



LUND UNIVERSITY

Geofysiska metoder för lokalisering av konstruktioner i mark

Dahlin, Torleif; Hellman, Kristofer

2012

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Dahlin, T., & Hellman, K. (2012). *Geofysiska metoder för lokalisering av konstruktioner i mark*. (Teknisk Geologi; Vol. TVTG-3100). Lunds Universitet. Teknisk Geologi.

Total number of authors:

2

General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

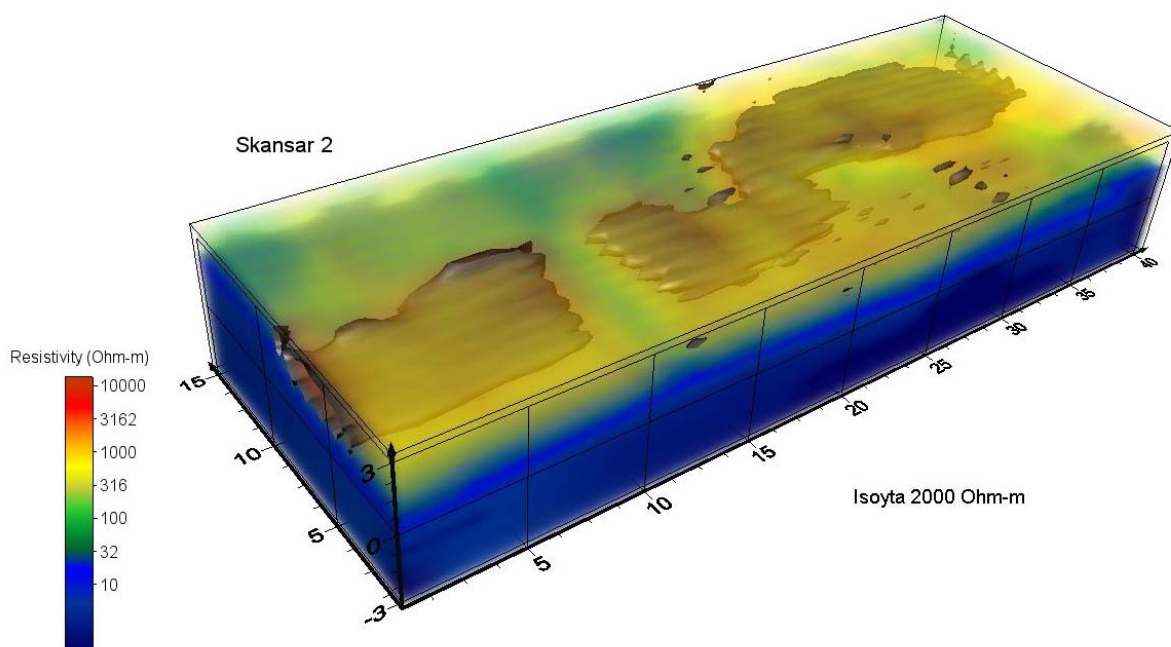
Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00

Geofysiska metoder för lokalisering av konstruktioner i mark



3D vy av resistivitesmodellen från testområde 2.

Lund 2012-10-15

Torleif Dahlin & Kristofer Hellman, Teknisk Geologi, Lunds Universitet

ISRN LUTVDG/(TVTG-3100)/1-50/(2012)

Innehåll

<u>Avsnitt</u>	<u>Sida</u>
Sammanfattning	2
Inledning	2
Bakgrund	2
Syfte	4
Undersökningar	4
Utförande.....	4
Resistivitet-IP	4
Magnetometer.....	8
Stångslingram.....	8
Analys	9
Resistivitet-IP	9
Magnetometer och stångslingram	10
Resultat försöksområde 1	10
Resistivitet - IP	10
Magnetometer.....	13
Stångslingram.....	14
Resultat försöksområde 2	14
Resistivitet - IP	14
Diskussion och slutsatser	17
Referenser	18
Bilaga 1. Troligt läge för befästningsrester samt ledningskartor	19
Bilaga 2. Resultat med troligt läge för befästningsrester samt ledningskartor	23
Bilaga 3. Djupsnitt ur 3D resistivitets-IPmodeller från område 1	27
Bilaga 4. Djupsnitt ur 3D resistivitets-IP modeller från område 2	39

Sammanfattning

Resultaten tyder på att geoelektriska undersökningar kan användas för att lokalisera rester av murar och bastioner i den aktuella miljön. Resistivitetsresultaten är därvid mest användbara, medan IP-resultaten ger kompletterande information i område 2. Resultaten från område 1 är komplexa, troligen p.g.a. rester av yngre byggander och verksamheter i området, men en möjlig tolkning är att de högresistiva stråken utgörs av parallella rester av murar. De tydligaste resultaten erhöles i område 2 där en murliknande struktur framträder i resistivitetsmodellen. Överensstämmelsen av läget sammanfaller inte i exakt med de troliga lägen som redovisats i skisser för något av områdena, vilket dock kan bero på att det troliga läget är ungefärligt.

Inledning

Bakgrund

I samband med byggnation kommer man ofta i konflikt med områden inom vilka det kan förekomma arkeologiska lämningar eller andra befintligheter. Utöver att dessa kan utgöra hinder för den planerade byggnationen, så har de i många fall även ett stort bevarandevärde. Att med en enkel, icke förstörande metod kunna lokalisera sådana befintligheter, och kunna se dess uppbyggnad är av stor vikt. Detta dels för att kunna bedöma insatsen av och utföra arkeologiska utgrävningar på väl valda ställen, dels för att under projekteringen ge underlag för att bedöma vilka byggmetoder som bör väljas avseende schakt, spont och pålning för att minimera såväl påverkan på skyddsvärda objekt som störningar av befintliga byggnationer. På så sätt kan man undvika fördyringar och ökad tidsåtgång i produktionsskedet.

Göteborg anlades år 1620 som befäst handelsstad och placerades nära Göta älvs mynning som då var Sveriges port mot väster. I slutet av 1600-talet var Göteborg en av Europas starkast befästa städer. Mot land omgavs staden av murar, vallgrav och vallar. Längs älven skyddades den av murar, krubbverk och pallisader. Stadsplanen utformades efter holländskt mönster med kanaler. År 1806 togs beslut att befästningsgördeln skulle rivas. Rivningsarbetet pågick under 20-30 års tid varvid murar och vallar revs ner till gatunivå. Figur 1 visar ungefärligt läge för 1700-talets befästningsanläggningar i förhållande till dagens bebyggelse.

Då jordlagren inom stora delar av Göteborg består av lera grundlades befästningsverkens murar och bastioner på pålade rustbäddar. Såväl rustbädd som pålar var träkonstruktioner. På grund av den syrefattiga miljön i lera har rustbäddar och pålar inte ruttnat bort utan finns kvar relativt opåverkade trots den långa tid som förflutit sedan de byggdes.

Byggnadsarbeten i centrala Göteborg innebär ofta att arbeten i och i anslutning till befästningsverken blir nödvändiga. Det är därför av stor vikt att kunna lokalisera dessa då de inte syns ovan mark idag, såväl med hänsyn till bevarandefrågor som till följd av att dessa utgör ”hinder” vid exempelvis pålning.

Som ovan nämnts är konstruktionerna uppbyggda av såväl sten som trä, dvs. material med olika fysikaliska egenskaper. Konstruktionerna är dessutom belägna i såväl lera som fyllningsjord där lera dominerar. Vid traditionell georadar, som ibland använts, släcks signalen ut då lerjordar påträffas och metoden är därför relativt osäker som inte fyller avsett syfte.

Det finns ett antal andra geofysiska metoder att tillgå, vissa mer beprövade än andra. Gemensamt är att de ej provats i detta syfte och i denna geologiska miljö. Metoderna kan nyttjas var och en för sig eller som en kombination av olika metoder för att tolka den befintliga konstruktionens utbredning och uppbyggnad.



Figur 1. Ungefärligt läge för 1700-talets befästningsanläggningar i förhållande till dagens bebyggelse, med försöksområdena markerade (modifierad från Trafikverket 2006)

Syfte

Syftet med aktuellt projekt är att använda några olika metoder inom en begränsad yta för att senare, efter utförd utvärdering och analys, förhoppningsvis kunna nyttja dessa mer storskaligt. Metodiken kan komma till nytta i många projekt för identifiering av kvarlämnade rester av byggnader och grundkonstruktioner i trång stadsmiljö där provschakter bör minimeras för att undvika störningar.

Det specifika syftet i detta projekt är att undersöka om de geofysiska metoderna resistivitet, inducerad polarisation, magnetometri och stångslingram kan användas för att lokalisera rester av murar och basioner, eller deras grundläggning i form av rustbäddar och pålning.

Undersökningen har utförts på uppdrag av Trafikverket som ett led i undersökningarna för Västlänken.

Undersökningar

Utförande

Mätningar utfördes med kombinerad mätning av resistivitet och inducerad polarisation (IP), samt med stångslingram och magnetisk gradiometer. Mätningarnas läge mättes in med totalstation och differentiell GPS. Mätförsöken genomfördes på två testytor som valts ut av Trafikverket; den första nära Skeppsbron och den andra vid Rosenlund. Båda ytorna användes vid undersökningstillfället som parkeringsplatser, varför större delen av ytorna var hårdgjorda med asfalt (område 1) respektive stenläggning (område 2).

Undersökningarna utfördes 16-20 april 2012. Torleif Dahlin, Kristofer Hellman och Torbjörn Sandström, LTH/Lunds Universitet, genomförde mätningarna med assistans från Mikael Lumetzberger. Sweco biträdde med avspärning och håltagning för elektroder genom de hårdgjorda ytorna.

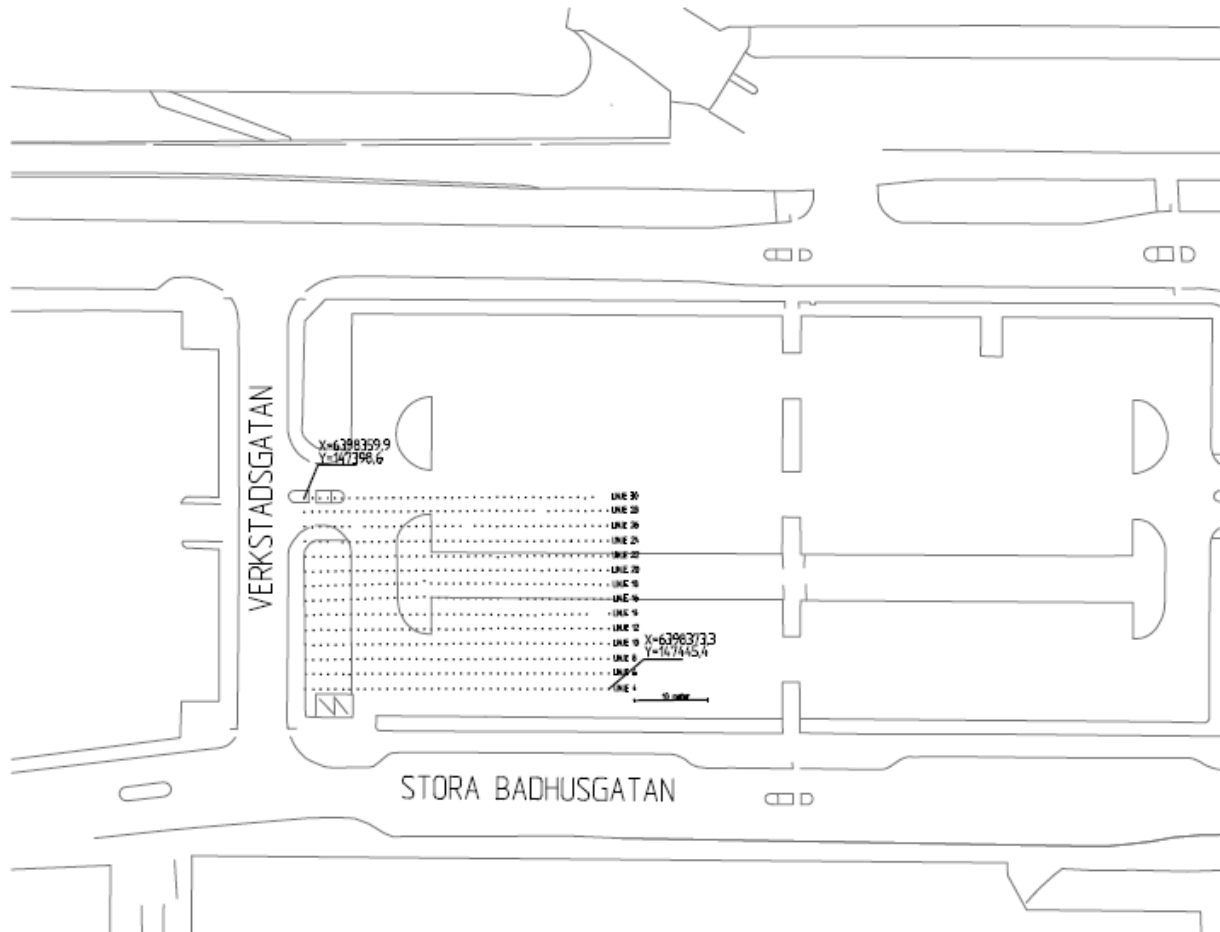
Bearbetning av och tolkning av data har gjorts av Torleif Dahlin och Kristofer Hellman.

Resistivitet-IP

Resistiviteten mäts genom att skicka ström mellan två elektroder samtidigt som spänningarna i marken mäts mellan ett eller flera par elektroder. Inducerad polarisation (IP) innebär att kvarvarande spänningar i marken mäts efter att strömmen har stängts av, man mäter alltså avklingningen av en eventuell uppladdningseffekt (chargeability) i marken. Genom att mäta med olika elektrodavstånd uppnår man olika mätdjup, och genom att mäta med många kombinationer längs en linje eller en yta kan man få dataunderlag för att bygga upp 2D- eller 3D-modeller av markens elektriska egenskaper.

I försöksområde 1 mättes 14 stycken parallella resistivitetslinjer med 2 m avstånd mellan linjerna (Figur 2). Linjerna var 41 m långa. Mätområdet omfattar således en yta av 41 m x 26

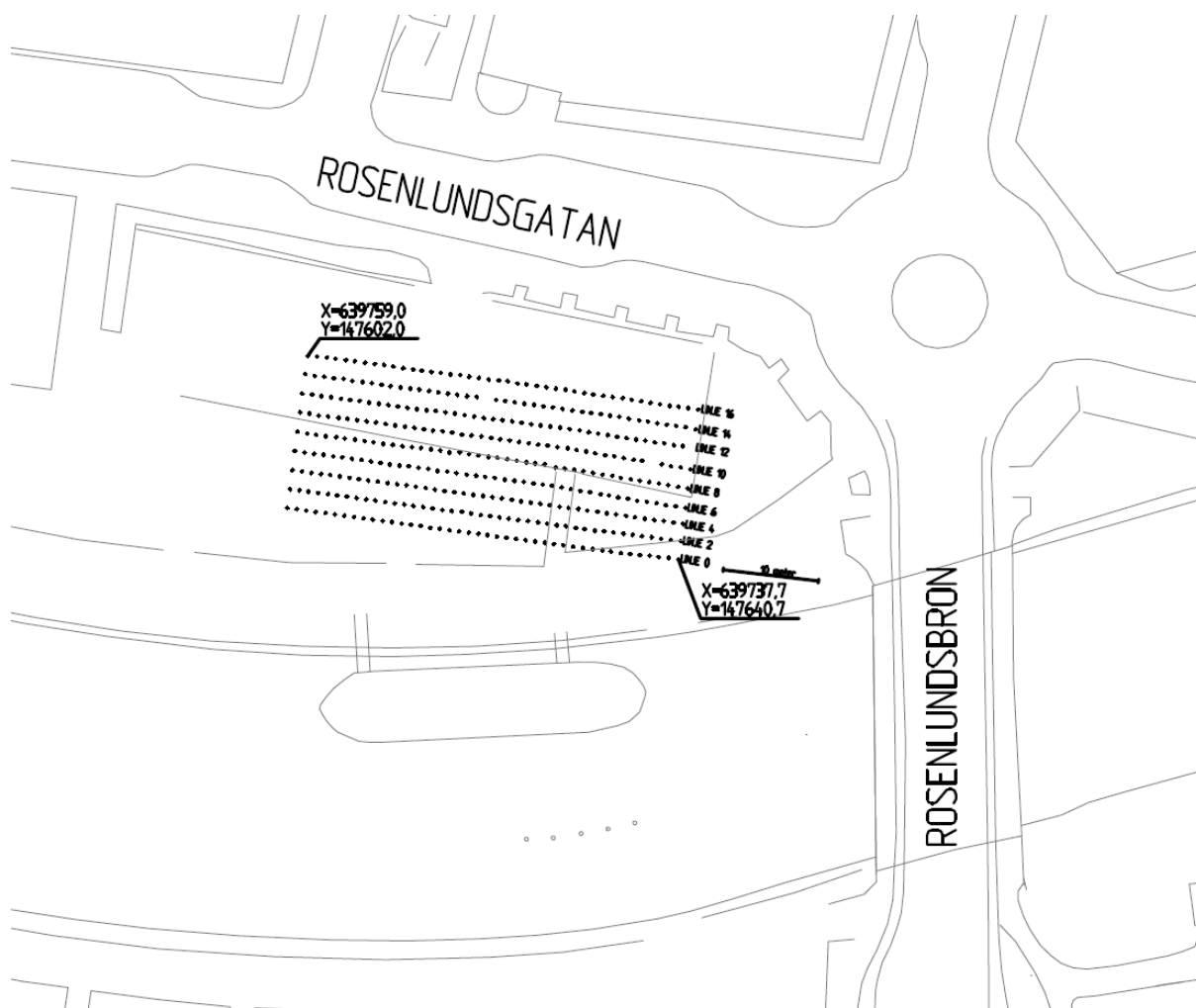
m. Det troliga ungefärliga läget för rester av befästningsanläggningar framgår av Bilaga 1, liksom ledningskartan för området.



Figur 2. Elektrodplaceringar i försöksområde 1 vid Skeppsbron.

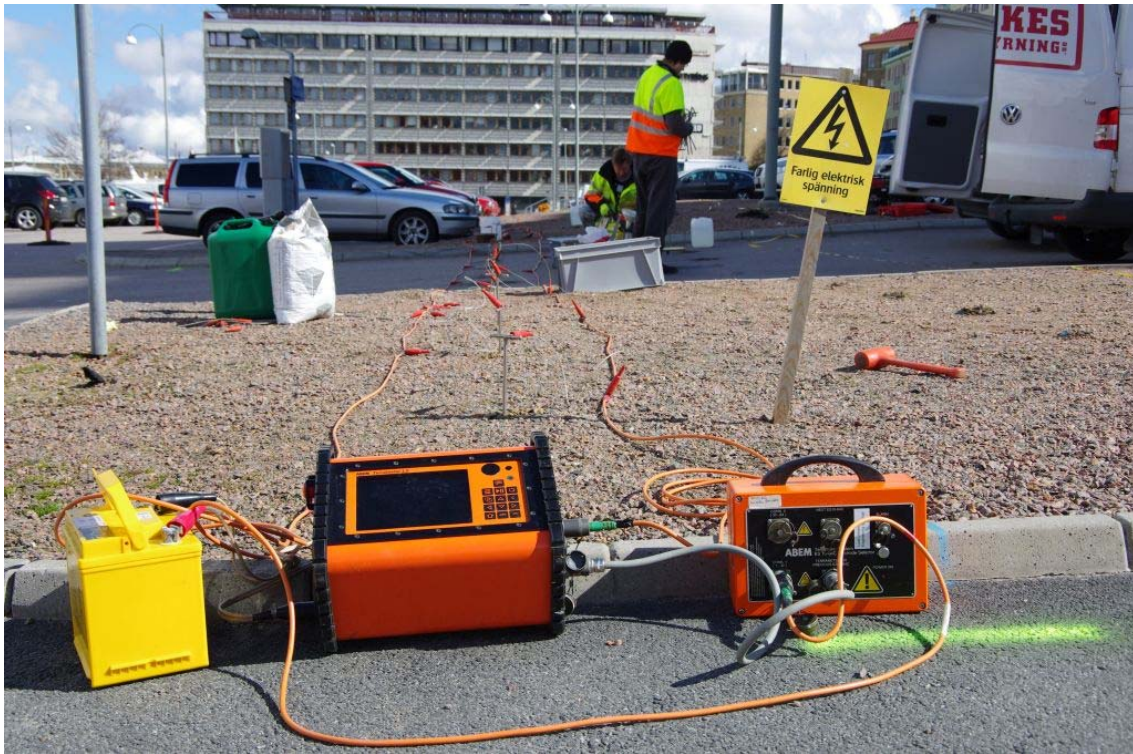
I försöksområde 2 mättes på samma sätt 9 stycken parallella linjer med 2 m avstånd mellan linjerna (Figur 3). Mätområdet omfattar i detta fall en yta av 41 m x 16 m. Det troliga ungefärliga läget för rester av befästningsanläggningar framgår av Bilaga 1, liksom ledningskartan för området.

Elektrodernas positioner mättes in med differentiell GPS Topcon GR-3 med SWEPOS NVRTK och totalstation modell Topcon GPT-9001. Koordinatsystem i plan SWEREF 99 1200.



Figur 3. Elektrodplaceringar i försöksområde 2 vid Rosenlund.

Resistivitetsinstrumentet som användes var ABEM Lund Imaging System, Terrameter LS med en extern reläväxel typ ES10-64C (Figur 4). Elektroder av rostfritt stål användes med ett inbördes avstånd 1 m. Mätningarna utfördes med så kallad multipel gradientkonfiguration (Dahlin & Zhou 2006).



Figur 4. Fotografi från försöksområde 1 som visar det mätinstrument och den extra reläväxel som användes vid resistivitet-IP-mätningarna.



Figur 5. Fotografi från försöksområde 1 som visar elektroder installerade i borrhål genom asfalten och anslutna till elektrodkablar.

Mätningen utfördes med separerade kablar för strömelektroder och potentialelektroder, d.v.s. skilda kablar användes för att skicka ut ström och mäta potentialen (Figur 5). Detta är en metod för att minska den kapacitiva kopplingen som uppträder i kablar (Dahlin & Leroux 2012). Datakvaliteten på IP blir då bättre eftersom den är känslig för störningar, s.k. kopplingseffekter. Datakvaliteten för resistivetsdata påverkas oftast inte nämnvärt genom att använda sig av separerade kablar.

Magnetometer

Mätningar med magnetometer utfördes längs samma linjer som för resistivitet-IP. Till mätningarna användes två stycken magnetometrar, dels en basstation, samt en gradiometer som användes för att mäta vertikal gradient. Basstationen ger en totalfältsmätning på en specifik position, dessa varierar alltså med tiden (de uppmätta värdena varierar, fast position). Magnetometern som användes var en Geometrics G-858 (Figur 6) och basstationen var en Geometrics G-856.



Figur 6. Mätning med magnetisk gradiometer.

