

Resistivitets- och markradar- mätning i Ängelholmsområdet - undersökning av korrosiva markstrukturer kring vattenledningar

Jonas Schönström

Examensarbeten i geologi vid Lunds universitet,
kandidatarbete, nr 481
(15 hp/ECTS credits)



Geologiska institutionen
Lunds universitet
2016

**Resistivitets- och markradarmätning
i Ängelholmsområdet
- undersökning av korrosiva
markstrukturer kring vattenledningar**

Kandidatarbete
Jonas Schönström

Geologiska institutionen
Lunds universitet
2016

Innehåll

1	Introduktion	9
1.1	Inledning	9
1.2	Syfte och målsättning	9
1.3	Avgränsningar	9
2	Bakgrund	9
2.1	Områdesbeskrivning	9
2.2	Geologi	10
2.2.1	Berggrund	10
2.2.2	Jordart	10
2.2.3	Hydrogeologi	10
2.2.4	Byggnadsgeologi	11
2.3	Tillgänglig information	11
3	Teori	11
3.1	Resistivitetsmätning	11
3.1.1	Grundläggande principer	11
3.1.2	Geologiska materials ledningsförmåga	11
3.1.3	Mättningsprocess	12
3.1.4	Elektroders uppställning	13
3.1.5	Multielektroduppställning-CVES	13
3.1.6	Tolkning och bearbetning	14
3.1.7	Ekvivalensproblem och 3D-effekter	14
3.2	Markradar	14
3.2.1	Grundläggande princip	14
3.2.2	Radarpuls	15
3.2.3	Radargram	15
3.2.4	Diffraction	15
3.2.5	Dämpning och djupnedträngning	15
3.2.6	MIRA-Systemet	16
3.3	Metalledningar	16
3.3.1	Generellt	16
3.3.2	Korrosion	17
4	Metodologi	17
4.1	Gånarpsvägen	18
4.1.1	Teoretisk undersökning	18
4.1.2	Förutsättningar	18
4.1.3	Profiler	18
4.2	Åsbogatan	18
4.2.1	Teoretisk undersökning	19
4.2.2	Förutsättningar	19
4.2.3	Profiler	20
4.3	Fältarbete för båda lokalerna	20
4.4	Dataprocessering av båda lokalerna	20

Innehåll

5 Resultat	20
5.1 Gånarpsvägen	21
5.2 Åsbogatan	21
6 Diskussion och tolkning	24
6.1 Gånarpsvägen	24
6.1.1 Felkällor	25
6.2 Åsbogatan	25
6.2.1 Felkällor	26
7 Slutsatser	27
8 Tack	27
9 Referenser	27
10 Bilagor	29
Bilaga 1 Berggrundskarta	29
Bilaga 2 Jordartskarta	30
Bilaga 3 Jorddjupskarta	31
Bilaga 4 Koordinater	32
Bilaga 5 Inversionsparametrar för RES2DINV	34
Bilaga 6 3D-modeller	36
Bilaga 7 Guideline Geos radargram	38

Resistivitets- och markradarmätning i Ängelholmsområdet -undersökning av korrosiva markstrukturer kring vattenledningar

Jonas Schönström

Schönström, J., 2016: *Examensarbeten i geologi vid Lunds universitet*, Nr. 481, 28 sid. 15 hp.

Sammanfattning: Ett fungerande vattennät är vitalt för ett idag fungerande samhälle. Då ~55 % av Sveriges Vattenledningar är gjutjärnsledningar och har en ålder på upp emot 100 år, är korrosion av ledningar idag ett stort problem. Undersökningar av dessa ledningar är tidskrävande och kostsamma då det sker genom uppschaktningar. Denna studie är en del av ett s.k. Vinnova-projekt, där Lunds tekniska högskola (LTH) tillsammans med små och medelstora företag, forskare, VA- och fjärrvärmebolag undersöker möjligheter att statusbedöma ledningar utan uppschaktning. Studien behandlar två lokaler i Ängelholmsområdet, Gånarpsvägen och Åsbogatan. Arbetet bygger på frågeställningen om hur resistivitetsmätning fungerar som en kompletterande undersökningsmetod till markradar för att finna potentiella leror i närheten av högresistiva mer grovkorniga partier kring vattenledningar. Leror tillsammans med dessa permeabla jordarter skapar situationer kring ledningen som resulterar i korrosion. Markradarmätningarna utfördes av Guideline Geo och anomalier i datan noterades, vilka låg till grund för resistivitetsmätningens undersökningsområde. Data från resistivitetsmätningarna exporterades och 2d-sektioner för tolkning bearbetades fram med mjukvaran RES2DINV för att sedan korreleras med markradardata. Åsbogatans resultat får anses som opålitliga då flera begränsningar fanns. Gånarpsvägen gav mer tydlig data, genom tolkning bekräftades att resistivitetsmätning är en bra kompletterande metod till markradar för detektion av högresistiva, grövre material. Dessa kan innehålla stora mängder syre, som tillsammans med lågresistiva, syrefattiga leror, orsakar korrosion. Detta konstaterades då lågresistiva områden omkring anomalierna i resistivitetsmodellerna kunde korreleras med markradardatan.

Nyckelord: Resistivitetsmätning, Vinnova, geofysik, modellering, lera, korrosion, markradar, GPR, Ängelholm, vattenledningar

Handledare: Ulf Söderlund

Extern handledare: Torleif Dahlin och Matteo Rossi

Ämnesinriktning: Geofysik

Jonas Schönström, Geologiska institutionen, Lunds universitet, Sölvegatan 12, 223 62 Lund, Sverige.

E-post: Jonas.schonstrom@outlook.com

Resistivity- and Ground penetrating radar measurement in Ängelholm area - surveying of corrosive soil structures in the vicinity of water pipes

Jonas Schönström

Schönström, J., 2016: *Dissertations in Geology at Lund University*, No. 481, 28 pp. 15 hp (15 ECTS credits) .

Abstract: An operational water system is vital for a modern working community. In Sweden ~55 % of the water pipes are made up by cast iron and has a wide age-variety, some in excess of 100 years. Corrosion is fatal for these pipes and need thorough inspections for maintaining their functionality. Today the method for inspection of these pipes is conducted through expensive and time consuming excavations. This study is part of a project called Vinnova in which Faculty of Engineering (LTH), Lund University in cooperation with small and medium-sized enterprises, plumbing and district heating enterprises and scientists, who is investigating the possibilities to inspect the conditions of the these cast iron pipes without excavations. This study concerns two premises situated around Ängelholm, Gånarpsvägen and Åsbogatan. The work is based on the issue of how resistivity measurement serves as a complementary method to ground penetrating radar (GPR) for hazardous corrosion detection close to the pipes. Clay together with more permeable coarser grained soils, shown as anomalies in the GPR data, results in a situation where the pipes are exposed to corrosion. The GPR measurements were conducted by Guideline Geo and anomalies in the data were registered which formed the basis for the survey area with resistivity measurement. Data from the resistivity measurements were imported into RES2DINV which is a computer software for treatment of resistivity data. From this software, 2d-inverted sections for interpretation were developed and then correlated with the GPR data. The results from Åsbogatan were considered unreliable due to several error sources and various uncertainties. Gånarpsvägen gave more promising results and showed that resistivity measurements is a suitable complementary method to the GPR for finding corrosion related to clay in the vicinity of coarser grained materials. This conclusion relies on direct correlation between high resistivity areas in the inverted sections and the anomalies in the GPR data.

Keywords: Resistivity measurement, Vinnova, geophysics, modelling, clay, corrosion, ground penetrating radar, GPR, Ängelholm, water pipes

Supervisor: Ulf Söderlund

External supervisors: Torleif Dahlin and Matteo Rossi

Subject: Geophysics

Jonas Schönström, Department of Geology, Lund University, Sölvegatan 12, SE-223 62 Lund, Sweden.

E-mail: Jonas.schonstrom@outlook.com

1 Introduktion

1.1 Inledning

Att kunna ha tillgång till rent vatten är i dag en nödvändighet och en av de mest vitala delarna för ett fungerande samhälle. Idag består Sveriges vattenledningar av ~55 % gjutjärn, varav gråjärn utgör ~35,3 % och segjärn ~19,8 % (Malm et al. 2011). Under år ~1800-1970 anlades främst vattenledningar av gråjärn men under 1900-talets senare hälft övergick man till olika sorters plastledningar och segjärnsledningar (Malm et al. 2011). Då mer än 55 % av vattenledningarna i Sverige består av gjutjärnsledningar är behovet för inspektioner kring dessa ledningar centralt för bedömning av korrosion.

Detta examensarbete behandlar två geofysiska undersökningsmetoder, *resistivitetmätning* som är en geoelektrisk undersökningsmetod och *Markradar* (GPR), som är en reflektionsmetodbaserad markundersökningsmetod. Då markradar har en begränsad förmåga att penetrera högkonduktiva lager som t.ex. lera (Jeppsson 2015) som i sin tur tillsammans med högresistiva grovkorniga material orsakar korrosionsytor på vattenledningarna. GPR-undersökningar kompletterade med resistivitetmätningar skulle kunna ge bättre förutsättningar för att kunna tolka och rekonstruera markförhållandena kring metalledningar och på så sätt lokalisera potentiella korrosiva situationer.

Guideline Geo är ett företag som är en del av Vinnovaprojektet och är de som tillhandahåller GPR-data. Information gällande system och de specifika undersökningar som använts, kom från en anställd på Guideline Geo, Manuel Gabler och baseras på hans preliminära rapport (Gabler 2016).

1.2 Syfte och målsättning

Att kunna upptäcka partier av lera tillsammans med permeabla grövre jordarter i närheten av metalledningar är viktigt då dessa tillsammans orsakar korrosion genom att elektrokemiska processer bildas kring ledningarna. Detta kan leda till brustna rör med översvämning och kontaminering av närliggande område som påföljd. Undersökningsmetoden med GPR ger god detektion av högresistiva material. För att kunna lösa problemen kring korrosion är det angeläget att få kännedom om *resistivitetmätningar kan vara en effektiv och kompletterande metod till markradarmätning för detektion av potentiella korrosionszoner.*

1.3 Avgränsningar

Då den avsatta tiden till detta arbete är begränsat, har endast resistivitetmätning som kompletterande geofysisk undersökningsmetod till markradar utförts i fält. Då detta behandlar material med ledande ytskikt, t.ex. olika sorters lermineral, hade *Inducerad polarisation* (IP) varit av intresse, där man sänder ned ström i marken och "laddar upp" materialet för att sedan bryta strömmen och mäta hur den uppladdade spänningen i marken avtar med tiden (Jeppsson & Dahlin 2015). På grund av tidsbegränsning har endast två lokaler tagits i anspråk för undersökningar med resistivitetmätning

2 Bakgrund

Lunds Tekniska Högskola (LTH) är delaktiga i ett Vinnova-projekt tillsammans med små och medelstora företag, forskare, VA- och fjärrvärmebolag. Dessa olika aktörer arbetar tillsammans för att ta fram olika tekniska lösningar för att bedöma skick på vattenledningar utan kostsamma uppschaktningar. Inom ramar för Vinnova-projektet var två lokaler vid Ängelholm av intresse för resistivitetmätning.

2.1 Områdesbeskrivning

De två platser vilka undersöktes med resistivitetmätning är belägna i närheten av Ängelholm, Skåne. Gånarpsvägen strax utanför och Åsbogatan som ligger i de centrala delarna (Figur 1).

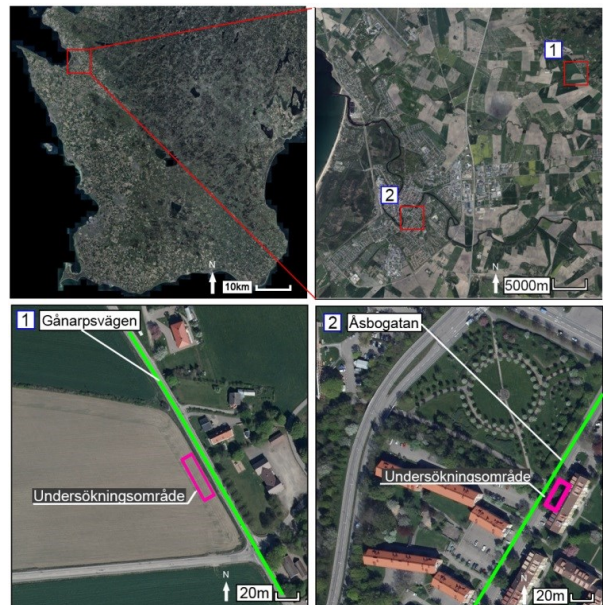


Fig. 1: Skåne, Ängelholm och lokalerna där mätningar äger rum. © Lantmäteriet, Dnr: I2014/00579.

2.2 Geologi

2.2.1 Berggrund

Enligt Wikman & Norling (1990), anses Skåne vara den sydligaste delen av den s.k. *Fennoskandiska* urbergsskölden som är av pre-kambriskt ursprung. Ängelholmsområdet befinner sig i den s.k. *Fennoskandiska* randzonen som är en tektonisk buffertzonen mellan urbergsskölden och den danska sänkan (Wikman & Norling 1990).

Förkastningarna i denna zon är en del av den s.k. *Tornquistzonen* med nordväst-sydöstlig riktning vilket utgör en gren av den större förkastningszonen *Transskandinaviska suturzonen* som sträcker sig till Svarta Havet (Wikman & Norling 1990). De utmärkande urbergshorstarna i Skåne bildades under uppsprickandet av superkontinenten Pangea (Ulf Söderlund muntligt 2013). Vid dessa extensioner för ~300 miljoner år sedan (Söderlund et al. 2005) bildades sprickzoner i berggrunden och magma kunde då tränga in i dessa, vilka stelnade och bildade s.k. diabasgångar (Andréasson 2006)

Vid undersökningsområdena kring Ängelholm överlagras denna berggrund av yngre sedimentär berggrund av mezosoiskt ursprung från trias – jura (Wikman & Norling 1990). Detta beskrivs enligt berggrundskartan som ”Ospecifierade klastiska, limniska och marina avlagringar” (Wikman et al. 1981). Denna beskrivning påvisar en händelserik tid med flertalet transgressioner och regressioner med tillfälliga grunda laguner och sjöar som resultat av vattennivåförändringar. För berggrundskarta över området (Bilaga 1).

2.2.2 Jordart

De jordarter som berör undersökningsplatserna är avsatta under den senaste deglaciationen, weichsel och den efterliggande nuvarande interglaciala tiden, holocen. Första undersökningsområdet vid Gånarpsvägen är belägen vid Tåstarp med en jordartsmäktighet på ~50 meter, enligt Brunn-ID 32300021, Tåstarp skola, och enligt jordbrukskartan över Ängelholm (Bilaga 2).

Området är beläget precis vid en gräns mellan glacifluviala avlagringar och lerig finsand (Mohrén 1976) (Figur 2). Vid Tåstarp fortsätter isälvsavlagringarna västerut in under den glaciala leran (Esko 1977). Isälvsanden och den leriga sandens avsättning skedde under inlandsisens tillbakadragande. Det var stor tillgång till smältvatten vilket transporterade material genom isälvar och istunnlar till isens framkant, där grövre kornstorlekar avsattes först medan finare partiklar transporterades mer distalt innan de senare avsattes (Esko 1977).

Vid Åsbogatan är den dominerande jordarten lerig sand (Figur 3), vilket har samma avsättningsanförande som isälvsedimenten vid Gånarpsvägen. Krossmaterialet av grus har ej känd underyta men kan enligt (Svensk Byggtjänst 2014) antas en överbyggnad på 200 mm med krossmaterial. Kornstorleksfraktionen är 0-40 mm då detta är en standard för underbyggnad av asfalterade trottoarer. Jordartslagrets mäktighet vid

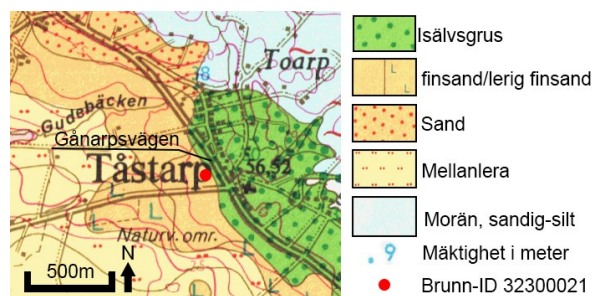


Fig. 2: Del av en jordartskarta där Gånarpsvägens undersökningsområde förekom. Del av (Mohrén 1976)

© Sveriges geologiska undersökning.

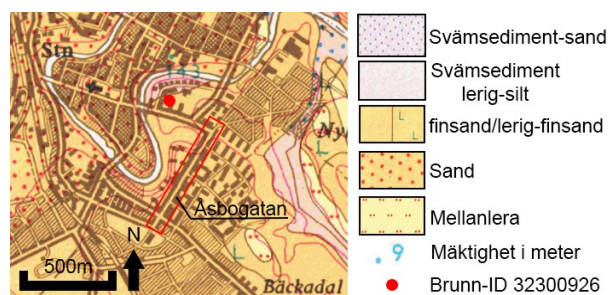


Fig. 3: Jordarter kring Åsbogatan. Del av (Mohrén 1976)

© Sveriges geologiska undersökning.

Åsbogatan varierar gentemot Gånarpsvägen med en tjocklek på ~88 meter ned till den sedimentära berggrunden, enligt Brunn-ID 32300926.

Följande områden karterades enligt Jordartsbeskrivningen med handborr och spade. Dock har inom Åsbogatans kartering varit begränsad till öppna ytor, såsom parker och nybyggnationer.

Brunns-ID:

- Åsbogatan: Vid 5M N BRANDSTN. Brunns ID 32300926 Djup till berg 88 meter. N (6235059) E (367942). Lägesfel <100 meter
- Gånarpsvägen: Vid Tåstarp skola. Brunns ID 32300021. Djup till berg 50 meter. N (6238955) E (372914). Lägesfel <100 meter

För jordartskarta över Ängelholm (bilaga 3).

2.2.3 Hydrogeologi

Hydrogeologin skiljer sig mellan de två lokalerna. Vid Gånarpsvägen ligger tryckytan för vattnet 30 meter över havet (Müllern 2010) och enligt GPS-mätningar ligger markytan på ~44 meter, Bilaga 4. Grundvattentytan kan då beräknas ligga på ~14 meters djup med flödesriktning västerut. Uttagsmöjligheterna vid Tåstarp är 1-5 l/s.

Vid Åsbogatan är även där uttagsmöjligheterna 1-5 l/s. Ingen känd flödesriktning enligt SGU. Enligt GPS-mätningarna ligger höjdnivån Åsbogatan på ~14 meter (Bilaga 4). Grundvattentytan i närheten av Åsbogatan är okänd.

