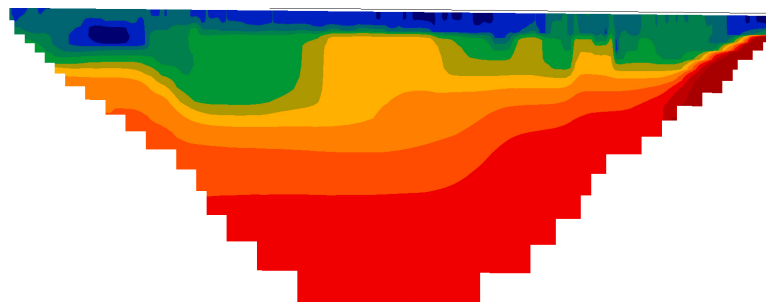


Resistivetsmätningar för avgränsning av lakvattenplym från Kejsarkullens deponis infiltrationsområde

Elin Hultin Eriksson

Examensarbeten i geologi vid Lunds universitet,
kandidatarbete, nr 328
(15 hp/ECTS credits)



Geologiska institutionen
Lunds universitet
2013

Resistivitetmätningar för avgränsning av lakvattenplym från Kejsarkullens deponis infiltrationsområde

Kandidatarbete
Elin Hultin Eriksson

Geologiska institutionen
Lunds universitet
2013

Innehållsförteckning

1 Inledning	5
1.1 Problembakgrund	5
1.2 Problemformulering	5
1.3 Mål och syfte	5
1.4 Avgränsning	5
1.5 Disposition	5
2 Bakgrund	6
2.1 Kejsarkullens deponi	6
2.2 Provtagningar vid Kejsarkullens deponi	6
2.3 Geologi	7
2.3.1 Berggrund	7
2.3.2 Kvärtära avlagringar	7
2.3.3 Hydrogeologi	9
3 Teori	9
3.1 Deponier och lakvattensammansättning	9
3.1.1 Aeroba fasen	9
3.1.2 Anaeroba fasen	9
3.1.3 Metanogena fasen	10
3.1.4 Humusbildande fasen	10
3.2 Rening av lakvatten	10
4 Metod	10
4.1 Teoretiskt förarbete	10
4.2 Resistivitet	10
4.3 Modellering i teorin	12
4.4 Elektroduppställningar	14
4.5 Fältundersökning	14
4.5.1 Resistivitetsmätningar	14
4.6 Analys av data	14
5 Resultat och tolkningar	14
5.1 Modelleringsresultat	14
5.2 Tolkning	19
5.2.1 Linje 1	19
5.2.2 Linje 2	19
5.2.3 Linje 3	19
5.2.4 Linje 4	21
6 Diskussion	21
6.1 Tolkning	21
6.2 Felkällor	22
7 Slutsatser	22
8 Tack	23
Referenser	23
Bilagor	25

Omslagsbild:

Resistivitetmätningar för avgränsning av lakvattenplym från Kejsarkullens deponis infiltrationsområde

ELIN HULTIN ERIKSSON

Hultin, E. E., 2013: Resistivitetmätningar för avgränsning av lakvattenplym från Kejsarkullens deponis infiltrationsområde. *Examensarbeten i geologi vid Lunds universitet*, Nr. 328, 30 sid. 15 hp.

Sammanfattning: Kejsarkullens deponis lakvatten renas genom naturlig infiltration i en moränavlagring. Infiltrationsområdet har använts under en lång tid och Hultsfreds kommun har ställt frågan om marken är mättad på föroreningar samt om ett nytt mottagningsområde behövs. Målet med detta examensarbete var att lokalisera lakvattenplymens flödesväg i syftet att underlätta för kommunen att i ett senare skede bestämma var jordprover bör placeras för att utvärdera om marken är mättad på föroreningar. Lokaliseringen gjordes med hjälp av en geofysisk undersökningsmetod, resistivitet. Resistivitetmätningar utnyttjar olika materials varierande förmåga att leda elektricitet där lakvatten påvisas som lågresistiva områden. Detta beror på lakvattnets höga jonhalt ökar ledningsförmågan. Genom tidigare studier är lakvattnets flödesriktning känd varpå resistivitetslinjer lades vinkelrätt mot flödet för att avgränsa utbredningen i horisontalld. Efter modellering kunde en avgränsning av lakvattenplymen ske med en viss osäkerhet i resistivitetsprofilen längst bort från infiltrationsområdet. Anledningen till denna osäkerhet var att låga resistivitetvärden återfanns i kanterna på profilen därför kunde lakvattenplymens utbredning i horisontalld ej bestämmas. En resistivitetslinje lades även vid ett observationsrör i syftet att undersöka om märkliga provresultat beror på lakvattenpåverkan. Misstankarna om en lakvattenpåverkan vid observationsröret dementerades utifrån resultaten av resistivitetsundersökningen. Tidigare uppfattningar om att berggrunden lokalt är sprickig bör omvärderas då undersökningen visar på en sprickfri berggrund. Detta ger troligen till följd att en mindre mängd lakvatten jämfört med tidigare antaganden transporteras i sprickor i berggrunden.

Nyckelord: Geofysik, resistivitet, lakvatten, infiltration, naturlig infiltration, deponi

Handledare: Per Möller och Bertil Sundlöf

Ämnesinriktning: Kvärtärgeologi

Elin Hultin Eriksson, Geologiska institutionen, Lunds universitet, Sölvegatan 12, 223 62 Lund, Sverige. E-post: ehultineriksson@gmail.com

Resistivity measurements for delimitation of leachate from infiltration area at Kejsarkullen landfill

ELIN HULTIN ERIKSSON

Hultin. E., E., 2013: Resistivity measurements for delimitation of leachate from infiltration area at Kejsarkullen landfill. *Dissertations in Geology at Lund University*, No. 328, 30 pp. 15 hp (15 ECTS credits)

Abstract: The leachate from the landfill *Kejsarkullens deponi* is purified by natural infiltration in a moraine deposit. Since the infiltration area has been used for decades, the Municipality of Hultsfred questions whether or not the soil is saturated with pollutants and if a new reception area is needed. To make such an investigation, the flow path of the leachate plume must initially be located. Thereby locations for soil samples can be determined in order to measure if the soil indeed is saturated with pollutants. This study aims to locate the subsurface flow path of the leachate by using a geophysical survey method (resistivity). Different materials have different capacity to conduct electricity. Since leachate is characterized by low resistivity while groundwater has a comparatively higher resistivity, it is thereby possible to distinguish the leachate plume.

The survey was carried out with resistivity measuring at the assumed location of the leachate plume. A resistivity line was also issued near an observation well where deviating water samples had been taken, indicating possible leachate pollution. The geophysical survey resulted in a final flow path, where a diffuse zone separated the leachate from the surrounding groundwater. No leachate could be detected in the observation well.

Keywords: Geophysics, resistivity, leachate, infiltration, landfill, landfill leachate

Elin Hultin Eriksson, Department of Geology, Lund University, Sölvegatan 12, SE-223 62 Lund, Sweden. E-mail: ehultineriksson@gmail.com

1 Inledning

I detta kapitel presenteras bakgrunden till problemet samt denna studies problemformulering, syfte, mål och avgränsningar.

1.1 Problembakgrund

På grund av vår nuvarande befolkningsmängd och mängden avfall vi producerar är det nödvändigt att människans avfall koncentreras till bestämda platser såsom deponier och soptippar. Detta görs för att avfallet inte ska spridas okontrollerat i samhällen och naturen. Ett liknande problem uppkommer dock i och med att föroreningar läcker ut från deponier till omgivningen med bland annat lakvatten det vill säga vatten kontaminerat av ämnen från avfall. Kontaminationen kan ske på olika sätt såsom infiltration av regnvatten i deponin, inträngning av grund- och ytvatten i deponin eller då vatten från vattenfylt avfall pressas ut från deponin. Den kemiska sammansättningen på lakvattnet beror på avfallens kemiska karaktär medan mängden lakvattenbildning påverkas av flera parametrar; temperatur i deponin, mängden tillfört vatten från avfall samt mängden nederbörd (Naturvårdsverket, 2008a).

Äldre deponier är i normala fall extremt heterogena då man tidigare lade mindre vikt på kontroll av vilket slags avfall som deponerades. Detta gör att sammansättningen på lakvattnet kan skilja sig i olika delar av deponin (Rihm, 2010). Enligt Naturvårdsverket (2012) måste lakvatten "... samlas upp och vid behov renas...". Även efter att deponin är nerlagd får inte lakvatten spridas okontrollerat i naturen utan måste renas vid behov (Naturvårdsverket, 2008b). Varför lagen sattes i drift är förstäligt då det förr rådde en omedvetenhet om föroreningars negativa påverkan på miljön och därför kan äldre deponier:

- ⇒ ha en sämre konstruktion och därmed sämre möjlighet att förhindra läckage av lakvatten
- ⇒ vara strategiskt dåligt placerad ur topografisk och geologisk synpunkt
- ⇒ vara byggda på jordarter opassande av flera anledningar, till exempel hög genomsläpplighet
- ⇒ ha haft lägre dokumentationsnivå/kontroller på vad som deponerades, vilket gör att lakvattnets sammansättning kan vara extremt miljöfarligt.

Kontroll och rening av lakvatten i äldre, nedlagda eller aktiva deponier är därmed högaktuellt och det krävs ständiga vetenskapliga undersökningar för att optimera effektiviteten av de reningsmetoder som finns idag.

En vanlig metod för att detektera hur lakvatten sprider sig från deponier är geofysiska undersökningar där man bland annat kan se vilken riktning lakvattenplymer flödar samt utbredningen i vertikal och horisontal led. Geofysiska metoder är fungerar som hjälpmedel för att fatta beslut i större frågor och kan även ge un-

derlag för att svara på självständiga problem. Att ha kontroll på lakvattenspridning ger en bättre uppsikt över vilka områden som påverkas samt vilka åtgärder som kan behöva vidtas. I Hultsfred kommun vid Kejsarkullens deponi samlas lakvatten upp och transporteras till ett område där det infiltreras naturligt i marken. Att utröna lakvattenplymens transportväg skulle underlätta för vidare undersökningar för att svara på frågeställningen om ett nytt område behöver väljas för infiltration av lakvattnet.

1.2 Problemformulering

Kejsarkullens deponis infiltrationsområde har under en lång tid använts som recipient för lakvatten och man vill nu utvärdera om marken är mättad på föroreningar. För att få svar på frågan ska lakvattenplymen lokaliserats i syfte att bestämma var jordprover bör tas.

1.3 Mål och syfte

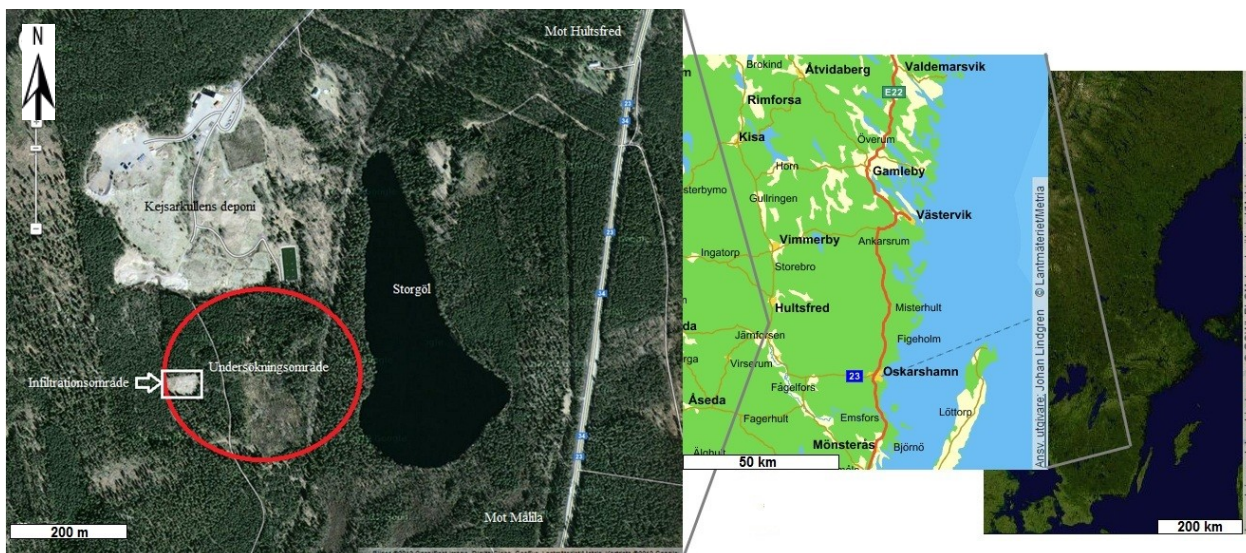
Målet med studien är att identifiera utbredningen av lakvattenplymen nedströms nuvarande infiltrationsområde för Kejsarkullens deponi med hjälp av geofysisk undersökningsmetodik. Studien är en förstudie som ska underlätta Hultsfreds kommuns initiativ att ta jordprover för att kunna utvärdera markens mättnadsgrad av eventuella föroreningar.

1.4 Avgränsning

Den geofysiska undersökningen begränsas till området öster om infiltrationsområdet där lakvattenplymen antas flöda. I ett vattenprov från observationsrör G2 uppmättes avvikande värden, denna studie utvärderar inte vad orsaken eller orsakerna till det störda vattenprovet i G2 är, utan begränsas till att undersöka om lakvatten kan detekteras vid observationsröret med hjälp av en geofysisk undersökning.

1.4 Disposition

Kapitel två ger läsaren en beskrivning av Kejsarkullens deponi och undersökningsområdets geologi samt hydrogeologi. Kapitel tre beskriver hur lakvattnets sammansättning påverkas av en deponis olika faser för att ge läsaren en bakgrund till varför olika reningsmetoder existerar. Kapitel fyra sammanfattar teorin bakom resistivitet samt metodiken kring litteraturstudier och fältarbete. I kapitel fem presenteras resultaten tillsammans med en tolkning av resultaten från den geofysiska undersökningen. Kapitel sex innehåller en diskussion som berör tolkningen samt eventuella felkällor. Kapitel sju beskriver slutsatserna av rapporten.



Figur 1. Översiktlig bild över omgivningen (Modifierad efter Lantmäteriet, 2012 och Lantmäteriet/Metria, 2012).

2 Bakgrund

I detta kapitel beskrivs Kejsarkullens deponi, provtagningar och geologin i området.

2.1 Kejsarkullens deponi

Kejsarkullen deponi är belägen cirka en mil söder om Hultsfred (figur 1) och har varit i drift sedan år 1974. Sedan några år tillbaka har sluttäckningen av deponin påbörjats (Sundlöf, 2005). I nuläget diskuteras olika metoder för att sluttäcka resterande områden av deponin (Sundlöf, 2012a).

Lakvatten från deponin samlas upp med hjälp av lakvattendiken och transporteras därefter till en infiltrationsanläggning söder om deponiområdet där vattnet sprinklas ut över den naturliga markytan (figur 2). Infiltrationsområdet har utnyttjats sedan 1980-talet (Svensson, 2012), sedan år 2001 transporteras lakvatten först till en luftningsdamm innan det infiltreras i marken. Efter infiltreringen torde Storgöl, som ligger



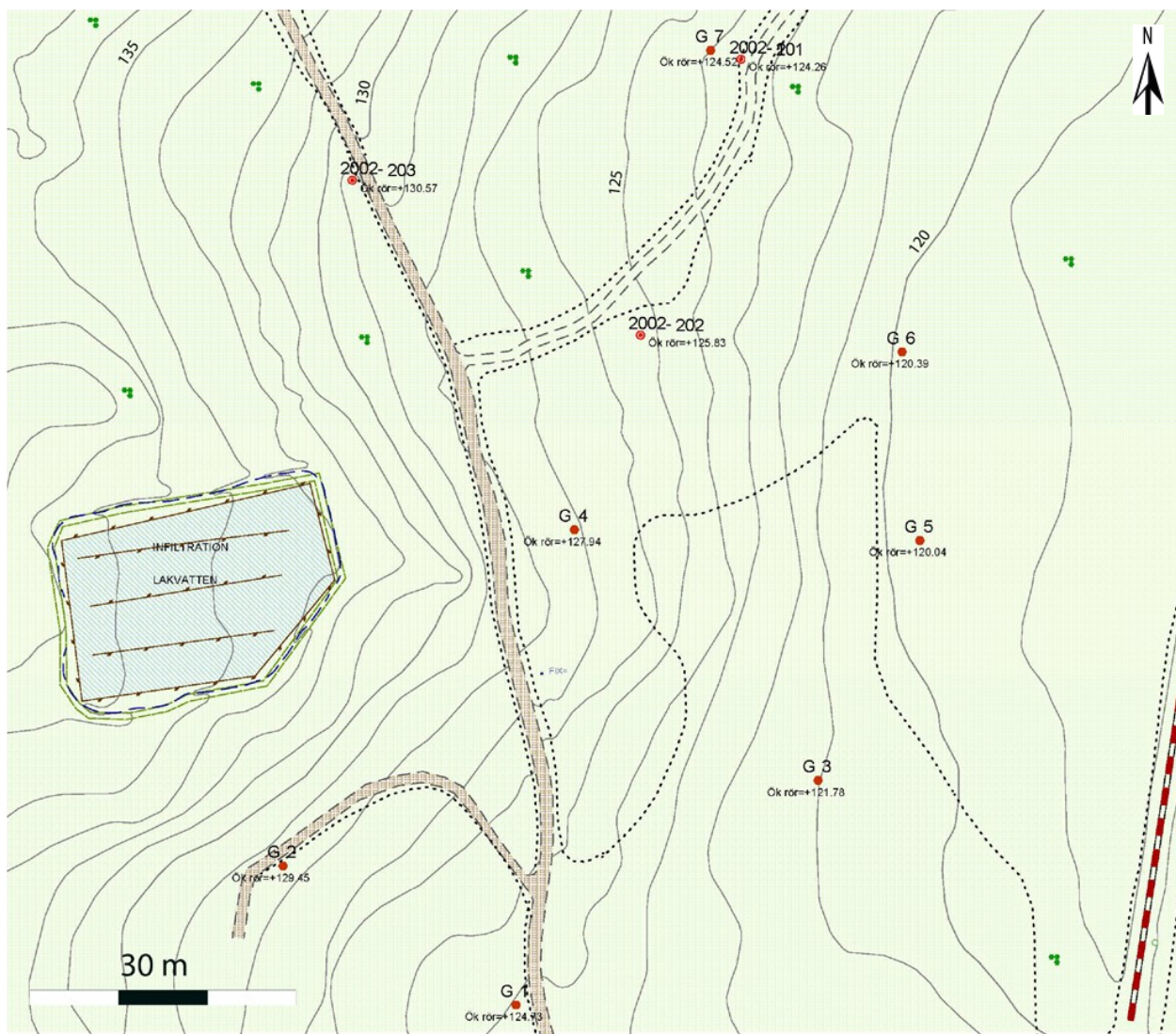
Figur 2. Naturlig infiltration med hjälp av sprinklingssystem vid Kejsarkullens deponi. Svarta ringar visar vattenstrålarna från sprinklingssystemet (Foto: Hultin, 2012).

cirka 300 meter österut vara recipient av en stor del av det infiltrerande lakvattnet eftersom att det naturliga grundvattenflödet är riktat ditåt.

