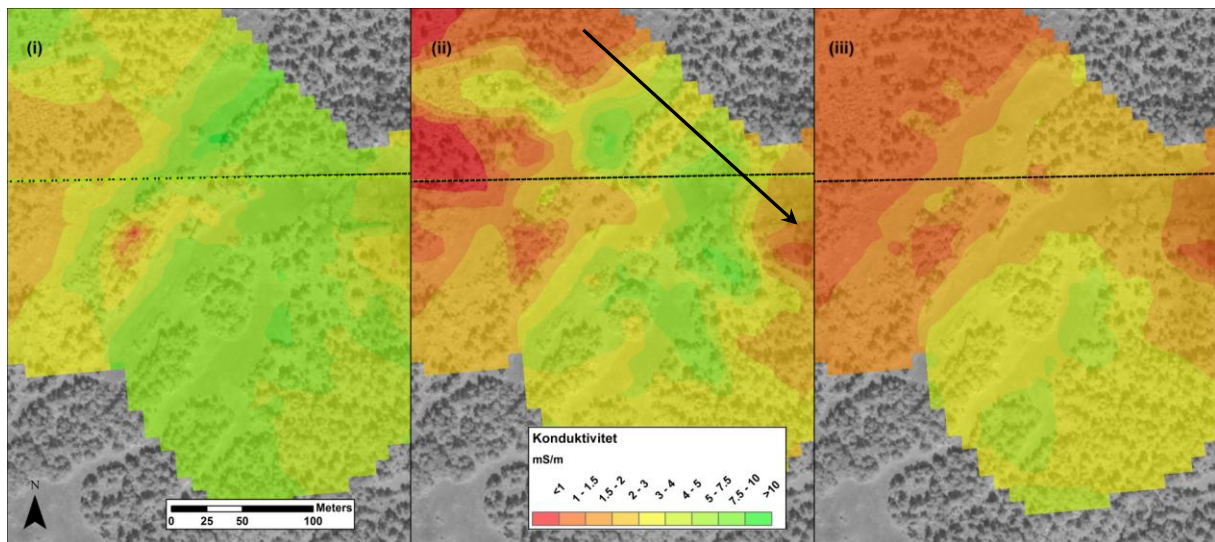




Environmental Innovation AB

# Geofysiska mätningar vid Bunge Ducker 1:64 och dess gränser mot Natura 2000-områdena Bräntings haid, Bästeträsk och Gildarshagen



Bo Olofsson och Robert Earon  
2015-10-08

**Ei Environmental Innovation AB**  
Gamla Värmdövägen 6 2 tr  
131 37 Nacka

Bankgiro: 228-5195  
Org nr: 556743-3254  
mejl: [info@eninab.se](mailto:info@eninab.se)  
hemsida: [www.eninab.se](http://www.eninab.se)

# Innehåll

<b>FÖRORD</b> .....	<b>3</b>
<b>SAMMANFATTNING</b> .....	<b>3</b>
<b>UPPDRAGETS SYFTE OCH UPPLÄGGNING</b> .....	<b>4</b>
<b>GEOELEKTRISKA MÄTNINGAR (RESISTIVITET)</b> .....	<b>7</b>
<b>Syfte</b> .....	<b>7</b>
<b>Metodik</b> .....	<b>8</b>
ERT (Elektrisk resistivitetstomografi) .....	8
Tidigare mätningar .....	9
Mätmetodik .....	10
<b>Resultat</b> .....	<b>11</b>
Nordöstra gränsen i Bästeträsk (Område A).....	11
Väster om västra provtäckten (Område B).....	12
ERT-profiler mot Bräntings haid (Område C).....	12
Söder om täktområdet, mot Bluttmo myr (Område D).....	14
<b>EM-MÄTNINGAR</b> .....	<b>17</b>
<b>Syfte</b> .....	<b>17</b>
<b>Metodik</b> .....	<b>17</b>
<b>Resultat</b> .....	<b>18</b>
Gräns mot Bästeträsk, Område A.....	19
Väster provbrotten (Område B).....	20
NV delen av täktområdet, mot Bräntings haid (Område C).....	21
Söder om täktområdet, mot Bluttmo myr (Område D).....	24
<b>GPR (MARKRADAR)</b> .....	<b>25</b>
<b>Syfte</b> .....	<b>25</b>
<b>Metodik</b> .....	<b>25</b>
<b>Resultat</b> .....	<b>26</b>
Nordöstra tätkanten mot Bästeträsk (Område A) .....	26
NV delen av täktområdet, mot Bräntings haid (Område C) .....	27
Sydligaste delen av täktområdet mot väg 148 (Område D).....	31
<b>DISKUSSION OCH SLUTSATSER</b> .....	<b>34</b>
<b>REFERENSER</b> .....	<b>35</b>

## Förord

Föreliggande rapport utgör redovisning av ett uppdrag från Naturvårdsverket till Environmental Innovation AB (EIAB) avseende geofysiska mätningar vid Bunge Ducker 1:64 och dess gränser mot Natura 2000-områdena Bräntings haid, Bästeträsk och Gildarshagen med Bluttmo myr. Fältarbetet är utfört under juli 2015 av prof Bo Olofsson samt MSc Robert Earon. Projektansvarig har varit Bo Olofsson. Behjälplig vid fältarbetet har även varit Krister Mild, Naturvårdsverket. Analyser och beräkningar har utförts av Bo Olofsson och Robert Earon som även författat rapporten gemensamt.

## Sammanfattning

Kompletterande geofysiska undersökningar med elektromagnetiska mätningar (EM), resistivitetmätningar (ERT) och markradar (GPR) har utförts i gränsområdena av Bunge Ducker 1:64 med syfte att analysera risken för att kalkstensbrytning på fastigheten kan påverka omkringliggande Natura 2000-områden Bästeträsk, Bräntings haid och Gildershagen med Bluttmo myr. Mätningarna har avsett att studera eventuella dränerande strukturer i gränsområdena och koncentrerats till nordligaste täktområdet, våtmarksområdena i nordväst samt området söder om tälken mot väg 148.

De undersökningar som genomförts norr om tälken, inne i Bästeträsk Natura 2000-område visar att de anomalier som SGU vid tidigare geofysiska undersökningar i området utpekade i nordöstra delen av täktområdet kan ha sin förlängning in i Bästeträsk Natura 2000-område. Det går således inte att utesluta att ett djupt kalkbrott på Bunge Ducker 1:64 kan påverka ytliga grundvattennivåer i Bästeträsk Natura 2000-område.

Mätningarna visar också att i norra och nordvästra delarna av det planerade täktområdet och omgivande marker är de övre marklagren (0-5 m) delvis tydligt uppspruckna med en betydligt högre elektrisk konduktivitet, troligtvis beroende på ökad vattenhalt. Lokalt kan även ytligt salt grundvatten förekomma samt tunnare skikt av mörgel och mörgelsten. Ett flertal strukturer i berggrunden är synliga längs de analyserade mätlinjerna. I anslutning till våtmarkerna på Bräntings haid, vid nordvästra delen av det planerade kalkbrottet, syns flera tydliga strukturer som har sin orientering från våtmarkerna österut in mot kalkbrottet. Det kan inte uteslutas att dessa utgör dränerande strukturer, åtminstone inom ytliga marklager (0-5 m).

Geofysiska mätningar har även utförts i södra delen av det planerade täktområdet i syfte att analysera den geologiska barriär som antagits finnas mellan den planerade tälken och väg 148. Någon geologisk barriär kan dock inte verifieras inom detta område. Den ytvattendelare som finns inom detta område har heller inte någon tydlig geologisk förklaring. Eftersom dränerande strukturer i östra delen av täktområdet har en orientering NV-SO, kan ett grundvattenflöde i riktning SO mot Bluttmo myr inte uteslutas.

## Uppdragets syfte och uppläggning

I samband med ansökt täktverksamhet på Bunge Ducker 1:64 har alltsedan 2007 från tillsynsmyndigheter och av dessa anlitate externa experter, efterlysts omfattande undersökningar av mark- och grundvattenförhållandena i gränsområdena mellan den planerade täkten och Natura 2000-områdena Bräntings haid, Bästeträsk och Gildershagen med Bluttmo myr. Eftersom den planerade Bunge-täkten skär av i stort sett samtliga flödesvägar från Bräntings haid mot Ojnare myr och sedan vidare mot Natura 2000-området Bästeträsk har det av tillsynsmyndigheterna bedömts av största vikt att flödesvägarna kartläggs. Flödet kan ske såväl genom ytvattendrag som genom grundvattenströmning.

De åtgärder som av Nordkalk AB planerats i gränsen mot Natura 2000-området Bräntings haid är att genom ett avgränsande dike parallellt med tätkanten samla upp det avrinnande vattnet och leda detta runt täkten mot Ojnare myr. Det inrinnande grundvattnet planeras efter rening, bland annat vid behov med membranteknik likaså återföras som ytvatten till tillflödesområdet till och sydost om Ojnare myr. I nordväst, där täkten direkt skär av en våtmark planeras en s k sildamm, dvs en semipermeabel damm som för all framtid ska fungera såväl dränerande som fördröjande, beroende på flöde, årstid mm, allt för att efterlikna naturliga vattenståndsvariationer i våtmarken. Konceptet bygger således på att våtmarken har en så tät botten att de ytliga flödena kan kontrolleras genom sildammen och bakomliggande dike. Undersökningarna syftar till att belysa de geologiska/tektoniska förhållandena i detta område för att analysera om dessa skyddsåtgärder är tillräckliga.

