (Sundelin 1925).

Enligt SGU (1986) är dominerande sprickriktning i området nordvästlig-sydöstlig. Detta till följd av Tornquistzonen som sträcker sig från Polen, genom Skåne



Fig. 1: Sjöcrona Park ligger i de centrala delarna av Helsingborg. Källa: val.se, matton.se och Google Earth (2013).

och Jylland ut i Nordsjön (se Bilaga 5) (Andréasson et al. 2006). Tornquistzonen har producerat stora, återkommande berggrundsrorelser från perioden perm till idag. Berggrundsrorelserna har gjort att berggrunden spruckit upp vilket skapat urbergshorstar, gravsänkor och diabasgångar men även mindre sprickzoner. Kartorna från SGU (1986, 2013) visade inte på någon förekomst av diabasgångar i Sjöcrona Park.

2.3.2 Jordarter

Sjöcrona Parks låglänta delar domineras av isälvs sediment bestående av sand medan det på den högre belägna platån finns lerig morän (se Bilaga 6 och 7). I områdets norra och södra delar ligger sedimentär berggrund i dagen (SGU 1974).

Jordlagermaktigheterna ovanpå Helsingborgsryggen är generellt små, i storleksordningen 5 m, men maktigheten varierar beroende på var man befinner sig. Längs Helsingborgsryggen förekommer fläckvisa områden utan jordlager där berggrunden går i dagen. Jordlagren följer allmänt berggrundsyttans morfologi med undantag för platser där kvartära avlagringar bygger upp större geologiska strukturer. Morän är huvudsakligen den enda ytjordarten inom det område som Helsingborgsryggen utgör men även lokala, mer komplexa lagerföljder förekommer (Adriellsson et al. 1981). De mer komplexa lagerföljderna är en följd av dels Weichselistidens invecklade avsmältningstadiet (Andréasson 2006) men även av tidigare kontinentala nedisningar under kvartär (Germundsson & Schlyter 1999).

Morän är ett samlingsnamn för den osorterade

jordart som bildats vid framfarten av en flera km tjock inlandsis över ett område (Andréasson et al. 2006). Moränens sammansättning beror på de äldre jord- och bergarter som inlandsisen passerat över, krossat och omlagrat.

Morän i områden under Högsta Kustlinjen, HK, dvs. under 56-57 m ö.h. har vanligen utsatts för svällning av havets vågrörelser i samband med isavsmältning och landhöjning. Svallad morän har dock inte redovisats i jordartskartsbladet förutom vid de situationer då svällningen varit av sådan kraftig karaktär att moränen utgjort en övergång till rena svallsediment. Svällningen har i övriga situationer resulterat i en sänkning av lerhalten men jordarten räknas fortfarande som morän (och inte som svallsediment) (Adriellsson et al. 1981). I Sjöcrona Park förekommer rena svallsediment endast i sydöst mot bostadsområdet Eskilsminne (SGU 1974).

Isälvsavlagringar/glacifluviala avlagringar bildades under perioder när inlandsisens avsmältning var stor med hög tillgång till smältvatten framme vid iskanten och inne i smältvattentunnlar. När de lösa osorterade moränavlagringarna blandades med smältvattnet sköljdes lätta partiklar av fina kornstorlekar som silt och lera bort och avlagrades i lugnare miljöer som issjösediment eller ishavssediment medan tyngre partiklar som sten, grus och sand avlagrades längs botten som isälvsediment. I och med att finmaterial sköljdes bort vid transporten räknas isälvsmaterial som en sorterad jordart (Andréasson et al. 2006).

2.3.3 Hydrogeologi

Enligt grundvattenkartan för Helsingborg (se Bilaga 8) är uttagsmöjligheterna för grundvatten i berggrunden 20 000–60 000 l/h medan uttagsmöjligheterna i jordlagren är under 1 l/s. Norr om Fältarpsvägen finns ett öppet grundvattenmagasin i grusiga isälvsediment (jordlagren) med uttagsmöjligheter på 1-5 l/s (SGU:s Grundvattenkarta 2013).

3 Metod

I kapitlet nedan skildras tillvägagångssättet som varit gällande för denna studie. Teorin bakom geofysiska undersökningsmetoder är ofta komplex vilket gör att ett ingående metodavsnitt är nödvändigt för att läsaren på ett bättre sätt skall förstå resultaten och de bakomliggande tankegångarna i diskussionen. Teorin för mätning av inducerad polarisation, modelleringsprogrammet GeoScene3D och interpolationsmetoden Inverse Distance Weighting presenteras.

3.1 IP – Inducerad Polarisation

3.1.1 Allmän IP-teori

IP-mätningar räknas till gruppen geoelektriska undersökningsmetoder vilket är en gren inom geofysiken. Vid IP-mätningar förs ström ned i marken och polarisationsförmågan (förmågan att laddas upp elektriskt) mäts. Marken fungerar i princip som en kondensator (Jeppsson & Dahlin 2013).

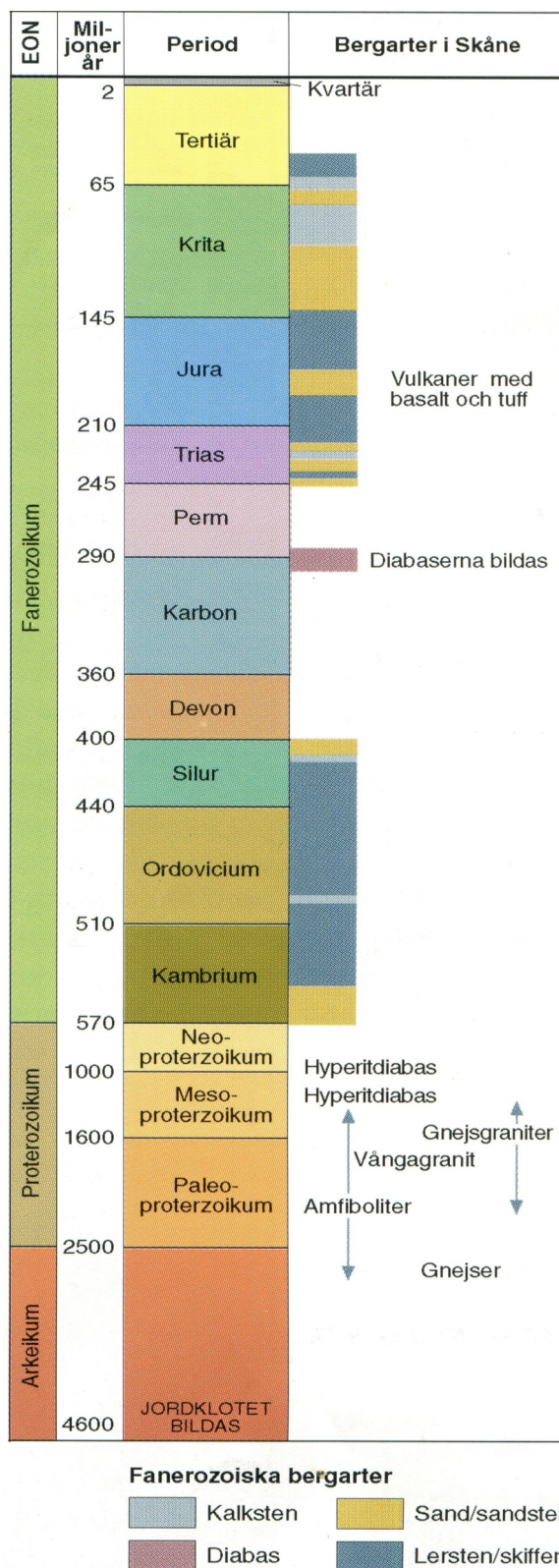


Fig. 2: Geologisk tidsskala med information om tidpunkter för bildandet av skånska bergarter. Källa: Germundsson & Schlyter (1999).

Det traditionella användningsområdet för IP-mätningar har varit för malmprospektering inom gruvindustrin då många brytvärda geologiska fyndigheter ger tydliga utslag vid IP-mätning. I modern tid har undersökningsmetoden börjat uppmärksammas allt mer inom miljösektorn för sin goda förmåga att upptäcka och karakterisera avfallsdeponier. IP-mätning kan även användas vid bergbyggnadsarbeten då det går att lokalisera lervittrade sprickzoner bestående av berg av sämre kvalitet (Jeppsson & Dahlin 2013) samt vid borring efter grundvatten av den orsaken att en lervittrad sprickzon i regel är mer vattenförande än omgivande, mindre uppsprucken, berggrund (Jeppsson 2013).

Mätning av IP kan huvudsakligen göras på två sätt: frekvensdomänmätning och tidsdomänmätning. I frekvensdomänmätning förs växelström med olika frekvens ned i marken och markens resistivitet (förmågan att fungera som ett elektriskt motstånd) mäts. Markens resistivitet beror på frekvenserna i den nedsända strömmen. I tidsdomänmätning förs en konstant likström ned i marken varefter strömmen bryts och spänningens avklingningsförlopp (tidsförloppet tills spänningen är noll) studeras. Både resistivitetens frekvensberoende och spänningens avklingningsförlopp beror på markens polarisationsförmåga. Om marken uppvisar ett tydligt frekvensberoende eller ett långt avklingningsförlopp sägs den uppvisa IP-effekt (Jeppsson & Dahlin 2013).

3.1.2 Beskrivning av IP-effekt

IP-effekt i olika material är en komplicerad företeelse som fortfarande inte är helt kartlagd, troligtvis för att flera invecklade kemiska och fysiska processer samverkar. Det finns i nuläget två rådande modeller: membranpolarisation och elektrod-polarisation (U.S. Environmental Protection Agency 2013). Nedan följer en förklaring av modellerna.

3.1.2.1 Membranpolarisation

I membranpolarisationsmodellen uppstår IP-effekt i strukturer med små porer eller vid närvaron av lera i porkanalerna (Reynolds 1997). Porerna innehåller vanligtvis en porvätska. Mängden porvätska beror på flera faktorer: om materialet ligger över/under grundvattensytan, porernas storlek, vilken berg-/jordart som bygger upp strukturen, mängden nederbörd och evaporation (Fetter 2001). I porvätskan finns positiva och negativa joner, ibland slumpmässigt utspridda men ibland sorterade, exempelvis om en struktur byggs upp av elektriskt laddade mineral (Jeppsson & Dahlin 2013). Många mineral har elektriskt negativt laddade ytskikt som kommer att dra till sig de positiva jonerna och repellerar de negativa. De negativa jonerna bygger upp ett skikt som kan bli upp mot 10^{-4} m tjockt som gott och väl räcker för att blockera de allra minsta porerna (Reynolds 1997).

För IP-effekt i strukturer med små porer gäller följande: Vid IP-mätningen förs en ström ned i marken som ger upphov till en potentialskillnad. Potentialskill-

naden startar en transport av positiva joner mot minuspolen och negativa joner mot pluspolen. När transporten av joner når de små blockerade porerna stannar den upp varefter jonerna ”fastnar” med följden att det uppstår ett överskott av plusjoner på plussidan som strävar mot minusidan och omvänt för de negativa jonerna. Det har således uppstått två ”grupper” av joner, en negativ och en positiv på varsin sida om ett ”hinder”. De två ”grupperna” kommer att ge upphov till en lokal spänningsskillnad (polarisering) som leder till att ett ”mindre” elektriskt fält bildas, i samma riktning som det ”större” som bildades i samband med att strömmen fördes ned i marken. Spänningen (U) över strukturen kommer att öka successivt (mer om detta i avsnitt 3.1.3) (Jeppsson & Dahlin 2013).

När strömmen som förs ned i marken bryts försvinner direkt det ”större” elektriska fältet medan det ”mindre” finns kvar. Det ”mindre” elektriska fältets styrka avtar dock successivt (se mer om detta i avsnitt 3.1.3) i takt med att jonerna sprider sig i porvätskan (Jeppsson & Dahlin).

För IP-effekt på grund av lera i porkanalerna gäller: lermineral är i regel negativt laddade vilket attraherar positivt laddade joner i porvätskan. De positivt laddade jonerna bygger upp grupperingar runt lermineralen. När en ström förs ned i marken kan de positivt laddade jonerna röra sig mellan de olika grupperingarna medan de negativt laddade jonerna inte kan röra sig. Detta ger upphov till en obalans i porvätskans jonkoncentration. När strömmen slås av avtar obalansen i jonkoncentrationen successivt genom att jonerna sprider sig i porvätskan, något som kan mätas vid IP-mätning (Reynolds 1997).

Om markens förmåga att transportera/sprida joner är hög kommer ovanstående processer att gå fort och blir således svåra att mäta varför en låg transport-/spridningsförmåga är önskvärd vid IP-mätningar. Hela processen för membranpolarisation sker normalt inom tidsintervallet tiondels-tiotala sekunder. (Jeppsson & Dahlin 2013).

3.1.2.2 Elektrod-polarisation

I elektrod-polarisationsmodellen uppstår IP-effekt vid förekomst av metalledande mineral med fria elektroner (negativt laddade), exempelvis metallsulfider och metalloxider. Strukturer som byggs upp av ovanstående mineral har hög elektrisk ledningsförmåga, oberoende av om det är en stor eller liten struktur. När marken är opåverkad (se Fig. 3, bild a) råder balans mellan negativa och positiva laddningar i strukturen men när en ström förs ned i marken kommer en transport av laddningar att starta. Positiva laddningar kommer att röra sig mot minuspolen och negativa laddningar mot pluspolen. Precis som vid membranpolarisation kommer två ”grupper” att bildas, dock inte av joner utan av elektroner, vilket ger upphov till en lokal spänningsskillnad (en polarisering) (se Fig. 3, bild b). Analogt med membranpolarisation uppstår ett lokalt ”mindre” elektriskt fält med den skillnaden att det är motriktat det ”större” elektriska fältet. I ovan beskrivna mem-

branpolarisationsmodell finns ett ”hinder” som saknas i elektrod-polarisation, därav den annorlunda riktningen på det ”mindre” elektriska fältet (Jeppsson & Dahlin 2013).

Resultatet av ovanstående är att strukturen har två sidor med nettoladdningar (en positivt laddad och en negativt laddad) som kommer attrahera joner i omgivande marks porvätska (se Fig. 3, bild c). I takt med att fler och fler joner transporteras till nettoladdningarna blir nettoladdningarna neutraliserade och det ”mindre” elektriska fältet försvagas och försvinner till slut helt. När den i marken nedförda strömmen bryts försvinner direkt det ”större” elektriska fältet, likaså nettoladdningarna som ger upphov till polarisationen av kroppen. Kvar runt strukturen finns dock jonerna som inte längre är neutraliserade av strukturens nettoladdningar vilket ger upphov till en ny lokal polarisering (se Fig. 3, bild d). Det nya ”mindre” elektriska fältet kommer ha samma riktning som det ursprungliga ”större” elektriska fältet. Jonerna hålls dock inte längre kvar av strukturens nettoladdningar utan kommer att börja spridas ut i porvätskan med en successiv försvagning av det elektriska fältet som följd (se Fig. 3, bild e). Hela processen för elektrod-polarisation sker normalt inom tidsintervallet tiondels-tiotala sekunder. Precis som vid membranpolarisation är det önskvärt med en låg transport/spridningsförmåga för joner i marken. Detta för att mätutrustningen skall hinna med att registrera spänningsförändringarna (Jeppsson & Dahlin 2013).

3.1.3 Tidsdomän-IP

I tidsdomänmätning används en elektroduppställning bestående av fyra elektroder: två strömelektroder (C) som strömmen (I) går mellan och två potentialelektroder (P) som spänningen (U) mäts mellan och en likströmskälla, exempelvis ett bilbatteri (se Fig. 4) (Jeppsson & Dahlin 2013). Mer om de olika elektrodernas inbördes avstånd i avsnitt 3.1.4.

Vid tidsdomänmätning förs en konstant likström (I) ned genom strömelektroderna (C) under en tid T varefter strömmen bryts och genast sjunker till noll (se Fig. 5).

När strömkällan är inkopplad och strömmen slutar går en likström (I) ned i marken och spänningen stiger omedelbart till en nivå U' (se Fig. 6).

Efter detta första skede stiger spänningen successivt till en konstant nivå U_{max} under tiden T. När strömmen kopplas ur sjunker spänningen omedelbart med samma värde som det vid höjningen till U' . Därefter sjunker spänningen till noll under samma tid t som vid den successiva höjningen (Reynolds 1997).

Ett vanligt sätt att presentera IP i tidsdomän på är med chargeability (M). Chargeability kan beskrivas som ytan i diagrammet under linjen som skildrar avklingningskurvan mellan tiden t_1 och t_2 (se Fig. 7) (Jeppsson & Dahlin 2013).

Chargeability kan även beskrivas matematiskt (se Fig. 8). Enheten är sekunder men eftersom en sekund är en stor tidsrymd vid IP-mätningar används vanligen

enheten millisekunder. En alternativ enhet för sekunder är mV/V (Jeppsson & Dahlin 2013).

Vid geoelektriska mätningar sprids den nedförda strömmen tredimensionellt i marken. Eftersom strömmen sprids tredimensionellt beskriver uppmätt data inte enbart geologin som finns rakt under mätprofilen utan även det som finns runt omkring, ett fenomen som kallas för 3D-effekt (Jeppsson & Dahlin 2013).

Ett annat problem som alltid uppkommer vid geoelektriska mätningar är ekvivalensproblem. Ekvivalensproblem förklaras med att ett uppmätt IP-värde kan tolkas som oändligt många olika geologiska strukturer med olika IP-effekter (Jeppsson & Dahlin 2013).

3.1.4 IP-effekt i geologiska material

Olika material har olika IP-effekt. Membranpolarisation sker i alla geologiska material men i olika omfattning (främst beroende på porstorleken och lerhalten) medan elektrod-polarisation huvudsakligen är begränsad till metalldande mineral. Hög IP-effekt har noterats i dåligt konsoliderade sandstenar och i lervittrade sprickzoner i urberg. I Tabell 1 redovisas IP-effekt för vanligt förekommande material framställt genom empiriska studier (Jeppsson & Dahlin 2013).

3.1.5 Genomförande

IP-mätningarna utfördes med CVES (Continuous Vertical Electrical Soundings - på svenska multielektrod-mätningar). Mätinstrumentet var en Terrameter SAS 4000 från ABEM som använde Lund Cabel System. Använd metod var tidsdomän-IP. Fyra multiledarkablar à 40 m lades ut rakt så att de bildade en 160 m lång profil. På multiledarkablarna fanns med 2 m avstånd uttag för elektroder; 2 m = elektrodavstånd (a). Totalt fanns 21 st. elektroduttag på varje kabel. Vid elektroduttagen fördes elektroder i rostfritt stål ned i marken som med hjälp av så kallade ”jumpers” kopplades in till multiledarkablarna (se Fig. 9).

Till ihopkopplingen av multielektrodkablarna användes connectors/kopplingsdosor förutom för de två kablarna närmast mätinstrumentet som kopplades direkt in i detta. Vid inkopplingen av elektroderna kopplades elektrod nr. 21 in på elektroduttag nr. 21 på kabel 1 och elektroduttag nr. 1 på kabel 2 så att en överlappning erhöles. Ovanstående gjordes även mellan kabel 2-3 och 3-4 (se Fig. 10). För att få en komplett mätning användes två olika protokoll, ett långt (GRAD4LX8) och ett kort (GRAD4S8). Det långa protokollet mätte på varannan elektrod på samtliga 4 kablar, totalt 41 elektroder. Det korta protokollet mätte på varje elektrod på 2 kablar, totalt 41 elektroder.

IP-mätningarna genomfördes med en multielektrod-gradientuppställning av elektroderna. Enligt Dahlin & Zhou (2004) är multielektrod-gradientuppställningen väl lämpad för multielektrod-mätning samtidigt som den medför mer tidseffektiv datainsamling än de mer traditionellt använda elektroduppställningarna Wenner, dipol-dipol eller Schlumberger. I multielektrod-gradientmätning förs en

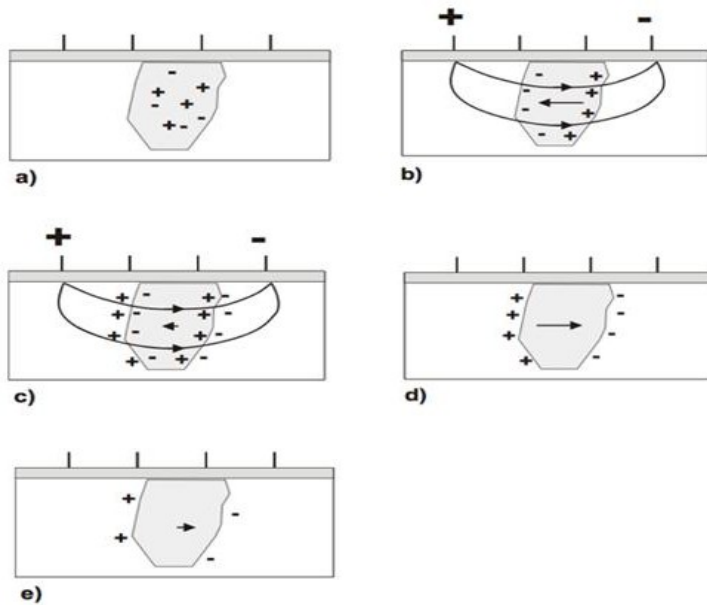


Fig. 3: Förklaring av IP-effekt enligt elektrodpolarisationsmodellen. Fria laddningar finns utspridda i en struktur med metalledande mineral (a). När en ström förs ned i marken skapas ett "större" elektriskt fält vilket fördelar laddningarna inne i strukturen (b). Två grupper av nettoladdningar, en positiv och en negativ, på respektive insida av strukturen bildar tillsammans en dipol med ett "mindre" elektriskt fält motriktat det större. Dessa nettoladdningar drar till sig joner ur porvätskan (c). När strömmen bryts försvinner det "större" och det "mindre" elektriska fältet och strukturens laddningar sprider sig återigen medan jonerna finns kvar längs kanterna (d). Jonerna består även de av två grupper med nettoladdningar som bygger upp en dipol med ett "mindre" elektriskt fält. Detta tredje elektriska fält har en strömriktning som är likriktad med det första "större" elektriska fältet som fanns förut. Allt eftersom diffunderar jonerna ut i omgivande porvätska och även det tredje elektriska fältet försvinner. Källa: Jeppsson & Dahlin (2013).