2.2 Provtagningar vid Kejsarkullen

Årliga prover tas i observationsrör placerade nedströms infiltrationsytan, enligt Rosander & Sundlöf (2012) visar proverna att växtligheten och marken har god kapacitet att ta hand om kväve och andra föroreningar. Ett exempel på detta är halterna av kalium och uran i prover från observationsrör G5 bara är en hundradel av lakvattnets ursprungshalter. Även kloridhalterna har minskat i G5 där det är en tredjedel (50 mg/l) av ursprungshalterna av klorid i lakvattnet (150 mg/l); kloridhalter i rent grundvatten i området är cirka 6-12 mg/l. Minskningen av klorid antas komma från utspädning då klorid ej fastläggs i marken. Konduktiviteten i G5 är 41,51 mS/m medan oförorenat grundvatten har konduktiviteten 8,27 mS/m. Vidare påstår Rosander & Sundlöf (2012) att pumpningen av lakvatten till infiltrationsområdet förhindrats av tekniska skäl vid två tillfällen under år 1999. Under den perioden uppmättes höga halter av ammonium (>1 mg/l) i recipienten Storgöl som antogs komma från lakvattnet, halterna i recipienten vid fungerande pumpning och infiltration låg på 0,1 mg/l. Förutom vid de två nämnda tillfällena visar de årliga proverna på acceptabla nivåer för föroreningshalter vilket indikerar att de två valda reningssystemen fungerar väl vid ostörd drift.

I figur 3 visas observationsrör G2, vilket används som referensrör och är beläget strax sydost om infiltrationsområdet, fick man oväntade resultat vid en provtagning år 2010. Resultatet tyder på lakvattenkontaminering men ingen uppföljning har gjorts. Lakvattenflödet mot Storgöl är östligt varför den möjliga lakvattenföroreningen vid observationsrör G2, beläget söder om infiltrationsanläggningen, är förvånande. Föreliggande



Figur 3. Karta över infiltrationsområdet med observationsrör (Från Sundlöf, 2012b).

geofysiska undersökningar skall därför även försöka utvärdera om en sådan spridningsriktning kan detekteras.

2.3 Geologi

Nedan beskrivs bergarter, jordarter samt de hydrogeologiska förhållandena i området. Sammanfattningsvis beskrivs geologin i området vara enhetlig berggrund som överlagras av morän och ett tunt mulljordslager där grundvattenytan är belägen på cirka 1,5 m djup i marken.

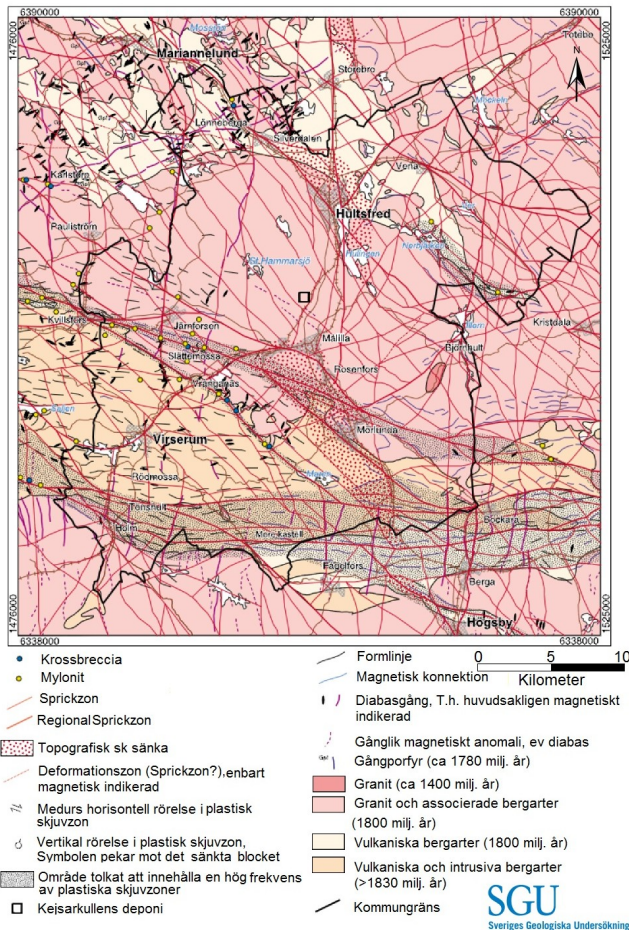
2.3.1 Berggrund

Berggrunden i närområdet kring infiltrationsområdet består enligt Holmstrand & Lindblad-Påsse (1990) av medelkornig, gråröd granit som brukar kallas Växjögranit och som tillhör Smålandsgraniterna. Holmstrand & Lindblad-Påsse (1990) har sammanställt en karta över berggrunden inom Hultsfreds kommun som presenteras i figur 4. Enligt Wahlgren *et al.* (2000) och Johansson *et al.* (2000) kan åldern på graniten dateras

till mellan 1800-1840 miljoner år. I fält bekräftades den beskrivna geologin visuellt, därtill noterades ett fåtal blockrika moränområden på ytor å cirka 20 m² utspridda inom mättningsområdet. De övre 10-20 metrarna av berggrunden är uppspruckna i bankningsplan som en effekt av inlandsisens tryck och den landhöjning som följde då isen smälte av. Den lokala sprickriktningen i närheten av Kejsarkullens deponi är i NV-SÖ samt NÖ-SV riktning (Holmstrand & Lindblad-Påsse, 1990). Tolkningar gjorda av Wahlgren *et al.* (2000) bekräftar sprickzoner i NV-SO riktning i närheten av deponiområdet (figur 4).

2.3.2 Kvärtära avlagringar

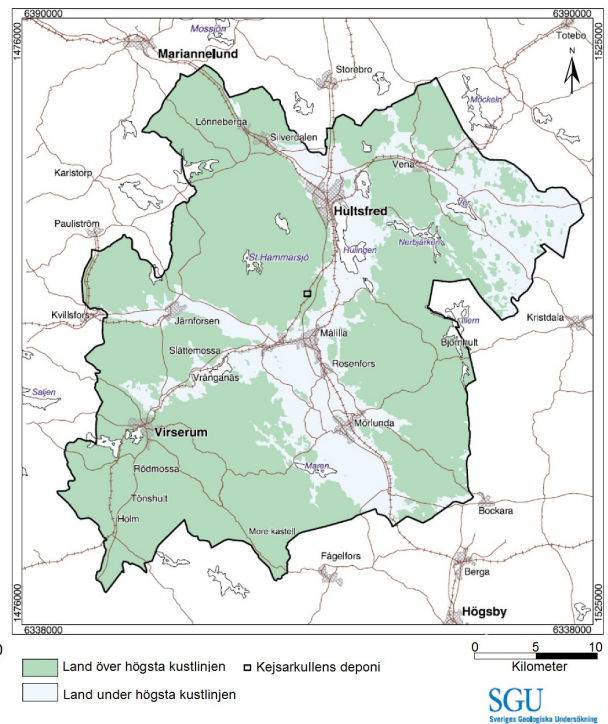
Under den senaste isavsmältningen låg delar av Hultsfreds kommun under vatten. Högsta kustlinjen (HK) bildades i Baltiska issjön på en nivå av cirka 100 meter över nuvarande havsnivå för cirka 14 300 – 13 500 år sedan (Fredén, 2000). Området kring deponin är beläget på en nivå av 120 - 130 meter över havet. Figur 5, från Johansson *et al.* (2000) visar utbredningen av om-



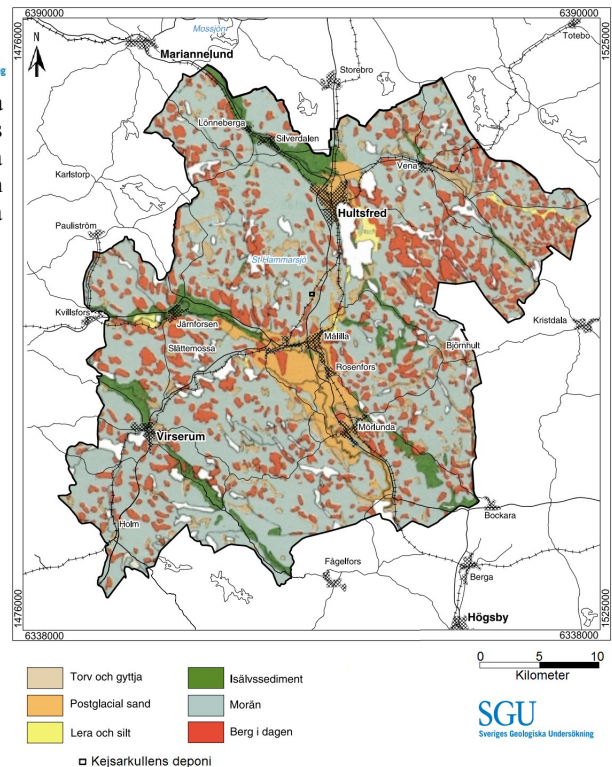
Figur 4. Karta från SGU med lokal berggrund och generella sprickzoner i Hultsfreds kommun. Strax SV om kejsarkullens deponi, inringad med svart ruta, finns fem stycken magnetiska anomalier, "Gånglik magnetisk anomali" i förteckningen, som enligt Wahlgren *et al.* (2000) tolkas som lokala sprickzoner karta (Modifierad efter Johansson *et al.*, 2000).

råden belägna över, respektive under HK inom Hultsfreds kommun.

Jordlagren i området består av morän med varierande kornstorlek och i närheten av Storgöl överlagras moränen av ett torvtäckte (figur 6). Mäktigheten på moränen noterades vid provgröpsgrävningar år 2002 av Petersson (2002). Sammantaget varierade mäktigheten mellan 3-3,5 meter, med ökande mäktighet mot Storgöl. Moränen är av sandig siltig karaktär där kornstorleken ökar med djupet varpå den övergår i grovkornig sandig morän. Ur en tidigare provgrävning en bit norr om infiltrationsområdet gjord av Holmstrand & Lindblad-Påsse (1990) utfördes kornstorleksanalys av prover från tre provpunkter. Kornstorlekskurvan från dessa återfinns i Bilaga 1. Resultaten, siltig och grusig sandig morän, stämmer väl överens med bedömningarna gjorda av Petersson (2002). Moränen beskrivs som oregelbunden med en markant mängd kantiga granitblock samt inslag av andra bergartsblock vilka antas härröra från närliggande områden. Moränens karaktär kunde även bekräftas i fält vid en översiktlig undersökning i ett upprävt dike. Vidare skriver Holmstrand



Figur 5. Karta från SGU med Högsta kustlinjen (HK) inom Hultsfreds kommun med Kejsarkullens deponi markerad med svart ruta (Modifierad efter Johansson *et al.*, 2000).



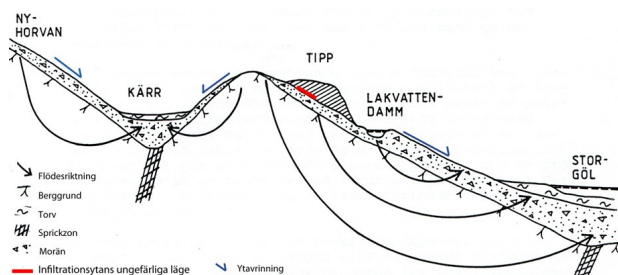
Figur 6. Karta från SGU med jordarterna inom hultsfreds kommun med Kejsarkullens deponi markerad med svart ruta (Modifierad efter Johansson *et al.*, 2000).

& Lindblad-Påsse (1990) att moränen vid ett par meters djup är hårt packad, trots det är vattengenomsläppligheten hög på grund av mängden kantiga block .

Den hårda packningen av moränen indikerar att den avsattes i subglacialt läge.

2.3.3 Hydrogeologi

Grundvattnets överyta ligger ungefär 1,5 meter under markytan och den generella flödesriktningen avviker sällan från ytavrinningens flödesriktning, österut i terrängen. En profilbild (figur 7) tagen från Holmstrand & Lindblad-Påsse (1990) visar grundvattnets flödesriktning genom marken och underliggande berggrund.



Figur 7. Profilsnitt vid Kejsarkullens deponi. Röda ytan markerar ungefärligt var infiltrationsytan ligger i förhållande till deponiområdet. Markeringen ligger längre söderut än själva deponin (Modifierad efter Holmstrand & Lindblad-Påsse 1990).

Enligt denna principskiss skulle området i anslutning till deponin utgöra ett inströmningsområde med starkt nedåtriktad flödesriktning, medan området vid Storgöl skulle utgöra ett utströmningsområde. Det kan dock ifrågasättas om detta överensstämmer med verkligt flödesmönster. En tolkning av resultaten från den geofysiska undersökningen bekräftar en östlig flödesriktning av grundvattnet där grundvatten enbart detekteras i överliggande kvartära avlagringar, se kapitel 5.1 för tolkning. Väster om deponin och infiltrationsområdet finns en bergskam som fungerar som en huvudvattenavdelare och stoppar grundvattenflöden västerut i terrängen (Holmstrand & Lindblad-Påsse, 1990).

Ytavrinningen öster om huvudvattenavdelaren sker till Storgöl och Myrgöl (norr om Storgöl), närområdet av deponin och infiltrationsområdet har Storgöl som recipient (Holmstrand & Lindblad-Påsse 1990).

I januari år 2002 mätte SWECO VBB VIAC (2002) hydrauliska konduktiviteten (K : m/s) i ett antal punkter nordöst om infiltrationsytan (provpunkter 201, 202 samt 203, figur 3). De uppmätta data beräknades till ett K -värde på:

- 201: $K = 3 \cdot 10^{-7}$ m/s
- 202: $K = 2,7 \cdot 10^{-6}$ m/s
- 203: $K = 2,5 \cdot 10^{-6}$ m/s

3 Teori

Den teoretiska bakgrunden syftar till att ge läsaren en bakgrundsförståelse av de utgångspunkter som legat till grund för studiens analys.

3.1 Deponier och lakvattensammansättning

Under sin livstid genomgår en deponi ett flertal faser vilka uppkommer på grund av den naturliga nedbrytningsprocessen som sker med hjälp av bakterier och organismer. Enligt Rihm (2010) kan indelningen av faserna variera beroende på vilka referenser som används. Nedan beskrivs Naturvårdsverkets (2008a) indelning:

- ⇒ aerob fas några dagar – några veckor
- ⇒ sur anaerob fas några veckor – cirka 10 år
- ⇒ metanogen fas några månader – flera hundra år
- ⇒ humusbildande fas över 100 år, osäkert

Varje fas innebär en kemisk förändring som påverkar lakvattnets sammansättning. Nedan beskrivs utvalda processer i de olika faserna för att ge en förståelse för vilken vikt de olika faserna har för lakvattnets sammansättning. De olika faserna behöver nödvändigtvis inte vara vitt skilda från varandra utan flera faser kan råda samtidigt på olika nivåer i en deponi (Rihm, 2010).

3.1.1 Aeroba fasen

Den inledande fasen brukar kallas den aeroba fasen där syrehalten är hög och bildning av aminosyror sker. Under denna fas är temperaturen i deponin förhöjd på grund av den kraftiga biologiska aktiviteten vilket kan leda till självantändning (Rihm, 2010). Vid aeroba förhållanden går nedbrytningen fortare än i de senare faserna på grund av att bakterierna utnyttjar tillgängligt syre för nedbrytningen.

3.1.2 Anaeroba fasen

Syret i en deponi är ofta begränsat då utbytet med omgivande luft inte är tillräckligt. De syreutnyttjande bakterierna kommer efter en tid att ha förbrukat allt syre, vilket ger en anaerob miljö i deponin. pH-värdet vid den anaeroba fasen sjunker till pH 5-6 på grund av bildningen av koldioxid och syror, och även temperaturen i deponin kommer sjunka till ungefär 20-30 grader. Bildandet av aminosyror fortsätter samtidigt som nedbrytningen av syror sker, vilket resulterar i uppkomst av ammoniumjoner. Den sura miljön medför ökad löslighet av vissa metaller som zink, järn och mangan. Sulfat reduceras till svavelväte och skapar svårslösliga sulfider (Rihm, 2010). De beskrivna processerna kan ge lakvattnet en karaktär med lågt pH,

höga halter av ammonium samt höga halter av de nämnda metallerna.

3.1.1 Metanogena fasen

Enligt Naturvårdsverket (2008a) har många av de äldre deponier nått den metanogena fasen där metangas bildas. Vidare nämner Naturvårdsverket att pH i den metanogena fasen är neutralt eller smått basiskt vilket leder till att metallutlakningen minskar. Samtidigt kan halten bly i lakvatten öka då lösligheten av bly gynnas av högre pH. Huvuddelen av metallerna har bundits till sulfider och humusämnen vilket stämmer väl överens med den beskrivning Rihm (2010) anger om lakvatten från den metanogena fasen som karakteriseras av låga halter av metaller, höga halter av ammoniumkväve samt svårnedbrytbart organiskt material.