Gradiometern mäter totalfältet i två punkter med ett konstant (här vertikalt) avstånd, sedan rör sig sensorerna längs mätlinjerna när geofysikern vandrar. Här varierar både position samt mätvärden. Totalfält mäts i nT och gradienten i nT/m. Avståndet mellan sensorerna vid denna mätning är 0.7 m (kan justeras vid behov). Egentligen är basstationen överflödig vid gradientmätning, men om totalfältet skall användas så är denna information värdefull.

Stångslingram

Mätningar med en stångslingram gjordes längs samma linjer som övriga metoder. Stångslingram är en elektromagnetisk induktionsmetod. Slingramen består av två stycken

spolar, en sändarspole och en mottagspole. I sändarspolen induceras ett magnetfält som fortplantar sig genom luften och genom marken som mätningen utförs över. Det primära magnetfältet är det fält som genereras i sändarspolen, det sekundära magnetfältet är det magnetfält som inducerats då det primära fältet har stött på ett elektromagnetiskt ledande objekt.

För denna fältundersökning användes en EMP-400 från GSSI. EMP-400 är ett mindre instrument med en spolseparation på endast 1.21 meter mellan sändare- och mottagspole (Figur 7). Instrumentet kan enkelt skötas av en person och styrs av en handdator som är ihopkopplad med instrumentet. Den tillhörande handdatorn innehåller även en GPS som möjliggör enkel loggning av positionsdata vid användning. Instrumentet har möjlighet att sända ut signaler på tre stycken frekvenser per mätcykel (1 kHz – 16 kHz). Handdatorn utför beräkningar under mätning och presenterar sedan data för varje mätt frekvens. Frekvenserna 3, 8 och 15 kHz användes för mätningarna i detta fall.



Figur 7. Mätning med stångslingram.

Mätdata från slingramen kan presenteras som skenbar konduktivitet eller skenbar resistivitet, där skenbar betyder att mätvärdet inte kan hänföras till ett visst djup utan är ett medelvärde av egenskaperna inom undersökningsdjupet som i detta fall är några få meter som mest. Förutom detta mäter instrumentet även magnetisk susceptibilitet, vilket är en materialegenskap som beskriver hur magnetiskt ett material blir i externa magnetfält.

Analys

Resistivitet-IP

För att det skall vara möjligt att göra en bra tolkning av data skapas modeller av fördelningen av resistivitet och uppladdningsförmåga (IP-effekt) i det undersökta området. Denna typ av

modelltolkning kallas inversmodellering (eller kortade inversion). Modelltolkningen utfördes i dataprogrammet Res3dinv som skapar 3D-modeller av markens resistivitet (oförmåga att leda elektrisk ström) och uppladdningsförmåga (IP-effekt). Programmen skapar modeller av markens elektriska egenskaper m.h.a. finita elementmetoden (FEM) i kombination med s.k. inversmodellering. Topografin integreras i modellen genom att elementen i FEM-modellen deformeras. Så kallad robust inversion (L1-norm) användes här då den metoden är bättre på att hantera stora kontraster i resistivitet och även hanterar störningar i data på ett mera robust sätt (Loke et al 2003).

Residualerna ger ett mått på hur väl den tolkade modellen har kunnat anpassas till mätdata, och den genomsnittliga residualen bör helst inte överstiga några procent. Oftast hamnar residualen på några få procent med den använda utrustningen och programvaran.

För visualisering och presentation användes Surfer från Golden Software. Resultaten från modelltolkningen med 2D-teknik presenteras i form av vertikala sektioner som visar djupsnitt av fördelningen av resistivitet (Ωm) och IP-effekt (uppladdningsförmåga, mV/V). Exempel på djupsnitt presenteras inne i textdelen av rapporten, och samtliga återfinnes i Bilaga 3 respektive Bilaga 4. I Bilaga 2 presenteras exempel på djupsnitt ur 3D modeller tillsammans med lägen för ledningar och uppskattade lägen för befästningsrester.

Magnetometer och stångslingram

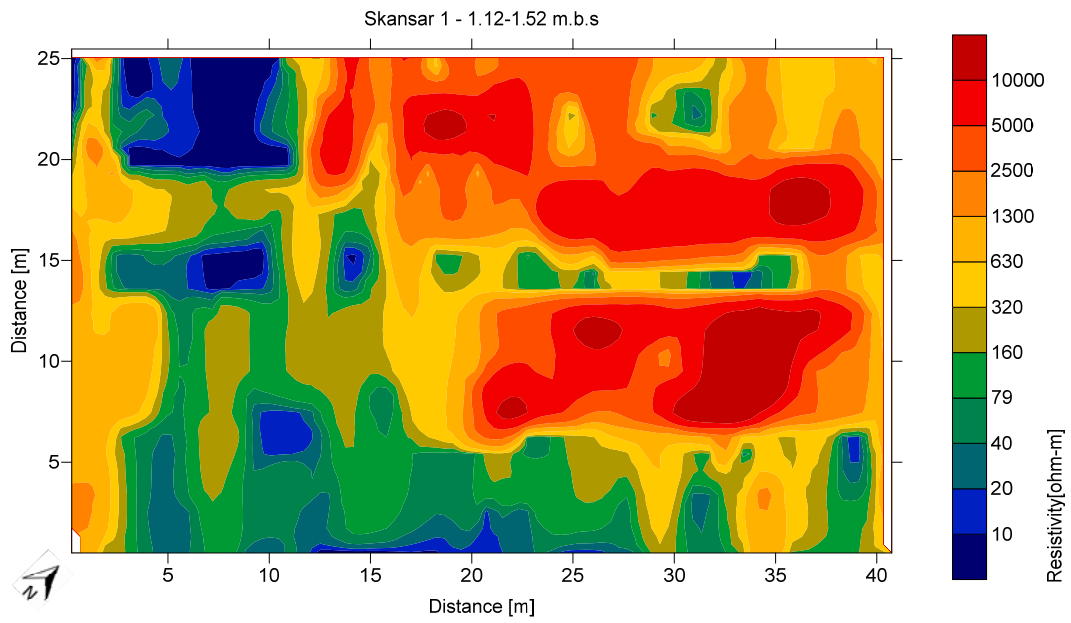
För magnetometern gjordes korrigerings av totalfältsdata m.h.a. data från basstationen. Resultaten från mätningarna med magnetometer och stångslingram har ritats upp som plankartor m.h.a. programvaran Surfer från Golden Software.

Resultat försöksområde 1

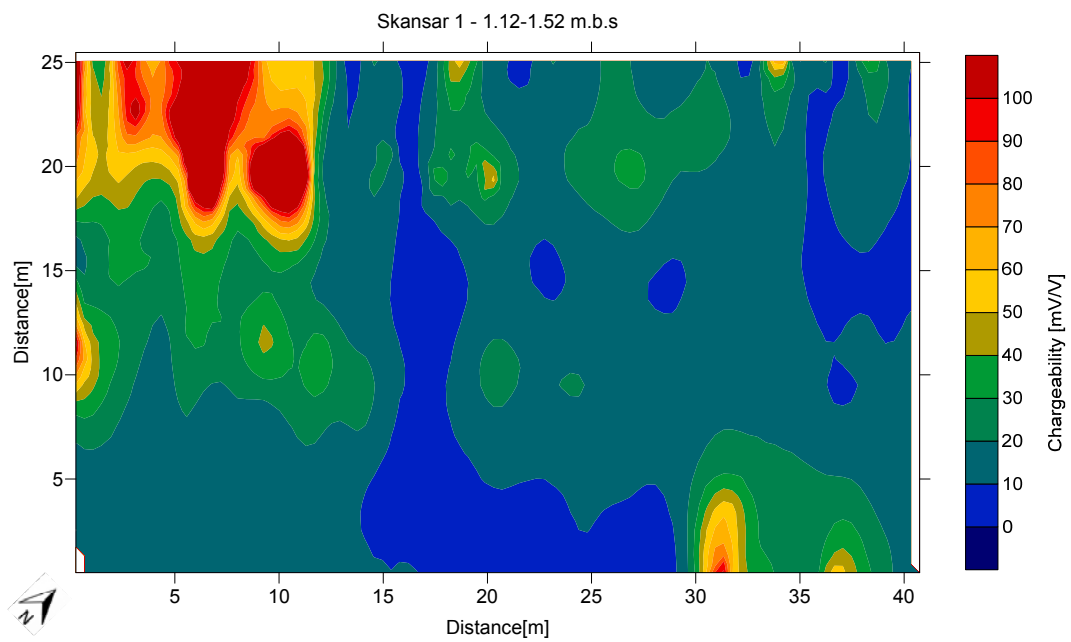
Resistivitet - IP

Modelltolkningen med hjälp av Res3dinv resulterade i acceptabla residualer, 6,0 % för resistivitetsmodellen och 5,6 % för IP-modellen. Att residualerna inte blir lägre beror bland annat på att det är mycket stora kontraster i resistivitet i marken, resistiviteterna i modellen varierar från under 10 Ωm till över 10 000 Ωm , vilket gör det svårt att anpassa modellen så att det blir god överensstämmelse mellan modellsvar och uppmätta data.

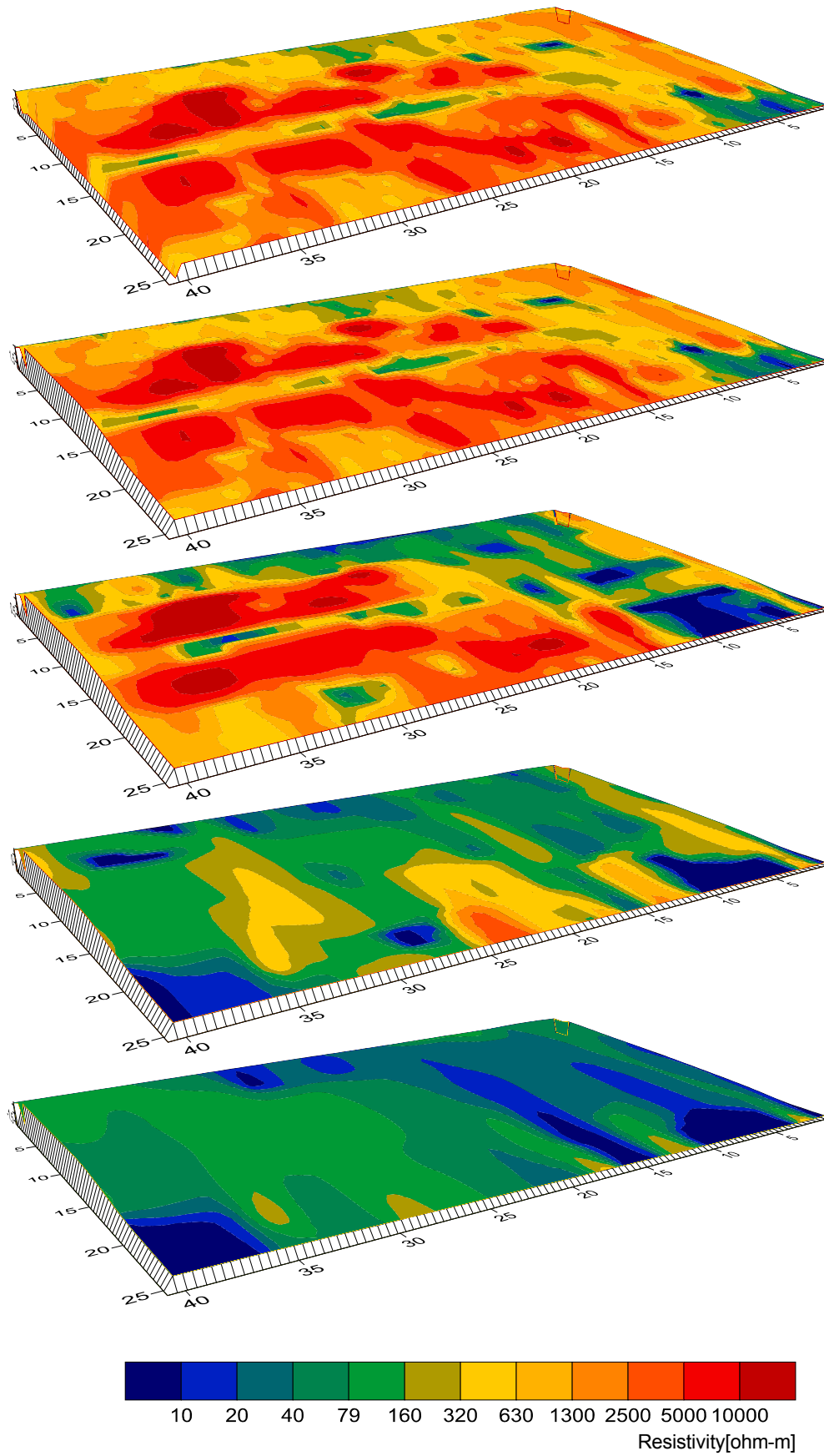
Generellt sett är resistiviteten högre i de övre delarna av modellen och lägre i undre delarna (Figur 8, Figur 10 och Bilaga 3). Tydliga mönster i variationerna i resistivitet och uppladdningsförmåga (Figur 9), som är synliga i flera djupskikt. Två större högresistiva långsträckta zoner med utsträckning i riktning SV-NO (vänster-höger) i intervallet från markytan ned till 1,5-2 meters djup (Figur 8). Alternativt kan man se det som en större högresistiv zon som genomkorsas av en lågresistiv zon. i riktning SV-NO (vänster-höger) Vidare syns en högresistiv zon i syd-västra (vänstra) kanten av det undersökta området.



Figur 8. Exempel på djupsnitt (1,12 – 1,52 m.u.m.y) ur resistivetsmodellen från försöksområde 1.



Figur 9. Exempel på djupsnitt (1,12 – 1,52 m.u.m.y) ur IP-modellen från försöksområde 1.



Figur 10. Perspektivvy med exempel på djupsnitt (0-0,2, 0,5-0,8, 1,1-1,5, 2,0-2,5 resp. 3,1-3,8 m.u.m.y) ur resistivetsmodellen från försöksområde 1. Vy från NV mot SO.

De låga resistiviteterna kan orsakas av marint avsatt lera eller saltvattenmättade grövre sediment. De höga resistiviteterna kan bero på att det är sten, betong, sand, grus, grovkorninga fyllnadsmassor o.likn. De högresistiva zonerna skulle således kunna tolkas som rester av murar, men det kan också vara lämningar från industribyggander eller konstruktioner, eller fyllnadsmassor. Stråket med lägre resistivitet som genomkorsar detta område sammanfaller med den icke hårdgjorda ytan mellan den övre och nedre delen av parkeringen, och kan orsakas av t.ex. avvikande materialsammansättning eller vattenhalt.

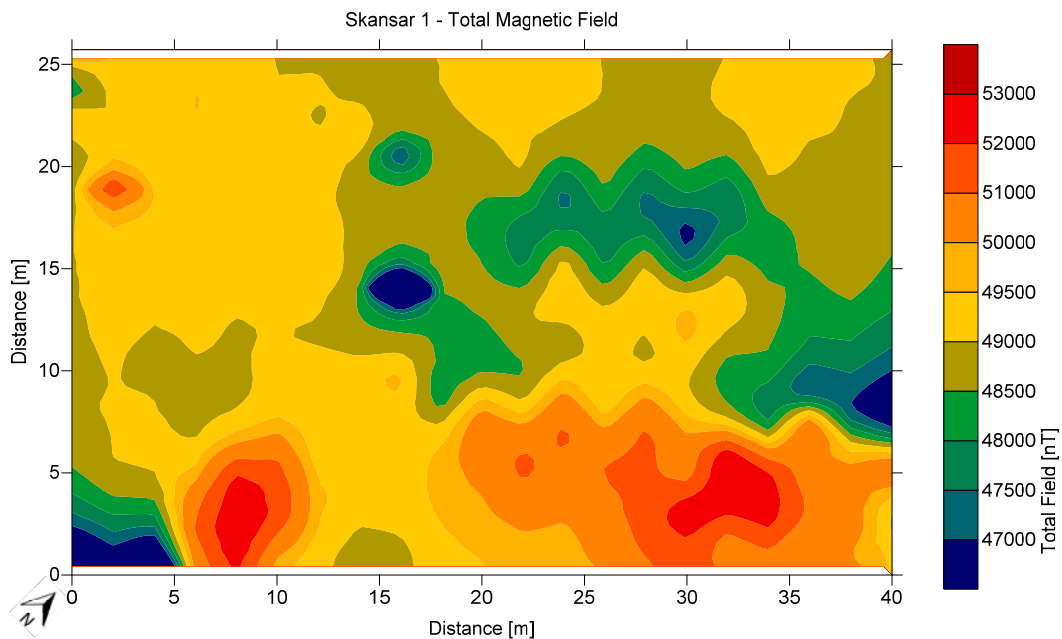
Uppladdningsförmågan (IP-effekten) är kraftigt förhöjd i den västligaste (övre vänstra) hörnan av området, och det sträcker sig ett stråk med förhöjd IP-effekt nedåt från den zonen (Figur 9 och Bilaga 3). Det finns några andra zoner med förhöjd IP-effekt, tydligast i östligaste (nedre högra) hörnan av området.

De förhöjda IP-effekterna skulle kunna orsakas av det organiska materialet i rustbäddar och pålning. Det kan dock också finnas andra tänkbara orsaker som t.ex. metallobjekt eller förorenad mark.

Magnetometer

Det magnetiska totalfältet uppvisar tydliga variationer med höga magnetfält i den syd-östra (undre) delen av området och ett stråk med lägre magnetfält i de centrala delarna (Figur 11).

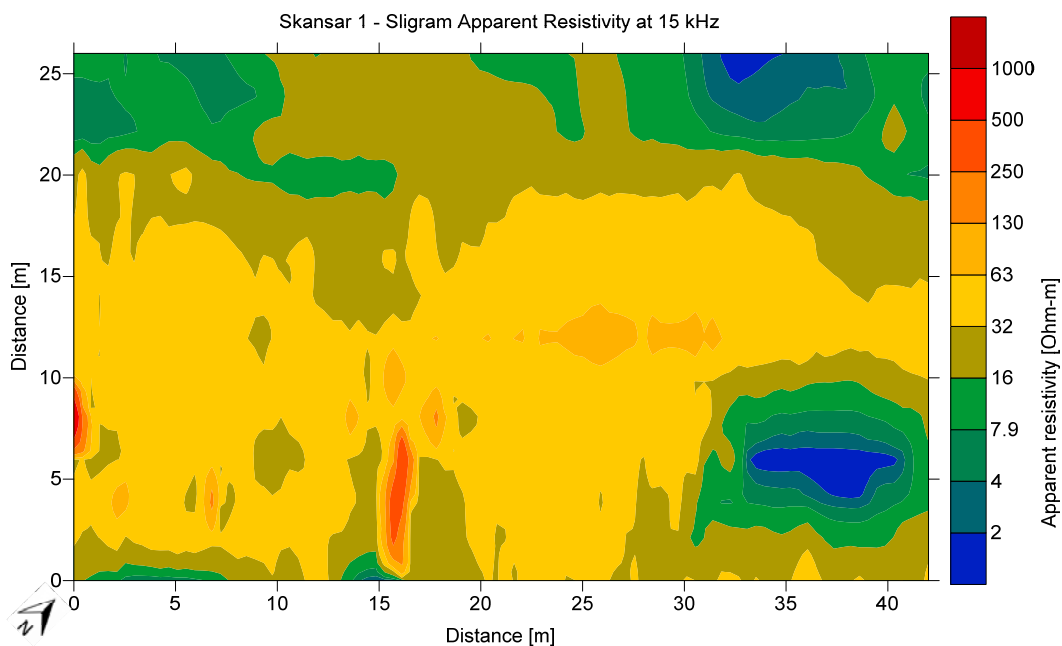
Högre magnetfält kan i arkeologiska sammanhang ofta associeras med murar av sten eller tegel. Metallobjekt ger dock upphov till stora magnetfält vilket försvårar tolkningen i detta fallet.



Figur 11. Magnetiskt totalfält från försöksområde 1.

Stångslingram

Resultaten av mätningarna med stångstångslingram visar skenbara resistiviteter runt $50 \Omega\text{m}$ i stora delar av området. Resultaten är likartade för de tre frekvenserna, och det från 15 kHz visas i Figur 12. Längs den nord-västra (övre) kanten på området samt i det östra (nedre högra) hörnet är den skenbara resistiviteten lägre, ned till enstaka Ωm . Ett smalt stråk med högre resistivitet syns intill längdkoordinat 15 meter. Det finns ingen dokumentation som kan ge någon antydning om vad den orsakas av.



Figur 12. Skenbar resistivitet baserad på mätning med 15 kHz i försöksområde 1.

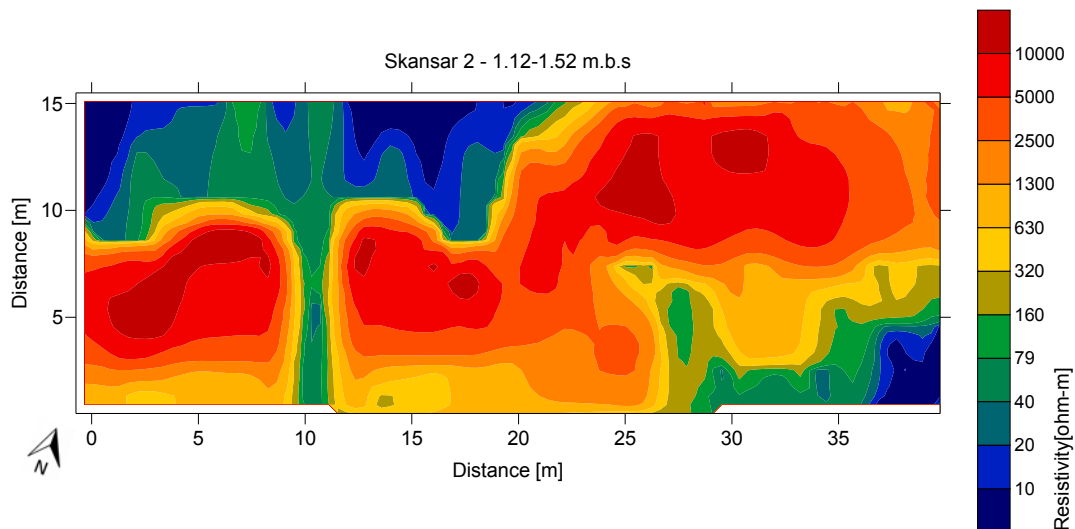
Resultat försöksområde 2

Resistivitet - IP

Modelltolkningen med hjälp av Res3dinv resulterade i låga residualer för resistivitetsmodellen (3,3 %) och något högre för IP-modellen (6,7 %). Även i detta område är det stora kontraster, resistiviteter i modellen varierar från under $10 \Omega\text{m}$ till över $10\,000 \Omega\text{m}$, men trots det har det gått bra att anpassa modellen. De högre residualerna för IP-modellen gör att man troligen får dålig upplösning i denna förutom i de ytligare delarna.