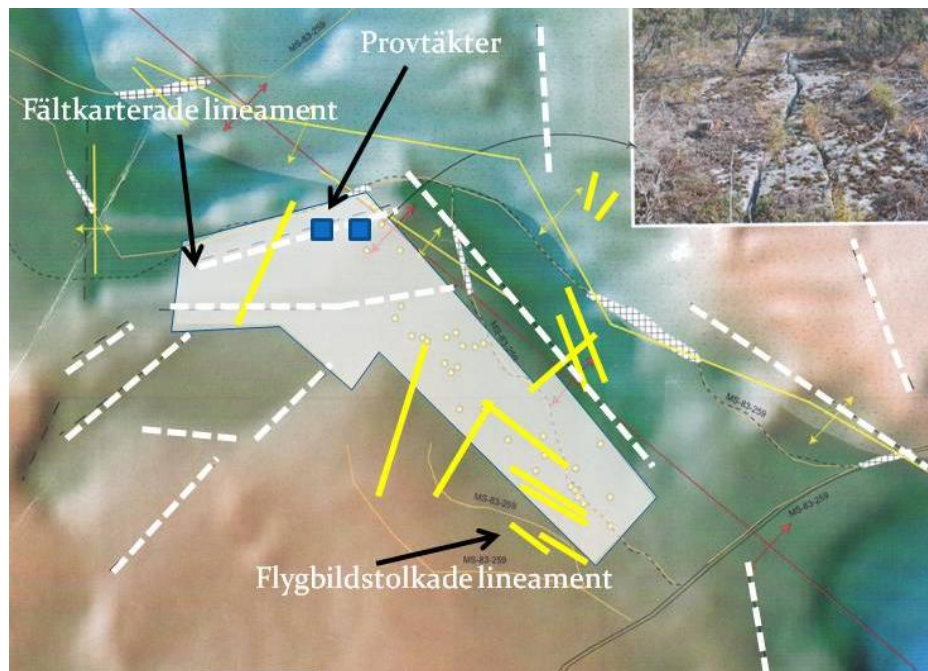
En fråga som väckts i samband med tillståndförfarandet har varit sannolikheten att ett kalkbrott på Bunge Ducker 1:64 kan medföra skador på Bluttmo källmyr som är belägen söder om väg 148. Det är idag mycket oklart varifrån källorna med stor utfällning av kalktuff, får sitt vatten. Geoelektriska mätningar av Bergab (2015) anses visa att en sådan barriär föreligger. Kompletterande geofysiska undersökningar har genomförts i detta område i syfte att bringa klarhet i om den antagna barriären existerar och är så heltäckande att det är uteslutet att vattenflödet i källorna kan komma från området norr om väg 148.

SGU(2009) har på uppdrag av Nordkalk AB genomfört en rad geofysiska mätningar i området. Utsträckningen av dessa har huvudsakligen varit i östra delen av täktområdet och öster om denna samt längs Litorinavallen i norra delen av kalkbrytningsområdet. Inga undersökningar har tidigare genomförts i de hydrogeologiskt känsliga delarna längs Bräntings haid, förutom några långa seismiska profiler som gjorts av OPAB i samband med oljeprospektering. Dessa mätningar omfattar dock endast djupa marknivåer.

SGUs geofysiska mätningar med RMT och VLF i norra delen av täktområdet har utförts längs Litorinavallen (SGU 2008). Längs den vallen har även GPR (markradarmätningar) utförts. Dessa geofysiska mätningar har indikerat anomalier i form av sprickor och salt grundvatten. Kompletterande geofysiska mätningar i Bästeträsk-området, parallellt med tidigare utförda geofysiska mätningar kan ge klarhet i om det kan finnas dränerande nord-sydliga strukturer som kan medföra

hydraulisk påverkan på Bästeträskområdet vid eventuell täktverksamhet på Bunge Ducker 1:64.

SGU (2005) har genom flygbildsanalys, fältbesök och sprickmätningar i centrala och östra delen av täktområdet, visat att det finns lineament såväl i orientering väst-sydväst - ostnordost som nordnordväst - sydsydost, figur 1. En markant tektonisk zon är indikerad ända upp i markytan längs Ojnare myr . Det är en mycket djup och markant zon som bland annat studerats av OPAB. Mätningar av karststrukturer i centrala och östra delen av täktområdet visar på en mycket entydig orientering i nordnordväst - sydsydost.



*Figur 1 Av SGU fält- och flygbildskarterade lineament, troligtvis orsakade av strukturer i berggrunden. Gula ringar i centrala täktområdet utgör karterade berghällar med sprickmätningar. Observera att de fält- och flygbildskarterade lineamenten (gula respektive vita streck) inte sammanfaller (efter SGU 2005)*

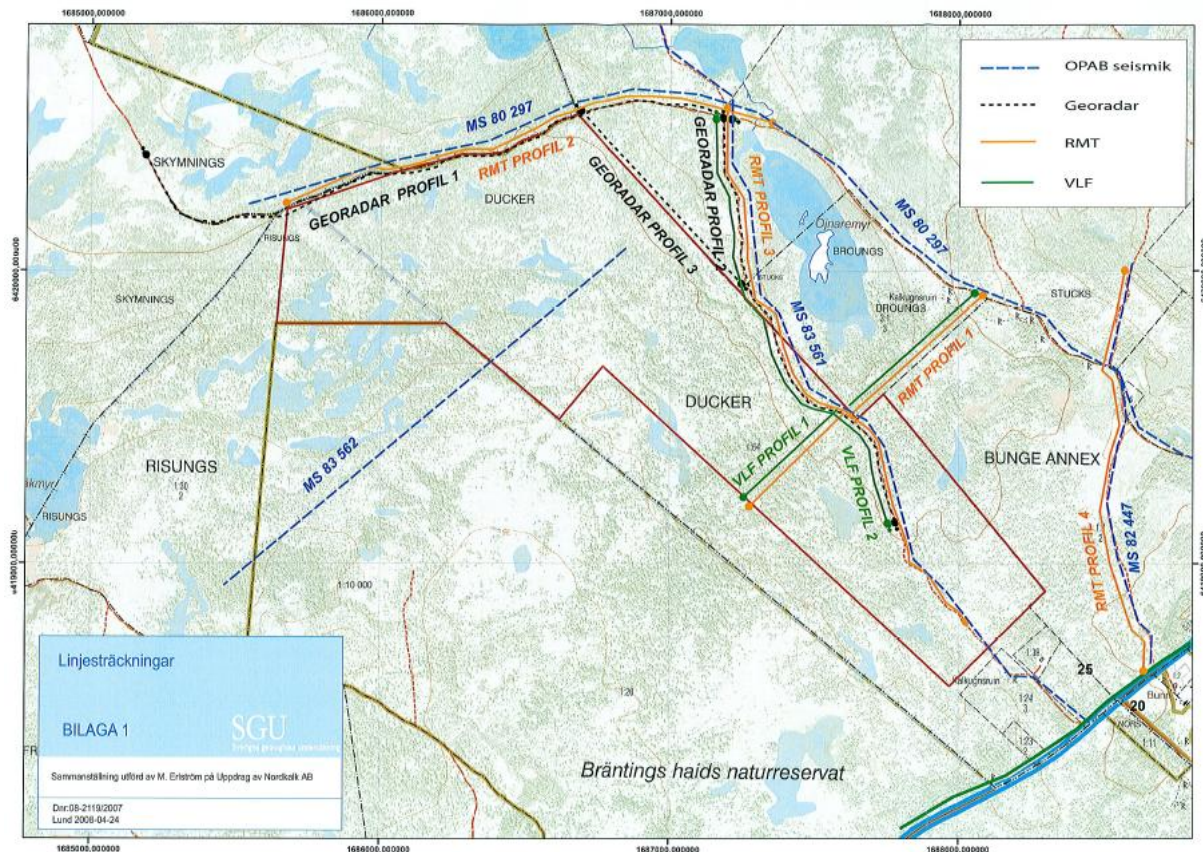
SGUs- och Nordkalks bedömning har varit att våtmarkerna i nordvästra delen av täktområdet och omgivande områden utgörs av våtar på tät botten (SGU 2005, 2009, IVL 2006) och att våtmarkerna inte kommer att påverkas av intilliggande kalkbrott. Några mätningar i dessa områden, varken geofysiska eller hydrauliska som stöder denna bedömning har emellertid redovisats.

Inga undersökningar har tidigare genomförts inom de känsliga Natura 2000-områdena Brättings haid, Bästeträsk eller Bluttmo myr utan alla undersökningar har utförts antingen inom kalkbrottsområdet eller öster om Ojnare myr, dvs utanför de känsligaste områdena, figur 2. Naturvårdsverket har bedömt att dessa mätningar är värdefulla men har bara tillämpbarhet om områdets geologi/hydrogeologi är så homogen att värden från ett område direkt kan överföras till intilliggande områden. De hydrauliska tester som genomförts i kalkbrottsområdet, visar dock på mycket stora variationer över korta sträckor. Tidigare prediktioner av vattenflöden, t ex i provbrotten har också visat dålig överensstämmelse med verkligheten.