2.2.4 Byggnadsgeologi

Enligt (Svensk Byggtjänst 2014) skall förläggning av vattenledningar ske på ett frostfritt djup för att undvika frysning av vattnet i ledningarna. Ledningsbädden skall anläggas med tjocklek av minst 150 mm välgaraderat friktionsmaterial (jordarter bestående av antingen sand, grus eller morän) beroende på rördimension och typ, om ej jordmaterialet i schaktbotten uppfyller kraven för nedläggning av ledningar. Därefter skall kringfyllnadsmaterial omsluta ledningarna, vilket är den egentliga slutfasen för anläggning av ledningar. Kringfyllningen sker normalt till ca 300 mm över ledningens hjässa, där samma material används till kringfyllning som ledningsbädden. Därefter skall resterande fyllning appliceras till önskad yta är uppnådd med material anpassat för markytans planerade användning (Ekbäck 2013). Då anläggningen av ledningarna som undersöks ej omfattas av Svensk byggtjänst 2014, kan omgivande material kring ledningarna endast antas.

2.3 Tillgänglig information

GPR-data från Guideline Geo, som genomfördes av Manuel Gabler den 14-16 mars låg till grund för resistivitetmätningarnas placering. Data påvisade *anomalier*, något som avviker från antagen modell. Detta kan röra sig om grovkorniga permeabla material som tillsammans med omgivande lera kan orsaka korrosion.

Information gällande dimensioner och djup samt lokalisering av ledningarna erhöles från Ängelholms kommun. Rörledningarnas djup är uppskattade till ~1 meter för båda undersökningslokalerna.

Åsbogatans typ av ledning är Ø150 mm, gråjärnsledning och Gånarpsvägen Ø200 mm segjärnsledning utan epoxybeläggning.

3 Teori

3.1 Resistivitetmätning

Resistivitetmätning är en geoelektrisk undersökningsmetod som bygger på markens begränsade förmåga att leda ström (Jeppsson & Dahlin 2015). 1912 utfördes första mätningen med resistivitet av Conrad Schlumberger vid Normandi, Tyskland. Idag används metoden som en av de primära undersökningarna inom hydrogeologi, miljö- och geotekniska projekt, geotermala undersökningar och malmprospektering (Sharma 1997).

3.1.1 Grundläggande principer

Resistivitet (ρ) är materialets förmåga att fungera som isolator och har SI-enheten Ωm . En av de faktorerna som bestämmer hur stor resistansen är i en elektrisk ledare är resistiviteten (R). För att kunna beräkna resistansen i en ledare måste arean (A) och längden (L) vara kända (Figur 4).

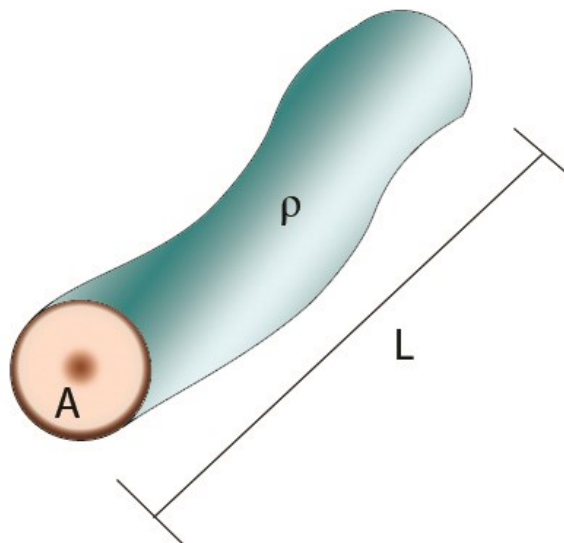


Fig. 4: principiell figur som förklarar de grundläggande principerna för beräkning av resistivitet. Modifierad på figur tillhandahållen av Hans Jeppsson 2015.

Konduktivitet är förmågan att leda ström, dvs. har ett material hög konduktivitet har det bra ledningsförmåga vilket resulterar i låg resistivitet och vice versa. (Jeppsson & Dahlin 2015). Resistansen definieras genom Ohms lag med spänningen, Volt (U) och strömstyrkan, Ampere (I).

$$R = \frac{\rho L}{A} \qquad R = \frac{U}{I}$$

3.1.2 Geologiska materials ledningsförmåga

Det finns olika faktorer som påverkar ett geologiskt materials förmåga att leda ström. Tre grundläggande förbindelser leder ström genom ett material;

- Ledning i porutrymmen fylld med vätska eller gas mellan mineralkornen.
- Ledning genom själva mineralkornen.
- Ledning genom ytskikt på mineralkorn pga. absorberande joner på kornens yta.

I framförallt sand, grus eller morän, men även i andra geologiska material, är ledning av ström genom porutrymmen den mest dominerande (Figur 5). Porutrymmenas ledningsförmåga bestäms framförallt på tre grunder; Porositeten (procentuella mängden porer i ett material)

Porfyllnadsgrad (hur stor del av porerna som är fyllda av gas eller vätska) och porvätskans ledningsförmåga. Till exempel, saltvatten har högre konduktivitet än sötvatten pga. kloridjoner och natriumjoner i saltvattnet, och på så sätt har sötvatten högre resistivitet än saltvatten. Vätskefyllda porer har lägre resistivitet än luftfyllda porer vilket kan påvisas när ett homogent material sträcker sig under en grundvattenyta.

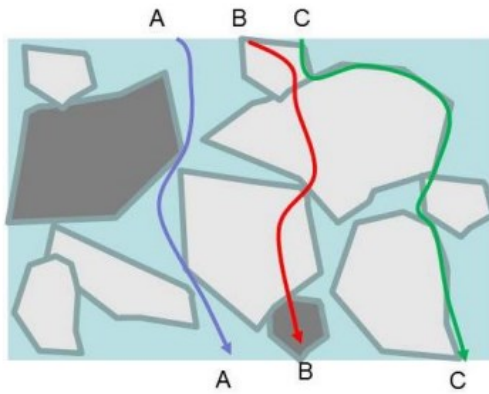


Fig. 5: a) Ledning i porrygget mellan korn, vilka kan vara fyllda med antingen vätska eller gas b) Ledning genom kontakt mellan kornen c) Ledningsväg längs med kornets ytskikt. Hämtad från (Jeppsson & Dahlin 2015).

Detta gör att resistivetsmätning lämpar sig för att detektera grundvattenytor och vattenförande formationer (Jeppsson & Dahlin 2015).

Resistiviteten mellan mineralkorn är oftast hög, då majoriteten av berggrunden består av icke högkonduktiva mineralkorn såsom kvarts och glimmer. Dock kan det även innehålla olika mindre mängder av elektriskt ledande mineral, såsom guld, pyrit och migmatit. För att dessa högkonduktiva mineral skall kunna påverka resistiviteten hos bergarten måste kornen vara i kontakt med varandra. Strukturen i berget avgör hur pass mycket dessa mineralkorn påverkar, om t.ex. berget är folierat och de lågresistiva kornen har inbördes kontakt sänks resistiviteten avsevärt. Därför lämpar sig resistivetsmätning även för prospektering av malm (Jeppsson & Dahlin 2015).

Ytskiktets ledningsförmåga är en betydelsefull faktor när det kommer till lermineral då lermineral täcks av lätttrörliga positiva joner (Figur 6).

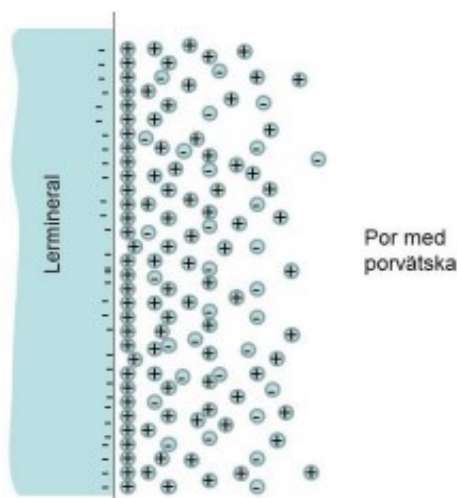


Fig. 6: Principskiss över lermineralens positiva joner som binder till de negativt laddade lerpartiklarna. Hämtad från (Jeppsson & Dahlin 2015).

Lermineral bildas genom söndervittring av mineral och är den minsta kornstorleken $<0,002$ mm. Denna kornstorlek tillsammans med skiktstrukturen gör att ytan per volymenhet är stor. Ytan på lermineralet är negativt laddat vilket gör att positiva joner dras till lermineralkornet och bildar ett hårt bundet skikt av positiva joner. Det hårt bundna jonlagret är mycket tunt, men eftersom lermineral per volymenhet har mycket stor yta påvisar lermineral låg resistivitet jämfört med flertalet andra geologiska material (Jeppsson & Dahlin 2015). Detta kan ses i Tabell 1.

Material	Resistivetsintervall (Ωm)
Lera	1-100
Torr grus	1400
Torr sand	80-1050
Sandsten	$1 - 7.8 \cdot 10^8$
Granit	$300 - 1,3 \cdot 10^6$
Morän	$10 - 5 \cdot 10^3$

Tabell 1: Resistivetsvärden för olika material (Reynolds 2011)

3.1.3 Mättningsprocess

En grundläggande mätprocedur vid resistivetsmätning är att man leder ström ned i marken genom två s.k. strömelektroder för att sedan mäta potentialskillnaden mellan två potentialelektroder, (Figur 8).

Genom instrumentet anpassas potentialskillnaden mellan elektroderna och sedan skickas en bestämd strömstyrka ut till strömelektroderna (C) och det bildas potentiallinjer mellan strömelektroderna. Markens resistivitet påverkar spänningsskillnaderna mellan strömelektroderna samt avståndet mellan ekvipotentiallinjerna. Potentialelektroden (P) hjälper sedan till att beräkna spänningen mellan två punkter. Applicerar man sedan Ohm lag så kan resistansen i marken bestämmas (Jeppsson & Dahlin 2015).

I Figur 7 antas resistivetsvärdet vara uppmätt i marken mellan två potentialelektroder, men eftersom strömfördelningen mellan två strömelektroder i själva verket är tredimensionellt påverkar omgivande heterogena material resistivetsvärdet även om det heterogena materialet ej är placerat direkt under uppställningen, (Figur 8) (Jeppsson & Dahlin 2015).

När man beräknat resistansen behövs en faktor tas i anspråk. Denna geometriska faktor som tillförs bygger på elektrodavståndet och betecknas (G) och har Sienheten meter. I en endimensionell ledare kan man skriva L/A . Denna faktor måste betraktas som en tredimensionell ledare vilket gör att den geometriska faktorn G blir mer komplicerad.

Se sektion 2.4.2 (Jeppsson & Dahlin 2015).

$$\rho = R \cdot G$$

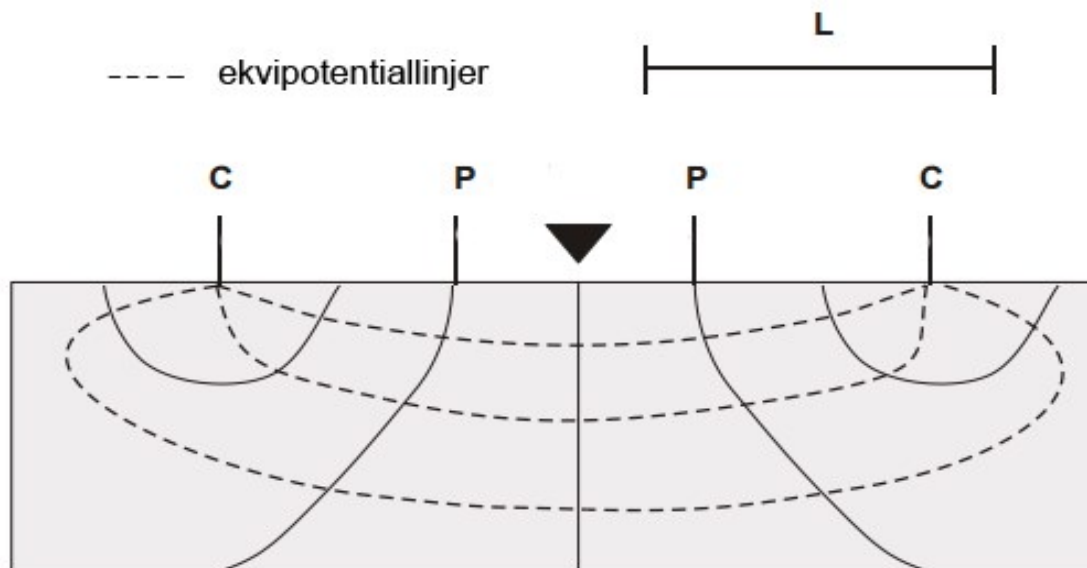


Fig. 7: tvådimensionell principskiss där ström skickas mellan strömelektrodena (C) och spänningen mäts mellan potenzialelektrodena (P). Modifierad på figur från (Jeppsson & Dahlin 2015)

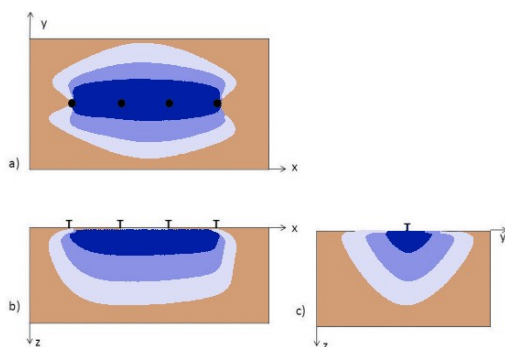


Fig. 8: Tredimensionella strömriktningar, då strömfördelningen sker i ett tredimensionellt mönster istället för ett tvådimensionellt plan. Modifierad från (Jeppsson & Dahlin 2015)

3.1.4 Elektroders uppställning

Resistivitmätning kan utföras med olika elektroduppställningar. Den uppställning som redovisas i Figur 7 är en s.k. *Wenneruppställning*. Beroende på t.ex. den tid man har i fält, önskad djupnedträngning och störningskänslighet kan olika uppställningar användas. Däribland *schlumbergeruppställning*, *pol-dipoluppställning*, *dipol-dipoluppställning* och *gradientuppställning* (Jeppsson & Dahlin 2015).

Avståndet mellan elektroderna, elektrodkonfiguration samt lagerförhållanden och heterogeniteter i marken är de faktorer som avgör hur pass djupt ned under ytan man får användbar information, samt upplösning på underliggande material. Man brukar kunna definiera att nedträngningsdjupet är dit ~50% av strömmen når. Elektroduppställningen är det som påverkar nedträngningsdjupet mest av de ovan nämnda parametrarna (Jeppsson & Dahlin 2015). Med ökande avstånd mellan strömelektrodena, desto bättre nedträngnings-

djup. Dock ger ökat elektrodavstånd sämre upplösning, vilket gör att mindre formationer ej upptäcks. (Jeppsson & Dahlin 2015).

Skenbar resistivitet är den resistivitet som hade varit verklig resistivitet om marken var homogen. I praktiken är så ej fallet, marken är mer eller mindre heterogen, med flera geologiska material med olika resistiviteter. För att kunna beräkna enskilda kroppars resistiviteter måste flertalet skenbara resistivitetsvärden tas i beräkning. Dessa värden beräknas och inverteras till en 2D-sektion (Jeppsson & Dahlin 2015)

3.1.5 Multielektroduppställning—CVES

Fram till 1990 utfördes resistivitmätningar med endast fyra elektroder som man flyttade systematiskt för att kunna mäta olika punkter i marken. Detta var ett tidskrävande arbete och det infördes en ny metodik, *Multielektrodmätning*, (CVES – continuous vertical electrical sounding), som innebar att man använde sig av flera elektroder där instrumentet ändrade vilka elektroder som skulle agera potenzialelektroder respektive strömförande elektroder. Denna metod täcker ett större område med endast en uppställning (Figur 9).

Detta styrs med en s.k. *Protokollfil* som lagts in i instrumentet (Jeppsson & Dahlin 2015). Gradientuppställning är den vanligaste uppställningen till multielektrodmätning då denna har bra upplösning och bra djupnedträngning (Dahlin et al. 2006) Denna uppställning liknar Schlumbergeruppställningen, där avståndet mellan potenzialelektroder och strömförande elektroder ej behöver vara specifikt.

Vid en multielektroduppställning kan även en *flerkanalsmätning* utföras, där flera potenzialelektrodpar utför mätning samtidigt och ökar mätastigheterna (Jeppsson & Dahlin 2015).

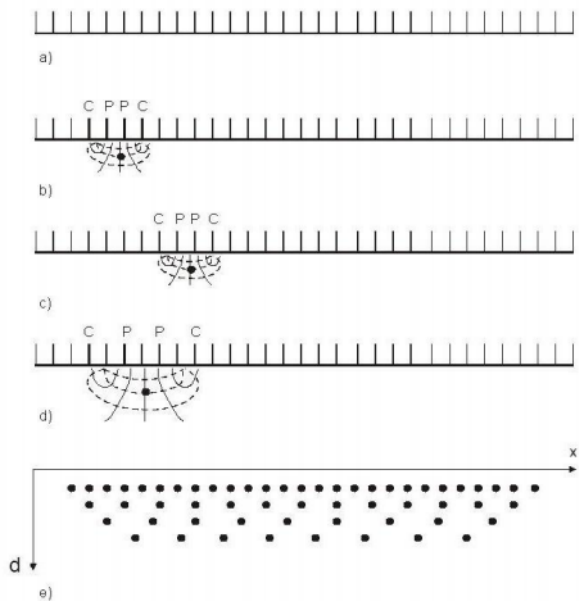


Fig. 9: a) Ett stort antal elektroder placeras ut och kopplas samman med multiledarkablar, b) En mätning genomförs, c) Andra elektroder agerar potential- och strömförande elektroder, d) Avståndet mellan de aktiva elektroderna ökar, för att få större nedträngningsdjup, e) En komplett mätserie skapas genom att addera alla enskilda mätpunkter. Hämtad från (Jeppsson & Dahlin 2015)

3.1.6 Tolkning och bearbetning

De uppmätta skenbara resistiviteter från multielektrodmätningarna redovisas grafiskt i en s.k. *Pseudosektion* (Figur 10a). För att kunna använda data från mätvärden i denna sektion för geologisk tolkning måste en *resistivetsmodell* bearbetas fram genom en s.k. *Inversion*.

Med hjälp av ett mjukvaruprogram, som t.ex. RES2DINV. Programmet tar fram en startmodell som tar rådata från pseudosektionen och uppdaterar startmodellen för att likna pseudosektionen med rådata. Varje uppdatering av startmodellen kallas *iteration* och normalt sett behövs ca 3-7 iterationer för att få bra resultat.

