

Kartläggning av sand och naturgrus med hjälp av resistivitetmätning på Själland, Danmark

Hanna Nilsson

Examensarbeten i geologi vid Lunds universitet,
kandidatarbete, nr 522
(15 hp/ECTS credits)



Geologiska institutionen
Lunds universitet
2017

Kartläggning av sand och naturgrus med hjälp av resistivitetmätning på Själland, Danmark

Kandidatarbete
Hanna Nilsson

Geologiska institutionen
Lunds universitet
2017

Innehållsförteckning

1	Introduktion	7
2	Områdesbeskrivning.....	7
2.1	Sedimentär berggrund	7
2.2	Kvartära avlagringar	7
2.2.1	Glaciala och glacifluviala avlagringar	8
2.2.2	Postglaciala sediment	9
2.4	Hydrogeologi	9
2.5	Brunnsarkiv Jupiter	9
3	Metoder.....	9
3.1	Resistivitetsvärden	9
3.2	Multielektroduppställning	9
3.3	Fältarbete	10
3.4	Ekvivalensproblem och 3D effekter	11
3.5	Databearbetning/databehandling	11
4	Resultat och analys	12
4.1	Slutgiltiga resistivetsmodeller med geologisk tolkning	12
5	Diskussion	16
6	Slutsatser.....	17
7	Tack.....	18
8	Referenser.....	18
	Bilaga 1 Koordinater för profil 1-12.....	19
	Bilaga 2 Modellerade profiler i RES2DINV	21
	Bilaga 3 1D profiler	24
	Bilaga 4 Beskrivning av brunnarkiv.....	29

Kartläggning av sand och naturgrus med hjälp av resistivitetmätning på Själland, Danmark

HANNA NILSSON

Nilsson, H., 2017: *Examensarbeten i geologi vid Lunds universitet*, Nr. 522, 18 sid. 15 hp.

Sammanfattning:

Syftet med denna studie är att analysera resistivitetsdata från ett område i Hilleröd kommun och att kartlägga förekomsten av sand och grus. Naturgrus och sand är eftertraktade material inom anläggnings- och byggnadssektorn men fungerar också som bra grundvattenreservoarer. Region Hovedstaden i Danmark försöker hitta mäktiga lager av sand (0,6-2 mm) och naturgrus (2-20 mm) på Själland för utvinning. Studien är ett samarbete med konsultfirman COWI A/S och Lone Klinkby som arbetar som geofysiker där handleder arbetet. Undersökningen riktar in sig på ett område norr om Skævinge och är ca 2 km² stort. I området har det utförts 12 profiler av resistivitetmätning, som är en geofysisk mätmetod som mäter markens specifika elektriska motstånd. Mätningarna har tolkats och tvådimensionella modeller har formats i programmet RES2DINV. Dessa modeller har jämförts med brunnsarkiv från området och endimensionella profiler. De modellerade profilerna samt brunnsdata sattes samman på en karta i Qgis (geografisk informationssystem) för beskrivning av jordlagren. Geologin har blivit kartlagd i området och flera ytliga områden med högre resistiviteter har upptäckts. Dessa lager har tolkats som sand och grus, och sammanfaller med höjdområdena i området. Resultaten visar att det finns en potential för sand och grus i området. Detta innebär att kärnbörning rekommenderas för att styrka tolkningen.

Nyckelord: Geofysik, naturgrus, resistivitetmätning, geologi, Danmark, kvartärgeologi.

Handledare: Andreas Nilsson och Lone Klinkby

Ämnesinriktning: Geofysik och kvartärgeologi

Hanna Nilsson, Geologiska institutionen, Lunds universitet, Sölvegatan 12, 223 62 Lund, Sverige. E-post: HMC.Nilsson@gmail.com

Mapping sand and gravel deposits using electrical resistivity in Sjælland, Denmark

HANNA NILSSON

NILSSON, H., 2017: *Dissertations in Geology at Lund University*, No. 522, 18 pp. 15 hp (15 ECTS credits) .

Abstract:

The purpose of this study is to analyze resistivity data from an area in Hillerød municipality and to map the presence of sand and gravel. Gravel and sand are materials with high a demand in the construction sector, but also function as great groundwater reservoirs. Region Hovedstaden in Denmark wants to search for thick layers of sand (0.6-2 mm) and gravel (2-20 mm) in Sjælland for extraction. The research is performed in collaboration with the consultancy firm COWI A/S and is centered on an area north of Skævinge, which is approximately 2 km². In the area, 12 resistivity measurement profiles have been carried out. The method, electrical resistivity, measures the specific electrical resistance of the ground. The measurements have been interpreted and two-dimensional models have been formed in the RES2DINV program. These models have been compared with wells from the area and one-dimensional profiles. After the modeling has been done, the profiles and wells have been inserted into the map in Qgis (geographic information system) and a description of the soil layers has been made. The geology has been mapped in the area and several areas with superficial layers of higher resistivity have been found, which are interpreted as sand and gravel. These coincide with the topography of the area. The results show that there is a potential for sand and gravel in the area for extraction. Core drilling is recommended to strengthen the interpretation.

Keywords: geophysics, gravels, resistivity, geology, Denmark, quaternary.

Supervisor(s): Andreas Nilsson and Lone Klinkby

Subject: Geophysics and Quaternary Geology

Hanna Nilsson, Department of Geology, Lund University, Sölvegatan 12, SE-223 62 Lund, Sweden. E-mail: HMC.Nilsson@gmail.com

1 Introduktion

Konsultfirman COWI A/S har av Region Hovedstaden fått i uppdrag att utföra resistivitetsmätning på ett flertal områden på Själland med syfte att finna ett tillräckligt mäktigt lager av sand och grus för att det ska vara ekonomiskt försvarbart för uttag till anläggningsmaterial. Det efterfrågade materialet ska vara mellansand (0.6- 2 mm) och grus (2-20 mm). På Själland har tidigare endast ett fåtal gruslager hittats och COWI A/S's uppgift är att försöka finna mäktiga lager på flera ställen, bland annat vid Frederikssund och Hillerød. För närvarande köper Region Hovedstaden in naturgrus från Jylland, vilket lastar såväl ekonomin som CO₂-utsläpp från alla transporter.

Resistivitetsmätning är en geofysisk mätmetod som är billig att utföra. Mätningen är ett bra sätt att få en överblick över den lokala geologin. Metoden går ut på att mäta markens oförmåga att leda ström. Genom tolkning av markens olika resistiviteter kan man få förståelse för lagerföljdens uppbyggnad.

Uppgiften är att analysera resistivitetsdata från ett undersökningsområde och förhoppningsvis finna ett tillräckligt mäktigt sand- och gruslager för uttag till anläggningsmaterial av Region Hovedstaden. Sand och gruslagret ska vara ytligt för enkel åtkomst.

Fältarbetet är sedan utförts av fältgeologer på COWI i december 2016. Data som är uppsamlad ska tolkas i detta arbete. Tolkningarna kommer att baseras på resistivitetsmodeller som jämförs med jordarts- och geomorfologiskkartor för området samt GEUSs brunnsaktiv. Inspektion av området har skett under arbetet med denna analys.

2 Områdesbeskrivning

Mellan Skævinge, Meløse och Harløse ligger undersökningsområdet som är ett undulerande landskap och präglad av den senaste deglaciationen, efter Weichsel-istiden, och efterföljande interglacial, Holocen (figur 1 & 2). Området domineras av ett dödislandskap i de centrala delarna och i norr finns ett utbrett moräntäcke. I den västra delen av undersökningsområdet finns randmorän, se figur 5. Enligt jordartskartan från GEUS består den största delen av områdets ytliga avlagringar, som motsvarar plogdjupet 0,5 meter, av smältvattenssediment i form av sand och grus. I områdets västra del förekommer moränlera och på en liten bit av den centrala delen uppträder färskvattenavlagringar, såsom postglacial torv och gytta samt minerogen lera och sand från Holocen (figur 4).

Området är idag åkermark med inslag av betesmark. Ett fåtal träddungar förekommer. Undersökningsområdet är kuperat och böljande i jämförelse med resten av det förhållandevis flacka Själland.

2.1 Sedimentär berggrund

I undersökningsområdet återfinns Köpenhamnsformationen i brunnsloggarna. Köpenhamnsformationen består av grov slamkalksten och ligger i NV-SO riktning genom Jylland och Själland (Jensen & Larsen, 2012). Fragment av sjöborrar och andra fossiler förekommer i kalkstenen. Köpenhamnsformationen är troligen avsatt vid lugnare och

grundare vatten under Danian som tillhör undre Paleocen, ~ 61,6-66 miljoner år sedan (Jensen & Larsen 2012).

Köpenhamnskalkstenen överlagrar bryozokalk, som bitvis visar sig i områdets brunnsarkiv. Köpenhamnskalkstenen sträcker sig över till Sverige. (Jensen & Larsen 2012).

2.2 Kvärtära avlagringar

Danmarks landskap har präglats av glaciala aktiviteter under den senaste istiden för 114.000-10.000 år sedan (figur 3). I Danmark har man identifierat sedimentära avlagringar från de tre senaste istiderna: Elster-, Saale- och Weichselistiderna (Houmark-Nielsen et al. 2005). Under Weichselistiden var genomsnittstemperaturen 7 -8 grader lägre än dagens, och kontinentalsockeln var torrlagd.

Den nordeuropeiska iskappan täckte Skandinavien, de brittiska öarna och norra Tyskland samt Polen. Ismassorna band mycket vatten vilket resulterade i en havsnivåsänkning som gjorde att Danmark



Fig. 1. Foto över undersökningsområde (Kartdata @ 2017 Google Earth). Modifierad av Hanna Nilsson

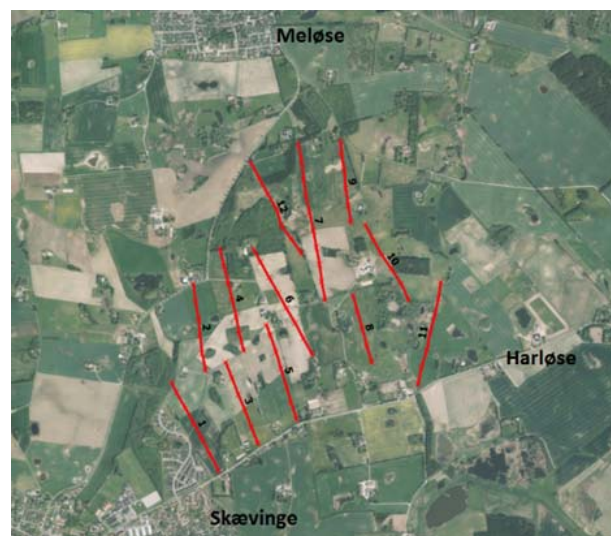


Fig. 2. Undersökningsområde med samtliga profiler. Kartdata @ 2017 DDOLand2016, COWI. Modifierad av Hanna Nilsson

sammanfogat med Storbritannien i ett enda stort tundralandskap. Under Weichselistiden gjorde den Skandinaviska isskölden ett flertal framstötningar över Danmark. Detta bidrog till att lagerföljden består av moränlera varvat med isälvavlagringar. (Houmark-Nielsen et al. 2005).

I undersökningsområdet finns både glaciala och postglaciala avlagringar, se figur 4. Det är framförallt den sista isframstötningen som kom från sydost som formade landskapet i området.

Centrala delar av området präglas av dödis. Detta kan innehålla både sorterade och osorterade jordarter. Moränkullar har bildats från flytmorän. Beroende på avsättning kan isälvmaterial uppträda här. Mellan sprickor och svackor i isblocken har sediment avlagrats. Moränryggar är orienterade tvärs från inlandsisens rörelseriktning. Stora mängder smältvatten från inlandsisen bidrar till större mängd smältvattensavlagringar i området (Binzer & Marcussen, 2001).

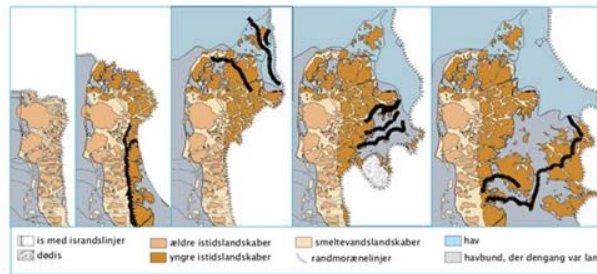


Fig. 3. Inlandsisens avsmältning från 18 000 år sedan över Danmark. Bild: Carsten Thuesson, Den store Danske, 2017

2.2.1 Glaciala och glacifluviala avlagringar

Glaciala sediment avsattes under den senaste istiden och vid inlandsisens avsmältning. Dessa återfinns i området. Isälvar bildades ovanpå, under och i inlandsisen som subglaciala tunnlar och sprickor, och därefter ansamlades vattnet runt randzonen. Området var periodvis glaciolakustrint. Det rinnande vattnet tog med sig isblock och löst material. Beroende på hastigheten sedimenterades materialet och avsattes som isälvsavlagringar. Ju kraftigare strömmar desto grövre material sedimenterade, och finare material hölls uppe i suspension i smältvattensfloderna. Leravlagringarna visar på ett stillastående vatten där suspenderande material stilla kunde singla ner till botten och sedimenteras.

Isälvsavlagringar är en sorterad jordart som förekommer både som ler-, silt-, sand- och grusavlagringar.

Mäktiga smältvattensavlagringar som varierar växelvis från lera, silt, sand och grus kan ses i flera brunnar, se figur 9, 14, 15, 17 och 18 (Binzer & Marcussen 2001). Smältvattnet förde ut sediment från den stagnerande isfronten och mycket sediment avsattes. Det är sorterade sediment och beskriver hur miljön var i just den perioden.

Området är ett utpräglat dödislandskap som karakteriseras av ett öppet backlandskap med böljande backar. Dödislandskapet bildades i slutet av den senaste istiden, Weichsel. Kvarliggande isblock

pressade ner marken och runt om dessa sedimenterades lera och morän som i dag ses som backar och kullar (Binzer & Marcussen 2001).

Bitvis består jordlagret av morän som har bildats genom att berggrund och äldre jordarter har krossats och förts med under de stora ismassorna.

I moränen kan man finna sten av granit och gnejs. Dessa har transporterats med isen från Sverige och Norge och släppt från iskappan över det danska landskapet (Jensen & Larsen 2012).

Moränleran (minst 12-14% lera) som finns i området innehåller bitvis en del kalk och flinta, vilket speglar Danmarks sedimentära berggrund. Moränlera är avsatt av en kalvande inlandsis som bildat ett böljande landskap. Moränleran är diamikt, det vill säga sorterade jordarter i huvudsakligen lera, med inslag av sand, grus och stenfragment.