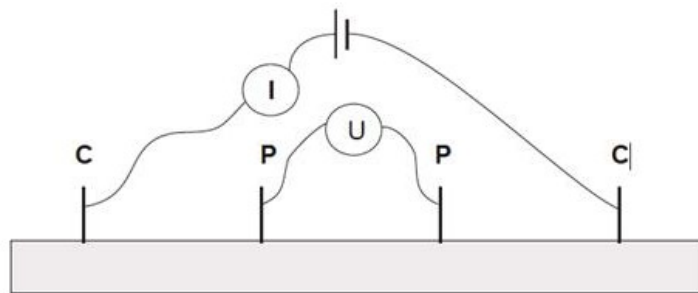


Fig. 4: Uppställning av elektroder vid IP-mätning i tidsdomän. C är strömelektroder och P är potentialelektroder. Strömkällan levererar likström, exempelvis ett bilbatteri. Källa: Jeppsson & Dahlin (2013).

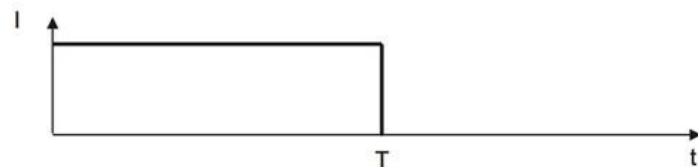


Fig. 5: Likströmmens utseende vid mätning i tidsdomän. När strömmen bryts faller (I) direkt till noll. Källa: Jeppsson & Dahlin (2013).

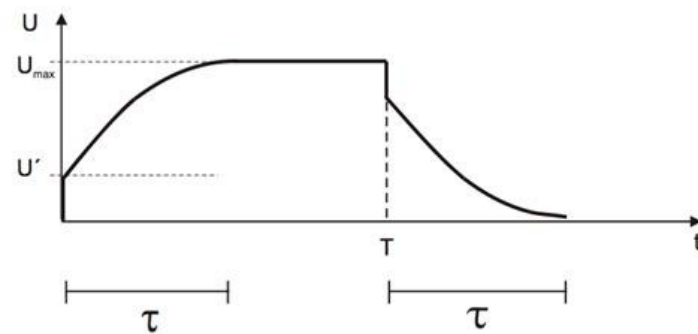


Fig. 6: Spänningens variation vid IP-mätning i tidsdomän. När strömmen sluts går en likström ned i marken varefter spänningen direkt stiger till en nivå U' . Den efterföljande spänningshöjningen sker successivt under tidsrymden t . När strömmen bryts sjunker spänningen direkt med samma värde som motsvarar höjningen till U' . Den successiva spänningssänkning som följer sker under samma tidsrymd t som vid den successiva höjningen. Källa: Jeppsson & Dahlin (2013).

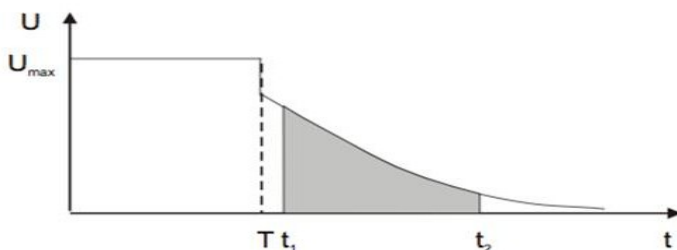


Fig. 7: IP i tidsdomän presenteras ofta med hjälp av termen chargeability. Chargeability kan beskrivas som den gråmarkerade ytan under avklingningskurvens linje mellan tiden t_1 och t_2 . Källa: Jeppsson & Dahlin (2013).

Tabell 1: IP-effekt för några vanligt förekommande geologiska material. Framställt genom empiriska studier (Jeppsson & Dahlin 2013).

Material	Chargeability, ms
Gnejs (ovittrad)	6-10
Granit	10-50
Grundvatten	0
Kalksten	10-20
Koppar	12,3
Kvartsit	5-12
Lerskiffer	50-100
Morän	1-10
Pyrit	13,4
Sand, grus	1-10
Sandsten, siltsten	3-500
Sulfider, 2-20%	500-3000
Vitringszon i gnejs	5-30

$$M = \frac{\int_{t_1}^{t_2} \Delta U(t) dt}{U_{\max}}$$

Fig. 8: Matematisk beskrivning av chargeability. Källa: Jeppsson & Dahlin (2013).



Fig. 9: Elektroder nedstuckna i marken kopplades in till elektroduttagen på multiledarkablarna med jumpers. Foto: Robin Kihlén.

ström ned i marken mellan strömelektroden (C) med ett avstånd $s+2a$ samtidigt som spänningen mäts mellan potenzialelektroden (P) med avståndet a (se Fig. 11). s är ett heltal som står för antalet potentialmätningar som kan utföras per ströminjektion. n är avståndet mellan potenzialelektroden och den närmsta strömelektroden. Generellt innebär ett större avstånd mellan strömelektroden ett större nedträngningsdjup i marken för mätningen medan ett mindre avstånd mellan potenzialelektroden ger en högre upplösning över markens potentialskillnad. Valet av de olika avstånden är en avvägning mellan störningskänslighet, nedträngningsförmåga och upplösning (ABEM 2010).

IP-mätningarna genomfördes i slutet av mars 2013 när det fortfarande fanns tjäle i marken. Enligt Reynolds (1997) kan frusen mark ge dålig elektrodkontakt vilket också var fallet. Reynolds (1997) hävdade att detta kunde lösas genom att antingen väta elektroden med vatten alternativt högkonduktiv vätska eller genom att placera ut multipla elektroder vinkelrätt mot profilriktningen. Den totala resistansen för de multipla elektroden blir lägre än för en enskild elektrod (Reynolds 1997). Då tjälen gjorde att det ofta förekom dålig elektrodkontakt prövades båda metoderna. I regel hjälpte det att hålla vatten på de påverkade elektrodena men vid några tillfällen fick multipla elektroder användas (se Fig. 12).

Strömmen ställdes in till att vara maximalt 500 mA och minimalt 20 mA. Instrumentet prövade hur mycket ström som kunde föras ned i marken och om ingen ström kunde passera mellan strömelektroden på grund av för hög resistans sänktes strömmen successivt ned till minimalt angivna strömstyrka (ABEM 2010).

Två profiler à 160 m utfördes. En orienterad i väst-östlig riktning och en i sydväst-nordöstlig riktning (se Bilaga 9). Profil 1 och 2 korsade varandra vid grusvägen, ca 115 m in på profil 1. Använt elektrodavstånd var 2 m. Profilernas orientering valdes utifrån en önskan att tangeras områdets dominerande sprickriktning vinkelrätt (Jeppsson & Dahlin 2013). För att kunna visualisera profilerna korrekt i GS3D mättes de in med GPS (se Fig. 13).

3.2 Databearbetning

Resultaten från IP-mätningarna behövde processeras i ett datorprogram innan en tolkning kunde utföras. Processen kallas för inversion och går i stora drag ut på att IP-data presenteras i 2D som en uppmätt pseudosektion. En "startmodell" antas. Programmet beräknar den pseudosektion som "startmodellen" skulle ge upphov till. Den beräknade pseudosektionen presenteras. Uppmätt och beräknad pseudosektion jämförs. "Startmodellen" justeras utifrån skillnaden mellan uppmätt och beräknad pseudosektion. Denna procedur upprepas tills programmet uppnår ett föreskrivet felvärde – RMS-error (Residual Mean Error). Upprepingarna kallas för iterationer.

Den här studien använde sig av RES2DINV utvecklat av Geotomo Software version 4.0 (64 bitars)

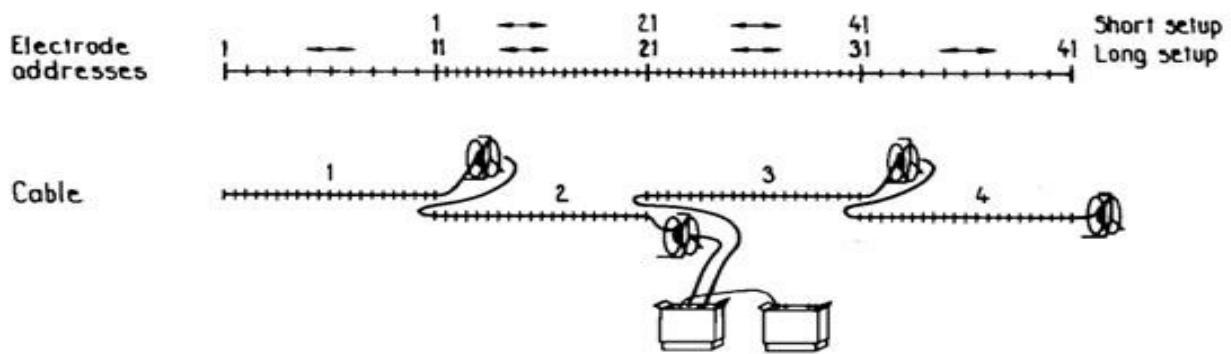


Fig. 10: Ihopkoppling av fyra st. multiledarkablar à 40 m till en 160 m lång profil. Vid inkopplingen av elektroderna överlappar det sista elektroduttaget på den ena kabeln med det första elektroduttaget på den andra kabeln. Källa: ABEM 2010.

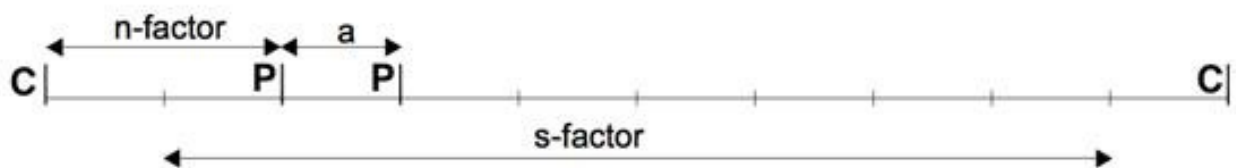


Fig. 11: Elektrodplicering vid mätning med multielektrod-gradientuppställning. Ström förs ned i marken mellan strömelektroderna (C) med avståndet $s+2a$ samtidigt som spänningen mäts mellan potenzialelektroderna (P) med avståndet a . n är avståndet mellan potenzialelektroden och den närmsta strömelektroden. Vilka avstånd som är bäst är en avvägning mellan störningskänslighet, nedträngningsförmåga och upplösning. Fig. modifierad efter ABEM 2010.



Fig. 12: Tjälän i marken gjorde att elektrodkontakten ibland blev dålig. Detta åtgärdades med blötning av elektroderna och i vissa fall även genom användning av multipla elektroder. På bilden två multipla elektroder ihopkopplade med jumpers. Foto: Wictor Linders.

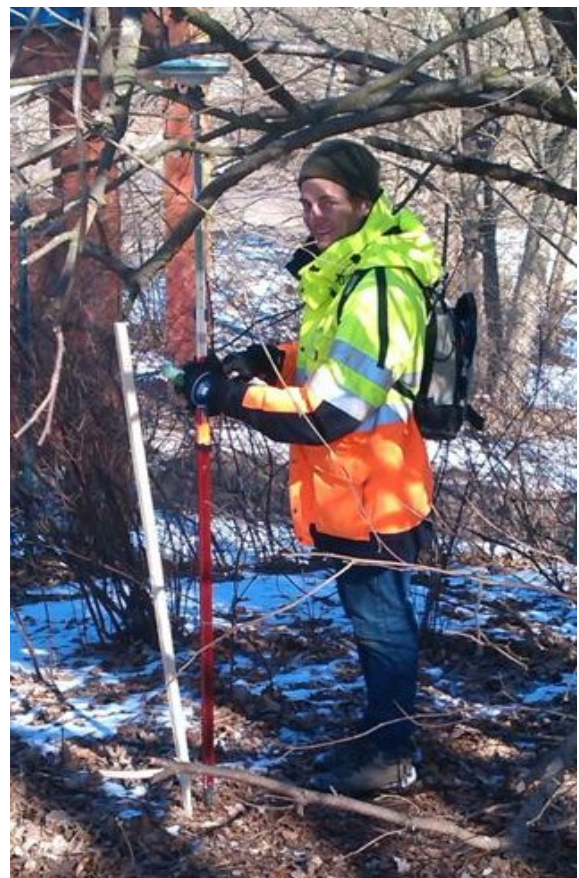


Fig. 13: Inmätning av profiler med GPS. Foto: Wictor Linders.

till bearbetning av IP-mätningarna. För inversionerna i RES2DINV användes concurrent som inversionsmetod med en IP-dämpningsfaktor på 0,250 (Geotomo Software 2012). Båda de utförda IP-inversionerna innehåller topografisk data och totalt 7 iterationer utfördes för respektive inversion. Inställningarna för båda inversionerna redovisas i sin helhet i Bilaga 10. Vid inversionerna användes halva elektrodavståndet, 1 m istället för 2 m, föreslaget av RES2DINV. Elektrodkontakten var vid mätningarna generellt dålig; vid flertalet tillfällen behövde elektroderna blötas eller multipla elektroder användas och vid något enstaka tillfälle fick en elektrod uteslutas ur mätningarna. För både profil 1 och 2 skickades strömstyrkor på mellan 20-200 mA ned i marken. Majoriteten av mätningarna utfördes dock med 20 mA.

För visualisering av inversionerna användes Eri-graph version 2.19. För att undvika missförstånd ändrades färgskalorna för inversionerna så att en färg symboliserade samma intervall i respektive inversion (Bo Bergman muntligt 2013-05-06).

3.3 GeoScene3D

3.3.1 Teori

GS3D (version 9.5.0.377) är ett Windowsbaserat program för visualisering, tolkning och förmedling av geologisk data utvecklat av danska I-GIS. Programmet utvecklades för modellering av geologi, geoteknik/geofysik och grundvatten. GS3D möjliggör bearbetning av geologisk data i tre olika editeringsmiljöer: profiler, kartor och i 3D. Bearbetningen inbegriper exempelvis interpolering av data i både 2D och 3D. Fördelen med GS3D är att ett projekt kan tillverkas av en skapare (editor version) och sedan skickas till en andra part som via en gratis (från I-GIS hemsida nedladdningsbar) läsversion kan öppna projektet, så kallad viewer version (I-GIS 2013).

I GS3D går det att skapa hela ytor utifrån punktdata med interpolationer. Det finns tre olika interpolationsmetoder att välja mellan: Inverse Distance Weighting (IDW), Nearest Neighbour och Kriging. Samtliga interpolationer i den här studien har utförts med IDW. IDW räknas som en av de enklare interpolationsmetoderna (NCGIA 2013). IDW som på svenska kallas för avståndsviktning (Söderström 2010) antar att mätpunkter nära varandra är mer lika än mätpunkter längre bort (ArcGIS Resources 2013). För att förutspå ett värde för en punkt där data saknas använder IDW sig av omgivande punkter där det finns mätdata. Kända punkter nära den okända punkten får ett större inflytande på resultatet än kända punkter långt bort från den okända punkten (ArcGIS Resources 2013).

För att skynda på interpolationen är ett vanligt förfarande att begränsa antalet mätpunkter som används för att förutspå värdet för en okänd punkt. Utseendet på denna begränsning (search neighbourhood) påverkas av mätvärdena och antalet punkter (ArcGIS Resources 2013). I GS3D används en ellips (search ellipsis) för att begränsa antalet mätpunkter (I-GIS 2013). För-

delen med en ellipsformad begränsning istället för exempelvis en cirkelformad begränsning är att ellipsen tar hänsyn till en trend i mätdata medan cirkeln inte gör det. Med ellipsens längdaxel placerad i trendens riktning kommer punkter i trendriktningen långt borta från den förutspådda punkten att vara mer lika den förutspådda punkten än punkter vinkelrätt mot trendriktningen (ArcGIS Resources 2013).

3.3.2 Genomförande

3.3.2.1 Geologisk 3D-modell

Via en karttjänst (Geographic Extraction Tool) tillhandahållen av Sveriges Lantbruksuniversitet i samarbete med Lantmäteriet laddades 2 m höjddata i rasterformat och 1 m ortofoto ned för Sjöcrona Park (Lantmäteriet [i2012/927]). Ett nytt projekt skapades genom att höjddata lästes in i GS3D. För att underlätta orienteringen i projektet draperades terrängmodellen med ett ortofoto.

För att visualiseringen skulle bli korrekt krävdes att all inläst data var redovisad i samma koordinatsystem (SWEREF 99 13 30) och samma höjdsystem (RH 2000). I de fall konvertering var nödvändig gjordes denna i programmet MapInfo. Information om de geotekniska borrhningarna lades in i en tom Accessdatabas, formaterad på samma sätt som den danska Jupiterdatabasen, och lästes in som wells i GS3D. Accessdatabasen bestod av tabellerna: BOREHOLE, LITHSAMP, SCREEN och WATLEVEL med respektive kolumner (se Tabell 2).

Tabell 2: Strukturen på Accessdatabasen som användes för att läsa in borrhålsdata i GS3D.

Tabell	Kolumn
BOREHOLE	BOREHOLENO
	XUTM
	YUTM
	ELEVATION
LITHSAMP	BOREHOLENO
	SAMPLENO
	TOP
	BOTTOM
SCREEN	ROCKSYMBOL
	BOREHOLENO
	SCREENNO
	TOP
WATLEVEL	BOTTOM
	BOREHOLENO
	INTAKENO
	TIMEOFMEAS
	WATLEVMSL

För att kunna interpolera den geotekniska informationen var den dessutom tvungen att skrivas in i en Microsoft Accessdatabas och läsas in som XYZ-points i GS3D. Accessdatabasen bestod av tabellerna: Överyta Fyllning, Underyta Fyllning, Överyta Sand, Underyta Sand och Överyta Berg. Respektive tabell i Accessdatabasen bestod av kolumnerna: BOREHOLNO, XUTM, YUTM och ELEVATION.

I en lagerföljd befann sig av logiska skäl en underyta för ett lager på samma nivå som överytan för det underliggande lagret. Vid några av borrh punkterna var inte lagerföljden komplett och för att undvika fall som i Fig. 14 där interpolationen för fyllningens överyta annars gått rakt genom lagret med sand sattes över- och underytan för det saknade lagret på samma nivå som ovanliggande lagrets underyta. Om ett ovanliggande lager saknades sattes över-/underytan till samma nivå som terrängen.

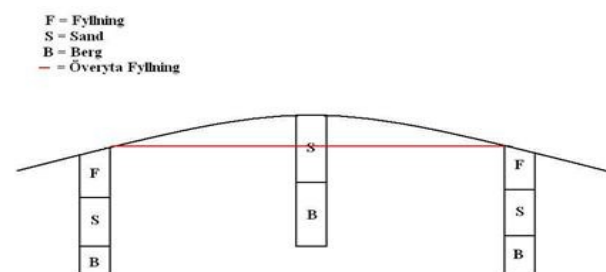


Fig. 14: Tänkbart interpolationsfel (mittensta borrh punkten) om inte det saknade lagret F:s över-/underytan satts till markytans nivå. Fig.: Wictor Linders.

XYZ-points för respektive över-/underyta interpolerades med IDW. Inställningarna var: Exponent: 2,0; Smooth Factor: 0,0; Search Ellipsis: 200,0; node spacing: 1,0.

3.3.2 Interpolation av grundvattenyta

Vid interpolation av grundvattenyta användes även här IDW med samma inställningar som vid interpolationen av över-/underytorna. Interpolationen byggde på de åtta grundvattennivåmätningar som redovisas i Bilaga 11.

4 Övriga tillgängliga data

4.1 Geotekniska borrhningar

Under ledning av Sweco Infrastructures Anna Lundkvist och fälttekniker Fredrik Zanders genomfördes i månadsskiftet januari/februari 2013 geotekniska borrhningar i 12 punkter i Sjöcrona Park. Borrhningarna utvärderades för att närmare bestämma områdets geologiska och hydrogeologiska förhållanden. Arbetet utfördes med fältutrustning monterad på borrhbandvagn typ 604A tillverkad av Geotech. Undersökningarna omfattade störd jordprovtagning med skruv i samtliga 12 punkter samt installation av rör för observation av fri vattenyta i 11 punkter (Lundkvist 2013).

I Bilaga 11 redovisas de geotekniska borrhningarna. Respektive borrhpunkt mättes in med GPS i plansystem SWEREF 99 13 30 och höjdsystem RH 2000. GPS-mätningarna redovisas i Tabell 3 (Lundkvist 2013). I Bilaga 9 visas en översiktskarta med markerade borrhpunkter. Noterbart är att SGU:s jordartskarta visar att Sjöcrona Park domineras av isälvs sediment bestående av isälvsgrus i de flackare partierna och lerig morän ovanpå platån medan det i protokollet för de geotekniska borrhpunkterna var noterat olika former av sand och fyllning. Termen fyllning är ett brett begrepp som används för att beskriva jordmassor med okänt innehåll som flyttats från en plats till en annan (Mattis Johansson muntligt 2013-05-06).