I Figur 10c, ser man en resistivetsmodell som är klar för tolkning med 6 iterationer och modellresidualen, (RMS – *Root Mean Square*) på 1,62 % vilket är skillnaden mellan uppmätt pseudosektionen och slutliga resistivetsmodell (Jeppsson & Dahlin 2015).

3.1.7 Ekvivalensproblem och 3D-effekter

I en situation där man har en tre-lagermodell och det mellersta lagret är högkonduktivt, t.ex. rörledningar av metall, så passerar strömmen parallellt med detta lager istället för spridning i marken till underliggande lager (Reynolds 2011). Detta underliggande lager uppträder då högresistivt, det uppstår då ett s.k. *Ekvivalensproblem*, som enligt (Jeppsson & Dahlin 2015) är när olika geometriska former presenteras i en resistivetsmodell med samma geometri.

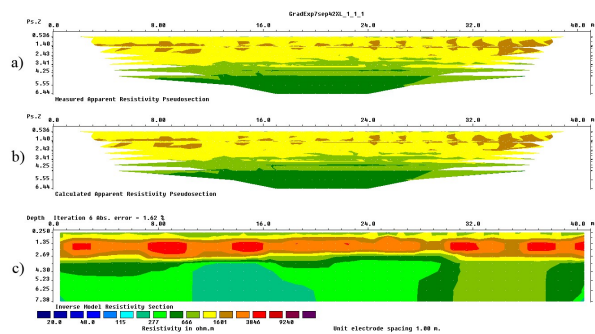


Fig. 10: a) Exempel på en pseudosektion där varje mätpunkt representerar det skenbara värdet, b) Pseudosektion beräknad utifrån en resistivetsmodell, c) Resistivetsmodell med verklig resistivitet och djup på y-axeln.

Då ett strömfält är tredimensionellt (Figur 9) kommer andra geometriska former, såsom ledningar, trädrötter m.fl. att påverka resistiviteten i en profil, även om objektet ej är direkt under mätningen. Det uppstår då en s.k. *3D-effekt* (Jeppsson & Dahlin 2015).

3.2 Markradar

Första utförande med elektromagnetiska signaler för att finna material under markytan utfördes i Tyskland år 1904, men först i början av 1930-talet började pulserad teknik utvecklas, som utgör grunden för dagens markradarinstrument (Daniels 2004).

3.2.1 Grundläggande princip

Kontinuerligt sänds radarpulser ut från en markradar. För varje puls reflekteras en del av energin från pulsen på en lagergräns tillbaka till instrumentet. Resterande del av energin som ej reflekteras fortsätter ned till underliggande lagergräns, vilket i sin tur reflekteras, etc. De reflekterade pulserna registreras av en mottagarantenn som behandlar den energi som återstår av den ursprungliga utsända elektromagnetiska energin. Den registrerade energin från en puls s.k. *Trace* redovisas sedan i ett *radargram* som funktion av tiden där tiden, $t = 0$, är tiden då pulsen skickats ut (Figur 11) (Jeppsson 2015).

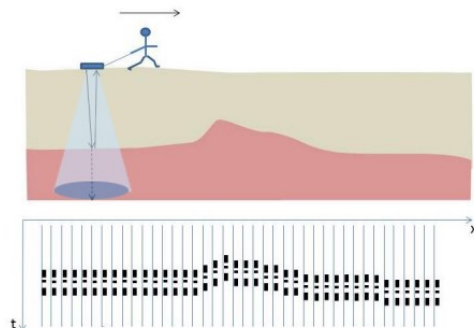


Fig. 11: Överst: Markradar sänder ut radarpulser som sedan reflekteras. Nederst: Flertalet *trace* bygger upp ett radargram. Den konformade blå modellen är representatör för geometriska spridning. Modifierad på figurer från (Jeppsson 2015)

3.2.2 Radarpuls

Den puls som sänds ut från sändarantennen är uppbyggd av ett spektrum frekvenser, där den frekvensen med högst energi kallas för *centrumfrekvens*. Beroende på vilken typ av GPR-antenn man använder brukar den specifika centrumfrekvensen vara mellan 30 MHz – 1 GHz. Spridningen av radarpulsen är konformad (Figur 11) vilket gör att pulsens energi är fördelat på ett större område desto längre ned energin sträcker sig s.k. *Geometrisk spridning* (Jeppsson 2015).

För fastställande av radarpulsens hastighet (v) tas mediets elektriska permeabilitet (μ_r), elektriska permittivitet (ϵ_r) och ljushastigheten ($c = 3 \cdot 10^8$) i anspråk i nedanstående ekvation:

$$v = c \frac{1}{\sqrt{\mu_r \cdot \epsilon_r}}$$

Dock kan man i de flesta geologiska material anta att den elektriska permeabiliteten är 1 (Jeppsson 2015) vilket ger:

$$v = c \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

3.2.3 Radargram

Varje enskild, reflekterad utsänd puls som tas upp av mottagarantennen visar den mottagna pulsens amplitud som funktion av tiden som sedan registreras i ett trace (Jeppsson 2015). Då den utsända pulsen är komplex återges lagergränser i radargrammen med flertalet linjer som måste tolkas (Figur 13c) En *direktvåg* är en radarpuls som går direkt från sändarantennen till mottagarantennen utan att reflektera genom någon yta (Jeppsson 2015).

3.2.4 Diffraction

När radarpulsen påträffar material under mark som t.ex. Stenar, rörledningar eller trädrötter uppstår något som kallas *diffraction*. Vid diffraction reflekteras vågenergin i olika riktningar (Figur 12a) Detta fenomen uppvisas även som anomalier i Guideline Geo's radargram.

För att diffraction skall kunna uppstå och visas i radargrammet måste ett specifikt föremåls längd vara mindre än r_c enligt ekvationen;

$$r_c = \sqrt{\frac{\lambda \cdot h}{2}} = \sqrt{\frac{v \cdot h}{2 \cdot f}}$$

λ är i detta fall våglängden (m), v är hastigheten pulsen sprider sig i mediet (m/s), f är frekvensen (1/s) och h är djupet under ytan. (Jeppsson & Dahlin 2015).

3.2.5 Dämpning och djupnedträngning

Dämpning innebär att en puls minskar i amplitud och blir svagare ju längre ned den sträcker sig. Detta avgör hur pass stor djupnedträngning man kan ha vid en undersökning. De huvudsakliga faktorerna som orsakar dämpningseffekten är reflektion och transmission i lagergränser, spridning från punktföremål, geometrisk spridning och den mest betydande faktorn, *Absorption* (Jeppsson 2015).

Varje tillfälle pulsen från sändarantennen passerar en lagergräns minskar energin i pulsen då en del energi reflekteras till mottagarantennen och resterande energi fortsätter nedåt i marken.

Spridning pga. punktföremål i marken beror på storleken av föremålet i marken förhållande till våglängden som sänds ut. Om föremålet är betydligt mindre än våglängden kommer pulserna spridas slumpmässigt, s.k. *Rayleigh spridning*. Detta fenomen registreras inte i radargrammet utan visar endast att energin minskar gradvis desto längre ned i marken pulsen kommer. Om däremot föremålet och våglängden är i samma storleksordning syns spridningen som ett diffractionsmönster (Figur 12c) (Jeppsson 2015).

Den geometriska spridning som tidigare nämnts innebär att spridning av pulsen ökar med djupet, vilket gör att intensiteten i pulsen minskar (Figur 11).

Absorption är ett materials förmåga att dämpa elektromagnetisk puls då det skapas motriktade fält i form av elektriska och magnetiska. När de magnetiska och elektriska fälten bildas bestäms dämpningen på vald frekvens och vilket material pulsen skall penetrera.

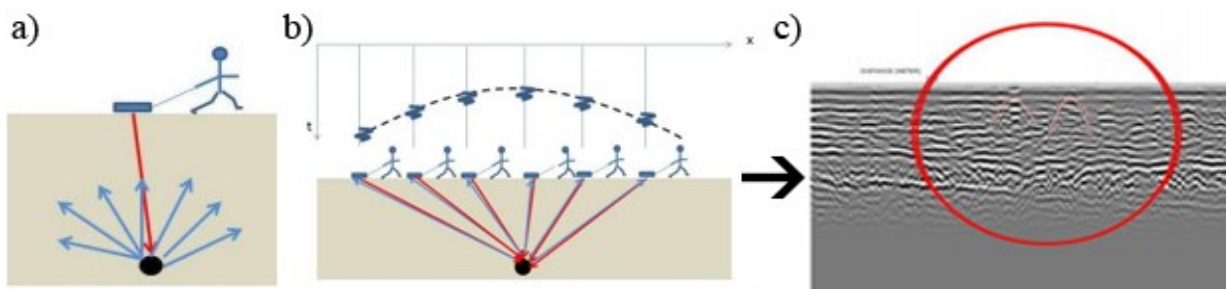


Fig. 12: a) Diffraction från ett objekt b) reflektioner mottages från objektet när man mäter längs med ett objekt c) Hur diffractionen redovisas i ett radargram (markerat i rosa) och hur dämpningen gradvis ökar nedåt i radargrammet. Hämtad från (Jeppsson 2015).

Det är då av stor betydelse vilken frekvens man använder, desto högre frekvens som sänds ut från instrumentet, desto kraftigare blir dämpningen, samt att material med hög resistivitet dämpar pulsen betydligt mindre än ett material med låg resistivitet (Jeppsson 2015).

T.ex. har lera stor dämpning då ledningsförmågan i lera är hög, till skillnad från sand där ledningsförmågan är låg och på så vis dämpas radarvågorna mindre i sand. Det är dessa lågkonduktiva material som bl.a. skapar anomalier på Guideline Geo's radarbilder (Figur 14).

3.2.6 MIRA-Systemet

Till skillnad från vanlig markradardata kan *MIRA*-systemet (Malå Imaging Radar Arra) scanna av stora områden med hög upplösning i 3D vilket ger visualiseringar i planskikt med olika djup. Dessa adderas sedan tillsammans för att skapa detaljerade radargram på strukturer i marken (Figur 13). Även fuktighet i marken pga. läckage från rör eller omgivande material kan detekteras av detta system. Dock när det gäller områden i marken med hög ledningsförmåga, har *MIRA*-systemet, likt andra markradarsystem, sämre penetrationsmöjligheter (Gabler 2016).

Det *MIRA*-system som användes till underlag för resistivitetmätningarna baserades på 16 st kanaler, utrustade med 400 MHz antenner. Detta gav tillsammans en upplösning på 8x8cm med information ned till ett djup av 3 meter i gynnsamma förhållanden. Radarn var monterad på en släpvagn som drogs efter en ATV (*All Terrain Vehicles*) (Figur 14).

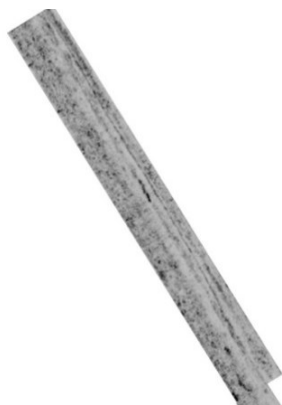
Data behandlades i ett mjukvaruprogram *RSlicer* för att skapa visualiseringar i olika planskikt med olika djup. Dessa adderas sedan tillsammans och man får en bra överblick på strukturer i marken (Gabler 2016).

3.3 Metalledningar

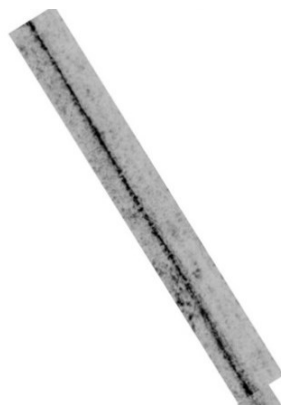
3.3.1 Generellt

Gjutjärn (segjärn och gråjärn) är en legering av framförallt järn och kol med ~3,5-4 viktprocent, och en del mindre mängd övriga ämnen såsom kisel och mangan.

a) 0,51m



b) 1,23m



c) 1,70m

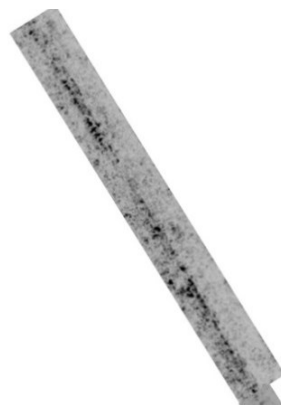


Fig. 13: Radargram illustrerade ovanifrån. Planskikt från varierande djup läggs ovanpå varandra för att skapa överskådliga radargram där ledningen syns tydligt i svart. Anomalier i detta fall kan ses som små svarta fläckar kring ledningen som ligger på ~1,20 meters djup.



Fig. 14: *MIRA*-Systemet som användes för markradarmätningarna © Guideline Geo

Kolet i gråjärnsledningarna ligger i fri form (grafit) och förekommer som fjäll (Ekbäck 2013). Däremot i segjärnsledningarna förekommer kolet i små kulor eftersom utgångsmaterialet har mindre mängder spårelement såsom bl.a. bly och titan. Under tillverkningsprocessen måste även fosfor- och svavelhalterna hållas låga och strax innan gjutning behandlas denna smälta med en magnesium- och kisellegering. Så trots att segjärn och gråjärn har samma grundammansättning så är segjärn mer beständigt mot korrosion, bättre slaghållfasthet och mer plastiskt än gråjärnsledningarna (Ekbäck 2013).

Segjärnsledningarna till skillnad från gråjärnsledningarna har ofta en omgivande epoxybeläggning. Innan 1980 användes endast ett tunt lager av bitumen (50-100µm) och under senare tid kom en metod där man har zinklegering under själva bitumenbeläggningen. De moderna segjärnsledningarna har en zink/aluminiumyta med omgivande epoxybeläggning (Ekbäck 2013).

3.3.2 Korrosion

Järn är ett oorganiskt material som är korrosionsbenäget och där flertalet olika processer orsakar korrosion. Då studien bygger på korrosion i form av s.k. *Luftningsceller*, kommer dessa att behandlas under detta kapitel. Denna typen av korrosion bygger på syrehaltsskillnader i jordmassor.

Korrosion är en elektrokemisk process och är en stor bidragande faktor till minskad livslängd bland metalledningar (Atkins et al. 2013). Det är denna process som skapar yttre korrosion på seg- och gråjärnsledningar. Vatten och syrgas är beståndsdelar som krävs för att korrosion skall ske, då dessa skapar s.k. *anodiska* och *katodiska* partier på ytan av ledningarna (Malm et al. 2011). Anoden är den delen där oxidation (reaktion där en molekyl, atom eller jon avger en eller flera elektroner) äger rum och katoden den del där reduktion (en reaktion där en molekyl, atom eller jon tar upp en eller flera elektroner) sker (Atkins et al. 2013).

Vid anoden går järn i lösning (oxiderar) och det frigörs elektroner, dessa elektroner vandrar sedan till katoden där de reagerar med vatten och syre. Vid katodytan bildas s.k. *hydroxidjoner* som skapats då löst syre i vattnet förbrukats som binder till järnjonerna i ledningen och bildar järnhydroxid. Dessa faller ut och oxideras vidare och bildar så småningom ”rost” (Ekbäck 2013).

Luftningsceller uppstår när syretillgången varierar över en metallednings yta. Luftningsceller uppstår när ledningarna gränsar till en grundvattennivå eller att det är stor syreskillnad mellan ledningens omgivande material. Förr användes ofta utfyllnadsmassor som kringfyllning intill ledningarna som kunde bestå av lera, silt, sand och grus vilka tillsammans kunde skapa det destruktiva tillstånd där grus omger små linser av lera, (Figur 15) (Malm et al. 2011).

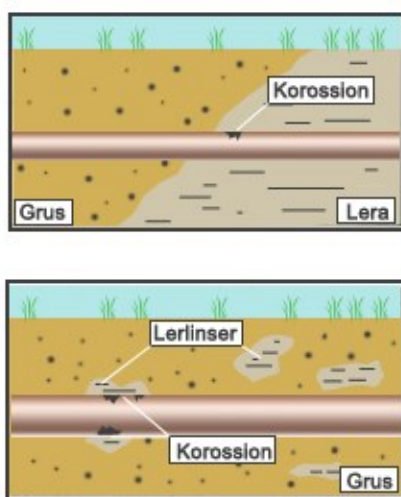


Fig. 15: Två olika sorters korrosionssituationer på ledningar till följd av luftningsceller. Modifierad på figur från (Malm et al. 2011)

När det blivit en begränsad lokal skada av ledningen av t.ex. epoxybläggningen på en ledning samtidigt som denna skada omges av syrefattigt material, såsom lera och annan del av ledningen omgivs av exempelvis grus (Figur 15) med stor syretillgång agerar skadan anod, och resterande syrerika omgivningen av ledningen verkar som katod. Denna korrosion sker snabbt och måste åtgärdas (Malm et al. 2011).

4 Metodologi

Profilernas placering är baserade på data från Guideline Geo's markradardata då dessa visade specifika områden med anomalier som kunde vara riskzoner för korrosion.

Mätningarna vid Gånarpsvägen och Åsbogatan utfördes med samma utrustning, protokollfil, och elektroduppställning. Dock användes plattelektroder vid Åsbogatan och elektroder man slog ned i marken vid Gånarpsvägen. Instrumentet som användes var ABEM Terrameter LS (Figur 16) som strömförsörjdes genom ett 12V bilbatteri. Instrumentet kopplades till två multielektrodkablar som sedan kopplas samman med elektroderna. Flerkanalsmätning med gradientuppställning genomfördes

Den protokollfil som användes var "GradExp7sep42XL" och är programmerad av Torleif Dahlin, Teknisk geologi på LTH. Innmätning av alla profilers start- och slutelektrod genomfördes med hjälp av GPS i höjdsystemet RH 2000 och geodetiska systemet SWEREF 99 TM. Topcon GR3 med tillhörande handenhet användes för innmätningen. Se bilaga 4 för koordinater.

Nedanstående kapitel, "teoretisk undersökning", "Förutsättningar" och "profiler" är platsspecifika och således beskrivna under respektive lokal. "Fältarbete" samt "Dataprocessering" är dock gemensamma för båda lokalerna.



Fig. 16: Instrumentet ABEM Terrameter LS som användes vid resistivetsmätningarna. Tillsammans med två elektroder för nedslagning i mark. Foto: Jonas Schönström

4.1 Gånarpsvägen

Längs med Gånarpsvägen som sträcker sig 7 km från Munka Ljungby till Hjärnarp strax nordost om Ängelholm, vid Tåstarp kyrkas busshållplats ligger lokal 1 (Figur 18b). Mätområdet var beläget på en åkermark med begränsning åt norr, väst och söder av åkermark samt Gånarpsvägen österut.