3.1.1 Humusbildande fasen

I den humusbildande fasen finns i princip bara svårnedbrytbart organiskt material kvar. Vilka processer som sker mer i detalj är svårt att utröna då de flesta deponier inte har kommit till denna fas ännu. Man misstänker att pH-värdet kommer att öka vilket riskerar frigöring av metaller till lakvatten (Rihm, 2010).

3.2 Rening av lakvatten

Som tidigare nämnts kan lakvattnets sammansättning variera, därför kan effektiviteten hos olika reningsmetoder skifta. Naturvårdsverket (2003, refererad i Hoyer & Persson, 2006) nämner ett antal olika fysikalisk-kemiska reningsmetoder, varav infiltrering beskrivs i många olika former, bland annat sandfiltrering, torvfiltrering och kalkfiltrering. Gemensamt för de filtrerande reningsprocesserna är att skilja ut ämnen efter storlek, densitet och förmåga att bilda komplex. Naturlig infiltration är ytterligare en filtreringsmetod där inget underhåll krävs (se figur 2 för naturlig sprinklinsinfiltrering vid Kejsarkullens deponi). Metoden används i områden där de hydrogeologiska förhållandena är välkända (RVF, 2003, refererad i Hoyer & Persson, 2006).

Infiltration har visat sig vara effektivt för att minska halterna av ammonium, vilket är huvudkomponenten i lakvattnet från Kejsarkullens deponi. Det är inte ovanligt att halter uppemot 100 mg/l ammonium kan detekteras i lakvatten. Toxiska förhållanden för vattenlevande organismer uppnås för ammonium redan vid 1 – 1,5 mg/l. En effektiv infiltration kan därför reducera halterna till under den toxiska gränsen (Forsberg & Sundlöf, 2006).

Luftade dammar är en reningsmetod som ofta kombineras med andra metoder. Enligt RVF (2003, refererad i Hoyer & Persson, 2006) kommer halten Chemical Oxygen Demand (COD) och Biochemical Oxygen Demand (BOD) att minska vid luftning samtidigt som vissa metaller fälls ut.

4 Metod

Kapitlet syftar till att presentera de metoder som använts under genomförandet av studien. Först presenteras teori om förarbete, resistivitet och modelleringsverktyg, därefter beskrivs insamling av data med elektroduppställning, fältarbete och modellering.

4.1 Teoretiskt förarbete

En litteraturstudie utfördes inom områdena rening av lakvatten, deponiers uppbyggnad, lagar och regler kring lakvatten och deponier, lakvattensammansättning samt resistivitmätningar. Vidare studerades tidigare rapporter rörande Kejsarkullens deponi.

Geologin och hydrogeologin i området granskades i tidigare rapporter som berörde Kejsarkullens deponi där grundliga undersökningar gjorts av grundvattendjup, yt- och grundvattnets flödesriktning, bergarter och jordarter. Grundvattnets flödesriktning bekräftades genom studier av topografin i området samt nivån till berggrundsytan i resistivitetsmodellerna. Sprickriktning och berggrundsgeologin analyserades i rapporter utförda av Svensk Kärnbränslehantering angående slutförvaring av kärnbränsle i Hulstfred kommun.

4.2 Resistivitet

Resistivitmätningar utvecklades redan på tidigt 1900-tal men kunde inte nyttjas fulländat förrän under 1970-talet då utvecklingen av datorer och modelleringsprogram tog stora steg framåt i utvecklingen. Mätmetoden kan tillämpas inom många områden, till exempel arkeologi och hydrogeologi. För det senare området kan metoden tillämpas för sökning av grundvatten, detektering av föroreningar, sprickidentifiering i samband med byggen, etc. (Reynolds, 1997).

Resistivitmätningar utnyttjar markens varierande förmåga att leda ström, exempelvis leder lera ström bra medan grus ovan grundvattennivån leder ström dåligt. Benämningen resistivitet är ett materials förmåga att inte leda ström vilket betyder att lera har en lägre resistivitet medan grus har en högre resistivitet (Jeppson, 2012a).

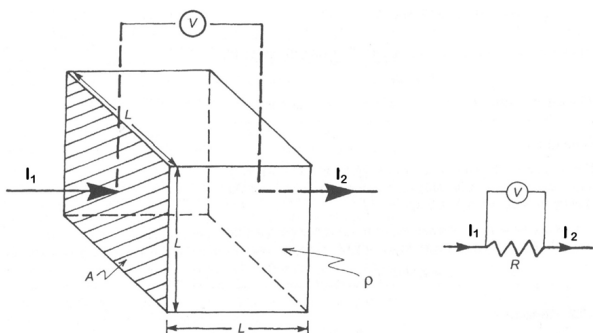
För att förstå teorin kring resistivitet måste Ohms lag introduceras, [1],

$$R = \frac{U}{I} (\Omega) \quad [1]$$

där U är potentialskillnad (V), I är ström (A) och R är resistans (Ω).

Enligt Reynolds (1997) kan resistivitet beskrivas med en modell av en homogen kub med en viss längd (L; m) och en sida med arean A: m² (figur 8). Genom kuben leds en ström (I₁) som minskar (I₂) efter att strömmen passerat genom kuben på grund av resistans i ku-

bens material (R). Skillnaden mellan I_1 och I_2 är en potentialskillnad (U), mäts som spänning (V).



Figur 8. En schematisk bild över hur resistivitet uppkommer. I = Ström, L = längder på materialet, A = arean där ström leds in, V = mätvärde för potentialskillnad, R = resistans, ρ = resistivitet (Modifierad efter Reynolds, 1997).

Storleken på R är omvänt proportionell mot A på kuben samt proportionell mot L av kuben. Detta betyder att en längre sträcka eller en mindre area resulterar i högre resistivitet. Proportionalitetsförhållandet är resistivitet (ρ), se matematisk formel [2] nedan, i vilken enheterna, A (area) samt L (längd) infogats.

$$\rho = \frac{UA}{IL} (\Omega/m) \quad [2]$$

A/L representerar i fallet med kuben dess längd samt arean där strömmen leds in och kan även kallas en geometrisk faktor (G). Vid mätningar i marken är den geometriska faktorn mer komplicerad vilket beror bland annat på elektroduppställning (se kapitel 4.3.5). Ett materials resistivitet kan variera mellan $1,6 \cdot 10^{-8} \Omega m$ och $10^{16} \Omega m$.

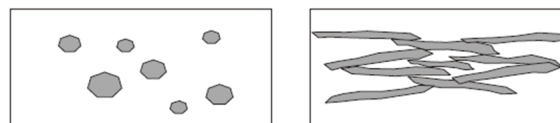
Resistiviteten i ett geologiskt lager påverkas av olika egenskaper. Enligt Jeppsson (2012a) är porositeten, porfyllnadsgraden och porvätskans resistivitet de viktigaste faktorerna. En hög porositet med en mycket ledande vätska i porutrymmena kommer att sänka resistiviteten, det vill säga att materialet kommer ha en god ledningsförmåga. Innehåller porerna luft kommer ledningsförmågan att vara dålig, det vill säga att materialet kommer att ha en hög resistivitet. Strukturen och sammansättningen av ett material är också en viktig faktor; om ett material exempelvis innehåller många mineralkorn med god ledningsförmåga resulterar detta i en låg resistivitet för hela materialet. Om mineralkornen med god ledningsförmåga däremot ej har någon kontakt med varandra kommer materialet som helhet fortfarande uppmäta hög resistivitet (figur 9) (Reynolds, 1997).

Matematiskt kan detta beskrivas genom Archies lag [3],

$$\rho = \alpha \Phi^{-m} s^{-n} \rho_w \quad [3]$$

där ρ = formationens resistivitet, ρ_w = porvätskans resistivitet, Φ = materialets porositet, s = andelen porvo-

lym fylld med vätska, α samt m och n är empiriska konstanter (Jeppsson, 2012a).

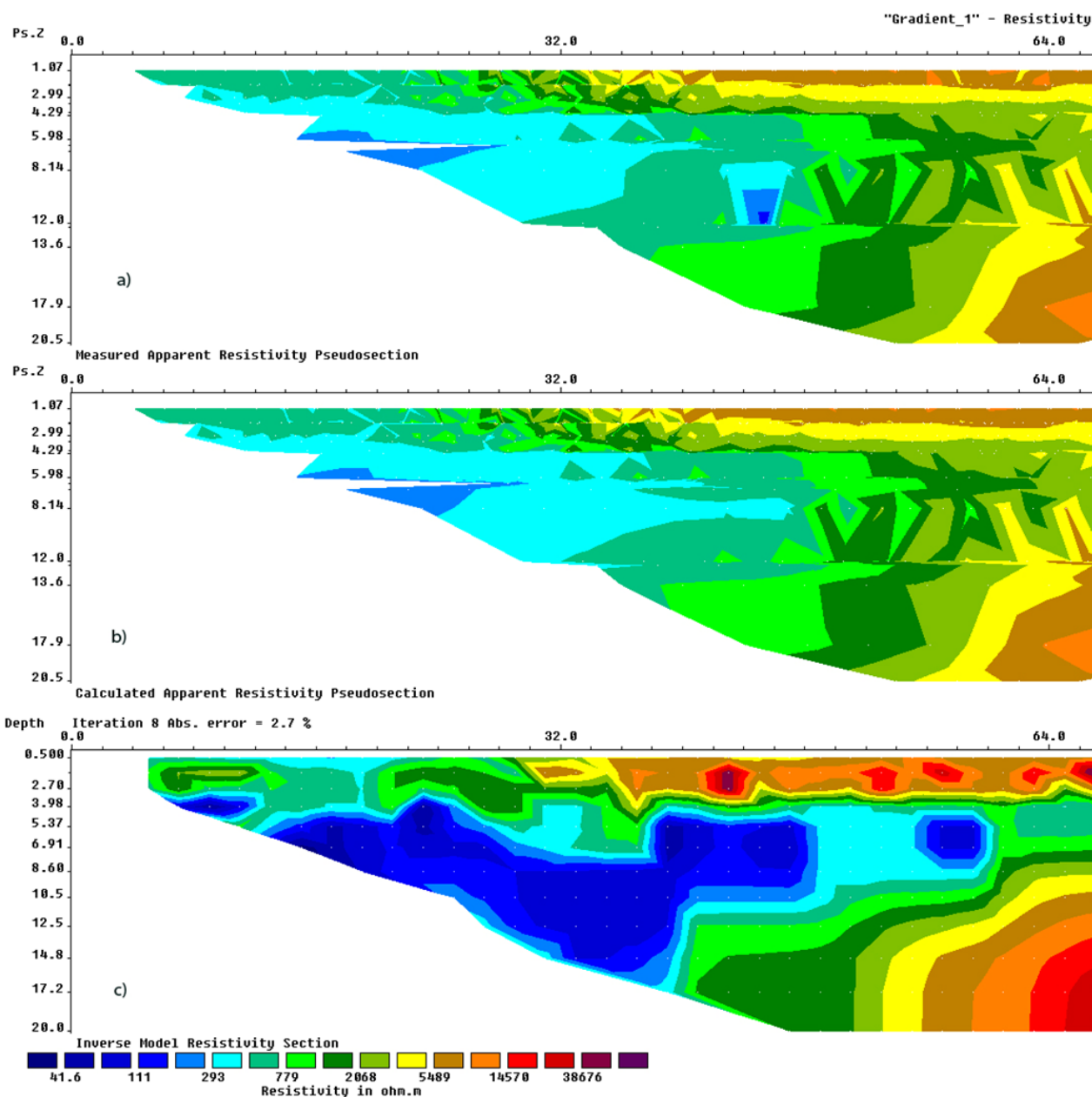


Figur 9. Mineralstruktur för två olika material. Till vänster visas en struktur som har en hög resistivitet, till höger visas en mineralstruktur som kommer ha en låg resistivitet (Från Jeppsson, 2012b).

En viktig faktor som kan påverka ett materials ledningsförmåga är tillgången på vatten och därmed joner. Normalt har sprickfattigt berg hög resistivitet. Vid sprickbildning blir berg vattenledande varför resistiviteten i detta fall sänks ju högre vattenledning/sprickighet som föreligger. Tillgången på vatten kan sänka resistiviteten till $200 - 4000 \Omega m$, är urberget även lervittrat kan resistivitetsnivåer så låga som $100 - 500 \Omega m$ uppmätas. Lakvatten från hushållsavfall innehåller normalt sett höga halter av joner, $\rho = 1-10 \Omega m$, och är därför detekterbart vid en resistivitetesanalys i marken (Jeppsson, 2012a). Exempel på olika materials resistivitet redovisas i tabell 1. Beroende på författare kan intervallen för de olika materialen skilja.

Tabell 1. Resistivitetsintervall för olika material (Från Jeppsson, 2012b).

Material	Normalt resistivitetsintervall, Ωm
Lera	1-200
Torr sand	800 - 5000
Våt sand	100 - 500
Morän, lertfattig	300 - 3000
Moränlera	20 - 200
Urberg, sprickfattigt	2000 - 20 000
Urberg, sprucket	200 - 4000
Urberg, sprucket och lervittrat	100 - 500
Sandsten	100 - 20 000
Lerskiffer	50 - 10 000
Kalksten	300 - 3000
Salt	>10 000
Hushållsavfall	10 - 50
Lakvattenplym från hushållsavfall	1 - 10
Bygg-/rivningsavfall	30 - 300
Industriavfall	1 - 1000



Figur 10. Resistivetsprofil i modelleringsprogrammet RES2DINV med a) rådatan. b) pseudosektion, kalibreringssteg. c) modellerad resistivitet. Notera att y-axeln i a och b inte representerar djupet i marken. X-axeln är i meter.

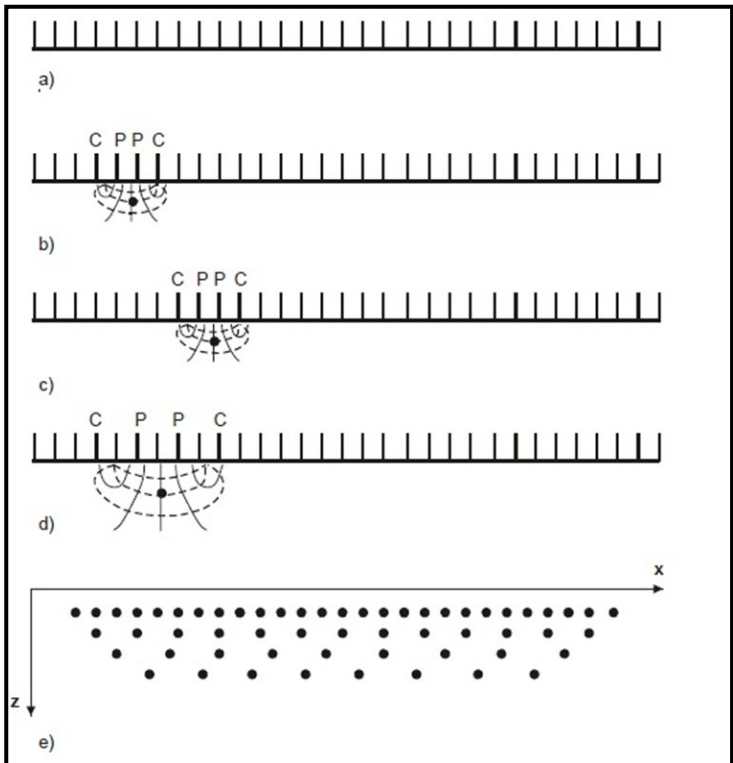
4.3 Modellering i teorin

I den teoretiska beskrivningen med kuben antogs kubens material vara homogent, vilket normalt inte är fallet. Resultaten från mätningar, rådatan, anges som skenbar resistivitet vilket motsvarar medelresistiviteten i markytan och strömmens nedträngningsdjup. Genom högre upplösning på data blir den skenbara resistiviteten mer lik den verkliga resistiviteten (Reynolds, 1997).