Borrhpunkt	X	Y	Z
1	6212911.5083	101544.6187	31.5679
2	6212873.1213	101601.7256	34.8069
3	6212913.7609	101685.8864	32.5130
4	6212874.3697	101810.2373	31.7687
5	6212798.1816	101639.1154	37.5508
6	6212847.1086	101711.9447	39.3117
7	6212692.2890	101709.2062	38.5713
8	6212752.9315	101817.1629	36.3760
9	6212818.3758	101903.8442	25.7245
10	6212607.9857	101654.1069	17.9599
11	6212678.5634	101893.3460	23.6108
12	6212921.8491	101780.5425	32.9635

Tabell 3: GPS-mätningar av de geotekniska borrhpunkterna. Använt plansystem är SWEREF 99 13 30 och höjdsystem RH 2000. Källa: Lundkvist (2013).

4.2 Resistivitetsmätningar

Kihlén (2013) utförde under samma tid som för den här studien resistivitetsmätningar i Sjöcrona Park. För resultat av dessa mätningar se Bilaga 12.

5 Resultat

Under detta kapitel kommer resultaten från examensarbetets fältarbete och modellering i RES2DINV, Eri-graph och GS3D att redovisas. Några av resultaten är av sådan karaktär att de i sig är svar på mål som formulerades under avsnitt 1.3; resultatkapitlet skall dock ses som en ren presentation av resultaten. Tolkningar, diskussioner och besvarandet av mål och frågeställningar görs uteslutande i kapitel 6. Interpolerade ytor och de konceptuella geologiska modellerna får anses som resultat härrörande ur den här studien och inte tolkningar av tidigare studiers resultat.

5.1 Geofysiska och geotekniska resultat

Profil 1 är orienterad med 0 m längst i väst och 160 m längst i öst. Profil 2 är placerad med 0 m i sydväst och 160 m i nordöst (se Bilaga 9). Djupet för samtliga ledningar och rördragningar i nedanstående stycken är okänt. Samtlig ledningsinformation är hämtad från Ledningskollen (2013). För gatulykorna saknades ledningskartor men troligtvis ligger elledningarna mellan gatulykorna.

Profil 1 uppvisade ett större och ett mindre område med IP-effekter upp över 10 mV/V (gula och röda markeringar i Fig. 15). De här IP-effekterna återfanns mellan 10-35 m och mellan 55-65 m i på profilen. IP-effekten mellan 10 och 35 m gick upp mot 60 mV/V (se Fig. 16). Vid markytan fanns IP-effekter på mellan 1,0 och 4,6 mV/V (ljus blått och olika nyanser av grönt i Fig. 15) längs hela profilens längd. Enligt ledningskartorna passerade profilen vid ca 60 m en OPTO-kabel (optisk kabel) och en ledning för fjärrvärme. Efter 70 m och 115 m passerades troligtvis en ledning för gatubelysning. 76 m in passerades en asfalterad väg och vid ca 115 m passerades en grusväg. Som nämnts tidigare korsade profil 1 och 2 varandra vid grusvägen, ca 115 m in på profil 1.

Borrhål 6 och 4 finns markerade i inversionen på 45 m respektive 120 m. Noterbart är att borrhålen inte låg rakt ovanpå profilen utan var förskjutna i sidled (se Bilaga 9 för jämförelse). Bergöverytan låg på 5,6 m djup från markytan i borrhål 6 och på 5,5 m djup från markytan i borrhål 4. RMS-error för inversionen var 4,3 %.

Profil 2 hade två mindre och ett större område med tydliga IP-effekter (gula och röda områden) upp över 10 mV/V (se Fig. 17). De tydliga IP-effekterna fanns mellan 0 och 35 m, 45 och 55 m samt 70 och 105 m. IP-effekten vid 45 till 55 m gick upp över 150mV/V (se Fig. 18). Vid markytan i profil 2 fanns IP-effekter på 1,0 mV/V till upp över 10 mV/V men majoriteten av värdena i markytan låg mellan 1 och 5 mV/V. Vid profilens början fanns en jordkabel/kanalisation. Efter 40 m passerade profilen ca 2 m från en OPTO-kabel

och en ledning för fjärrvärme och rakt över en trolig ledning för gatubelysning. 55 m in passerade profilen rakt över en ledning för fjärrvärme. Vid ca 115 m passerade profilen rakt över en trolig ledning för gatubelysning. Profil 2 och profil korsade varandra vid grusvägen, ca 140 m in på profil 2. RMS-error för inversionen var 4,0 %.

5.2 Konceptuell geologisk modell utifrån de geotekniska borrhningarna

Konceptuella geologiska modeller skapades utifrån information i de geotekniska borrhningarna nr 6 och 4. Resultaten redovisas i profil 1 (se Fig. 19) och profil 2 (se Fig. 20).

5.3 Geologisk 3D-modell och interpolerad grundvattenyta i GeoScene3D

En geologisk 3D modell skapades i GS3D. Den kommer att redovisas som tvärsektioner i profil 1 samt som översiktsbilder i Bilaga 13. I Fig. 21 och Fig. 22 redovisas interpolationen av över-/underytor, skapandet av tre solida lager och interpolationen av grundvattenytan i GS3D. I modellerna är rött = fyllning, grönt = sand, blått = berggrund och vitt = grundvattenytan. Resultaten bygger på information från de geotekniska borrhningarna och redovisas som profil 1 och 2, samma profiler som användes för geofysiken. GS3D valde att visa alla borrhpunkter i profilerna, även de som var förskjutna i sidled, vilket gjorde att en del borrhpunkter visualiseras under markytan.

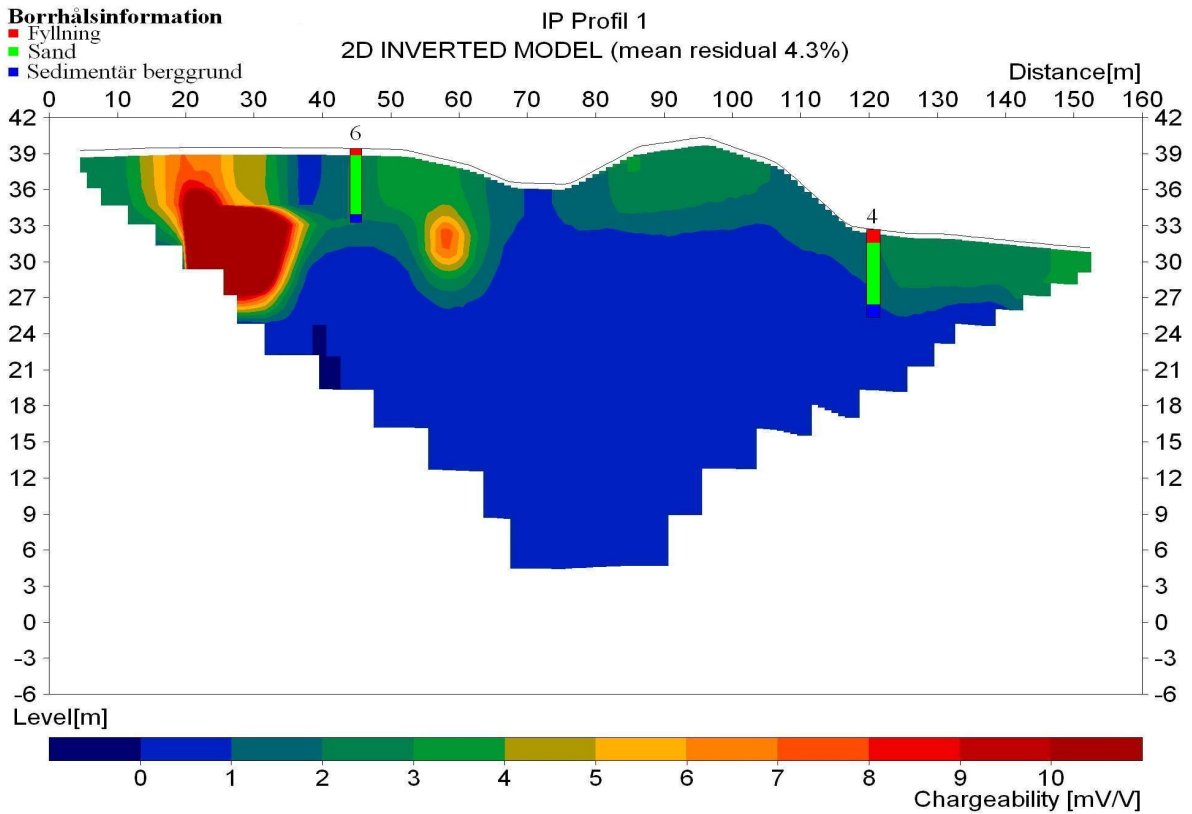


Fig. 15: IP-sektion för profil 1 visualiserad i Erigraph v. 2.19. Samtliga tidsfönster redovisas. Färgskalan går från 0-10 mV/V. RMS-error var 4,3 %.

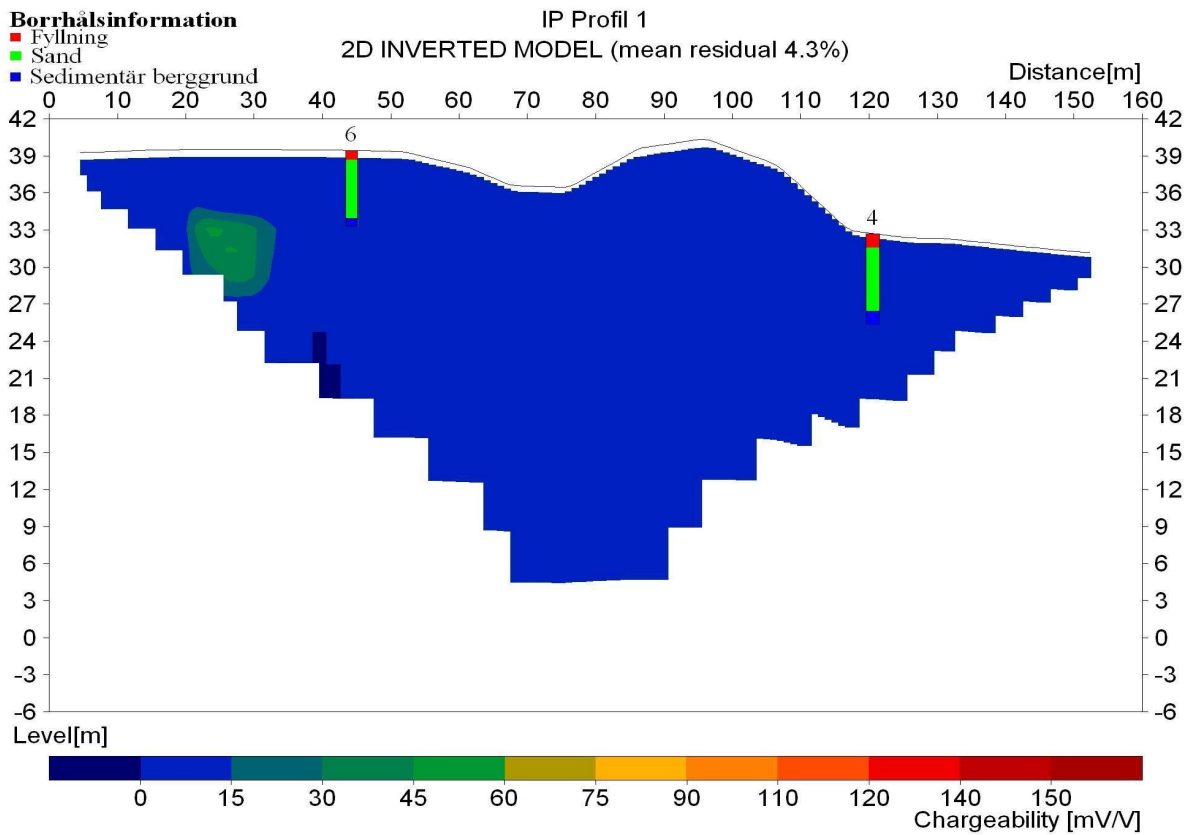


Fig. 16: IP-sektion för profil 1 visualiserad i Erigraph v. 2.19. Samtliga tidsfönster redovisas. Färgskalan går från 0-150 mV/V. RMS-error var 4,3 %.

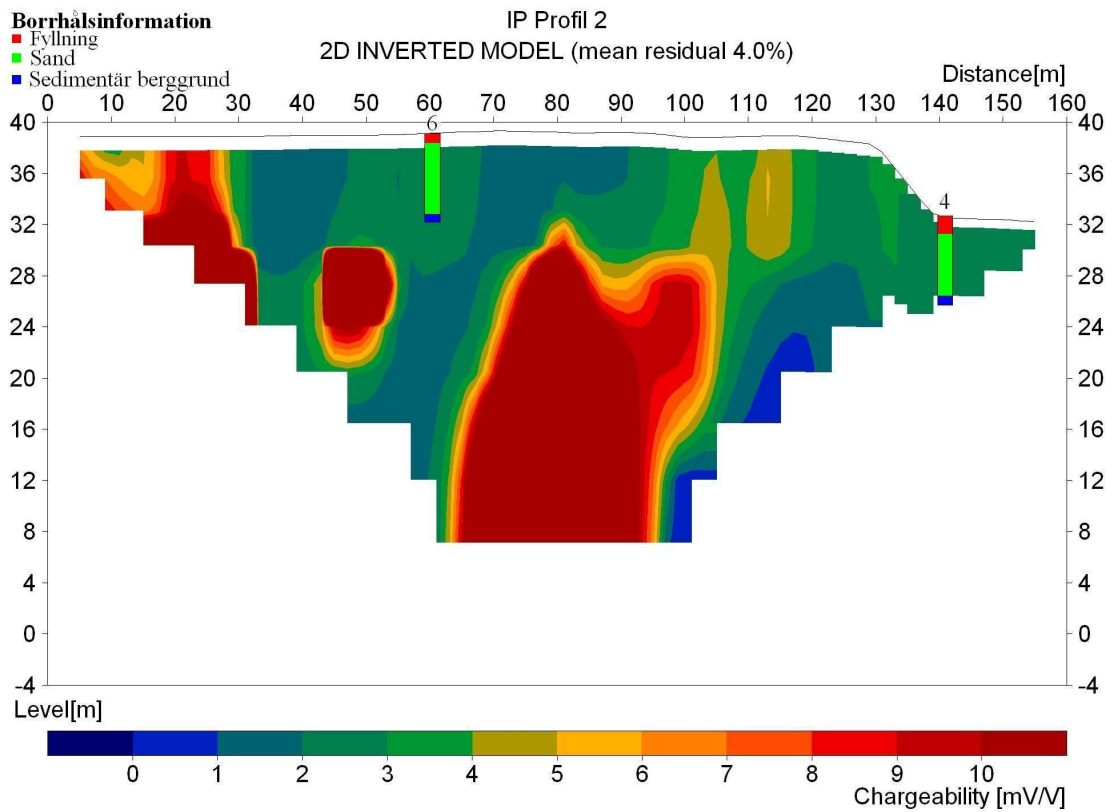


Fig. 17: IP-sektion för profil 2 visualiserad i Erigraph v. 2.19. Samtliga tidsfönster redovisas. Färgskalan går från 0-10 mV/V. RMS-error var 4,0 %.

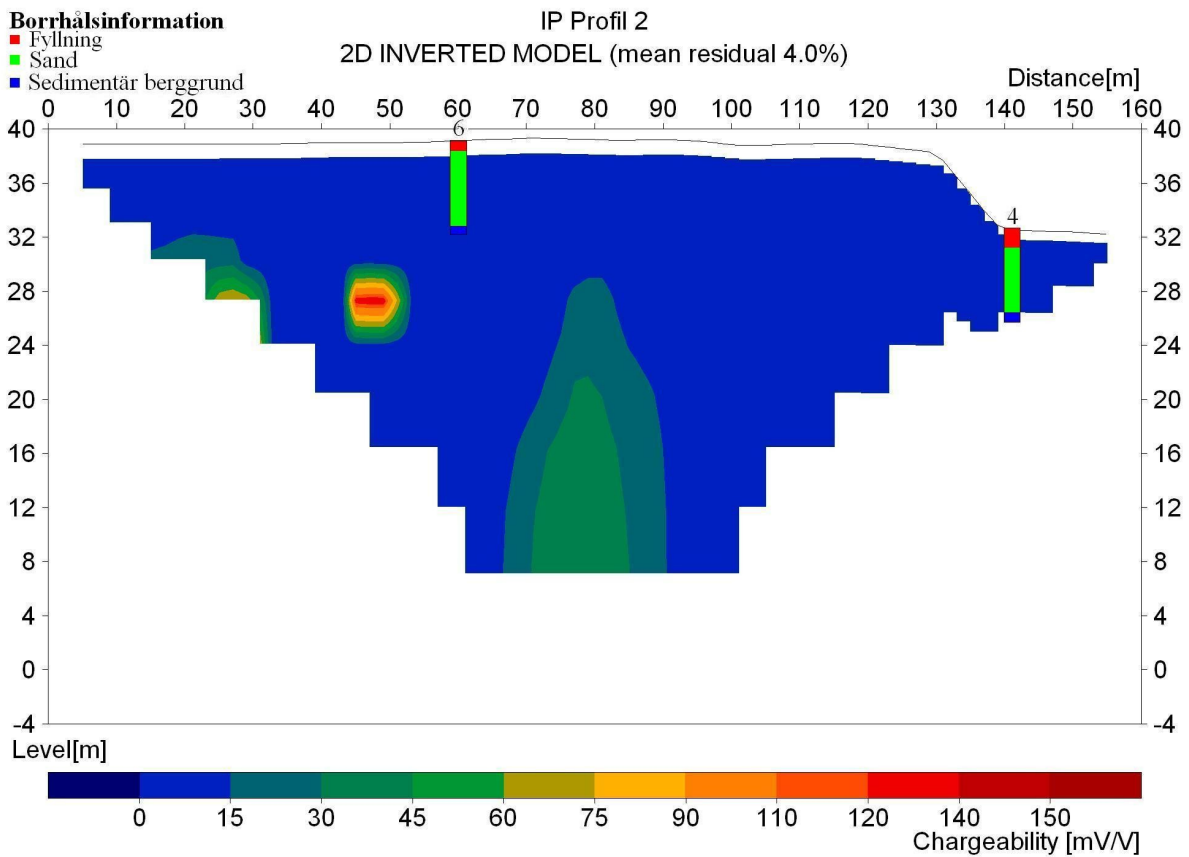


Fig. 18: IP-sektion för profil 2 visualiserad i Erigraph v. 2.19. Samtliga tidsfönster redovisas. Färgskalan går från 0-150 mV/V. RMS-error var 4,0 %.

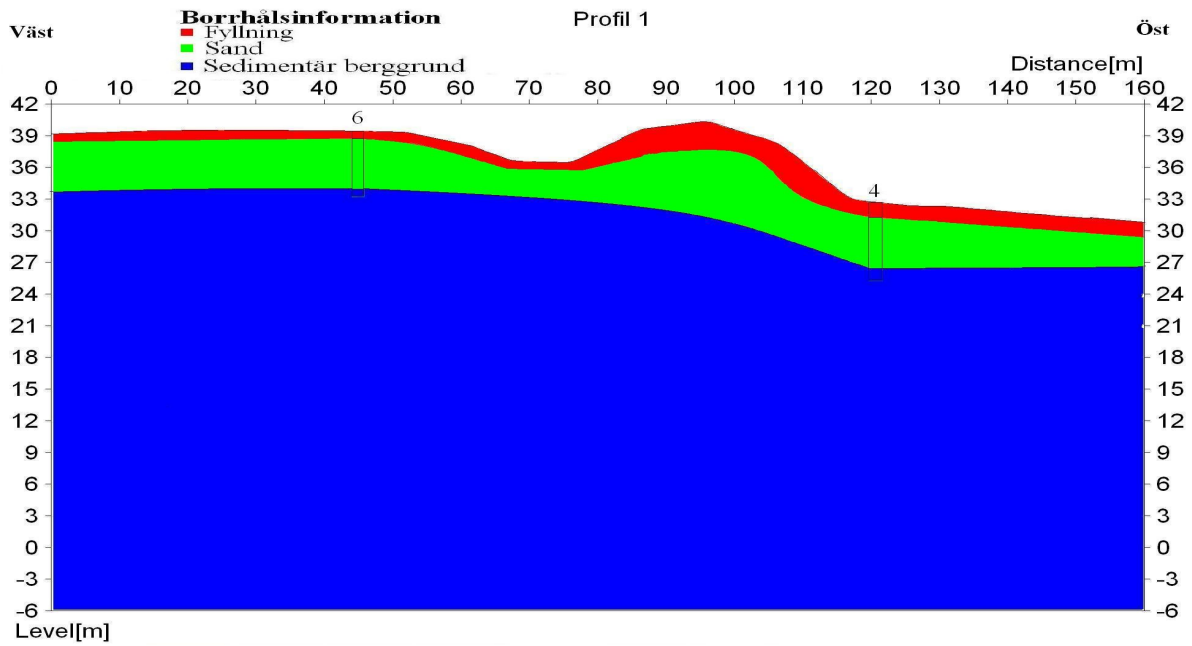


Fig. 19: Konceptuell geologisk modell för profil 1. Nr 6 och 4 är de geotekniska borrhälsnumrerna. Rött = fyllning, grönt = sand och blått = sedimentär berggrund.