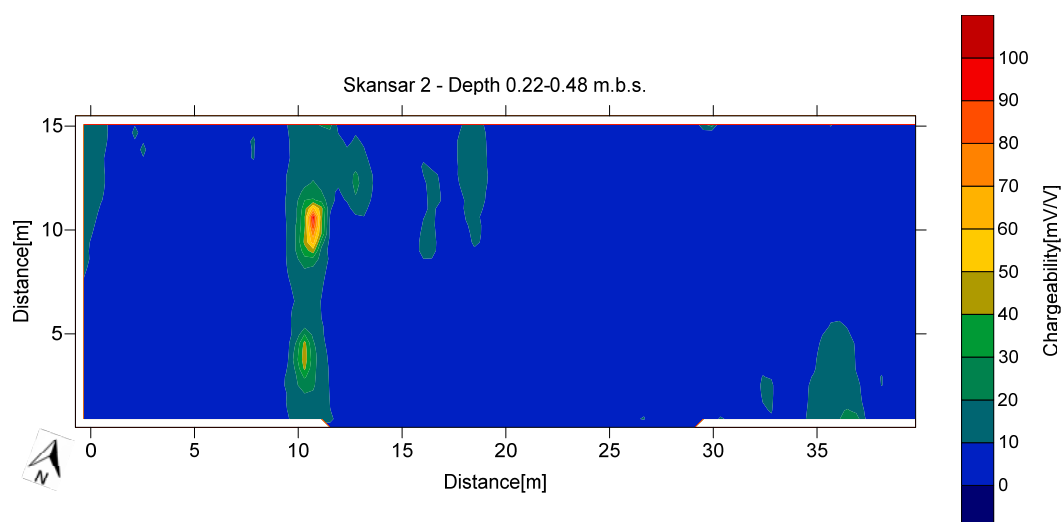
Resistiviteter i de ytligaste delarna av modellen ligger mestadels i intervallet $100 - 1000 \Omega\text{m}$, men det finns en del zoner med resistiviteter som är något över eller under det (Figur 13, Figur 15 och Bilaga 4). På djup någonstans i intervallet $0,5 - 1$ meter börjar en högresistiv struktur framträda som syns ned till $2,5$ meters djup (Figur 13). Strukturen sträcker sig i riktning VSV – OSO (vänster – höger), och den är som mest distinkt i djupintervallet $1,1 - 2$ meter. Under $2 - 3$ meters djup är resistiviteterna mycket låga. Omkring koordinat 10 m i längsriktningen framträder en distinkt lågresistiv zon som skär tvärs igenom den högresistiva strukturen.

De intermediära resistivitetera i det ytligaste skiktet kan tolkas som material som består av fyllnadsmassor, arkeologiska avlagringar eller naturliga jordar, eller en kombination av dessa. Den högresistiva strukturen kan tolkas som murrester av sten, medan de låga resistiviterna på ömse sidor om och under denna kan tolkas som marint avsatt lera eller saltvattenmättade grovkornigare sediment. Den smala lågresistiva zonen skulle kunna utgöras av en ledning eller ledningsgrav, troligen den betongledning som är markerad i ledningskartan (Bilaga 1 och Bilaga 2).



Figur 13. Exempel på djupsnitt (1,12 – 1,52 m.u.m.y) ur resistivetsmodellen från försöksområde 2.

Ett smalt stråk med högre uppladdningsförmåga framträder i de ytligare modellagren omkring längdkoordinat 10 meter (Figur 14 och Bilaga 4). På grund av de relativt höga residualerna och avsaknaden av tydliga strukturer i de djupare delarna av IP-modellen är det med största sannolikhet inte meningsfullt att försöka tolka ut något ur de djupare lagren.



Figur 14. Exempel på djupsnitt (0,22 – 0,48 m.u.m.y) ur IP-modellen från område 2.

Planläget för ståket med högre IP-effekt sammanfaller med den lågresistiva zonen som kan tolkas som en ledning eller ledningsgrav. Detta styrker tolkningen eftersom dessa ofta ger upphov till förhöjd IP-effekt.

Diskussion och slutsatser

Samtliga mätresultat förefaller ha fungerat väl mättekniskt sett genom att de resulterar i sammanhängande plankartor över respektive geofysisk parameter utan några extrema avvikelser. I båda testområdena syns högresistiva zoner som skulle kunna tolkas som rester av bastionmurar. Tydligast framträdet det i resultaten från testområde 2, vid Rosenlund. En mera djupgående tolkning av mätresultat är för närvarande inte möjlig då det saknas tillämpligt med referensdata av lämpligt slag.

För område 1, vid Skeppsbron, är en möjlig tolkning är att de högresistiva stråken utgörs av parallella rester av murar. Det har dock inte varit möjligt att korrelera de geofysiska signaturen med dokumentationen från schakter där murrester påträffats (Svedberg 2008). Det finns ett antal tänkbara alternativa orsaker till detta. De geofysiska signaturen från murarna kan vara starkt påverkade av senare bebyggelse i området och att det förekommit industriverksamhet där. Det kan vara så att endast fragment av murarna finns kvar i sin ursprungliga form, och att mera sentida byggnadsdelar, fyllnadsmassor och rester från industriverksamhet får en dominerande inverkan på mätresultaten. Vidare finns det dokumenterat lera ovanpå murar i en del av området, vilket kan försvåra detekteringen med geoelektriska metoder om det ligger på större djup och om det är måttliga dimensioner på murdelarna.

Läget för förhöjda IP-effekter i område 1 sammanfaller med läget för påträffade rustbäddar, och kan därför möjligen tolkas ha samband med dessa. Det finns dock andra tänkbara förklaringar till förhöjda IP-effekter också, såsom t.ex. metall eller föroreningar.

Resultaten från mätning med magnetisk gradiometer (totalfält och gradient) och stångslingram visar till synes stabila resultat. De mönster som framträder vid uppritning av resultaten som plankartor kan dock inte omedelbart korreleras mellan metoderna eller med några kända strukturer.

För område 2, vid Rosenlund, framträder en högresistiv struktur i resistivitetsmodellen, vilken är tydligast på 1-2 meters djup. Läget för denna sammanfaller med ungefärligt förväntat läge för bastionen Christina Regina (Svedberg 2008), och det är därför rimligt att tolka det som en del av denna även om det inte stämmer riktigt med det skissade förväntade läget. En smal lågresistiv zon skär genom strukturen, vilket tolkas som en betongledning med eventuell ledningsgrav som skär genom den eller passerar i ovankant. Motsvarande smala zon syns även i IP-resultaten fast ytligare än för resistiviteten.

Referenser

Dahlin T. and Leroux V. (2012) Improvement in time-domain induced polarisation data quality with multi-electrode systems by separating current and potential cables, accepted for publication in *Near Surface Geophysics*.

Dahlin, T. & Zhou, B. (2006) Gradient array measurements for multi-channel 2D resistivity imaging, *Near Surface Geophysics*, 4, 113-123.

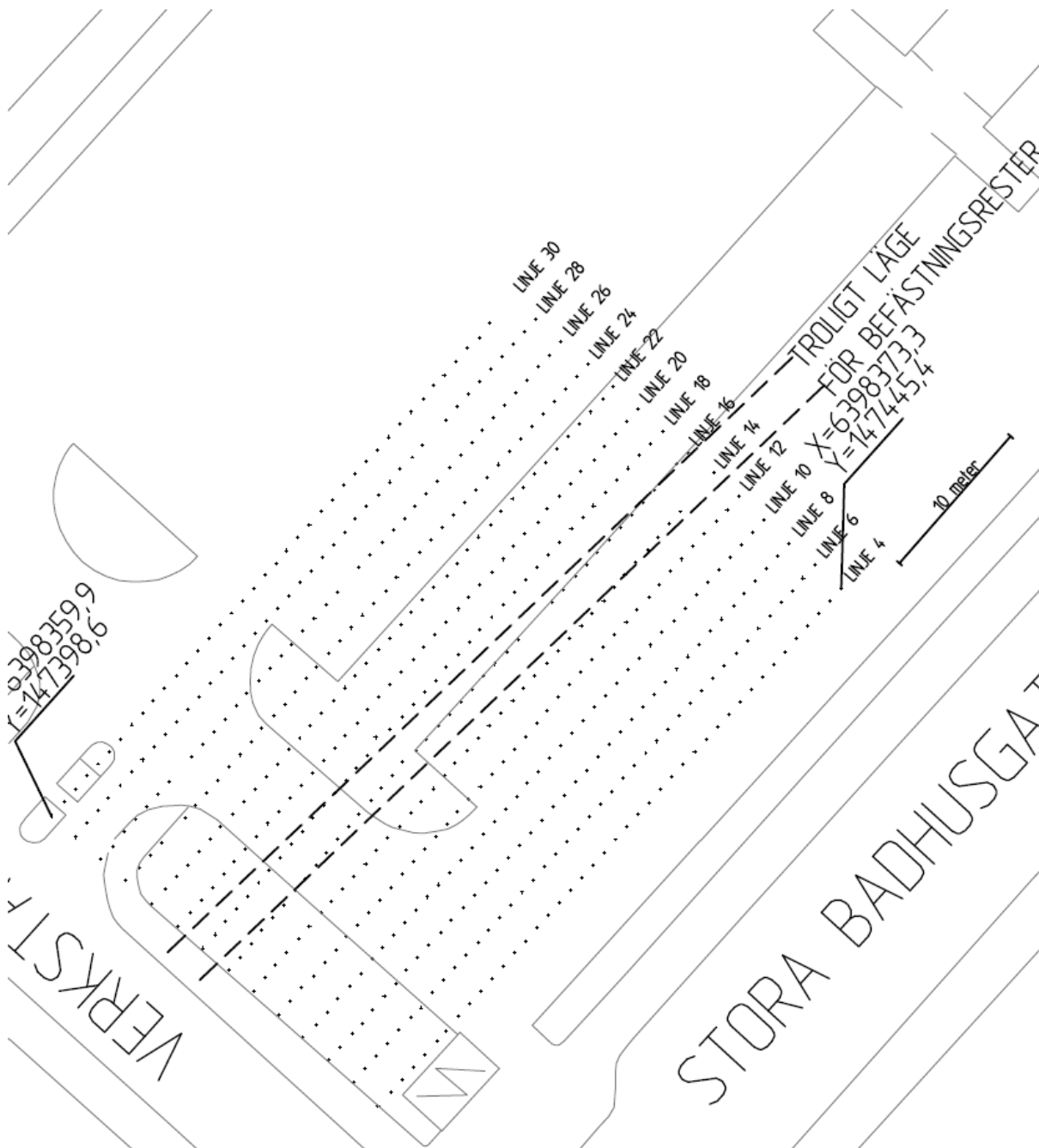
Loke, M.H., Acworth I. & Dahlin T. (2003) A comparison of smooth and blocky inversion methods in 2-D electrical imaging surveys. *Exploration Geophysics* **34(3)**, 182-187.

Svedberg, V. (2008) På spaning efter Badstugubastionen vid Skeppsbron i Göteborg, UV Väst Rapport 2008:23, Riksantikvarieämbetet, 58p.

Trafikverket (2006) *Västlänken.Järnvägsutredning, Underlagsrapport Kulturmiljö*, Trafikverket, BRUT2006:03:06.

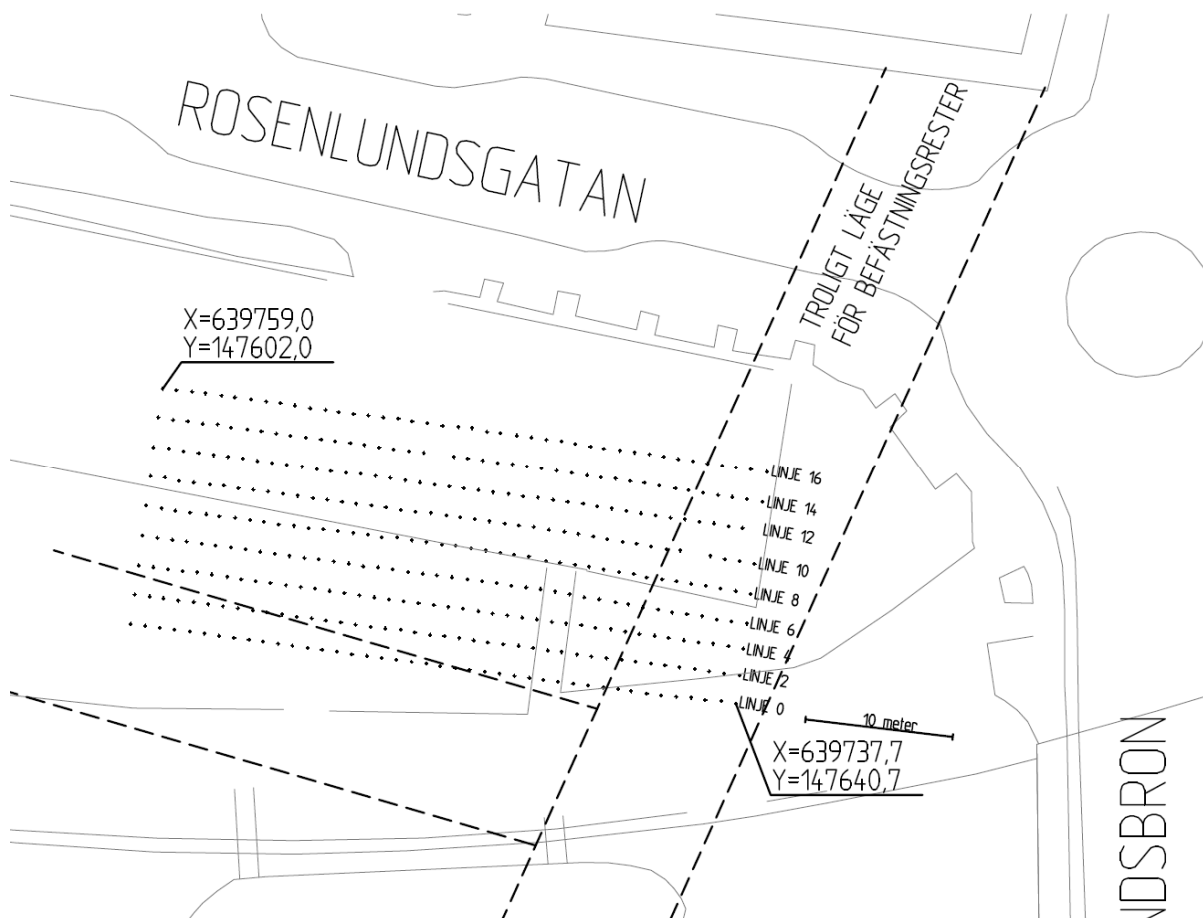
Bilaga 1. Troligt läge för befästningsrester samt ledningskartor

Troligt läge för befästningsrester i testområde 1.



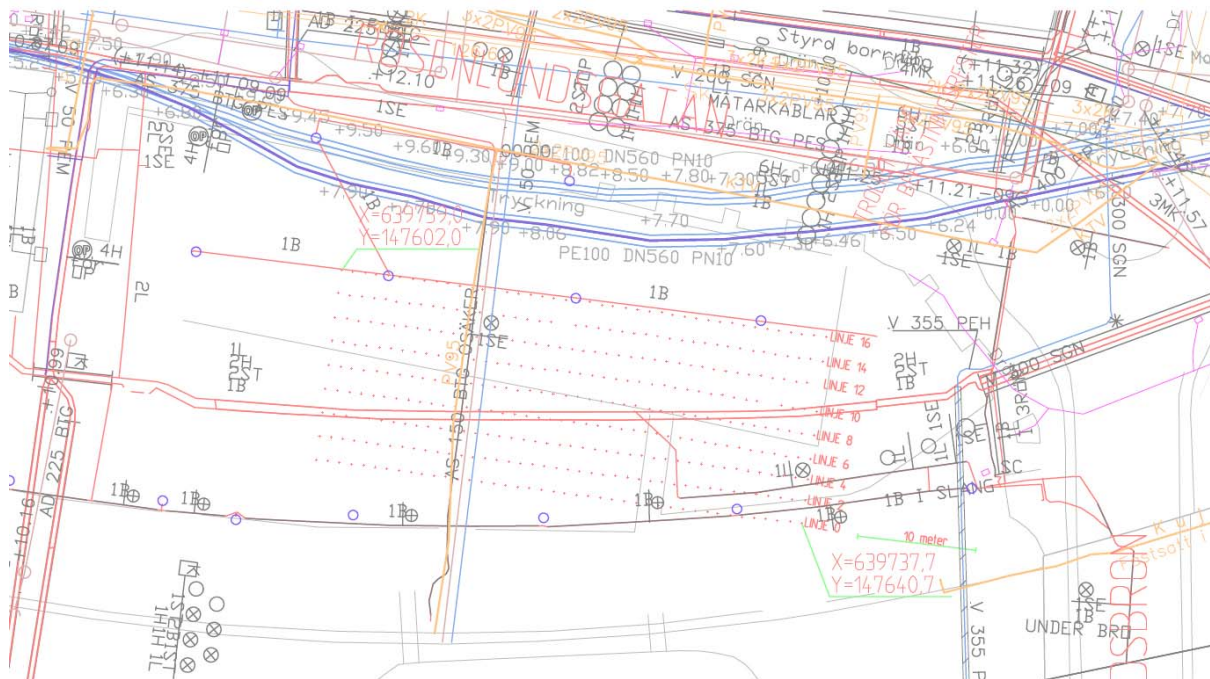
Bilaga 1. Troligt läge för befästningsrester samt ledningskartor

Troligt läge för befästningsrester i testområde 2.



Bilaga 1. Troligt läge för befästningsrester samt ledningskartor

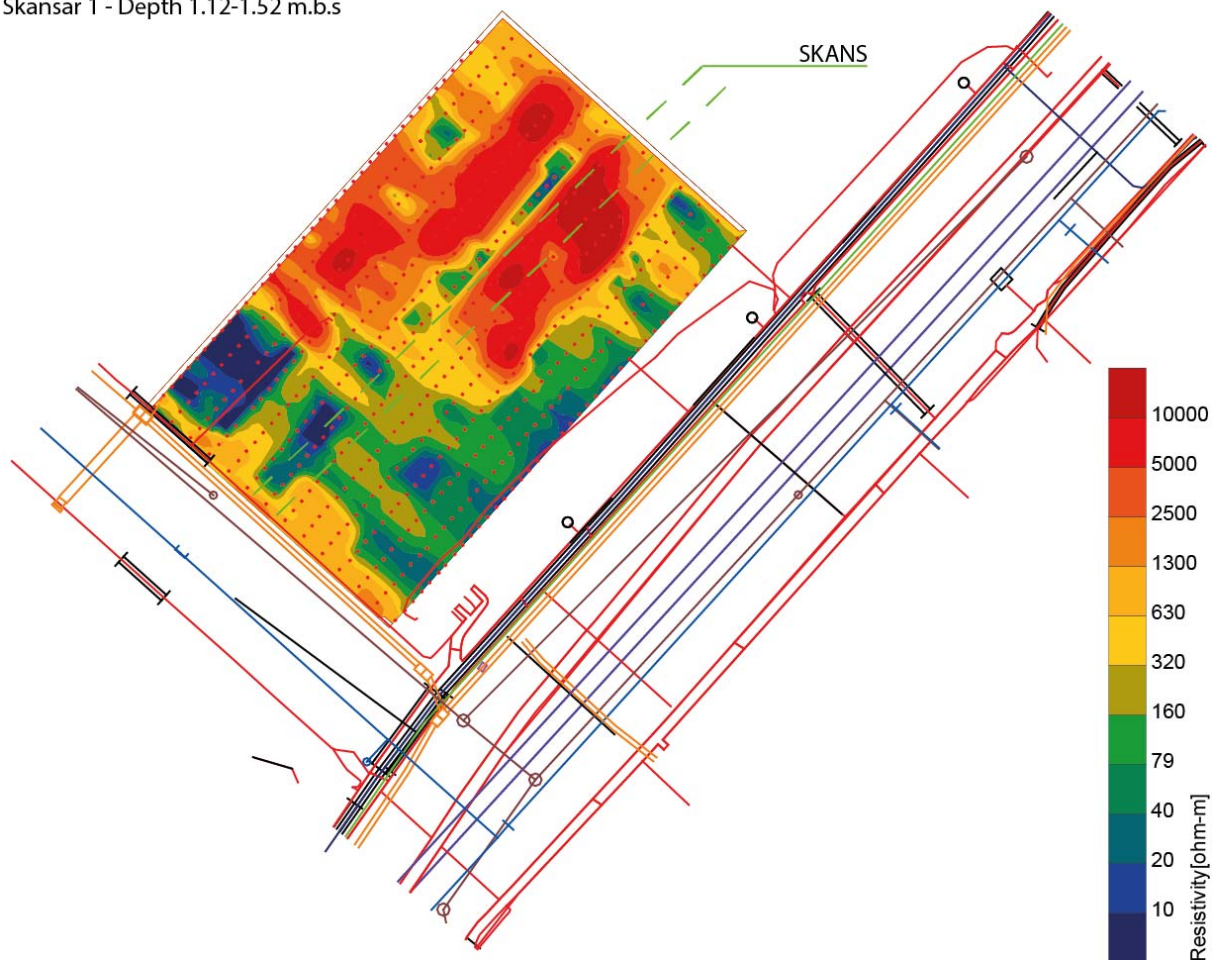
Ledningskarta för testområde 2.



Bilaga 2. Resultat med troligt läge för befästningsrester samt ledningskartor

Testområde 1: Djupsnitt ur 3D resistivetsmodell (1,12 – 1,52 m.u.m.y.)

Skansar 1 - Depth 1.12-1.52 m.b.s

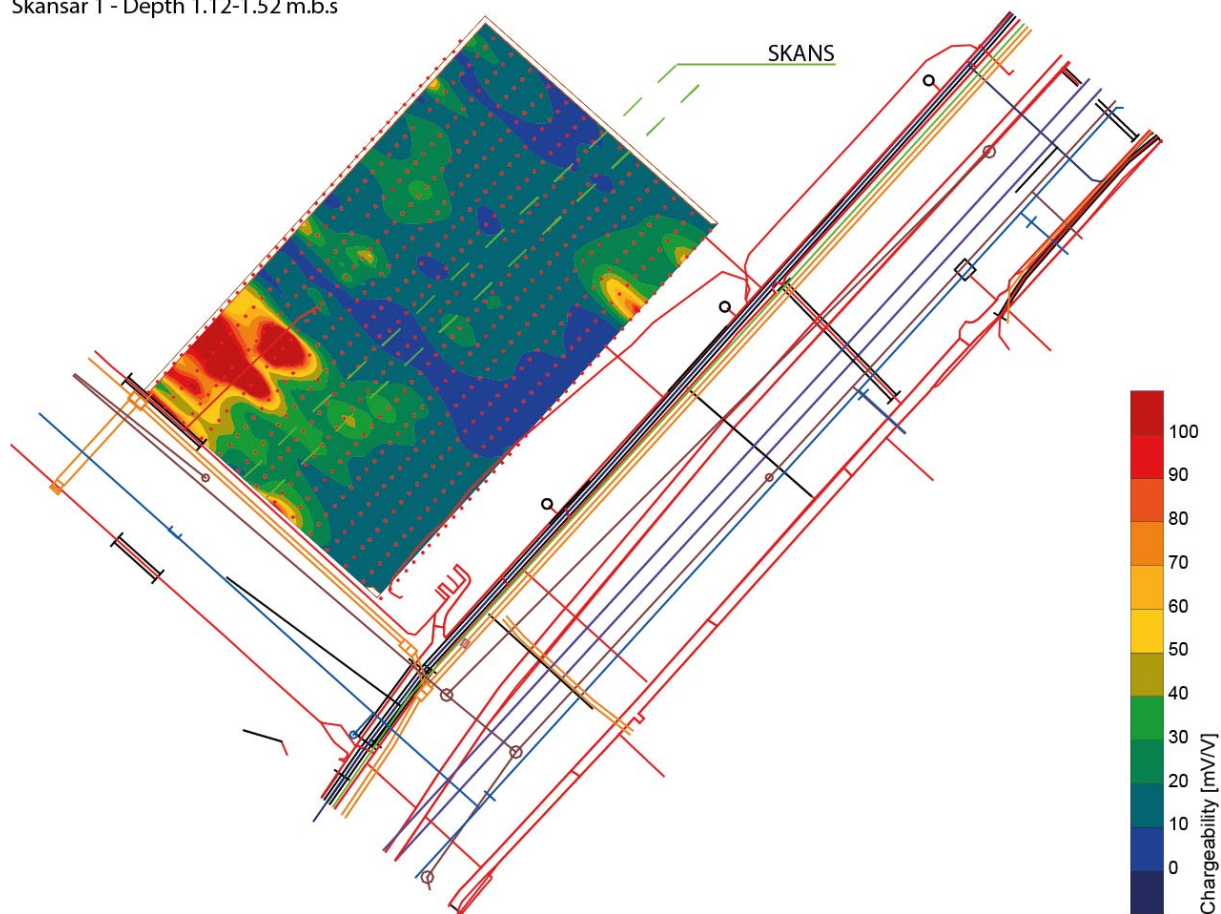


Läge för befästningsrester delvis verifierat genom provgroppsgrävning.