Rådatan visas ofta i en så kallad pseudosektion (figur 10a). Denna representerar ej markens verkliga resistivitet i profil och måste därför modelleras. Efter att modellering har gjorts benämns resistiviteten som modellerad resistivitet. Ett vanligt modelleringsprogram är RES2DINV vilket utifrån rådatan (figur 10a) skapar

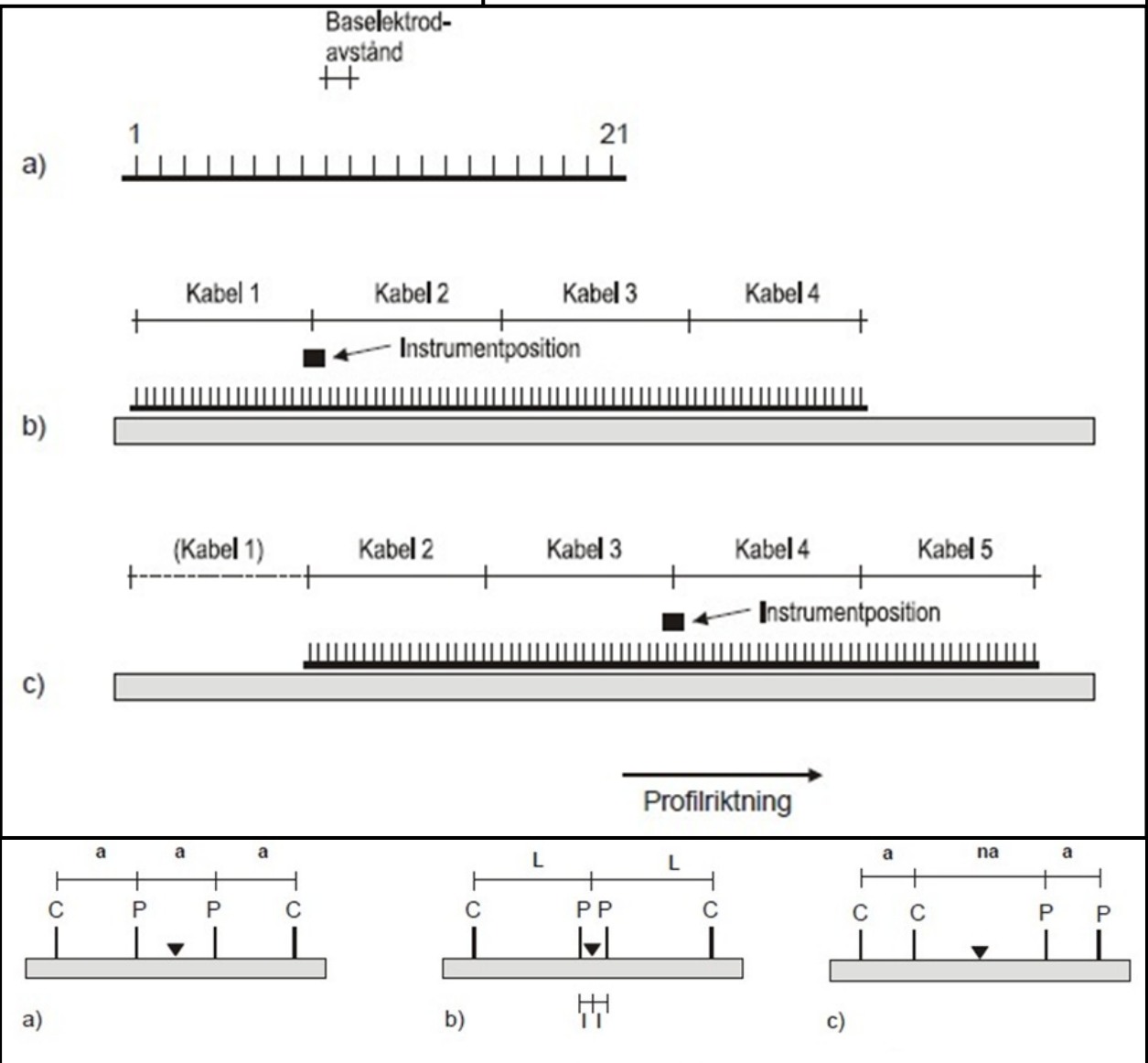
en modell (figur 10c) via en kalibrerad pseudosektion (figur 10b). Programmet kalibrerar således rådatan och skapar en första startmodell. Skillnaden mellan startmodellens pseudosektion och rådatans pseudosektion kalibreras för att beräkna skillnaden och startmodellen justeras därefter för att dess pseudosektion ska likna rådatans pseudosektion. Ett sådant varv kallas för en iteration. För att få ett bättre resultat brukar mellan 3-7 iterationer utföras (Jeppsson, 2012a). Det finns en övre gräns på hur noggrann en modell kan bli och därför brukar man nästan aldrig göra över 10 iterationer. I figur 10c står det Iteration 8, Abs error = 2.7 % vilket beskriver hur många iterationer som gjordes samt hur mycket modellens sammanlagda resistivitet avviker från markens resistivitet i procent. Notera att Abs. Error = *mean residual* i egna modelleringar.

Figur 11. (till höger) Schematisk bild över hur multielektrodmätning sker. Ett flertal elektroder placeras i en profil, serien a-c visar hur en mätning sker mellan elektroder. Längre avstånd mellan potentialelektrodena (P) samt mätelektrodena (C) ger ett längre nedträngningsdjup på datapunkten. Bilden visar punkter på olika djup som representerar mätdata (från Jeppsson, 2012b).



Figur 12. (Nedan) a) Visar en kabel med antal elektroder. b) Visar kabelutlägg samt andra mätningen på ett utlägg. Grå linje representerar marken. c) Visar förflyttningen av kabel ett för att kunna förlänga profilen (Modifierad efter Jeppsson, 2012b).

Figur 13. (Längst nedan) Vanliga elektroduppställningar där P = potentialelektroder och C = strömelektroder. a) Wenneruppställning. a = avstånd mellan elektroder. b) Schlumbergeruppställning. L = avstånd mellan strömelektroder och mittpunkten av potentialelektrodena. c) Dipol-dipoluppställning. a = avstånd mellan mätelektrodena, na = avstånd mellan strömelektroden och potentialelektroden (Modifierad efter Jeppsson, 2012b).



4.4 Elektroduppställningar

Resistivitet mäts genom att en elektrisk krets skapas med två elektroder (C) från vilka ström skickas ut. Två elektroder (P) mäter spänningen (U) som uppstår då strömmen leds igenom marken. I teorin fungerar mätmetoden på samma sätt som beskrivningen av kubens, i detta fall skulle kubens representera marken, strömmen I_1 leds ner i marken genom elektrod C och elektrod P mäter spänningen (V). I fält gör man mätningarna successivt genom en linje med utplacerade elektroder. För att få den bästa möjliga upplösning samt stort nedträngningsdjup gör man flera mätningar med olika avstånd mellan utvalda elektroder. Tekniken kallas **m u l t i e l e k t r o d m ä t n i n g** och varje mätning svarar mot olika punkter längs med profilen (Figur 11).

Vid utläggning används 4 multiledarkablar där ett mätinstrument (en terrameter) placeras mellan kabel 1 och 2 för att sedan successivt förflyttas framåt till 2 och 3, 3 och 4 och så vidare. För att få en längre profil kan kabel 1 flyttas och läggas efter kabel 4 (figur 12) (Jeppsson, 2012a). Det praktiska nedträngningsdjupet är ner till det djup dit 50 % av strömmen når. Nedträngningsdjupet påverkas av tre parametrar:

- ⇒ avståndet mellan elektroder.
- ⇒ baselektrodsavståndet och lagerförhållandena; ström koncentreras i ledande lager.
- ⇒ elektrodkonfiguration; olika uppställningars för- respektive nackdelar varierar i frågor som störningskänslighet, nedträngningsdjup, upplösning samt arbetsinsats.

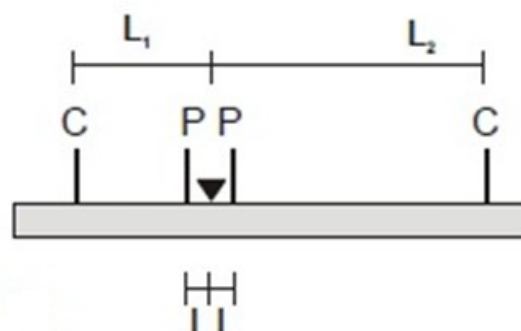
Exempel på tre vanliga uppställningar är Wenner, Schlumberger samt dipol-dipol (figur 13) (Jeppsson, 2012a).

4.5 Fältundersökning

Före fältarbetet studerades kartor för att översiktligt bestämma hur geoelektriska mätlinjer skulle läggas ut.

4.5.1 Resistivitetmätningar

I fält användes en gradientuppställning, en variant av Schlumbergeruppställning, där potentialelektroden inte behöver vara placerade på ett visst avstånd till C-elektroden (figur 14). Denna ansågs vara bäst anpassad för undersökningsförhållandena då den beskrivs ha låg störningskänslighet, lite djupare nedträngningsdjup än en Wenneruppställning samt god upplösning. Som nämnts tidigare består geologin i området av 3-6 meter mäktig moränjord som underlagras av 10-20 meter uppsprucket urberg. Baserat på att sträckan lakvattnet transporteras från infiltrationsområdet till recipienten är kort (knappt 300 meter) gjorde jag antagandet att större delen av lakvattnet inte kommer hinna sprida sig djupare ner än 20 meter under transportsträckan till



Figur 14. Gradientuppställning, en variant av Schlumbergeruppställning (Modifierad efter Jeppsson, 2012b).

recipienten Storgöl. Därför valdes ett utlägg med ett baselektrodsavstånd på vardera 2 meter vilket ger fler datapunkter inom ett grundare område.

Linjerna lades vinkelrätt mot förmodad lakvattenflödesriktning där Linje 1 (L1) modellerades översiktligt i fält för att kunna anpassa utläggningen efter lakvattenplymns riktning för resterande linjer (L2 samt L3, se figur 15). Efter mätning av L2 gjordes även då en översiktlig modellering för att kunna bestämma placeringen av L3. Då L1 visade på ett område med låg resistivitet lades L2 samt L3 nedströms längs med det lågresistiva området.

En 120 meter lång resistivitetlinje lades även för att undersöka om lakvattnet sprider sig SÖ i terrängen vid observationsrör G2 (L4 på karta, figur 15).

4.6 Analys av data

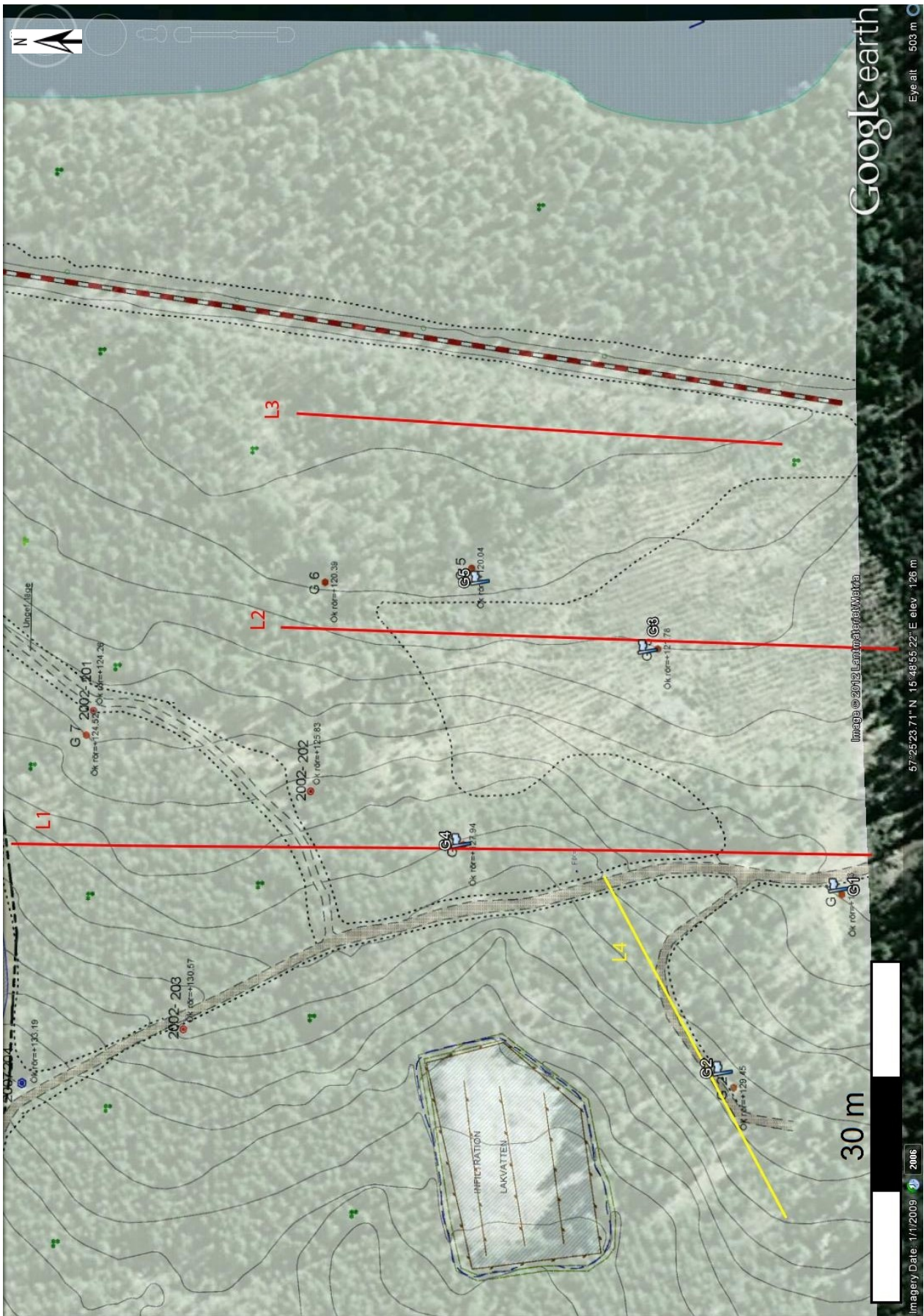
Fältundersökningen genererade data i form av datafiler som hanterades i dataprogrammet RES2DINV, ett modelleringsprogram. Resultatet bearbetades därefter i Erigraph, ett redigeringsprogram. I RES2DINV anpassades inställningar till den gjorda undersökningen (bilaga 2). För att få en tydligare bild över lagerstrukturen i L3 gjordes ytterligare två modelleringar där den horisontella samt den vertikala rationen för anomalier förstärktes till 0,5 respektive 2 (Standard = 1). Förändringar i rationen för horisontal respektive vertikallad innebär att horisontella eller vertikala strukturer i en profil förstärks.

I Erigraph ändrades resistivitetsskalan för alla linjerna för att underlätta jämförelse av resistivitet mellan de olika linjerna. Brunnarna som ligger på vissa av linjerna lades även in med hjälp av Erigraph.

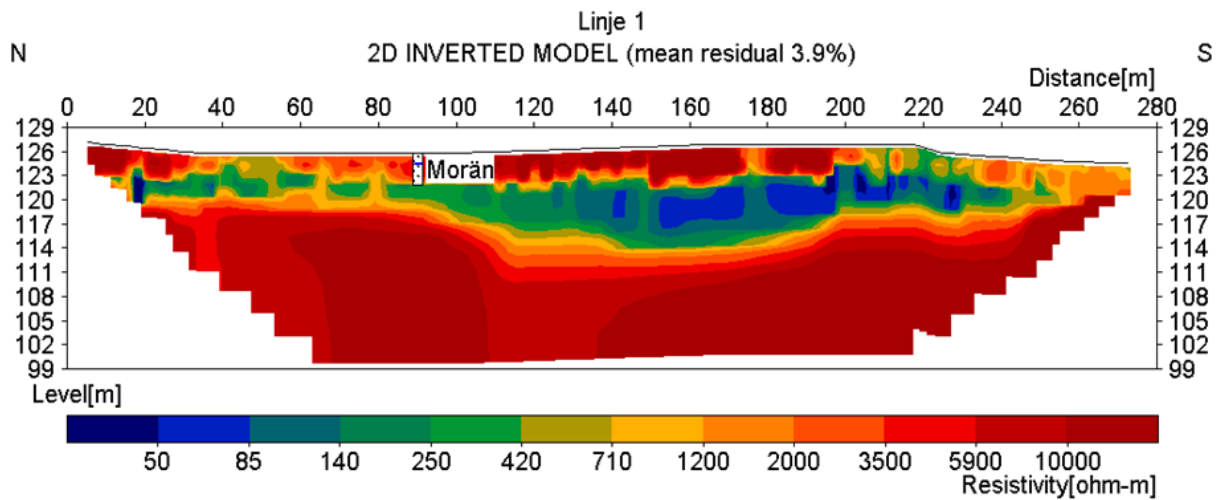
5 Resultat och tolkning

5.1 Modelleringsresultat

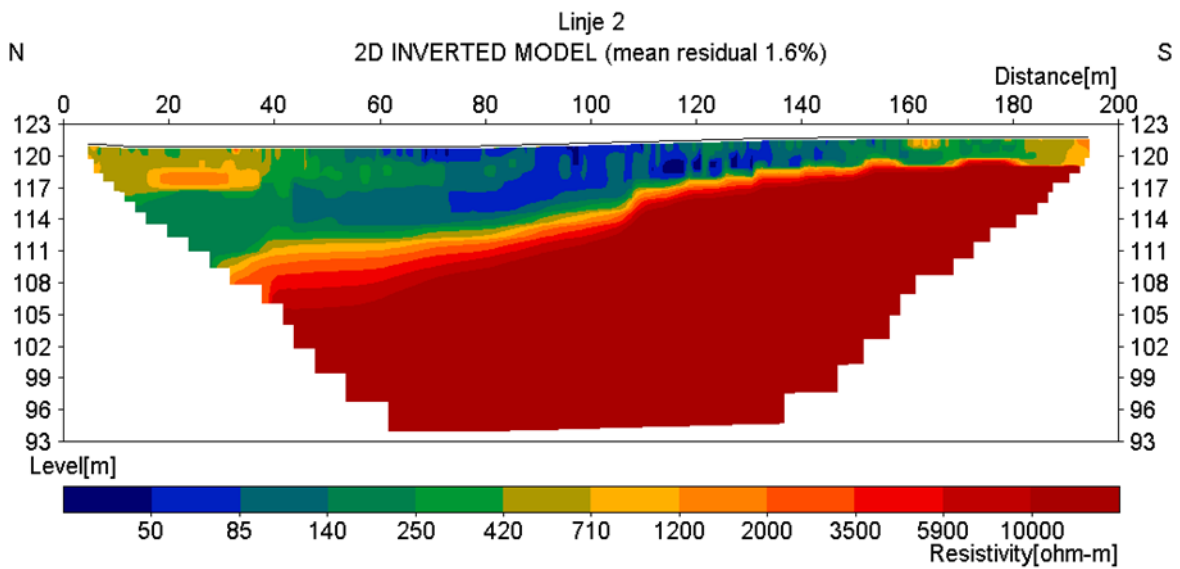
Figur 16 visar modelleringsresultatet från L1 där jordartsprofilen vid det närliggande observationsrör 202 lagts till. Två lågresistiva områden kan identifieras 20 meter samt 130-240 meter längs med profilen. Vid ytan uppvisas en kraftig resistivitetsgräns med varie-



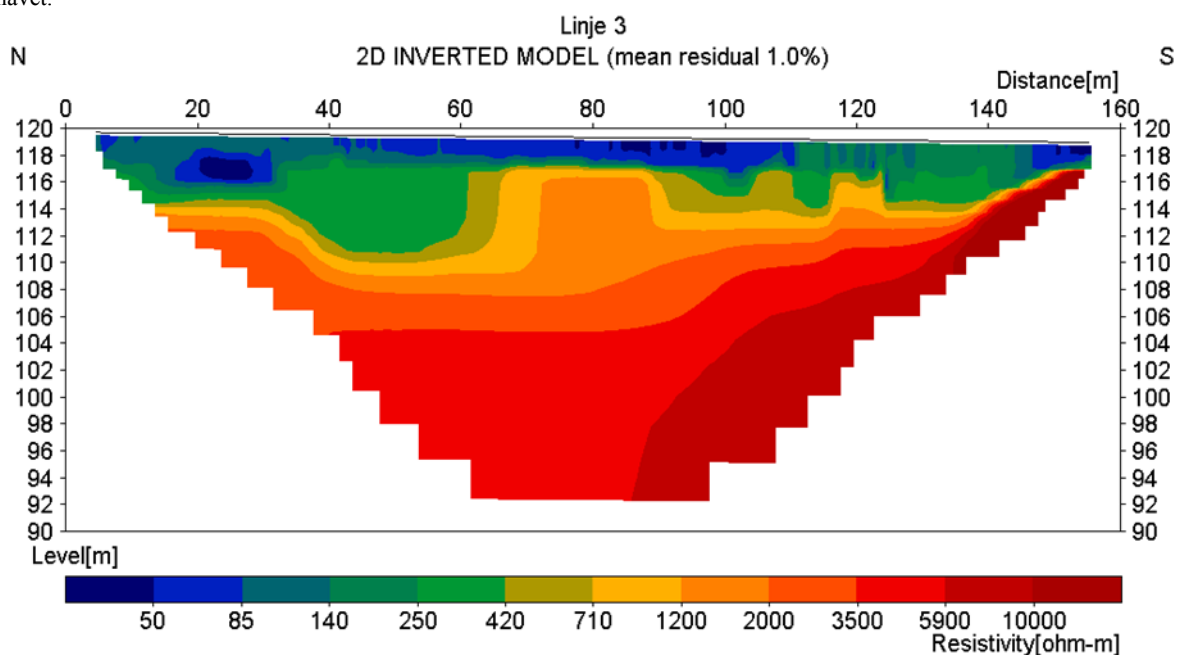
Figur 15. Karta över utlagda geofysiska mätlinjerna i förhållande till infiltrationsområdet. Flaggorna visar position på koordinaterna tagna i fält av observationsbrunnarna (Modifierad efter Lantmäteriet, 2012 och Sundlöf, 2012b).