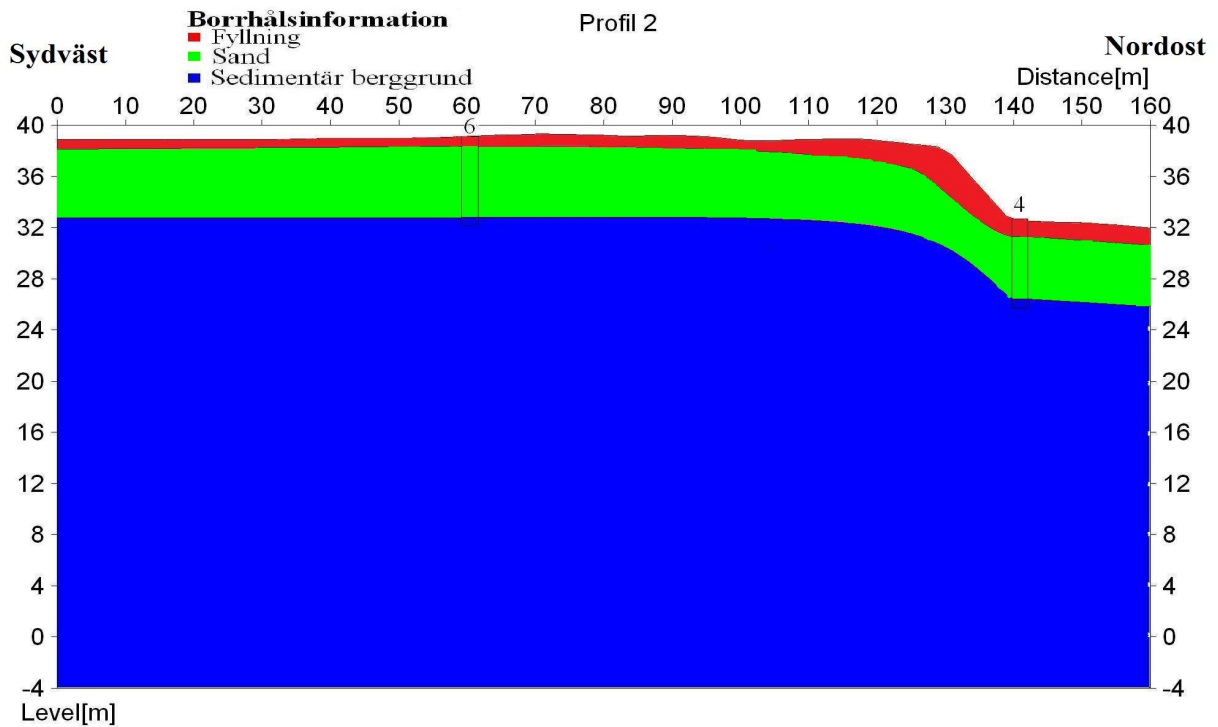


Fig. 20: Konceptuell geologisk modell för profil 2. Nr 6 och 4 är de geotekniska borrhälsnumrerna. Rött = fyllning, grönt = sand och blått = sedimentär berggrund.

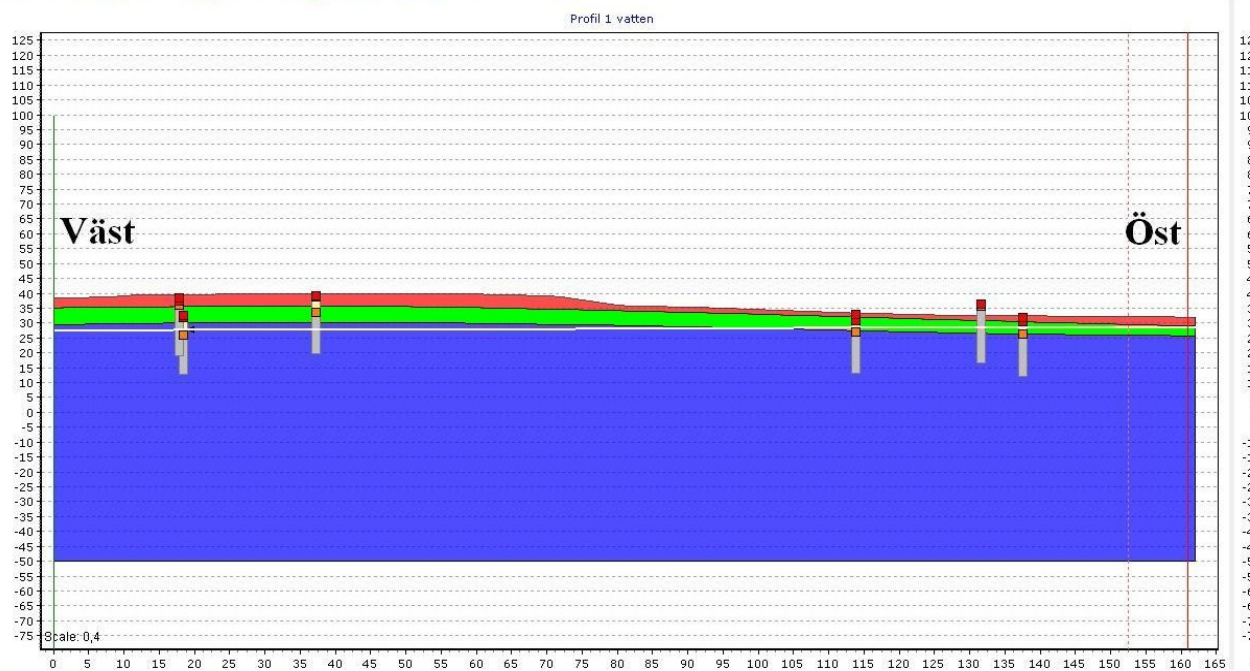


Fig. 21: Profil 1 visar resultat från modelleringen i GS3D. Över-/underytter interpolerades med IDW ur information från de geotekniska borrhningarna. Tre solida lager skapades utifrån de interpolerade ytorna. Rött = fyllning, grönt = sand och blått = sedimentär berggrund. Även en grundvattenyta interpolerades med IDW. Grundvattenytan redovisas som vitt i profilen.

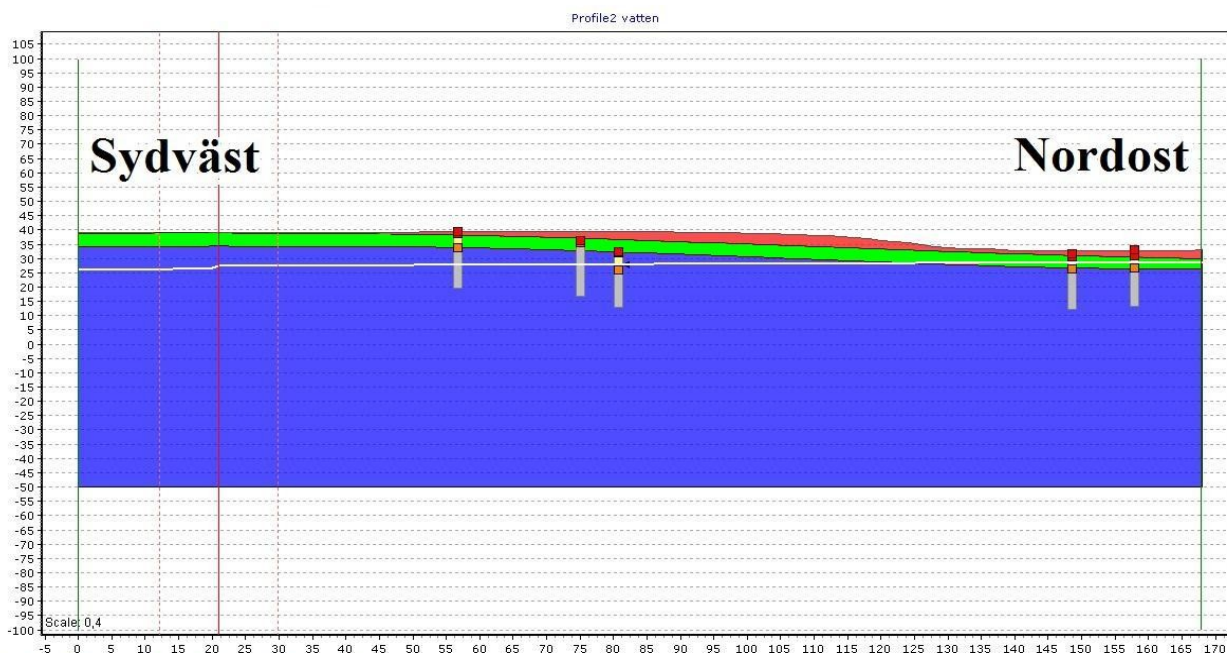


Fig. 22: Profil 2 visar resultat från modelleringen i GS3D. Över-/underytter interpolerades med IDW ur information från de geotekniska borrhningarna. Tre solida lager skapades utifrån de interpolerade ytorna. Rött = fyllning, grönt = sand och blått = sedimentär berggrund. Även en grundvattenyta interpolerades med IDW. Grundvattenytan redovisas som vitt i profilen.

6 Diskussion och tolkning

Under följande avsnitt kommer tolkningar av resultaten att presenteras tillsammans med den diskussion som ligger bakom utförda tolkningar och eventuella felkällor. Under kapitel 6 kommer även målsättningarna från 1.3 att besvaras.

6.1 Återkoppling till frågeställningar och mål

1. Bestämma jordlagrens mäktighet.

Utifrån de geotekniska borrhningarna i Bilaga 11 i avsnitt 4 framgår det att största säkert fastställda djup till berggrunden ligger på 5,6 m från markytan (punkt 6) och minsta på 2,5 m från markytan (punkt 9). Inkluderas de punkter där ett förmodat stopp i berg noterats blir djupen 6,1 m (punkt 12) respektive 0,85 m (punkt 8). Noterbart är att skruven ej kunde neddrivas ytterligare enligt för metoden normalt förfarande i punkt 1, 2, 3 och 5. Detta kan bero på att skruven har nått berggrunden, men det kan även bero på att skruven gått in i ett stenblock eller annat hinder i jordlagren. Om det antogs att orsaken bakom skruvens stopp berodde på berggrunden och dessa punkters inkluderades skulle det minsta markdjupet vara oförändrat medan det största skulle bli 9,3 m (punkt 2). Den mullhaltiga sanden som finns överst i borrhpunkt 4 och 6 har tolkats som fyllning i de geotekniska borrhpunkterna.

Med hjälp av IP-mätningarna och de geotekniska borrhningarna kunde en tolkning av berggrundsöverytan göras för profil 1 och 2. I profil 1 varierade djupet till berggrundsöverytan mellan ca 2–7 m (se Fig. 23) och låg på ca 5 m i profil 2 (se Fig. 24). Värt att anmärka är att berggrundens överyta kan vara vittrad/upsprucken vilket kan ge lokala skillnader i djup mellan IP-mätningarna och de geotekniska borrhpunkterna.

2. Undersöka om det finns lervittrade sprickzoner i berggrunden.

I profil 1 syntes mellan 10 och 35 m och med en överyta på ca 6 m djup en IP-effekt som i de centrala delarna gick upp mot 60 mV/V. Enligt ledningskartorna gick ingen ledning eller rördragning just där. En möjlig tolkning är att det är en lervittrad sprickzon, något som stöds av Tabell 1 i avsnitt 3.1.4. och lagerföljden i borrhpunkt nr 6 (lagerföljden i borrhpunkten visade att IP-effekten befann sig i berggrunden och inte i jordlagren). Utbredningen av IP-effekten är dock svårbedömd med tanke på att den befann sig i profilens början där antalet mätpunkter på djupet var begränsade samt på grund av den dåliga datakvaliteten.

I profil 1 fanns även en lokal, rund, IP-effekt vid 55 till 65 m på ca 6 m djup. Den här IP-effekten hade inte lika höga chargeabilityvärden som den första. Enligt ledningskartorna gick det en OPTO-kabel och en fjärrvärmeledning ca 60 m in på profilen. Om det är dessa två som ger upphov till IP-effekten är osäkert. Vanligen läggs ledningar på frostfritt djup, men 6 m verkar onödigt djupt. Det kan dock inte uteslutas att de

två ledningarna påverkade mätningarna.

IP-effekten i profil 2 som syns vid 0 till 35 m hade en överyta på ca 6 m djup och chargeabilityvärden i de centrala delarna på upp mot 75 mV/V. Enligt ledningskartorna fanns en jordkabel/kanalisation vid profilens början (0 m). IP-effektens utbredning är oklar med tanke på dess placering i början av profilen och det låga antalet mätpunkter på djupet. En möjlig tolkning av IP-effekten är en lervittrad sprickzon, det kan dock inte uteslutas att jordledningen/kanalisationen påverkade resultatet.

Mellan 45 och 55 m på ca 9 m djup fanns en lokal IP-effekt som påminde om den vid 55 till 65 m i profil 1. I de centrala delarna hade IP-effekten chargeabilityvärden på över 150 mV/V. Enligt ledningskartorna passerade profilen i närheten av en ledning för fjärrvärme och en OPTO-kabel vid 40 m och rakt över en förmodad ledning för gatubelysning samt rakt över en ledning för fjärrvärme vid 55 m. Vad som orsakade IP-effekten är oklart, den skulle kunna berott på någon av de närliggande ledningarna men återigen kommer resonemanget om det stora djupet in i bilden. Vad som talar för att IP-effekten var orsakad av ledningarna är det faktum att den inte fortsätter mot djupet utan ligger lokalt. Mer undersökningar skulle behövas för att ge ett säkert svar på den frågan.

I profil 2 syntes en anmärkningsvärt tydlig IP-effekt mellan 70 och 105 m med en överyta på ca 7 m djup. Chargeabilityvärdena låg i de centrala delarna på upp mot 60 mV/V. Vid 115 m passerade profilen rakt över en trolig ledning för gatubelysning. En möjlig tolkning av IP-effekten är en lervittrad sprickzon, något som stöds av att närmsta ledning är minst 10 m bort samt att sprickzonen ser ut att fortsätta på djupet.

I Fig. 25 syns tolkningar av resultat från IP-mätningarna samt resistivitetsmätningar från Kihlén (2013) plottade längs med profilerna. Anomalier av samma karaktär i de båda profilerna bands ihop i två längre streck, orienterade i nordvästlig-sydöstlig riktning. Strecken representerar sprickzoner, alternativt lervittrade sprickzoner, en tolkning som stämmer bra med områdets regionala sprickstruktur (nordvästlig-sydöstlig riktning). Både sprickzonen och den lervittrade sprickzonen bedömdes vara ca 20 m breda. Den nordligaste (gröna) sprickzonen stämmer dessutom bra överens med den gräns som karakteriserar övergången från områdets höglänta till låglänta delar. Sådana gränser förknippas ofta med svaghetszoner i berggrunden och tillhörande sprickzoner (Bo Bergman muntligt 2013-05-06).

Det skall nämnas att ovanstående diskussion om huruvida det finns lervittrade sprickzoner i berggrunden till stor del bygger på tolkningar av IP-effekternas värden och utseende. Som nämndes under 2.3.1 varierar bergarterna från sen trias/tidig jura i sammansättning; kalksten, sand-/siltsten, kolflötsar och lerlager lagras om vart annat. Jordarternas lagerföljder kan även de vara komplexa till följd av invecklade avsättningsförlopp och antropogen påverkan. I kombination med berggrunds rörelser till följd av Tornquistzonen

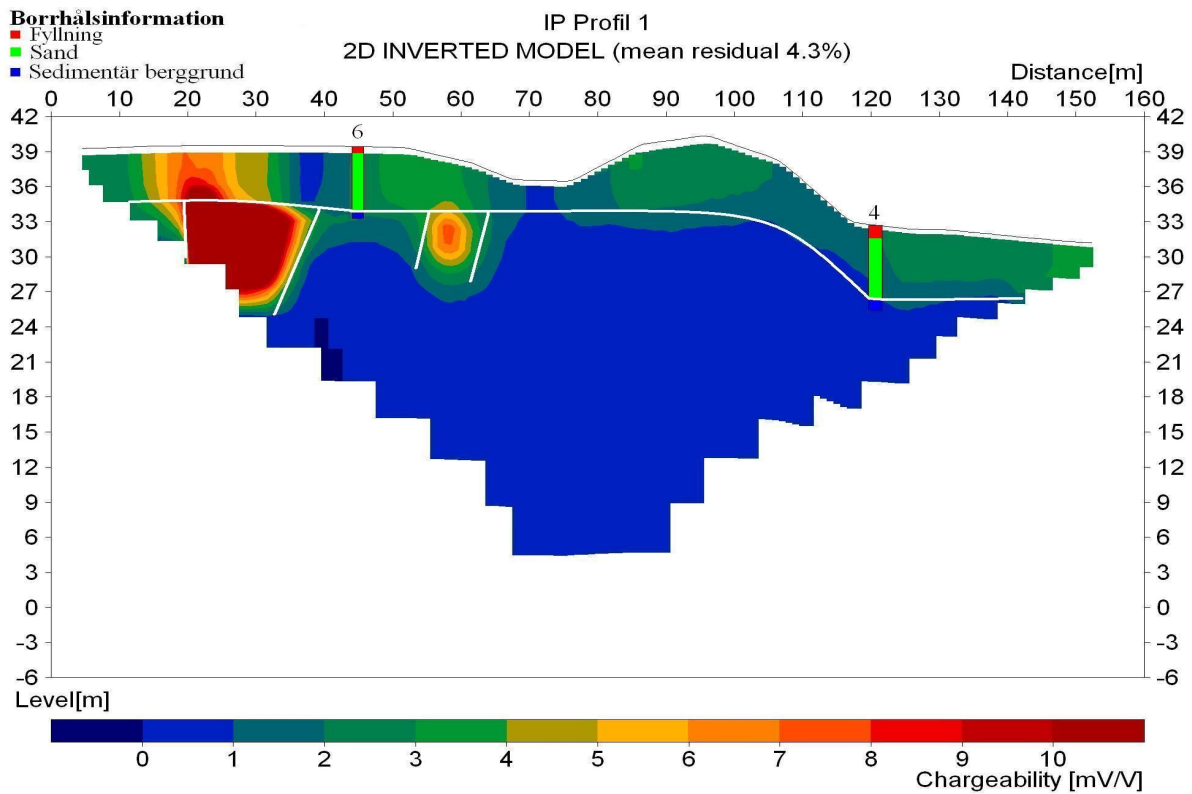


Fig. 23: Berggrundens överyta är tolkad med ett vitt streck utifrån de geotekniska borrhänsorna och IP-data. Eventuellt lervittrade sprickzoner är inritad mellan 15-35 m och 55-65 m.

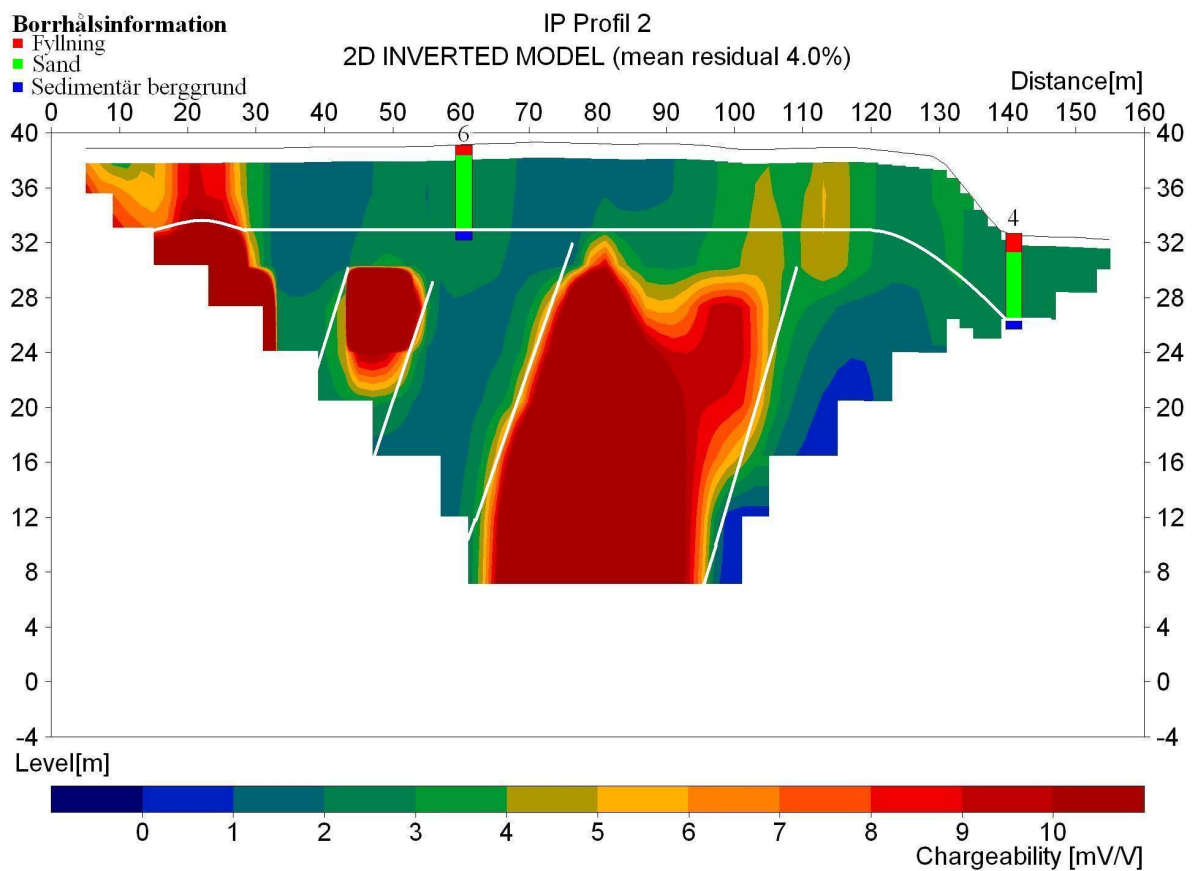


Fig. 24: Berggrundens överyta är tolkad med ett vitt streck utifrån de geotekniska borrhänsorna och IP-data. Två eventuellt lervittrade sprickzoner är inritad mellan 40-60 m och 70-100 m.