Bilaga 2. Resultat med troligt läge för befästningsrester samt ledningskartor

Testområde 1: Djupsnitt ur 3D IP-modell (1,12 – 1,52 m.u.m.y.)

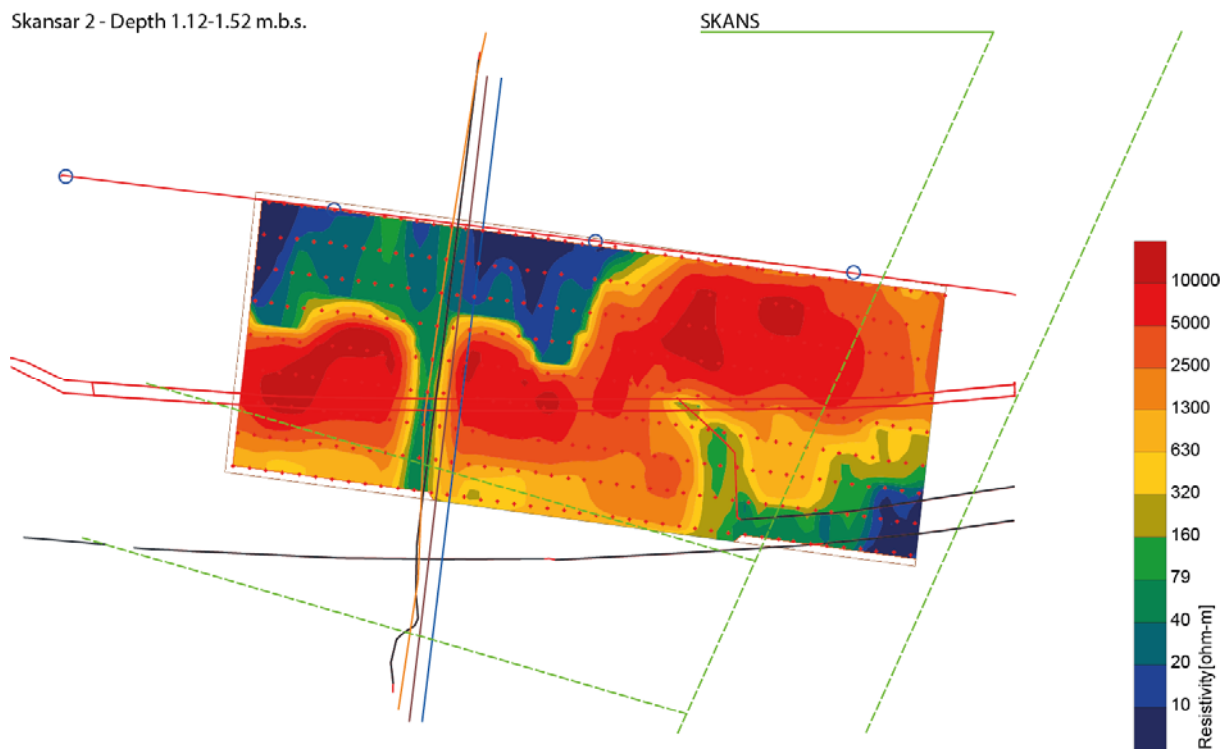
Skansar 1 - Depth 1.12-1.52 m.b.s



Läge för befästningsrester delvis verifierat genom provgroppgrävning.

Bilaga 2. Resultat med troligt läge för befästningsrester samt ledningskartor

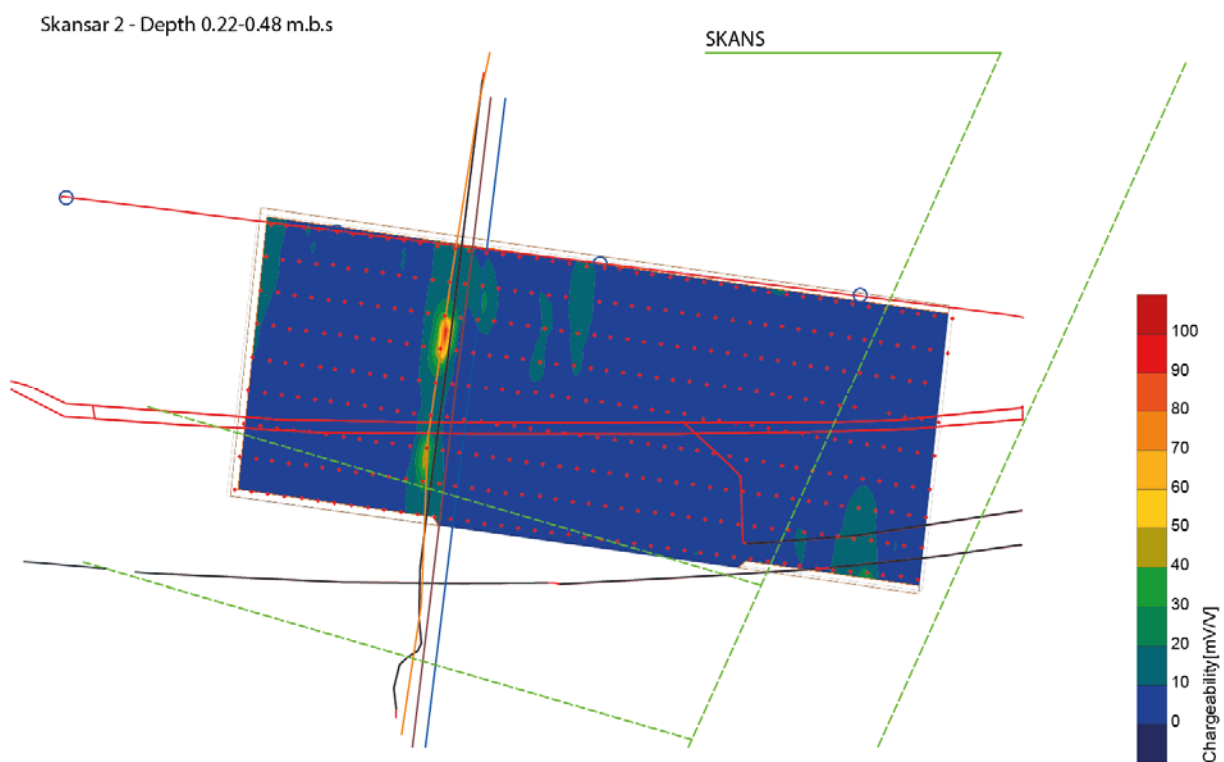
Testområde 2: Djupsnitt ur 3D resistivitetsmodell (1,12 – 1,52 m.u.m.y.)



Läge för befästningsrester uppskattat från äldre kartmaterial

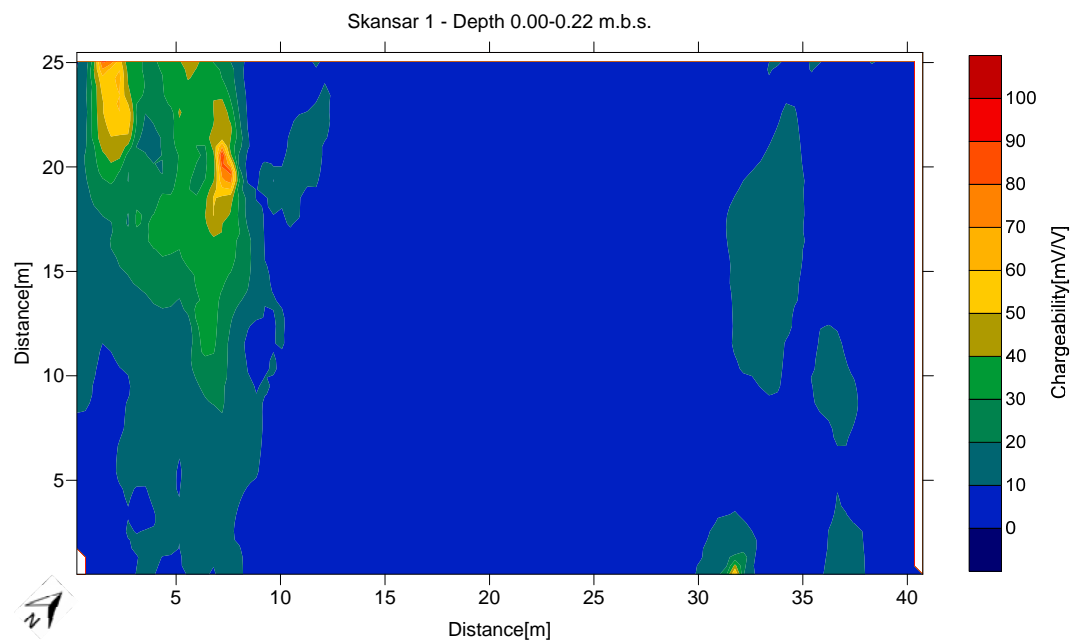
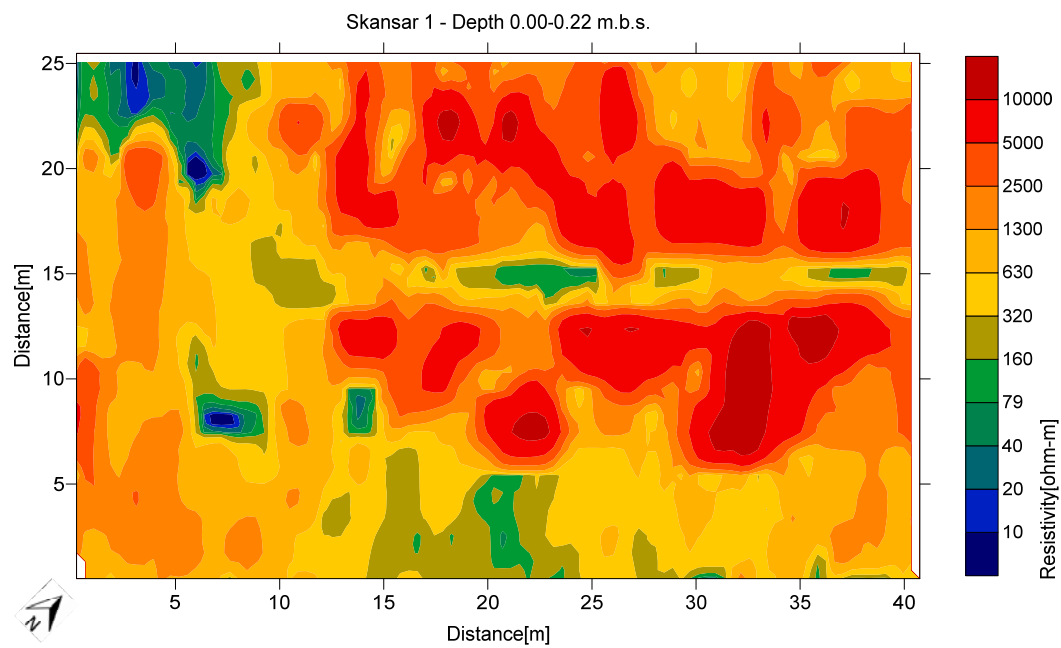
Bilaga 2. Resultat med troligt läge för befästningsrester samt ledningskartor

Testområde 2: Djupsnitt ur 3D IP-modell (0,22 – 0,48 m.u.m.y.)

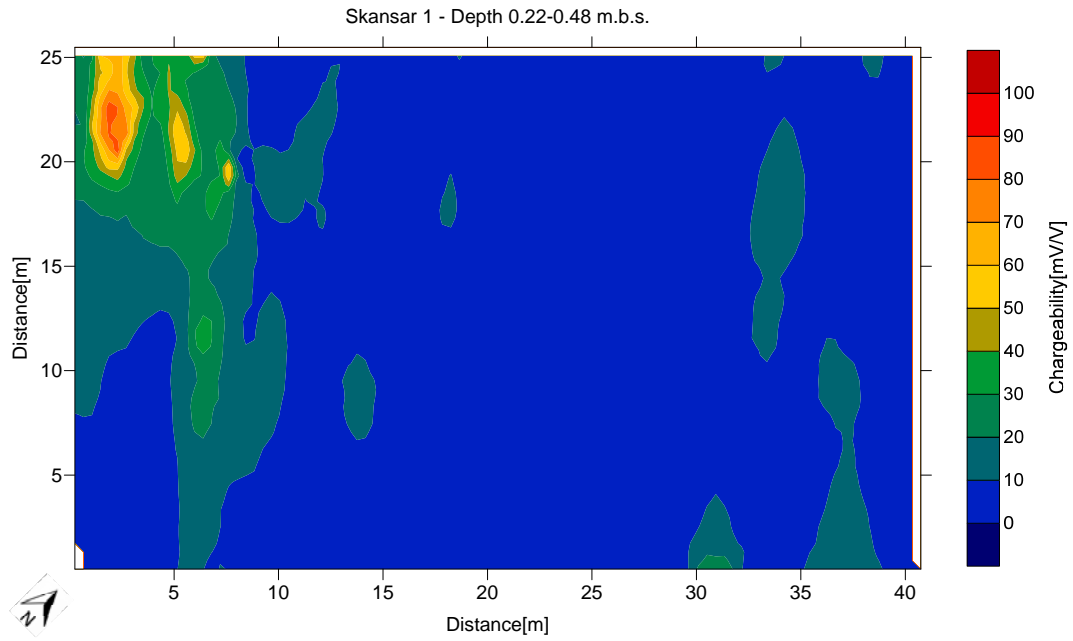
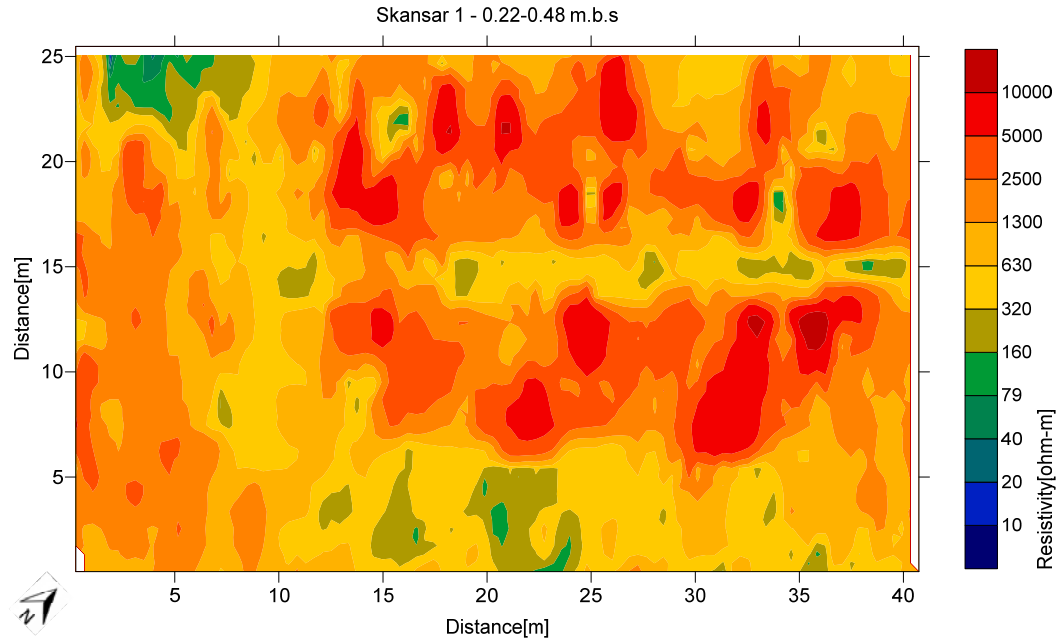


Läge för befästningsrester uppskattat från äldre kartmaterial

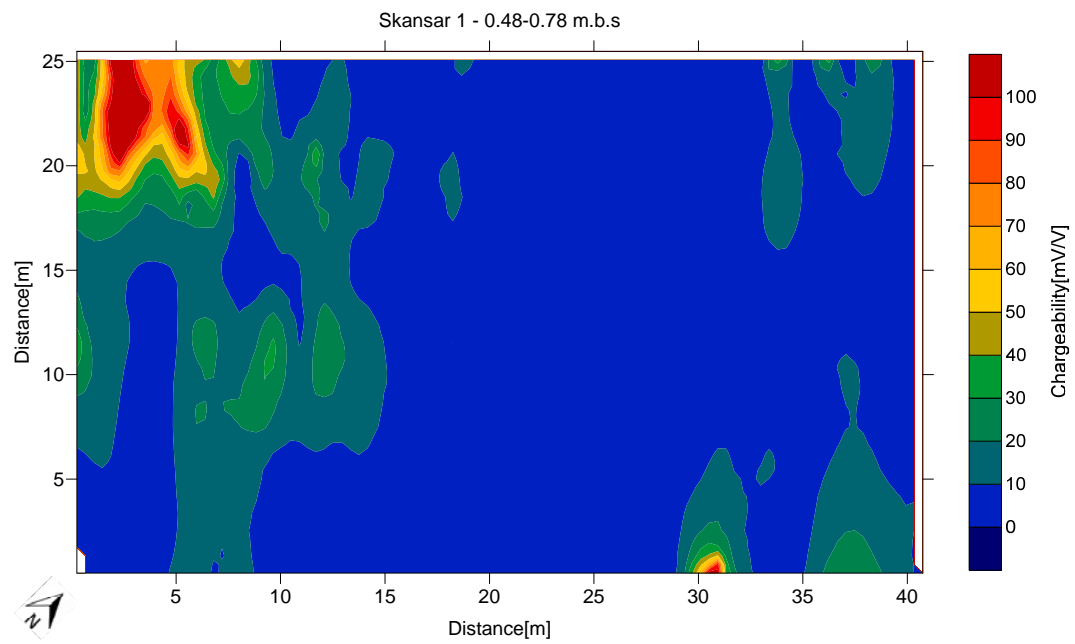
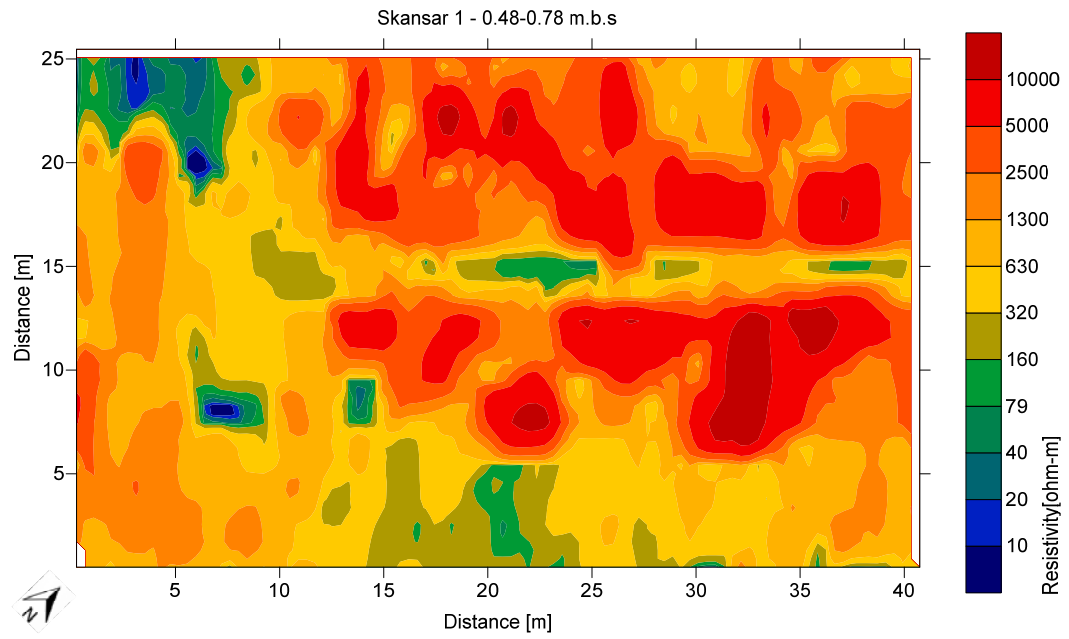
Bilaga 3. Djupsnitt ur 3D resistivitet-IP modeller från område 1