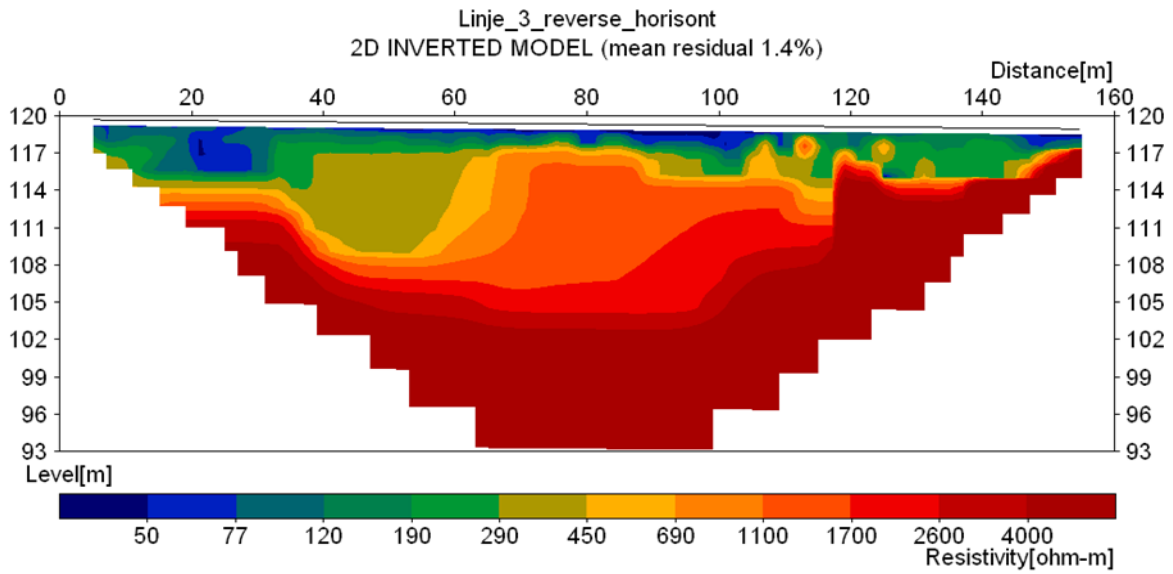
Figur 16. Inverterad modell av linje 1 med jordartsprofil från observationsrör 202 inlagd. X-axeln visar längden på linjen och Y-axeln visar nivån i meter över havet.



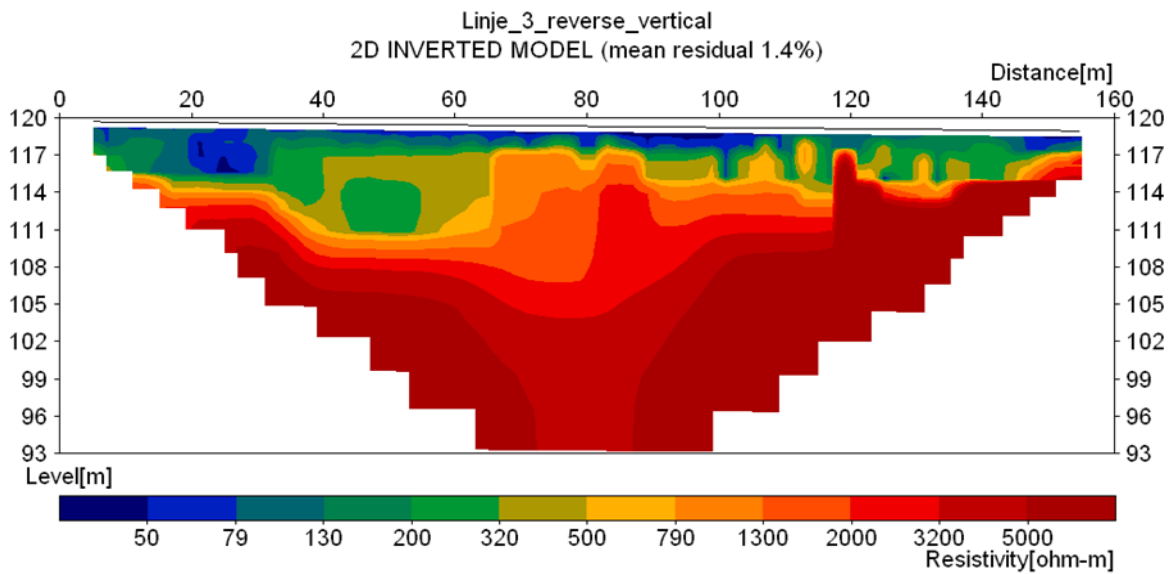
Figur 17 Inverterad modell av linje 2, N = norr, S = söder. X-axeln visar längden på linjen och Y-axeln visar nivån meter över havet.



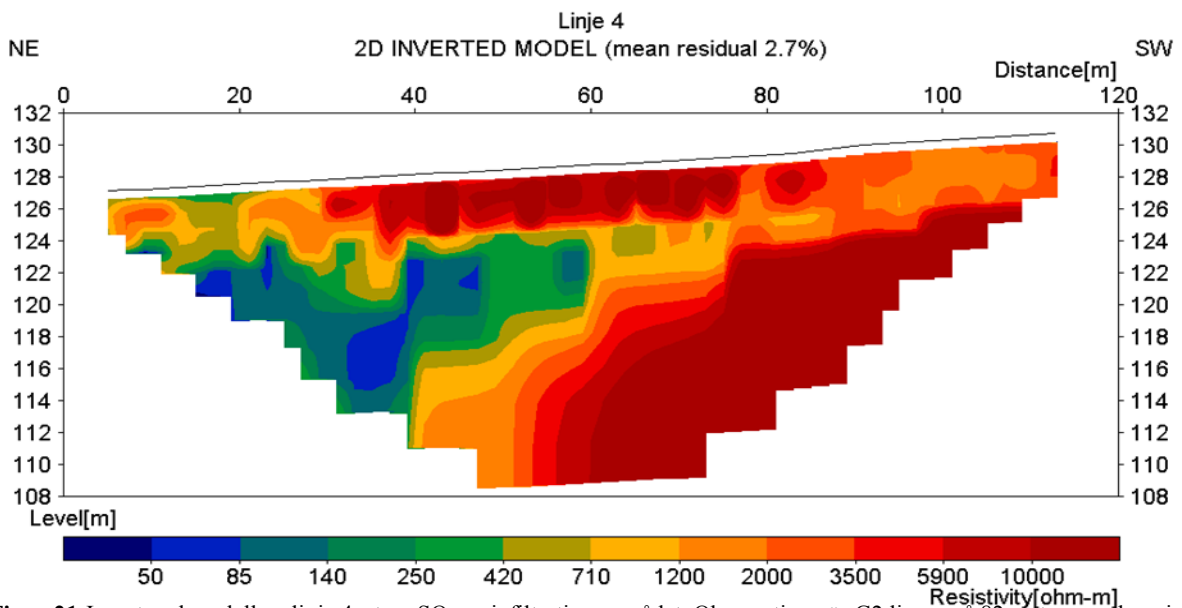
Figur 18 Inverterad modell av linje 3. X-axeln visar längden på linjen och Y-axeln visar nivån meter över havet.



Figur 19 Linje 3, modellerad med förstärkning av horisontella lager.



Figur 20 Linje 3, modellerad med förstärkning av vertikala lager



Figur 21 Inverterad modell av linje 4, strax SO om infiltrationsområdet. Observationsrör G2 ligger på 82 meter men har ej ritats in då det ej finns någon data på djup av röret. X-axeln visar längden på linjen och Y-axeln visar nivån meter över havet.

rande styrka i ytterkanterna på profilen. Från knappt 120 meter över havet och ned till mätningens djupaste refereringspunkter är resistiviteten genomgående hög.

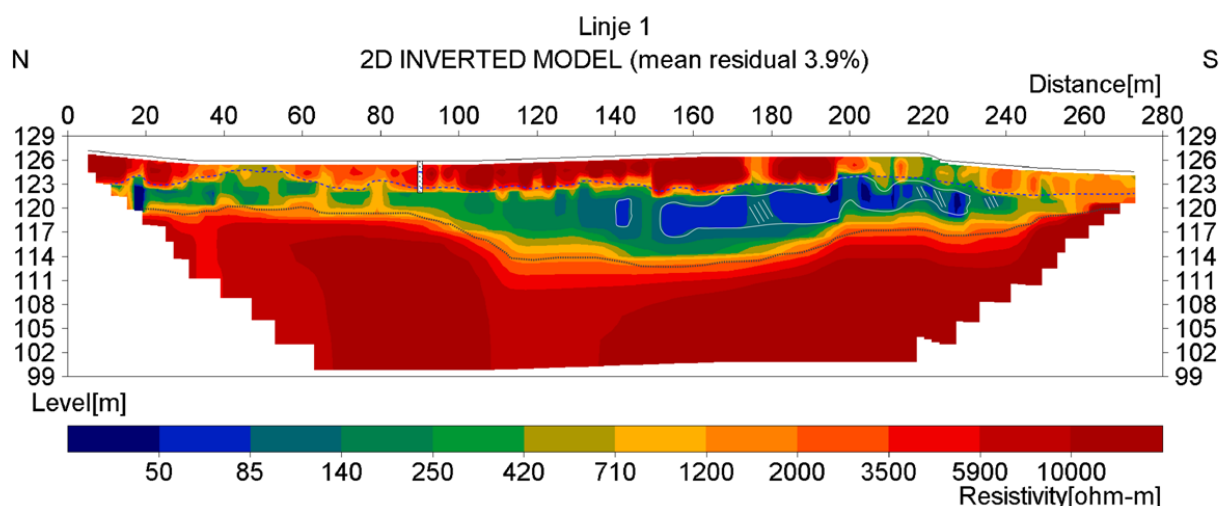
Figur 17 visar modelleringsresultatet från L2. Jordartsprofilen från observationsrör G3 har inte lagts till på figuren eftersom information om djup saknas. Ett lågresistivt område sträcker sig mellan cirka 60 meter i norr till 140 meter i söder längs med profilen. I de perifera delarna av profilen, både i söder och i norr, återfinns medelresistiva områden.

Figur 18 visar modelleringsresultatet från L3. Hög resistivitet återfinns på djupet av profilen medan ett mycket lågresistivt område kan identifieras vid ytan. Resistiviten är något högre i de norra och sydliga delarna av detta område. Centralt i profilen, cirka 112-117 meter över havet syns ett område med medelhögt

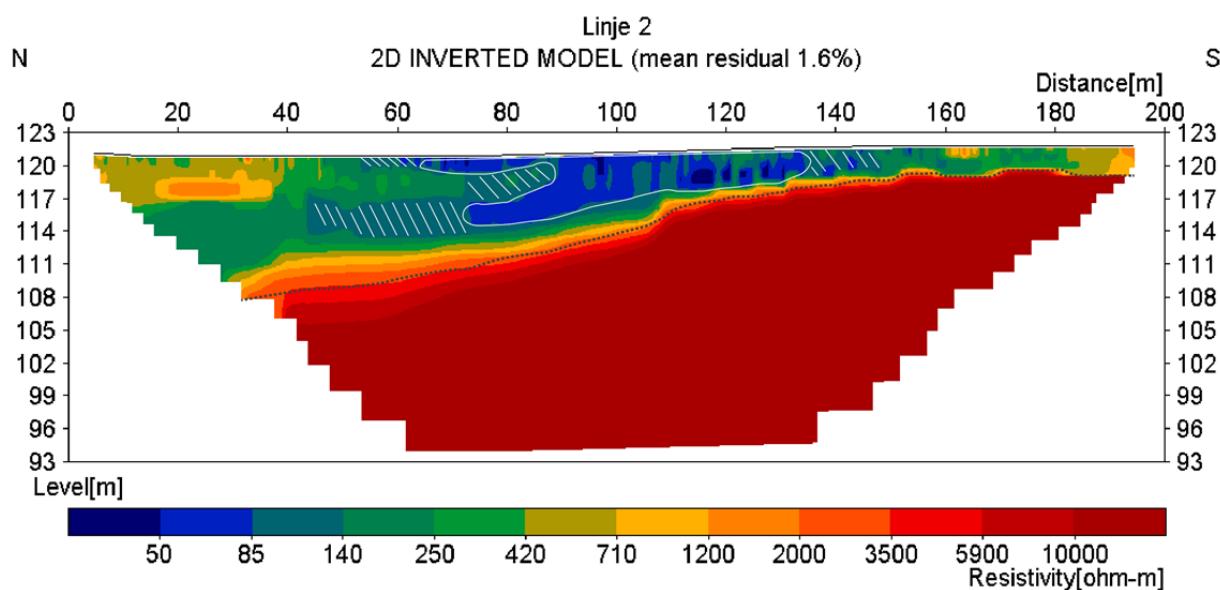
resistivetsvärde som snabbt minskar ut mot norr och syd.

Den horisontella respektive den vertikala förstärkningen för L3 presenteras i figur 19 och 20.

Figur 21 visar modelleringsresultatet från L4. Denna visar två områden med hög resistivitet, ett på djupet i sydväst samt ett centralt i profilen vid ytan. Resistiviteten sjunker till viss del mot sydväst och desto mer i nordöst. Ett lågresistivt område återfinns längst i nordöst, cirka 123 meter över havet, området sträcker sig cirka 45 meter längs profilen mot sydväst.



Figur 22. L1 med lagergränser enligt tolkning 1. Morän finns ned till svart streckad linje = berggrundsytan. Blå linje = grundvattenytan, vit linje = lakvattenplym. Observationsrör 202 är inritad vid 90 meter. Notera att observationsrörets placering egentligen är knappt 20 meter öster om profilen. Blå linjen i röret = tolkad grundvattenytan av Petersson (2002).



Figur 23. L2 med tolkade lagergränser där morän finns ned till svart streckad linje som representerar berggrundsytan. Vit linje = lakvattenplymen där gränserna i N och S är diffusa och markeras streckat vit. Observationsrör G5 återfinns på cirka 54 meter och ligger knappt 15 meter öster om profilen. Grundvattenytan ligger i markytan.

5.2 Tolkning

5.2.1 Linje 1

Observationsrör 202, beläget knappt 20 meter öster om (nedströms) profilen, visar en grundvattenyta på 1,5 meter djup under markytan. Enligt tolkning av resistivitetsdatan är grundvattenytans nivå aningen djupare. Den sprickfria berggrundsytan ligger på 120 meter över havet vid profilens nordliga ände. Från cirka 110 meter längs profilen till cirka 200 meter mot söder syns en svacka i berggrundsytan. Längst i söder befinner sig berggrundsytan på cirka 118 meter över havet. Den övre delen av profilen ned till berggrundsytan kan tolkas på två alternativa sätt vilka beskrivs nedan. Undantaget är det lilla lågresistiva området längst i N som antas vara en störning, vilket vanligen uppstår i kanterna av en profil. Störningen kan härledas till brist på interpolationspunkter. Tolkningen av berggrundsytans läge i tolkning 1 och 2 är densamma.

Tolkning 1 - Den mest troliga tolkningen, baserad på observationer i fält och information om de geologiska förhållandena från litteraturundersökningen, är inritad i figur 22. Det lågresistiva området mellan 130 – 240 meter längs profilen tolkas som en lakvattenplym. Grundvattenytan är belägen kring 3 meters djup med en ovanliggande omättad vattenzon som gör att gränsen blir diffus uppåt. Eftersom att moränen beskrivits som varierande men generellt finkornigare närmare markytan är det inte orimligt att kapillärkraften i sandig siltig morän är tillräcklig stark för att dess vatten ska synas i modellen.