Randmorän finns i undersökningsområdets västra



Fig. 4. Geomorfologin i undersökningsområdet. Profiler 1-12 i rött. Gult område visar dödislandskap, brunt område ska visa moräntäcke och lila område speglar en randmoräns område. Grönt är postglacial mosse/våtmark. Geomorfologisk karta från GEUS kartgenerator, modifierad av Hanna Nilsson 2017

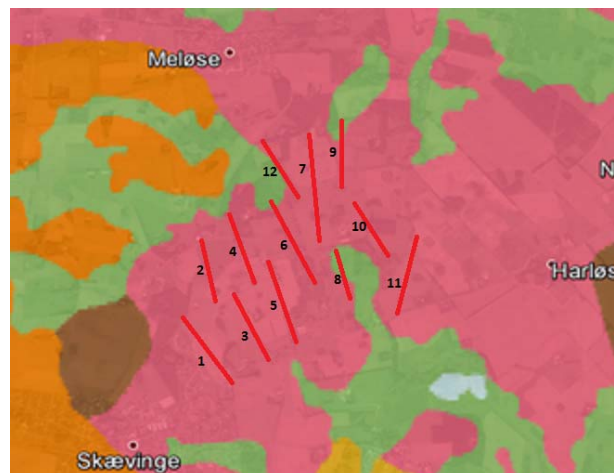


Fig. 5. Jordartskarta. Rosa symboliserar smältvattensavlagringar, såsom sand och grus, grönt färskvattensavlagringar, brunt föreställer moränlera, orange extramarginala avlagringar. Modifierad av Hanna Nilsson

del och består av morän men med inslag av smältvattenssediment.

2.2.2 Postglaciala sediment

Lera, gyttja och torv påträffas i områdets sänkor. Här kan det ha varit en igenväxt sjö, kärr eller mosse. Plastisk lera återfinns i brunnsarkiv. Större område av organiska jordar såsom moss- och torv finns utanför undersökningsområdets sydvästra hörn. Brunjord finns även på plogdjup (0,5 m).

2.4 Hydrogeologi

Enligt brunnsarkiven varierar grundvattennivån i området från 12,95 meter till 1,2 meter under markytan. Detta beror delvis på geologin men även på den kraftigt varierade topografien i området. Området är placerat 7,52 till 22,89 meter ovan havsnivå.

2.5 Brunnsarkiv Jupiter

GEUS programvara Jupiter har samlat alla brunnsaktiv i Danmark. Det finns flertal brunnar i området men i endast 15 av dem har lagerföljden noterats. Det som noteras i området är smältvattenavlagringar, moränlera, postglacial lera och kalksten. Mäktigheten av de olika materialen varierar. I vissa brunnar kan även smältvattensgrus uppkomma. På ca 30 meter djup ligger kalksten som tillhör Köpenhamnsformationen.

3 Metoder

Resistivitetmätning är en geoelektrisk metod som passar bra för kartering av jordlager och utvärdering av hydrogeologi och föroreningsrisker. Resistivitetmätning ger utslag på jordlagrens specifika elektriska motstånd, som mäts i ohm-meter (Ωm) (Ahrentzen et al. 1987). Mätningarna sker på markytan genom att elektroder slås ner i marken på en rak profil. En ström (I) skickas ner i marken genom två strömelektroder och potentialskillnaden (U) mäts mellan två potentialelektroder, se figur 6. Beroende på resistiviteten i markens olika lager kommer specifik spänning att mätas mellan potentialelektrodena. Markens resistivitet är skillnaden mellan strömstyrkan (I) och potentialskillnaden (U). Skillnad i spänning beror dels på styrkan på strömmen som sänds ner i marken, avståndet mellan elektrodena samt det elektriska motståndet i marken (Ahrentzen et al. 1987).

I en homogen jord går den elektriska strömmen radiärt ut från strömelektroden, medan i en tvålagerföljd ändras strömlinjernas form beroende på skillnaden mellan de två lagrens resistivitet (Ahrentzen et al. 1987). I en homogen mark mäts den verkliga resistiviteten. I praktiken förekommer inte det eftersom marken alltid är mer eller mindre heterogen. Skenbar resistivitet är medelvärde av alla heterogenitetens olika resistiviteter som mäts i strömfältet (Jeppsson & Dahlin 2016).

3.1 Resistivitetsvärden

Resistiviteten varierar i marken beroende på vilken typ av material marken är uppbyggd av och vad porerna innehåller. Viktiga faktorer som påverkar markens förmåga att leda ström är mineral, kornstorlek, porositet, temperatur, porvatteninnehåll,

vattenmättnadsgrad och mängden lösta joner, exempelvis vattnets salthalt. Hög jonhalt bidrar till sänkt resistivitet, exempelvis saltvatteninträngningar eller förorenat vatten vid deponier (Jeppsson & Dahlin 2016).

Lermineral, vatten och salthalt är avgörande faktorer i sedimentära lagars resistivitet. Rent vatten är en dålig ledare men med små mängder salt blir vattnet en bra ledare. Lermineral leder ström mycket bra, då ytan är negativt laddad. Lermineral är mycket små till ytan (<0.002 mm) och därmed blir ytan per volymenhet mycket stor. Dessa två faktorer bidrar till att lera har en mycket låg resistivitet, se tabell 1 (Jeppsson & Dahlin 2016). Vanliga mineral som kvarts, fältspat och kalk är dåliga elektriska ledare (Hansen 1984).

3.2 Multielektroduppställning

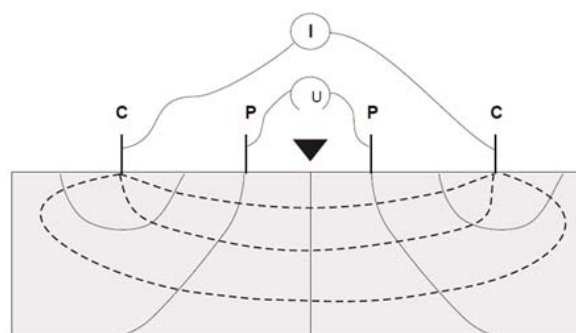


Fig. 6. Principiell bild över strömelektroder (C) och spänningen som mäts mellan potentialelektrodena (P). De streckande linjerna motsvarar ekvipotentiallinjer och de heldragna linjerna är potentiallinjer. Modifierad från (Jeppsson & Dahlin 2016)

Undersökningen utfördes med multielektroduppställning (MEP), vilket innebär att en profil kan vara upp emot en kilometer lång. Genom att ha en lång profil med många elektroder blir det mycket mätdata som samlas in. I undersökningsområdet har 12 profiler, totalt 6,9 km utförts. Kablarna är 100 meter långa och kopplas ihop med varandra med hjälp av en "connector" till en lång rak profil. Elektroder av stål slås cirka 20 cm ner i marken var femte meter bredvid varje elektroduddrag på kabeln. Dessa sätts ihop med kopplingsanordnare som har två klämmor i var ände, kallad "jumper", se figur 7. Kablarna flyttas allteftersom marken blir uppmätt, med en

Tabell 1 : Resistivitetsintervall för geologiska material (Jeppsson & Dahlin 2016*, Ahrentzen et al, 1987**, Reynolds, J., 2011***)

Geologi	Resistivitet (Ωm)
Lera*	1-100
Lera/Silt*	50-100
Sand/grus över grundvattenytan**	100-10000
Sand/grus under grundvattenytan**	70-500
Torr sand*	800-5000
Våt sand*	100-500
Torrt grus***	~ 1400
Vått grus***	~ 100
Morän (lerfattig)*	300-3000
Moränlera*	20-200
Sandsten*	100-20 000
Kalksten*	300-3000

med en så kallad roll-along teknik, vilket innebär att profilerna kan vara längre än maxlängden på 400 meter (figur 8). Instrumentet som användes i undersökningen är en ABEM SAS4000 Terrameter, som är kombinerad med en reläkopplingsenhet (ABEM ES10-64C) med 64 elektroduttag, se figur 7. Mätningen startar med att instrumentet genomför en kontroll av alla elektroder så att de har tillräckligt god elektrisk kontakt med marken. Vid vissa tillfällen har de inte det, och det kan bero på att marken är antingen för torr eller för våt. Vid varje mätning ansluts två strömelektroder och två potientialelektroder (figur 6). Därefter kopplas fyra nya elektroder in som mäter nya punkter och djup.

Samtliga mätningar längs hela profilen läggs ihop till en sammanhängande datafil, som kan innehålla upp till 700 mätningar (Jeppsson & Dahlin 2016).

Alla profiler i undersökningen var uppställda enligt gradientuppställning. Först sätts en grunduppställning upp, där alla fyra kablar är ihopkopplade med instrumentet i mitten. Mätningen påbörjas, och när den avslutas flyttas kabel 1 till platsen efter kabel 4 och rullas ut i profilriktningen. Mätinstrumentet flyttas till det nya centrum och en ny mätning påbörjas (figur 8). Gradientuppställning ger fler datapunkter som i sin tur leder till både bra upplösning och djupnedträngning (Jeppsson & Dahlin 2016). Genom att variera avståndet på elektroderna mäts marken på olika djup. Nedträngningsdjupet ökar med större avstånd till strömelektroden. (Jeppsson & Dahlin 2016).

3.3 Fältarbete

Kandidatarbetet är begränsat till Skævinge som ligger en mil väster om Hillerød med sammanlagt 12 profiler i ett område som är 1,9 km² stort (figur 1). Mätningarna har sedan tidigare utförts av fältgeologer på COWI A/S. Profilerna är utsatta efter koordinater, se bilaga 1, och är tillsammans 6,9 km. Dessa ska analyseras i denna rapport. Mätningarna ska korreleras med brunnsarkiv.



Fig. 7. Foto som visar MEP instrumentet, ABEM SAS4000 Terrameter som läser av och styr resistivitetsmätningen, en kabelrulle och jumper som är ihopkopplade till elektrod. Foto: Hanna Nilsson 2017

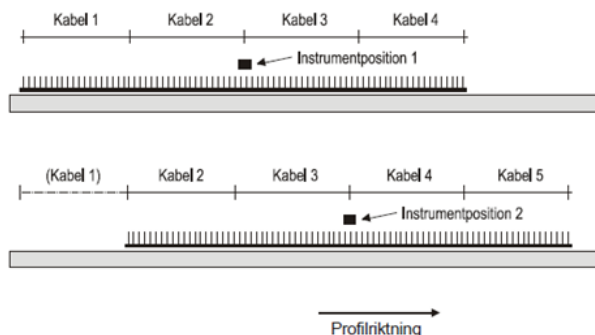


Fig. 8. Roll-along teknik för multielektrodmätning (MEP). Vid en mätning sätts fyra kablar ihop med instrument i mitten, därefter flyttas kabel 1 längs fram i profilriktningen och instrumentet flyttas till det nya centrumet. Modifierad Jeppsson och Dahlin 2016

3.4 Ekvivalensproblem och 3D effekter

Osäkerhet av tolkning kan bli stor då det finns både ekvivalensproblem, 3D-effekter och försämrade upplösning i de djupare delarna av profilen. Ekvivalensproblemen innebär att materialens resistivitet överlappar varandra och kan därför feltolkas (tabell 1). Det är därför viktigt att korrelera med brunnslaggar och ha en förståelse för områdets geologi (Jeppsson & Dahlin 2016). Vid tolkningen ska man utgå från en geologisk modell för området. En struktur i marken kan avbildas fel. Då kan strukturens överdel bli korrekt medan formen undertill försvinner eller modifieras. Strömfältet är tredimensionellt och blir därför påverkat av alla heterogeniteter som ligger runt om profilen. Alla dessa heterogeniteters olika resistivitet bidrar till en skenbar resistivitet, som kallas 3D-effekt. Om 3D-effekter förekommer uppvisar modellen svårförklarliga anomalier i RES2DINV (Jeppsson & Dahlin 2016).

Dålig kvalitet på mätdata försvårar även tolkning av profilen. Det är därför viktigt att mätningen i fält har fungerat och att alla elektroder har haft en god kontakt med marken. Upplösningen på djupet av profilen beror på elektrodavståndet. Längre elektrodavstånd ger bättre upplösning på större djup.

3.5 Databearbetning/databehandling

Profilerna har tolkats i tvådimensionella profiler i programmet RES2DINV från Geotomo Software. I programmet framarbetas tvådimensionella inversioner av uppmätta data som delar markens djup i rektangulära block med olika resistivitetvärde. Till en början visas en pseudosektion som uppvisar den uppmätta skenbara resistiviteten, där x-axeln visar mätprofilens längd och y-axeln visar mät djupet, det så kallade pseudodjupet. Efter flera iterationer formas en godtagbar resistivitetsmodell efter uppmätt och beräknad pseudosektion, som visar verkligt djup. Modellen söker en profil som minimerar det kvadratiske medelvärde (så kallat root-mean-square, RMS) av residualen mellan resistivitetsmodellen och den uppmätta pseudosektionen. Även om en profil har ett mycket lågt RMS-värde innebär detta inte att det är geologiskt rimligt och inte heller den bästa modellen, eftersom den kan visa orealistiska variationer i resistivitet. Mätvärdena visas i färgkoder med en intervallskala för resistivitet (Jeppsson & Dahlin 2016).

För att kunna mata in mätdata i programmet måste data först skrivas om i en textfil, i både Excel och Notepad, efter ett speciellt format enligt manualen för RES2DINV (Loke 2010). När textfilen är klar laddas den upp i RES2DINV och bearbetning av rådata påbörjas genom att inspektera data och eventuellt ta bort dåliga datapunkter. Avvikande punkter som inte passar in i resten av uppmätt data kan tas bort, exempelvis om det hade varit störningar eller att en elektrod inte fått tillräcklig god kontakt med marken. Detta kan förekomma om marken är torr eller mycket våt (Jeppsson & Dahlin 2016). De dåliga datapunkterna kan ses i profilen eftersom de sticker ut i form av hög- eller lågresistivitet i jämförelse med närliggande datapunkter. I denna studie raderades datapunkter sparsamt för att inte gå ifrån den mest

naturliga mätningen. Om för många punkter tas bort uppstår det en version med mindre RMS-värde och är egentligen inte trovärdig eftersom datapunkter som har blivit uppmätta har tagits bort. Därigenom visas en skev bild av hur geologin egentligen ser ut (Jeppsson & Dahlin 2016).

Vid inversion av modellen kan man manuellt ändra hur många iterationer som ska göras, det vill säga hur många upprepningar av den beräknade modellen som skall göras för att komma så nära det önskade resultatet. Då får man en slutlig modell som är den mest pålitliga. Efter fem iterationer hade modellen konvergerat, och därför valdes denna siffra. Efter att inversion utförts i flera iterationer får man det minsta felvärdet, *RMS error*.

RES2DINV har redan förprogrammerade inställningar för olika faktorer som är lämpliga för de flesta profiler. Dessa kan ändras manuellt och topografi kan inkorporeras. För att förbättra profilerna och framhäva mer realistiska modeller ändrades de förinställda programinställningarna på följande sätt:

För höga värden på så kallade *damping parameters* resulterar i runda former med både låg- och högresistivitet i profilen. Genom att minska *inversion damping parameter, vertical/horizontal flatness* kunde horisontella strukturer framhävas och på så sätt bidra till en mer verklig profil med horisontella lager av olika resistiviteter. Här ändrades defaultvärdet från 1 till 0,25 för att framhäva horisontella strukturer. Värdet 1 motsvarar ett neutralt läge och ju lägre man sätter värdet desto mer framhävs horisontella strukturer. (Jeppsson & Dahlin 2016).