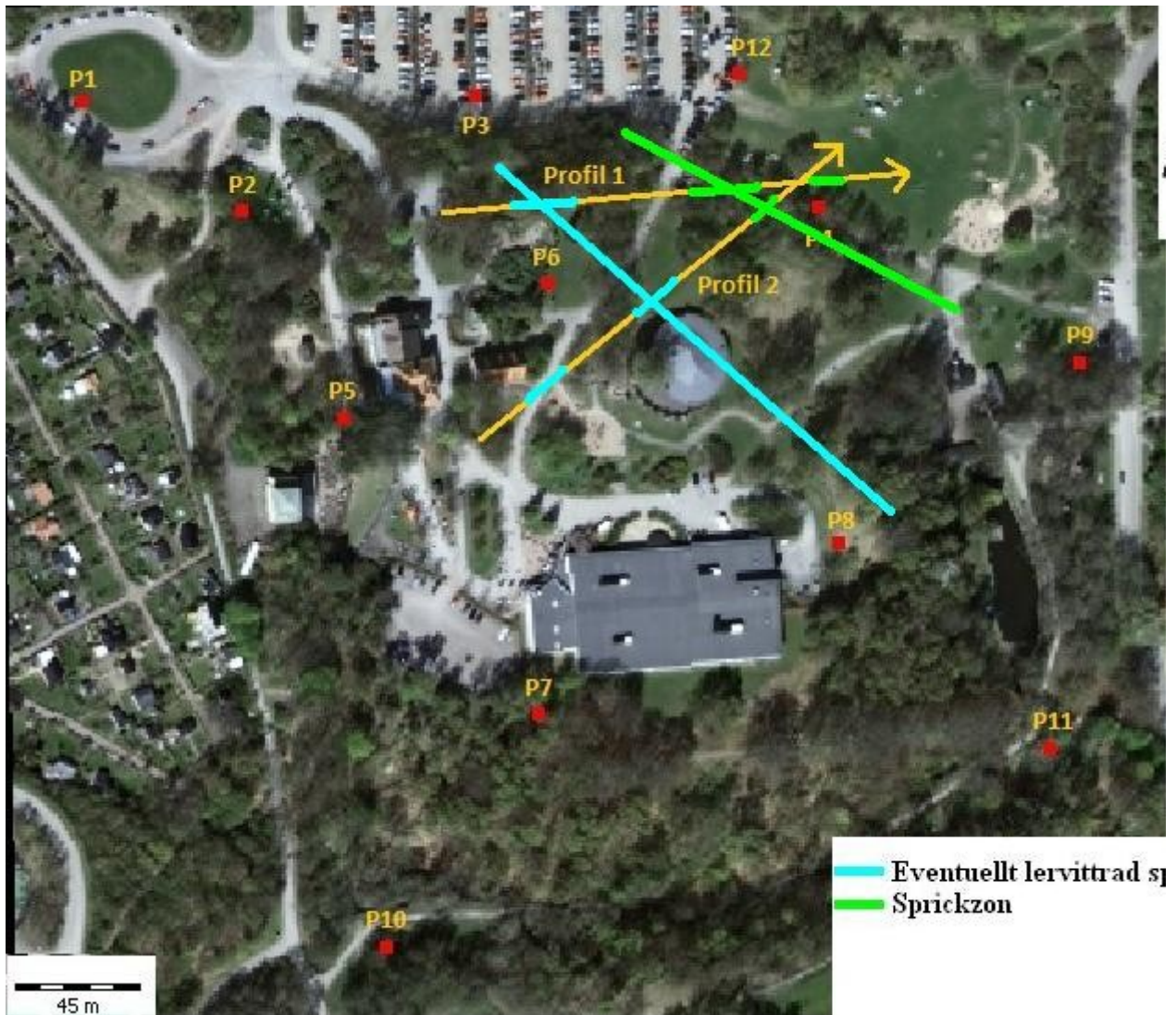


Fig. 25: Tolkningar av resultat från IP-mätningarna och resistivitetsmätningar utförda av Kihlén (2013). Anomalierna i profil 1 och 2 bands ihop vilket resulterade i en sprickzon och en eventuellt lervittrad sprickzon i nordväst-sydöstlig riktning.

gör ovanstående faktorer att geologin i Sjöcrona Park är svårtolkad.

Alternativa tolkningar till de lervittrade sprickzonerna skulle kunna vara linsar av berggrund med högre lerinnehåll, exempelvis lerig kalksten eller lerig/siltig sandsten. Enligt SGU (1974) utgörs Sjöcrona Parks jordarter av bland annat sand och lerig morän men med tanke på att jordlagren blivit utsatta för svallning torde inte dessa kunna innehålla betydande mängder lera. Således borde inte jordlagren bidra till några kraftigare IP-effekter.

3. Upprätta en konceptuell geologisk modell över profilerna från de geotekniska borrhningarna, IP-mätningarna och resistivitetsmätningar från Kihlén (2013).

Borrhålsinformationen kompletterades med data från IP och resistivitetsmätningar för att ge ett mer verklighetstroget resultat (se Fig. 26 och 27). Vid konstruktionen av de konceptuella geologiska modellerna fanns endast två geotekniska borrhpunkter att utgå från. Två borrhpunkter på en 160 m lång profil är dock för lite för

en verklighetstrogen tolkning. De konceptuella geologiska modellerna skall därför ses som just modeller. Värt att anmärka är att varken borrhpunkt 6 eller 4 låg rakt ovanpå någon av de båda profilerna utan var förskjutna i sidled (se Bilaga 9 för jämförelse mellan profilerna och borrhpunkterna) vilket också påverkade modellernas trovärdighet.

4. Upprätta en geologisk 3D modell över Sjöcrona Park i GeoScene3D utifrån de geotekniska borrhningarna (interpolera fram lagerytor och en grundvattenyta).

Vid interpolationerna av ytorna som låg till grund för att kunna skapa de solida lagren användes IDW som interpolationsmetod. Vid en interpolation fås inte en exakt bild av verkligheten utan en uppskattning. Hur god denna uppskattning är beror på: antalet mätpunkter, hur bra datakvaliteten är, vilken interpolationsmetod som används och vilka inställningar som använts i interpolationsmetoden. Samtliga 12 geotekniska borrhningar användes för att göra interpolationen så verklighetstrogen som möjligt. Antalet borrhningar skulle dock

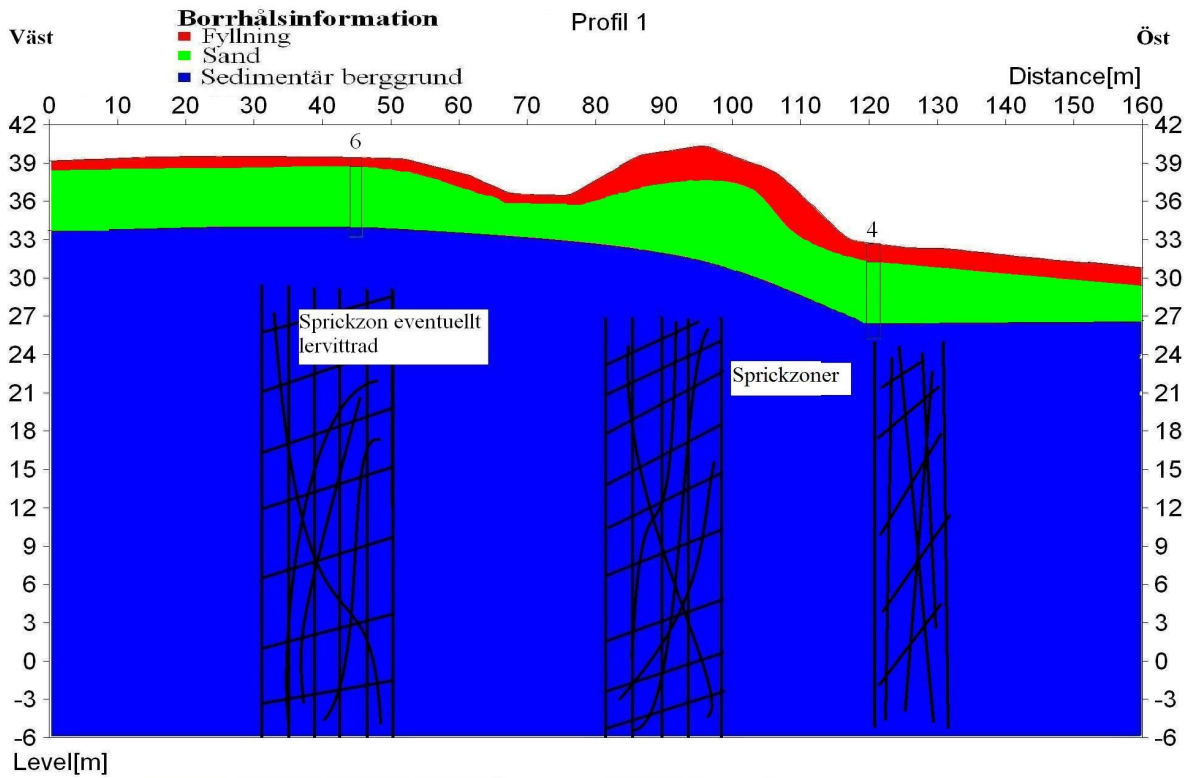


Fig. 26: Konceptuell geologisk modell för profil 1 utifrån geotekniska borrhåll, IP-mätningar och resistivitetsmätningar. Nr 6 och 4 är de geotekniska borrhållena.

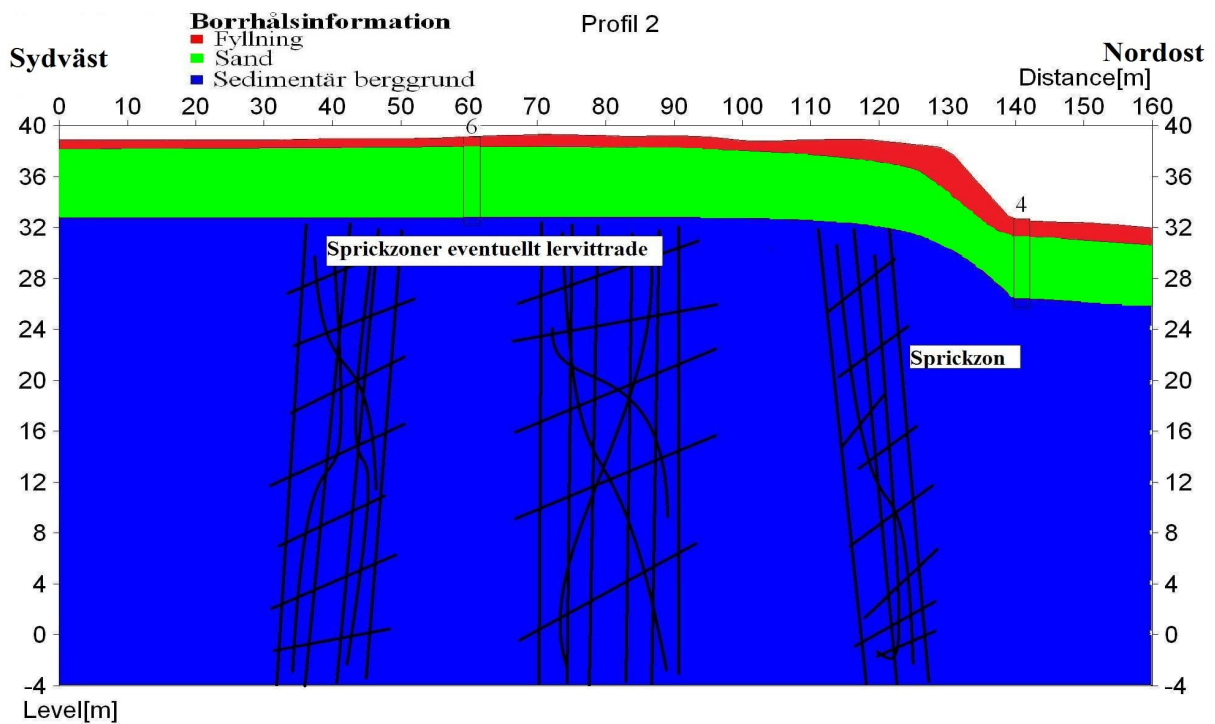


Fig.: 27: Konceptuell geologisk modell för profil 2 utifrån geotekniska borrhåll, IP-mätningar och resistivitetsmätningar. Nr 6 och 4 är de geotekniska borrhållena.

behövt varit fler med tanke på Sjöcrona Parks storlek och de kraftiga förändringarna i topografi som fanns i området. Noterbart är att det fanns ett lager lera i borrhålspunkt 10 som ej fanns med i den geologiska modellen. Detta för att det inte går att interpolera mellan en enda mätpunkt. Om en interpolation skapas med en enda mätpunkt blir den interpolerade ytan lika stor som ellipsens sökradie, en parameter som bestäms av den som utför interpolationen.

Även grundvattenytan interpolerades med IDW (se Fig. 21 och 22). Grundvattennivåerna mättes vid två tidpunkter i totalt åtta st. borrhålspunkter. I punkterna 5,6,7 och 8 gick det inte att mäta någon grundvattennivå. Dessa fyra borrhålspunkter låg samtliga i de centrala, högt belägna delarna av Sjöcrona Park. Avsaknaden av grundvattennivå i dessa tyder på att grundvattenytan låg i berggrunden istället för jordlagren (borrhålen sträcker sig endast genom jordlagren), till skillnad från de övriga borrhålspunkterna i Sjöcrona Parks låglänta delar som hade en grundvattenyta i jordlagren. Denna teori stöds av interpolationen.

Profil 1 och 2 hade sin början uppe på Sjöcrona Parks höjd och slut i de lägre liggande partierna av parken. Interpolationen visade att grundvattenytan i början av både profil 1 och 2 låg i sedimentär berggrund (blått) men strax efter mitten övergick till att ligga i sanden (jordlagren).

Som nämnts tidigare ger en interpolation inte hela sanningen; således skall den interpolerade grundvattenytan endast ses som en fingervisning. För att få en mer precis bild av grundvattenytans läge behövs fler geotekniska borrhålspunkter, i jordlagren men uppe på höjden i Sjöcrona Park även i berggrunden. Det kan även vara klokt att låta installera automatiska grundvattennivåmätare som får mäta under längre tid då dessa kan bidra till att ge en bättre förståelse för grundvattenytans naturliga fluktuationer.

Ytterligare en aspekt att ha i åtanke vid bedömning av grundvatteninterpolationen är att GS3D inte tog hänsyn till att det i en tvålagerföljd (berggrund och jordlager) ofta finns två grundvattenytor, en belägen i berggrunden och en i jordlagren. Det är därför tänkbart att det fanns en grundvattenyta i berggrunden i parkens låglänta partier.

5. Använda resultat från IP-mätningarna för att förbättra 3D-modellen i GeoScene3D.

Vid starten för det här examensarbetet var tanken att resultaten från IP-mätningarna i de båda profilerna skulle kunna läsas in i GS3D för att sedan interpoleras över hela Sjöcrona Park. Ett förfarande som skulle gett mer material att basera den konceptuella geologiska modellen på. Vid utförandet av denna studie framkom det dock att GS3D endast kan interpolera på TEM-data och inte på IP eller resistivitetsdata.

6. Formulera idéer på fortsatta geofysiska och geotekniska undersökningar.

De geofysiska undersökningarna utfördes medan det fortfarande fanns tjäle i marken, en omständighet som

påverkade resultaten starkt negativt. Det skulle därför vara intressant att upprepa mätningarna i de befintliga profilerna men även att göra nya mätningar i andra delar av parken för att få en bättre bild av områdets geologi. Enligt SGU fanns det inga diabasgångar i området, det skulle dock vara bra om detta bekräftades med ytterligare geofysiska undersökningar, exempelvis magnetometri.

I de mest exploaterade delar med många störningskällor kan det vara en idé att istället för IP/resistivitetmätning använda refraktionsseismik vid bestämning av jordlagermäktigheter. Ett ytterligare alternativ för snabb bestämning av jordlagermäktigheter är markradar.

Som nämnts i tidigare avsnitt skulle det även vara intressant att göra fler geotekniska borrhålspunkter, både i jordlagren och ned i berglagren, för att få mer information om lagergränser och grundvattenytans läge. Installation av automatiska grundvattennivåmätare i de geotekniska borrhålspunkterna skulle dessutom kunna bidra till att ge en fördjupad bild av områdets naturliga grundvattennivåförändringar.

7. Utforma förslag på effektivisering av databearbetning, inläsning samt visualisering i GeoScene3D inför framtida undersökningar.

För att öka användarvänligheten skulle det vara önskvärt att GS3D kunde läsa in geofysisk data direkt ur RES2DINV. Om det dessutom gick att interpolera IP/resistivitetsdata i GS3D skulle noggrannheten i den geologiska tolkningen bli högre.

6.2 Felkällor

Fältundersökningarna utfördes när det fortfarande fanns tjäle i marken. Tjälen resulterade i dålig elektrodkontakt och trots våtandet av elektroder och användandet av multipla elektroder var det svårt att genomföra mätningarna. I huvuddelen av mätpunkterna kunde endast 20 mA föras ned i marken vilket i sammanhanget är en synnerligen låg siffra. Ett exempel på den dåliga datakvaliteten var att det vid resistivitetmätningarna utförda av Kihlén (2013) erhöles resistivitetsvärden på flera tusen Ωm i jordlagren – värden som oftast förknippas med sprickfattig kristallin berggrund (Jeppsson & Dahlin 2013).

Sjöcrona Park är dessutom ett sedan tidigare exploaterat område med bland annat byggnader, vägar av asfalt eller stenplattor, hög-/lågspänningsledningar, avloppsrör, bredbandskabel, fjärrvärme, parkbänkar i gjutjärn, stängsel och dammar som bidrar till att försvåra det praktiska arbetet eller göra resultaten för IP-mätningarna osäkra (se Fig. 28). Ytterligare problem vid IP-mätningar är 3D-effekter och ekvivalensproblem som gör att uppmätta resultat blir svårtolkade.

7 Slutsatser

Datakvaliteten i de geofysiska resultaten var på grund av tjäle och många störningskällor låg. Interpolationerna som låg till grund för modellen i GS3D baserades



Fig. 28: Sjöcrona Park är ett exploaterat område med många störningskällor för de geofysiska mätningarna. Foto: Wictor Linders.

på endast 12 geotekniska borrhpunkter. Interpolationen av grundvattenytan baserades på grundvattennivåer i endast 8 borrhpunkter. Ingen av dessa grundvattennivåer var inmätta i Sjöcrona Parks högt belägna delar. I profil 1 och 2 finns troligtvis en sammanhängande sprickzon och troligen en sammanhängande lervittrad sprickzon, båda ca 20 m breda, orienterade i nordväst-sydöstlig riktning. I profilerna finns det förmodligen lokala sprickzoner, med och utan tydlig lervittring. Jordlagermäktigheterna beräknas utifrån geotekniska borrhpunkter, IP-mätningar och resistivitetsmätningar vara ca 5 m. Alternativa tolkningar till de lervittrade sprickzonerna skulle kunna vara lokala partier berggrund med högt lerinnehåll, exempelvis lerig kalksten eller lerig-/siltig sandsten.

Grundvattenytan beräknas i de högt belägna, centrala delarna av parken (ca 0 till 100 m in på profil 1 och 2) ligga i berggrunden medan den i de lågt belägna delarna beräknas ligga i jordlagren (100 till 160 m in på profil 1 och 2). Huruvida det i de låglänta delarna finns en grundvattenyta även i berggrunden är oklart.

För att få en bättre bild av områdets geologi och hydrogeologi vore det önskvärt med ytterligare undersökningar i form av fler geotekniska borrhpunkter i både jordlagren och berggrunden, fler geofysiska undersökningar med IP/resistivitetsmätning, magnetometri, alternativt refraktionsseismik eller markradar. Det skulle även vara intressant att låta installera automatiska grundvattennivåmätare som kan mäta områdets naturliga förändringar i grundvattennivå under längre tid samt låta utföra vattenprover för att analysera grundvattnets kemiska egenskaper.

GeoScene3D är ett praktiskt program med många användningsområden, det hade dock varit enklare att

använda om det gått att läsa data från RES2DINV rakt in i programmet. Om det dessutom går att förbättra interpolationen av geotekniska borrhpunkter med IP/resistivitetsdata kommer säkerheten i den geologiska tolkningen att bli högre.