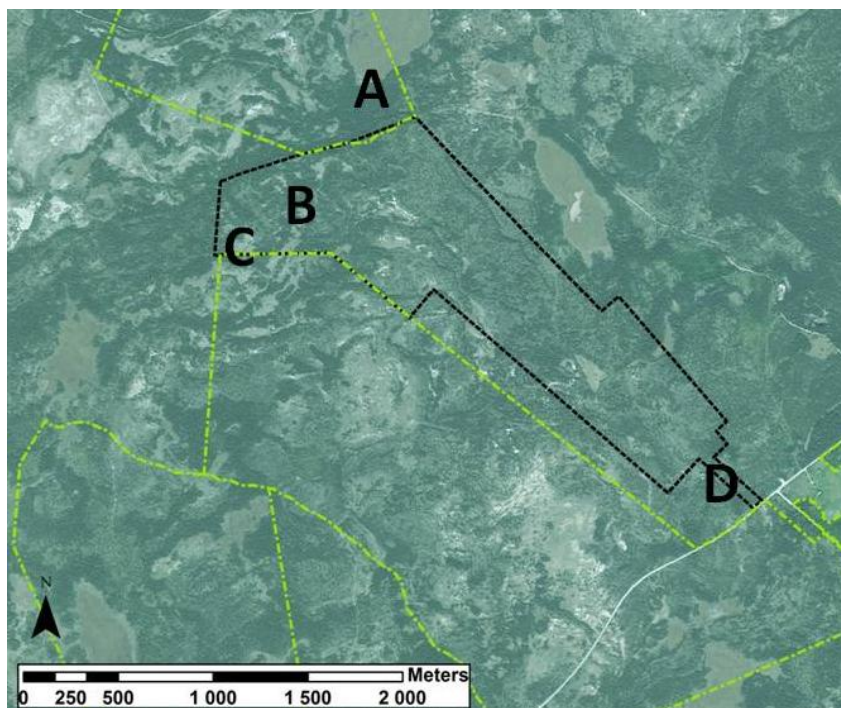
Naturvårdsverket och de utomstående vetenskapliga experter som granskat ärendet har därför ansett att det är svårt, näst intill omöjligt, att i karstpåverkade områden överföra mätningar från ett område till förhållanden i andra områden. Internationell expertis varnar också starkt för antaganden om homogenitet i karstpåverkade områden (t ex. Ford & Williams 2007).

Tidigare geofysiska mätningar sammanställt av SGU (2008) visas i figur 1.



**Figur 2** Tidigare geofysiska undersökningar omfattar endast nordligaste samt sydöstra delen av täktområdet, liksom områden öster om tåkten. Bergab (2015) har dessutom utfört tre geoelektriska profiler i sydostligaste delen av täktområdet. (SGU 2008)

Eftersom det således saknas redovisning av geologisk/hydraulisk information från stora delar av täktområdet och gränsområdena mot Natura 2000-områdena har Naturvårdsverket gett uppdrag till Aquater HB och EIAB (Environmental Innovation AB) att genomföra översiktliga geofysiska studier av vissa gränsområden mellan det planerade kalkbrottsområdet och närliggande Natura 2000-områden. Under april 2015 utfördes kompletterande mätningar med VLF (Very Low Frequency) i nordvästra delen av området med gräns mot Brantings haid (Aquater, 2015). Under juli kompletterades mätningarna med ERT (resistivitetmätningar), GPR (markradar) samt EM-mätningar (Slingram) söder, norr och nordväst om täktområdet, figur 3. I denna rapport redovisas mätningar samt analyser och resultat från ERT, GPR och EM.



Figur 3 Lokalisering av mätområden (A-D) vid Bunge Ducker 1:64. Den planerade täkten är inritad (svart linje), liksom Natura 2000-områdena (gröna linjer).

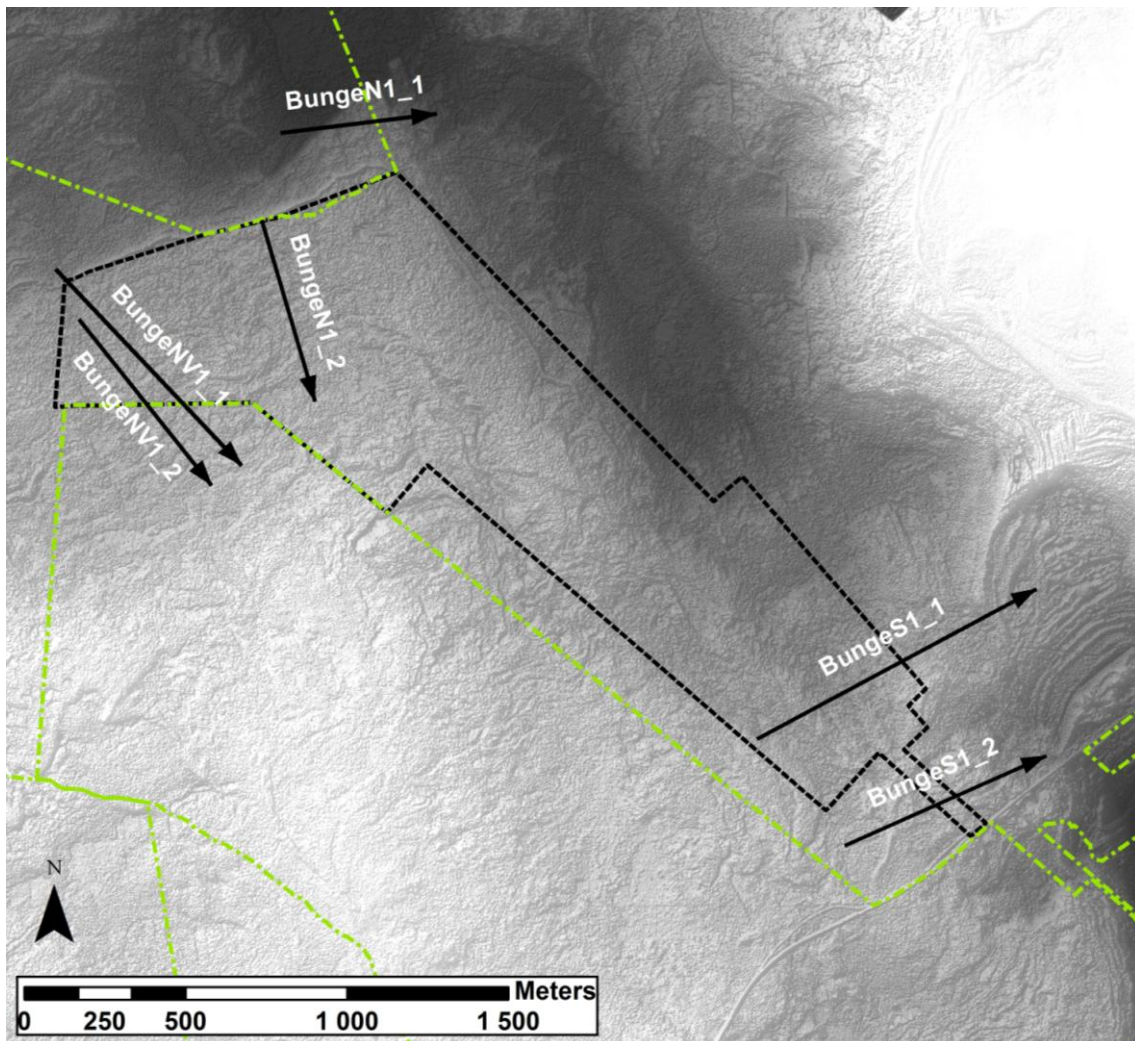
## Geoelektriska mätningar (resistivitet)

### Syfte

Syftet med resistivitetmätningar (ERT) har huvudsakligen varit att identifiera zoner och områden med lägre resistivitet, dvs högre elektrisk ledningsförmåga. Sådana zoner kan i området Bunge Ducker 1:64 bero på uppkrossad eller upplöst kalkstensberggrund med större innehåll av grundvatten, partier med lerinslag t ex mägerl eller innehåll av salt grundvatten. Av speciellt intresse för denna undersökning har varit att kartlägga om kalkstenen i täktens randområden har så hög resistivitet att den kan betraktas som massiv och tät eller så låg att omgivande Natura 2000-områden kan antas skyddade från dränering genom tät mägerl. Ett problem med geofysik, som även framhålls i SGUs mätningar är att det alltså kan finnas många orsaker till variationer i markens elektriska ledningsförmåga och att det egentligen utan samtidiga borrhningar inte är möjligt att med säkerhet ange orsaken till eventuellt påträffade anomalier (dvs avvikelser i mätvärden).

Resistivitetmätningar har således genomförts i nordvästra delen av täktområdet mot Bräntings haid, längs en kortare linje i nordost mot Bästeträsk samt sydost om täktområdet, mellan den planerade täkten och väg 158, figur 4.





Figur 4 Sträckningen av resistivitetlinjer i Bunge Ducker-området

## Metodik

### ERT (Elektrisk resistivitetstomografi)

Metodiken avseende geoelektrisk mätning beskrivs generellt i läroböcker såsom Reynolds (2011) och Milsom & Eriksen (2011). Markens elektriska egenskaper bestäms huvudsakligen av jord-och bergmaterialets egenskaper samt porvattnets jonförhållanden. Ökade salthalter i marken och porvattnet ökar vattnets elektriska ledningsförmåga och sänker således *resistiviteten* i materialet. Genom att anbringa ett elektriskt fält över en bestämd markvolym och samtidigt mäta potentialen (dvs spänningen) mellan två elektroder kan markens *skenbara resistivitet* beräknas. Att den är skenbar beror på att den endast är teoretisk och utgår från antagandet att marken är elektriskt helt homogen. I själva verket är marken ett elektriskt synnerligen heterogent medium med dels varierande geologiska förhållanden (t ex lager med olika sammansättning, i detta fall revkalksten och mörgel), dels variationer i fukthalt och porvattnets elektriska egenskaper (som till exempel beror på bergets uppspräckning och förekomst av salt grundvatten). För att bestämma markens verkliga resistivitet och dess fördelning i marklagren krävs s k *invers modellering*.



## Tidigare mätningar

Generellt gäller att ett vattenhaltigt material, t ex lera eller mörgel, har en naturligt låg resistivitet medan torrt massivt berg, t ex revkalksten, har en hög resistivitet (dvs har låg elektrisk ledningsförmåga). De naturliga variationerna mellan olika jord-och bergarter är dock mycket stor och kan överstiga flera tiopotenser. Utifrån resistivitetsmodellen kan en uppfattning om geologiska förhållanden erhållas samt givetvis indikationer på eventuellt avvikande ledningsförmåga i marken.