4.1.1 Teoretisk undersökning

Innan en resistivitetsmätning genomfördes tolkades radargrammen från markradarmätningarna som skulle ligga till grund för utplacering av våra linjer till resistivitetsmätningen. Ledningen som behandlas är nedgrävd 1972 och är en segjärnsledning Helena Mårtensson, muntligt (2016-05-04).

Hjässan på röret ligger på ett djup av ~1 meter (Figur 17a). De svarta partierna väster om ledningen kan vara områden med grövre kornstorlekar som tillsammans med omgivande lera kan orsaka korrosion. Mer ingående undersökningar av anomalier med resistivitetsmätning är av intresse pga. anomaliernas närhet till ledningen.

4.1.2 Förutsättningar

Området kring Gånarpsvägen där mätningen skulle genomföras var under mätningen icke vårplogad åkermark med fuktig yta då det regnat dagen innan. Under mätningen var det sol och ca 10 grader C. Ingen frost eller tjäle i marken.

4.1.3 Profiler

Från tolkning av radargram från Guideline Geos undersökningar bestämdes att längsgående gradient-uppställning var att föredra. Det utfördes även två vinkelräta uppställningar, profil viS och profil viN, som komplement till de fem parallellt, förhållande till ledningarna redan planerade uppställningarna (Figur 18).

Segjärnsledningen användes som riktmärke till placeringen av den första profilen. En punkt över ledningens hjässa användes som startpunkt och därefter märktes linjen ut åt nordöst. Ytterligare fyra parallella profiler märktes ut, två på respektive sida. Fem stycken profiler med 42st elektroder dvs. 41 meter långa mätprofiler med en meters elektrodavstånd slogs ned. Avståndet mellan respektive profil var en meter.

Två stycken multielektrodkablar rullades ut på jämte sida om en elektroduppställning där varannan elektrod kopplades till en och samma kabel. Den femte profilen hade en elevation, relativt sätt till de andra profilerna på ~0,4 meter, då denna profil stäckte sig en bit upp på slänten mot vägen, men detta påverkar resultatet minimalt och togs ej med i beräkningen.

Profil viS, placerad 14 meter in från de övriga profilernas startpunkt respektive 28 meter för profil viN (Figur 18). Båda vinkelräta profilerna hade startpunkt närmast vägen med riktning från Nordöst till sydväst. Dessa uppställningar hade ett elektrodavstånd på 0,5 m, då längden på profilen ej behövde vara mer än 20 m, och en högre upplösning kunde därför åstadkommas.

4.2 Åsbogatan

Åsbogatan är lokaliserad i de centrala delarna av Ängelholm. Undersökningsområdet (Figur 19a och 19b), var på en krossgrusbelagd yta längs en trottoar som tidigare haft ett överliggande asfaltslager, vilket var bortschaktat (Figur 19).

Åsbogatan väst om profilerna var trafikerad av majoriteten personbilar men enstaka yrkesfordon passerade dock mätområdet. Österut begränsades området det av en gräsbelagd yta med två björkar å 300 mm i diameter.

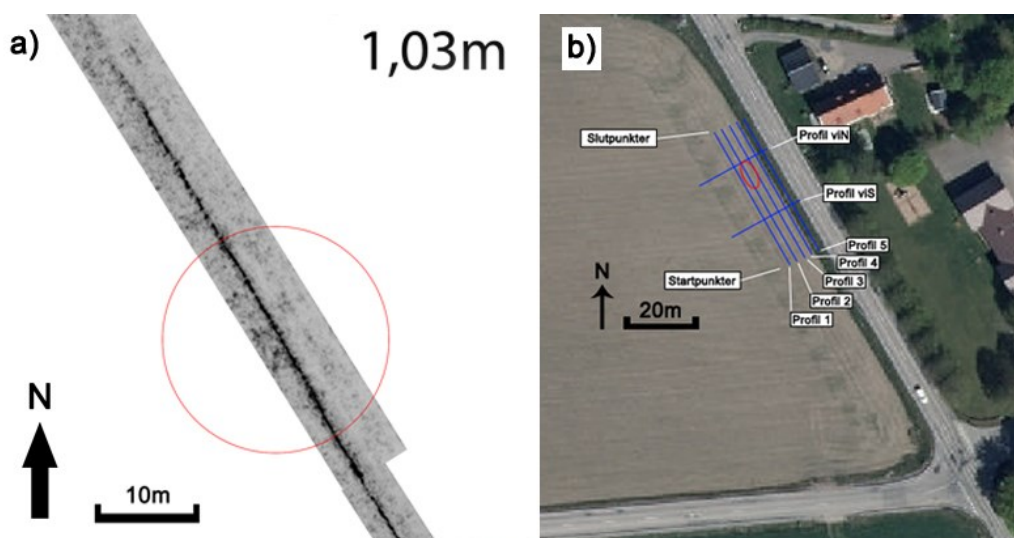


Fig. 17: a) Radargram som underlag för resistivitetsmätningens profiler, där anomalier väster om ledningen påträffas på 1,03 meters djup b) Utplacering av profiler för resistivitetsmätning i förhållande till Gånarpsvägen. © Lantmäteriet, Dnr: I2014/00579.

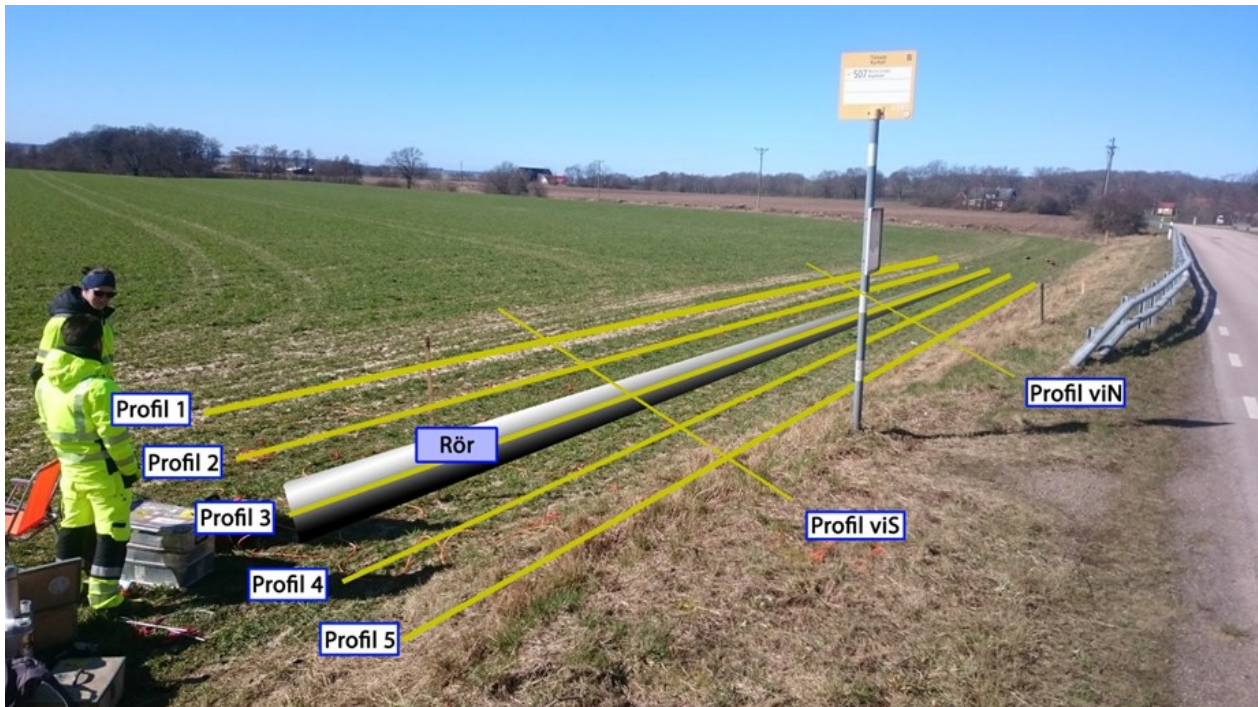


Fig. 18: Undersökningsprofilernas placering i förhållande till rörets lokalisering enligt GPS-koordinater från Ängelholms kommun vid Gånarpsvägen. Foto: Jonas Schönström

4.2.1 Teoretisk undersökning

Markradardata över Åsbogatan tolkades och anomalier noterades som ligger till grund för elektroduppställningarna. Dock fanns ingen möjlighet att mäta vid anomalin mitt på vägen utan en uppställning så nära vägkanten anlades, dels för att även täcka in den mer avlånga anomalin (Figur 19a)

Ledningen som skall undersökas är en gråjärnsledning Helena Mårtensson (2016-05-04). Då det är en gråjärnsledning innebär det att den troligtvis blivit anlagd innan 1970-talet (Malm et al. 2011).

4.2.2 Förutsättningar

Kring Åsbogatan under mätningen var det regn fram till lunch. Vår första mätning startade 11:15. Marken bestod av krossmaterial då ovanliggande asfaltyta hade rivits bort.

Vatten låg i små ansamlingar ovanpå materialet, vilket indikerar på att det är tätt och hårt packat, men försvann vid lunchtid. Vid 13:00 var det strålande sol, 10 C° och ingen frost eller tjäle i marken

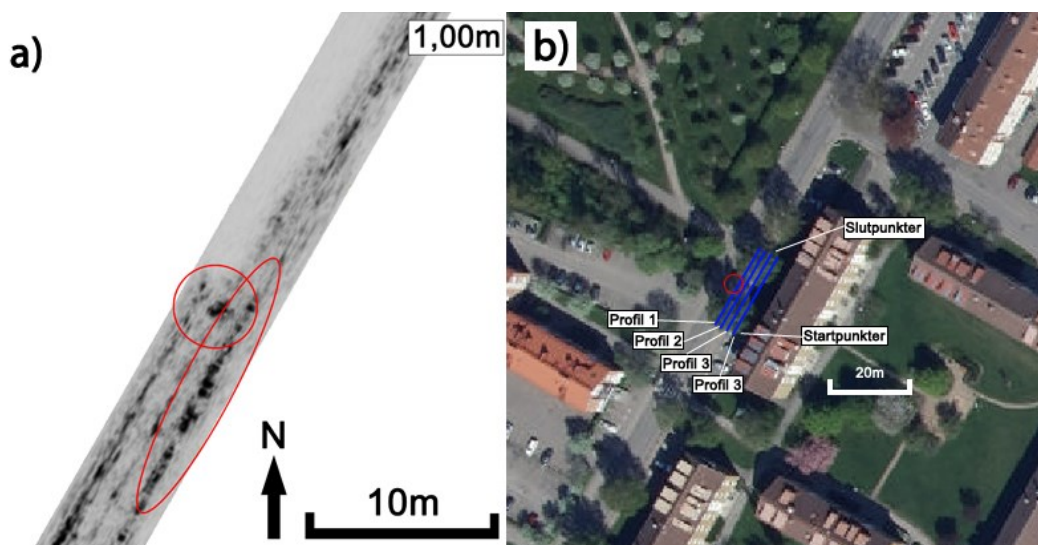


Fig.19: a) Radargram som ligger till grund för resistivitetsmätningens profiler där anomalier påträffas b) Utläggningen av profiler i förhållande till Åsbogatan. © Lantmäteriet, Dnr: I2014/00579.

4.2.3 Profiler

Enligt radargramen låg ledningen precis intill granitgatkantstenen, mellan trottoaren och vägen vid startpunkterna för våra profiler, men vred sig längre in mot trottoaren vid profilernas slutelektrod (Figur 20).

På grund av ledningens placering i förhållande till vägen så kunde ej vinkelräta profiler genomföras, även om tid funnits till detta, då djupnedträngningen till ledningens läge inte hade kunnat uppnås. Detta låg även till grund för att endast fyra profiler mättes in istället för planerade fem profiler då markförhållandena längre från ledningen ej var av intresse.

Avstånden mellan uppställningarna var en meter och elektrodavstånden var en halvmeter. En punkt användes som startpunkt för första linjen, så nära vägen som möjligt och därefter markerades respektive fyra parallella profiler ut med markeringsspray. Plattelektroder med applicerad kontaktgel lades ut och en multiledarkabel på respektive sida om profilerna lades ut och varannan elektrod kopplades in till samma kabel. Profil 1-3 lades ut på krossmaterialet och fjärde linjen placerades på gräsbelagd yta (Figur 20).

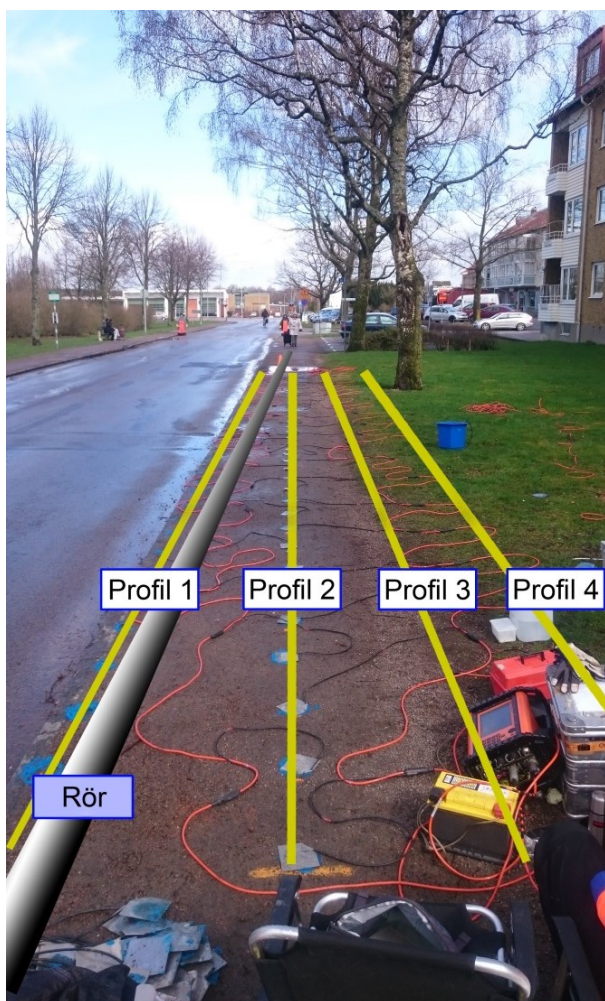


Fig. 20: Rörets placering enligt GPS-kordinater från Ängelholms kommun tillsammans med undersökningsprofilernas läge förhållande till vägen.

Foto: Jonas Schönström

4.3 Fältarbete för båda lokalerna

Elektrodkontakterna testades med att sätta upp maxvärde på hur dålig kontakten mellan en elektrod och marken fick vara. Den sattes till $1k\Omega$, var elektroder och marken i god kontakt startades mätningen, annars fick man resultat på resistansen i varje enskild elektrod. De som ansågs ha dålig kontakt, åtgärdades med att vattna marken kring elektroden, slogs längre ned i marken eller applicering av mer kontaktgel gällande plattelektroden. Därefter höjdes maxgränsen till $5k\Omega$ och mätningen startades.

Mätningen vid Gånarpsvägen skedde från sydöst mot nordväst för profil 1,2,3,4 och 5 och från nordöst mot sydväst för profil viS och viN. Vid Åsbogatan skedde mätningen av profilerna från sydväst mot nordöst.

4.4 Dataprocessering av båda lokalerna

När mätningarna var genomförda exporterades data från mätningarna till mjukvaruprogrammet RES2DINV. Den skenbara resistiviteten bearbetades och en resistivetsmodell togs fram. När färdig felmarginal var uppnådd slutfördes iterationerna.

För att underlätta tolkning mellan de inverterade profilerna, skapades en resistivitetsskala med ett specifikt intervall av färger, för var lokal, så att respektive färg representerar en specifik resistivitet i samtliga resistivetsmodeller. Resistivetsmodellerna skrevs ut för vidare tolkning och kunde sedan jämföras med markradardata över samma område. Inversionsparametrar för RES2DINV, se bilaga 5.

5 Resultat

Endast resultat kommer att redovisas under detta kapitel. Tolkningar kommer under ”Diskussion och tolkning”. Resultaten bygger endast på resistivetsmätningen och markradardata kommer ej redovisas.

Resistivetsmodellerna kommer att redovisas och dess djup samt resistivetsintervall är logaritmiska. Sektionerna har ett färgintervall (inom samma lokal) som representerar en specifik resistivitet i sektionerna för lättare översikt av resultatet.

Höjdnivåerna är i meter och har som utgångspunkt markytan.

Extended model's redovisas i de inverterade sektionerna, att beräkningsvolymen är interpolerad ut mot kanterna på respektive sektion (Figur 10a & 10b) där extended model ej är interpolerad medan (Figur 10c) har interpolation ägt rum och bildat en mer överskådlig modell.

Mätningarnas längd för tolkningsbar data är 40 meter för Gånarpsvägen respektive 20 meter för Åsbogatan.

5.1 Gånarpsvägen

Generellt sett gällande resistivitetsmodellerna över Gånarpsvägen (Figur 22) så har det geologiska materialet relativt hög resistivitet. Då felmarginalen ligger under 3 % på samtliga profiler och antalet iterationer ligger på 7, utom för profil 2 då denna beräknades genom 6 iterationer. Detta anses som bra resultat (Jeppsson & Dahlin 2015).

Två profiler, Profil 3 och 5, hade negativ resistivitet mellan ett par elektroder, de togs bort under mätningen. Dessa påverkade resultatet minimalt och kunde således försummas. Men utöver detta utfördes inga justeringar, eller borttaganden av datapunkter då datan var god direkt efter mätning.

För placering av profilerna (Figur 18) och härledning av resultaten av resistiviteter (Figur 21)

I profil 3 på ~0,9 meters djup redovisas ett område på ~2000-3000 Ωm som sträcker sig horisontellt genom hela profilen, samt vertikalt ned till ~2,2 meter. Profilerna väster om profil 3, Profil 1 och 2 påvisar likaså ett distinkt horisontellt högresistivt lager på ~0,9 meters djup ned till ~2,9 meter. Detta horisontella lager ökar i resistivitet desto längre sydväst in mot åkern man har uppställningarna, och har som mest resistivitet i profil 1. Detta horisontella lager kan även noteras i profil 4 och 5, dock med lägre resistivitet.

Sydväst om segjärnsledningen, vid profil 1 och 2 från markytan ned till ~2,9 meter påvisas vid 26-30 meter in i profilen ett område med lägre resistivitet ~1900 Ωm vid profil 1 och ~1200 Ωm vid profil 2 och vid profil 1, 2, 3 samt 4 vid ~31-36 meter in i profilerna, noteras mindre områden med hög resistivitet. Vid profil 4 och 5 ser man även här ett sammanhängande lågresistivt område 34 meter in i profilen på ~1200 Ωm och vid 13-14 meter fortlöper ett område med lägre resistivitet ~800 - ~1000 Ωm från profil 4 till 5.