Convergence limit styr antalet iterationer av modellen, mer specifikt hur stor skillnad som tillåts mellan modellerad pseudosektion och uppmätt data. Följaktligen begränsades antalet iterationer till 5 i *Number of iterations*. Detta för att eftersträva en så pass naturlig modell som liknar den uppmätta och beräknade pseudosektionen (Loke 2010).

First layer damping factor introducerades för att dämpa kraftiga variationer i översta lagret av profilerna. De kraftigt skiftande värdena kan bero på 3D-effekter och tolkas som att det inte är geologiskt rimligt.

En robust version av modellen, som minimerar den uppmätta och modellerade pseudosektionens absolutvärden (Jeppsson & Dahlin 2016), föredrogs vid granskning av inversionerna. Denna version gör en mer kantig version men klarar dålig datakvalitet. Genom att reducera påverkan från sidoblock i inversionen, *reduce effects of side blocks*, minimeras påverkan av närliggande datapunkter. Här användes den högsta reduktionen "*Severe*".

Topografin lades in i inversionerna i *topography options*, detta för att förenkla tolkningen av inversionen. Denna tvådimensionella inversion har jämförts med endimensionella versioner som har utförts i programmet Workbench av Anna Bondo Medhus på COWI A/S (bilaga 3). 1D-profiler visar endast en förändring i en punkt i vertikalt led med avseende på endast en punkt.

Vid jämförelsen kan man se om de båda modellerna uppvisar samma förändring av resistivitet på djupet, se bilaga 2 & 3. Inversionerna har geologiskt tolkats med hjälp av borrhålsloggar från undersökningsområdet.

4 Resultat och analys

Alla profiler (se bilaga 2) har samma färgskala med bestämt intervall mellan 2-5000 Ω m. Höjdskalen är meter över havet och topografi har inkorporerats i inversionen. Profilernas längd är mellan 400-900 meter. Generellt är alla inversioner av data av mycket god kvalitet, då RMS värdena på samtliga profiler låg under 2,5 %. RMS-värde mäts i procent och är residualen mellan resistivitetsmodellen och den uppmätta psudosektionen.

Profil 4 har sämre data och har tolkning inte gjorts mellan 220 - 360 meter, vilket beror på ett elstängsel som låg i nära anslutning till profilen. I flera profiler uppvisas höga resistiviteter (500-5000 Ω m) i de ytliga delarna, speciellt i höjdområdet. Profiler med 5-10 meters mäktighet av högresistivets lager finns i profil 1, 2, 4, 6, 7, 10 och 12, se bilaga 2 samt figur 22 och 23.

4.1 Slutgiltiga resistivitetsmodeller med geologisk tolkning

Brunnsloggar har placerats med hjälp av koordinater tillsammans med profilerna i Qgis. Brunnsloggarnas färger representerar geologin, se bilaga 4.

Profil 1 har två långsträckta områden i den översta delen som kan tolkas som sand och grusavlagringar. I hela området har endast moränlera hittats med en resistivitet med max 200 Ω m. De högresistiva områdena ligger över 500 Ω m, och passar in på grus och sand (tabell 1). I flera brunnsarkiv består det översta lagret av smältvattenavlagringar som innehåller sand med inslag av grus. Mäktigheten på de två lagerna uppgår till ca 8-10 meter (figur 9). Brunn 192.1204 ligger i profilens norra hörn och litologin enligt Jupiters brunnsarkiv visar en växelvis lagerföljd av sand och moränlera som överlagras kalkstenen på 38 meters djup. Överst ligger brunjord ner till plogdjup (0,5 m).

Liknande områden finns även i profil 2, se figur 10. Detta kan tolkas som att avlagring av sand/grus har skett i långsträckta områden mellan profil 1 och 2. I både profil 1 och 2 tolkas det understa lagret som kalksten med varierande resistivitet på 60 till 500 Ω m. Kalksten har resistivitetsvärde mellan 300-3000 men då kalkstenen kan vara uppblandad med både sand och kalk och vara olika hårt packad kan resistiviteten skilja (tabell 1). Det understa lagret tolkas som kalksten då kalkstenen har uppvisats på detta djup i samtliga brunnsarkiv. Profil 1 är 575 meter lång och profil 2 är 500 meter lång. Profil 1 har ett RMS-värde på 1,4 % och tolkas som mycket god kvalitet, likaså är det med profil 2 som har ett RMS-värde på 1,8%.

Profil 3 har endast ett mycket litet område med högre resistivitet, mellan 160 till 200 meter, se figur 11. Bedömningen är att det inte är aktuellt att borra efter grus. Profilen har 1,1% i RMS och låga resistivitetsvärden. Detta tolkas som mesta delen av

profilen består av moränlera med inslag av smältvattenssediment.

Profil 4 är dragen längs ett elstängsel som har gett upphov till stora variationer av resistivitet i de centrala delarna och vertikala långa former med låg resistivitet. Profilen har ett högt RMS-värde på 6,9%, och från 180 meter fram till 360 meter är profilen svårtolkad, se figur 12. Däremot i slutet av profilen, mellan 440 meter och 530 meter, ligger ett höjdområde med hög resistivitet. Detta tolkas som att detta område innehåller sand/grus. Även i starten av profilen från 40 - 180 meter ligger ett mäktigt högresistivt lager. Här kan sand och grus förekomma.

Profil 5 har ett RMS värde på 1,3 % men kan inte påvisa några eventuella avlagringar av grus då profilen i stort endast domineras av lågresistivitet lager. Förmodligen växelagrade mellan både moränlera och smältvattenssediment, se figur 13.

Profil 6 har fyra ytliga områden med tänkbart sand/grus lager, se figur 14. Det är endast ett av dem som är av intresse och det ligger mellan 520 meter till 640 meter. Mäktigheter uppskattas till 15-20 meter. RMS-värdet ligger på 1,7%, vilket innebär att inversionen är av god kvalitet och därför rimlig i värde. I profilens nordligaste del ligger brunn 192.256 som endast har tolkats som sand med inslag av grus, som överlagras kalkstenen på 33,5 meter djup.

Profil 7 har en liten höjning från 480 - 890 meter som påvisar ett tunt lager med hög resistivitet. Resterandra del av profilen har en växlande lagerföljd av låga resistiviteter som kan tolkas som moränlera med inslag av silt/leravlagringar, som avslutas med kalkstenen i botten. Brunn 192.688 visar kalksten på 32 meters djup som överlagras av moränlera och det översta lagret är 12,5 meter mäktigt smältvattens sand. I profilens början uppkommer också låg resistivitet djupt ner i profilen, se figur 15. Detta beror förmodligen på att felvärde i RES2DINV. RMS-värdet är 1,5 %, och därmed av mycket god kvalitet.

Profil 8 har endast två tunna lager av höga resistiviteter, se figur 16. Profilen består till mesta delen av moränlera som förmodligen har växlande lager av glacial sand.

Brunn 192.165 ligger bredvid profil 9 och enligt litologin överlagras kalksten av glacial sand och sedan ett mäktigt lager av fet moränlera. Det översta lagret är glacial sand som innehåller grus. Tolkningen i området påminner om profil 8. Trelagerföljd bestående av kalksten, moränlera och överst ett sandlager, se figur 17.

Profil 10 har den mäktigaste lagerföljden av högresistivt material som breder ut som 400 meter. I profilens södra hörn uppstår låg resistivitet som tolkas som lera, torv, gyttja (figur 18). I flertalet brunnsarkiv uppkommer lakustrin gyttja, vilket har låg resistivitet (tabell 1). I brunn 192.165 som ligger nordväst om profilens slut finns moränlera överst men ett tunt sandlager överlagras kalkstenen på 32 meters djup.

I profil 11 överlagras kalksten av sand i profilens södra del, detta kan också påvisas i brunn 193.37, se figur 19. Litologin enligt brunn 193.37 är kalksten på 25,5 meters djup, sandlager som sedan överlagras av lera och växelvis övergår från lera till grus och de översta lagren är torv.

I profil 11 överlagras kalksten av sand i profilens södra del, detta kan också påvisas i brunn 193.37, se figur 19. Litologin enligt brunn 193.37 är kalksten på 25,5 meters djup, sandlager som sedan överlagras av lera och växelvis övergår från lera till grus och de översta lagren är torv.

Profil 12 har i sitt södra hörn högre resistiviteter i

de yliga lagrena som tolkas som sand och grus, se figur 20. Från 160 till 320 meter uppkommer båda låga och höga resistivetsområden. Detta tolkas som lera, torv eller alternativt gyttja. Området mellan de lågresistiva områdena tolkas som sand.

Profil 1

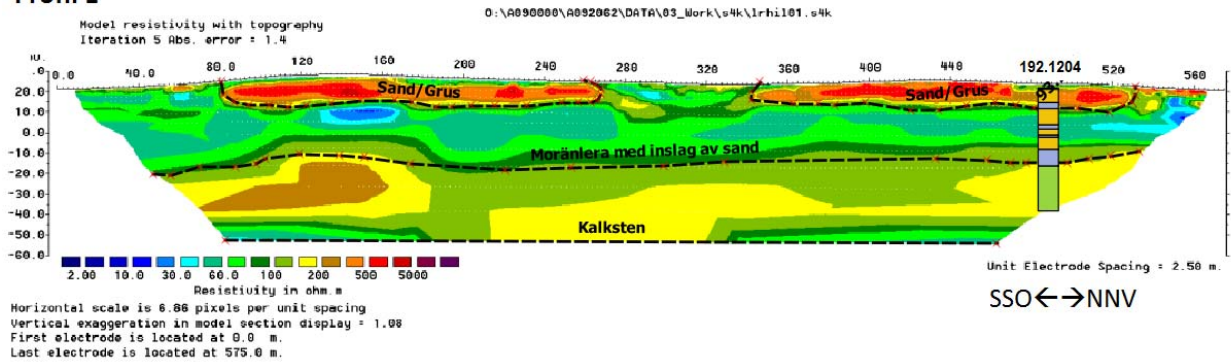


Fig. 9. Profil 1 med litologi från brunn 192.1204 som visar kalksten och sedan växellagrad sand och lera

Profil 2

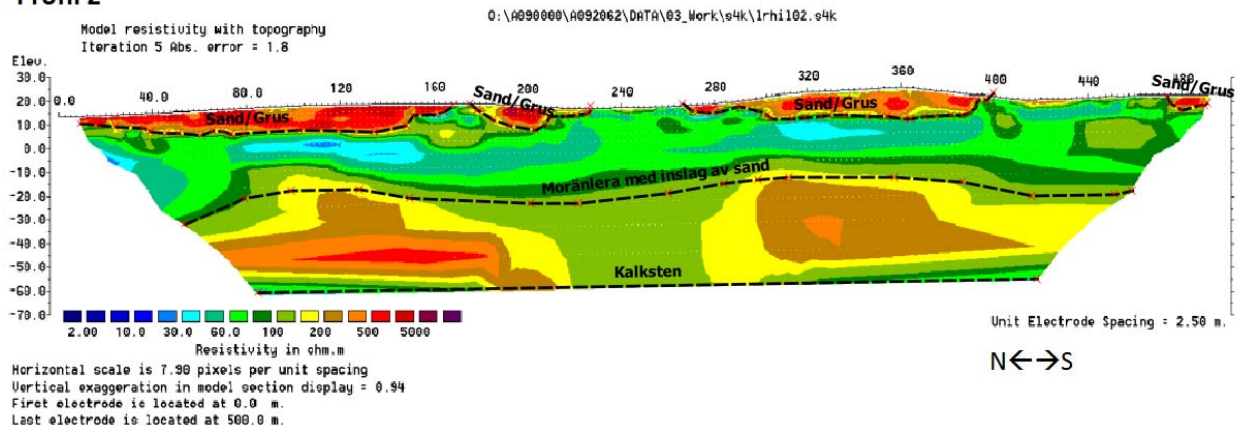


Fig. 10. Profil 2 med tolkning

Profil 3

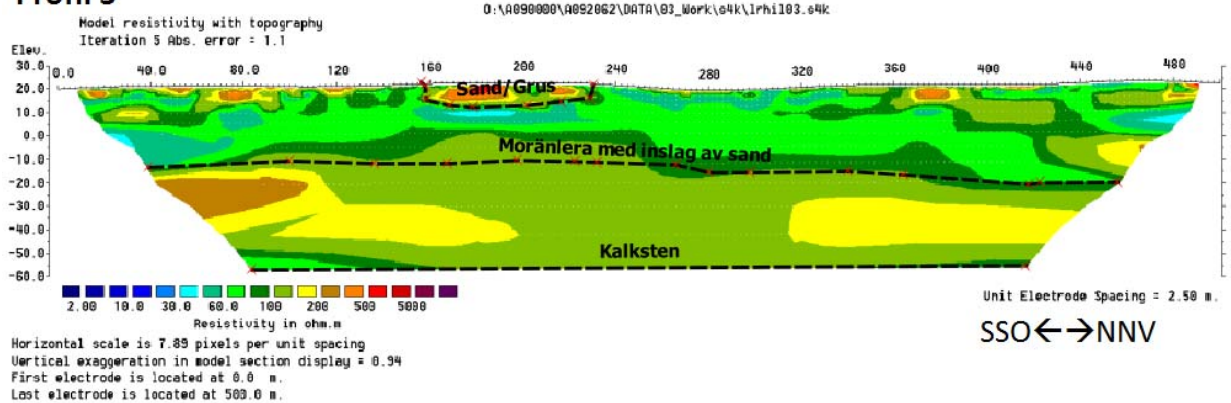


Fig. 11. Profil 3 med tolkning

Profil 4

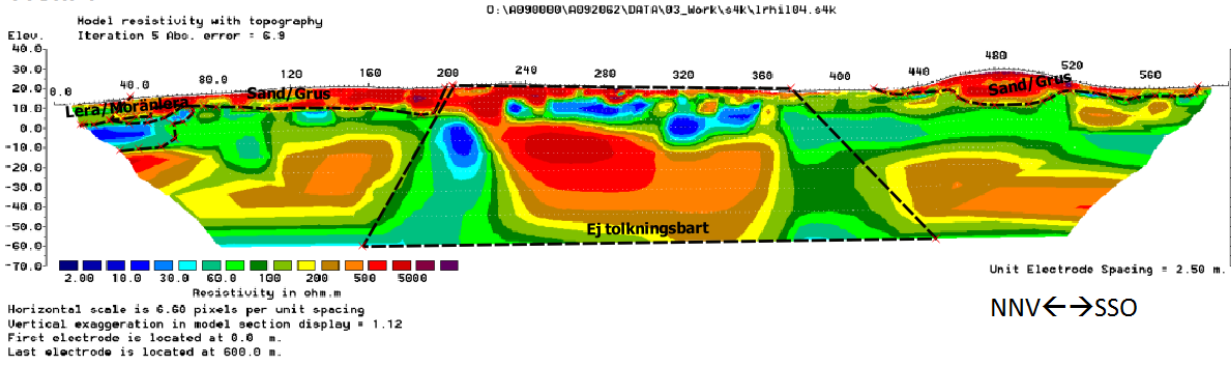


Fig. 12. Profil 4 med tolkning. Inom den gula streckade linjen har bedömning gjorts att det inte är tolkningsbart. Från 220 meter fram till 360 meter och det breder ut sig i djupet av profilen.