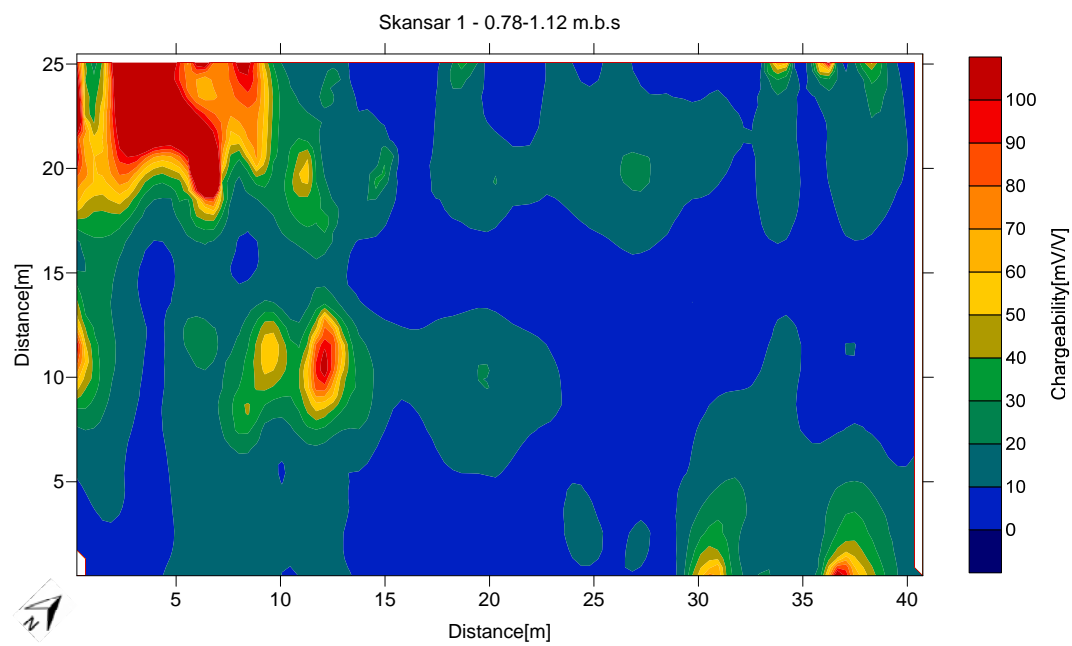
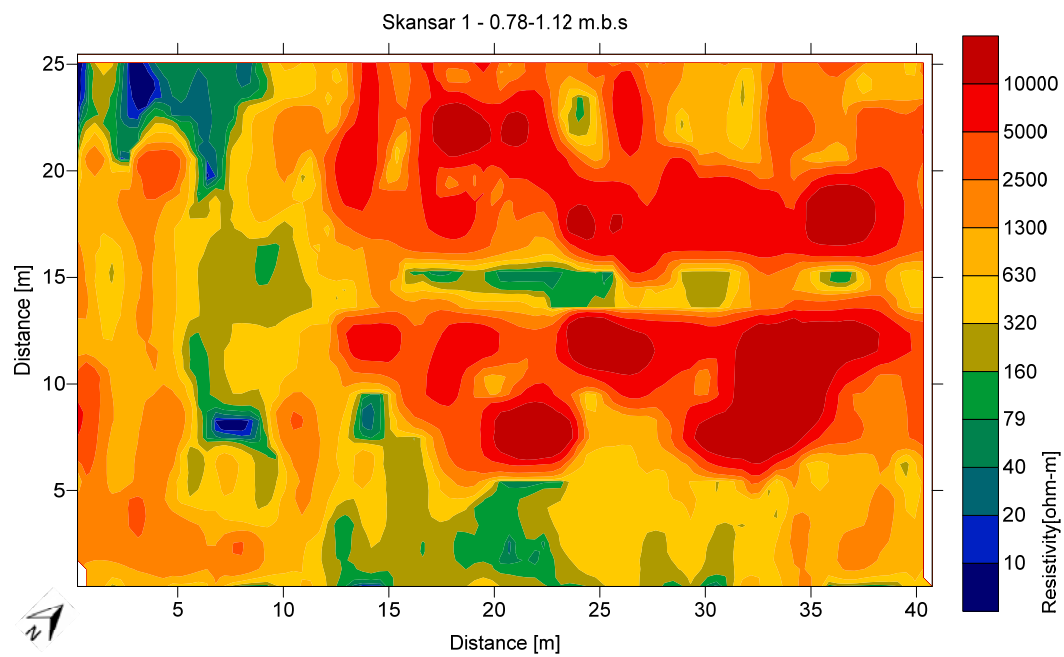
Bilaga 3. Djupsnitt ur 3D resistivitet-IP modeller från område 1



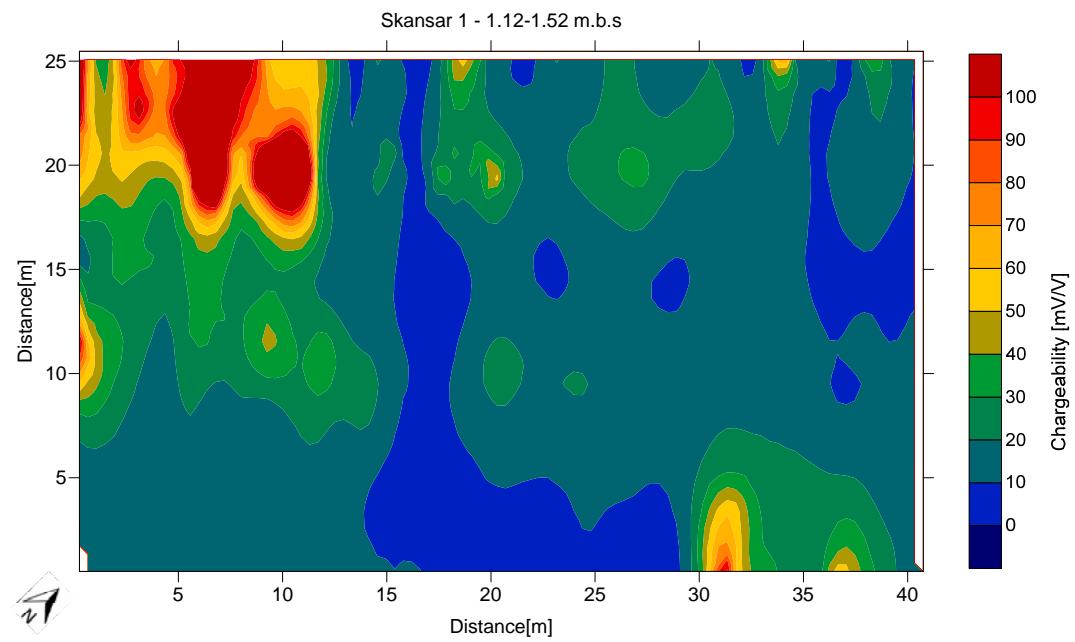
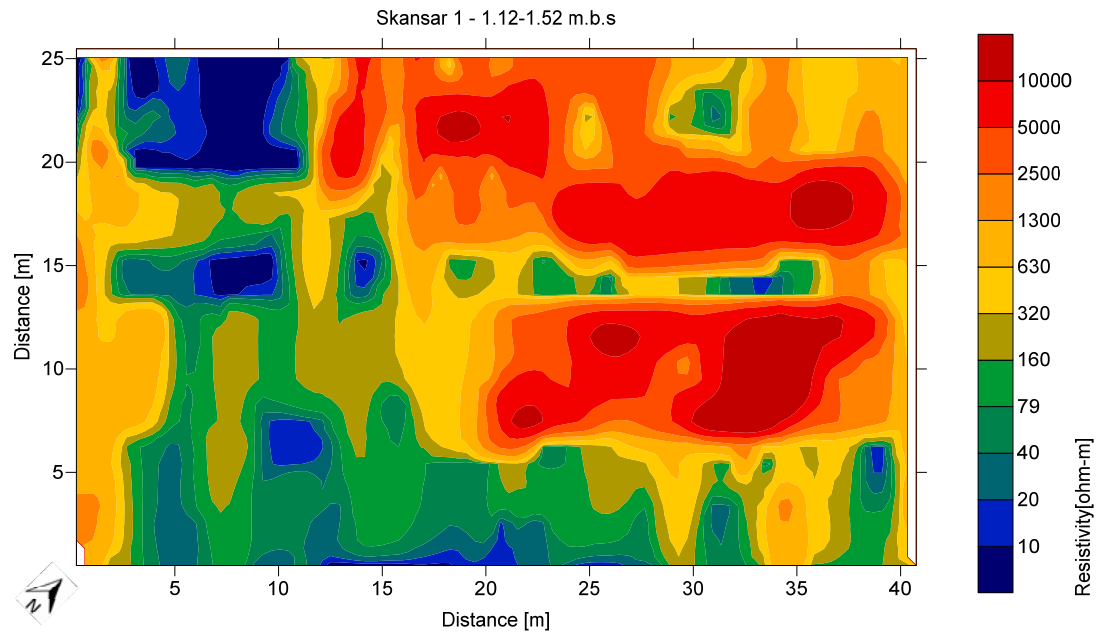
Bilaga 3. Djupsnitt ur 3D resistivitet-IP modeller från område 1



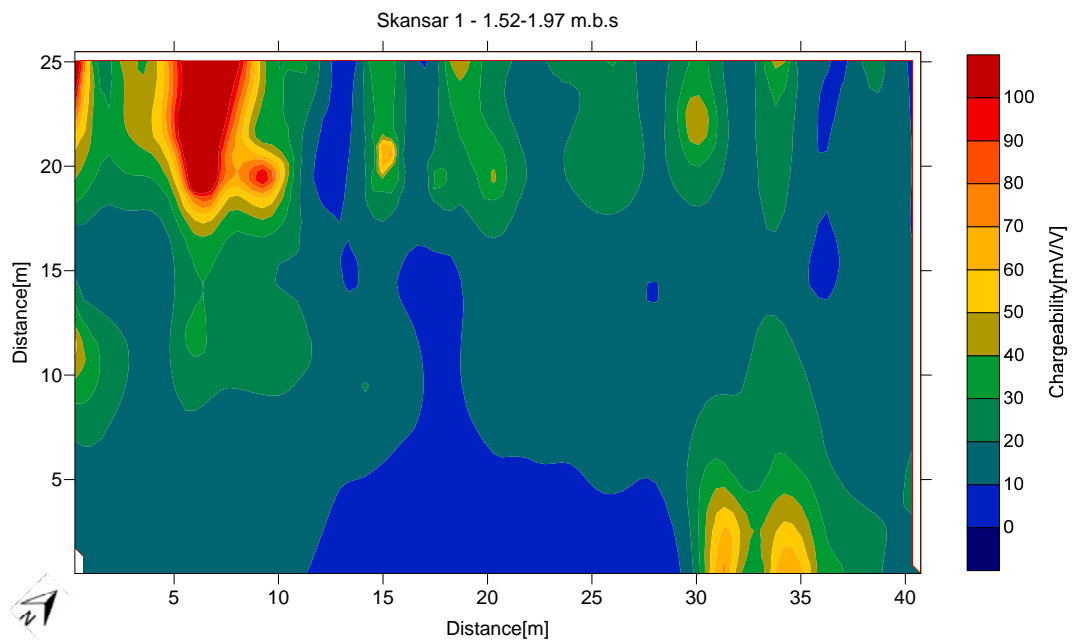
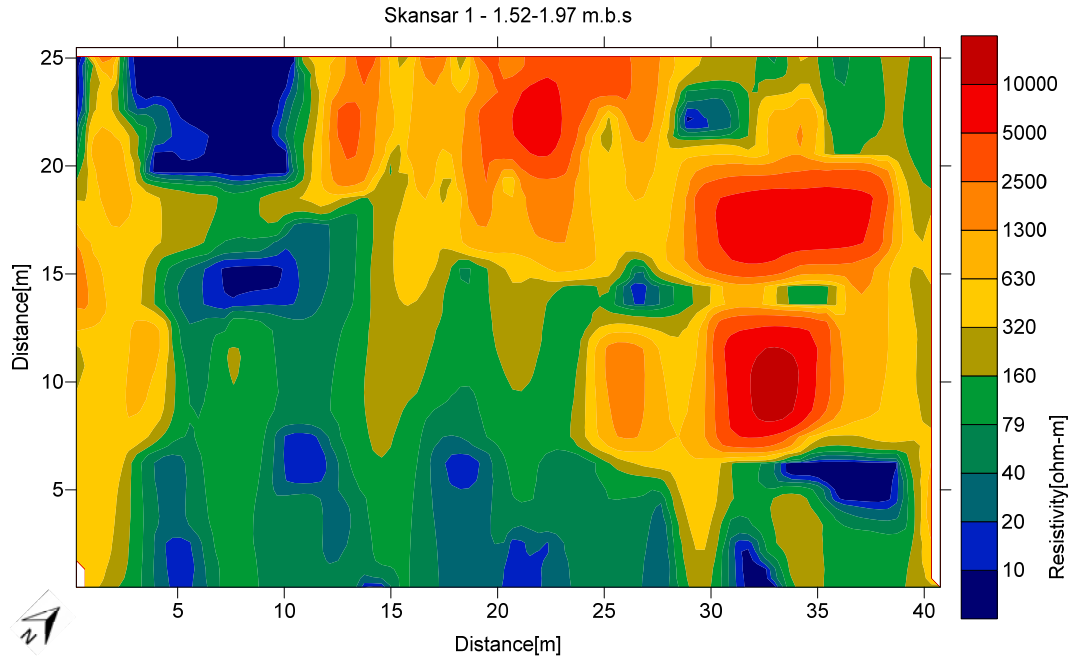
Bilaga 3. Djupsnitt ur 3D resistivitet-IP modeller från område 1



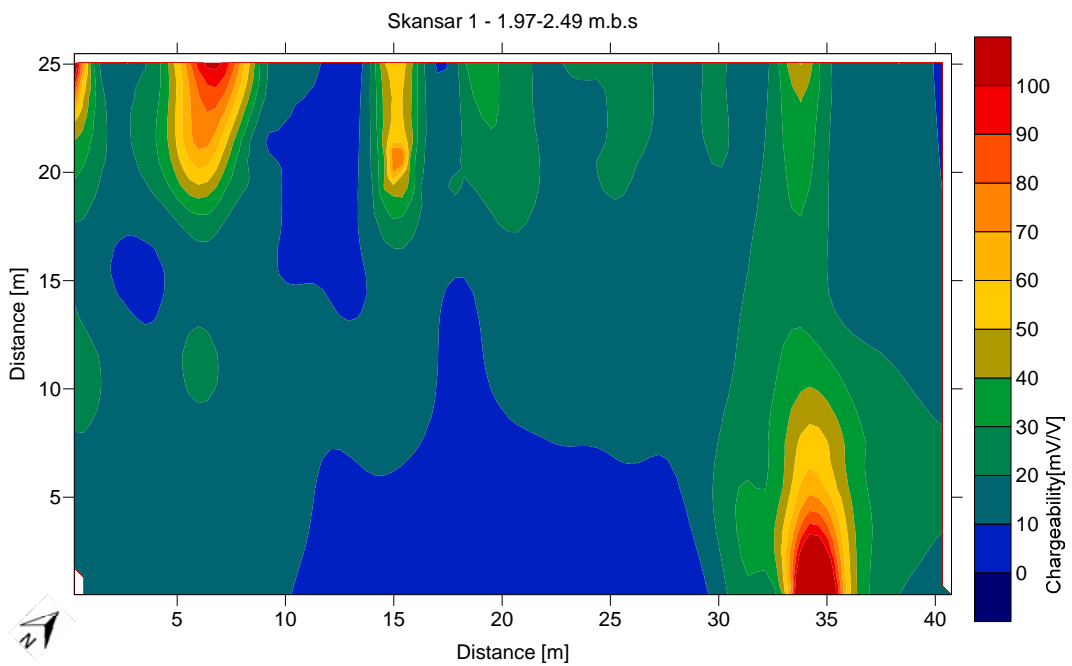
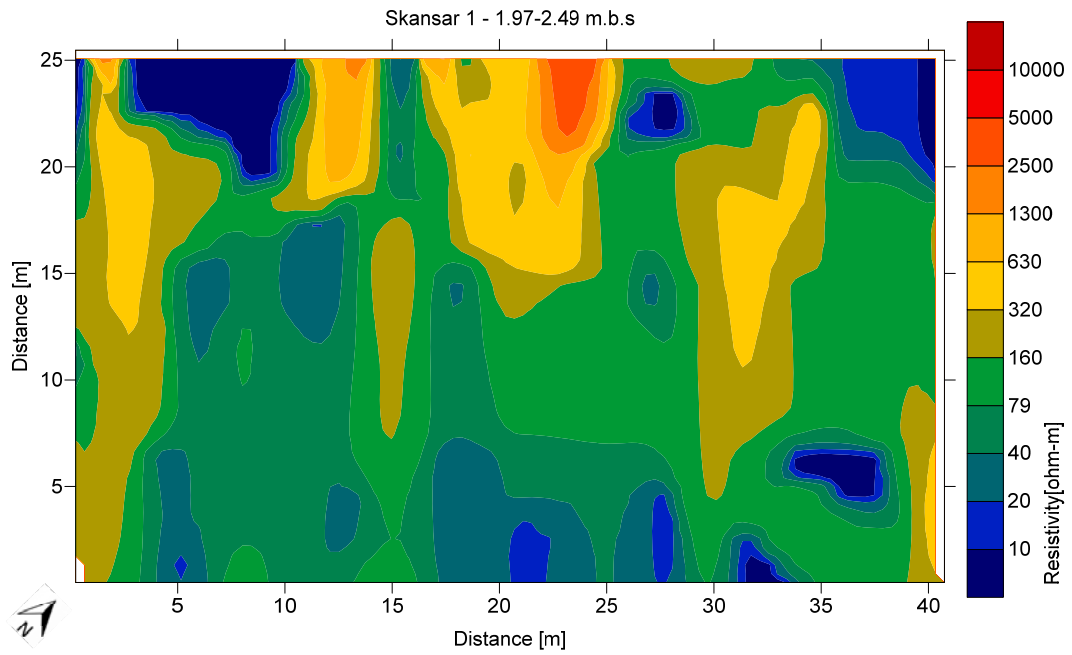
Bilaga 3. Djupsnitt ur 3D resistivitet-IP modeller från område 1



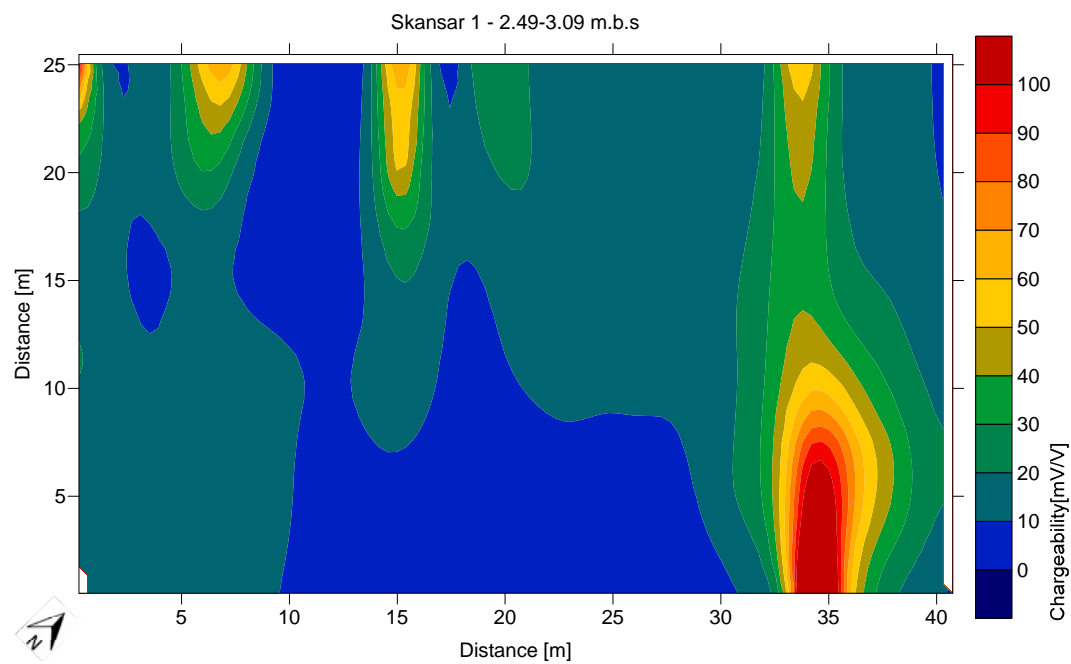
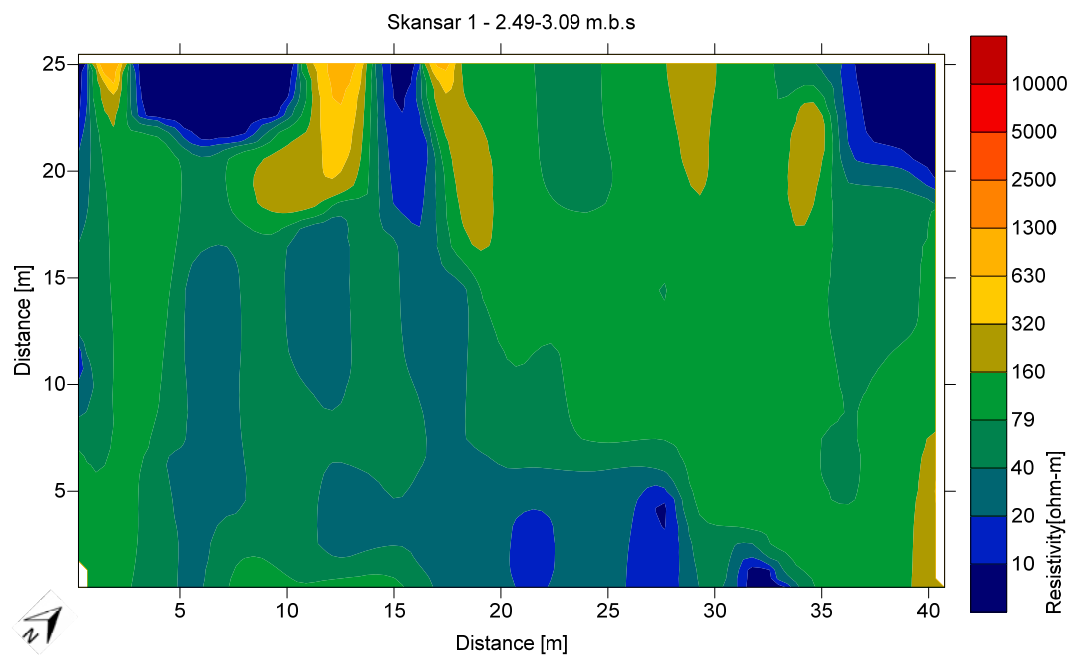
Bilaga 3. Djupsnitt ur 3D resistivitet-IP modeller från område 1