Tolkning 2 - Morän återfinns ned till cirka 123 meter över havet och underlagras av ett okänt lager med

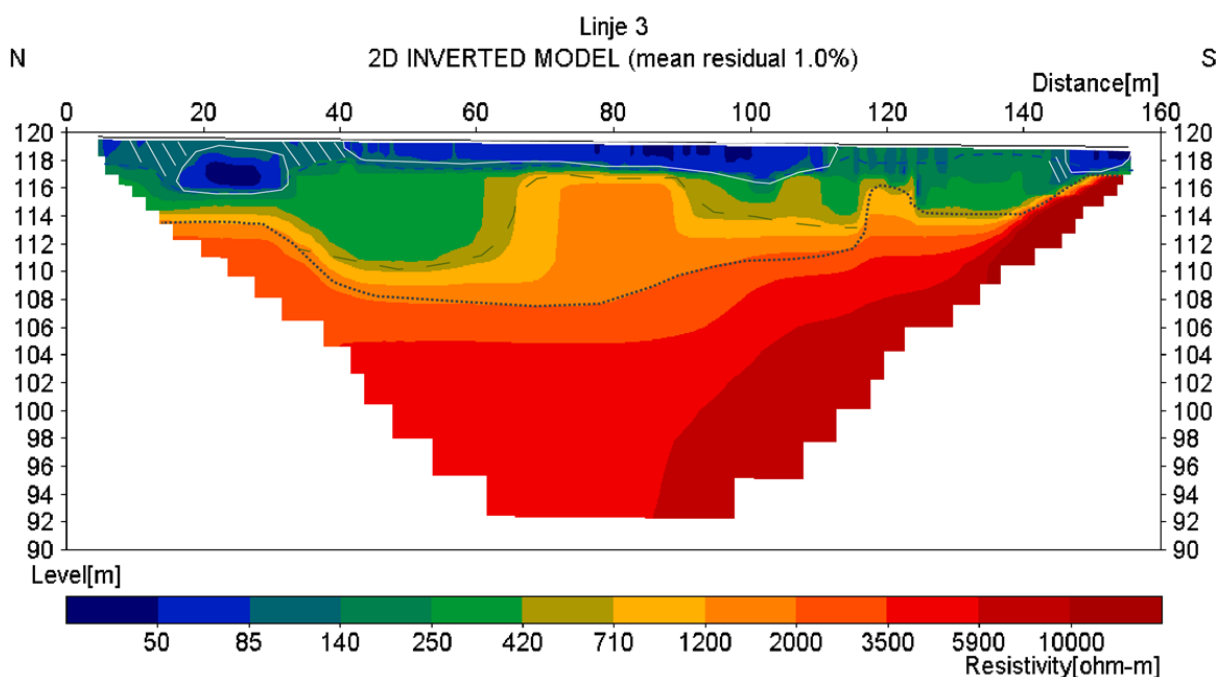
lägre resistivitet i vilket även lakvattenplymen rör sig. Tolkningen av lakvattenplymens utbredning är densamma som i tolkning 1. Denna tolkning får anses som mindre trolig då inga andra undersökningar visat på förekomst av andra jordlager än morän.

5.2.2 Linje 2

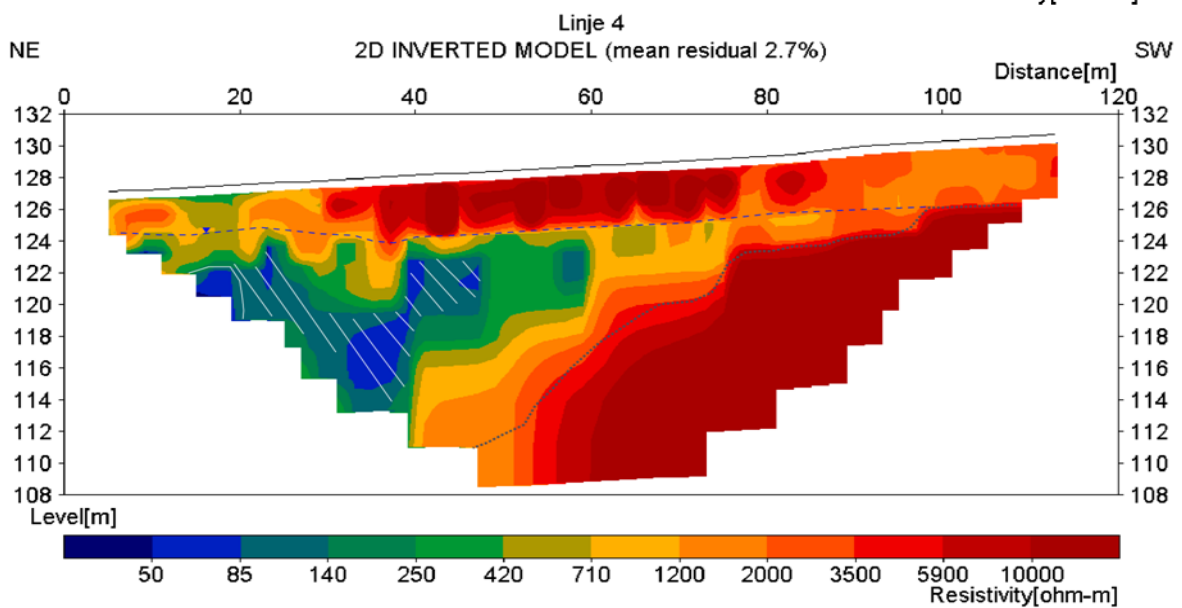
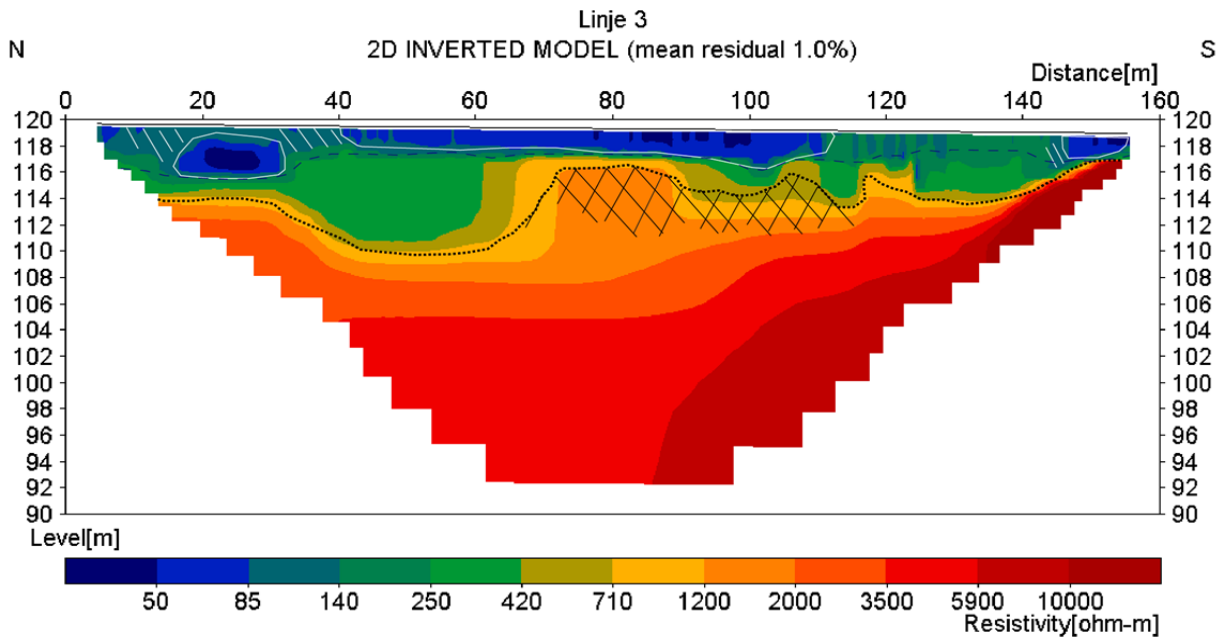
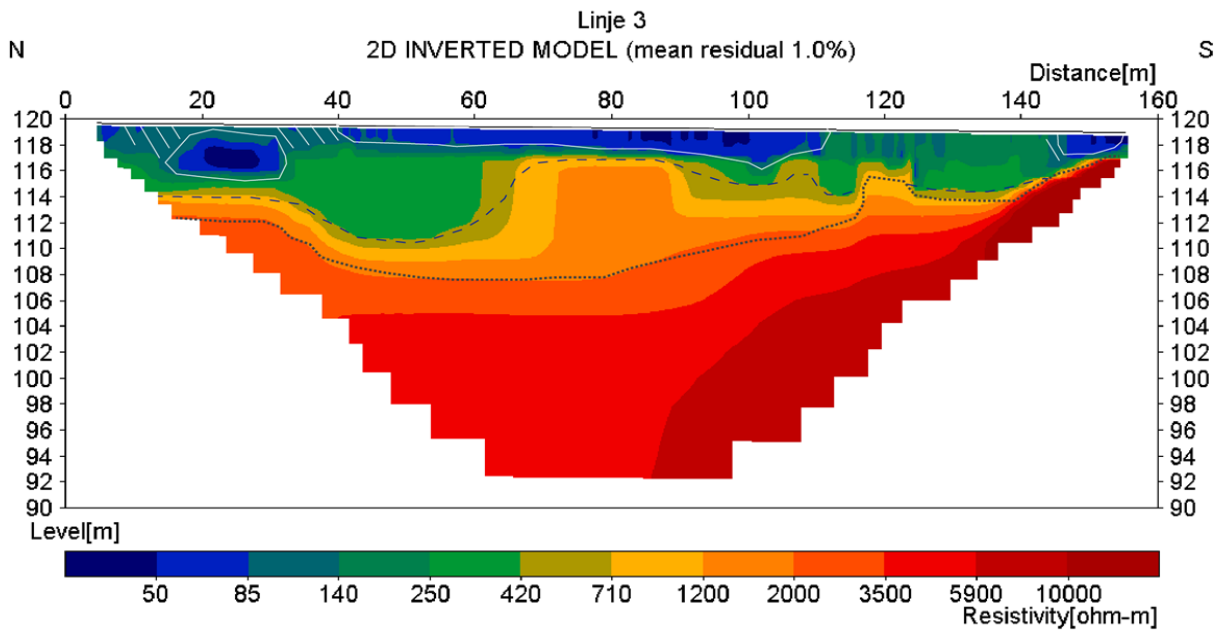
Enligt tolkning av resistivitetsprofilen (figur 23) ligger lakvattenplymens primära flöde centralt i profilen och i ett yttligare läge jämfört med L1, där gränserna för lakvattenplymen är mer diffusa i norr- och sydded. Grundvattenytan ligger troligen strax under markytan och kan därför inte detekteras som en gräns i profilen och har därmed ej ritats in. Den sprickfria berggrundsytan är markerad med svart linje. Observationsrör G5 ligger knappt 15 meter österut, vid cirka 54 meter i horisontaled, där enligt Rosander & Sundlöf (2012) 1/3 av lakvattenplymens kloridhalter noterats vid provtagning, detta stärker tolkningen att gränserna är diffusa.

5.2.3 Linje 3

Längs L3 är ytterkanten av lakvattenplymen mycket diffus vilket försvårar en definitiv avgränsning av utbredningen. Grundvattenytan ligger nära markytan och går därför inte att urskilja i resistivitetsprofilen. Tolkningen av lakvattenplymens avgränsning visar på en mycket diffus gräns. I figurerna 19 och 20 med de horisontella respektive de vertikala strukturerna förstärkta, syns en tydlig bergskant vid cirka 118 meter. Resistivitetsprofilen för L3 kan ge tre möjliga tolkningar.



Figur 24. Tolkning 1 av L3. En möjlig isälvsavlagring centralt i bilden är markerat med grön streckad linje. Svart streckad linje = berggrundsytan, Mörkblå linje visar möjlig gräns mellan torv och underliggande morän. Vit linje = lakvatten och vit streckad linje = diffus zon. Grundvattenytan ligger i markytan.



Figur 25. (till vänster, överst) Tolkning 2; med undulerande torvlager ovan moränlager, mörkblå streckad linje. Svart streckad linje = berggrundsytan, vit linje = lakvatten och vit streckad linje = diffus zon. Grundvattenytan ligger i markytan.

Figur 26. (till vänster, mitten) Tolkning 3; där berggrundsytan är närmare marken och uppsprucken, vilket skapar en mycket utbredd resistivetsgräns. Grundvattenytan ligger i markytan.

Figur 27. (till vänster, nederst) Tolkning av lagergränser i linje 4 där blå streckad linje = grundvattenytan, Svart streckad linje = berggrundsytan, vit linje = lakvattenplym och vit streckad = diffust lakvatten. Observationsrör G2 ligger cirka 74 meter om profilens nordöstra änder.

Tolkning 1 - (figur 24) Grundvattenytan är belägen så pass nära markytan att den ej kan utrönas exakt. Lakvattnets horisontella utbredning har ökat ytterligare med diffusa områden mellan huvudstråken. Ovan moränen finns ett torvlager, något som noterades i fält, vilket försvårar avgränsningen av lakvattenplymen från den vattenfyllda torvavlagringen. Centralt under moränen ligger en isälvsavlagring som troligtvis har en nordvästlig-sydvästlig riktning eftersom den ej står att finna längs med L2.

Tolkning 2 - (figur 25) Mäktigheten på torvlaget varierar vilket ger upphov till en undulerande gräns mellan morän och torv. Tolkningen av lakvattnets avgränsning samt berggrundsytan är densamma som i tolkning 1.

Tolkning 3 - (figur 26) Berggrundsytan är undulerande och uppsprucken på ett flertal ställen. Torvlagrets underyta har tolkats på liknande sätt som i tolkning 1. Det är möjligt att torvlagrets mäktighet är större men en definitiv gräns mellan torvlaget och moränlagret är omöjlig att göra då endast resistivetsprofiler finns att tillgå.

5.2.4 Linje 4

L4 gjordes för att undersöka om lakvatten spridit sig mot observationsrör G2. G2 återfinns cirka 74 meter från profilens nordöstra ände. Inga spår av lakvatten kan påvisas i resistivetsprofilen (figur 27). Däremot konstateras en lakvattenpåverkan mellan 0-40 meter i horisontaled. Området ligger i närheten av detekterat lakvatten i L1. Längst i nordöst vid markytan är resistivetsvärdena lägre vilket tolkas som ett område där vattenmättnadsgraden är högre jämfört med moränen i sydväst.

6 Diskussion

6.1 Tolkning

De olika lagergränserna i L1, L2 och L4 är tydliga medan lagergränserna i L3 är mer diffusa. Utifrån den tillgängliga datan anses i dagsläget tolkning 2 samt 3

vara de mest realistiska för L3. Ytterligare ett möjligt alternativ är en kombination mellan tolkning 2 samt 3. Torvlagrets mäktighet är svår att bedöma då lakvatten kan ha kontaminerat moränen och torvlaget vilket gör att lagrena är svåra att urskilja med hjälp av enbart resistivitet. Bedömningen att tolkning 1 är mindre realistisk stärks av att inga isälvsavlagringar finns i närområdet enligt jordartskartan figur 6.

Den diffusa zonen avgränsning underlättas av mätningarna i observationsrör G5 (cirka 54 meter från profilens norrände) där kloridhalten är 1/3 av lakvattnets kloridhalt och konduktiviteten är ca 42 mS/m. På grund av att andra joner än kloridjoner ökar konduktiviteten och dessa, övriga joner, fastläggs mer eller mindre under transportvägen borde konduktiviteten vara lägre längre ifrån infiltrationsområdet. Trots detta går det att urskilja ett högkonduktivt/lågresistivt område i sista linjen L3. Detta är förväntat på grund av att alla joner i lakvattnet ej hinner fastläggas på ett sådant kort avstånd samt att vissa joner, exempelvis kloridjoner, är av den karaktären enligt Rosander & Sundlöf (2012) att de inte fastläggs. Det är svårbedömt att utan någon referens veta vilka resistivetsnivåer som visar på lakvattenpåverkan; därför har uppmätt kloridhalt och konduktivitet i G5 använts som en indikator på diffus lakvattenpåverkan.

Vid bestämning av den diffusa zonen och det centrala flödet av lakvattenplymen har hänsyn tagits till det generella resistivetsintervallet för lakvatten (tabell 1). Trots att lakvattnets resistivetsintervall är mycket lågt i tabellen måste det hållas i åtanke att lakvattnet späds med grundvatten vid infiltrering i marken, vilket bidrar till att resistivetsnivån för lakvatten i mark blir högre jämfört med rent lakvatten. Intervallet beror också på vilka slags avfall som skapat lakvattnet.

Vad som måste beaktas gällande kloridhalten är att det inte enbart är kloridjoner som påverkar konduktiviteten. Detta kan leda till att konduktiviteten i områden med lägre kloridhalter kan ha liknande ledningsförmåga på grund av andra joner; den möjligheten får anses som minimal på grund av att transportvägen är densamma för alla joner.

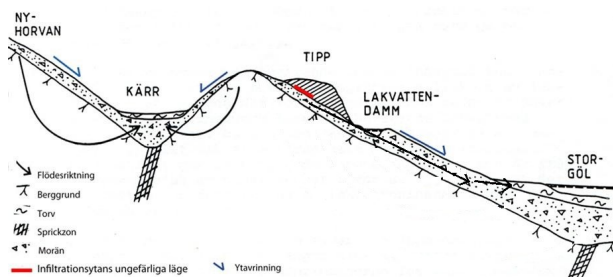
Grundvattenytans läge enligt Petersson (2002) stämmer ej överens med tolkning av resistivetsprofilens grundvattenyta. En anledning till detta kan vara att grundvattenytan ligger närmare marken vid observationsröret jämfört vid L1. Påståendet stärks av att grundvattennivån noteras ligga grundare närmare Storgöl. Det kan även bero på att, vid undersökningen gjord av Petersson (2002) har kapillärt vatten misstags för grundvatten. En högre nederbörd vid tillfället för Peterssons undersökning kan dessutom ha bidragit till en grundvattenyta närmare markytan vilket bland annat kan bero på säsongvariationer. I detta fallet får en kombination av att observationsröret är placerat en bit nedströms och en säsongsvarierad grundvattenyta ses som de rimligaste orsakerna.

I L3 återfinns ett lågresistivt område längst i söder, vilket tyder på att lakvattenplymens centrala flöde har delats upp i mindre flöden och att L3 ej täcker in hela plymen. En annan möjlighet är att plymen bara består av tre separata centrala flöden och den diffusa gränsen är belägen utanför profilen. Ytterligare ett alternativ är att det lågresistiva området längst i söder beror på interpoleringsfel vilket var fallet för det lilla lågresistiva området i L1. Huruvida lakvattenplymens horisontella utbredning är bredare än resistivitetlinjen går ej att fastställa.