Profil 5

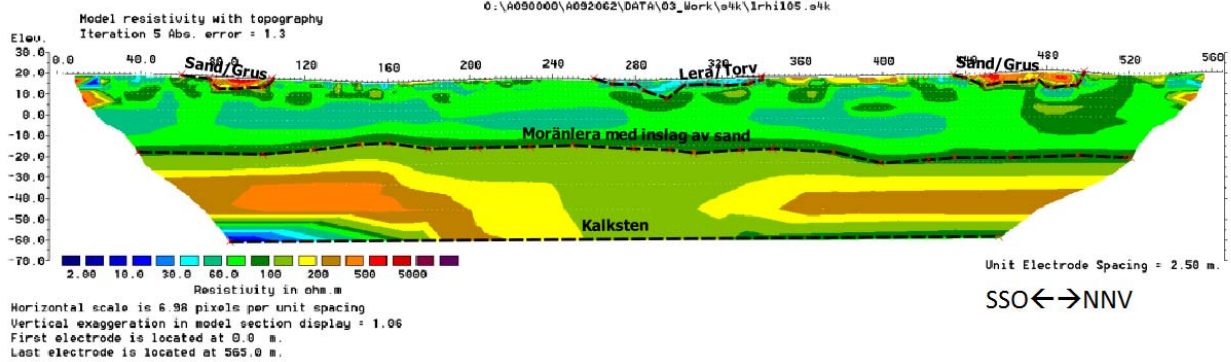


Fig. 13. Profil 5 med tolkning

Profil 6

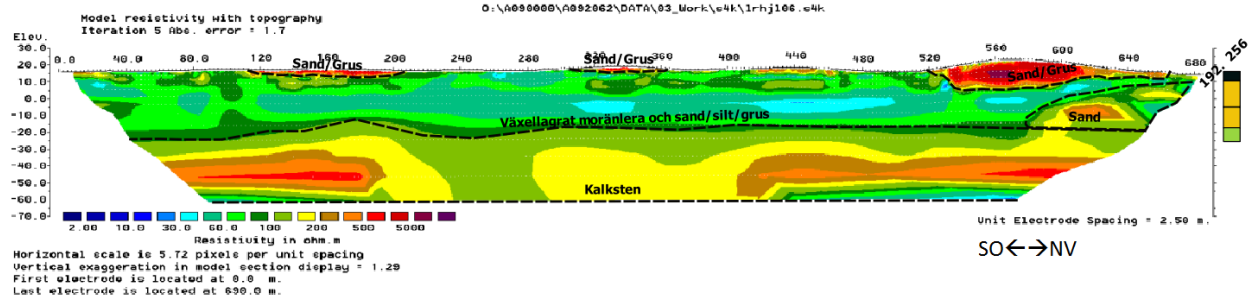


Fig. 14. Profil 6 med tolkning och litologi från brunn 192.256 som uppvisar kalksten som överlagras av sand.

Profil 7

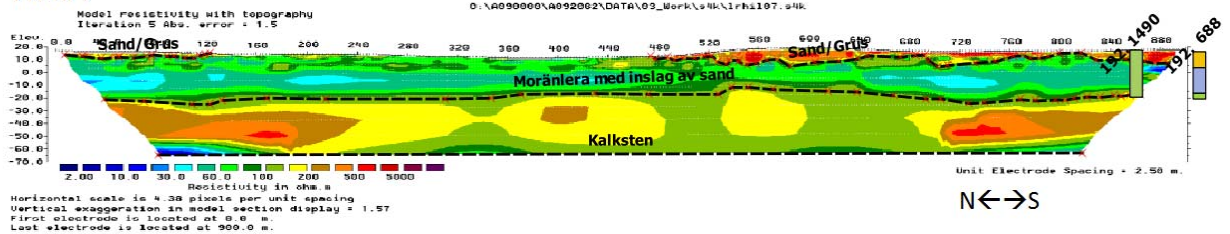


Fig. 15. Profil 7 med två brunnar. Brunn 192.1490 har inte loggats någon lagerföljd i men i 192.688 visas kalksten som överlagras av moränlera och sand.

Profil 8

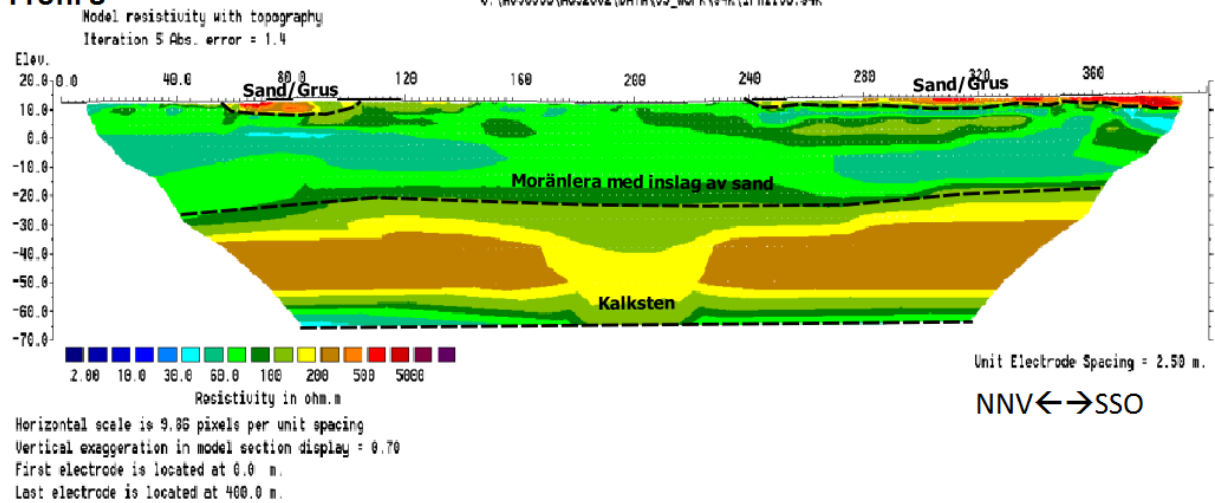


Fig. 16. Profil 8 med tolkning.

Profil 9

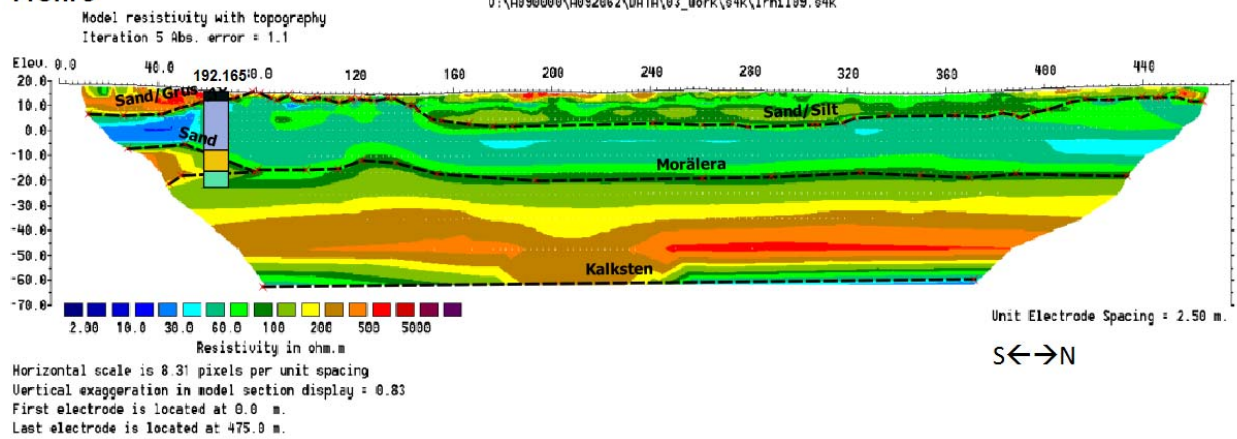


Fig. 17. Profil 9 med litologi från brunn 192.165. I profilens södra hörn påträffas ett sandlager ovanför kalkstenen. Sandlagret överlagras av lera.

Profil 10

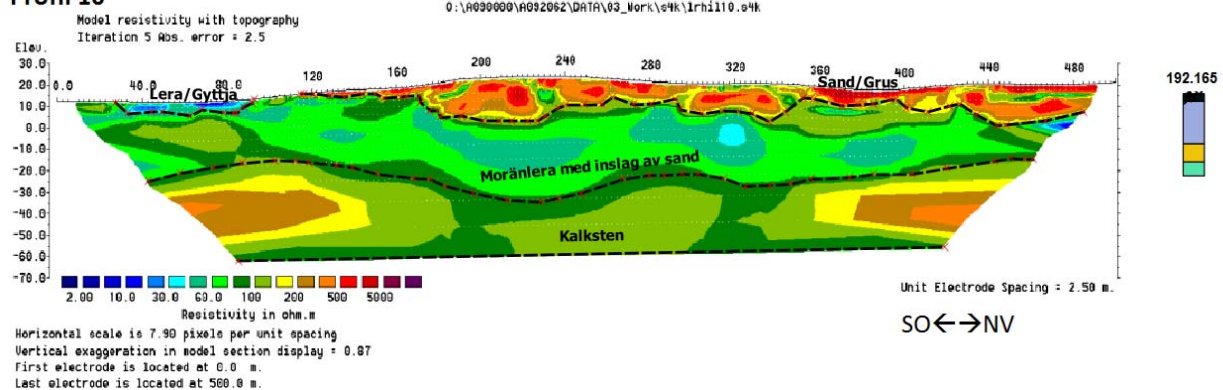


Fig. 18. Profil 10 med tolkning samt brunn 192.165. Ovanför kalkstenen ligger ett sandlager. Sandlagret överlagras av lera.

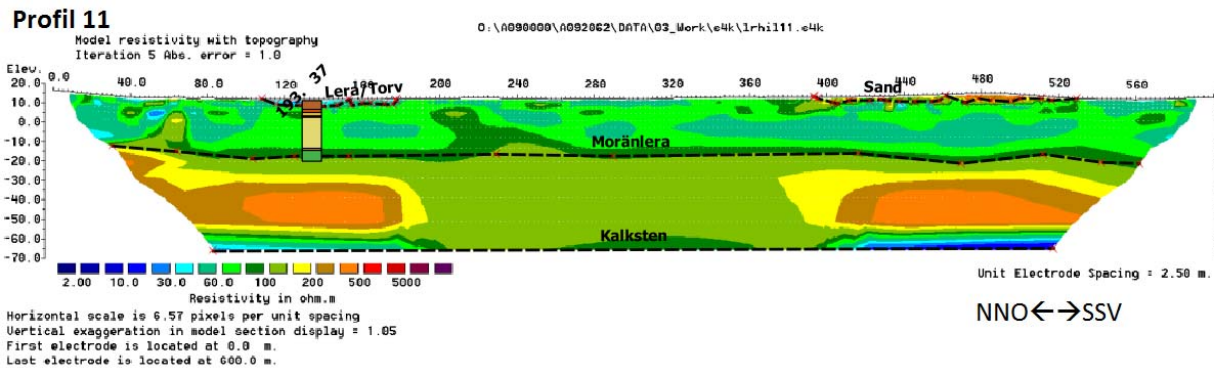


Fig. 19. Profil 11 med tolkning samt brunnarkiv 193.37. Kalkstenen överlagras av lera och moränlera. Ytligt i brunnarkivet återfinns torv.

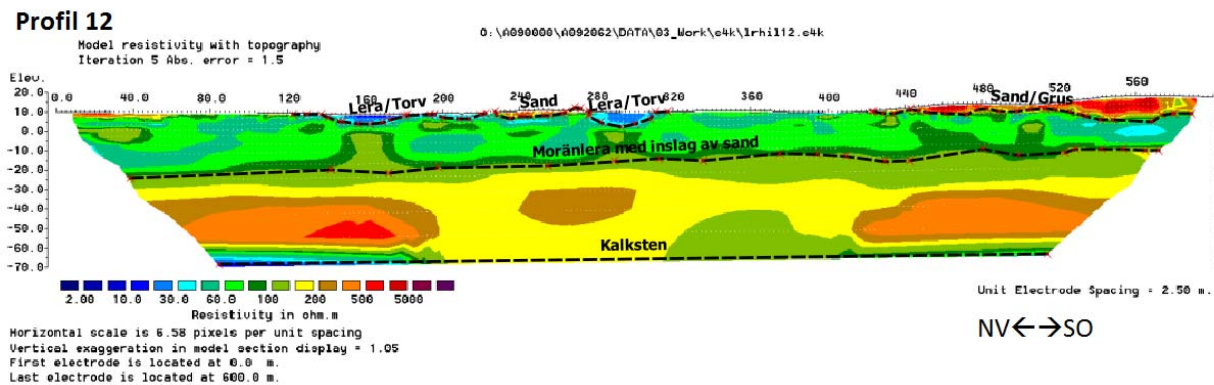


Fig. 20. Profil 12 med tolkning.

5 Diskussion

Undersökningen genom resistivitetmätningar, visar att det kan finnas sand- och gruslager i området. De orangea områdena på figur 21 och 22, visar högresistiva områden på samtliga profiler. När topografin inkorporerades i profilerna i RES2DINV kunde man se att höjningar i landskapet ofta hade högre resistivitet, se bilaga 2. Detta tolkades som att höjningarna sannolikt består av sand och grus. Genom att sätta ihop områdeskartan med topografi samt profilerna med inringade områden som uppvisar resistivitet har områden markerats med gult och kan antas innehålla sand/grus. Denna tolkning passar bra ihop med jordartkortet som uppvisar isälvsavlagringar i de ytliga jordarterna, se figur 5.

Förslag på lämpliga områden att utföra provborring, med hänsyn till de geologiska förutsättningarna för uttag av sand och grus, är framförallt i områdets sydvästra del samt vid profil 10, i områdets nordvästra del. I sydvästra delen är det högresistiva lagret inte lika mäktigt som vid profil 10 men området är mer utbrett. Kärnborringar krävs för att säkerhetsställa tolkningarna av profilerna.

Samtliga profiler med tolkning är modifierade i programmet Qgis Desktop 2.18.4 och alla aktuella brunnar med lagerföljd är satt efter koordinater (se figur 9-20 på samtliga profiler i området). Dessa profiler har jämförts med 1D-versioner av samma profiler (bilaga 3). 1D- och 2D-versioner stämmer bra överens för samtliga profiler, och uppvisar liknande förändring i vertikala led. Vilket stödjer att 2D-profilerna som har modellerats är trovärdiga och att

resistivitetvärdena förändras på samma djup.

Egna tolkningar av resistivitetmätningar har gjorts, vilket kan innebära eventuella feltolkningar. Tolkningen har gjorts efter att ha jämförts med brunnarkivdata, jordartskartor, geomorfologikartor samt fältobservationer av undersökningsområdet. Tolkningarna har endast gjorts där det har varit större skillnader i resistivitet. Det finns med stor sannolikhet växlande lagerföljd men detta har tolkats generellt som "moränlera med inslag av sand". Detta eftersom det är svårt att tolka små skillnader i resistivitet.