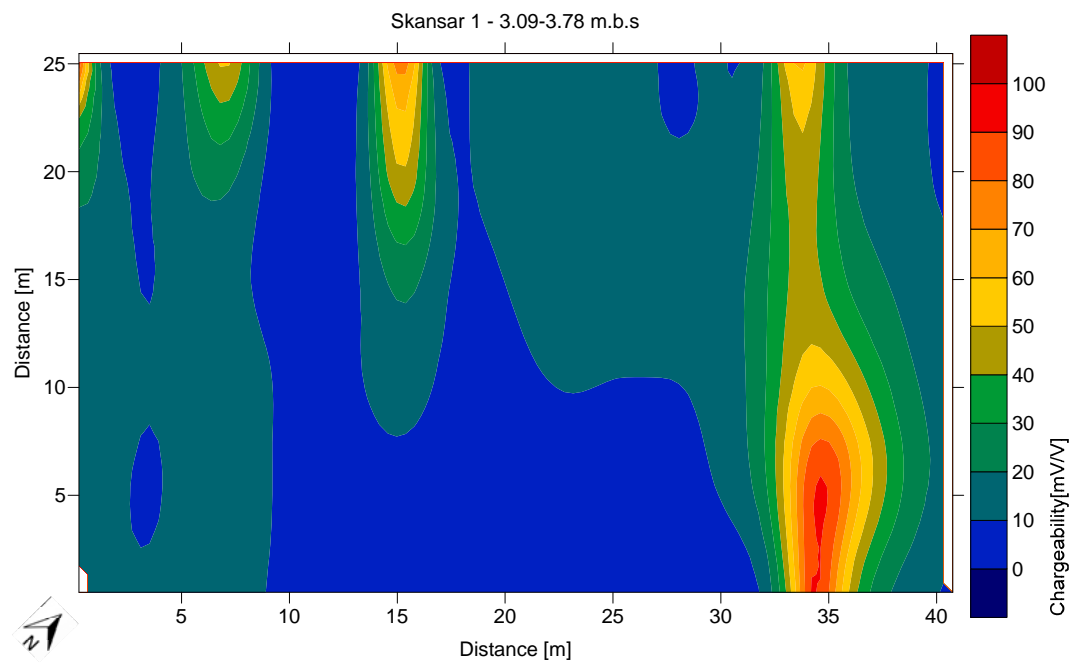
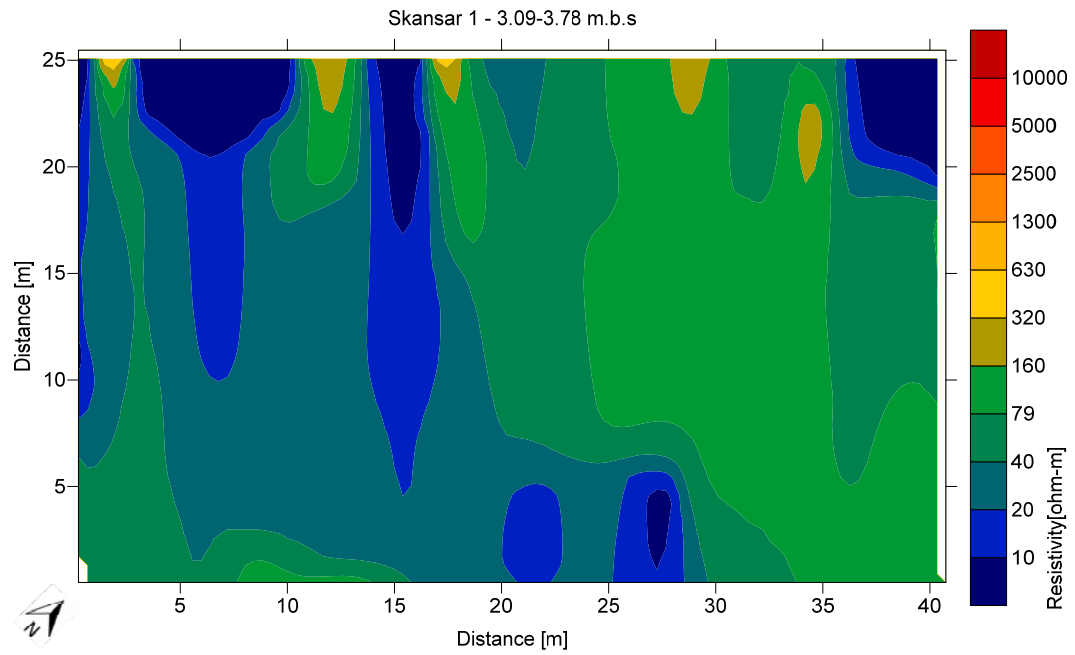
Bilaga 3. Djupsnitt ur 3D resistivitet-IP modeller från område 1



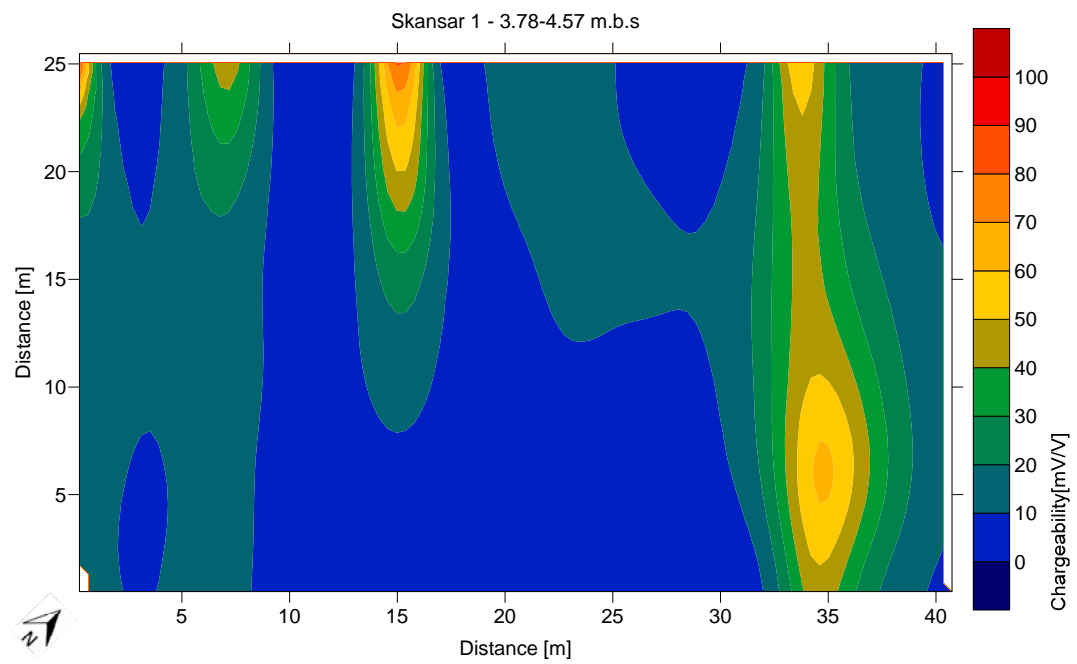
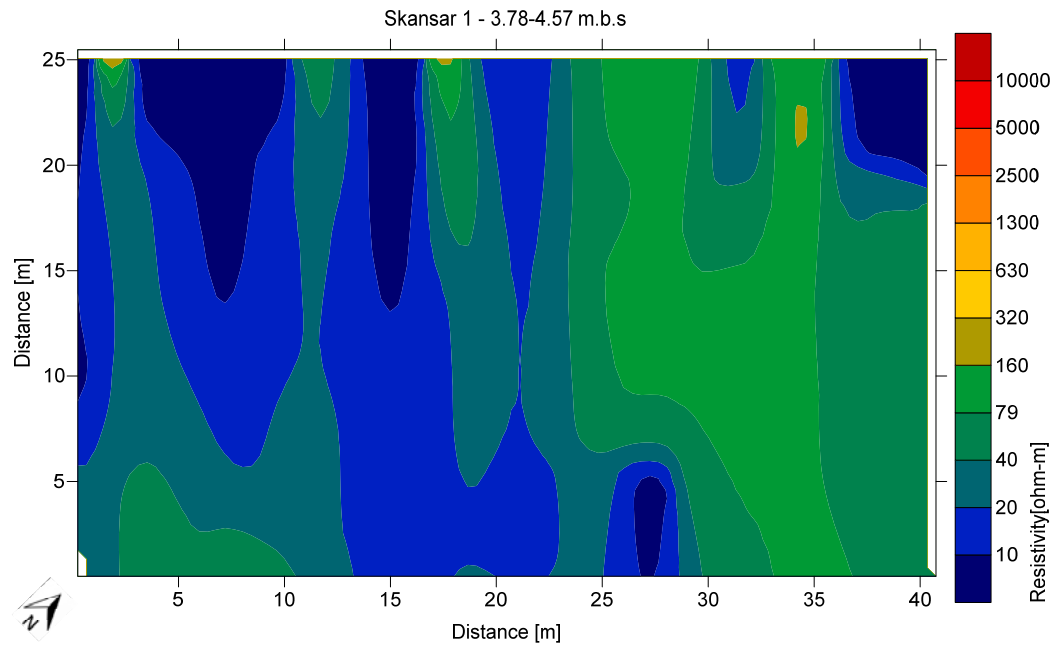
Bilaga 3. Djupsnitt ur 3D resistivitet-IP modeller från område 1



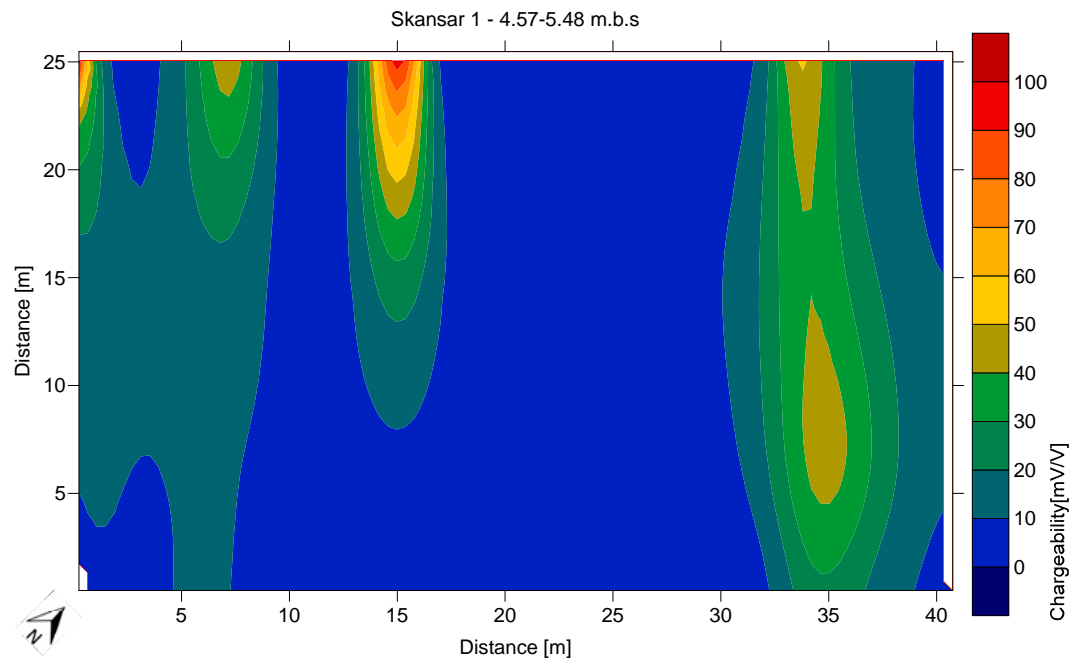
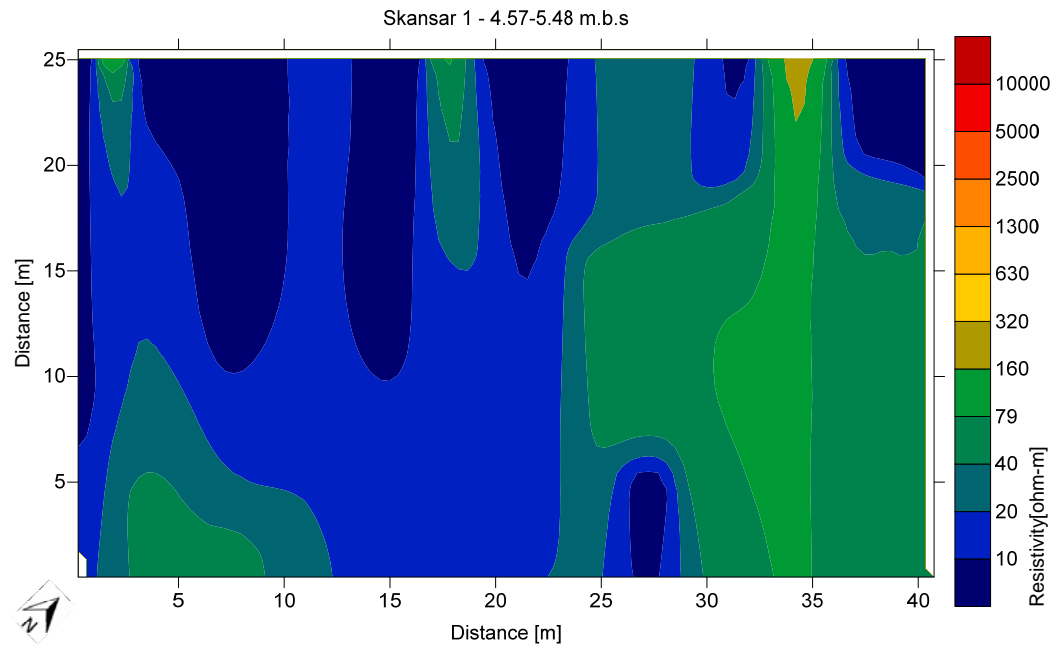
Bilaga 3. Djupsnitt ur 3D resistivitet-IP modeller från område 1



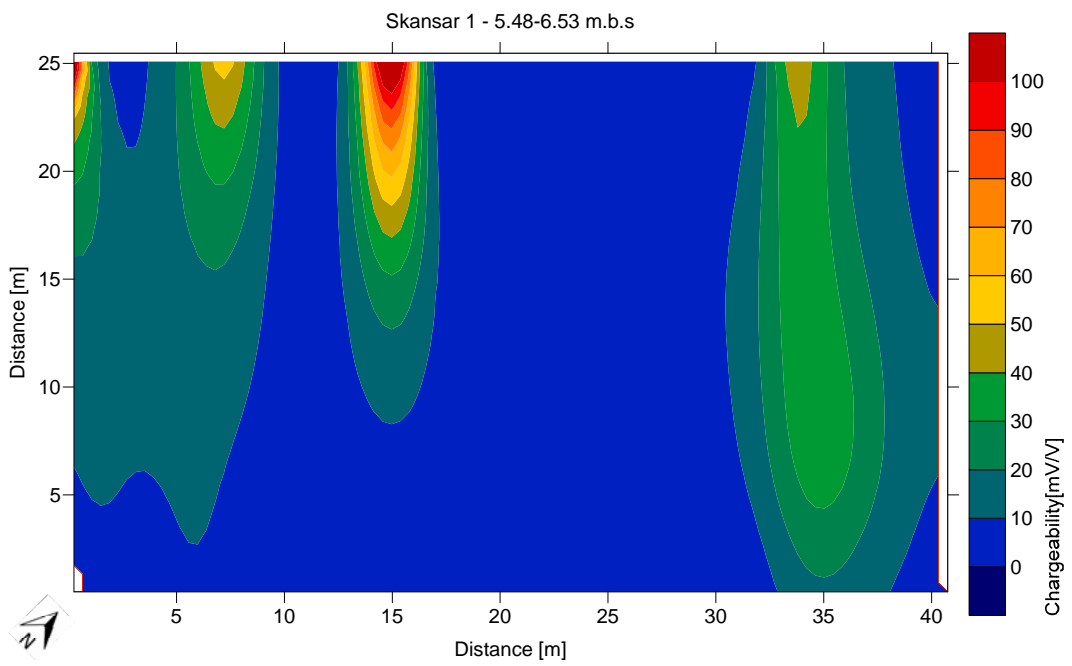
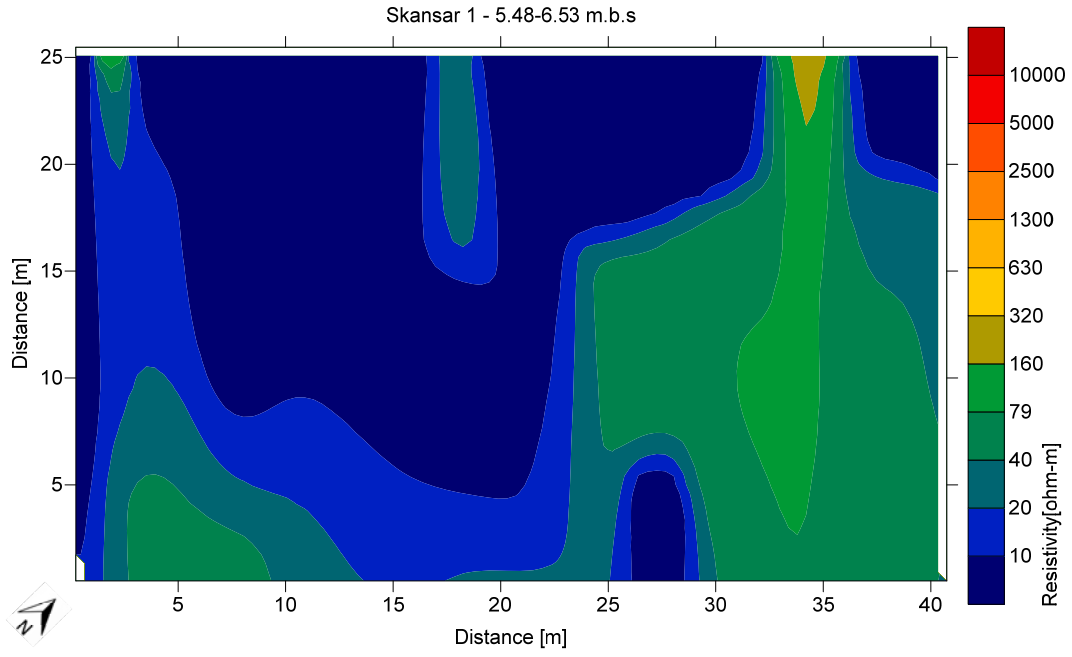
Bilaga 3. Djupsnitt ur 3D resistivitet-IP modeller från område 1



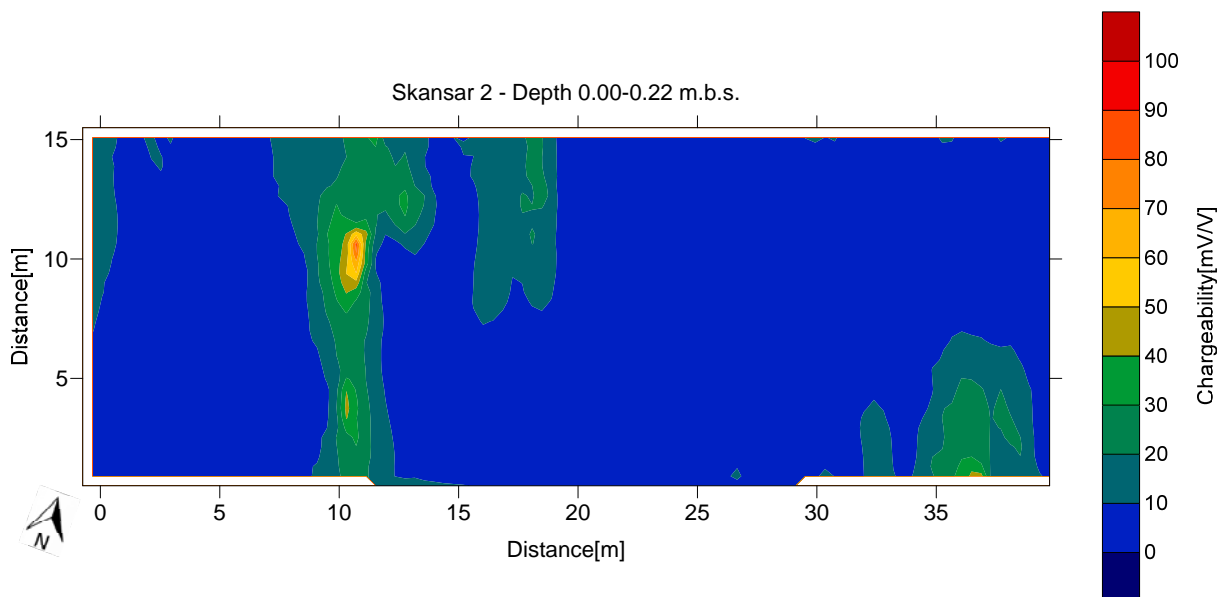
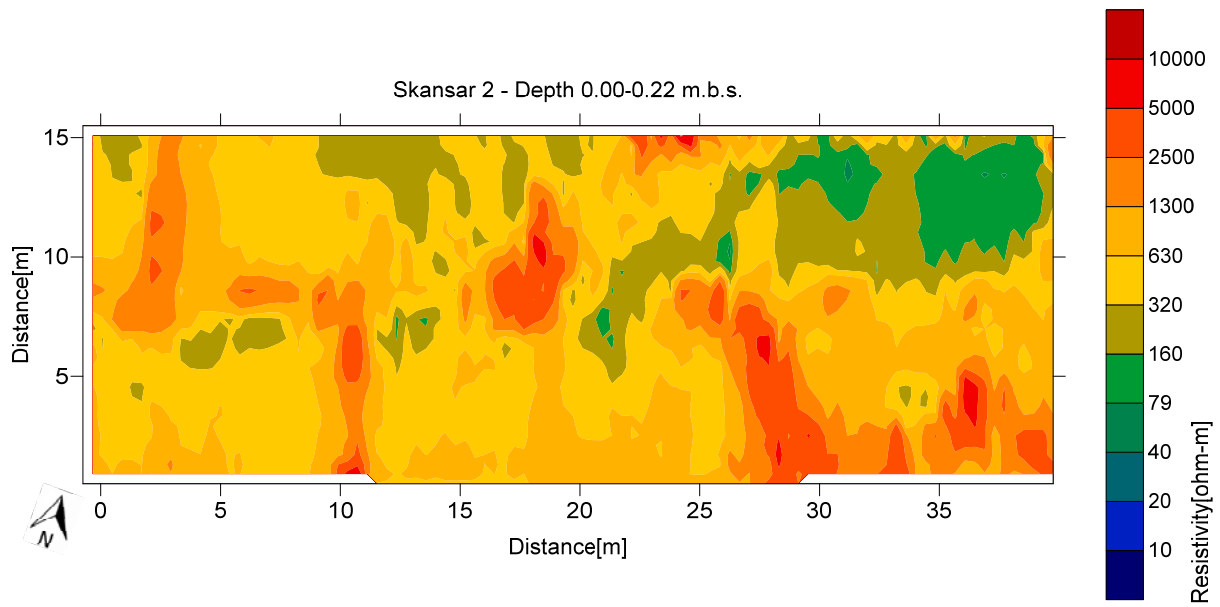
Bilaga 3. Djupsnitt ur 3D resistivitet-IP modeller från område 1