Nedanför det högresistiva lager i varje profil ~0,4 - 2,9 meters djup, påvisas ett underliggande lager på ~2,9 - 7,38 meter som ökar i resistivitet desto längre sydväst in mot åkern profilerna är placerade.

De båda vertikala profilerna, Profil viS och profil viN (Figur 22') visar relativt låg resistivitet kring ledningen, som befinner sig vid ~5,0 - 5,5 meter in i profilen på ~1800 - 2000 Ωm . Profil viS och viN påvisar ett lågresistivt område från markytan ned till ~0,4 meter på 100 - 400 Ωm . Vid 0,4-2,6 meters djup noteras en skarp kontrast med ett högresistivt lager 2000-4000 Ωm för att under detta lager övergå till 800-1800 Ωm .

Elektrodkontakten i samtliga profiler låg mellan 1-3 k Ω och för underlättande visuell tolkning, skapades 3D-modeller av resistivitetsmodellerna av Matteo Rossi, LTH (bilaga 6).

5.2 Åsbogatan

Till skillnad från resistivitetsvärdena från Gånarpsvägen, var Åsbogatans resistivitetsvärde generellt lägre, (Figur 22).

7 iterationer och med RMS-värden kring 1-3% på samtliga profiler utom profil 1 anses enligt (Jeppsson & Dahlin 2015) vara bra pålitliga resultat. Dock med RMS-värde på 60 % vid profil 1 måste denna profils data anses som opålitlig. Två profiler, 1 och 2, hade två elektrodpar med negativ resistivitet. Dessa togs bort under mätningen. De negativa elektrodparen påverkade resultatet minimalt och kunde således försummas. Inga justeringar, eller borttaganden av datapunkter utfördes. Vid profil 1 eliminerades sämre datavärden för att möjligt ge lägre RMS-värde, dock utan framgång så originaldata användes.

För placering av profiler (Figur 20). För härledning av resistiviteter (Figur 22).

Profil 1 visar högresistivt lager ~300-400 Ωm vid ~0,5 meters djup för att vid 9 meter in i profilen övergå till ett mäktigare och mer resistivt lager ~600-800 Ωm på ~1,3 meters djup.

~8 meter in i profil 1 börjar varierande inslag av lågresistiva områden vid varje mätpunkt mellan elektroderna och vid ~9 meter in på både profil 1 och 2 påvisas ett mäktigare högresistivt lager med en mäktighet på ~1,5 meter.

Vid profil 4 noteras två områden vid 0,5 meter respektive 14,5 meter på ~0,3-0,6 meters djup med högre resistivitet.

Elektrodkontakten i samtliga profiler låg mellan 1-3 k Ω vilket kan anses bra kontakt. 3D-modeller över Åsbogatan (bilaga 6).

Gånarpsvägen

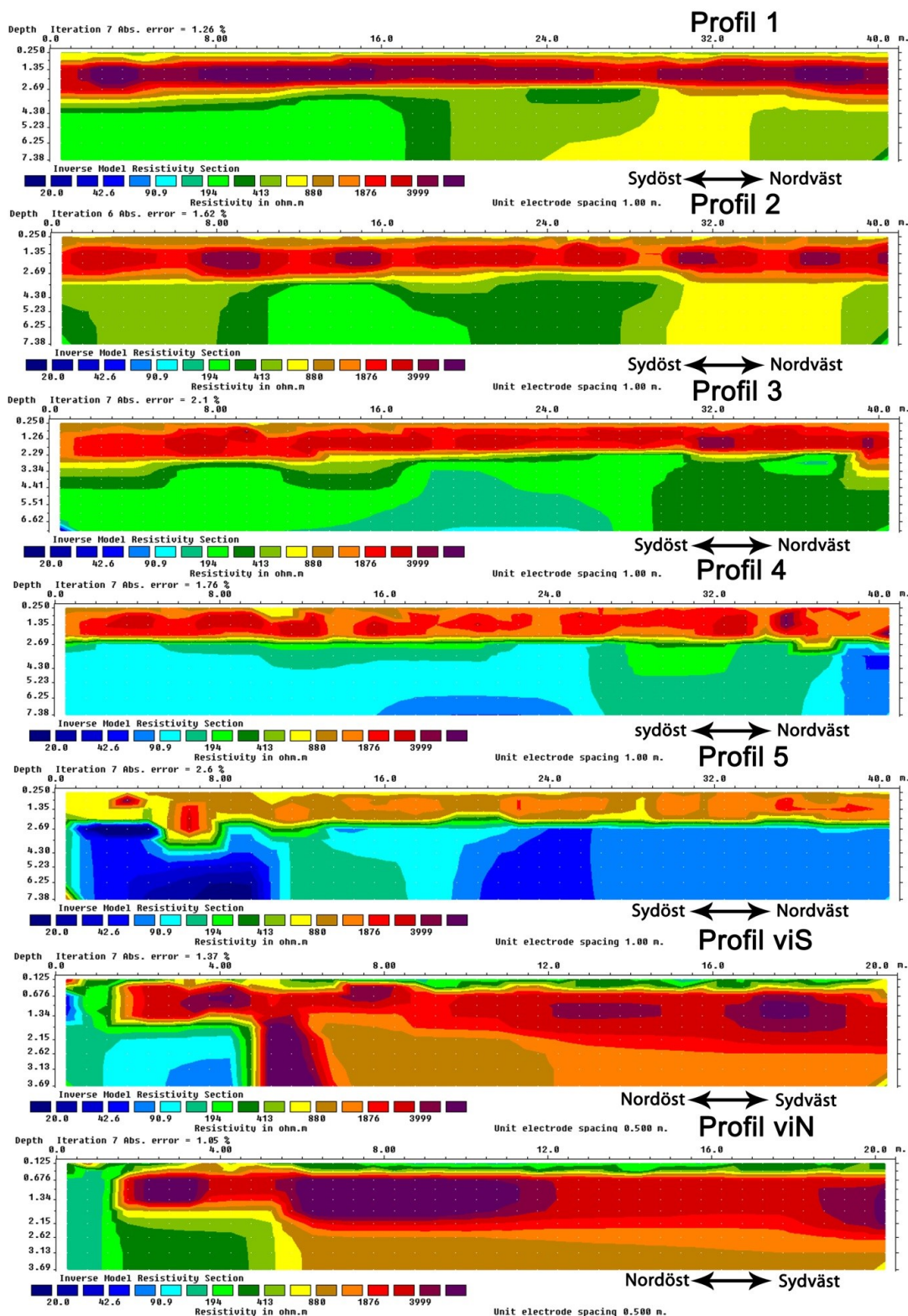


Fig. 21: Resistivitetmodeller för Gånarpsvägen. I profil 3 på ~0,9 meters djup redovisas ett område på ~2000-3000 Ωm . Profil 1 och 2 från markytan ned till ~2,9 meter vid 26-30 ett område med lägre resistivitet ~1900 Ωm vid profil 1 och ~1200 Ωm vid profil 2. Profil 1, 2, 3 samt 4 vid ~31-36 meter in i profilerna, noteras mindre områden med hög resistivitet. Profil viS och profil viN visar relativt låg resistivitet kring ledningen, som befinner sig vid ~5,0 - 5,5 meter in i profilen på ~1800 - 2000 Ωm .

Åsbogatan

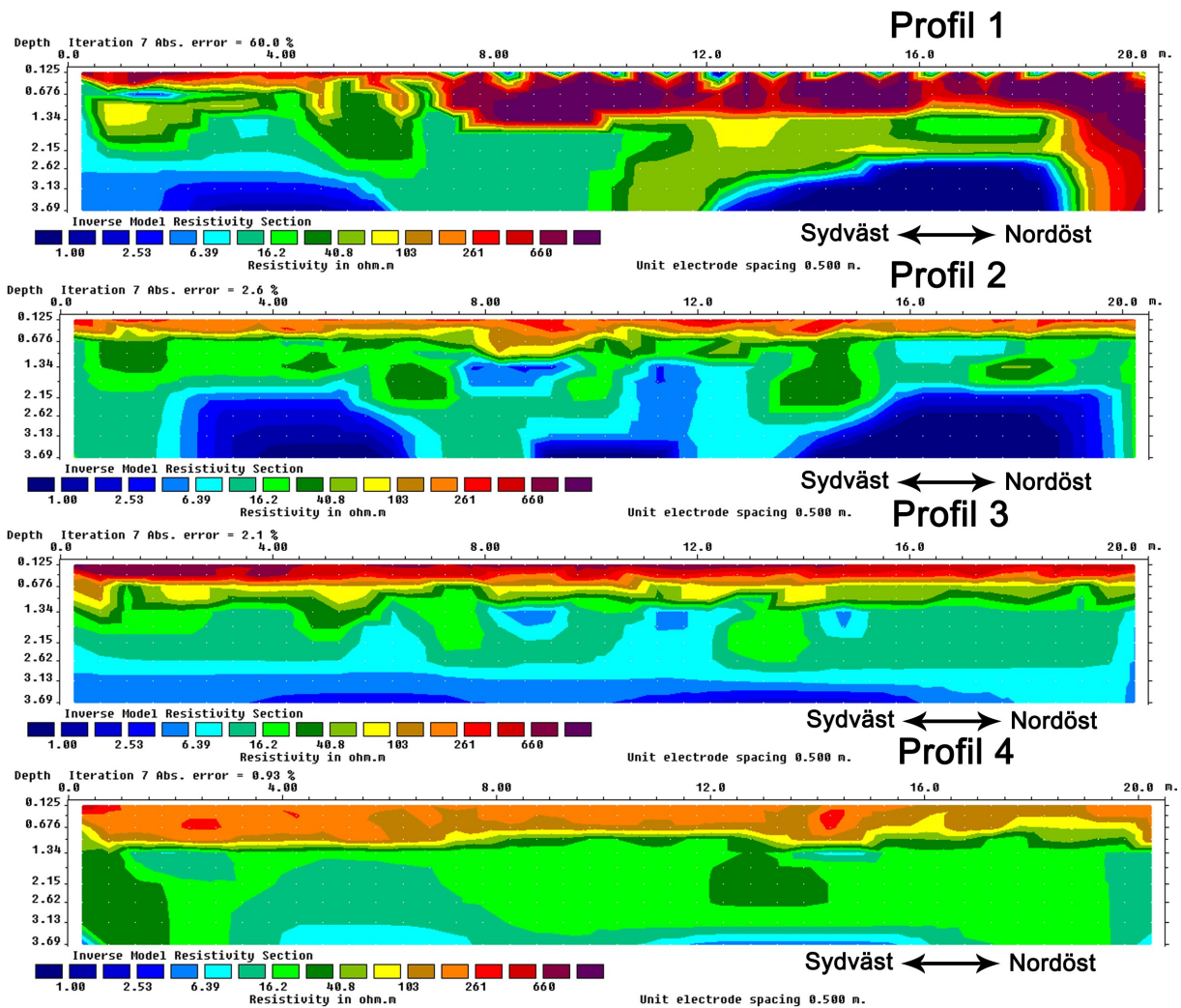


Fig. 22: Inverterade profiler över Åsbogatan. Med RMS-värde på 60 % vid profil 1 måste denna profils data anses som opålitlig. ~8 meter in i profil 1 börjar varierande inslag av lågresistiva områden. Vid ~9 meter in på profil 1 och 2 påvisas ett mäktigare högresistivt lager med en tjocklek på ~1,5 meter. Vid profil 4 noteras två områden vid 0,5 meter respektive 14,5 meter på ~0,3-0,6 meters djup med högre resistivitet.

6 Diskussion och tolkning

6.1 Gånarpsvägen

Efter Ängelholm kommuns GPS-utsättning av segjärnsledningen på undersökningsområdet, placerades Profil 3 ovanför ledningens bestämda läge. Detta konstaterades vara korrekt då GPS-inmätning av profil 3 korrelerades med markradardatans läge på ledningen (Figur 23).

Då profil 3 påvisade ett högresistivt lager vid ~0,9 – 2,2 meter konstaterades det att kommunen kan ha givit felaktig information gällande ledningens egenskaper. Då det antogs vara en segjärnsledning utan epoxybeläggning, dvs. högkonduktiv, visade resistivitetsmodellerna att det kan vara en lågkonduktiv segjärnsledning med epoxybeläggning. Det kan antas att

detta högresistiva lager beror på ledningen samt fyllningsmaterialet kring ledningen, då djupet på ledningens hjässa stämmer överens med kommunens information gällande djupet på ledningen samt markradardata från Guideline Geo på ~1 meter, se bilaga 7.

Dock finns möjlighet att tolka ledningen som högkonduktiv. Enligt (Matteo Rossi muntligt 2016-05-18) påvisar Profil 1 och 2 på ~1 – 2,9 meters djup, högre resistivitet än vid profil 3 som är placerad direkt över ledningen. Detta konstaterar att medelresistiviteten vid profil 3 blir mindre då ledningen påverkar sänkningen i denna. Från profil 2 mot profil 1 och vidare in mot åkern, påvisas vid samma djup högre resistivitet. Troligtvis pga. att den högkonduktiva ledningen ej är i närheten och sänker medianresistiviteten.

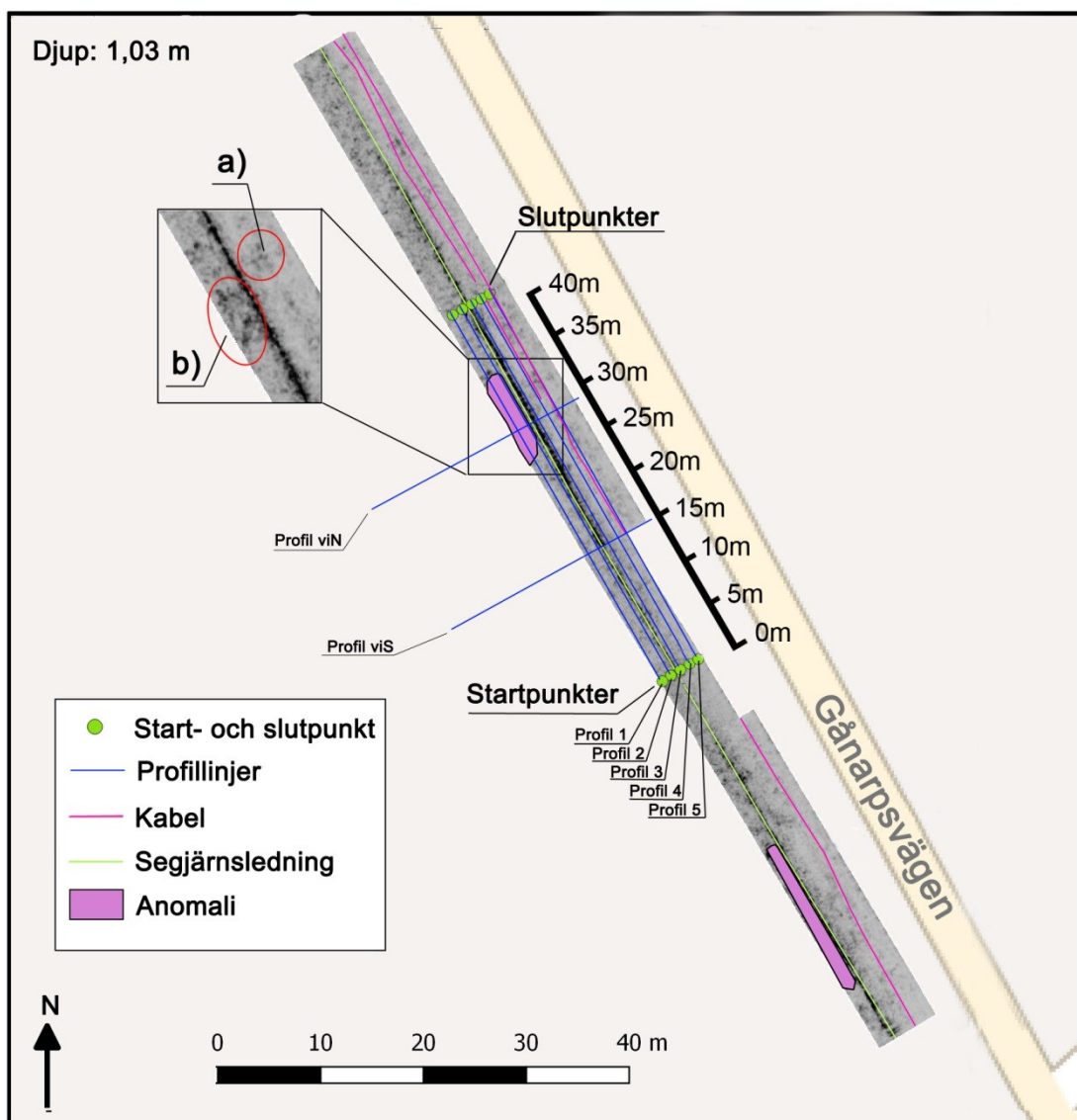


Fig. 23: Profillinjer för resistivitetsmätning i korrelation med markradardata via GPS-inmätningar. Kabel samt segjärnsledningarna är placerade utifrån Ängelholm kommuns GPS-koordinater. Profil viN och viS är avbildade i Figuren genom mått ute på plats i relation till startpunkterna a) En mindre anomali som man kan korelera till lägre resistivitet i profil 4, Figur 21 b) Större anomalierområde som kan koreleras med ett lägre resistivitetsområde i både profil 1 och 2.

Vid profil 1 och 2, är resistiviteten då högre pga. naturligt geologiskt högresistivt material (Figur 21). Anledningen att man inte ser denna effekt på profil 4 och 5 kan bero på att området innehåller en stor mängd vägsalt ju närmre Gånarpsvägen man har placerat sina profiler.

Denna högresistiva ökning mot profil 1 och 2 kan även bero på att 3D-effekter längs med hela segjärnsledningen existerar. Pga. denna effekt har generellt sett det material vid ~0,8-2,9 meters djup hög resistivitet i resistivitetmodellerna jämfört med de vedertagande standardvärdena för de olika antagna materialen i tabell 1. Detta gör att närliggande profiler parallellt med ledningen påverkas av den lågkonduktiva segjärnsledningen med epoxybeläggning. Att detta horisontella lager i profil 1 i jämförelse med profil 2 har högre resistivitet beror inte på ledningen utan resistiviteten i omgivande geologiska material. Det kan noteras en liknande situation mellan profil 4 och 5 där ledningens påverkan av det horisontella lagret avtar i resistivitet desto längre från ledningen mätningen äger rum.

Generellt genom hela profil 1 och 2 (Figur 21) påvisas högre resistivitet i förhållande till Profil 4 och 5 nordöst om ledningen. Detta kan bero på att marken sydväst om ledningen är mer uppluckrad pga. Intensivare plogning då profil 1 och 2 är lokaliserade längre in mot åkern. Då uppluckrad mark innehåller mer luft påvisas därför en högre resistivitet än kompakt material.