Flera profiler visar låga resistiviteter i de djupa delarna, och detta skulle kunna bero på det korta elektroavståndet på profilen som gör att det är svårt att mäta på större djup. Enligt brunnarkiv påvisas kalksten vid ca 30 meters djup. Kalkstenen har relativt hög resistivitet (se tabell 1). Det enda som skulle varit möjligt är saltvatteninträngning, som har låg resistivitet. Detta är inte sannolikt. Då skulle det visa sig även i de grundare delarna av profilen. De låga resistivitetmätningarna tolkas därför som att programmet inte kan mäta på det djupet på grund av elektroavståndet.

Problematiken är att resistiviteten varierar mellan 30-1000 Ωm i botten av samtliga profiler. om man enbart tittar på tabell 1 skulle samtliga material kunnat passa in inom intervallet. Kalkstenen är påvisad i alla brunnarkiv i området och därför är det enda som kan vara tänkbart. Kalkstens innehåll varierar från ren kalksten till mer uppblandad kalksten med sand, silt eller flinta.

Detta kan bidra till resistivitetsvariationer i samtliga profiler. Dålig upplösning på djupet samt i sidorna av profilen gör att samtliga profiler uppvisar låga resistivitetsvärden.

I profil 4 uppkom vertikala led med låga resistiviteter i de centrala delarna, vilket berodde på ett elstängsel som låg i nära anknäring till den dragna profilen. Utifrån den information och felaktiga värde har dessa tagits bort i tolkningen. Profilens södra respektive norra delar kunde fortfarande tolkas. Det var enbart profil 4 som hade ett förhållandevis högt RMS-värde (6,9 %), resterande av profilerna var under RMS 2,5 %.

Mätningen ute i fält har följt linjära profiler, med



Fig. 21. Områdeskarta med topografi som visar profiler samt högresistivt lager i orange som tolkas som sand/grus. De svagt gula områdena visar tolkning av hur lagerna kan breda ut sig i området efter topografi och geomorfologi. Baggrundkort: © Kortforsyningen | Styrelsen for DataForsyning og Effektivisering. Modifierad av Hanna



Fig. 22. Områdeskarta med profiler samt område som kan innehålla sand/grus. Kartdata @ DDOLand2016, COWI. Modifierad av Hanna Nilsson, 2017.

undantag för profil 12 där det har förekommit knäck på två ställen. Detta berodde på terrängen. Profilens två knäck bidrar till ett kortare elektroavstånd och därmed en försärad tolkning av data. I detta fall är knäcken på profilen så pass liten att skillnaden är minimal och kan därför räknas bort.

På de flesta av profilerna ser man en genomgående trend som består av fyra lager som har olika intervall av resistivitet. Det kan förekomma andra material i resten av området men i stort enligt tolkningen av RES2DINV modellerna kan dessa lager påträffas:

- Lager 1:** 100-500 Ωm tolkas som kalksten med varierat inslag av sand, kalkslam och flinta.
- Lager 2:** 60-100 Ωm Moränlera som i varierad grad innehåller kalk och sand, med varvade lager av isälvsmaterial, som lera, silt, sand och grus.
- Lager 3:** 10-40 Ωm postglacial lera med eventuellt organiskt innehåll såsom gytta eller torv.
- Lager 4:** 200-5000 Ωm glacialt grus/sandlager ovan grundvattennivå på höjdområden.

Resultatet från resistivitetsmätningarna och korrelation med brunnsarkiv illustreras av en konceptionell modell över områdets geologi illustreras i figur 23.

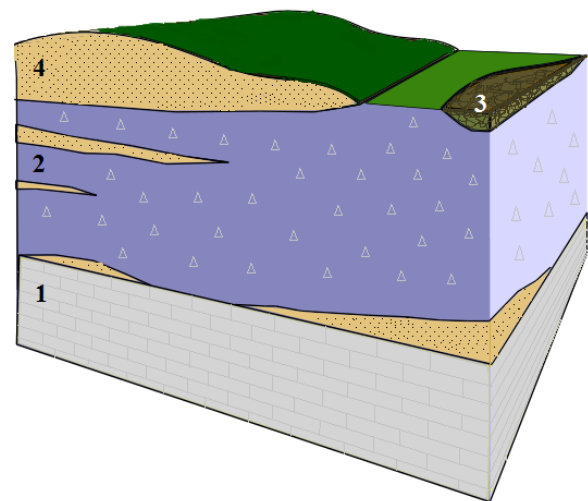


Fig. 23. Schematisk geologisk bild över området. Lager 1 är grå=kalksten, lager 2 är lila med trianglar= moränlera med inslag av sand, lager 3 är grön/brunt= lera/torv/gytta. Lager 4 är beige med prickar= sand och grus. Illustrerad av Hanna Nilsson, 2017.

6 Slutsatser

Utifrån de tolkningar som gjorts kan det på flertalet ställen på undersökningsområdet finnas potential till ytliga områden med isälvsavlagringar, som kan innehålla både sand och grus. Den geologiska tolkningen av enbart resistivitetsmätningar är inte tillräcklig då de geologiska lagren påvisar överlappande resistivitetsvärden. Ytterligare undersökningar i form av borrhning rekommenderas i de orangea områdena (figur 22). Framförallt bör detta ske i den sydvästra och nordöstra delen, för att säkerställa fynden.

7 Tackord

Framförallt vill jag tacka mina handledare Andreas Nilsson och Lone Klinkby, för att ständigt utmana mig med relevanta frågor i mitt arbete samt stöttning, feedback och rättning. Sektionschefen Mette Christensen ska ha ett stort tack för att jag återigen vara en del av avdelningen 1313. Tack alla anställda på avdelning 1313 på COWI, och framförallt tack till Maria Riis-Mygind, Anna Bondo Medhus och Ole Frits Nielsen. Ni har tagit tid för diskussioner kring program och tolkning av data. Ett slutligen tack till Anders Sandberg för korrekturläsning.

8 Referenser

Ahrentzen, P., Bull, N., Bøie-Christiansen, N., Heller, E., Klitten, K., Printzlau, I., Søndergaard, V., Brix, B., Andersen, S., Jørck, M., 1987: Geofysik og råstofkortlægning. Skov- og Naturstyrelsen, 238 pp.

Andréasson, P.-G., 2006: Geobiosfären: en introduktion. Studentlitteratur. 604 pp.

Binzer, K. & Marcusen I., 2001: Danske Landskaber. danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse, Miljøministeriet. 78 pp.

Hansen, J.M., 1984: Geologi for enhver. Danmarks Geologiske Undersøgelse, Miljøministeriet. 88 pp.

Houmark-Nielsen, M., Krüger, J., Kjær, K. –H., 2005: De seneste 150 000 år i Danmark. Geoviden Geologi og geografi nr 2. 2005. 20 pp.

Jensen, K. S. & Larsen, G., 2012: Naturen i Danmark: Geologien. 2nd edition. Gyldendal. 552 pp.

Jeppsson, H. & Dahlin, T., 2016: Geoelektriska metoder inom tillämpad geofysik, Resistivitetmätning, IP-mätning och SP-mätning. Kompendium i Geofysiska undersökningsmetodiker, GEO04. Geologiska institutionen, Lunds universitet. 70 pp. Opublicerat.

Loke, M.H., 2010: RES2DINV ver. 3.59 for windows XP/Vista/7 Rapid 2-D Resistivity & IP inversion using the least-squares method, Geotomo software Malaysia Manual.151 pp.

Reynolds, J. M., 2011: An Introduction to Applied and Environmental Geophysics, 2nd Edition. John Wiley & Sons. 712 pp.

Bilder och bilagor:

Morfologi karta över Skævinge, hämtad från GEUS kartgenerator 2017-04-03

Bild över inlandsisen. Den store danske. http://denstoredanske.dk/It_teknik_og_naturvidenskab/Geologi_og_kartografi/Danmarks_geologi/Danmark_-_geologi Hämtad: 2017-05-05

Internetkällor:

SGU, u.a <http://www.sgu.se/om-geologi/jord/fran-istid-till-nutid/isen-smalter/isalvsediment-spar-av-isalvarna/> Hämtad: 2017-05-05

Brunnsarkiv: JUPITER boringsdatabase, GEUS. <http://www.geus.dk/DK/data-maps/jupiter/Sider/default.aspx> Hämtad: 2017-04-03

Bilaga 1

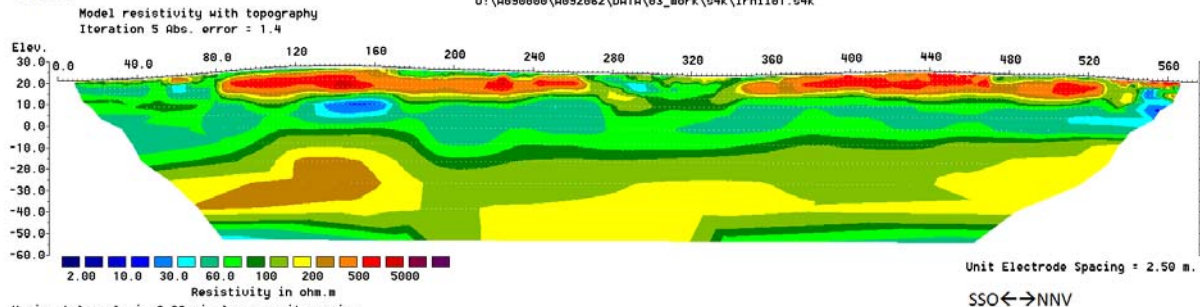
Koordinater för profil 1-12 i undersökningsområdet:

ID_final	ID	Easting	Northing	Date	Cable_length	Dist_ground
HIL1-A	HIL1-A	697765.3	6200824	13-12-2016	0	0.0
HIL1-1	HIL1-1	697718.3	6200914	13-12-2016	101	100.9
HIL1-2	HIL1-2	697671.4	6201003	13-12-2016	101	201.7
HIL1-3	HIL1-3	697624.5	6201092	13-12-2016	101	302.6
HIL1-4	HIL1-4	697575.8	6201179	13-12-2016	99	401.9
HIL1-5	HIL1-5	697527.1	6201266	13-12-2016	99	501.3
HIL1-B	HIL1-B	697498.8	6201325	13-12-2016	66	567.4
HIL12-A	HIL12-A	697950.3	6202575	13-12-2016	0	0.0
HIL12-1	HIL12-1	697997.1	6202487	13-12-2016	100	99.9
HIL12-2	HIL12-2	698044.1	6202397	13-12-2016	102	201.7
HIL12-3	HIL12-3	698094.7	6202312	13-12-2016	99	300.6
HIL12-4	HIL12-4	698122.9	6202218	13-12-2016	98	398.6
HIL12-5	HIL12-5	698178.8	6202140	13-12-2016	96	494.2
HIL12-B	HIL12-B	698237.1	6202059	13-12-2016	100	594.2
HIL09-A	HIL09-A	698516.9	6202236	14-12-2016	0	0.0
HIL09-1	HIL09-1	698503.2	6202335	14-12-2016	100	100.1
HIL09-2	HIL09-2	698490.6	6202434	14-12-2016	99	199.2
HIL09-3	HIL09-3	698477	6202533	14-12-2016	100	299.4
HIL09-4	HIL09-4	698463.4	6202631	14-12-2016	99	398.5
HIL09-B	HIL09-B	698457.6	6202698	14-12-2016	67	465.5
HIL06-A	HIL06-A	698296.7	6201489	14-12-2016	0	0.0
HIL06-1	HIL06-1	698248	6201576	14-12-2016	100	99.8
HIL06-2	HIL06-2	698200.3	6201663	14-12-2016	99	199.2
HIL06-3	HIL06-3	698149.6	6201749	14-12-2016	100	299.0
HIL06-4	HIL06-4	698101.9	6201837	14-12-2016	99	398.4
HIL06-5	HIL06-5	698053.1	6201924	14-12-2016	100	498.2
HIL06-6	HIL06-6	698004.5	6202010	14-12-2016	99	597.1
HIL06-B	HIL06-B	697964.9	6202084	14-12-2016	84	680.9
HIL03-A	HIL03-A	697988.8	6200978	15-12-2016	0	0.0
HIL03-1	HIL03-1	697950.7	6201069	15-12-2016	99	98.7
HIL03-2	HIL03-2	697915.5	6201163	15-12-2016	100	198.4
HIL03-3	HIL03-3	697878.3	6201256	15-12-2016	100	298.7
HIL03-4	HIL03-4	697841.1	6201349	15-12-2016	100	399.0
HIL03-B	HIL03-B	697805.1	6201440	15-12-2016	98	497.1
HIL04-A	HIL04-A	697770.8	6202088	15-12-2016	0	0.0
HIL04-1	HIL04-1	697794.4	6201989	15-12-2016	101	101.1
HIL04-2	HIL04-2	697818	6201891	15-12-2016	101	202.3
HIL04-3	HIL04-3	697841.5	6201794	15-12-2016	100	301.9
HIL04-4	HIL04-4	697865	6201697	16-12-2016	100	401.5
HIL04-5	HIL04-5	697881.2	6201604	16-12-2016	95	496.9
HIL04-B	HIL04-B	697906.5	6201509	16-12-2016	98	594.4

ID_final	ID	Eastings	Northing	Date	Cable_length	Dist_ground
HIL05-A	HIL05-A	698207.6	6201117	15-12-2016	0	0.0
HIL05-1	HIL05-1	698177.2	6201213	15-12-2016	100	100.4
HIL05-2	HIL05-2	698148.3	6201308	15-12-2016	100	200.1
HIL05-3	HIL05-3	698119.5	6201403	15-12-2016	100	299.7
HIL05-4	HIL05-4	698090.1	6201499	15-12-2016	100	400.0
HIL05-5	HIL05-5	698057.7	6201594	15-12-2016	100	499.9
HIL05-B	HIL05-B	698037.5	6201653	15-12-2016	63	562.7
HIL08-A	HIL08-A	698528.6	6201824	16-12-2016	0	0.0
HIL08-1	HIL08-1	698553.9	6201729	16-12-2016	98	98.5
HIL08-2	HIL08-2	698582.3	6201633	16-12-2016	100	198.5
HIL08-3	HIL08-3	698607.8	6201536	16-12-2016	100	299.0
HIL08-B	HIL08-B	698635.2	6201441	16-12-2016	99	397.8
HIL10-A	HIL10-A	698846.3	6201796	19-12-2016	0	0.0
HIL10-1	HIL10-1	698804.2	6201887	19-12-2016	100	100.0
HIL10-2	HI10-2	698749.3	6201970	19-12-2016	100	199.5
HIL10-3	HIL10-3	698694.4	6202053	19-12-2016	100	299.1
HIL10-4	HIL10-4	698647.8	6202139	19-12-2016	98	397.2
HIL10-B	HIL10-B	698601.2	6202224	19-12-2016	97	494.4
HIL11-A	HIL11-A	699033.1	6201897	19-12-2016	0	0.0
HIL11-1	HIL11-1	699017.6	6201800	19-12-2016	99	99.0
HIL11-2	HIL11-2	698996.9	6201703	19-12-2016	99	198.3
HIL11-3	HIL11-3	698972.2	6201606	19-12-2016	100	297.9
HIL11-4	HIL11-4	698947.5	6201510	19-12-2016	100	397.6
HIL11-5	HIL11-5	698924.7	6201413	19-12-2016	99	496.6
HIL11-B	HIL11-B	698899.1	6201316	19-12-2016	101	597.5
HIL07-A	HEL07-A	698218.8	6202685	20-12-2016	0	0.0
HIL07-01	HEL07-01	698234.9	6202583	20-12-2016	103	103.2
HIL07-02	HEL07-02	698245.4	6202484	20-12-2016	100	203.3
HIL07-03	HEL07-03	698263.9	6202385	20-12-2016	100	303.5
HIL07-04	HEL07-04	698283.8	6202287	20-12-2016	100	403.7
HIL07-05	HEL07-05	698304.7	6202192	20-12-2016	97	500.9
HIL07-06	HEL07-06	698321.8	6202093	20-12-2016	100	601.2
HIL07-07	HEL07-07	698339	6201994	20-12-2016	101	701.9
HIL07-08	HEL07-08	698351.9	6201897	20-12-2016	98	799.8
HIL07-B	HEL07-B	698370.4	6201799	20-12-2016	100	899.4