8 Tack

Mitt första tack riktas till Robin Kihlén som i sitt examensarbete behandlade den andra delen av de geofysiska undersökningarna – resistivitetsmätningarna. Tack för hjälpen med förberedelserna inför, under och efter fältarbetet, modelleringen, skrivandet och presentationerna samt för att du grävde upp elektroden som frös fast i marken efter att vi hållt vatten på den.

Ett stort tack till mina handledare Dan Hammarlund och Mattis Johansson för ert stöd och för att jag fick ta del av era breda och djupa kunskaper. Tack till gruppen för geologi och grundvatten på Sweco Environment och I-GIS för att jag fick medverka på GeoScene3D-kursen och för det stöd som ni gett mig under det här arbetet. Ett extra tack till Bo Bergman, Alfredo Mendoza och Ulrika Sabel på gruppen för geologi och grundvatten på Sweco Environment för hjälp inför, under och efter fältundersökningarna samt i modelleringsarbetet. Ett stort tack vill jag även rikta till I-GIS för att jag fick använda GeoScene3D i mitt examensarbete, till GeoScene3D:s support för snabba svar på alla mina frågor och till Torben Bach och Tom Martlev Pallesen som höll i GeoScene3D-kursen.

Tack till min familj och mina vänner för ert engagemang, stöd, för den färdiglagade maten när jag kom hem sent och viktigast av allt för ert tålamod. Tack för att ni korrekturläste, gav förslag på ändringar och fanns där när jag behövde göra något annat.

10 Referenslista

- ABEM., 2010: Instruction Manual Terrameter SAS 4000/SAS 1000. 136 pp.
- Adriellsson, L., Mohrén, E., Daniel, E., 1981: Beskrivning till jordartskartan HELSINGBORG SV. Uppsala. 104 pp.
- (Red.) Andréasson, P.-G., 2006: Geobiosfären - en introduktion. Studentlitteratur. Pozkal. 604 pp.
- Dahlin, T. & Zhou, B., 2004: A numerical comparison of 2D resistivity imaging with 10 electrode arrays. *Geophysical Prospecting* 52, 379-398.
- Fetter, C. W., 2001: Applied Hydrogeology. Prentice Hall, Inc. New Jersey. 598 pp.
- Jansson, C., Gustavsson, K., Narvelo, W., 2013: Helsingborgs raviner och dalar - ett urval. Helsingborg. 36 pp.
- Jeppsson, H., Dahlin, T., 2013: Geoelektriska metoder inom tillämpad geofysik. Resistivitetsmätning, IP-mätning och SP-mätning. Undervisningskompendium i geofysiska undersökningsmetoder. Geologiska Institutionen, Lunds Universitet. 69 pp. Opublicerat.
- Jeppsson, H. & Dahlin, T., 2013: Elektromagnetiska metoder. Undervisningskompendium i geofysisk undersökningsmetodik. Geologiska Institutionen, Lunds Universitet. 124 pp. Opublicerat.
- Geotomo Software., 2012: RES2DINVx32 ver. 3.71 with multi-core support. Geotomo Software Malaysia. 157 pp.
- Hellmark, S. & Ander, K. E., 2006: Helsingborgs stadslexikon. Helsingborgs lokalhistoriska förening.
- Kihlén, R., 2013: Geofysiska resistivitetsmätningar i Sjöcrona Park, Helsingborg, undersökning av områdets geologiska egenskaper samt modellering i GeoScene3D. Examensarbete 15 hp. Geologiska Institutionen, Lunds Universitet.
- Lundkvist, A., 2013: Markteknisk Undersökningsrapport Sjöcrona Park. Sweco Infrastructure AB. 14 pp. Opublicerat.
- Reynolds, J. M., 1997: An introduction to applied and environmental geophysics. Wiley. 796 pp.
- Sivhed, U. & Wikman, H., 1986: Beskrivning till Bergartskartan HELSINGBORG SV. Uppsala. 108 pp.
- Stadsbyggnadsförvaltningen Helsingborgs Stad 2011: Planogram för fastigheten Folkparken 1 m fl När lunda, Helsingborgs Stad. 16 pp.
- Sundelin, U., 1925: Hälsingborgstraktens geologiska historia. 70 pp.
- Sveriges Geologiska Undersökning (SGU)., 1974: Jordartskartan HELSINGBORG SV Skala 1:50 000. Serie Ae, nr 16. Stockholm.
- Sveriges Geologiska Undersökning (SGU)., 1986: Strukturgeologiska kartan 3C HELSINGBORG SV Skala 1:50 000. Serie Af, nr 149. Uppsala.
- Söderström, M., 2010: Interpolerade markkartor – några riktlinjer. Institutionen för mark och miljö. Precisionsodling och pedometri. Teknisk rapport nr 21. Skara. 20 pp.

Källor från Internet

ArcGIS Resources. 2013: How Inverse Distance Weighted (IDW) works. Hämtad 2013-05-14. http://webhelp.esri.com/arcgisDEsktop/9.3/index.cfm?TopicName=How_Inverse_Distance_Weighted_%28IDW%29_interpolation_works

Helsingborgs Stad, PEAB, HSB, Riksbyggen. 2013: Sjöcrona Park. Hämtad 2013-03-15. www.sjocronapark.se/

I-GIS. 2013: GeoScene3D. Hämtad 2013-04-10. www.i-gis.dk/GeoScene3D/tabid/62/language/dan-DK/Default.aspx

Ledningskollen. Hämtad 2013-04-29. www.ledningskollen.se/

National Center for Geographic Information and Analysis, University of California. 2013: Inverse Distance Weighting. Hämtad 2013-05-14. ncgia.ucsb.edu/pubs/spherekit/index.html

Sundspärlan. 2013: Vår Historia. Hämtad 2013-04-10. www.sundsparlan.se/sv/om-oss

Bilder

Bergartskartan, jordartskartan och grundvattenkartan över Helsingborg kommer från SGU:s kartgenerator. Hämtad 2013-04-29. http://maps2.sgu.se/kartgenerator/maporder_sv.html

Helsingborgskarta. Hämtad 2013-05-08. http://www.matton.se/map_extend.php?i=7239

Karta över Sjöcrona Park. Hämtad 2013-04-29. Google Earth.

Omslagsbild över Sjöcrona Park. Stadsbyggnadsförvaltningen Helsingborgs Stad 2011: Planogram för fastigheten Folkparken 1 m fl Närlunda, Helsingborgs Stad. 16 pp.

Stor Sverigekarta. Hämtad 2013-05-08.
<http://www.val.se/val/val2010/rostmottagning/fortidsrostning/rike/>

Översiktsbild över Sjöcrona Park med borrpunkter och profillägen. Redigerad efter Lantmäteriet [i2012/927].

Muntlig kontakt

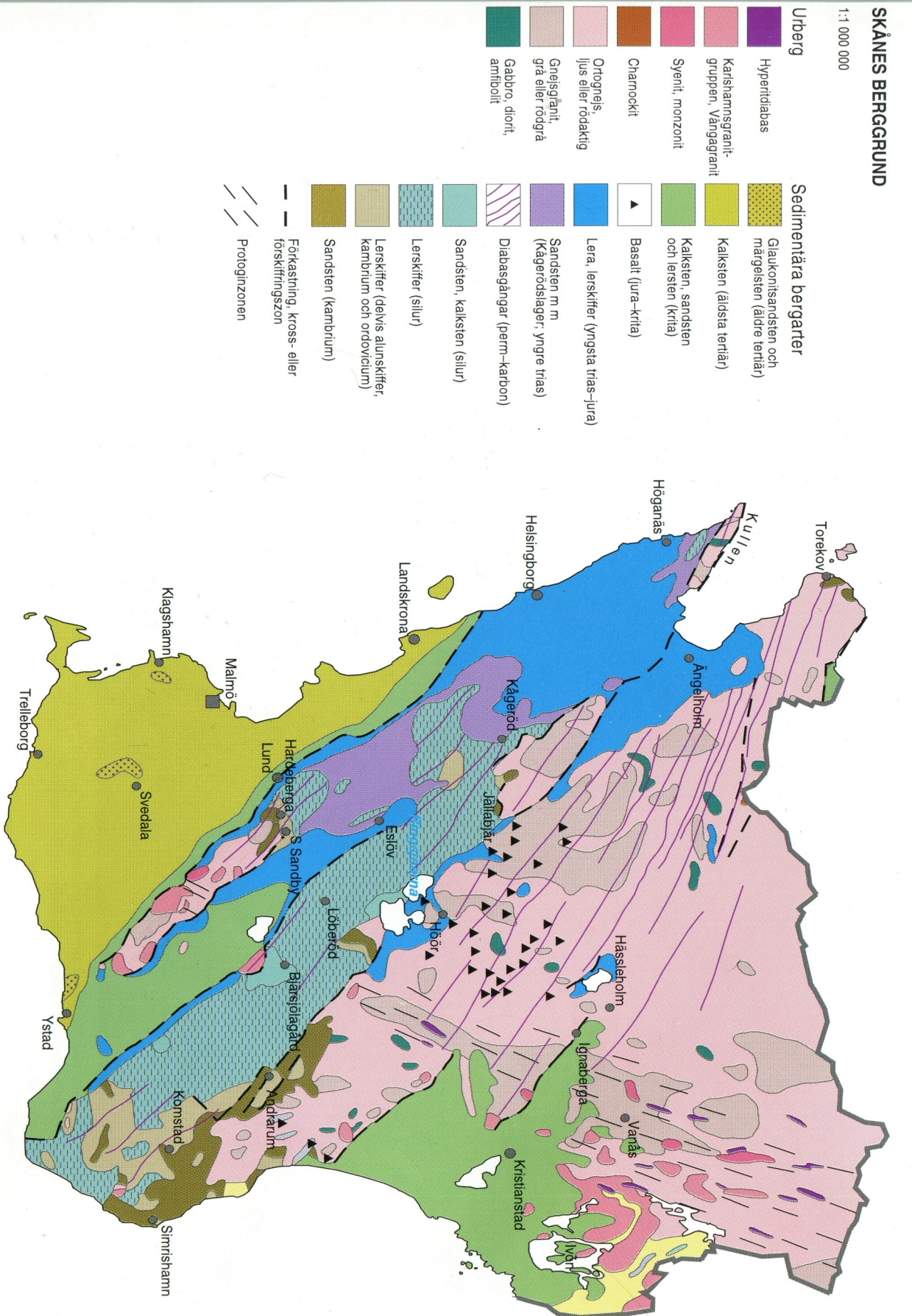
Bo Bergman, Sweco Environment AB, 2013-05-06.

Mattis Johansson, Sweco Environment AB, 2013-05-06.

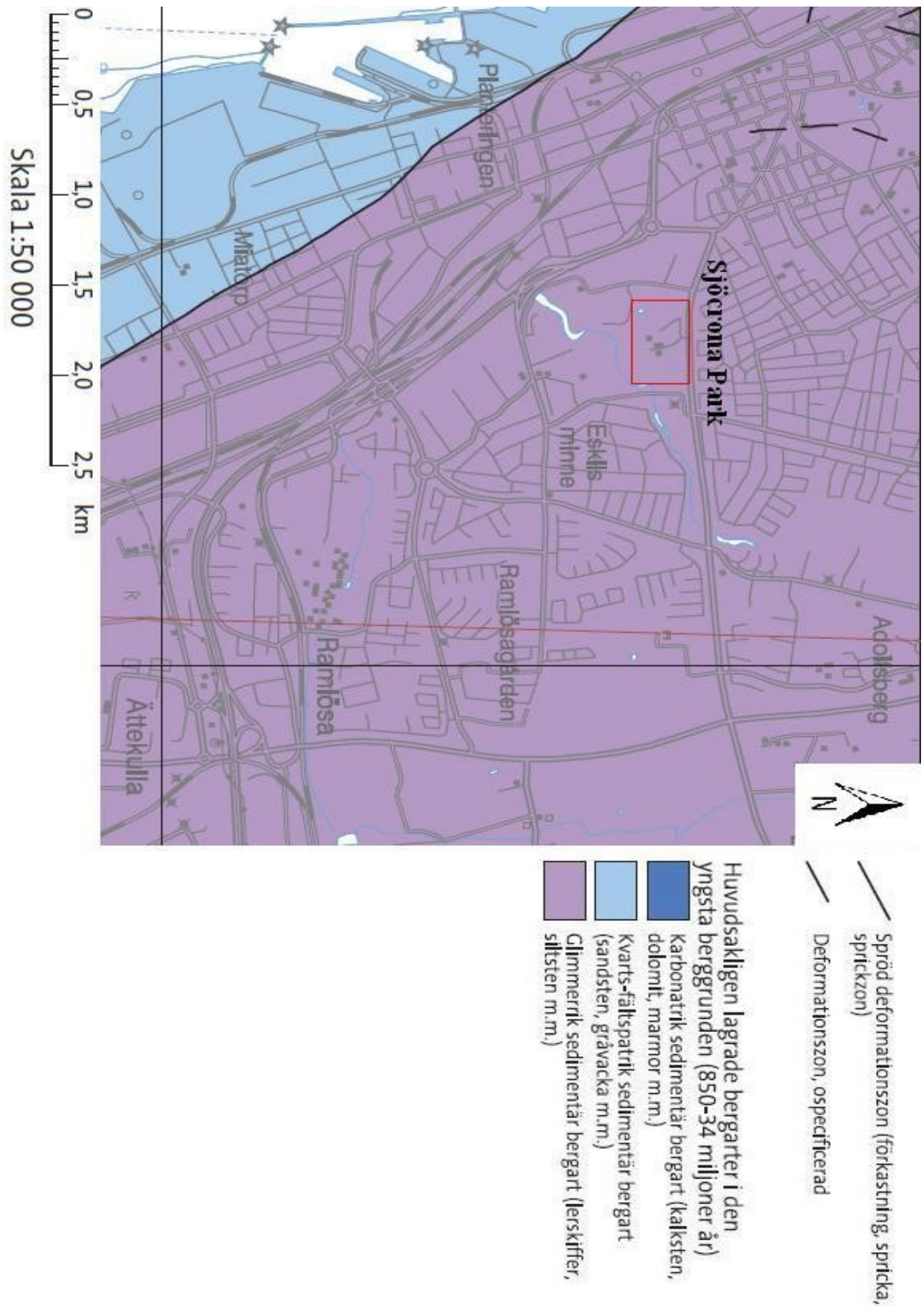
Bilaga 1: Översiktsbild Sjöcrona Park



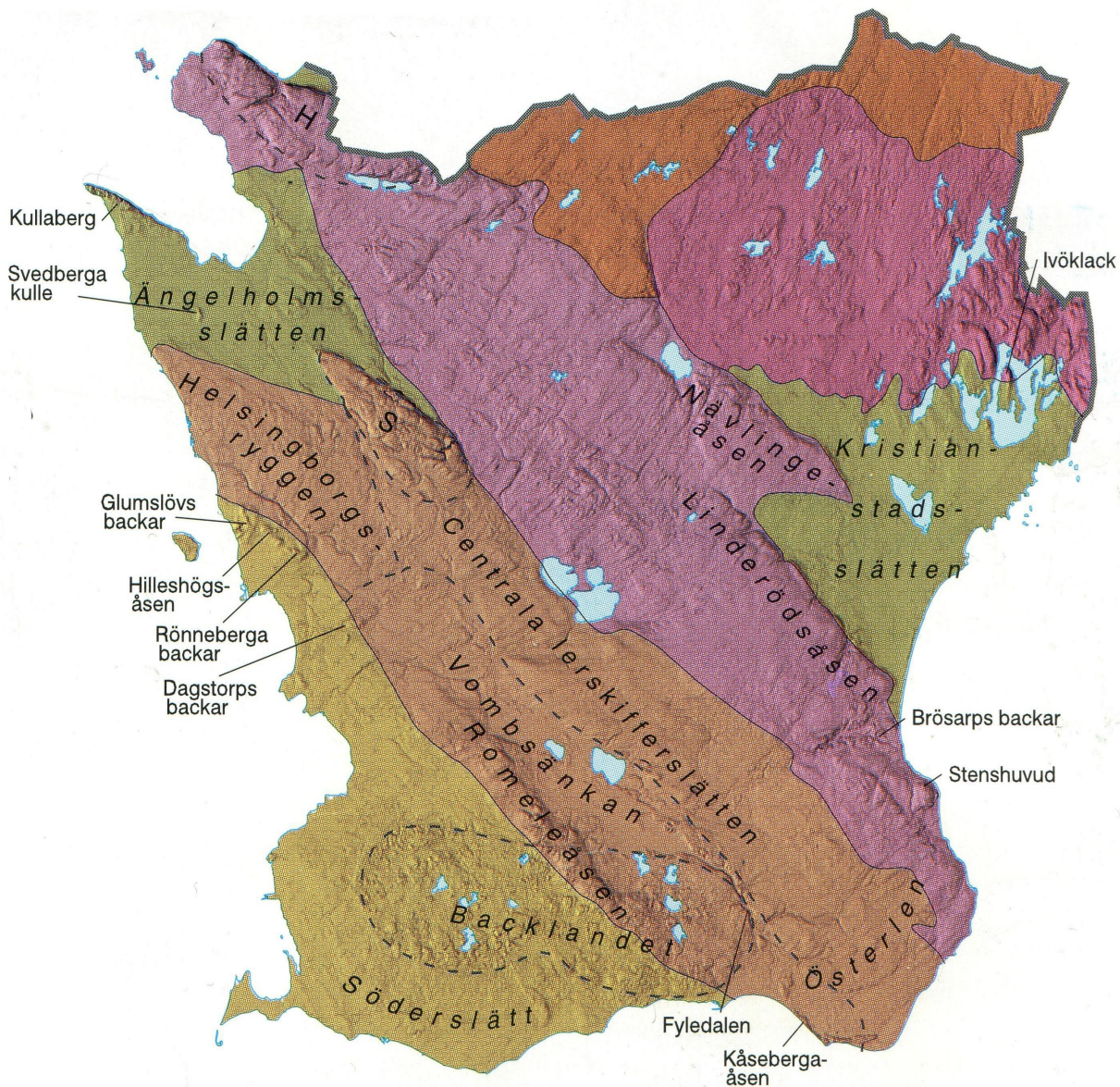
Bilaga 2: Bergartskarta över Skåne



Bilaga 3: Bergartskarta över Helsingborg









Bilaga 4: Helsingborgsryggens utbredning



LANDFORMER

1:1 250 000

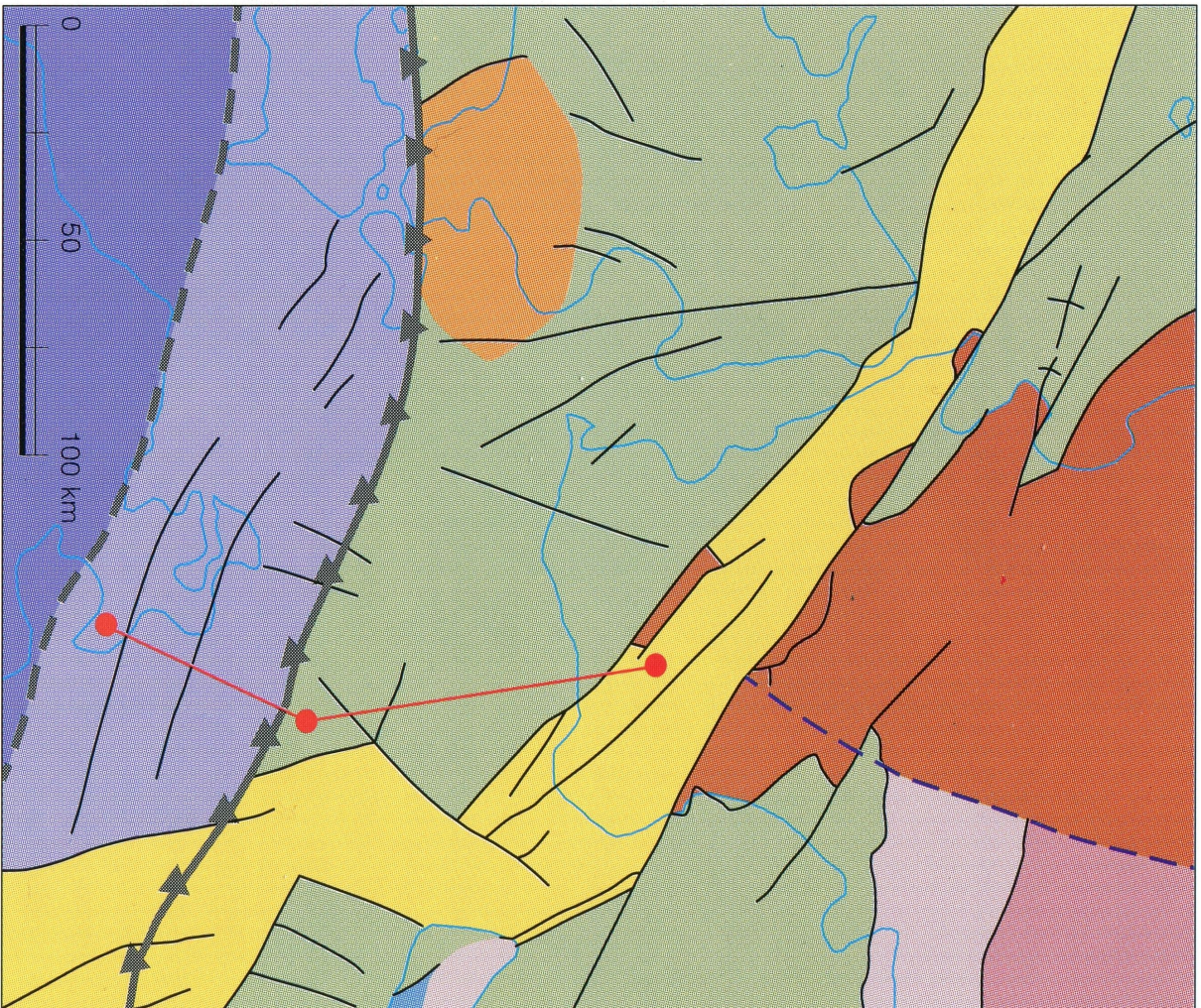
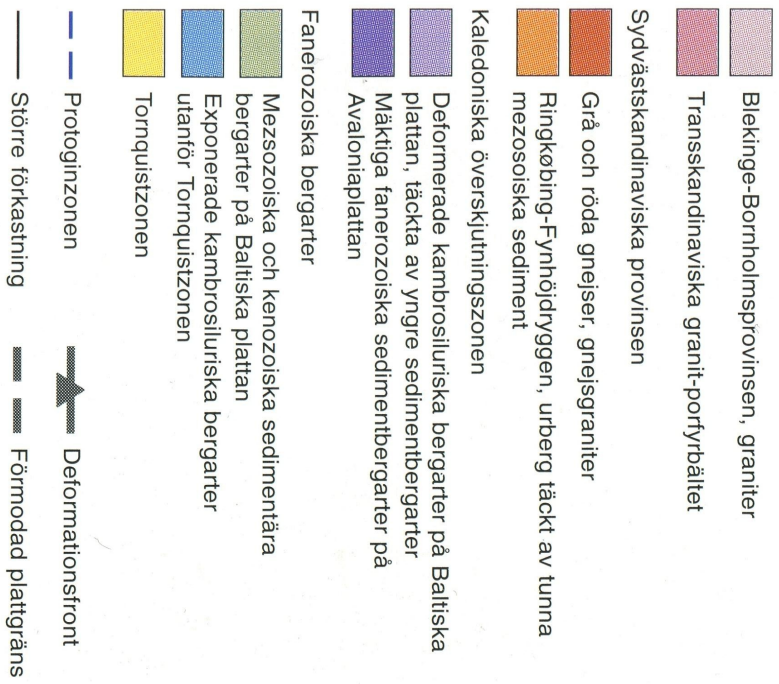
-  1. Slättlandskap och böljande moränkullar
-  2. Horstar och gravsänkor
-  3. I huvudsak urbergsterräng med horstar; Centralt ett småkuperat område med landformer från jura (vulkankupper)
-  4. Ängelholms-, Kristianstads- och Laholmslätten
-  5. Storkuperat område med urbergskullar från krita
-  6.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