Den trafikerade vägen kan eventuellt vägsalt vara en bidragande faktor till de lägre resistiviteterna i profil 4 och 5, då natrium- och kloridtillsatser från saltet skapar lägre resistivitet (Jeppsson & Dahlin 2015). Detta fenomen noteras även i profil viS och viN.

De lågresistiva områden man noterar 26-30 meter in i profil 1 och 2 samt ~34 meter in i profil 4 och 5 från markytan ned till ~2,9 meter tolkas som högkonduktiva material och kan vara potentiellt lera, då området enligt (Esko 1977) innehåller stora delar lerig sand. Denna lera befinner sig i närheten av de högresistiva områdena i profil 1,2,3 och 4 vid ~31-36 meter som kan korreleras till anomalier från markradardata (Figur 23). Dessa högresistiva områdena kan vara syrerika och tillsammans med den lågresistiva leran kan detta vara ett område med potentiell risk för korrosion.

Undersökningsområdets jordlagerföljd är antingen lerig finsand eller glacifluviala avlagringar som är karterade med handborr och spade (Mohrén 1976). Då handborringen endast tar hänsyn till övre delen av jordartslagret kan underliggande lager bestå av de glacifluviala avlagringar som jordartsbeskrivningen påpekade sträckte sig västerut under den leriga finsanden. Detta förklarar profil viS och profil viN's ökning av resistivitet åt sydväst på djup >2,2 meter. Denna företeelse noteras även i samtliga profiler i sydöst – nordvästlig riktning då materialets resistivitet på ~2,9 – 7,38 meters djup ökar ju längre sydväst profilerna sträcker sig.

Enligt Guideline Geos markradarbilder skall det finnas kablar mellan profil 4 och 5 vid 15 meter in i profilerna (Figur 23). Dessa noteras ej i resistivitetmätningarna.

SGUs Jordartskarta påvisar och Brunn-ID 32300021, visar på ~50 m ned till berg, vilket gör att berget ej har någon påverkan på resultat och diskussion av mätningarna.

6.1.1 Felkällor

Datan generellt sett har bra kvalitet. Resultaten kan anses som trovärdiga då elektrodkontakten har varit bra på samtliga mätpunkter, 6-7 iterationer på samtliga inverterade profiler, och att RMS-värdet är under 3 %.

Bilvägen var delvis trafikerad under mätningen, ca fyra bilar per minut. Möjliga tillsatser i marken i form av gödning eller andra jordförbättringsmedel kan finnas.

6.2 Åsbogatan

Resistiviteten är generellt sett lägre i samtliga profiler på Åsbogatan i förhållande till Gånarpsvägen. Troligtvis är så fallet eftersom mätningarna omfattas av en högkonduktiv ledning.

Det högresistiva lagret i profil 1 på ~0,5 meters djup som ökar till ~1,6 meter vid ~9 meter in i profilen åt nordöst kan vara övre skiktet av grus som noterades vattenmättat vid ytan (Figur 20). Vid ~9 meter in i profil 1 ökar samtidigt mäktigheten av detta högresistiva lager till ~1,8 meter för att sedan minska till ~1,5 meter norrut (Figur 22). Detta är troligtvis pga. ett noterat gjutjärnslock på 40 x 60 cm som troligtvis täcker ett hålrum, därav den höga resistiviteten i profil 1 under locket.

Detta lock hade samma läge som anomalin vid vägen i markradardatan (Figur 23). På gatan i höjd med locket, vinkelrätt ut från profilerna noterades det en ny toppbeläggning av asfalt, en meter bred och sträckte sig över gatan. Detta tolkas som en uppschaktad ledningsgrav där de utfört arbete i form av nedläggning av ny ledning eller reparation av befintliga ledningar. Anomalin mitt i gatan är troligtvis antropogen och ej något naturligt inslag av naturligt förekommande material.

~8 meter in i profil 1 ser man varierande inslag av lågresistiva områden vid varje mätpunkt. Detta kan vara pga. användningen av plattelektroder istället för vanliga elektroder man slår ned i marken. Morgonens regn hade orsakat en del vattenansamlingar som troligtvis påverkade första mätningen under dagen, profil 1. Därav det höga RMS-värdet på profilen.

I profil 4 noterades två distinkta områden på ~1,3 meters djup med högre resistivitet, dessa stämmer överens med två stycken björkar ~0,5 meter respektive ~14,5 meter in i profilen åt nordost. Dessa träd mättes in med GPS och redovisas i Figur 24

På trottoarer skall en överbyggnad av 300 mm krossmaterial (med fraktioner på 0-40mm) genomföras (Svensk Byggtjänst 2014). Då detta är en gråjärnsledning som slutades användas på mitten av 1970-talet (Malm et al. 2011) medför att man inte kan med säkerhet fastställa tjockleken på krossmaterialet, dock i profil 3 (Figur 22) har man ett högresistivt lager som har distinkt övergång till ett mer lågresistivt lager vid ~0,5 meters djup. Med tanke på resistiviteten med hänvisning till tabell 1, kan denna undre lagergräns vara grus som sedan övergår till lera.

6.2.1 Felkällor

Elektrodkontakten var god, sju iterationer på de inverterade sektionerna med RMS-värde på under 3 % tyder även här liksom på Gånarpsvägen, bra, trovärdig data. Dock måste man ta hänsyn till att Profil 1 ligger på 60 % RMS-värde, vilket gör att denna profil anses som ej tillförlitlig.

Flertalet utomstående faktorer påverkade resultatet negativt;

- Enligt Ängelholm kommun fanns det flertalet kablar inom området vilket kan ha påverkat resultatet. Alla kablar var inte utmarkerade och det kunde enligt kommunen finnas fler okända kablar i marken.
- Då det hade regnat under morgonen och in på förmiddagen hade mindre vattenansamlingar på grustäckets skapats, vilket även vattenmättade gruslagret.
- Profil 1 var placerad intill gatukantsten av granit, som gränsade direkt till en asfalterad väg. Vägen var trafikerad med ca 5 bilar per minut, även tyngre yrkestrafik-fordon passerade. Då trottoaren hade högre elevation än gatan, mätningen precis intill kanten och att strömmen rör sig tredimensionellt kan denna nått förbi granitkantstenen och ut i luften innan den kunde penetrera marken under gatan.

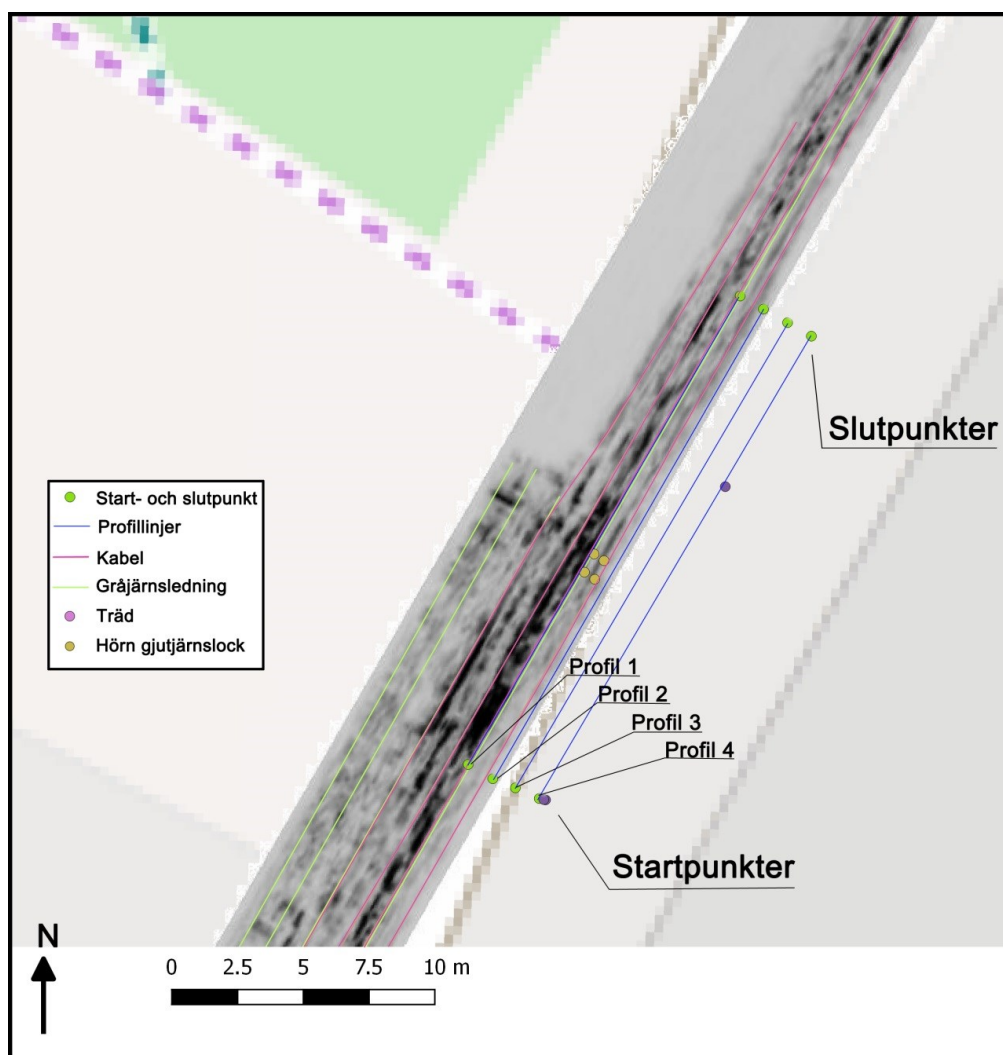


Fig. 24: Profil 1 visar gränsen mellan trottoar och gata. Metalledningen var lokaliserad vid profil 1 på resistivitetsmätningen och anomalierna från radargramet är lokaliserade väster om resistivitetsprofilerna. Brunnslock var med och påverkade resultatet och flertalet okända ledningar kunde vara med och ge utslag på resistivitetsmätningarna.

7 Slutsatser

Evaluering av de båda lokalerna genomfördes och det är tydligt att Åsbogatans resultat är mindre tillförlitliga än Gånarpsvägen. Vid tolkandet visade det sig att två kompletterande vinkelräta profiler var att föredra, då man kan konstatera resistivitetsskillnader utan påverkande 3D-effekt, vilket de ledningsparallella profilerna erhöll.

IP-mätning hade varit av intresse som kompletterande metod till resistivitetmätningen. Då resistivitetmätning med den protokollfil som användes vid mätningarna, kunde framställning av IP-data, utan någon extra mätning ute i fält bearbetas fram. Dock var tiden begränsad och eventuell IP-data kunde således ej behandlas.

Då korrosionsangrepp är mindre på segjärnsledningar med epoxybeläggning kan resistivitetmätning vara en intressant metod för att konstatera framtida risk för korrosionsangrepp på en segjärnsledning, då kunskap om möjlig beläggning är okänd. Uppschaktning av ledningen, för att konstatera eventuell epoxybeläggning är av intresse då resultatet av ledningens egenskaper kan korreleras med uppschaktning.

Är resistivitetmätning en effektiv kompletterande metod till markradarmätning för att finna potentiella lera i närheten av anomalier från radargram som kan skapa potentiell korrosion på metalledningar?

Gånarpsvägen hade bra resultat, och det gick att korrelera områden med högre resistivitet i resistivitetsmodellerna med anomalier i Guideline Geo's radargram. Markradarn ger en vag indikation om lera, då pulsen dämpas kraftigt. Dock kunde man genom resistivitetmätningen konstatera lågresistiva områden som kan vara potentiella lera kring anomalier. Detta skapar ett riskområde med potentiella syrerika, grövre partier material i direkt kontakt med finkorniga, syrefattiga material såsom lera. Åsbogatans resultat var opålitliga, då felkällor och förutsättningar var begränsade.

Med hänsyn till Gånarpsvägens resultat kan resistivitetmätning vara en kompletterande metod till markradarmätning för detektering av korrosionsbenägna riskzoner.

8 Tack

Ett stort tack till Matteo Rossi som hjälpt till med mätningarna ute i fält, modellering och diskussioner gällande resultaten. Tack till Anders Plan, min arbetspartner, som hjälpte till under mätningarna och haft bra givande diskussioner.

Även tack till mina handledare, Torleif Dahlin och Ulf Söderlund samt Mikael Calner som gav bra feedback och konstruktiv kritik. Manuel Gabler skall också tackas för att ha varit till stor hjälp för tolkning av markradarn. Men sist men absolut inte minst ett stort fantastiskt tack till mina geologvänner på Geocentrum, Anders Plan, Josefin Martell, Markus Roswall, Wiktor Skoglund och inte minst Kim Teilman för alla fantastiska distraktioner, bollplanksagerande, fikapauser och skratt i vår lilla hörna i datasalen.

9 Referenser

- Andréasson, P.-G., 2006: *Geobiosfären : en introduktion*. Studentlitteratur. 604 pp.
- Atkins, P. W., Jones, L. & Laverman, L., 2013: *Chemical principles : the quest for insight*. W.H. Freeman and Company, New York. xxiv, 116, 856, 132, 127, 149, 112, 111 pp.
- Dahlin, T. A., Zhou, B. A., 2006: Multiple-gradient array measurements for multichannel 2D resistivity imaging: Near Surface Geophysics 01/01/2006 4, 113 - 123 pp.
- Esko, D., 1977: Jordartskartan Höganäs NO/Helsingborg NV. Beskrivning till jordartskartan Höganäs NO/Helsingborg NV. Stockholm. 92 pp
- Daniels, D. J., 2004: Ground Penetrating Radar (2nd ed.). Institution of Engineering and Technology - IET. 984 pp
- Ekbäck, D., 2013: Rörboken : yttre rörledningar. Svensk byggtjänst. 147 pp
- Gabler, M., 2016. Vinnova project – pipe inspections, Measurement protocol campaign 1 (March 2016). Report 17 pp.
- Jeppsson, H., 2015: Elektromagnetiska metoder, Kompendium i Geofysisk undersökningsmetodik, GEO C04. Geologiska institutionen, Lunds universitet. 122 pp. Opublicerat
- Jeppsson, H. & Dahlin, T., 2015: Geoelektriska metoder inom tillämpad geofysik, Resistivitetmätning, IP-mätning och SPmätning. Kompendium i Geofysiska undersökningsmetodiker, GEOC04. Geologiska institutionen, Lunds universitet. 70 pp.
- Malm, A., Horstmark, A., Larsson, G., Uusijärvi, J., Meyer, A. & Jansson, E., 2011. Rörmaterial i svenska VA-ledningar -egenskaper och livslängd. Svensk vatten utveckling. Report 58 pp.
- Mohrén, E., 1976: Jordartskartan Höganäs NO/Helsingborg NV. 1:50 000. *AE nr 25*.
- Müllern, C.-F. 2010. Grundvattenförekomster, Ängelholms kommun. 1:50 000. *K nr 114*.
- Reynolds, J. M., 2011: An Introduction to Applied and Environmental Geophysics, 2nd Edition. John Wiley & Sons. 712 pp.
- Sharma, P. V., 1997: Environmental and engineering geophysics. Cambridge Univ. Press, Cambridge. 475 pp.

Söderlund, U., Isachsen, C. E., Bylund, G., Heaman, L. M., Jonathan Patchett, P., Vervoort, J. D. & Andersson, U. B., 2005: U–Pb baddeleyite ages and Hf, Nd isotope chemistry constraining repeated mafic magmatism in the Fennoscandian Shield from 1.6 to 0.9 Ga: Contributions to Mineralogy and Petrology 150, 174-194 pp. doi: 10.1007/s00410-005-0011-1

Svensk Byggtjänst, 2014: AMA anläggning 13 : allmän material- och arbetsbeskrivning för anläggningsarbeten. Svensk byggtjänst, Stockholm. 830 pp.

Wikman, H. & Norling, E., 1990: Beskrivning till berggrundskartan Höganäs NO/Helsingborg NV. Uppsala. 123 pp.

Wikman, H., Norling, E., Sivhed, U. & Karis, L., 1981: Berggrundskartan 3B Höganäs NO/3C Helsingborg NV. 1:50 000. *AF nr 129*

Muntliga referenser

Helena Mårtensson, Ängelholm kommun, 2016-05-04.

Matteo Rossi, Lunds tekniska högskola, 2016-05-18.