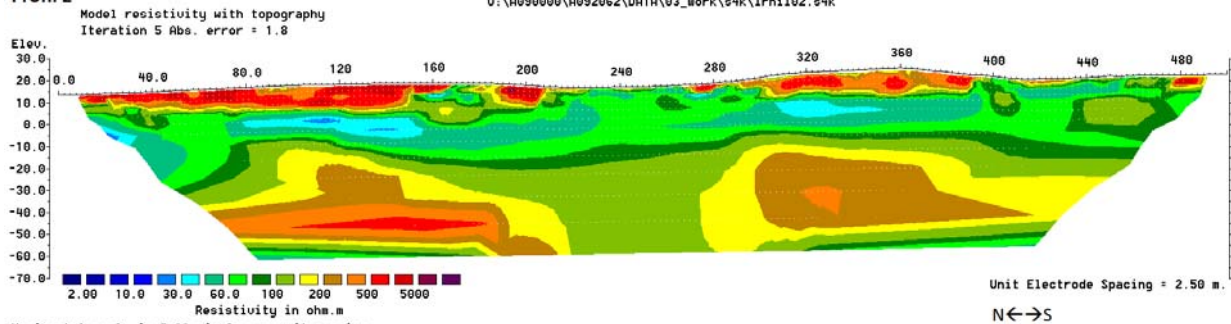
Bilaga 2

Profil 1



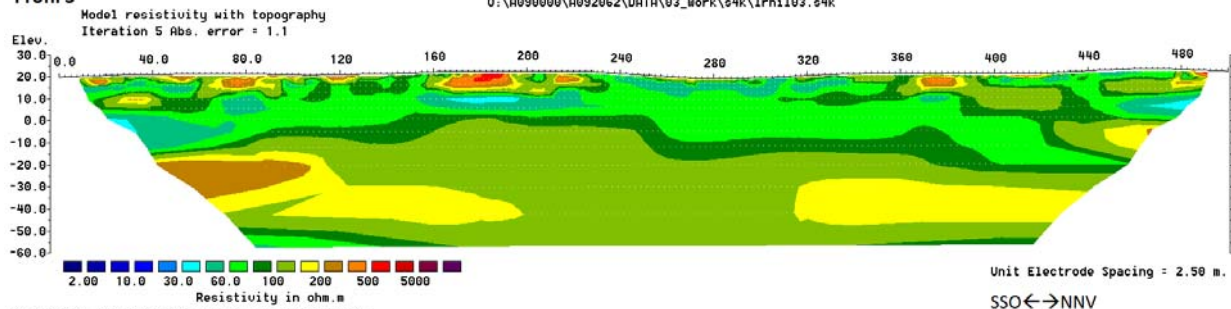
Horizontal scale is 6.86 pixels per unit spacing
Vertical exaggeration in model section display = 1.08
First electrode is located at 0.0 m.
Last electrode is located at 575.0 m.

Profil 2



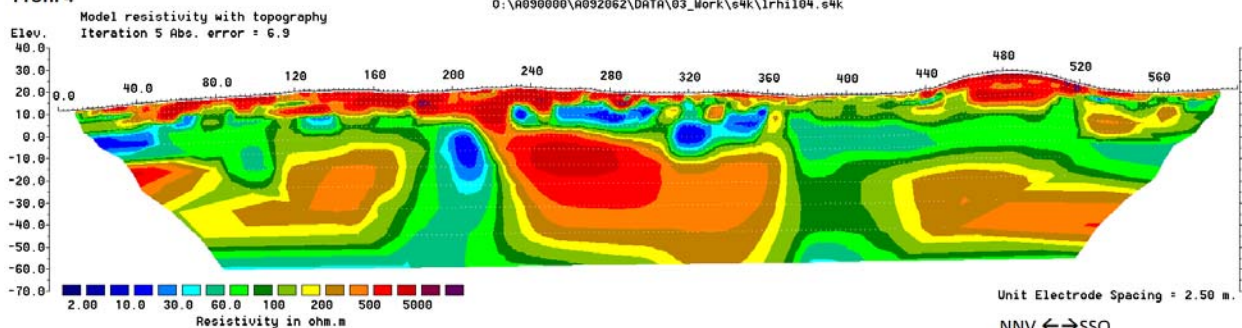
Horizontal scale is 7.90 pixels per unit spacing
Vertical exaggeration in model section display = 0.94
First electrode is located at 0.0 m.

Profil 3



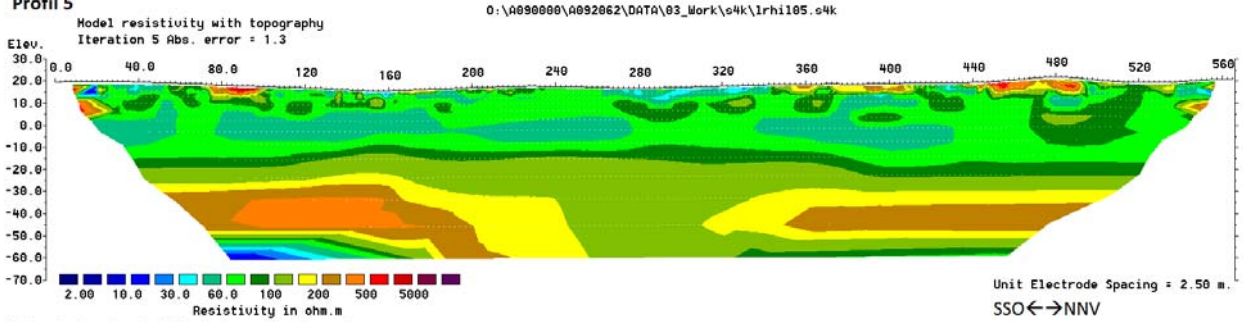
Horizontal scale is 7.89 pixels per unit spacing
Vertical exaggeration in model section display = 0.94
First electrode is located at 0.0 m.
Last electrode is located at 500.0 m.

Profil 4



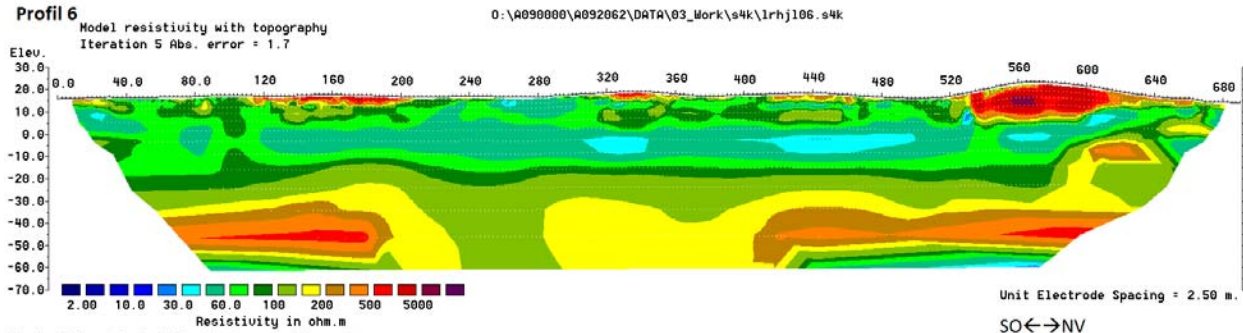
Horizontal scale is 6.60 pixels per unit spacing
Vertical exaggeration in model section display = 1.12
First electrode is located at 0.0 m.
Last electrode is located at 600.0 m.

Profil 5



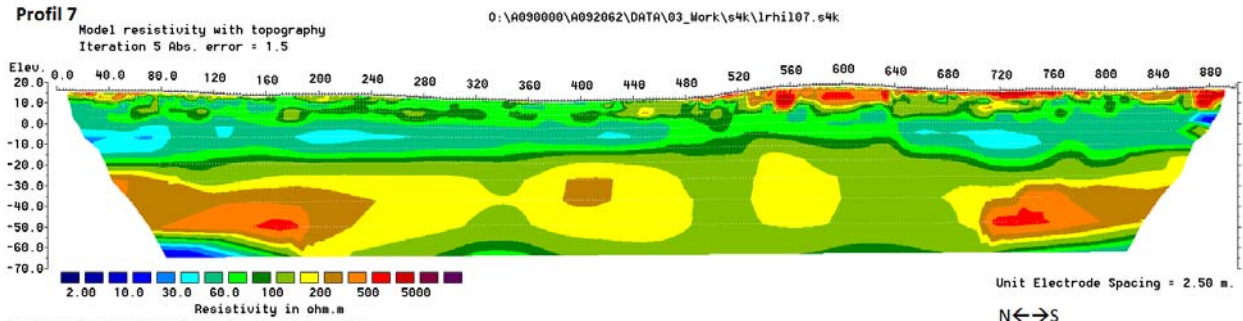
Horizontal scale is 6.98 pixels per unit spacing
Vertical exaggeration in model section display = 1.06
First electrode is located at 0.0 m.
Last electrode is located at 565.0 m.

Profil 6



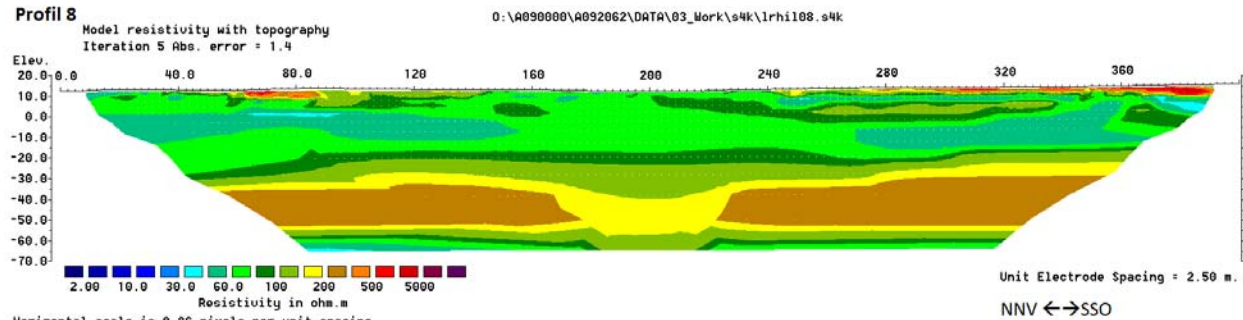
Horizontal scale is 5.72 pixels per unit spacing
Vertical exaggeration in model section display = 1.29
First electrode is located at 0.0 m.
Last electrode is located at 690.0 m.

Profil 7



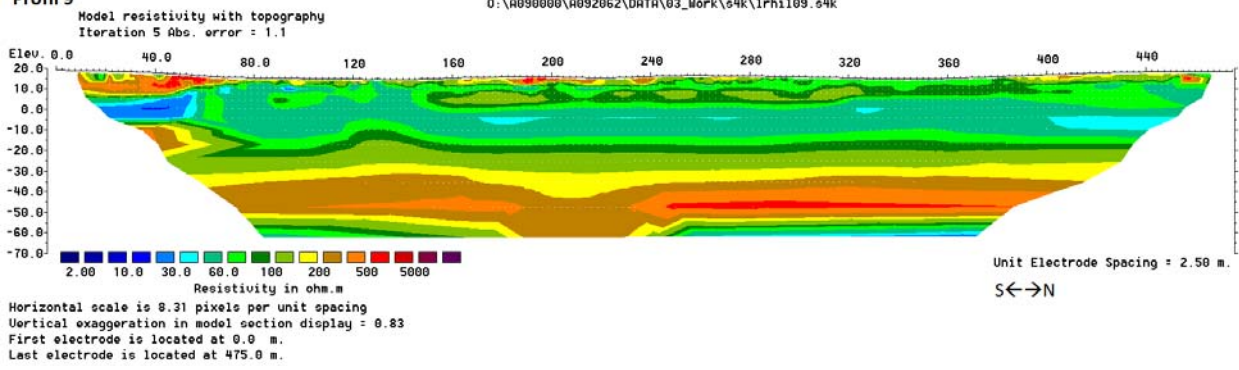
Horizontal scale is 4.38 pixels per unit spacing
Vertical exaggeration in model section display = 1.57
First electrode is located at 0.0 m.
Last electrode is located at 900.0 m.

Profil 8

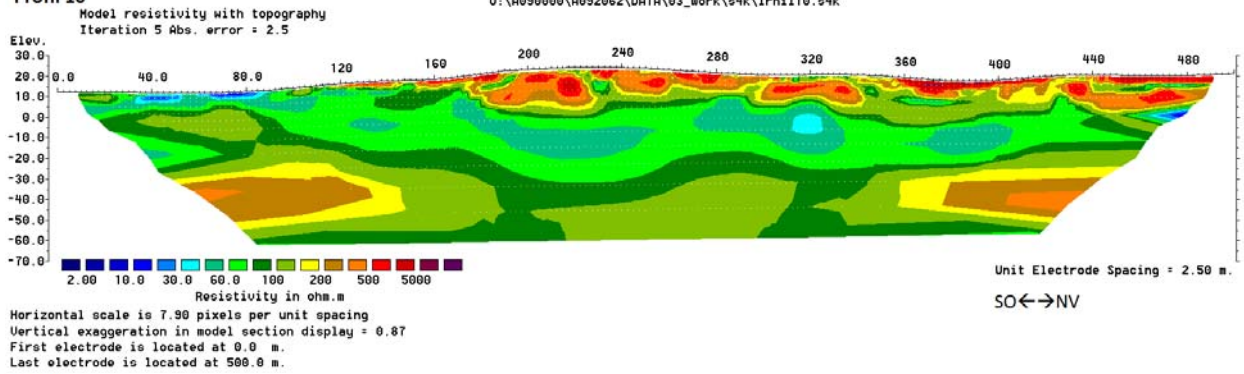


Horizontal scale is 9.86 pixels per unit spacing
Vertical exaggeration in model section display = 0.70
First electrode is located at 0.0 m.
Last electrode is located at 400.0 m.