H Hallandsås

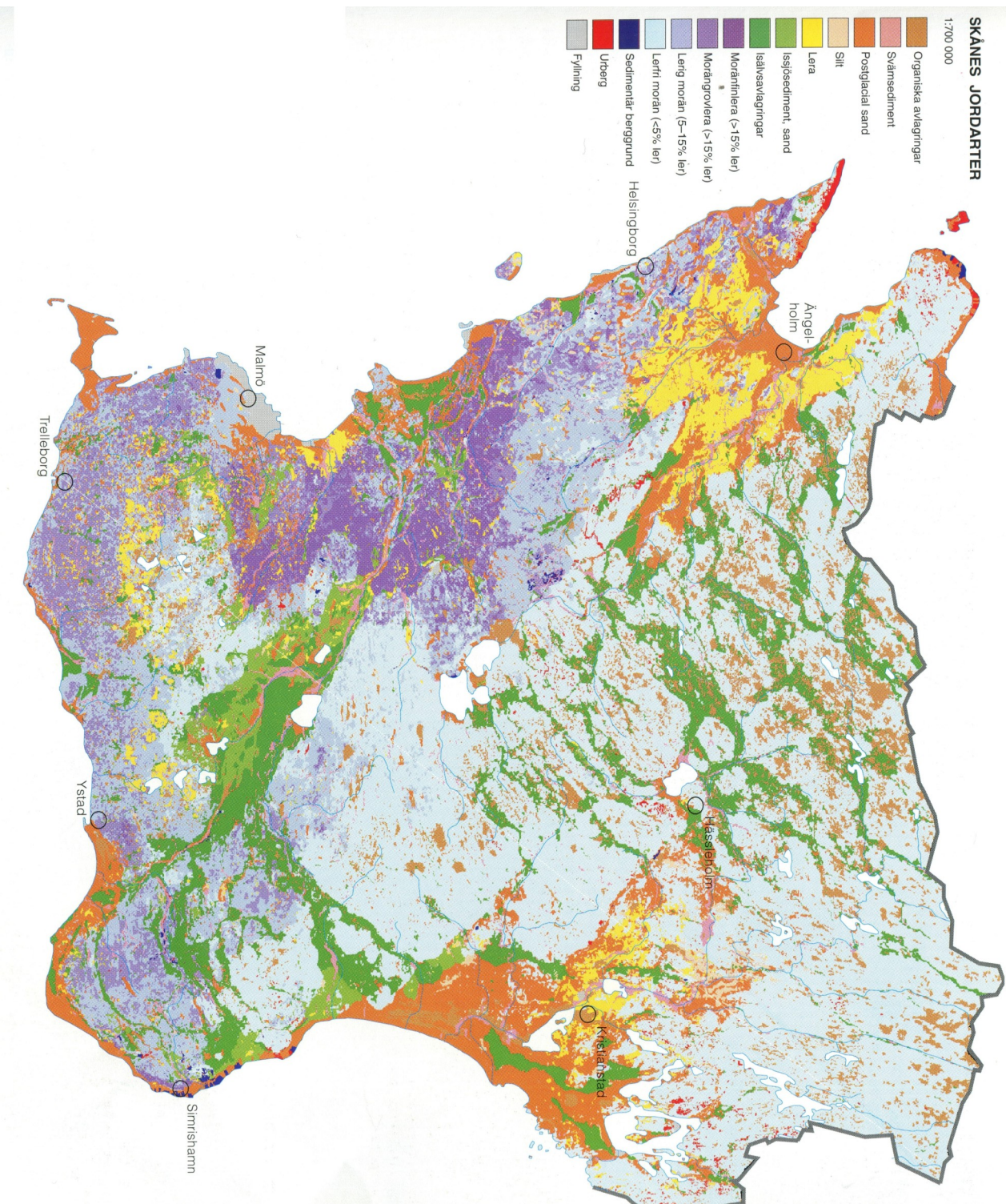
S Söderåsen

Bilaga 5: Tornquistzonens utbredning

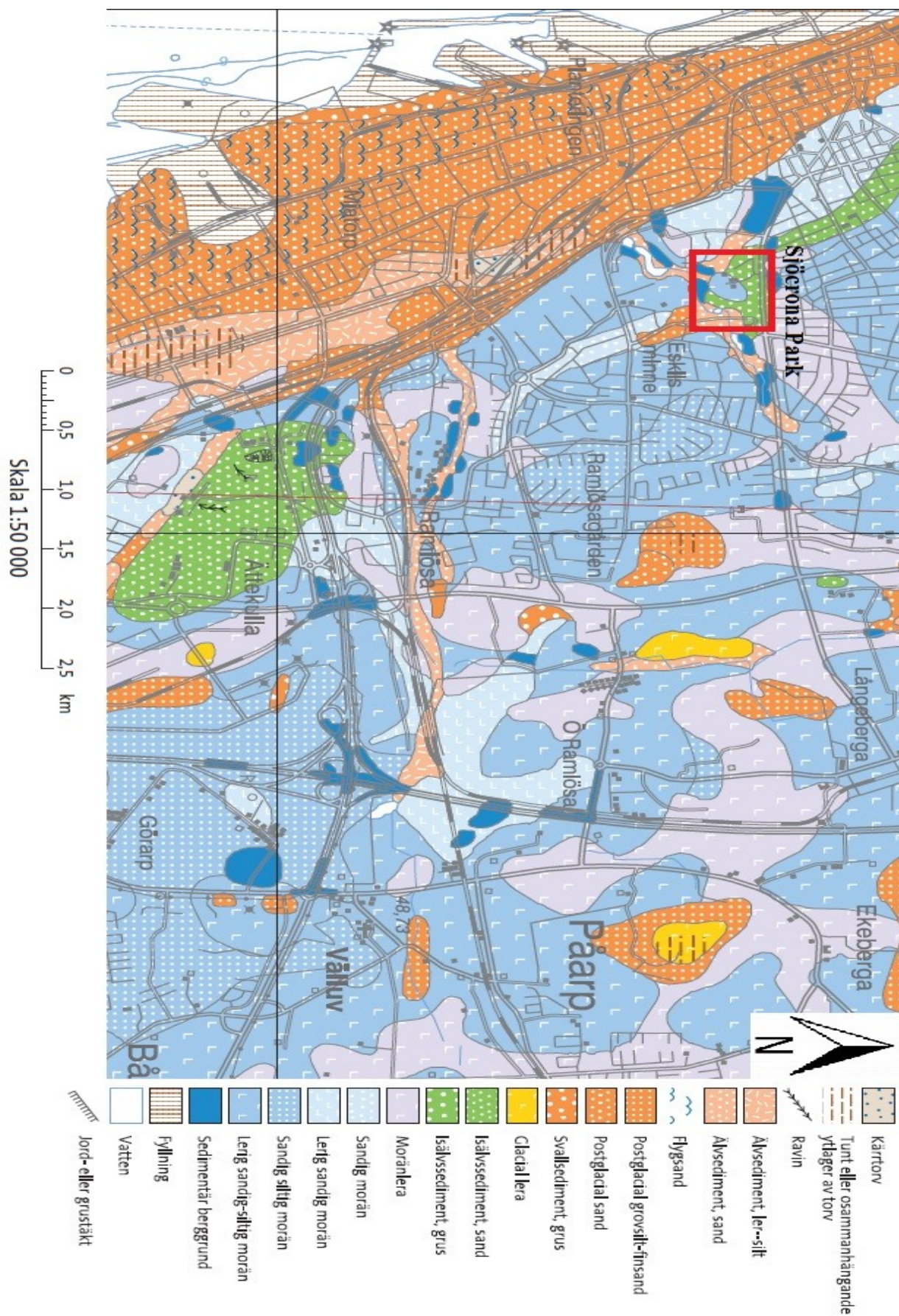
BERGARTSPROVINSER OCH SPRICKZONER



Bilaga 6: Jordartskarta över Skåne



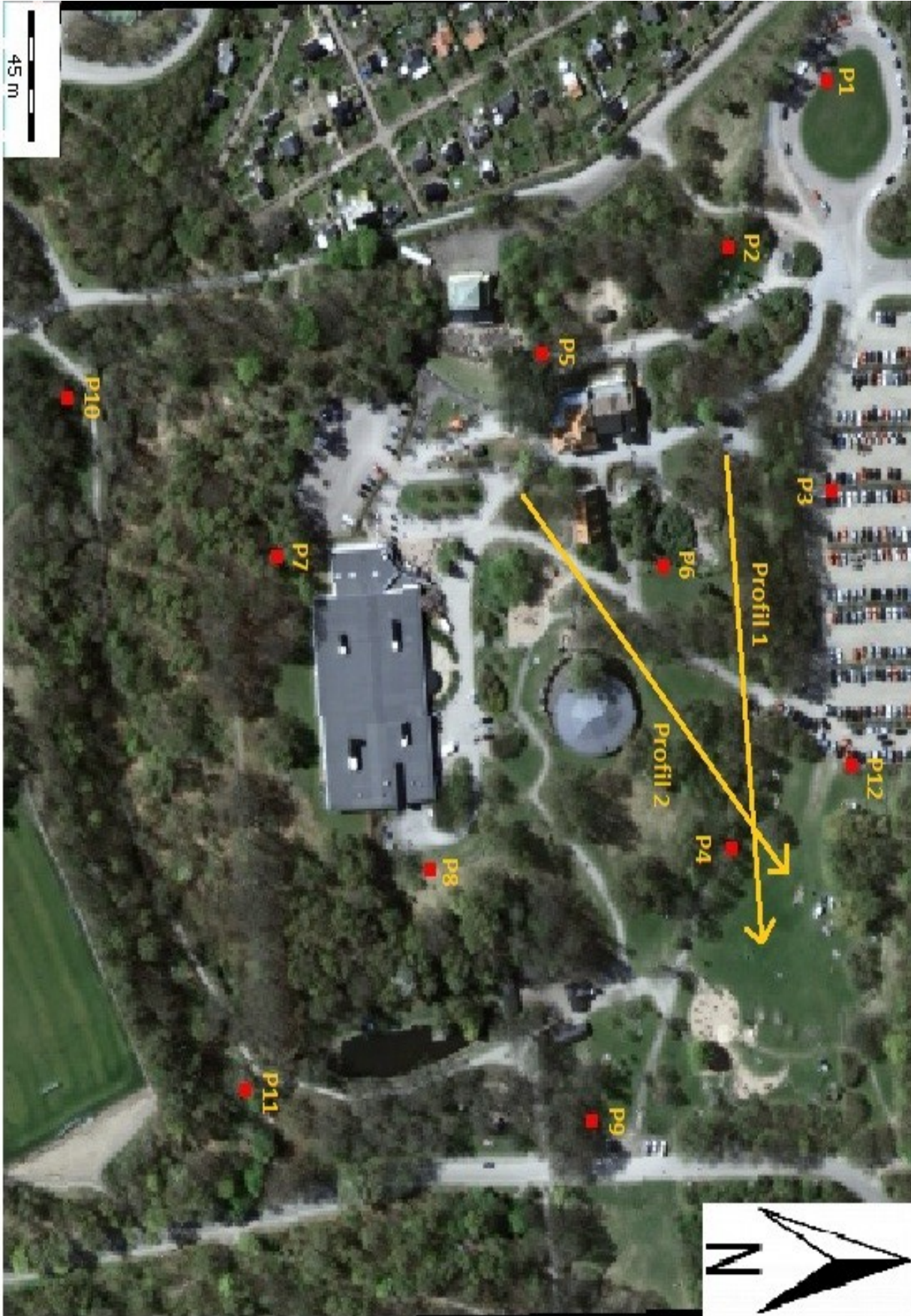
Bilaga 7: Jordartskarta över Helsingborg



Bilaga 8: Grundvattenkarta över Helsingborg



Bilaga 9: Översigtsbild Sjöcrona Park med profillägen och geotekniska borrh punkter



Bilaga 10: Inversionsparametrar för RES2DINV

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 modelling? (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 modelling (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=QUINTIPLE)
 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)
 0.50
 Combined Combined Marquardt and Occam inversion (0=Not used,1=used)
 0
 Type of optimisation method (0=Gauss-Newton, 2=Incomplete GN)
 2
 Convergence limit for Incomplete Gauss-Newton method (0.005 to 0.05)
 0.005
 Use data compression with Incomplete Gauss-Newton (0=No,1=Yes)
 0
 Use reference model in inversion (0=No,1=Yes)
 1
 Damping factor for reference model (0.0 to 0.3)
 0.01000
 Use fast method to calculate Jacobian matrix. (0=No,1=Yes)
 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 consistent with the geometric factor (0=No, 1=Yes)
0
Shift the electrodes to round up positions of electrodes (0=No, 1=Yes)
0
Use difference of measurements in time-lapse inversion (0=No,1=Yes)
1
Use active constraint balancing (0=No,1=Yes)
0
Type of active constraints (0=Normal,1=Reverse)
0
Lower damping factor limit for active constraints
0.4000
Upper damping factor limit for active constraints
2.5000
Water resistivity variation damping factor
8.0000

Bilaga 11: Protokoll över de geotekniska borrhningarna

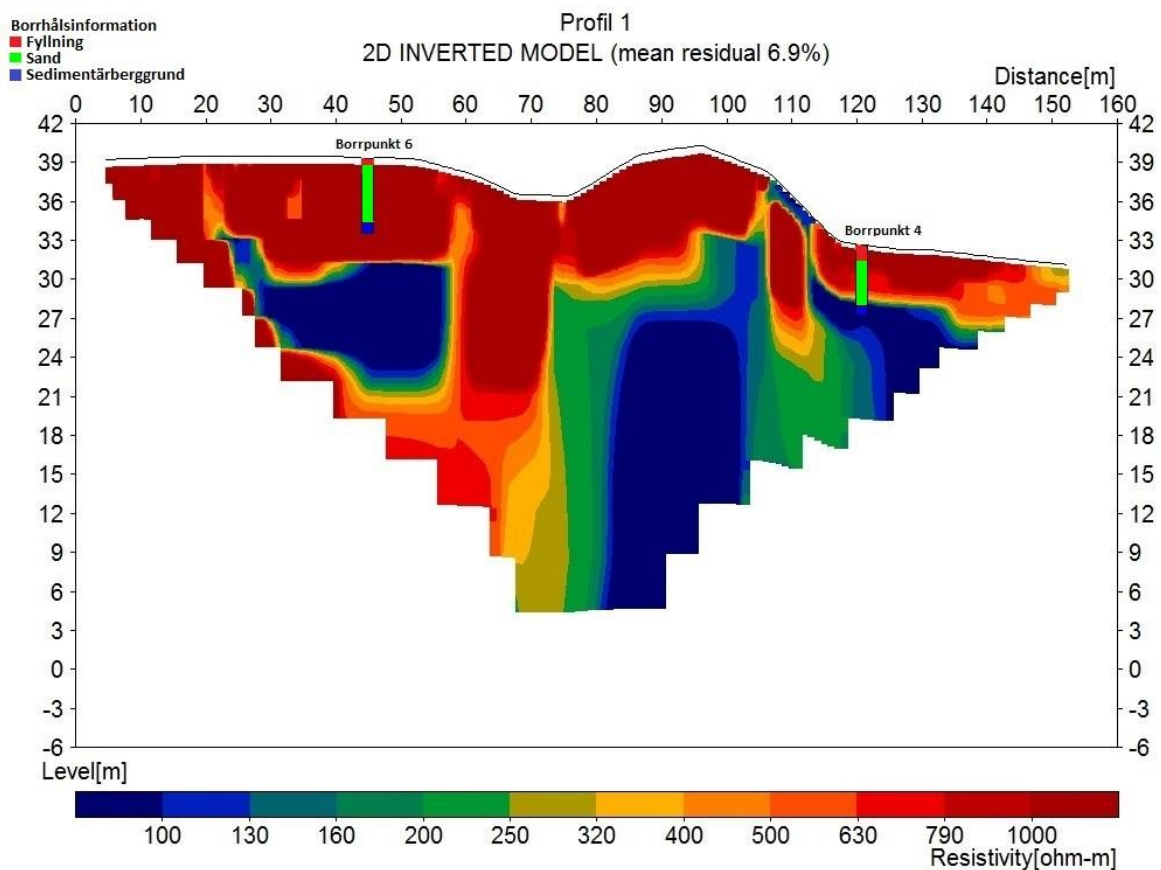
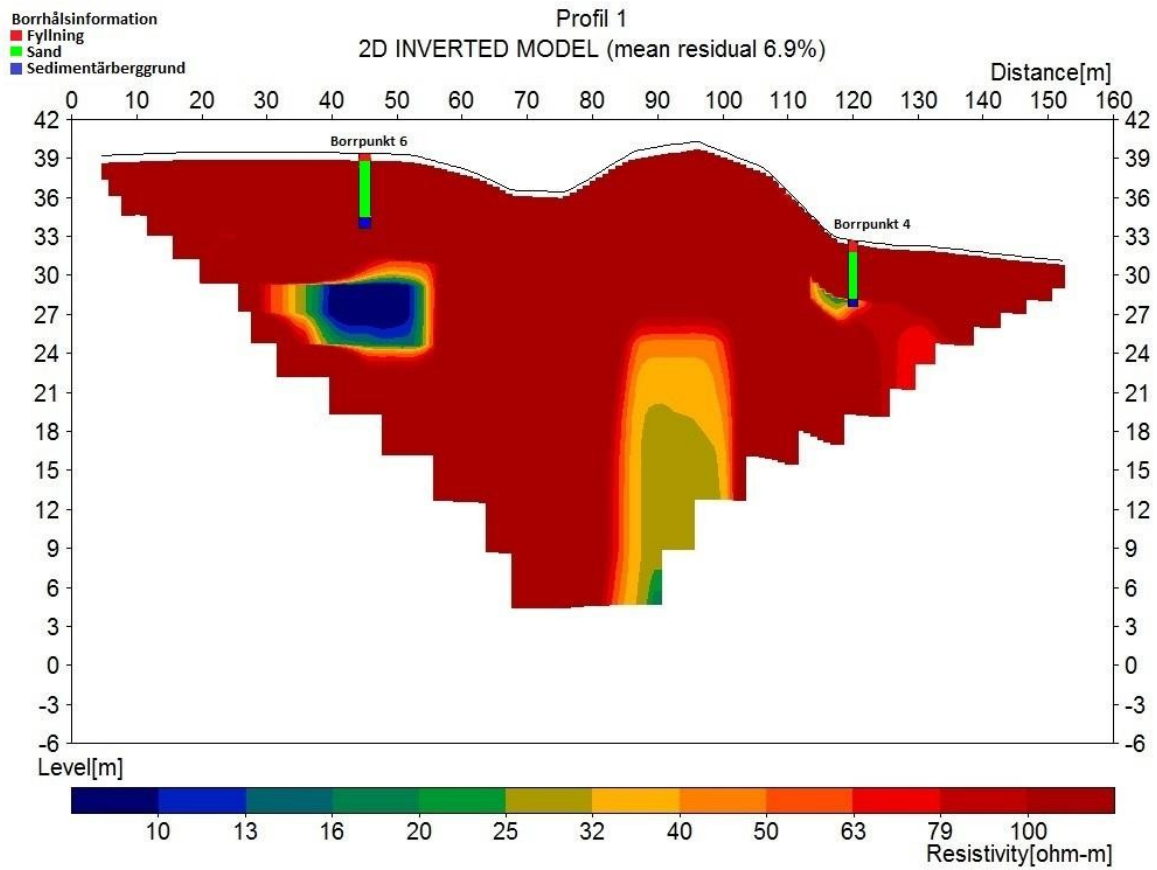
Borrpunkt	Marknivå/djup under markyta (m)	Jordart	Grundvattenyta (m över havet) datum
1	+31,6		+27,9 (30/1-13)
	0-0,35	Fyllning – något mullhaltig, något grusig Sand	+27,8 (20/2-13)
	-1,5	Fyllning – något grusig Sand	
	-3,2	Sand	
	-3,7	Något stenig Finsand	
	-5,4	Något grusig Sand	
	-6,0	Finsand	
	-6,6	Grusig Sand ¹	
2	+34,8		+25,8 (30/1-13)
	0-0,25	Fyllning – något mullhaltig Sand	+25,8 (20/2-13)
	-2,0	Fyllning – Sand och Lera	
	-9,3	Sand ¹	
3	+32,5		+27,8 (30/1-13)
	0-0,6	Fyllning – något grusig Sand	
	-3,0	Sand	
	-6,4	Finsand ¹	
4	+31,8		+28,3 (30/1-13)
	0-1,15	Något mullhaltig Sand	+28,4 (20/2-13)
	-5,5	Sand	
	-6,0	Sedimentärt Berg ²	
5	+37,6		
	0-0,55	Fyllning – något mullhaltig Sand	
	-5,5	Sand ¹	
6	+39,3		
	0-0,45	Något mullhaltig Sand	
	-5,6	Sand	
	-6,3	Sedimentärt berg	