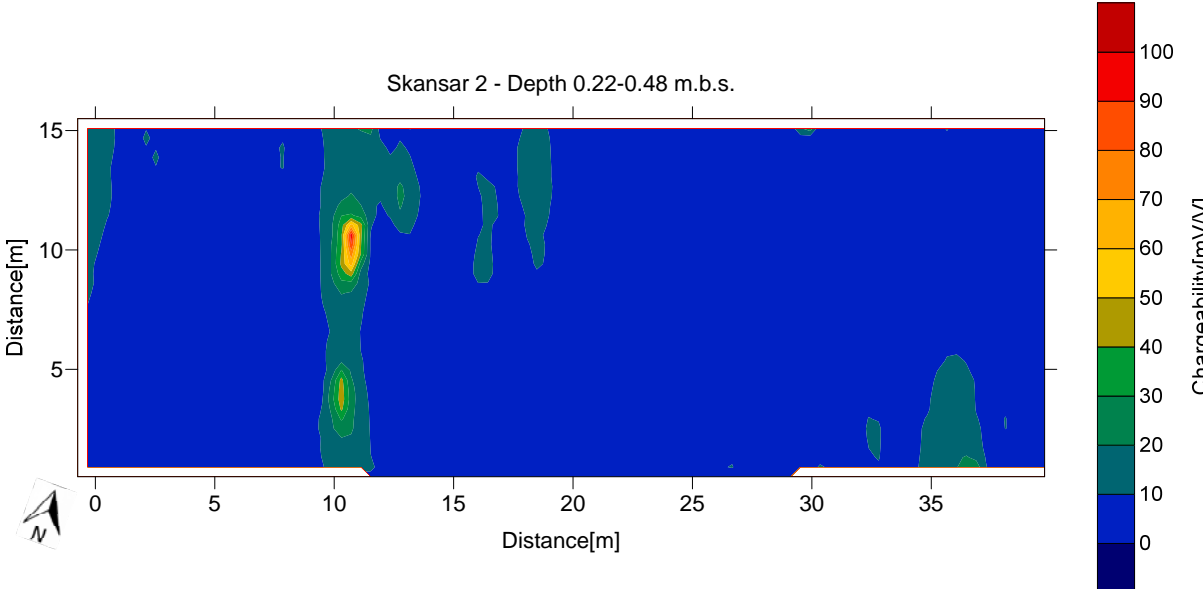
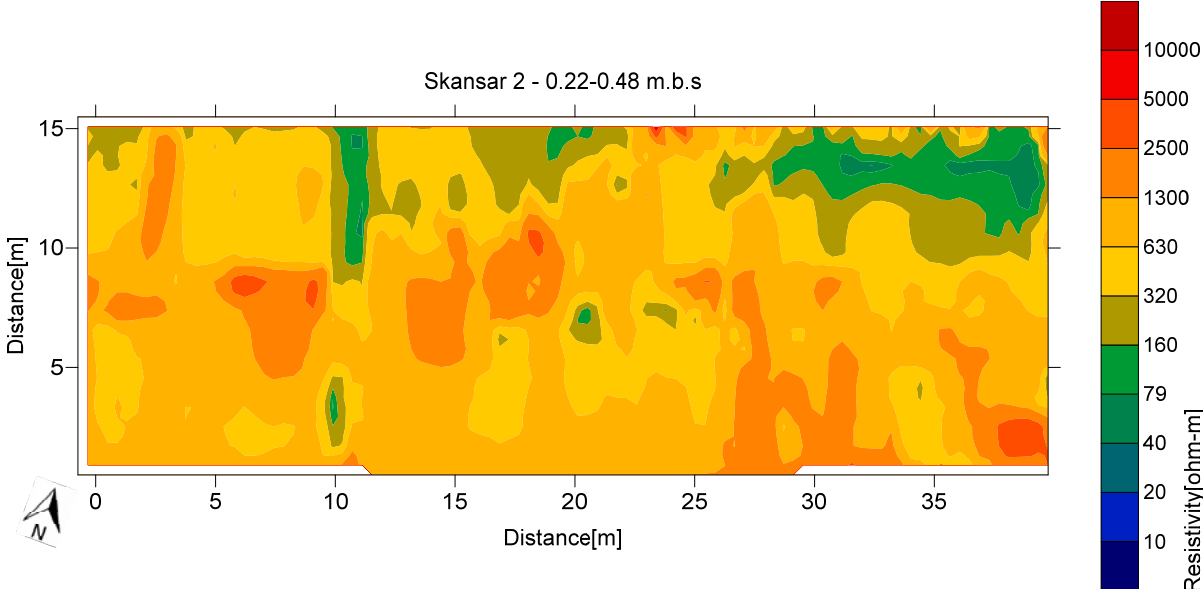
Bilaga 3. Djupsnitt ur 3D resistivitet-IP modeller från område 1



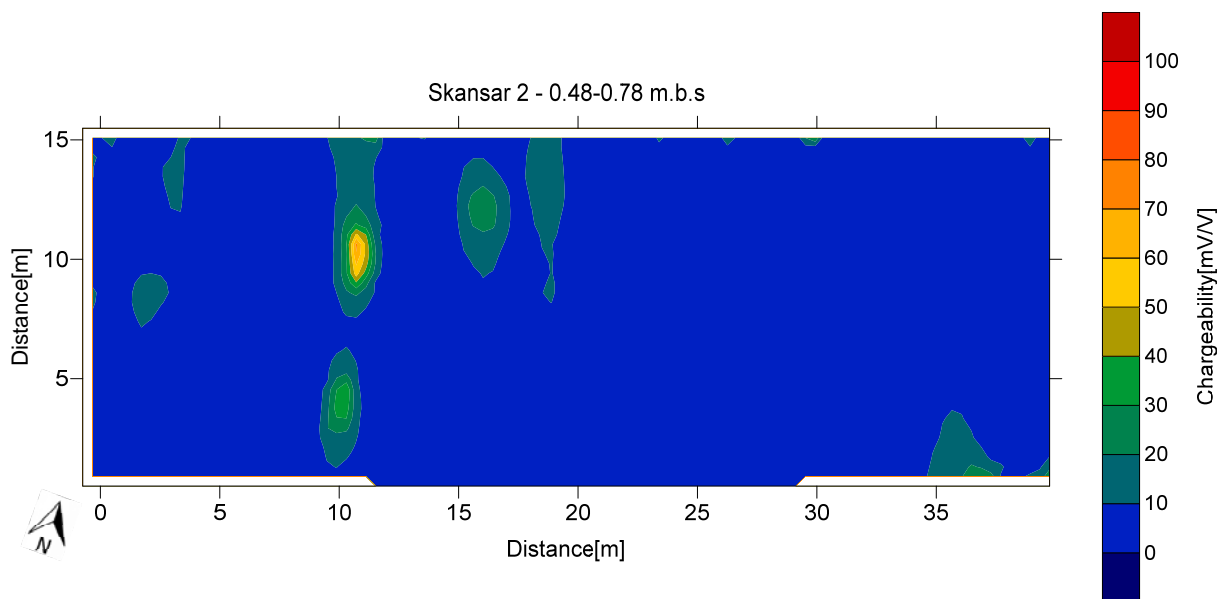
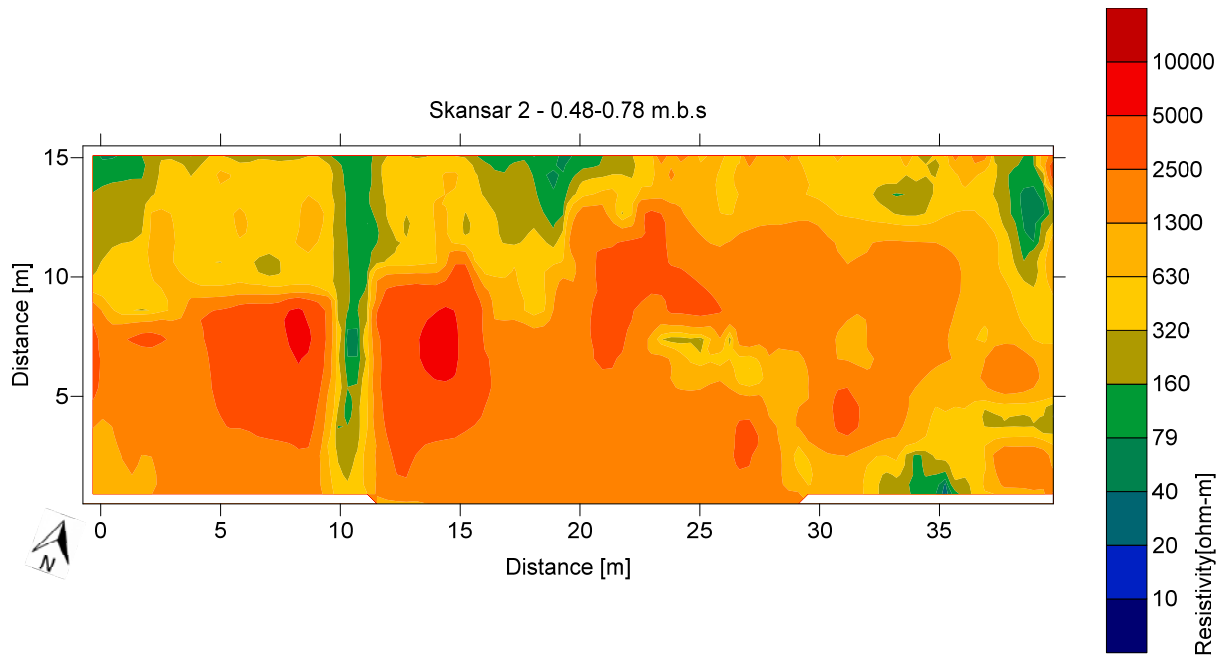
Bilaga 4. Djupsnitt ur 3D resistivitet-IP modeller från område 2



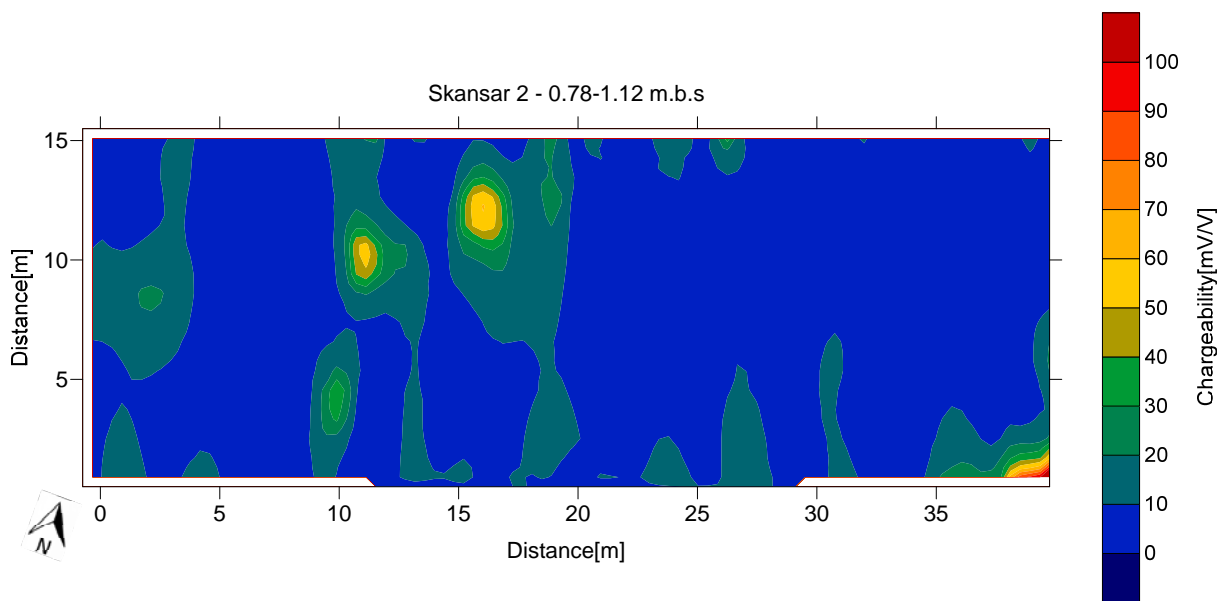
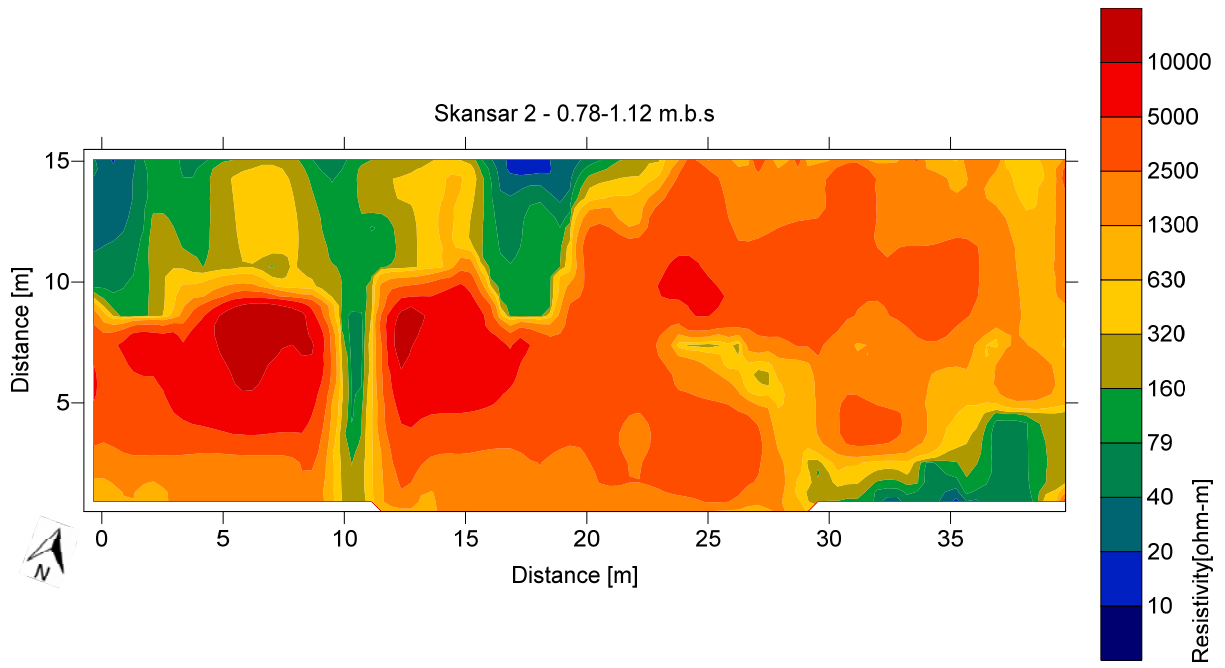
Bilaga 4. Djupsnitt ur 3D resistivitet-IP modeller från område 2



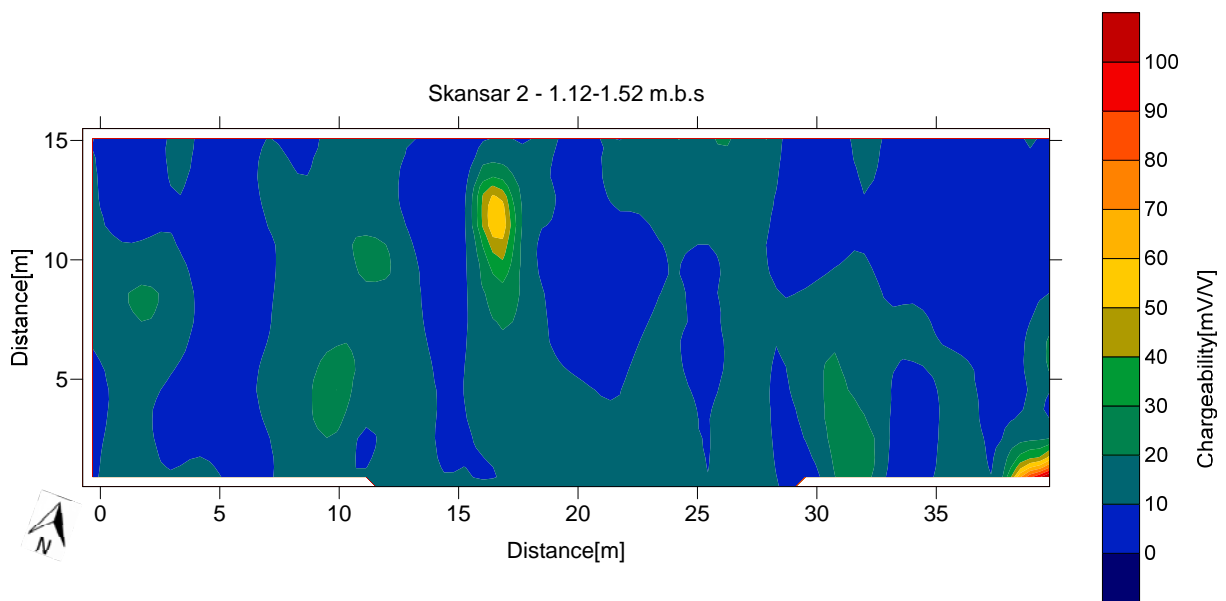
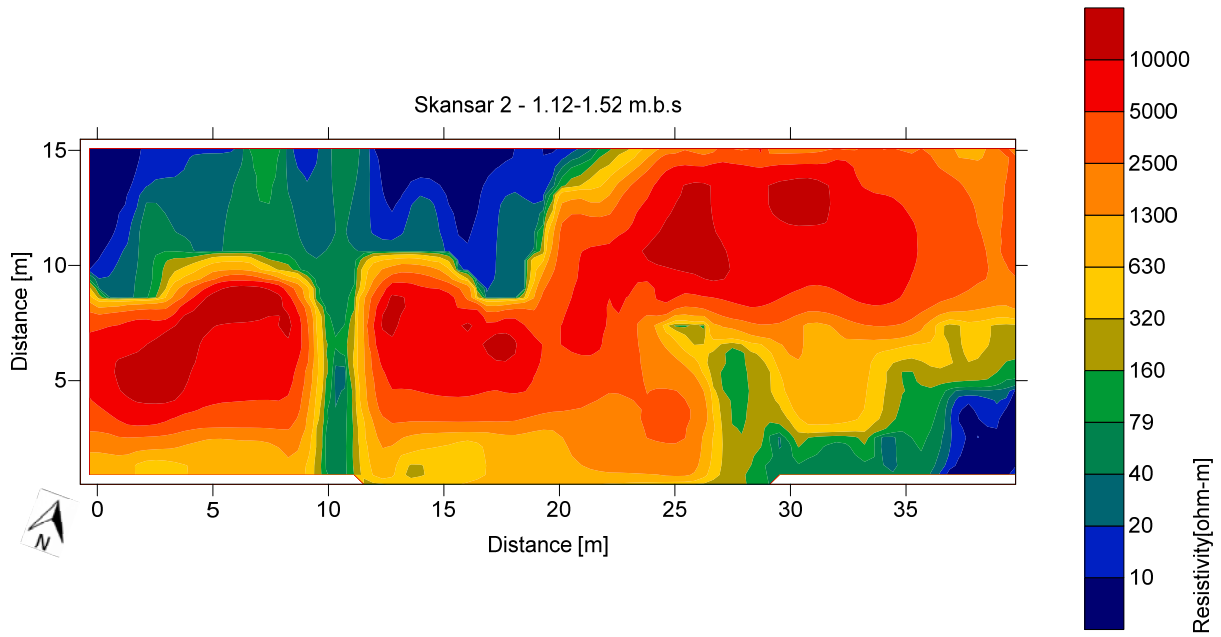
Bilaga 4. Djupsnitt ur 3D resistivitet-IP modeller från område 2



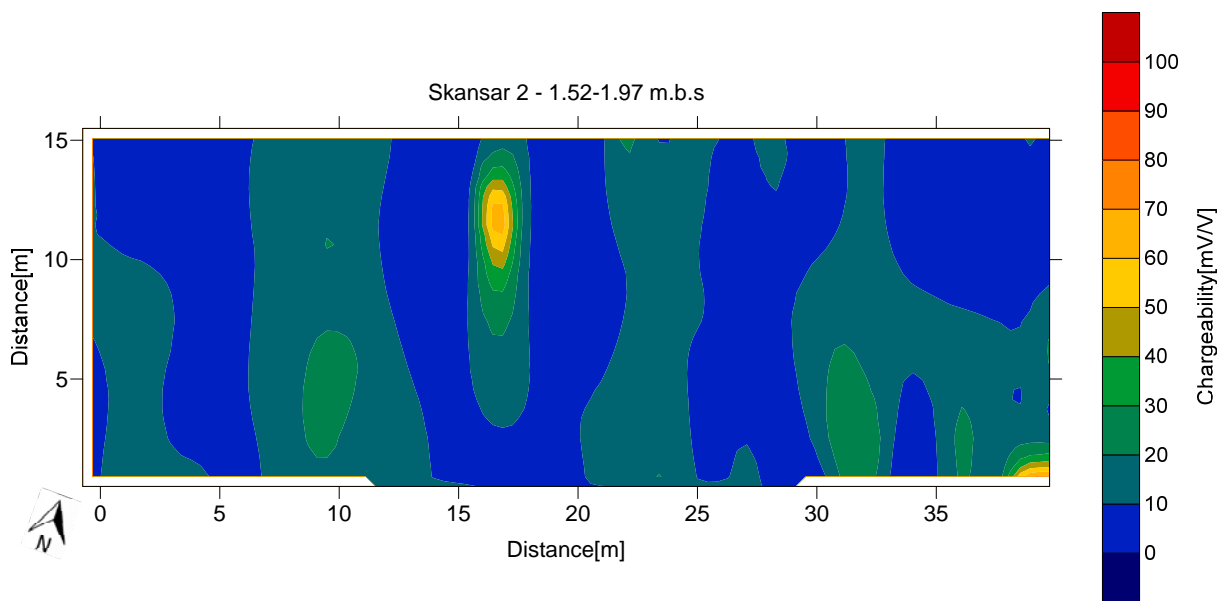
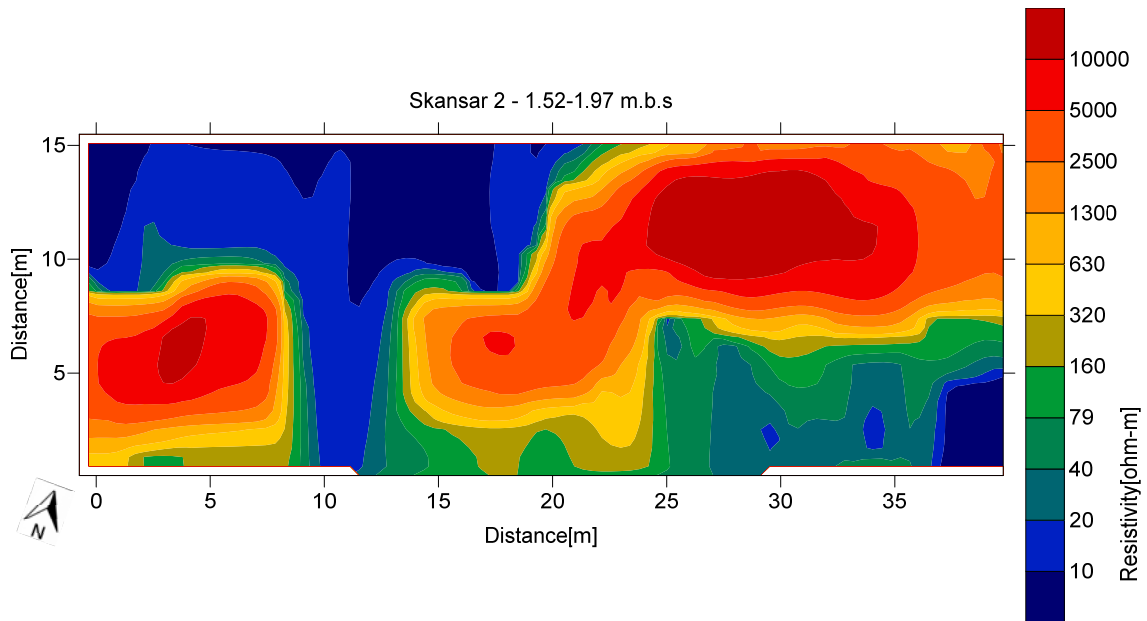
Bilaga 4. Djupsnitt ur 3D resistivitet-IP modeller från område 2