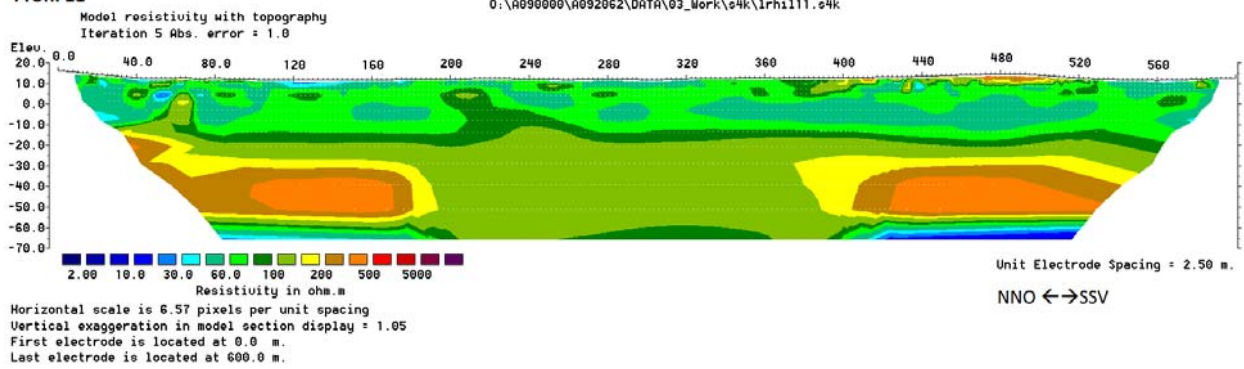
Profil 9



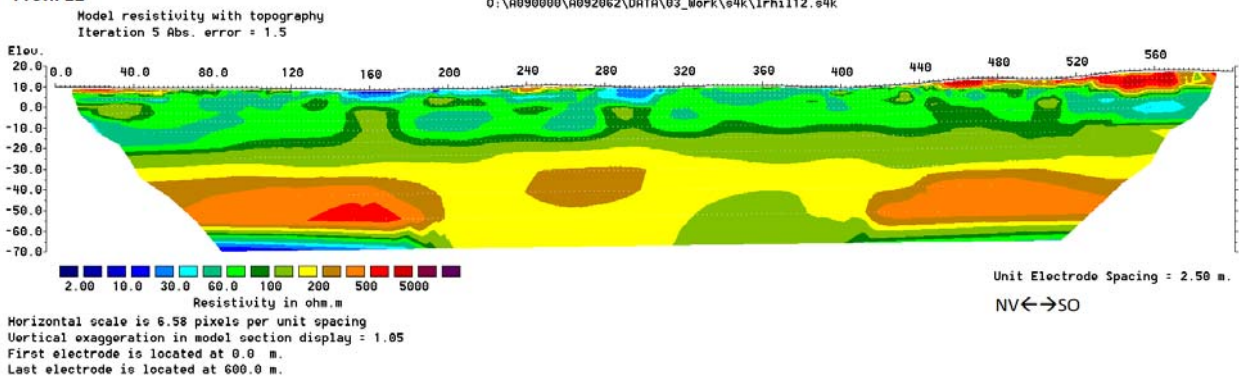
Profil 10



Profil 11

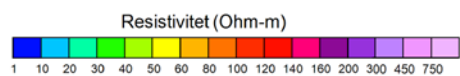


Profil 12



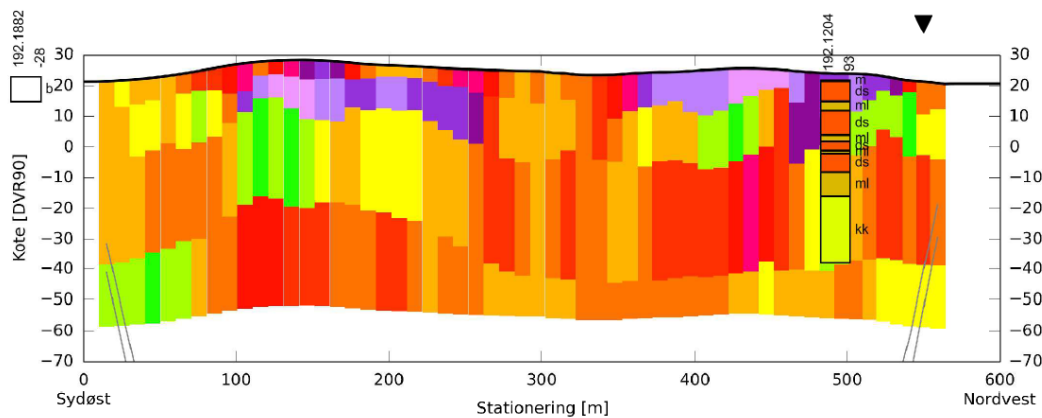
Bilaga 3

1D versioner i WORKBENCH av Anna Bondo Medhus, med inkorporerade brunnar av Maria Riis-Mygind.