En korrekt tolkning av underliggande lager i L1 anses mindre viktigt att verifiera då det inte påverkar bedömningen av lakvattenplymens utbredning. Detta gäller även för underliggande lager i L3 som enligt tolkningen ej påverkats av lakvatten.

Figur 7 visar ett grundvattenflöde genom berggrunden; flödet kan ej bekräftas genom tolkning av resistivitetsprofilerna och i en ny profilbild borde således grundvattenpilarna enbart ritas i jordlagret (figur 28).

Tidigare litteratur indikerar sprickor i berggrunden i NV-SÖ samt NÖ-SV riktning varpå sprickor bör synas i resistivitetsprofilerna som lågresistiva områden. Profilerna visar inga tecken på sprickor i berggrunden. Resistivitetsmätningarna är utförda mycket nära deponin och det är alltså rimligt att anta att karaktären på de-



Figur 28. Nya flödespilar i profilbilden över Kejsarkullens deponi. (Modifierad efter Holmstrand & Rosander 1990).

ponins underliggande berggrund är liknande. Att berggrunden i tidigare undersökningar har beskrivits som sprickig kan ha medfört att felaktiga antaganden har gjorts i andra sammanhang i frågor kring deponin.

Målet att avgränsa lakvattenplymen får anses som uppfyllt då profilerna visar områden tydligt påverkade av lakvatten.

6.2 Felkällor

Sammanhängande områden i rådatan tyder på att datan är av god kvalitet. Modelleringsarna har ett lågt värde gällande *Mean residual* (nästan alla profiler har under 3%), detta indikerar att modellerna av markens resistivitet är trovärdiga. När elektroderna placeras ut i mar-

ken är det viktigt att jorden är tillräckligt fuktig, vilket även var fallet då mätningarna utfördes. Sammanfattningsvis kan resultaten betraktas som trovärdiga.

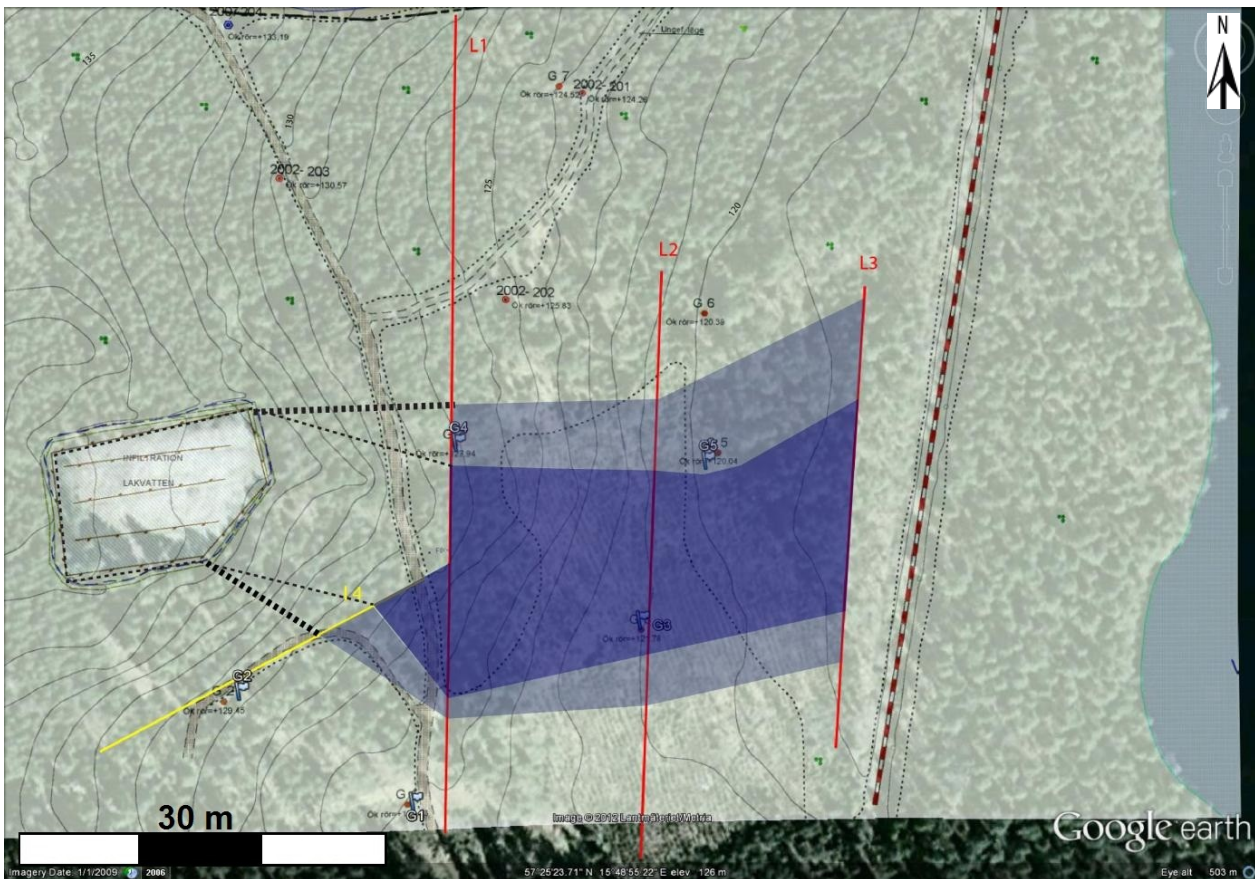
7 Slutsatser

I frågeställningen om lakvatten finns vid observationsrör G2 kan slutsatsen dras att så ej är fallet. Förekomsten av lakvatten i observationsrör G2 kan enligt resistivitetsdata ej bekräftas. Lakvatten detekteras längst till nordöst och knappt 50 meter in i profilen i horisontal led, alltså mer än 20 meter från observationsrör G2.

Att avgränsa en definitiv lagergräns mellan moränen och torven är problematiskt då det ej finns någon provborring att korrelera till. Kompletterande undersökningar är nödvändiga för att besvara denna fråga, men får anses som onödiga för just denna undersökning samt det övergripande syftet.

Den mest troliga transportvägen för lakvattnet framgår av en sammanställning av de utförda resistivitetsprofilerna (figur 29), med undantag för en viss osäkerhet i profil 3 där det ej går att bedöma om lakvattenplymens utbredning i nord-sydlig riktning är större än profilen. I figur 29 särskiljs det centrala flödet från det diffusa flödet. Noterbart är att längre bort från infiltrationsområdet blir gränserna mer diffusa, vilket inte är förvånande då diffusion av lakvattnet till omkringliggande grundvattenflöden sker naturligt. Det sammanställda lakvattenflödet tar ej hänsyn till att utbredningen kan variera på olika djup i marken utan visar endast maximal utbredning i horisontal led.

Studiens problemformulering att lokalisera lakvattenplymen för att underlätta Hultsfreds kommuns initiativ att ta jordprover bedöms vara uppnådd. Planering av provtagningen av jorden, för att bedöma markens mättnadsgrad av föroreningar, rekommenderas utgå från de enskilda profilbilderna och inte figur 29. Det beror på att det ej tagits hänsyn till lakvattenflödets maximala utbredning i vertikalled i den sammanställda bilden.



Figur 29. Sammanställd bild över maximala lakvattenflödet. Ingen hänsyn har tagits till att utbredningen skiljer sig i vertikalled. Mörkblått = Huvudflöde, ljusblått = diffus zon, smal streckad linje = antagen lakvattenzon, tjock streckad linje = antagen diffus zon (Modifierad efter Lantmäteriet, 2012 och Sundlöf, 2012b).

8 Tack

Jag vill rikta ett stort tack till mina handledare; Bertil Sundlöf, geohydrolog på Tyréns, för hans engagemang i mitt arbete och för att jag fick möjligheten att göra detta projekt; Per Möller, professor i kvartärgeologi, för hans pedagogiska sätt att hjälpa mig med texten och hans tips om vetenskapligt skrivande.

Ett stort tack till Carl-Henrik Månsson, geofysiker på Tyréns, för hans engagemang och för att han hjälpte mig med den geofysiska undersökningen i fält. Han har spelat en viktig roll i mitt arbete och delat med sig av sina kunskaper om geofysiska undersökningar.

Jag vill även nämna Dan Hammarlund, professor inom kvartärgeologi, som kommenterade på vissa delar i texten trots tidsbrist.

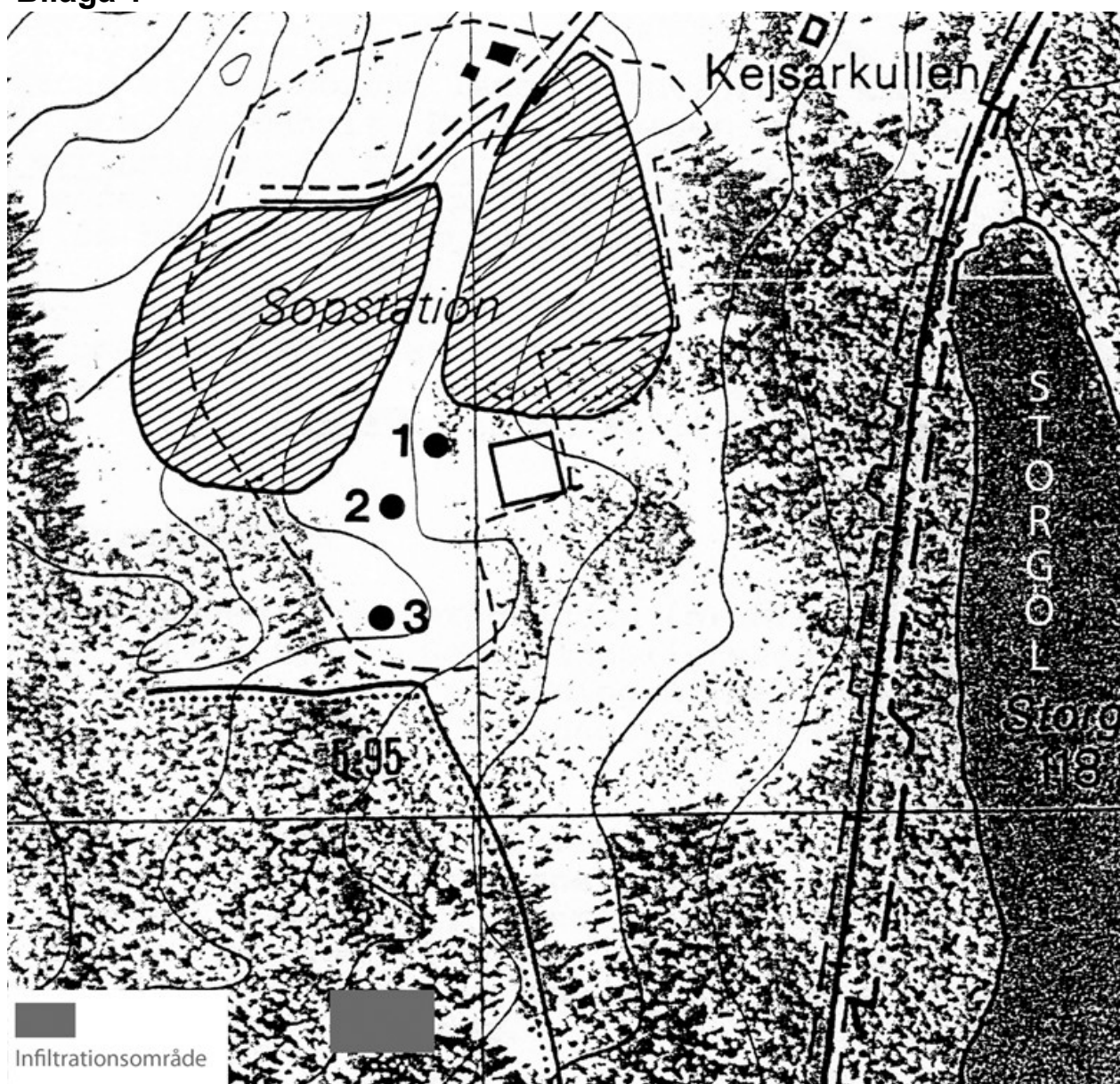
Ett stort tack till Emma Hultin Eriksson, David Weibull och Martin Qvarnström för allt stöd och det tålamod de visat.

Referenser

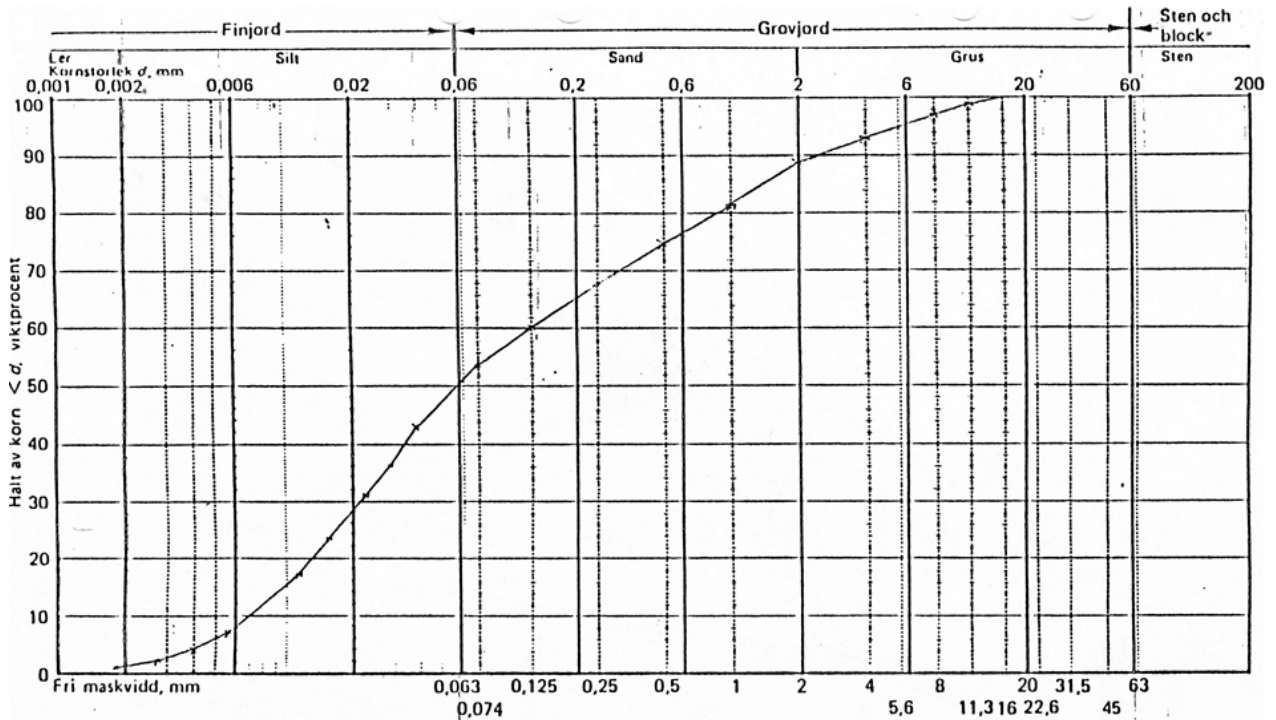
- Forsberg, L. & Sundlöf, B. 2006: Avslutningsplan Kejsarkullens deponi. Uppdragsnummer: 1440348100. Uppdragsgivare: Hultsfred Kommun. Uppdragstagare: SWECO VBB VIAK AB, 20 s. Opublicerat.
- Fredén, C. 2000: National Atlas of Sweden: *Geology*. SNA Publishing. 208 s.
- Holmstrand, O. & Lindblad-Påsse, A. 1990: Teknisk beskrivning: *Hultsfred kommun - Kejsarkullens avfallsupplag*. Uppdragsnummer 390896-01. Uppdragsgivare: Hultsfred kommun. Uppdragstagare: SCANDIACONSULT VÄST A B, 33 s. Opublicerat.
- Hoyer, K. & Persson, K. M. 2006: Om filtrering och andra fysikalisk-kemiska separationsmetoder för lokal behandling av lakvatten. 60 s. Citerar Naturvårdsverket. 1993: Lokal lakvattenbehandling: *erfarenheter från 42 svenska deponier*. Rapportnummer 4228. ISBN 91-620-4228-9. Naturvårdsverket, 82 s.