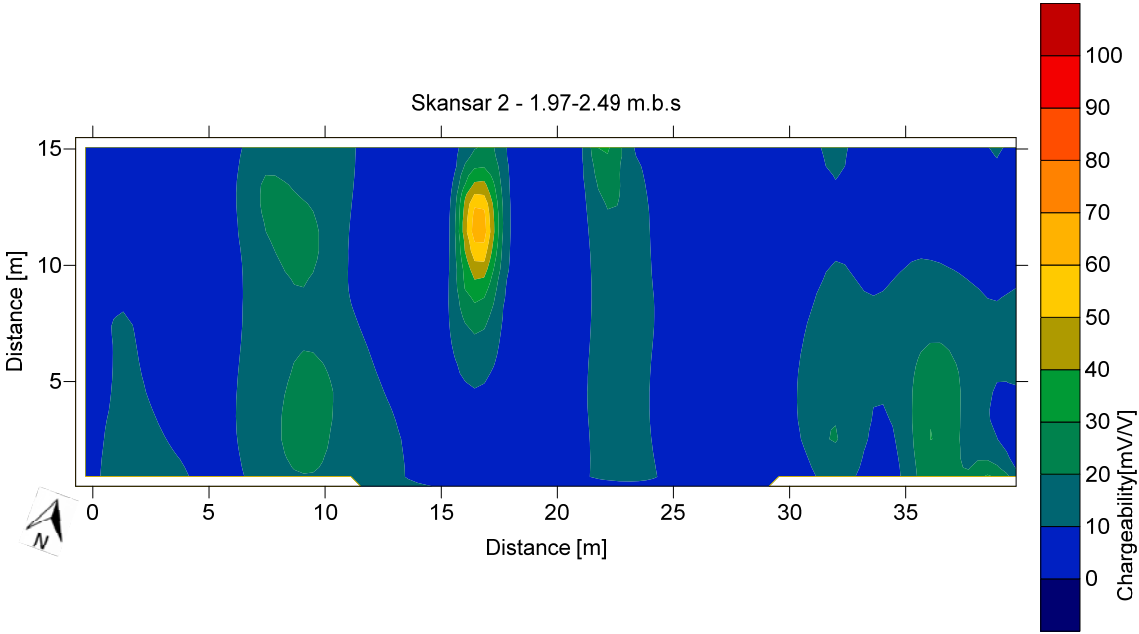
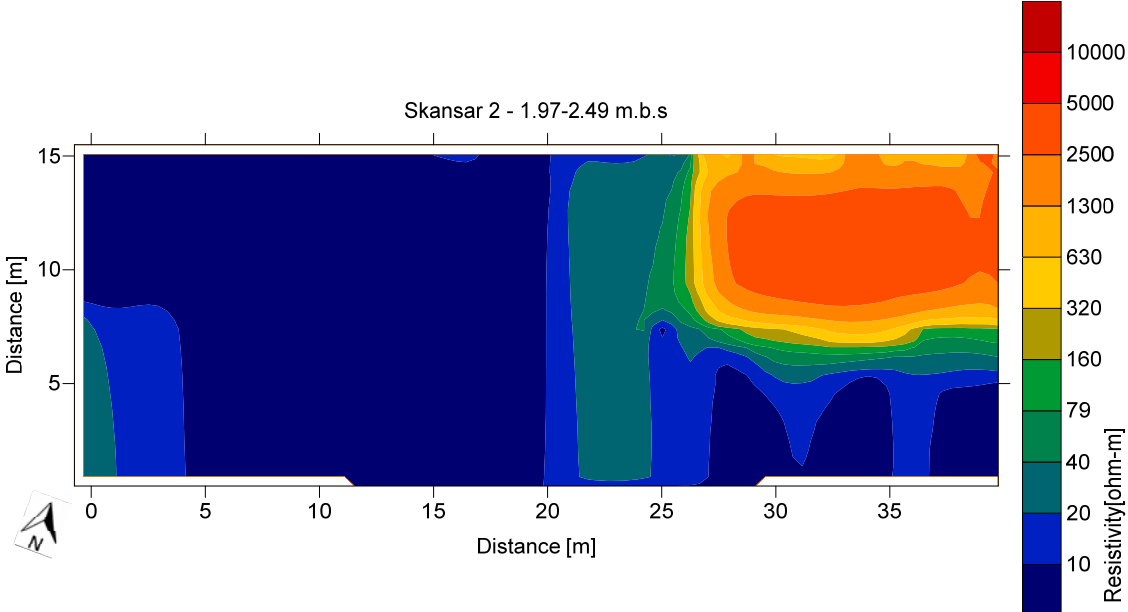
Bilaga 4. Djupsnitt ur 3D resistivitet-IP modeller från område 2



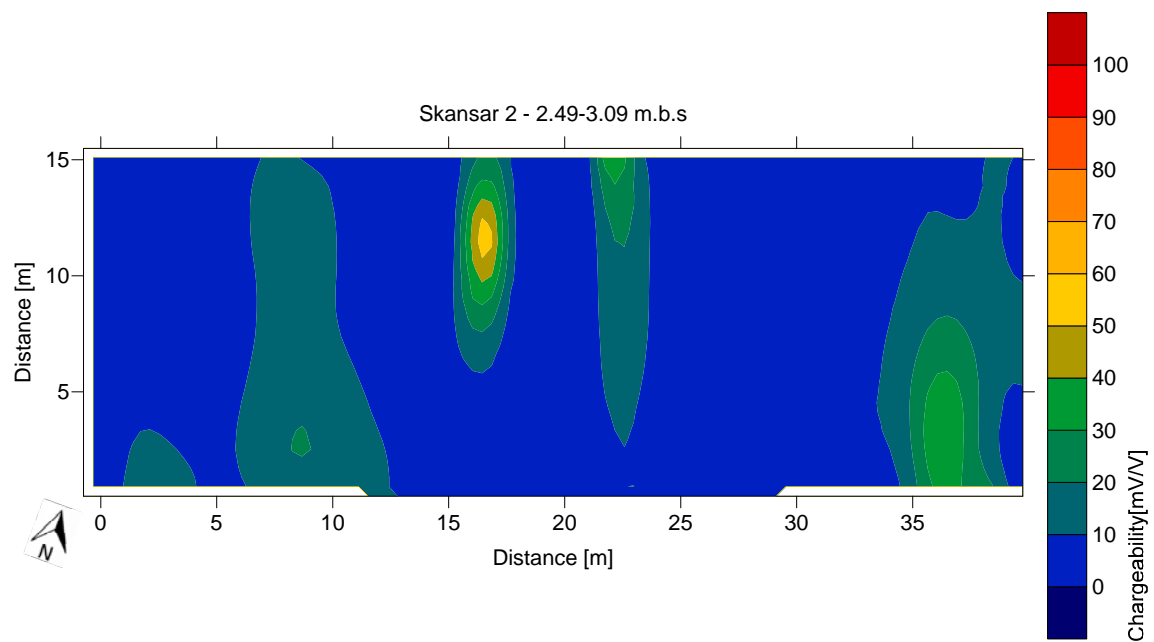
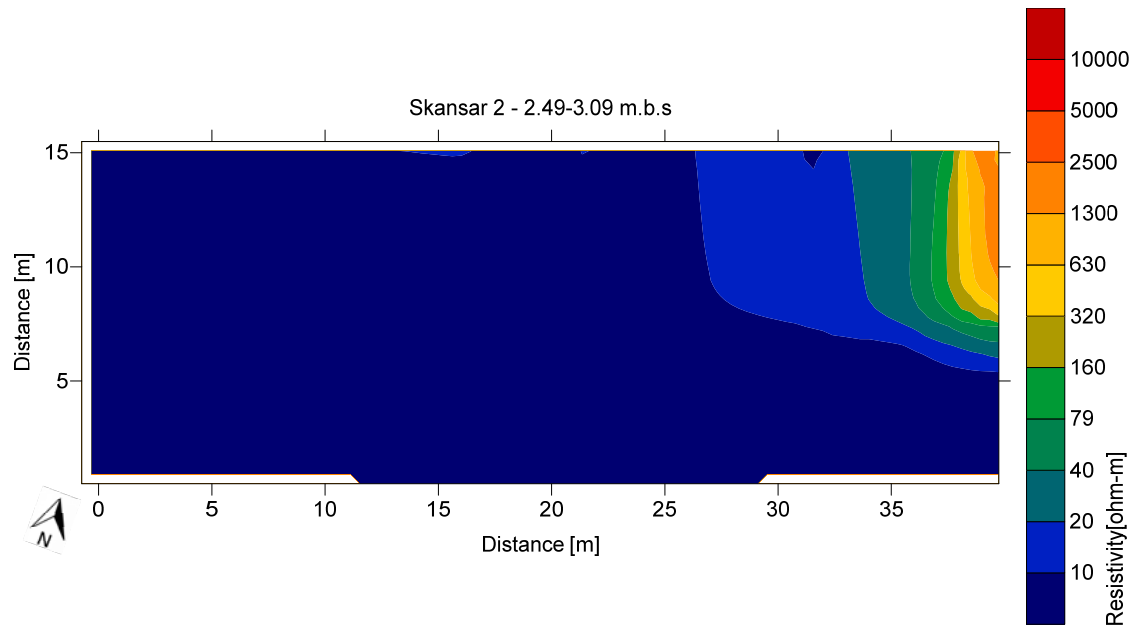
Bilaga 4. Djupsnitt ur 3D resistivitet-IP modeller från område 2



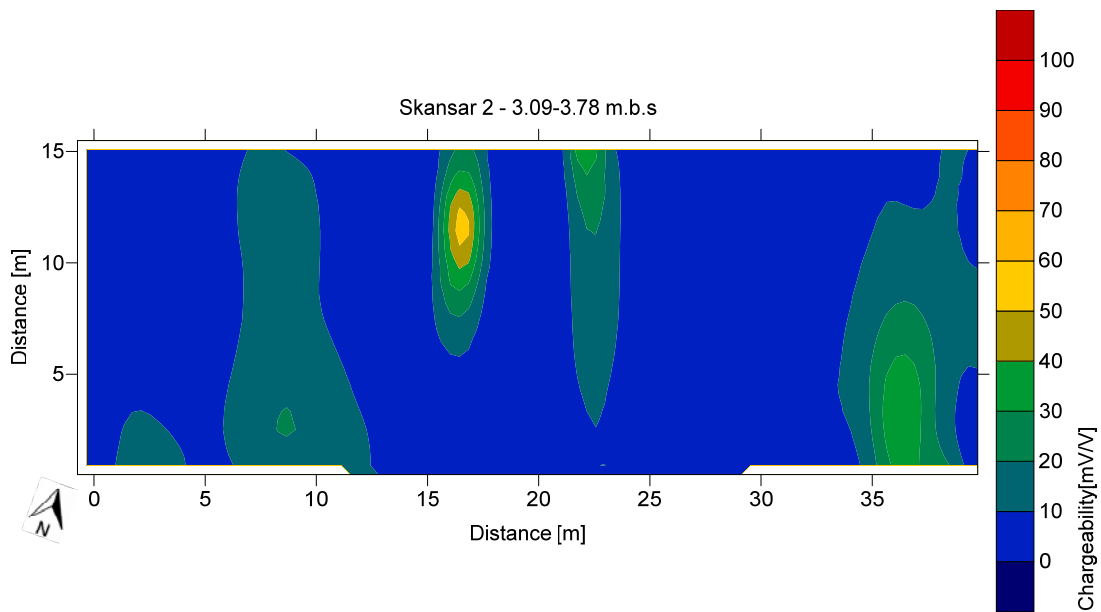
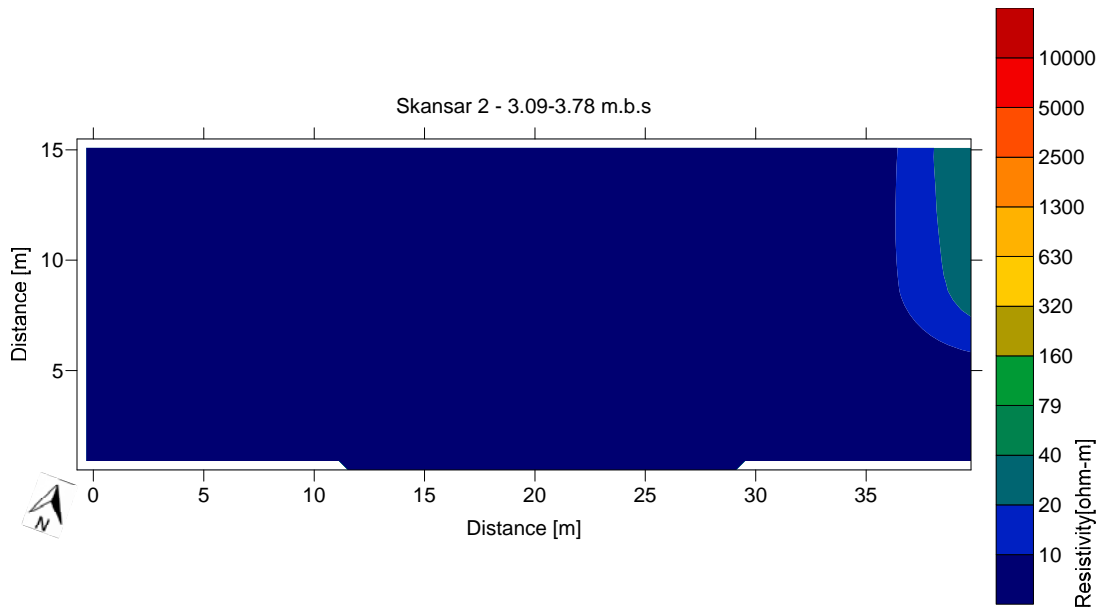
Bilaga 4. Djupsnitt ur 3D resistivitet-IP modeller från område 2



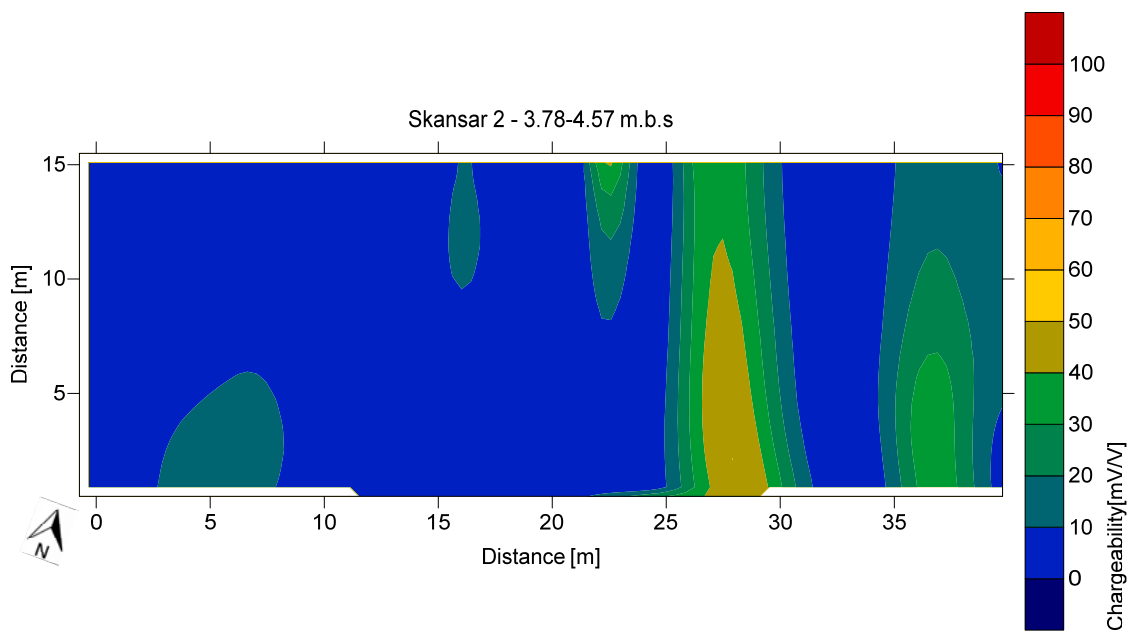
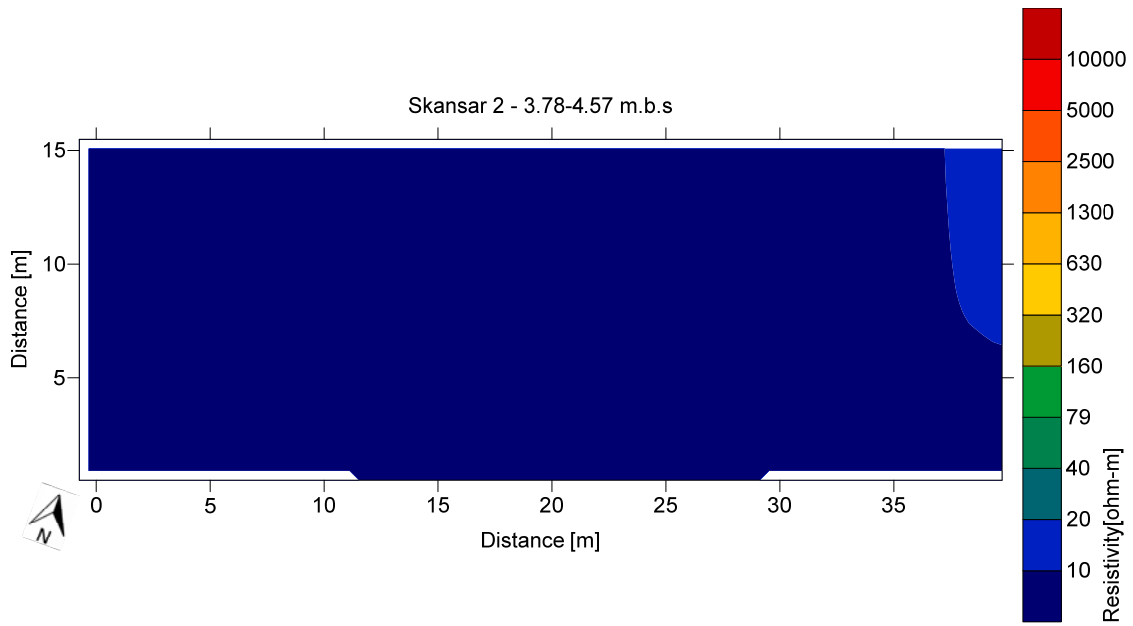
Bilaga 4. Djupsnitt ur 3D resistivitet-IP modeller från område 2



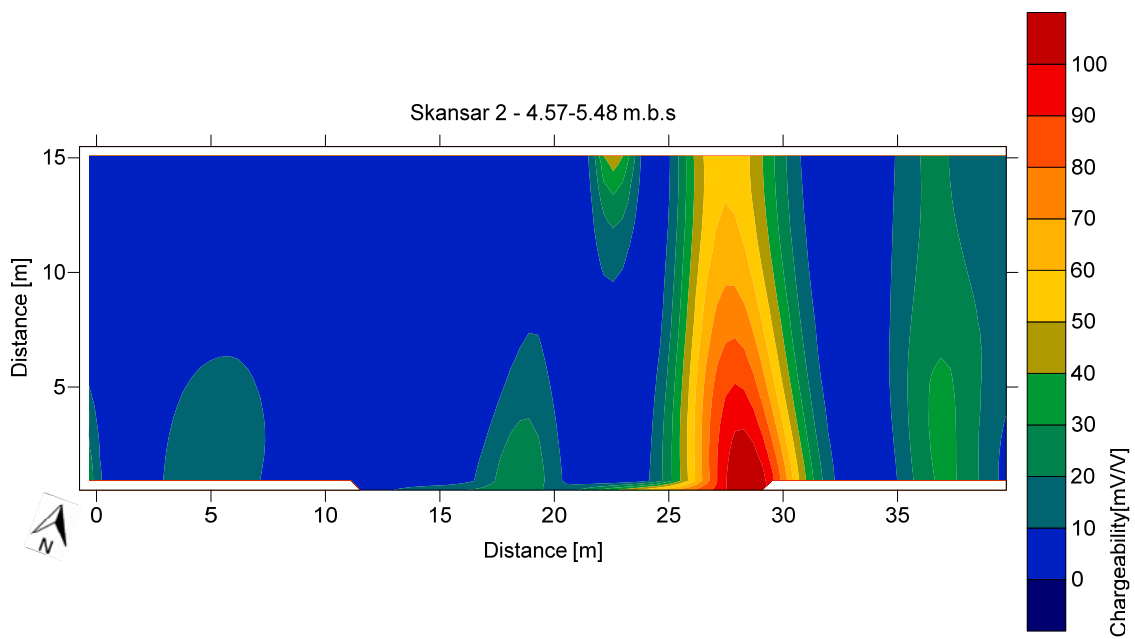
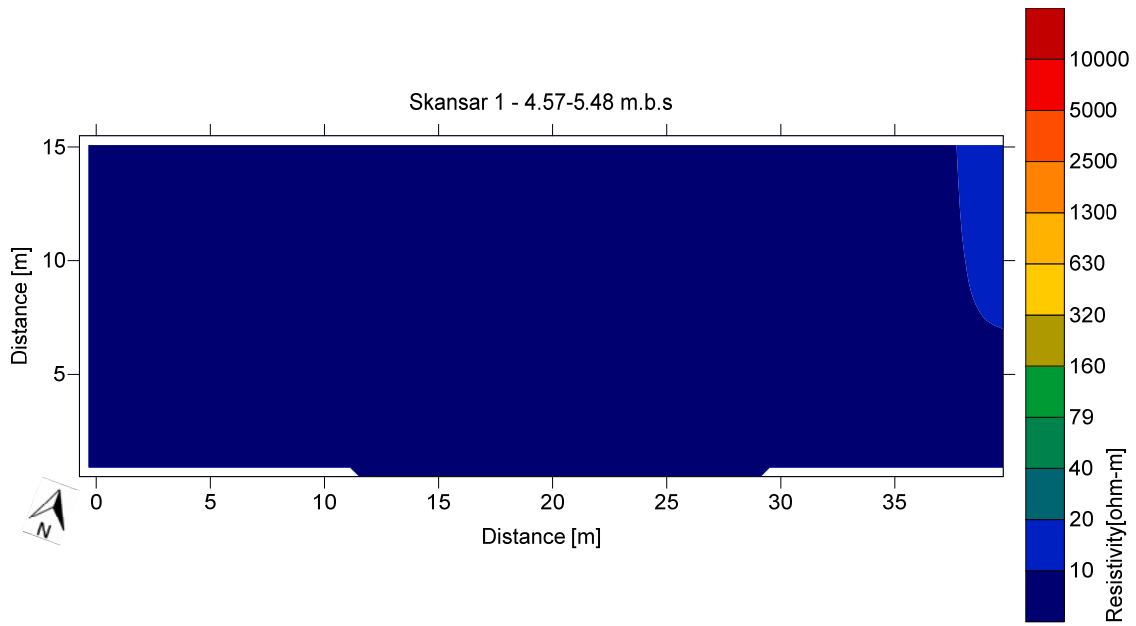
Bilaga 4. Djupsnitt ur 3D resistivitet-IP modeller från område 2



Bilaga 4. Djupsnitt ur 3D resistivitet-IP modeller från område 2



Bilaga 4. Djupsnitt ur 3D resistivitet-IP modeller från område 2



Bilaga 4. Djupsnitt ur 3D resistivitet-IP modeller från område 2