En genomgång av några tidigare mätningar av den elektriska ledningsförmågan i gotländsk berggrund visas i tabell 1.

Tabell 1 Tidigare mätningar av resistivitet i Gotlands berggrund.  
RMT=radiomagnetotelluriska mätningar, ERT=elektrisk resistivitetstomografi, SkyTEM=helikopterburen transient elektromagnetiska mätningar (sammanställt från angivna referenser)

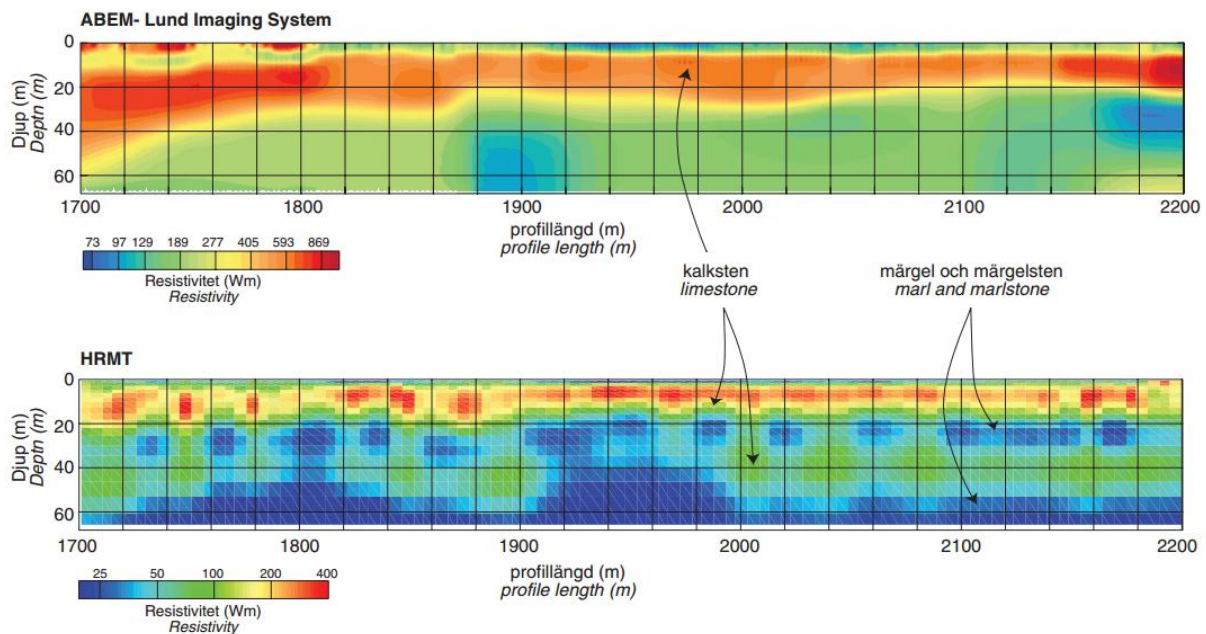
	Revkalksten $\Omega\text{m}$	Lagrad kalksten $\Omega\text{m}$	Mörgel och mörgelsten $\Omega\text{m}$	Salthaltigt vatten $\Omega\text{m}$	Referens
Mätningar på salt grundvatten				1.5-25	Karlquist m fl (1982)
Flygelektromagnetiska data (VLF) omräknad till skenbar resistivitet	>1000		<800		Erlström m fl (2009)
RMT-mätningar, markmätningar	>1000		<300		Linde & Pedersen (2004)
Resistivitetmätningar, ERT (mark)			80-800		Erlström m fl (2009)
RMT-mätningar (mark)	>1000		<200		Erlström m fl (2009)
RMT-mätningar (Bunge Ducker)	>1000	300-800	<300	<10	Erlström (2008)
RMT-mätningar					Persson & Erlström (2015)
RMT mellersta Gotland (mark)	>1000		50-200		Erlström & Persson (2014)
SkyTEM mätningar, RMT och ERT	>1000	150-1000	10-200		Dahlqvist m fl (2015)
ERT-mätningar (Bunge Ducker)			<1500		Bergab (2015)

Tidigare utförda mätningar visar alltså att revkalksten i regel har en resistivitet av minst 1000  $\Omega\text{m}$ . Den lagrade kalkstenen har lägre resistivitet, vanligtvis lägre än 1000  $\Omega\text{m}$ . Beräkningar gjorda av Dahlqvist m fl (2015) visar att om kalkstenen innehåller större mängder sött grundvatten sjunker resistiviteten något (150-1000  $\Omega\text{m}$ ) och kraftigt vid salt grundvatten (10-200  $\Omega\text{m}$ ). Mörgelsten med sött vatten uppvisar lägre resistiviteter (50-200  $\Omega\text{m}$ ) och vid salt grundvatten mycket lägre (10-80  $\Omega\text{m}$ ) (Dahlqvist m fl 2015). De flesta mätningar är gjorda med RMT (Radiomagnetotelluriska mätningar) och endast ett fåtal med ERT (elektrisk resistivitetstomografi). Erlström m fl (2009) anger att i jämförelse med RMT-mätningar är inte resistivitetmätningar (ERT) lika effektiv för att identifiera de lågresistiva lagren med mörgel och mörgelsten.

Avvikande från övriga mätningar på Gotland är Bergabs resistivitetmätningar i sydligaste delen av täktområdet ner till väg 148. Bergab anser att gränsen mellan

bottenmärgel och kalksten kan läggas vid 1500  $\Omega\text{m}$ . I de figurer som presenterats har gränsen dessutom lagts vid 2800  $\Omega\text{m}$ . Andra mätningar på Gotland visar att märgel och märgelsten har en betydligt lägre resistivitet, särskilt om den är vattenmättad. Resistivitetvärden över 1000  $\Omega\text{m}$  i samtliga andra undersökningar anses generellt indikera revkalksten. Det är oklart vilken grund Bergab har för sin bedömning. Den redovisning man refererar till i SGF (2008) tar inte upp märgel (som är en blandning av lera och kalk) men väl lera och silt (<100  $\Omega\text{m}$ ) samt kalksten (300-10000  $\Omega\text{m}$ ). Bergabs gränsdragning mellan kalksten och bottenmärgel presenteras utan jämförelse med mätningar i liknande geologiska förhållanden och utan kritisk diskussion.

En jämförelse mellan ERT och RMT i ett område med lagrad kalksten som underlagras av märgel och märgelsten visar i figur 5.



Figur 5 En jämförelse mellan resistivitetmätningar (ERT) med ABEMs multielektrodsystem (samma som använts av Bergab och i denna rapport) och RMT-mätningar över ett område med lagrad kalksten överlagrande märgel. ERT är sämre på att identifiera lågresistiv märgel. Lagrad kalksten har med båda metoderna dock resistivitet >300  $\Omega\text{m}$  medan märgel har lägre än 300  $\Omega\text{m}$ . (Erlström m fl 2009).

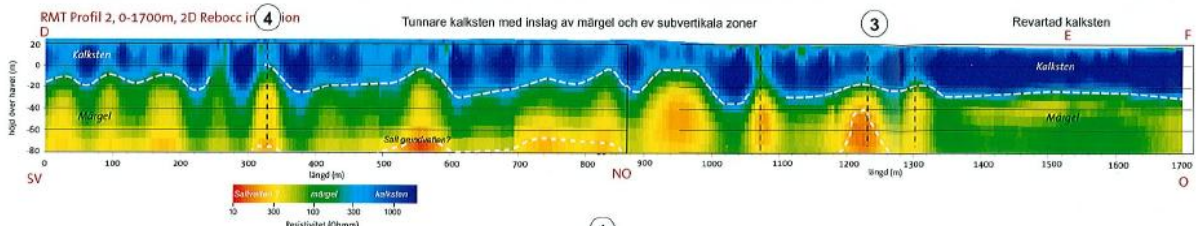
## Mätmetodik

Mätningarna i denna undersökning har utförts med ABEMs multielektrodsystem Terrameter LS med ett elektrodavstånd på 5m. Totalt har 6 resistivitetsprofiler uppmätts med en sammanlagd längd av omkring 4.5 km. Topografiska variationer har lagts in utifrån Lantmäteriets laserskannade nivåer. Modelleringarna visar ett mycket lågt medelfel (s k RMS), ofta mindre än 1%, vilket betyder att modellens förklaringsgrad av mätta data är mycket hög. Mätningarna har modellerats i 2D-modelleringsprogrammet Res2DInv (Loke 2000, Manual 2010). Huvudsakligen har en kombination mellan Marquardt och Occams inversionsmetodik använts som är lämplig för att identifiera separata objekt, såsom karststrukturer.

## Resultat

### Nordöstra gränsen i Bästeträsk (Område A)

Tidigare RMT-mätningar av SGU längs Litorinavallen vid täktområdets nordliga gräns har visat att kalkstenen här har relativt låga resistivitetsvärden, vilket har tolkats som att detta område består av tunnare lagrad kalksten med inslag av mörgel, figur 6. Erlström (2008) har också identifierat en mängd förmodade subvertikala zoner med mycket låg resistivitet ( $<100 \Omega\text{m}$ ) som också kan innehålla salt grundvatten. Orienteringen av karstsprickor i östra delen av täktområdet är genomgående NNV-SSO, dvs från täktområdet in mot Natura 2000-området Bästeträsk (SGU 2005).