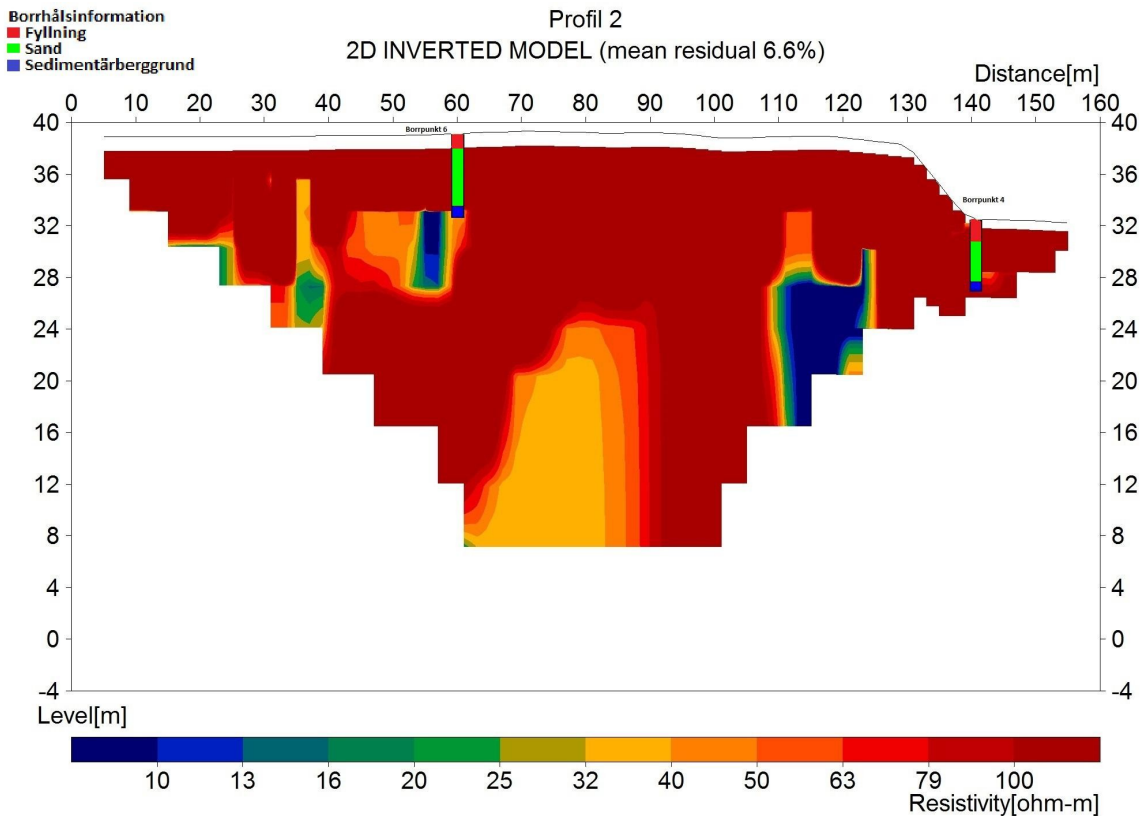
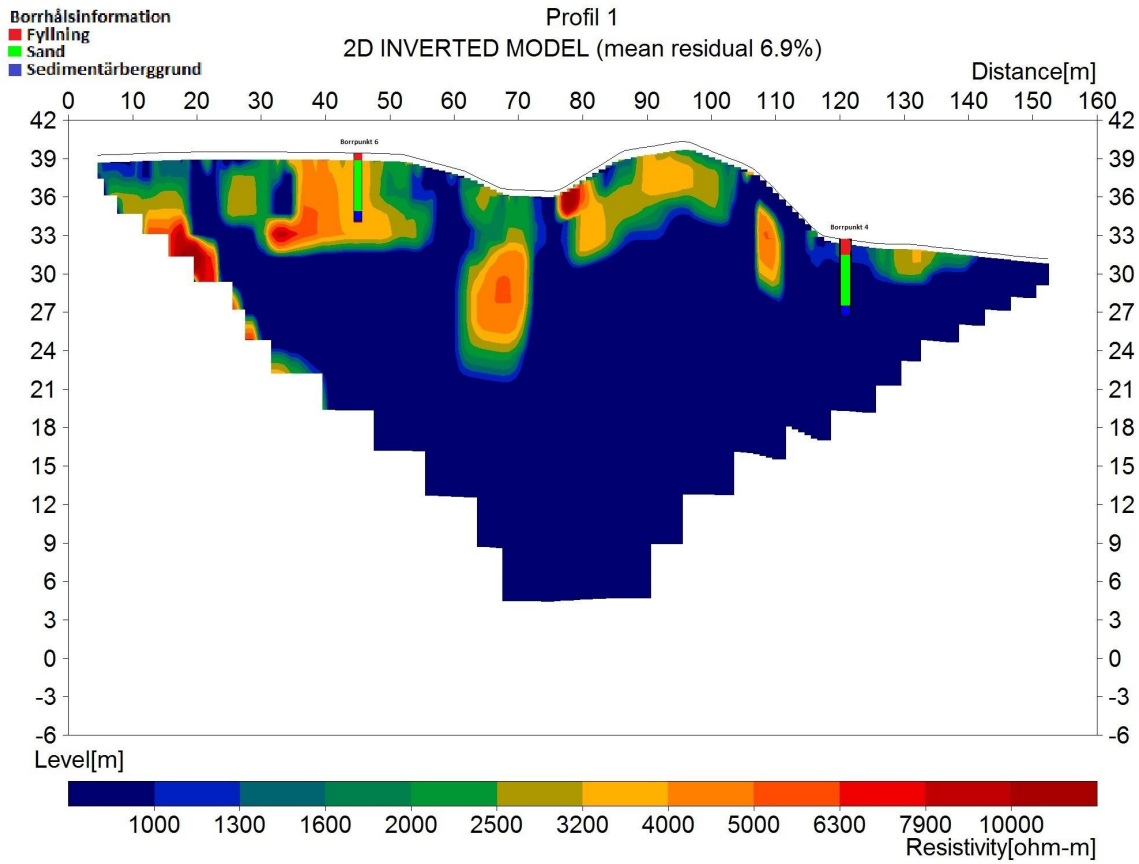
Borrpunkt	Marknivå/djup under markyta (m)	Jordart	Grundvattenyta (m över havet) datum
7	+38,6		
	0-1,2	Något grusig Sand	
	-3,75	Sedimentärt berg ²	
8	+36,4		
	0-0,15	Något mullhaltig Sand	
	-0,85	Sand	
	-1,45	Sedimentärt Berg ²	
9	+25,7		25,5 (30/1-13)
	0-0,9	Fyllning – något grusig Sand med rester av tegel	
	-1,8	Fyllning – grusig lerig Sand	
	-2,5	Något grusig lerig Sand	
	-3,2	Sedimentärt Berg	
10	+18,0		+16,8 (30/1-13) +16,5 (30/1-13)
	0-1,1	Något mullhaltig siltig Sand	
	-1,3	Lera	
	-2,7	Sedimentärt Berg ²	
11	+23,6		+22,9 (30/1-13) +22,8 (20/2-13)
	0-0,15	Något mullhaltig Sand	
	-1,45	Sand	
	-1,8	Sedimentärt Berg ²	
12	+33,0		+28,4 (30/1-13) +28,4 (20/2-13)
	0-0,5	Fyllning – stenig Sand	
	-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 ²		

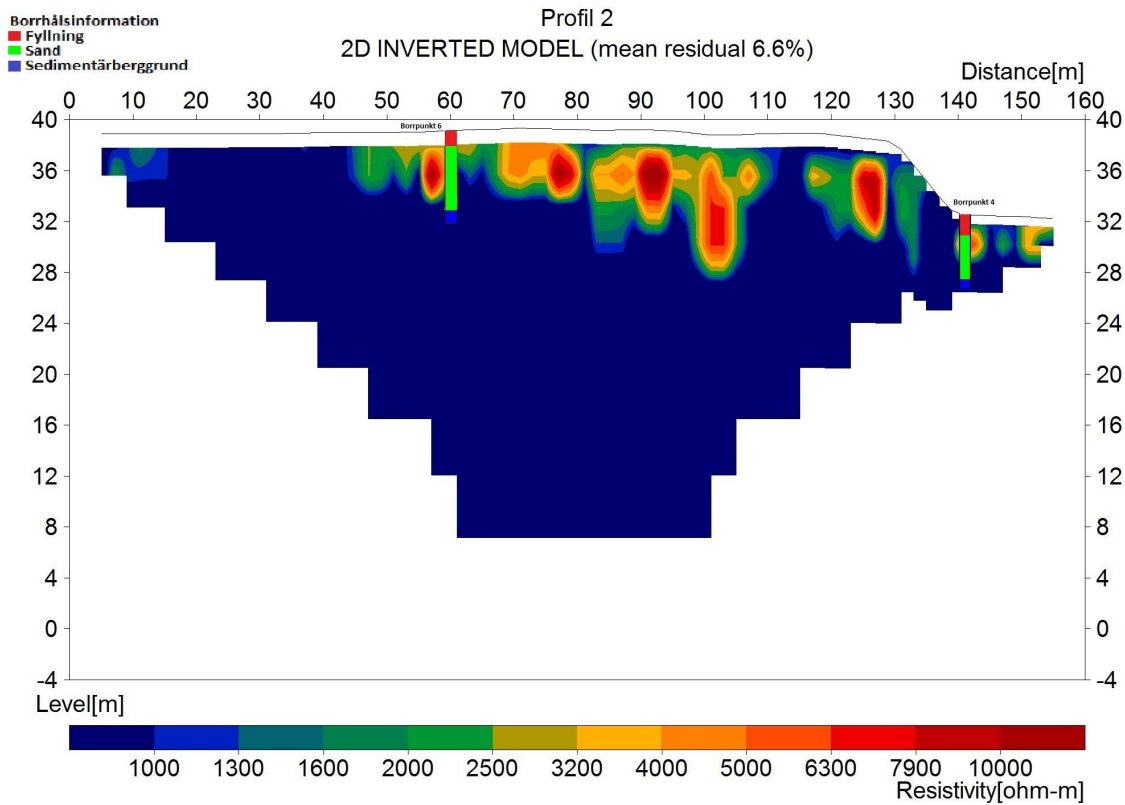
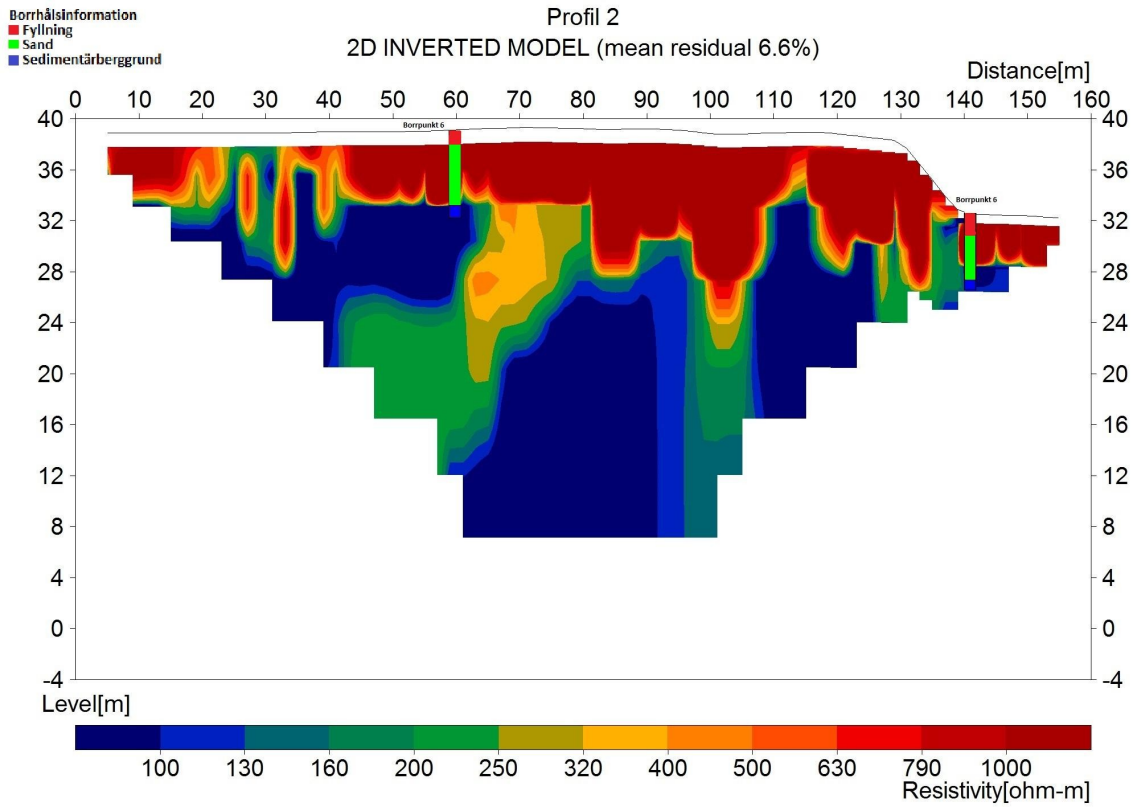
¹ Skruven kan ej neddrivas ytterligare enligt för metoden normalt förfarande.

² Stopp i förmodat berg.

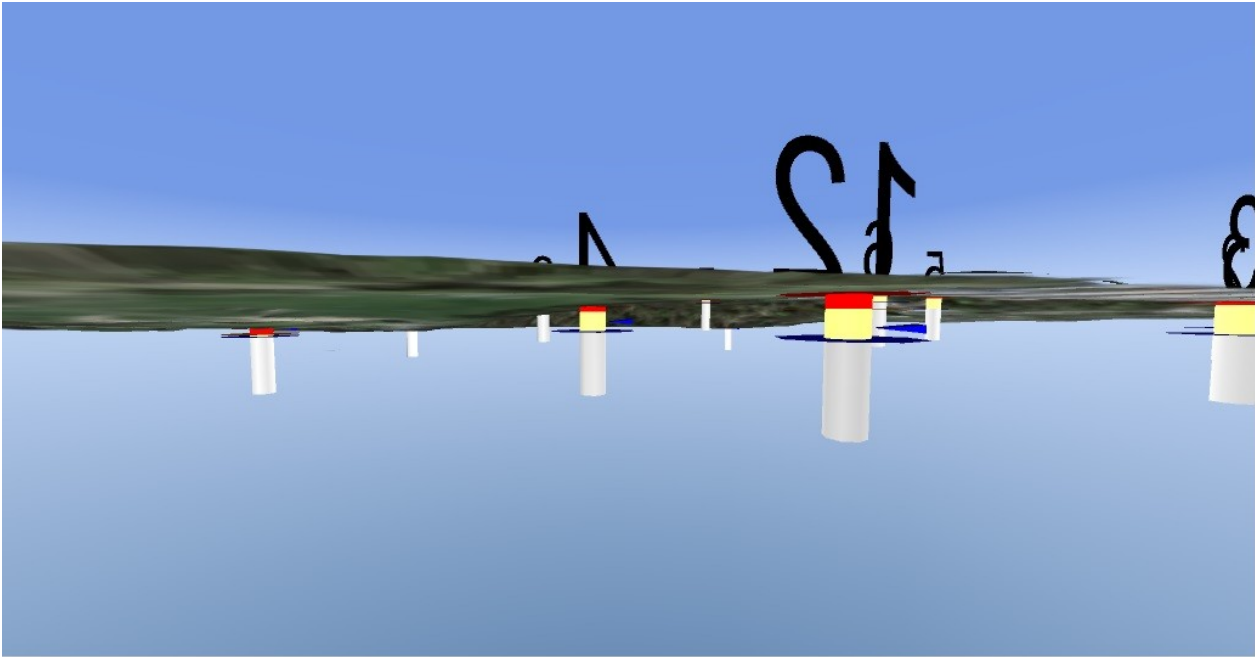
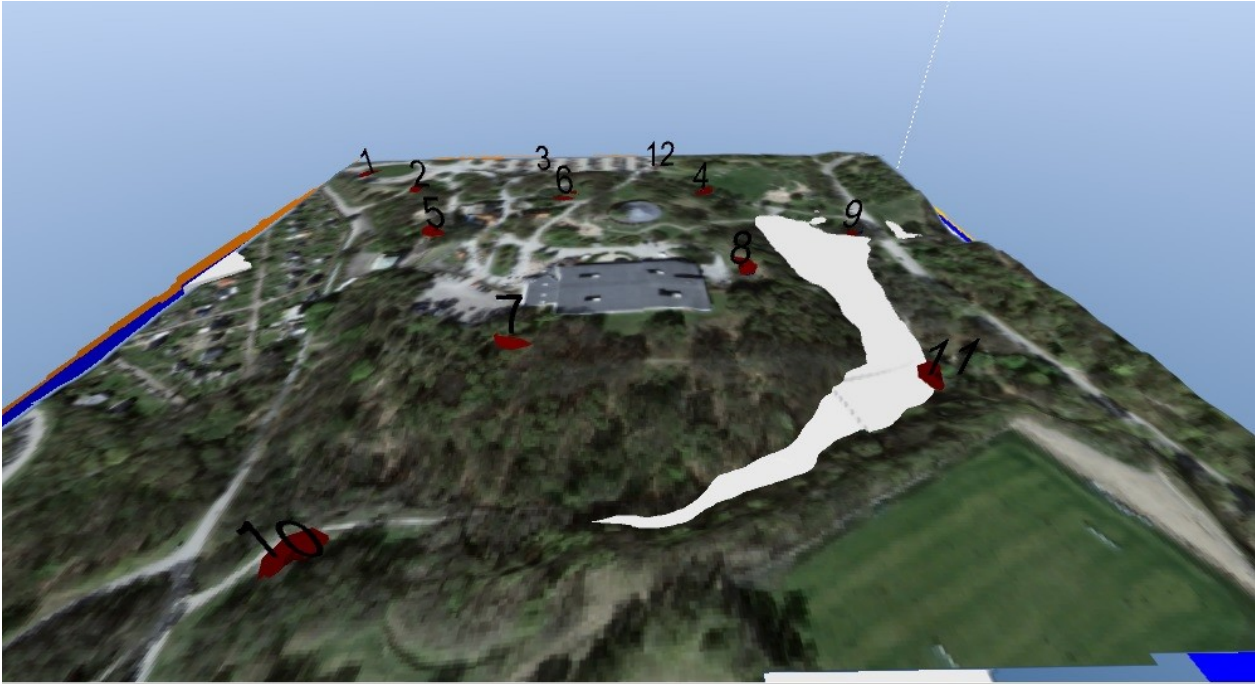
Bilaga 12: Resistivitetmätningar för profil 1 och 2







Bilaga 13: Översiktsbild över 3D-modellen i GeoScene3D (ovanifrån och underifrån)



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

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 oncoïd 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: Resistivitetsmätningar 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 resistivitetsmätningar i Sjöcrona Park, Helsingborg, undersökning av områdets geologiska egenskaper samt 3D modellering i GeoScene3D. (15 hp)
341. Linders, Wictor, 2013: Geofysiska IP-undersökningar och 3D-modellering av geofysiska samt geotekniska resultat i GeoScene3D, Sjöcrona Park, Helsingborg, Sverige. (15 hp)



LUNDS UNIVERSITET

Geologiska institutionen
Lunds universitet
Sölvegatan 12, 223 62 Lund