Ulf Söderlund, Geologiska institutionen, 2013

Bilder och Bilagor

Berggrundskarta över Ängelholm, hämtad från SGUs kartgenerator 2016-05-15

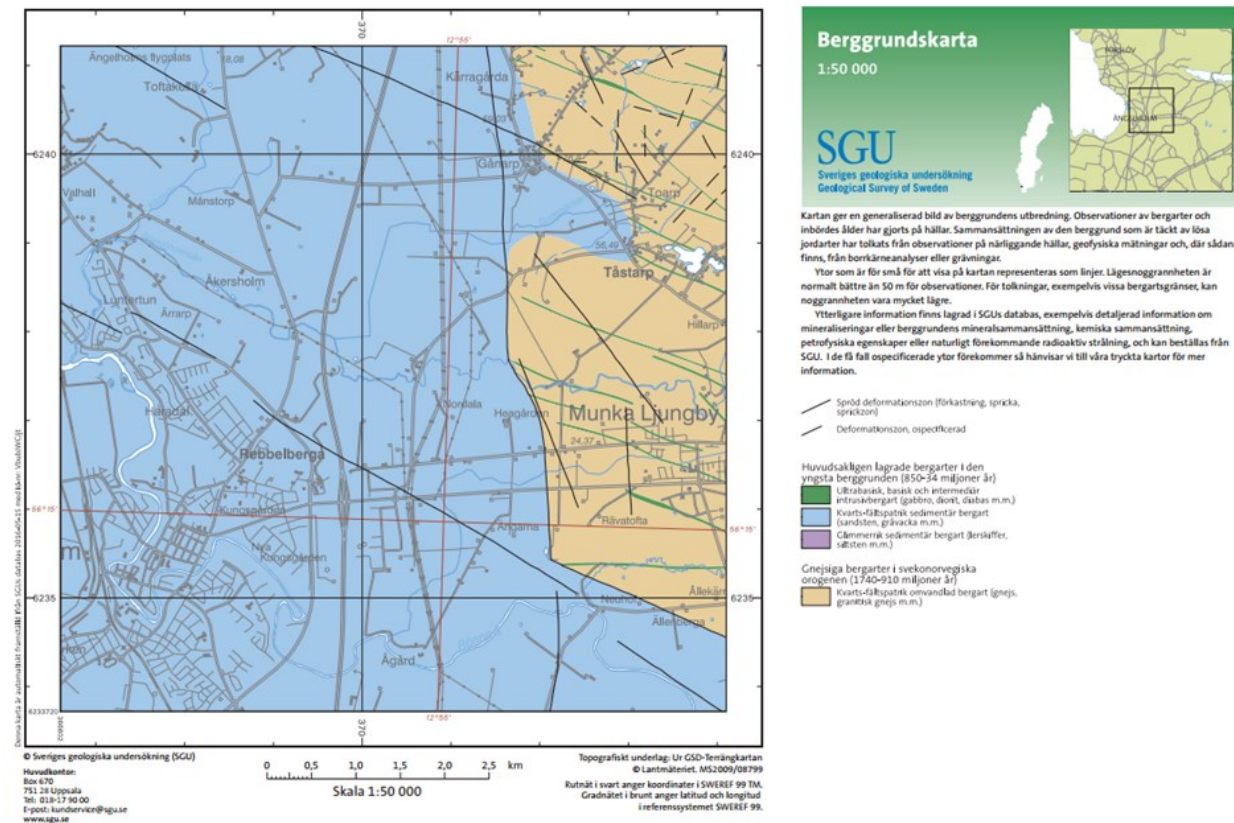
Jordartskarta över Ängelholm, hämtad från SGUs kartgenerator 2016-05-15

Jorrdjupskarta över Ängelholm, hämtad från SGUs kartgenerator 2016-05-15

3D-modeller, utförda av Matteo Rossi, Lunds Tekniska Högskola

Bilaga 1

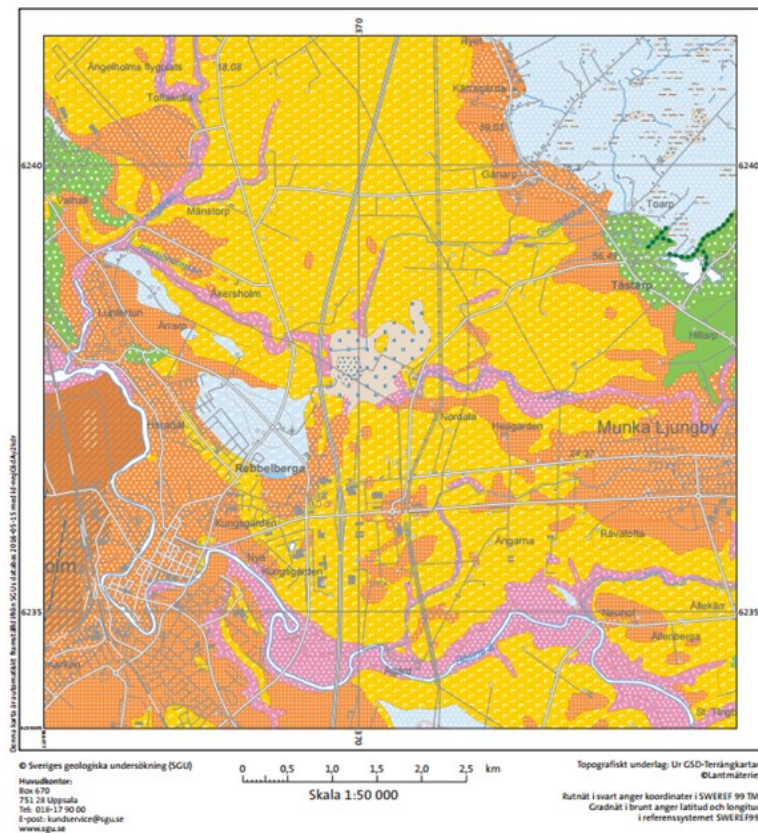
Berggrundskarta över Ängelholm.



Berggrundskarta över aktuellt område. Hämtad: 2016-05-15 © Sveriges geologiska undersökning

Bilaga 2

Jordartskarta över Ängelholm.



Jordartskarta 1:25 000–1:50 000 visar jordarternas utbredning i eller nära markytan samt förekomsten av block i markytan. Ytliga jordlager med en maktighet som understiger en halv till en meter redovisas i vissa fall. Även underliggande jordlager, t.ex. isåvsediment under lera, redovisas i vissa fall, men någon systematisk kartläggning av dessa har inte gjorts. Även vissa landformer, såsom moränbackslandskap, moränryggar och flygsanddyner redovisas. Jordarterna indelas efter bildningsätt och korntorleksammansättning.

Jordartskarta 1:25 000–1:50 000 visar information ur det SGU anger som databasprodukten "Jordarter 1:25 000–1:100 000". I denna produkt ingår jordartskarter framställda med olika metoder och anpassade för olika presentationsskalor. Korfattad information om karteringemetod för det aktuella kartutsnittet och lämplig presentationsskala med hänsyn till kartans noggrannhet ges på sidan två av detta dokument. Observera att det som är lämplig skala kan avvika från det valda kartutsnittets skala.

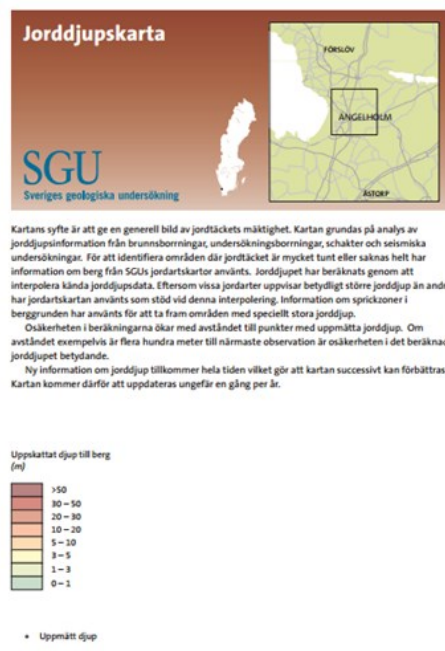
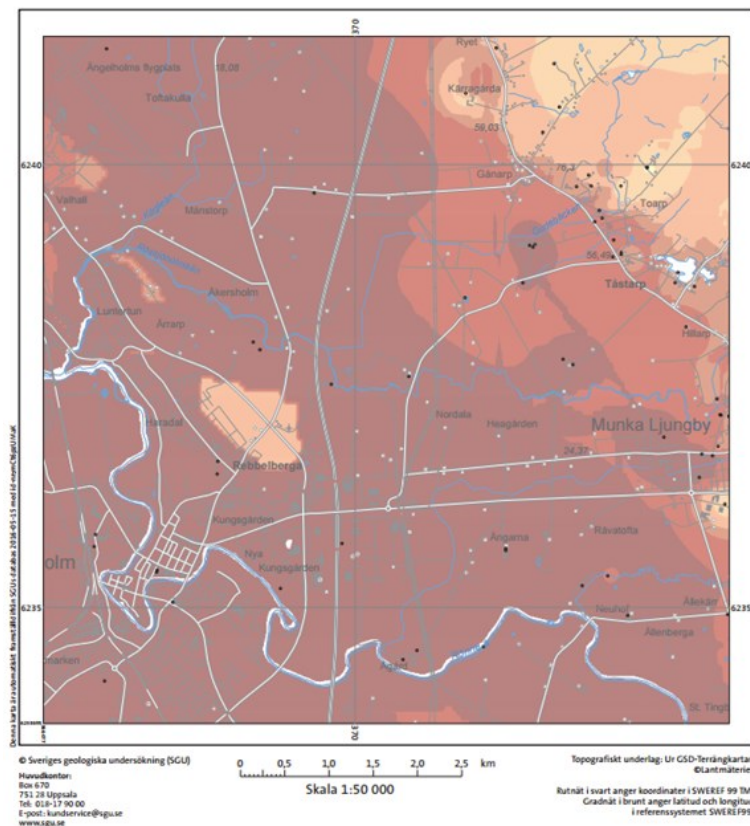
För ytterligare information om jordarter, jordlagerföljder, jorddjup m.m. hänvisas till www.sgu.se eller SGUs kundtjänst.



Jordartskarta över aktuellt område. Hämtad: 2016-05-15 © Sveriges geologiska undersökning

Bilaga 3

Jorddjup över Ängelholm.



Kartans syfte är att ge en generell bild av jordtäckets mäktighet. Kartan grundas på analys av jorddjupsinformation från brunnborrningar, undersökningsborrningar, schakter och seismiska undersökningar. För att identifiera områden där jordtäckets är mycket tunt eller saknas helt har information om berg från SGUs jordartskartor använts. Jorddjupet har beräknats genom att interpolera kända jorddjupsdata. Eftersom vissa jordarter uppvisar betydligt större jorddjup än andra har jordartskartan använts som stöd vid denna interpolering. Information om sprickzoner i berggrunden har använts för att ta fram områden med speciellt stora jorddjup. Osäkerheten i beräkningarna ökar med avståndet till punkter med uppmätta jorddjup. Om avståndet exempelvis är flera hundra meter till närmaste observation är osäkerheten i det beräknade jorddjupet betydande. Ny information om jorddjup tillkommer hela tiden vilket gör att kartan successivt kan förbättras. Kartan kommer därför att uppdateras ungefär en gång per år.

Jorddjup över aktuellt område. Hämtad: 2016-05-15 © Sveriges geologiska undersökning

Bilaga 4
Koordinater

GÅNARPSVÄGEN

Koordinatsystem: SWEREF 99

Höjdsystem: RH2000

Namn.	Lat. (North)	Long. (East)	Ht.(G)
LINJE1-01	6238964.233	372944.225	44.210
LINJE1SLUT-01	6238999.829	372923.935	44.008
LINJE1-02	6238963.674	372943.300	44.201
LINJE1SLUT-02	6238999.312	372923.019	44.023
LINJE1-03	6238964.808	372945.109	44.268
LINJE1SLUT-03	6239000.359	372924.860	44.058
LINJE1-04	6238963.113	372942.474	44.236
LINJE1SLUT-04	6238998.756	372922.088	44.020
LINJE1-05	6238965.268	372945.956	44.526
LINJE1SLUT-05	6239000.810	372925.691	44.403
VERT01START	6238990.673	372934.141	44.998
VERT01END	6238980.308	372916.714	43.880
VERT02START	6238978.753	372941.073	45.121
VERT02END	6238967.734	372923.925	43.871

ÅSBOGATAN

Koordinatsystem: SWEREF 99

Höjdsystem: RH2000

Namn.	Lat. (North)	Long. (East)	Ht.(G)
linje-1-start	6234875.805	367947.444	14.893
linje-1-end	6234893.618	367957.791	14.690
linje-2-end	6234893.120	367958.675	14.798
linje-3-end	6234892.604	367959.593	14.632
linje-4-end	6234892.090	367960.499	14.824
linje-2-start	6234875.262	367948.379	14.922
linje-3-start	6234874.915	367949.241	14.916
linje-4-start	6234874.508	367950.146	14.955
lock-corner	6234882.846	367952.259	14.750
lock-corner1	6234883.114	367951.866	14.804
lock-corner2	6234883.807	367952.234	14.769
lock-corner3	6234883.552	367952.611	14.799
tree	6234886.367	367957.224	14.968
tree1	6234874.457	367950.387	14.967

Bilaga 5

Inversionsparametrar för RES2DINV

Inversion settings

Initial damping factor (0.01 to 1.00)

0.1500

Minimum damping factor (0.001 to 0.75)

0.0200

Local optimization option (0=No, 1=Yes)

1

Convergence limit for relative change in RMS error in percent (0.1 to 20)

0.1000

Minimum change in RMS error for line search in percent (0.5 to 100)

0.5000

Number of iterations (1 to 30)

7

Vertical to horizontal flatness filter ratio (0.25 to 4.0)

1.0000

Model for increase in thickness of layers(0=default 10%, 1=default 25%, 2=user defined)

2

Number of nodes between adjacent electrodes (2 or 4)

4

Flatness filter type, Include smoothing of model resistivity (0=model changes only,1=directly on model)

1

Reduce number of topographical data 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)

2

Type of Jacobian matrix calculation (0=Quasi-Newton, 1=Gauss-Newton, 2=Mixed)

1

Increase of damping factor with depth (1.0 to 2.0)

1.1000

Type of topographical modeling (0=None, 1=No longer supported so do not use, 2=uniform distorted FEM, 3=underwater, 4=damped FEM, 5=FEM with inverse Swartz-Christoffel)

0

Robust data constrain? (0=No, 1=Yes)

1

Cutoff factor for data constrain (0.0001 to 0.1)

0.0187

Robust model constrain? (0=No, 1=Yes)

1

Cutoff factor for model constrain (0.0001 to 1.0)

0.0050

Allow number of model parameters to exceed data points? (0=No, 1=Yes)

1

Use extended model? (0=No, 1=Yes)

1

Reduce effect of side blocks? (0=No, 1=Slight,

2=Severe, 3=Very Severe)

0

Type of mesh (0=Normal,1=Fine,2=Finest)

0

Optimise damping factor? (0=No, 1=Yes)

1

Time-lapse inversion constrain (0=None,1&2=Smooth,3=Robust)

3

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

0

Thickness of first layer (0.25 to 1.0)

0.5000

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

1.1000

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

0

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)

0.100

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)

1.000

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

0

CUTOFF FACTOR FOR BOREHOLE DATA (0.0005 to 0.02)

0.00010

TYPE OF CROSS-BOREHOLE MODEL (0=normal,1=halfsize)

0

LIMIT RESISTIVITY VALUES(0=No,1=Yes)

1

Upper limit factor (10-50)

50.000

Lower limit factor (0.02 to 0.1)

0.020

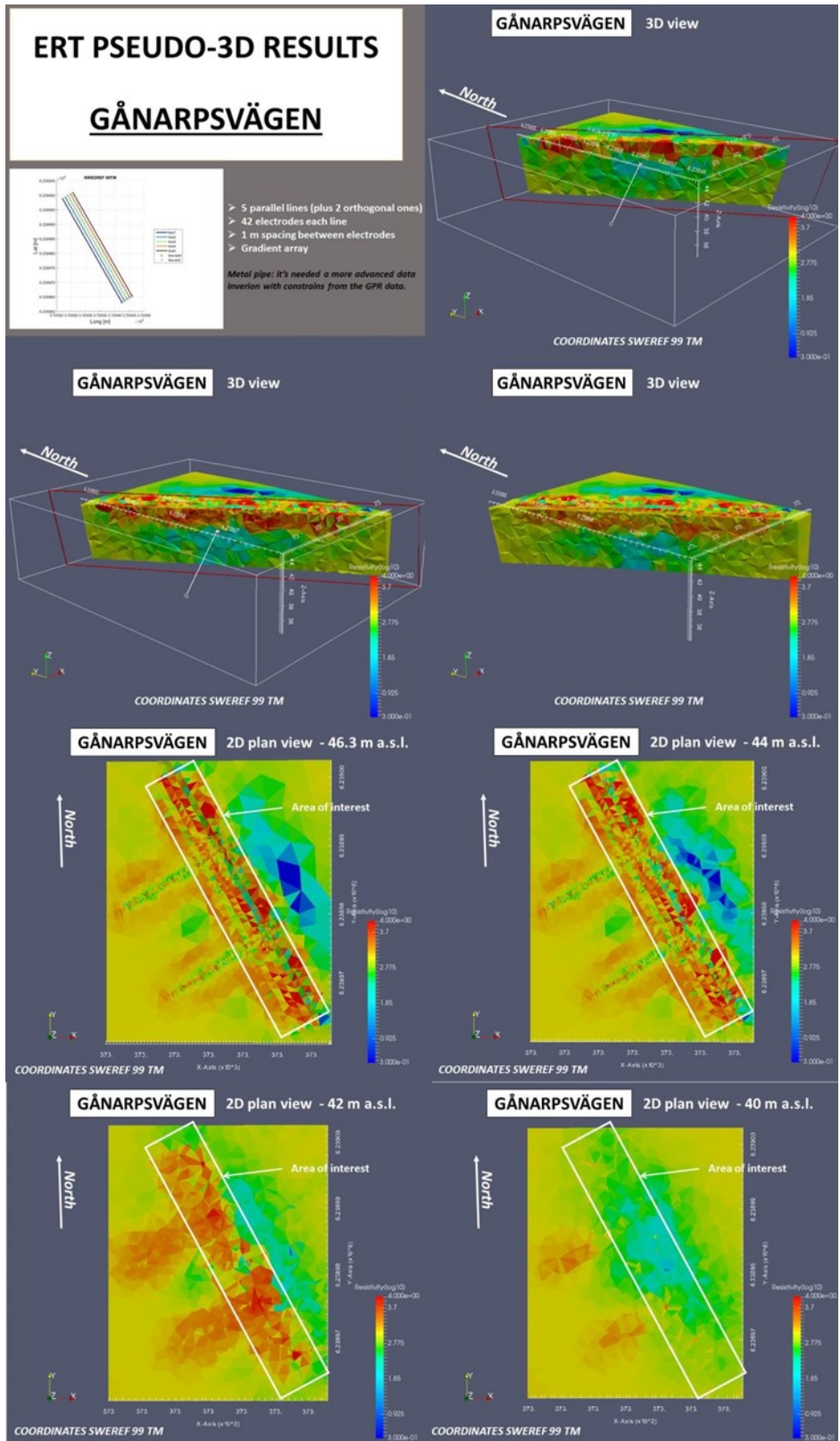
Type of reference resistivity (0=average,1=first iteration)