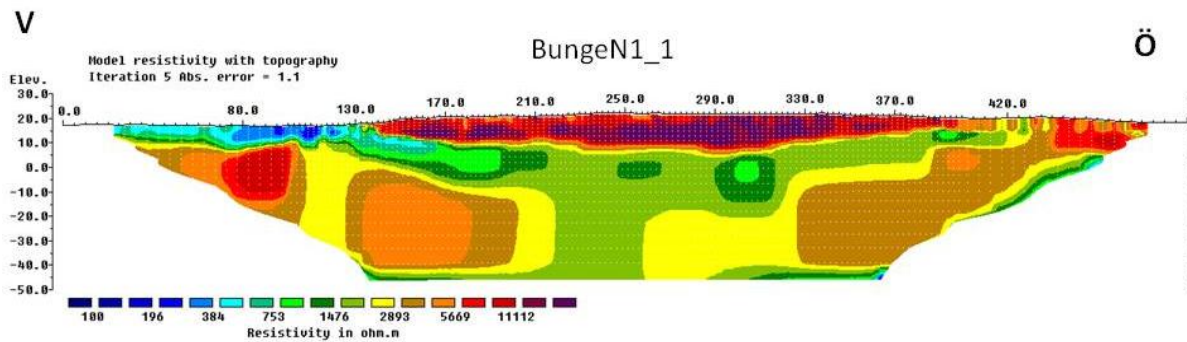


Figur 6. RMT-mätning längs kalkbrottets nordgräns visar tämligen låga resistivitetsvärden för kalkstenen ( $>300 \Omega\text{m}$ ) samt ett stort antal förmodade subvertikala zoner (Erlström 2008).

En kortare (500 m) ERT-profil har gjorts parallellt med RMT-profilen men några hundra meter in i Bästeträsk Natura 2000-område med syfte att se om de förmodade subvertikala zonerna har någon förlängning in i det lägre belägna Natura 2000-området, figur 7. Det generella ytvattenflödet (och troligen grundvattenflödet) i detta område är med stor sannolikhet nordlig eller nordvästlig. Kalkbrottet vänder grundvattenflödet i detta område i riktning mot täkten. En ytlig återföring av inläckande vatten kan begränsa effekterna i Bästeträsk men grundvattensänkning kan uppkomma inom Natura 2000-området om grundvatten inte återförs.

Längs stora delar av profilen är kalkstenen blottad, i väster sjunker bergytan kraftigt och berget täcks av ett fuktigt jordlager, delvis med torv i markytan.

ERT-mätningar är som tidigare angivits mindre bra för att återge lågresistiva lager på djupare nivåer. Profilen i figur 7 visar att de övre 15-20 m till stora delar består av kalksten vilken underlagras av ett lager med lägre resistivitet, troligen kalksten med mörgellager. Kalkstenen är inte homogen i ytan utan innehåller partier med lägre resistivitet. Där bergytan sjunker (ca 130 m) återfinns ett ytligt lager (0-8 m) med låg resistivitet ( $<300 \Omega\text{m}$ ). Zonen kan svagt även spåras på djupare nivåer och kan troligtvis utgöra mörgel eller mörgelsten. Det går dock inte att utesluta att området också innehåller ytligt salt grundvatten. Ett område med lägre resistivitet är också synligt i östligaste delen av profilen. Det sammanfaller väl med de brantstående zoner som syns i RMT-profilen (1100-1300 m) i figur 6 och torde i så fall innebära att dessa når upp till markytan.

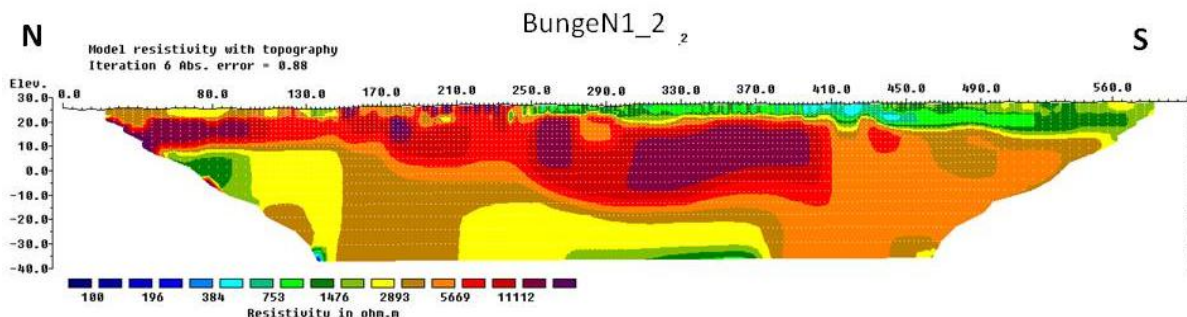


Figur 7 ERT (Resistivetslinje) norr och nordöst om täktområdet (profil BungeN1\_1)

### Väster om västra provtäckten (Område B)

Profilen sträcker sig från vägen norr om provtäckten åt sydväst, väster om västra provtäckten. Inför öppnandet av provtäckterna antogs att inflödet till provtäckterna troligtvis skulle bli så litet att bortpumpning av inläckande vatten inte skulle vara nödvändigt (IVL 2005). I verkligheten blev inflödet betydande, framförallt i västra brottet, bl a genom inflöde av ett kloridhaltigt vatten (IVL 2007). Eftersom brottet sammanfaller med lineament som SGU tidigare karterat, se figur 1 (SGU 2005) var syftet med ERT-profilen att se om någon specifik zon kunde detekteras i området. Inga tidigare resistivetsmätningar har utförts i närområdet.

Profilen visas i figur 8.



Figur 8 ERT (Resistivetslinje) BungeN1\_2, strax väster om provbrotten.

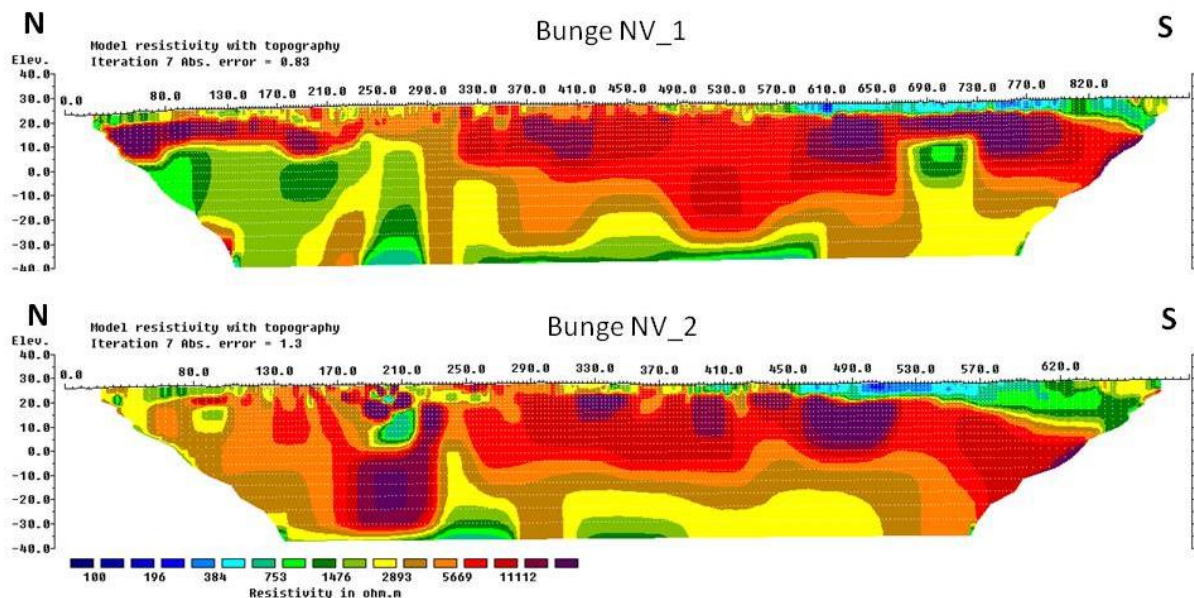
Kalkstenen är mäktig inom de centrala delarna och sträcker sig ner till minst 40 m djup. I norra delarna av profilen är djupet ner till märellager knappt 20 m. Översta ca 5 metrarna av berget har generellt en betydligt lägre resistivitet och sannolikt en högre sprickighet, vilket sammanfaller med erfarenheterna från provbrotten och kan förklara den kraftiga inläckningen i det västra brottet. Betydligt lägre resistivitet (<700  $\Omega$ m) kan ses i ytära lager i södra halvan av profilen. Detta område stämmer överens med förlängningen av de våtmarker som finns i norra delen av Bräntings haid. De lågresistiva zonerna kan även avspegla ytliga (0-10 m) lager av märgel.