- Hoyer, K. & Persson, K. M. 2006: Om filtrering och andra fysikalisk-kemiska separationsmetoder för lokal behandling av lakvatten. 60 s. Citerar RVF. 1996: Lokal lakvattenbehandling: *En vägledning för val av behandlingsmetod för lakvatten från kommunala avfallsupplag*. Rapportnummer 1996:4. Svenska Renhållningsverksföreningens Service AB, 57 s.
- Hultin Eriksson, E. 2012. Foto över Kejsarkullens infiltrationsyta. (Taget: 2012-09-26).
- Jeppsson, H. 2012a: Geoelektriska metoder inom tillämpad geofysik. Geologiska institutionen, Lunds universitet, 58 s. Opublicerat.
- Jeppsson, H. 2012b: Geoelektriska metoder inom tillämpad geofysik. Geologiska institutionen, Lunds universitet. s 6, 7, 20, 21, 9, 9, 58 s. Opublicerat.
- Johansson, R., Kornfält, K-A., Linén, A. H., Svantesson, S-I., Wahlgren, C-H., Isaksson, H. & Lindroos, H. 2000: Förstudie Hultsfred: *Jordarter, bergarter och deformationszoner*. Rapportnummer: R-00-11. Uppdragsgivare: Svensk Kärnbränslehantering. Uppdragstagare: SGU, GeoVista AB och Mirab. Opublicerat.
- Lantmäteriet. 2012: Google Maps. (Hämtad 2012-08-31): <https://maps.google.se/>
- Lantmäteriet/Metria. 2012: Kartor, vägbeskrivningar, flygfoton, sjökort & mycket mer på eniro.se. (Hämtad 2012-10-09): <http://kartor.eniro.se/m/9B1FU>
- Naturvårdsverket. 2008a: FAKTA: *Lakvatten från deponier*. Rapportnummer 8306. ISBN 978-91-620-8306-9. Naturvårdsverket, 35 s.
- Naturvårdsverket. 2008b: Kvalitetssäkring av botten konstruktion och sluttäckning i en deponi: *Vägledning till 32 och 37 §§ i deponeringsförordningen (2001:512)* Rapportnummer 5909. ISBN 978-91-620-5909-5. Naturvårdsverket, 22 s.
- Naturvårdsverket. 2012: www.naturvardsverket.se: Lagstiftning och vägledning inom deponiområdet: *Uppsamling och rening av lakvatten*. (Hämtad 2012-08-16) <http://www.naturvardsverket.se/Start/Produkter-och-avfall/Avfall/Hantering-och-behandling-av-avfall/Deponering-av-avfall/Lagstiftning-och-vaegledning/>
- Petersson, A. 2002: Hultsfred Kommun Kejsarkullen: *Provgropsgrävningar, datum 2002-01-16*. Uppdragsgivare: Hultsfreds kommun. Uppdragstagare: SWECO VBB VIAK, 2s. Opublicerat.
- Reynolds, J.M. 1997: *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. England: John Wiley & Sons Ltd. 796 s.
- Rihm, T. 2010: Underlag för vägledning beträffande inventering, undersökning och riskklassning av gamla deponier: *Lakvatten och deponigas*. Uppdragsnummer: 13897. Diarienummer 2-0902-0098. SIG, 51 s.
- Rosander, M. & Sundlöf, B. 2012: Utvärdering av seende lak- och dagvatten under provtagningsperiod 2003-2011: *Kejsarkullens deponi*. Uppdragsnummer: 203707. Uppdragsgivare: Hultsfreds Kommun. Uppdragstagare: Tyréns, 22 s.
- Sundlöf, B. 2005: Kompletterande uppgifter till Avslutningsplan för Kejsarkullens avfallsanläggning, Hultsfreds kommun. Uppdragsgivare: Hultsfreds kommun. Uppdragstagare: Tyréns, 8 s. Opublicerat.
- Sundlöf, B. 2012a: Muntlig källa: Möte i Halmstad (2012-08)
- Sundlöf, B. 2012b: Karta_mätpunkter_sättningar. 1 s. Opublicerat.
- Svensson, E., 2012: Infiltrationsområdet, Kejsarkullens deponi. Mejlkonversation mellan ehultineriksson@gmail.com och elin.svensson@osk.hultsfred.se (2012-11-06)
- SWECO VBB VIAK. 2002: Återförhämtningsförsök: Hydraulisk konduktivitet. Uppdragsgivare: Hultsfreds kommun. Uppdragstagare: SWECO VBB VIAK, 6s. Opublicerat.
- Wahlgren, C-H., Kornfält, K-A., Johansson, R., S-I. & Isaksson, H. 2000: Förstudie Hultsfred: *Fält kontroll av berggrunden inom potentiellt gynnsamma områden*. Rapportnummer: R-00-44. Uppdragsgivare: Svensk Kärnbränslehantering. Uppdragstagare: SGU och GeoVista AB. Opublicerat.

Bilaga 1



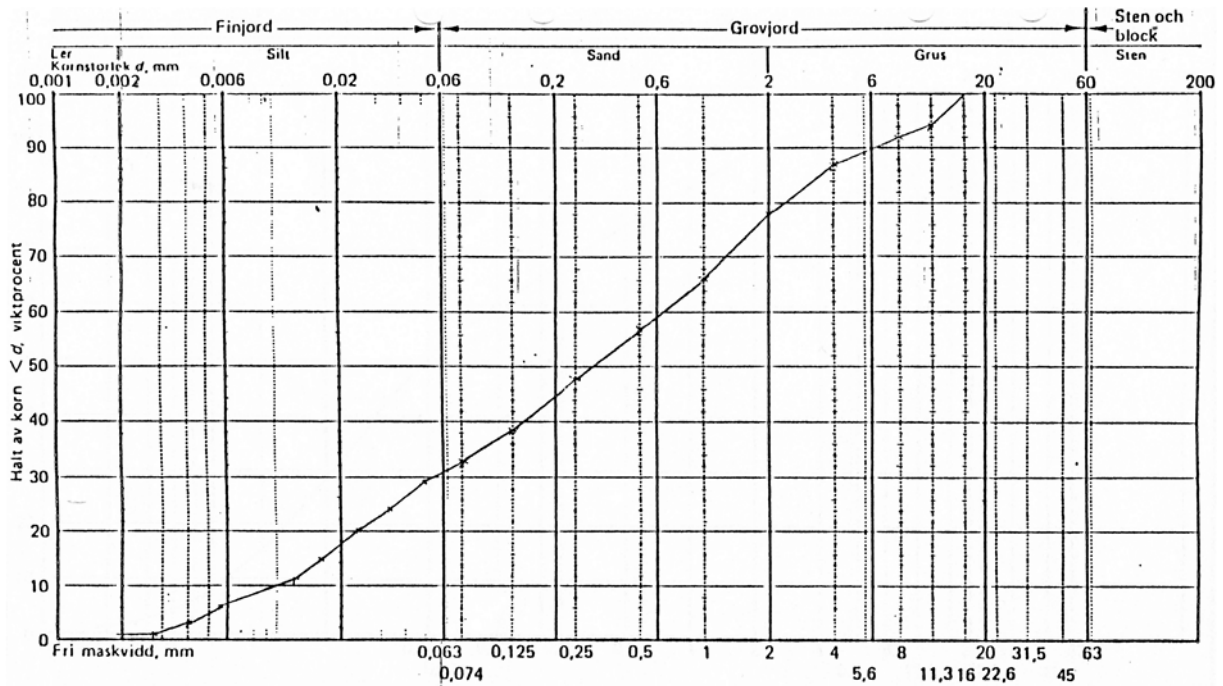
(Holmstrand & Lindblad-Påsse, 1990)



Prov nr	Sikning				Sedimentering				Graderings-tal $C_u = d_{60}/d_{10}$	Tjällfärdighets-grupp		
	Total lab prov g	Siktad provmängd g		Största korn-storlek, mm	Halt av milt (1) >60 mm, % (2) >20 mm, %	Provmängd g	Provnings-metod	Förhållning				
1	899	<60 mm	<20 mm	25	5	109	<input checked="" type="checkbox"/> Hydrometer <input type="checkbox"/> Vågkropp <input type="checkbox"/> Pipett	Humus	Järn	Salter	18	

Prov nr	Benämning av material <input type="checkbox"/> <60 mm <input type="checkbox"/> <20 mm	Tilläggbenämning enligt <input type="checkbox"/> totalt laboratorieprov <input type="checkbox"/> fältobservation	Anmärkning
1	Sandig SILTMORÄN		

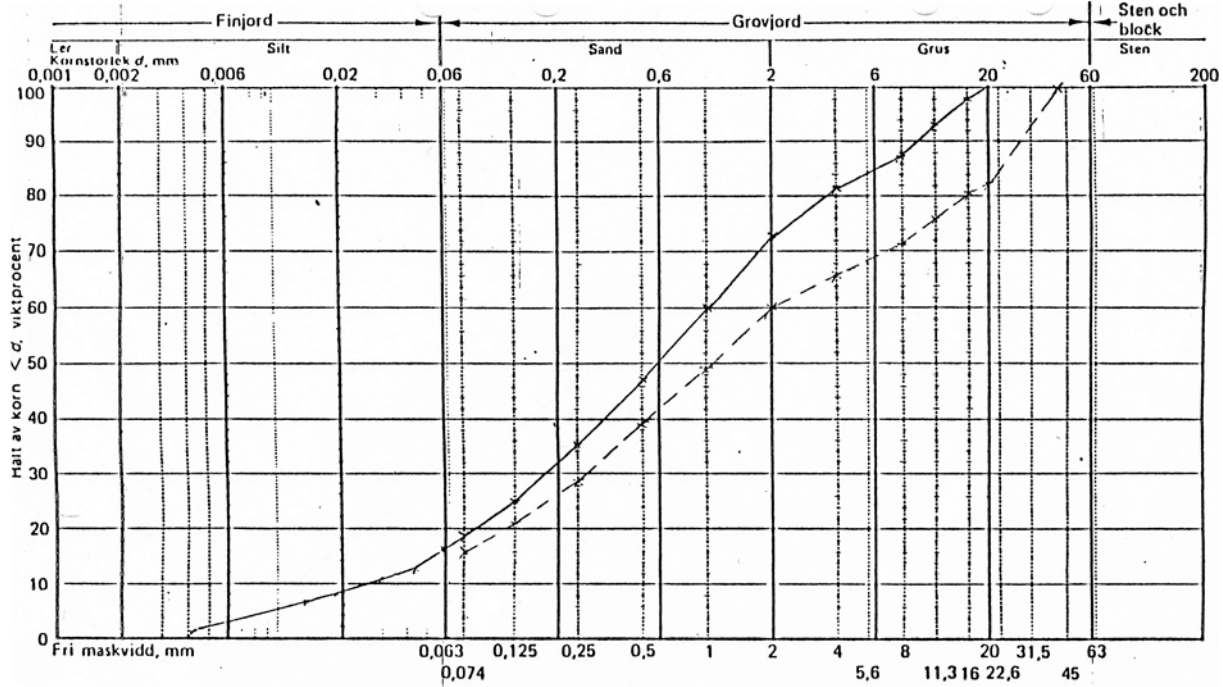
(Holmstrand & Lindblad-Påsse, 1990)



Prov nr	Sikning				Sedimentering				Graderings-tal $C_u = d_{60}/d_{10}$	Tjällfärdighets-grupp			
	Totall lab prov g	Siktad provmängd, g		Största korn-storlek, mm	Halt av milt (>60 mm, % / >20 mm, %)	Provmängd g	Provnings-metod	Förhållning					
2	1003	<60 mm	<20 mm	32	9	122	<input checked="" type="checkbox"/> Hydrometer <input type="checkbox"/> Vågkropp <input type="checkbox"/> Pipett	Humus	Järn	Salter	Lerhalt % av milt <0.06 mm	60	

Prov nr	Benämning av material	Tilläggsbenämning enligt	Anmärkning
2	Siltig sandmorän	<input type="checkbox"/> totalt laboratorievprov <input type="checkbox"/> fältobservation	

(Holmstrand & Lindblad-Pässe, 1990)



Prov nr	Sikning				Sedimentering				Graderings-tal $C_u = d_{60}/d_{10}$	Tjällfärdighets-grupp			
	Totall lab prov g	Siktad provmängd, g		Största korn-storlek, mm	Halt av milt (>60 mm, % / >20 mm, %)	Provmängd g	Provnings-metod	Förhållning					
3	1189	<60 mm	<20 mm	40	18	99	<input checked="" type="checkbox"/> Hydrometer	Humus	Järn	Salter	Lerhalt % av milt <0.06 mm	40	

(Holmstrand & Lindblad-Pässe, 1990)

Bilaga 2

Inversion settings
Initial damping factor (0.01 to 1.00)
0.1
Minimum damping factor (0.001 to 0.75)
0.005
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
Minimum change in RMS error for line search in percent (0.5 to 100)
0.5
Number of iterations (1 to 30)
10
Vertical to horizontal flatness filter ratio (0.25 to 4.0)
1
Model for increase in thickness of layers(0=default 10, 1=default 25, 2=user defined)
2
Number of nodes between adjacent electrodes (2 or 4)
2
Flatness filter type, Include smoothing of model resistivity (0=model changes only,1=directly on model)
1
Reduce number of topographical datum points? (0=No,1=Yes. Recommend leave at 0)
0
Carry out topography modeling? (0=No,1=Yes)
1
Type of topography trend removal (0=Average,1=Least-squares,2=End to end)
0
Type of Jacobian matrix calculation (0=Quasi-Newton, 1=Gauss-Newton, 2=Mixed)
1
Increase of damping factor with depth (1.0 to 2.0)
1.1
Type of topographical modeling (0=None, 1=No longer supported so do not use, 2=uniform distorted FEM, 3=underwater, 4=damped FEM, 5=FEM with inverse Swartz-Christoffel)
0
Robust data constrain? (0=No, 1=Yes)
1
Cutoff factor for data constrain (0.0001 to 0.1))
0.05
Robust model constrain? (0=No, 1=Yes)
1
Cutoff factor for model constrain (0.0001 to 1.0)
0.005
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)
2
Type of mesh (0=Normal,1=Fine,2=Finest)
0

Optimise damping factor? (0=No, 1=Yes)	1
Time-lapse inversion constrain (0=None,1=Least-squares,2=Smooth,3=Robust)	0
Type of time-lapse inversion method (0=Simultaneous,1=Sequential)	0
Thickness of first layer (0.25 to 1.0)	0.5
Factor to increase thickness layer with depth (1.0 to 1.25)	1.1
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)	0.05
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)	0.1
USE AUTOMATIC IP DAMPING FACTOR (YES=1,NO=0)	0
CUTOFF FACTOR FOR BOREHOLE DATA (0.0005 to 0.02)	0.0001
TYPE OF CROSS-BOREHOLE MODEL (0=normal,1=halfsize)	0
LIMIT RESISTIVITY VALUES(0=No,1=Yes)	1
Upper limit factor (10-50)	50
Lower limit factor (0.02 to 0.1)	0.02
Type of reference resistivity (0=average,1=first iteration)	0
Model refinement (1.0=Normal,0.5=Half-width cells)	0.5
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)	0.01
Use fast method to calculate Jacobian matrix. (0=No,1=Yes)	1
Use higher damping for first layer? (0=No,1=Yes)	1
Extra damping factor for first layer (1.0 to 100.0)	5
Type of finite-element method (0=Triangular,1=Trapezoidal elements)	1
Factor to increase model depth range (1.0 to 5.0)	1
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
Factor to control variation of borehole damping factor with distance (0.5 to 5.0)	1
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 consistant with the geometric factor (0=No, 1=Yes)	0
Shift the electrodes to round up positions of electrodes (0=No, 1=Yes)	0
Use difference of measurements in time-lapse inversion (0=No,1=Yes)	0
Use active constraint balancing (0=No,1=Yes)	0
Type of active constraints (0=Normal,1=Reverse)	0
Lower damping factor limit for active constraints	0.4
Upper damping factor limit for active constraints	2.5
Water resistivity variation damping factor	8

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

280. Hansson, Anton, 2011: Torvstratigrafisk studie av en trädstamshorisont i Viss mosse, centrala Skåne kring 4 000 - 3 000 cal BP med avseende på klimat- och vattenståndsförändringar. (15 hp)
281. Åkesson, Christine, 2011: Vegetationsutvecklingen i nordvästra Europa under Eem och Weichsel, samt en fallstudie av en submorän, organisk avlagring i Bellinga stenbrott, Skåne. (15 hp)
282. Silveira, Eduardo M., 2011: First precise U-Pb ages of mafic dykes from the São Francisco Craton. (45 hp)
283. Holm, Johanna, 2011: Geofysisk utvärdering av grundvattenskydd mellan väg 11 och Vombs vattenverk. (15 hp)
284. Löfgren, Anneli, 2011: Undersökning av geofysiska metoders användbarhet vid kontroll av den omättade zonen i en infiltrationsdamm vid Vombverket. (15 hp)
285. Grenholm, Mikael, 2011: Petrology of Birimian granitoids in southern Ghana - petrography and petrogenesis. (15 hp)
286. Thorbergsson, Gunnlaugur, 2011: A sedimentological study on the formation of a hummocky moraine at Törnåkra in Småland, southern Sweden. (45 hp)
287. Lindskog, Anders, 2011: A Russian record of a Middle Ordovician meteorite shower: Extraterrestrial chromite in Volkhovian-Kundan (lower Darriwilian) strata at Lynna River, St. Petersburg region. (45 hp)
288. Gren, Johan, 2011: Dental histology of Cretaceous mosasaurs (Reptilia, Squamata): incremental growth lines in dentine and implications for tooth replacement. (45 hp)
289. Cederberg, Julia, 2011: U-Pb baddelyit dateringar av basiska gångar längs Romeleåsen i Skåne och deras påverkan av plastisk deformation i Protoginzonen (15 hp)
290. Ning, Wenxing, 2011: Testing the hypothesis of a link between Earth's magnetic field and climate change: a case study from southern Sweden focusing on the 1st millennium BC. (45 hp)
291. Holm Östergaard, Sören, 2011: Hydrogeology and groundwater regime of the Stanford Aquifer, South Africa. (45 hp)
292. Tebi, Magnus Asiboh, 2011: Metamorphosed and partially molten hydrothermal alteration zones of the Akulleq glacier area, Paamiut gold province, South-West Greenland. (45 hp)
293. Lewerentz, Alexander, 2011: Experimental zircon alteration and baddeleyite formation in silica saturated systems: implications for dating hydrothermal events. (45 hp)
294. Flodhammar, Ingrid, 2011: Lövestads åsar: En isälvsavlagring bildad vid inlandsisens kant i Weichsels slutskede. (15 hp)
295. Liu, Tianzhuo, 2012: Exploring long-term trends in hypoxia (oxygen depletion) in Western Gotland Basin, the Baltic Sea. (45 hp)
296. Samer, Bou Daher, 2012: Lithofacies analysis and heterogeneity study of the subsurface Rhaetian–Pliensbachian sequence in SW Skåne and Denmark. (45 hp)
297. Riebe, My, 2012: Cosmic ray tracks in chondritic material with focus on silicate mineral inclusions in chromite. (45 hp)
298. Hjulström, Joakim, 2012: Återfyllning av borrhål i geoenergisystem: konventioner, metod och material. (15 hp)
299. Letellier, Mattias, 2012: A practical assessment of frequency electromagnetic inversion in a near surface geological environment. (15 hp)
300. Lindenbaum, Johan, 2012: Identification of sources of ammonium in groundwater using stable nitrogen and boron isotopes in Nam Du, Hanoi. (45 hp)
301. Andersson, Josefín, 2012: Karaktärisering av arsenikförening 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 facietyper. (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 Colonius 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 oncolid 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)



LUNDS UNIVERSITET

Geologiska institutionen
Lunds universitet
Sölvegatan 12, 223 62 Lund