0

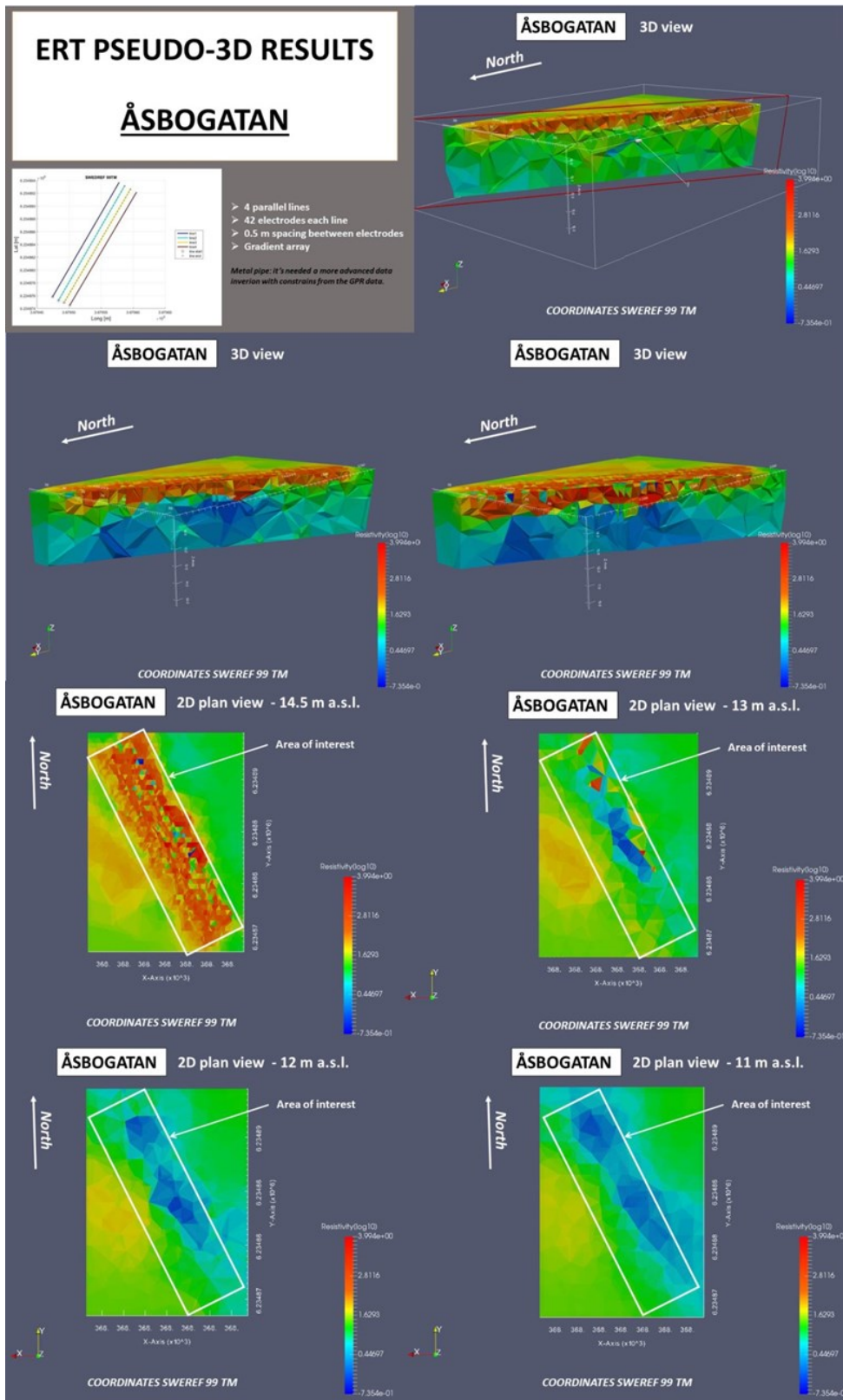
Model refinement (1.0=Normal,0.5=Half-width cells)

1.00	0
Combined Combined Marquardt and Occam inversion (0=Not used,1=used)	Use active constraint balancing (0=No,1=Yes)
0	0
Type of optimisation method (0=Gauss- Newton,2=Incomplete GN)	Type of active constraints (0=Normal,1=Reverse)
2	0
Convergence limit for Incomplete Gauss-Newton method (0.005 to 0.05)	Lower damping factor limit for active constraints
0.005	0.4000
Use data compression with Incomplete Gauss-Newton (0=No,1=Yes)	Upper damping factor limit for active constraints
0	2.5000
Use reference model in inversion (0=No,1=Yes)	Water resistivity variation damping factor
1	8.0000
Damping factor for reference model (0.0 to 0.3)	Use automatic calculation for change of damping fac- tor with depth (0=No,1=Yes)
0.01000	0
Use fast method to calculate Jacobian matrix. (0=No,1=Yes)	
0	
Use higher damping for first layer? (0=No,1=Yes)	
0	
Extra damping factor for first layer (1.0 to 100.0)	
5.00000	
Type of finite-element method (0=Triangular,1=Trapezoidal elements)	
1	
Factor to increase model depth range (1.0 to 5.0)	
1.050	
Reduce model variations near borehole (0=No, 1=Yes)	
0	
Factor to control the degree variations near the bore- holes are reduced (2 to 100)	
5.0	
Factor to control variation of borehole damping factor with distance (0.5 to 5.0)	
1.0	
Floating electrodes survey inversion method (0=use fixed water layer, 1=Incorporate water layer into the model)	
1	
Resistivity variation within water layer (0=allow resis- tivity 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)	
1	
Automatically switch electrodes for negative geomet- ric factor (0=No, 1=Yes)	
1	
Force resistance value to be consistant with the geo- metric factor (0=No, 1=Yes)	
0	
Shift the electrodes to round up positions of electrodes (0=No, 1=Yes)	
0	
Use difference of measurements in time-lapse inver- sion (0=No,1=Yes)	

Bilaga 6
3D-modeller

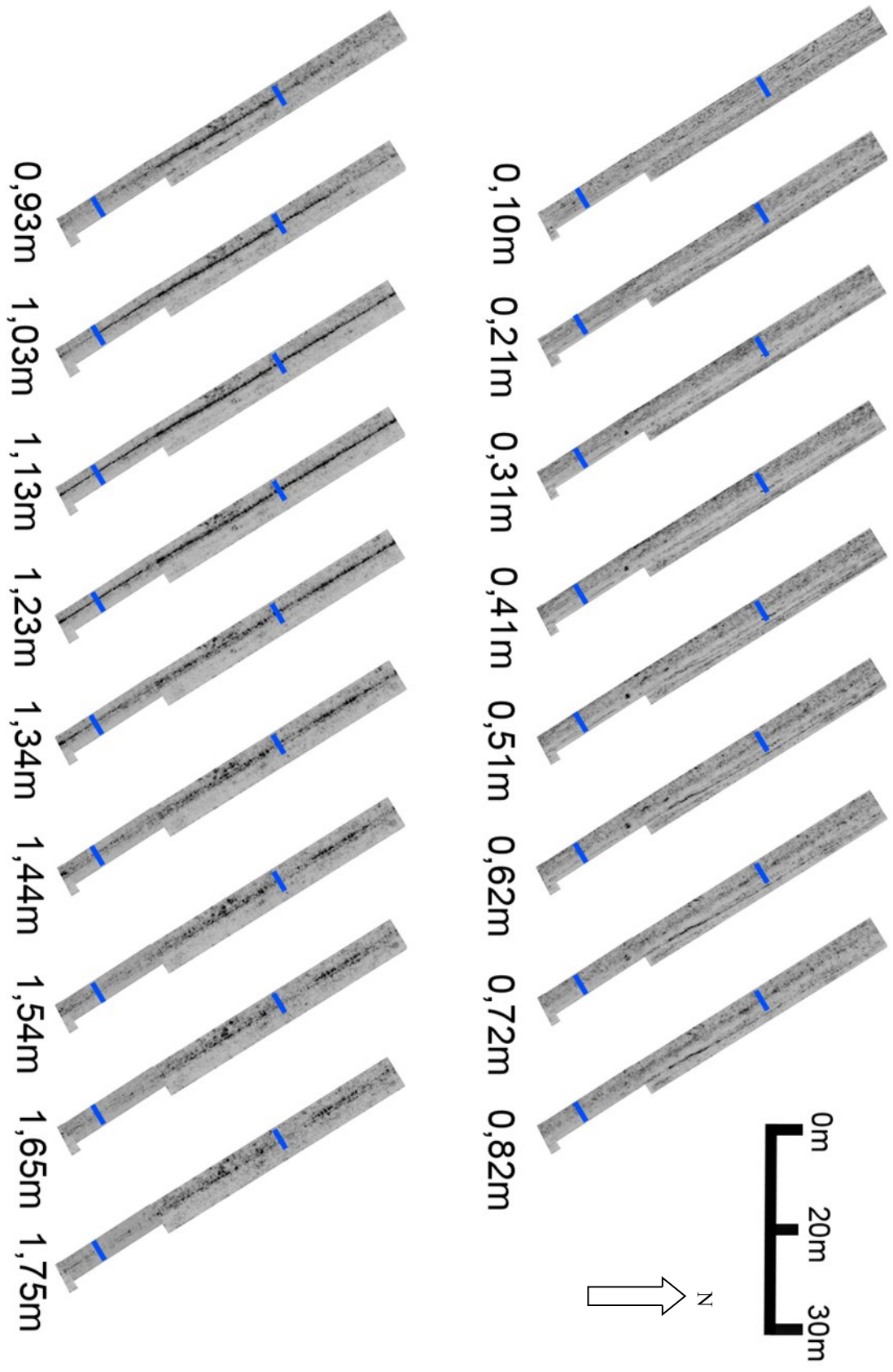


3D-profiler för att underlätta tolkningen, upprättade av Matteo Rossi, LTH.

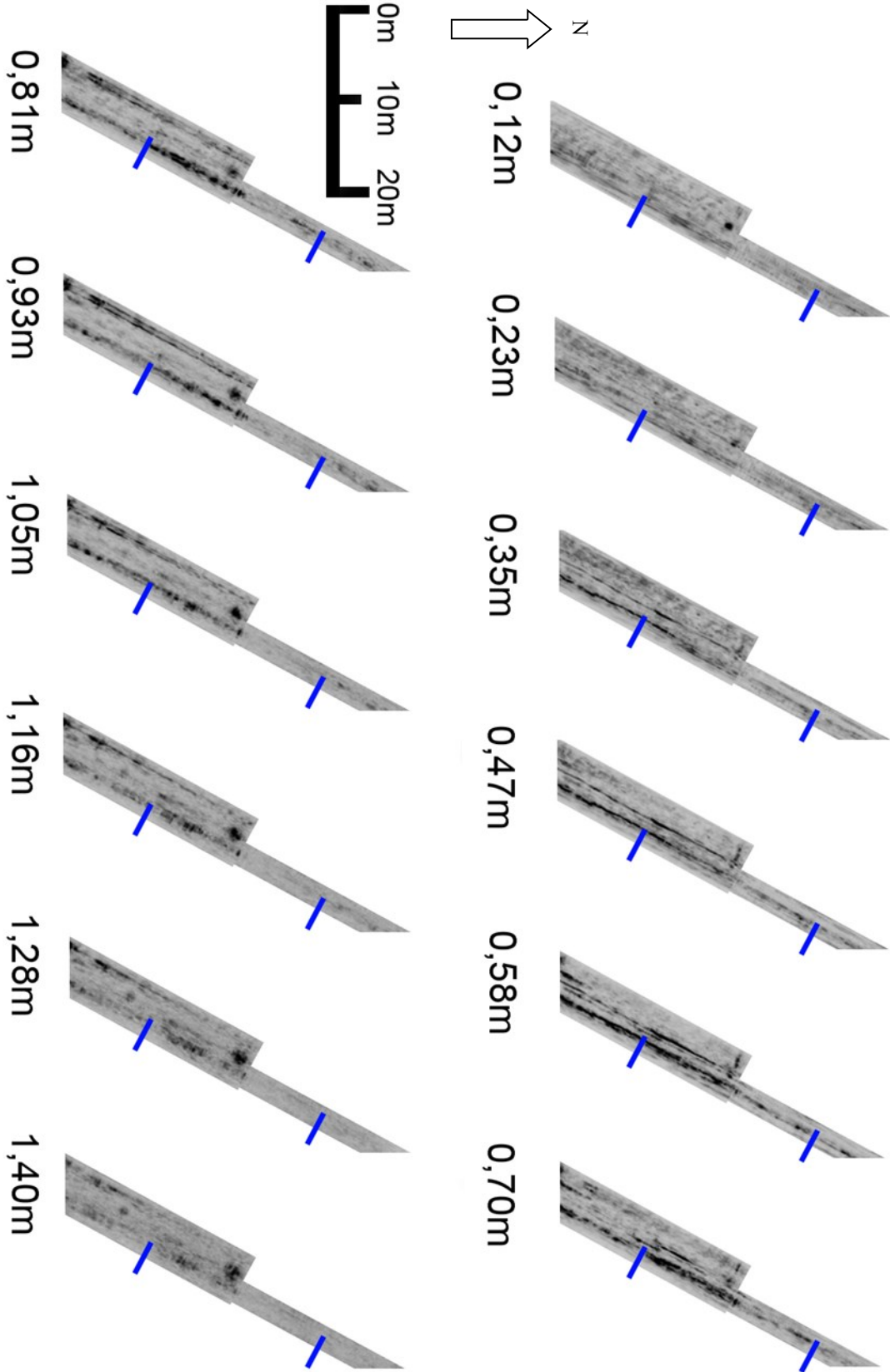


3D-profiler för att underlätta tolkningen, upprättade av Matteo Rossi, LTH.

Bilaga 7
Radargram från Guideline Geo.
Gånarpsvägen



Åsbogatan



Tidigare skrifter i serien

”Examensarbeten i Geologi vid Lunds universitet”:

431. Landgren, Susanne, 2015: Using calcein-filled osmotic pumps to study the calcification response of benthic foraminifera to induced hypoxia under *in situ* conditions: An experimental approach. (45 hp)
432. von Knorring, Robert, 2015: Undersökning av karstvittring inom Kristianstadsslättens NV randområde och bedömning av dess betydelse för grundvattnets sårbarhet. (30 hp)
433. Rezvani, Azadeh, 2015: Spectral Time Domain Induced Polarization - Factors Affecting Spectral Data Information Content and Applicability to Geological Characterization. (45 hp)
434. Vasilica, Alexander, 2015: Geofysisk karaktärisering av de ordoviciska kalkstensenhetererna på södra Gotland. (15 hp)
435. Olsson, Sofia, 2015: Naturlig nedbrytning av klorerade lösningsmedel: en modellering i Biochlor baserat på en fallstudie. (15 hp)
436. Huitema, Moa, 2015: Inventering av föroreningar vid en brandövningsplats i Linköpings kommun. (15 hp)
437. Nordlander, Lina, 2015: Borrningsteknikens påverkan vid provtagning inför dimensionering av formationsfilter. (15 hp)
438. Fennvik, Erik, 2015: Resistivitet och IP-mätningar vid Äspö Hard Rock Laboratory. (15 hp)
439. Pettersson, Johan, 2015: Paleoekologisk undersökning av Triberga mosse, sydöstra Öland. (15 hp)
440. Larsson, Alfred, 2015: Mantelplymer - realitet eller *ad hoc*? (15 hp)
441. Holm, Julia, 2015: Markskador inom skogsbruket - jordartens betydelse (15 hp)
442. Åkesson, Sofia, 2015: The application of resistivity and IP-measurements as investigation tools at contaminated sites - A case study from Kv Renen 13, Varberg, SW Sweden. (45 hp)
443. Lönsjö, Emma, 2015: Utbredningen av PFOS i Sverige och världen med fokus på grundvattnet – en litteraturstudie. (15 hp)
444. Asani, Besnik, 2015: A geophysical study of a drumlin in the Åsnen area, Småland, south Sweden. (15 hp)
445. Ohlin, Jeanette, 2015: Riskanalys över pesticidförekomst i enskilda brunnar i Sjöbo kommun. (15 hp)
446. Stevic, Marijana, 2015: Identification and environmental interpretation of microtextures on quartz grains from aeolian sediments - Brattforsheden and Vittskövle, Sweden. (15 hp)
447. Johansson, Ida, 2015: Is there an influence of solar activity on the North Atlantic Oscillation? A literature study of the forcing factors behind the North Atlantic Oscillation. (15 hp)
448. Halling, Jenny, 2015: Inventering av sprickmineraliseringar i en del av Sorgenfrei-Tornquistzonen, Dalby stenbrott, Skåne. (15 hp)
449. Nordas, Johan, 2015: A palynological study across the Ordovician Kinnekulle. (15 hp)
450. Åhlén, Alexandra, 2015: Carbonatites at the Alnö complex, Sweden and along the East African Rift: a literature review. (15 hp)
451. Andersson, Klara, 2015: Undersökning av slugtestsmetodik. (15 hp)
452. Ivarsson, Filip, 2015: Hur bildades Bushveldkomplexet? (15 hp)
453. Glommé, Alexandra, 2015: $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ in plagioclase, evidence for a crustal origin of the Hakefjorden Complex, SW Sweden. (45 hp)
454. Kullberg, Sara, 2015: Using Fe-Ti oxides and trace element analysis to determine crystallization sequence of an anorthositenorite intrusion, Älgön SW Sweden. (45 hp)
455. Gustafsson, Jon, 2015: När började plattetektoniken? Bevis för plattetektoniska processer i geologisk tid. (15 hp)
456. Bergqvist, Martina, 2015: Kan Ölands grundvatten öka vid en uppdämning av de utgrävda diken genom strandvallarna på Ölands östkust? (15 hp)
457. Larsson, Emilie, 2015: U-Pb baddeleyite dating of intrusions in the southeasternmost Kaapvaal Craton (South Africa): revealing multiple events of dyke emplacement. (45 hp)
458. Zaman, Patrik, 2015: LiDAR mapping of presumed rock-cored drumlins in the Lake Åsnen area, Småland, South Sweden. (15 hp)
459. Aguilera Pradenas, Ariam, 2015: The formation mechanisms of Polycrystalline diamonds: diamondites and carbonados. (15 hp)
460. Viehweger, Bernhard, 2015: Sources and

- effects of short-term environmental changes in Gullmar Fjord, Sweden, inferred from the composition of sedimentary organic matter. (45 hp)
461. Bokhari Friberg, Yasmin, 2015: The paleoceanography of Kattegat during the last deglaciation from benthic foraminiferal stable isotopes. (45 hp)
462. Lundberg, Frans, 2016: Cambrian stratigraphy and depositional dynamics based on the Tomten-1 drill core, Falbygden, Västergötland, Sweden. (45 hp)
463. Flindt, Anne-Cécile, 2016: A pre-LGM sandur deposit at Fiskarheden, NW Dalarna - sedimentology and glaciotectonic deformation. (45 hp)
464. Karlatou-Charalampopoulou, Artemis, 2016: Vegetation responses to Late Glacial climate shifts as reflected in a high resolution pollen record from Blekinge, south-eastern Sweden, compared with responses of other climate proxies. (45 hp)
465. Hajny, Casandra, 2016: Sedimentological study of the Jurassic and Cretaceous sequence in the Revinge-1 core, Scania. (45 hp)
466. Linders, Victor, 2016: U-Pb geochronology and geochemistry of host rocks to the Bastnäs-type REE mineralization in the Ridderhyttan area, west central Bergslagen, Sweden. (45 hp)
467. Olsson, Andreas, 2016: Metamorphic record of monazite in aluminous migmatitic gneisses at Stensjöstrand, Sveconorwegian orogen. (45 hp)
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 facietyper. (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 provpumpningsanläggning. (15 hp)
477. Rydberg, Elaine, 2016: Gummigranulat - En litteraturstudie över miljö- och hälsopåverkan vid användandet av gummigranulat. (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: Resistivitet- och markradarmätning i Ängelholmsområdet - undersökning av korrosiva markstrukturer kring vattenledningar. (15 hp)



LUNDS UNIVERSITET

Geologiska institutionen
Lunds universitet
Sölvegatan 12, 223 62 Lund