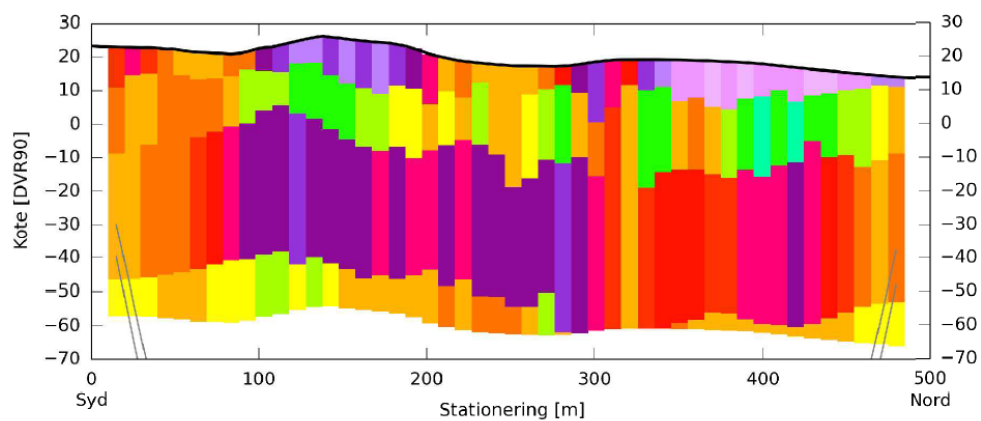
Profil 1

Modelsektion, 1D-inversion (LCI FL-lags), Total DataRes = 2.82



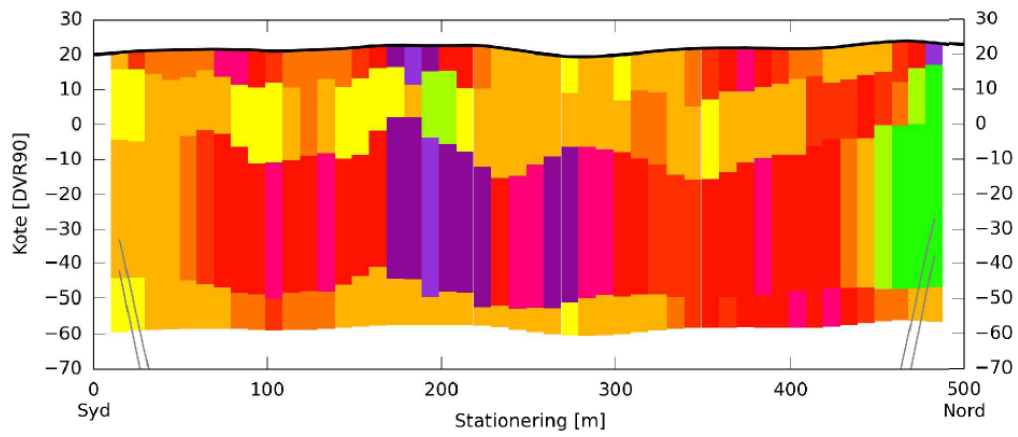
Profil 2

Modelsektion, 1D-inversion (LCI FL-lags), Total DataRes = 1.21



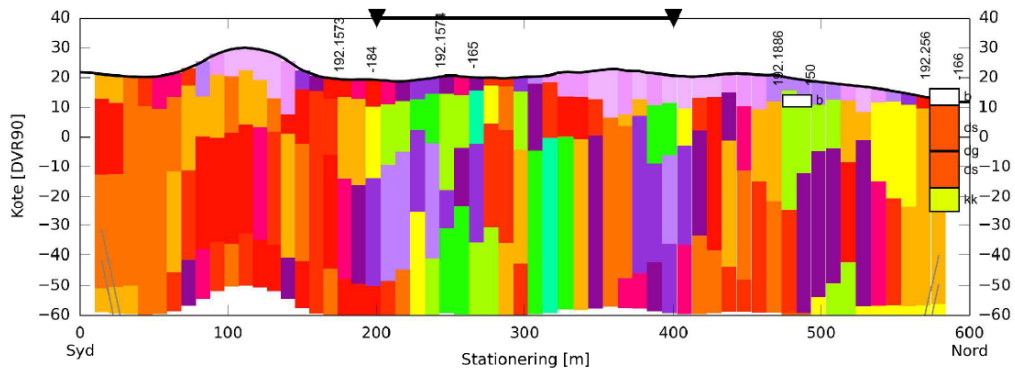
Profil 3

Modelsektion, 1D-inversion (LCI FL-lags), Total DataRes = 1.2



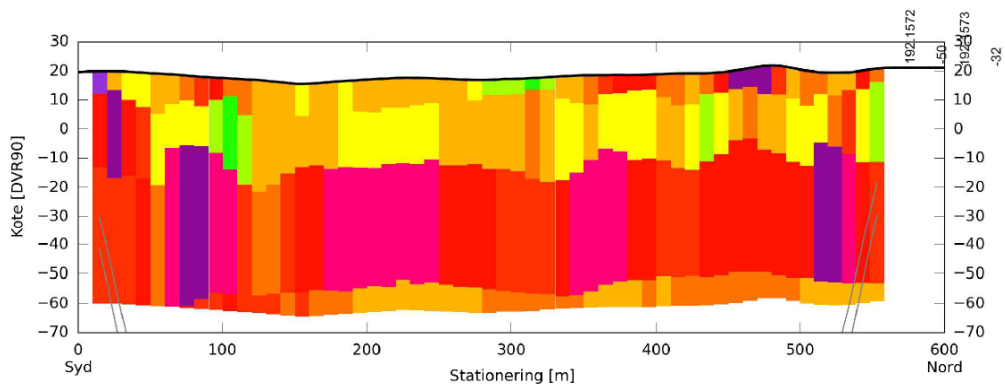
Profil 4

Modelsektion, 1D-inversion (LCI FL-lags), Total DataRes = 0.79



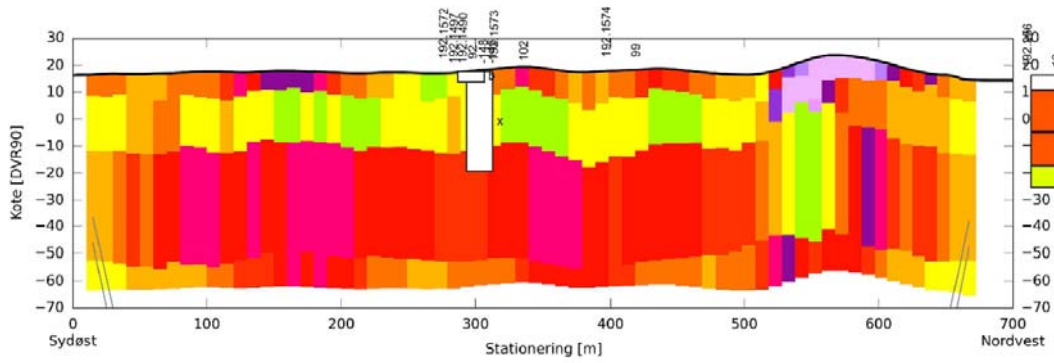
Profil 5

Modelsektion, 1D-inversion (LCI FL-lags), Total DataRes = 0.81



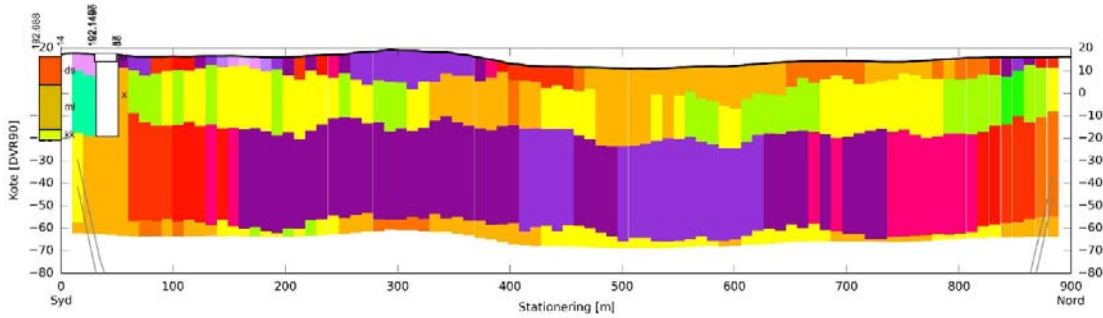
Profil 6

Modelsektion, 1D-inversion (LCI FL-lags), Total DataRes = 1.28



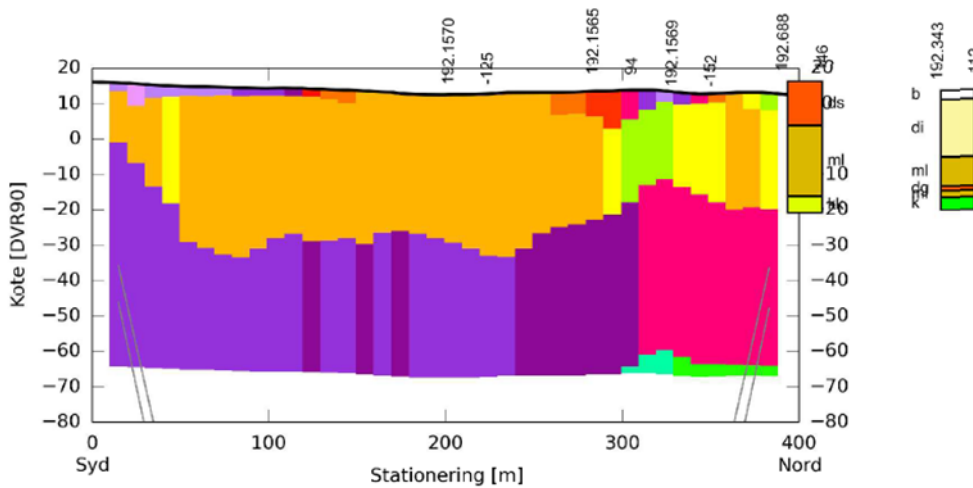
Profil 7

Modelsektion, 1D-inversion (LCI FL-lags), Total DataRes = 0.57



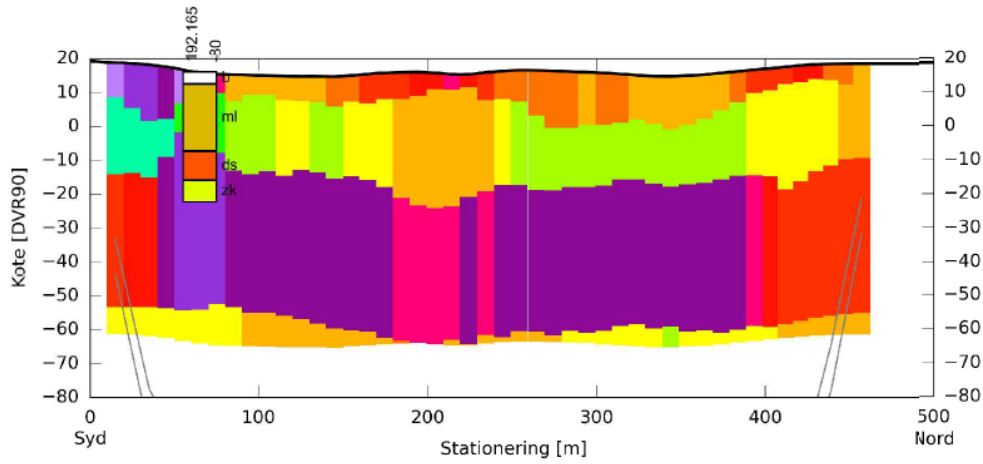
Profil 8

Modelsektion, 1D-inversion (LCI FL-lags), Total DataRes = 0.53



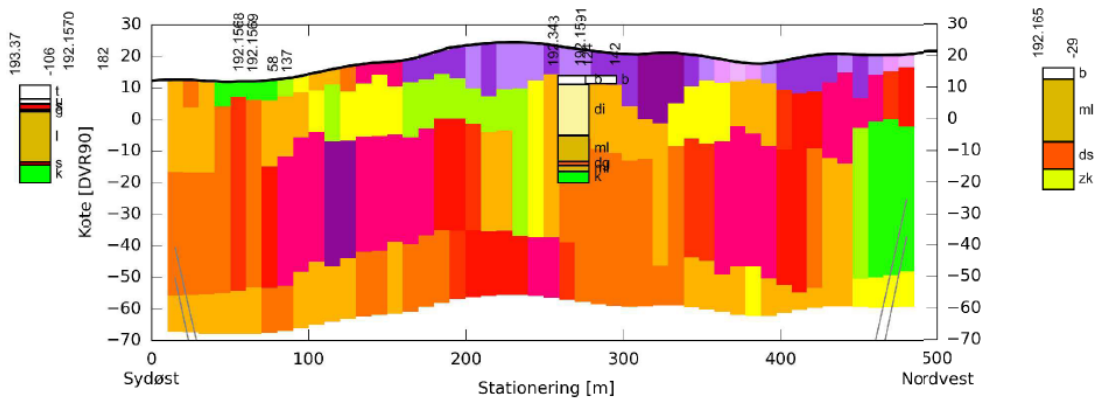
Profil 9

Modelsektion, 1D-inversion (LCI FL-lags), Total DataRes = 0.67



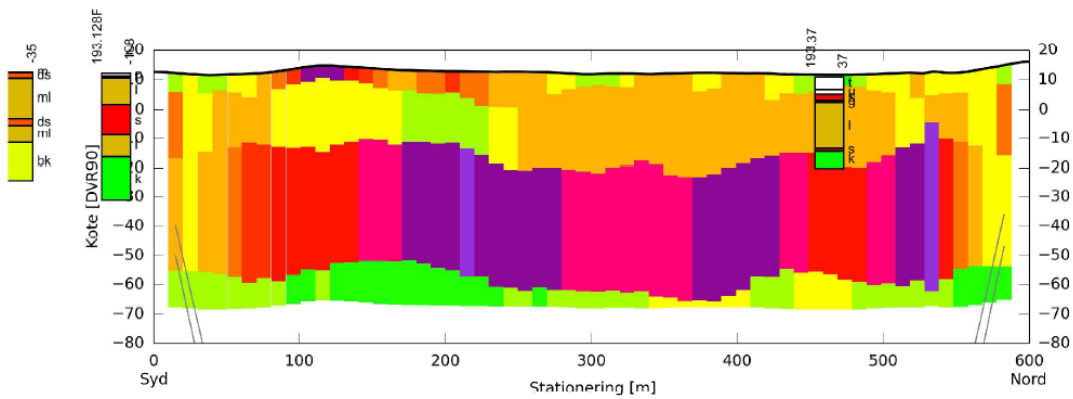
Profil 10

Modelsektion, 1D-inversion (LCI FL-lags), Total DataRes = 0.98



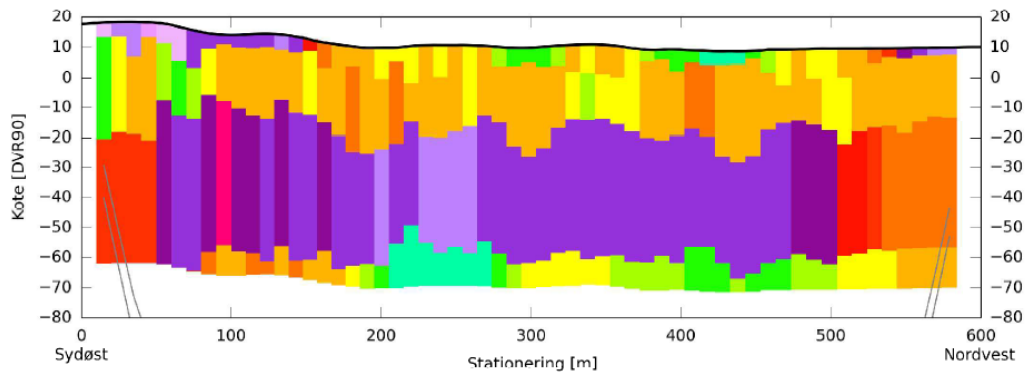
Profil 11

Modelsektion, 1D-inversion (LCI FL-lags), Total DataRes = 0.62



Profil 12

Modelsektion, 1D-inversion (LCI FL-lags), Total DataRes = 1.01



Bilaga 4

Brunnsarkivens beskrivning

	b	brunn
	dg	smältvattensgrus
	ds	smältvattenssand
	g	grus, grus o sand
	k	kalk/krit kalksten
	kk	danienkalk
	l	ler
	m	morän
	ml	moränlera
	s	sand
	t	torv
	u	lera, sand o grus
	x	okänd lager
	zk	danien kalk / kalk o flint
		

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

468. Liesirova, Tina, 2016: Oxygen and its impact on nitrification rates in aquatic sediments. (15 hp)
469. Perneby Molin, Susanna, 2016: Embryologi och tidig ontogeni hos mesozoiska fisködlor (Ichthyopterygia). (15 hp)
470. Benavides Höglund, Nikolas, 2016: Digitization and interpretation of vintage 2D seismic reflection data from Hanö Bay, Sweden. (15 hp)
471. Malmgren, Johan, 2016: De mellankambriska oelandicuslagren på Öland - stratigrafi och faciestyper. (15 hp)
472. Fouskopoulos Larsson, Anna, 2016: XRF-studie av sedimentära borrhärdar - en metodikstudie av programvarorna Q-spec och Tray-sum. (15 hp)
473. Jansson, Robin, 2016: Är ERT och Tidsdomän IP potentiella karteringsverktyg inom miljögeologi? (15 hp)
474. Heger, Katja, 2016: Makrofossilanalys av sediment från det tidig-holocena undervattenslandskapet vid Haväng, östra Skåne. (15 hp)
475. Swierz, Pia, 2016: Utvärdering av vattenkemisk data från Borgholm kommun och dess relation till geologiska förhållanden och markanvändning. (15 hp)
476. Mårdh, Joakim, 2016: WalkTEM-undersökning vid Revingehed propumpningsanläggning. (15 hp)
477. Rydberg, Elaine, 2016: Gummigranulat - En litteraturstudie över miljö- och hälsopåverkan vid användandet av gum-migranulat. (15 hp)
478. Björnfors, Mark, 2016: Kusterosion och äldre kustdyners morfologi i Skälderviken. (15 hp)
479. Ringholm, Martin, 2016: Klimatutlöst matbrist i tidiga medeltida Europa, en jämförande studie mellan historiska dokument och paleoklimatarkiv. (15 hp)
480. Teilmann, Kim, 2016: Paleomagnetic dating of a mysterious lake record from the Kerguelen archipelago by matching to paleomagnetic field models. (15 hp)
481. Schönström, Jonas, 2016: Resistivitets- och markradarmätning i Ängelholmsområdet - undersökning av korrosiva markstrukturer kring vattenledningar. (15 hp)
482. Martell, Josefin, 2016: A study of shock-metamorphic features in zircon from the Siljan impact structure, Sweden. (15 hp)
483. Rosvall, Markus, 2016: Spår av himlakroppskollisioner - bergarter i nedslag-skratrar med fokus på Mien, Småland. (15 hp)
484. Olausson, My, 2016: Resistivitets- och IP-mätningar på den nedlagda deponin Gus-tavsält i Halmstad. (30 hp)
485. Plan, Anders, 2016: Markradar- och resistivitetsmätningar - undersökningar utav korrosionsförhöjande markegenskaper kring fjärrvärmeledningar i Ängelholm. (15 hp)
486. Jennerheim, Jessica, 2016: Evaluation of methods to characterise the geochemistry of limestone and its fracturing in connection to heating. (45 hp)
487. Olsson, Pontus, 2016: Ekologiskt vatten från Lilla Klåveröd: en riskinventering för skydd av grundvatten. (15 hp)
488. Henriksson, Oskar, 2016: The Dynamics of Beryllium 10 transport and deposition in lake sediments. (15 hp)
489. Brådenmark, Niklas, 2016: Lower to Middle Ordovician carbonate sedimentology and stratigraphy of the Pakri peninsula, north-western Estonia. (45 hp)
490. Karlsson, Michelle, 2016: Utvärdering av metoderna DCIP och CSIA för identifiering av nedbrytningszoner för klorerade lösningsmedel: En studie av Färgaren 3 i Kristianstad. (45 hp)
491. Elali, Mohammed, 2016: Flygsanddyners inre uppbyggnad - georadarundersökning. (15 hp)
492. Preis-Bergdahl, Daniel, 2016: Evaluation of DC Resistivity and Time-Domain IP Tomography for Bedrock Characterisation at Önnestöv, Southern Sweden. (45 hp)
493. Kristensson, Johan, 2016: Formation evaluation of the Jurassic Stø and Nordmela formations in exploration well 7220/8-1, Barents Sea, Norway. (45 hp)
494. Larsson, Måns, 2016: TEM investigation on Challapampa aquifer, Oruro Bolivia. (45 hp)
495. Nylén, Fredrik, 2017: Utvärdering av borrhålskartering avseende kalksten för industriella ändamål, File Hajdarbrottet, Slite, Gotland. (45 hp)
496. Mårdh, Joakim, 2017: A geophysical survey (TEM; ERT) of the Punata alluvial fan, Bolivia. (45 hp)
497. Skoglund, Wiktor, 2017: Provenansstudie

- av detritala zirkoner från ett guldförande alluvium vid Ravlunda skjutfält, Skåne. (15 hp)
498. Bergcrantz, Jacob, 2017: Ett fönster till Kattegatts förflutna genom analys av bottenlevande foraminiferer. (15 hp)
499. O'Hare, Paschal, 2017: Multiradionuclide evidence for an extreme solar proton event around 2610 BP. (45 hp)
500. Goodship, Alastair, 2017: Dynamics of a retreating ice sheet: A LiDAR study in Värmland, SW Sweden. (45 hp)
501. Lindvall, Alma, 2017: Hur snabbt påverkas och nollställs luminiscenssignaler under naturliga ljusförhållanden? (15 hp)
502. Sköld, Carl, 2017: Analys av stabila isotoper med beräkning av blandningsförhållande i ett grundvattenmagasin i Älvkarleby-Skutschär. (15 hp)
503. Sällström, Oskar, 2017: Tolkning av geofysiska mätningar i hammarborrhål på södra Gotland. (15 hp)
504. Ahrenstedt, Viktor, 2017: Depositional history of the Neoproterozoic Visingsö Group, south-central Sweden. (15 hp)
505. Schou, Dagmar Juul, 2017: Geometry and faulting history of the Long Spur fault zone, Castle Hill Basin, New Zealand. (15 hp)
506. Andersson, Setina, 2017: Skalbärande marina organismer och petrografi av tidigcampaniska sediment i Kristianstadsbassängen – implikationer på paleomiljö. (15 hp)
507. Kempengren, Henrik, 2017: Förorenings-spridning från kustnära deponi: Ap-plicering av Landsim 2.5 för modellering av lakvattentransport till Östersjön. (15 hp)
508. Ekborg, Charlotte, 2017: En studie på samband mellan jordmekaniska egenskaper och hydrodynamiska processer när erosion påverkar släntstabiliteten vid ökad nederbörd. (15 hp)
509. Silván, Björn, 2017: LiDARstudie av glaciala landformer sydväst om Söderåsen, Skåne, Sverige. (15 hp)
510. Rönning, Lydia, 2017: Ceratopsida dinosauriers migrationsmönster under krit-tiden baserat på paleobiogeografi och fylogeni. (15 hp)
511. Engleson, Kristina, 2017: Miljökonsekvensbeskrivning Revinge brunnsfält. (15 hp)
512. Ingered, Mimmi, 2017: U-Pb datering av zirkon från migmatitisk gnejs i Delsjöom-rådet, Idefjordenterrängen. (15 hp)
513. Kervall, Hanna, 2017: EGS - framtidens geotermiska system. (15 hp)
514. Walheim, Karin, 2017: Kvartsmineral-ogins betydelse för en lyckad luminiscensdatering. (15 hp)
515. Aldenius, Erik, 2017: Lunds Geotermisystem, en utvärdering av 30 års drift. (15 hp)
516. Aulin, Linda, 2017: Constraining the duration of eruptions of the Rangitoto volcano, New Zealand, using paleomagnetism. (15 hp)
517. Hydén, Christina Engberg, 2017: Drumlinerna i Löberöd - Spår efter flera isrörelseriktningar i mellersta Skåne. (15 hp)
518. Svantesson, Fredrik, 2017: Metodik för kartläggning och klassificering av erosion och släntstabilitet i vattendrag. (45 hp)
519. Stjern, Rebecka, 2017: Hur påverkas luminiscenssignaler från kvarts under laboratorieförhållanden? (15 hp)
520. Karlstedt, Filippa, 2017: P-T estimation of the metamorphism of gabbro to garnet amphibolite at Herrestad, Eastern Segment of the Sveconorwegian orogen. (45 hp)
521. Önnervik, Oscar, 2017: Ooider som naturliga arkiv för förändringar i havens geokemi och jordens klimat. (15 hp)
522. Nilsson, Hanna, 2017: Kartläggning av sand och naturgrus med hjälp av resistivitetstestning på Själland, Danmark. (15 hp)



LUNDS UNIVERSITET

Geologiska institutionen
Lunds universitet
Sölvegatan 12, 223 62 Lund