### ERT-profiler mot Bräntings haid (Område C)

Geofysiska undersökningar har sedan länge efterfrågats längs kalkbrottsområdets nordvästra gräns mot Bräntings haid. Risken för dränering av våtmarker inom nordvästra delen av Natura 2000-området Bräntings haid samt våtmarker norr därom



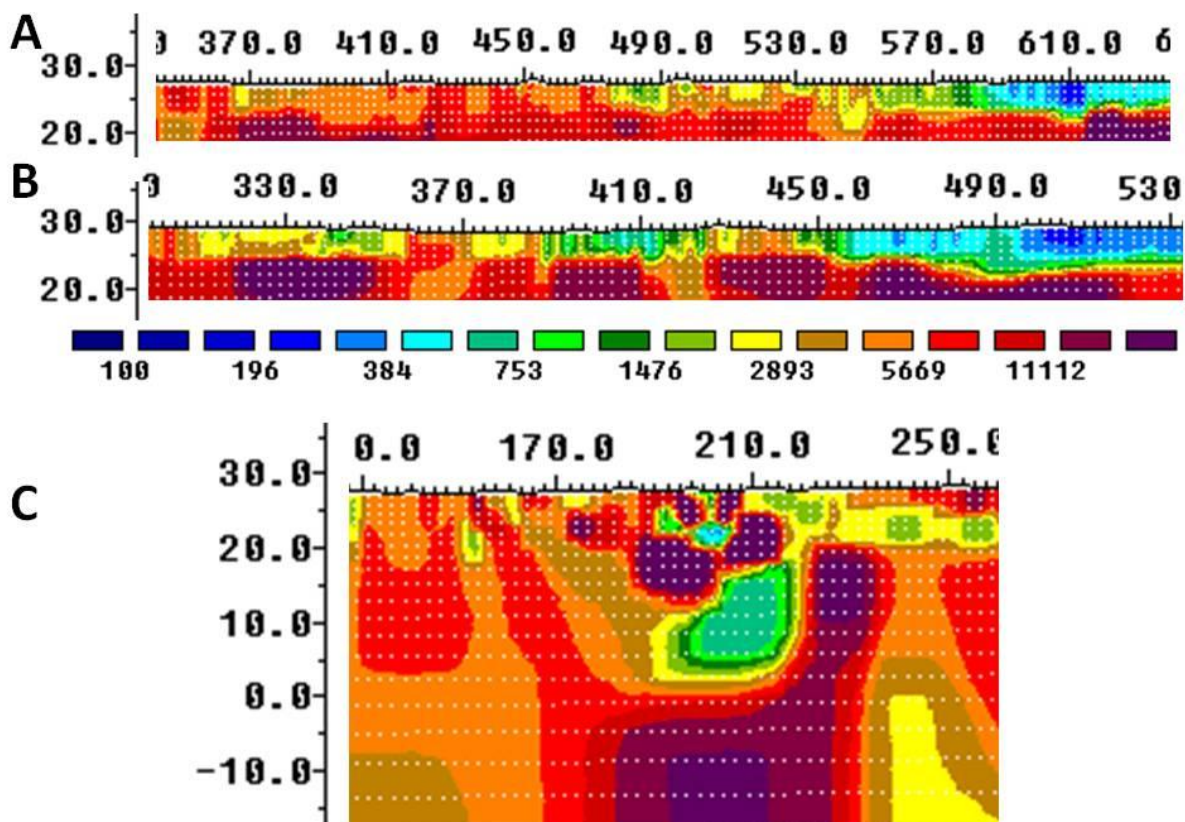
har framförts. Trots detta har inga geofysiska undersökningar genomförts inom ramen för täktansökan. VLF-undersökningar längs profiler i detta område har indikerat ett flertal ytliga och brantstående strukturer (Aquater 2015). Syftet med ERT-mätningarna i detta område har varit att översiktligt studera mäktighet på och eventuella strukturer i ytliga delar av kalkstenen (ner till ca 25 m). Två, närmast parallella profiler i orientering NV-SO har utförts, se figur 4. Profilerna visas i figur 9.



Figur 9 ERT-profiler längs gränsen mot Bräntings haid. Sträckningen av profilerna visas i figur 4.

Profilerna visar att de centrala delarna består av massiv kalksten ner till -10 eller -20 m ö h (röda och orangea färger i profilerna). Därunder sjunker resistiviteten kraftigt, vilket troligtvis beror på märgelinslag (huvudsakligen gröna och i viss mån gula färger). I nordvästra delarna av den nordöstligaste profilen (Bunge NV\_1) är kalkstenen betydligt tunnare (10 m). Resistivitetsmetoder har dock visat sig vara mindre bra på att detektera utbredda elektriskt konduktiva zoner (t ex märgel) på större djup (Erllström mm 2009). Metodiken är dock betydligt bättre på att detektera variationer av ledningsförmågan i övre delar av marklagren. De översta 5-6 metrarna av kalkstenen är i båda profilerna betydligt mer elektriskt ledande och har en mycket större variabilitet i resistitivetsvärden vilket kan bero på en betydligt större grad av uppkrossning, figur 10.

Ett flertal zoner av lägre resistivitet inom de övre marklagren är synliga i figur 10 som är en förstoring av de ytliga delarna av profilerna. Den eventuella uppkrossningen ökar in mot Bräntings haid. I södra delen av båda profilerna är resistiviteten inom de översta 10 metrarna betydligt lägre. Dessa områden kännetecknas av tunna våtmarker på kalkberggrund. Det står klart att våtmarkerna inte är resultat av en tät berggrundsytta utan tvärtom pekar de uppspruckna övre berggrundslagren som även studerats i fält på god förbindelse mellan yt- och grundvatten.

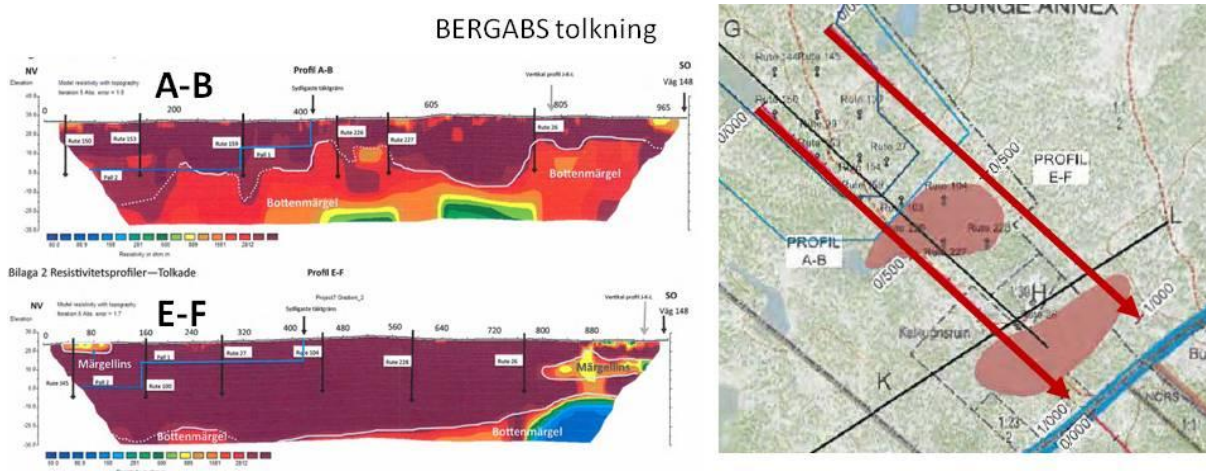


Figur 10 Förstyrningar av de översta 10 metrarna av profil Bunge NV1\_1 (A) och BungeNV1\_2 (B) samt av en stark anomali i BungeNV1\_2 (C)

Ett antal av de geoelektriska anomalierna har en djupare förlängning, ner till ca 10 m. En tydlig anomali återfinns ovanför en annars massiv kalksten vid position 210 i profil Bunge NV1\_2 (se figur 10C). Ursprunget är oklart men kan bero på lokal märelinblandning, ansamling av salt grundvatten eller större karststruktur. Vid position 245 i samma profil återfinns en brantstående men tydligt elektriskt ledande struktur som nästan når markytan. Det är viktigt att sådana strukturer noga undersöks om närområdet avses att exploateras.

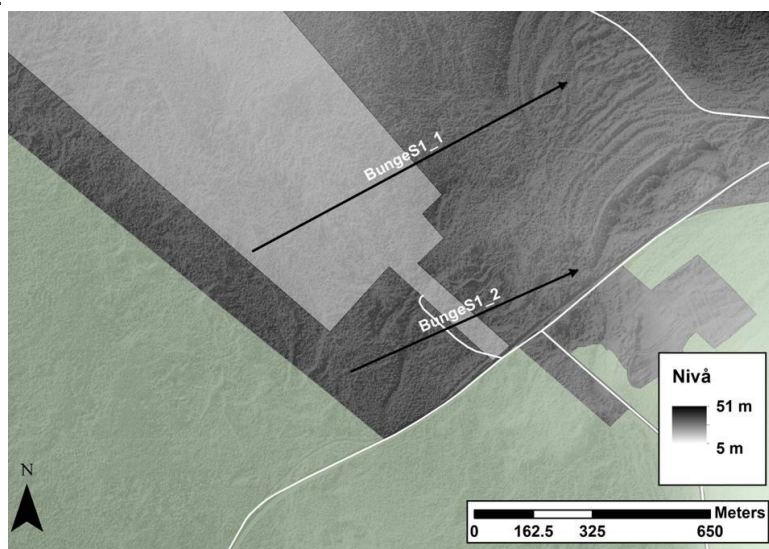
### Söder om täktområdet, mot Bluttmo myr (Område D)

Resistivitetsmätningar har utförts längs två linjer parallellt med väg 148. Syftet med dessa mätningar har varit att undersöka förekomst av geologiska barriärer mellan täktområdet och Bluttmo myr. Nordkalk har tidigare låtit Bergab (2015) utföra tre geoelektriska profillinjer från täktområdet, sydost i riktning mot Bluttmo myr, varav två linjer utförts norr om väg 148. Slutsatsen från Bergab (2015) har varit att s k bottenmargel höjer sig upp mot väg 148, figur 11. Utifrån detta menar Golder(2015) att de geofysiska undersökningarna visar att det finns geologiska barriärer som förhindrar dränering åt sydost.



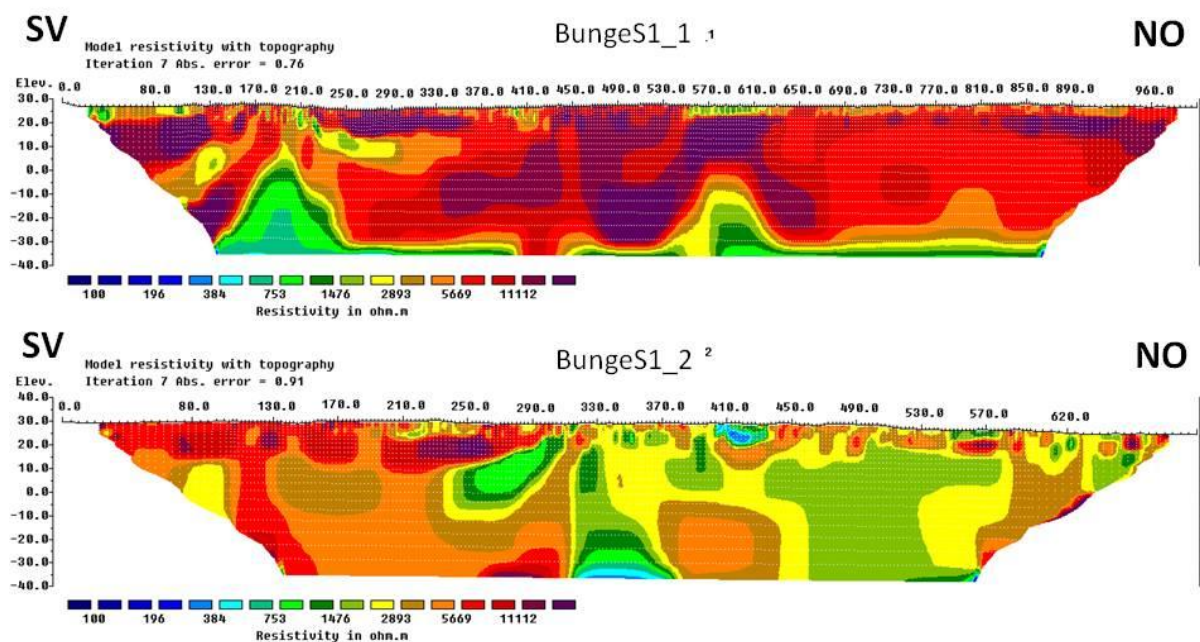
Figur 11 Bergabs geoelektriska mätningar och tolkning. Observera att endast några få av de angivna borrpunkterna längs profil A-B ligger längs profilen och ingen borrpunkt finns längs profil E-F. Observera också att Bergab i figuren anger allt under 2800  $\Omega\text{m}$  som bottenmargel trots att man i text anger gränsen 1500  $\Omega\text{m}$ .

I syfte att studera utsträckningen av den av Bergab angivna mägerln utfördes två till Bergab vinkelräta profiler, huvudsakligen i de områden där den s k bottenmägerln kommer upp. Profilsträckningarna framgår av figur 12 och det modellerade resultatet visas i figur 13.



Figur 12 ERT-mätningar i södra delen av täktområdet.





Figur 13 ERT-mätningar i södra delen och syd om täktområdet, norr om väg 148 (BungeS1\_1 och BungeS1\_2)

Mätningarna visar genomgående resistiviteter över 2000  $\Omega\text{m}$  utom på stora djup och någon enstaka ytlig anomali. Större delen av profil 1 (norra mätlinjen) och västra halvan av profil 2 (södra mätlinjen) har resistiviteter på över 4000  $\Omega\text{m}$ . De översta metrarna visar även här en större variation i resistivitet som troligtvis berör på en mycket högre uppspräckningsgrad. Den förhöjning av bottenmargeln som Bergabs mätningar indikerat i linje A-B återfinns bara inom ett mycket smalt stråk (vid ca position 190m) och återfinns där ca 15 m under markytan. Vid de RMT-mätningar (profil nr 3) som SGU genomfört fram till södra täktgränsen anges djupet till margeln vara drygt 20 m (Erlström 2008). Någon utsträckning av anomalin enligt den bild som Bergab (2015) presenterar kan således inte urskiljas.

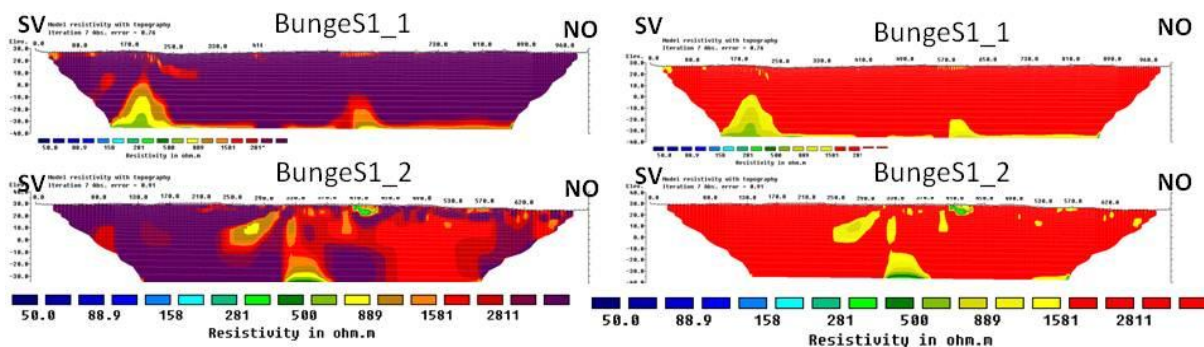
Den södra resistivetslinjen visar generellt lägre resistiviteter, särskilt åt nordost men undertiger 1500  $\Omega\text{m}$  endast lokalt. Intressant är en ytlig anomali ner till ca 10 m vid position 410. En tydlig anomali med lägre resistivitet syns även vid 310 vilken sträcker sig ner åt väster till ett djup av ca 20 m. Denna anomali börjar vid en liten väg som leder till en gammal kalkugn. Formen på anomalin och dess härkomst som tycks komma från skogsvägen antyder spridning av någon förorening från vägen. Orsaken är i nuläget okänt men skulle kunna vara läckage från något saltupplag eller liknande.

Resistivetsmätningar har visat på begränsningar att urskilja lager av mörkel och mörkelsten på större djup (Erlström 2009) och är därför inte alls någon lämplig metod att använda för detta ändamål. Tidigare mätningar på Gotland av SGU har också visat att resistiviteten för mörkel är betydligt lägre.

Bergab (2015) anger att gränsen för bottenmörkel satts till 1500  $\Omega\text{m}$  (fast i figurerna har gränsen dragits så högt som vid 2800 $\Omega\text{m}$ ). För att jämföra med Bergabs bedömningar har samma färgskala använts som i Bergabs presentationer i figur 14. Dessutom har Bergabs angivna gräns för mörkeln (1500  $\Omega\text{m}$ ) testats för att se vilka områden som faller under denna gräns (figur 14). Figuren visar att om



märgelgränsen dras vid 1500Ωm så finns det endast mycket små områden som skulle kunna klassas som märgel eller märgelsten.



Figur 14 ERT-mätningar i södra täktområdet (BungeS1\_1 och BungeS1\_2) med samma skala som Bergab(2015) använt (t.v.) samt förekomst av märgel (gult) om gränsen 1500 Ωm används (t.h.)

De kompletterande ERT-mätningarna i södra delen av täktområdet visar inte på någon geologisk barriär såsom antagits. Resistivitetmätningar är inte heller någon lämplig metodik att använda för att dra gränser mellan kalksten och märgel/märgelsten. Kalkstenen visar lokalt en något lägre resistivitet som mycket väl kan vara betingad av lager och skikt av märgel men som också kan bero på ökad uppspräckning av berggrunden. Det står också klart att den ytvattendelare som finns strax söder om södra täktgränsen inte har någon tydlig bergartsbetingad förklaring som syns i resistivitetsdata utan kan möjligtvis bero på en underliggande revkropp.

## EM-mätningar

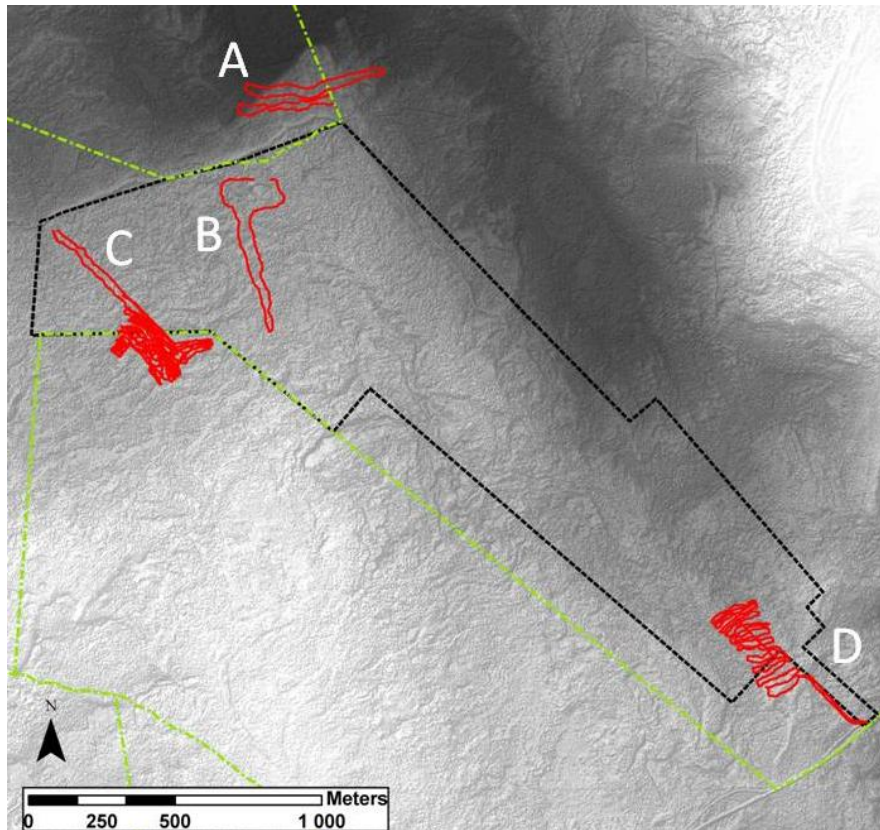
### Syfte

Elektromagnetiska (EM) mätningar har ett brett spektrum av tillämpningar inom miljö- och geoteknik (Milsom & Eriksen 2011, Reynolds 2011). Syftet med EM-mätningar (med s k Slingram) i denna undersökning har varit att kartlägga de översta delarna av marklagren (ner till 6-7 m), i första hand för att bättre förstå den geologiska situationen, bland annat för att identifiera partier med högre grad av uppspräckning.

### Metodik

Ett utsänt elektromagnetiskt fält inducerar elektriska strömmar i ledare i marken som i sin tur ger upphov till sekundära mätbara elektromagnetiska fält. De uppmätta elektromagnetiska fälten påverkas av markens elektriska ledningsförmåga och metalliska objekt i närheten, Instrumentet som använts har varit en CMD Explorer, vilket utsänder ett elektromagnetiskt fält samt har tre antenner på olika avstånd från sändaren vilket medger olika djupkänning. Mätningens frekvens var 2 mätningar/s över undersökningsområdena och varje mätning är genom samtida GPS-mätningar kopplad till en geografisk position. Mätningar i antenn (i), (ii) och (iii) ger en effektiv djupkänning ner till cirka 2,2, 4,2 och 6,7 m under marken (GF Instruments 2015). Varje mätning ger två mätvärden för varje antenn, dels s k *Quadrature* som visar genomsnittliga elektriska ledningsförmågan, dvs den elektriska konduktiviteten

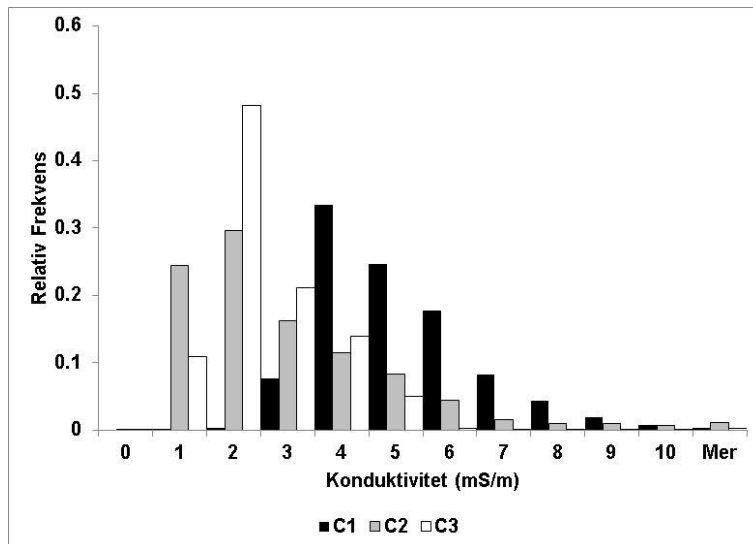
(mS/m) över den volym som mäts i marken, dels s k *In-phase* som visar det magnetiska fältet och således påverkas starkt av enskilda metallobjekt och deras förmåga att magnetiseras (mäts i ppt - parts per thousands) De områden som undersökts är samma områden som undersökts med ERT och är markerade A,B,C och D i figur 15.



Figur 15 Undersökningsområdet. Svarta linjer indikerar gränsen till det potentiella kalkstensbrottet. Gröna linjer indikerar gränsen till Natura 2000-områden. Bokstäverna indikerar undersökta områden. De röda linjerna utgör mätlinjer inmätta med GPS.

## Resultat

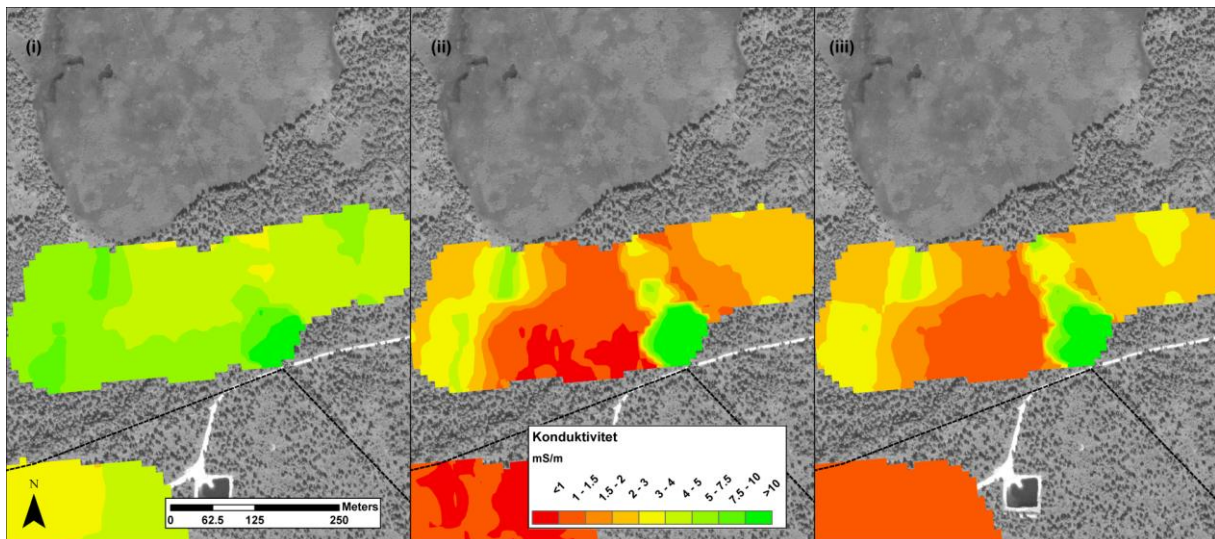
Mer än 35000 enstaka mätningar togs med varje antenn. Medelvärden av den elektriska ledningsförmågan i alla undersökningsområdena för de tre antennerna var (i) 4.4 mS/m, (ii) 1.81 mS/m, och (iii) 1.67 mS/m (Figur 16). Kalksten har oftast en konduktivitet mellan 0.0001 till 20 mS/m, mörkel mellan 14 till mer än 300 mS/m, jord med 20% lerhalt runt 30 mS/m och regnvatten runt 20 mS/m (Reynolds 2011). Eftersom mätningarna görs över en volym blir mätningarna ett medelvärde av förhållandena i den volymen. Starka kontraster i mätvärden mellan kalksten och andra jord- och bergarter gör att EM-metoden antas vara mycket lämplig att använda i detta område för relativt ytliga undersökningar av de geologiska förhållandena (ner till 6-7 m).



Figur 16 Sammanlagd fördelning av konduktivitetsvärden mätt med de tre olika antennerna i området Bunge Ducker.

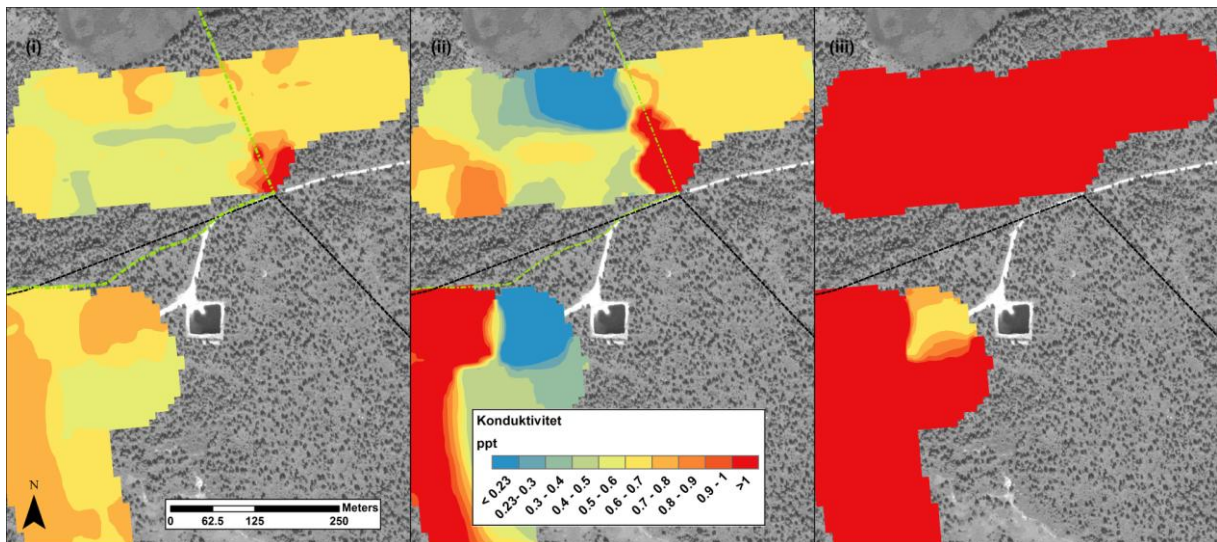
### Gräns mot Bästeträsk, Område A

Mätningar i undersökningsområde A (figur 17) visar starka anomalier i den västra delen som sammanfaller med topografiska lågpunkter. I det området var terrängen blötare, men ökad ledningsförmåga i marken återfinns i mätningar med alla antenner. Jordmäktigheten är delvis okänd i denna del av profilen. Anomalierna kan således antas bero på lokalt djupare jordlager, förekomst av yttlig mörgel eller annat ledande material. En uppsprucken och nereroderad kalkstensberggrund kan heller inte uteslutas. En stark anomali som syns i mitten av området beror på ett metalliskt staket vilket även är tydligt i *In-phase* mätningarna, figur 18.



Figur 17 Resultat från EM mätningar i undersökningsområde A med antenn i, ii och iii som medger effektiva djup på cirka 2.2, 4,2 respektive 6.7 m

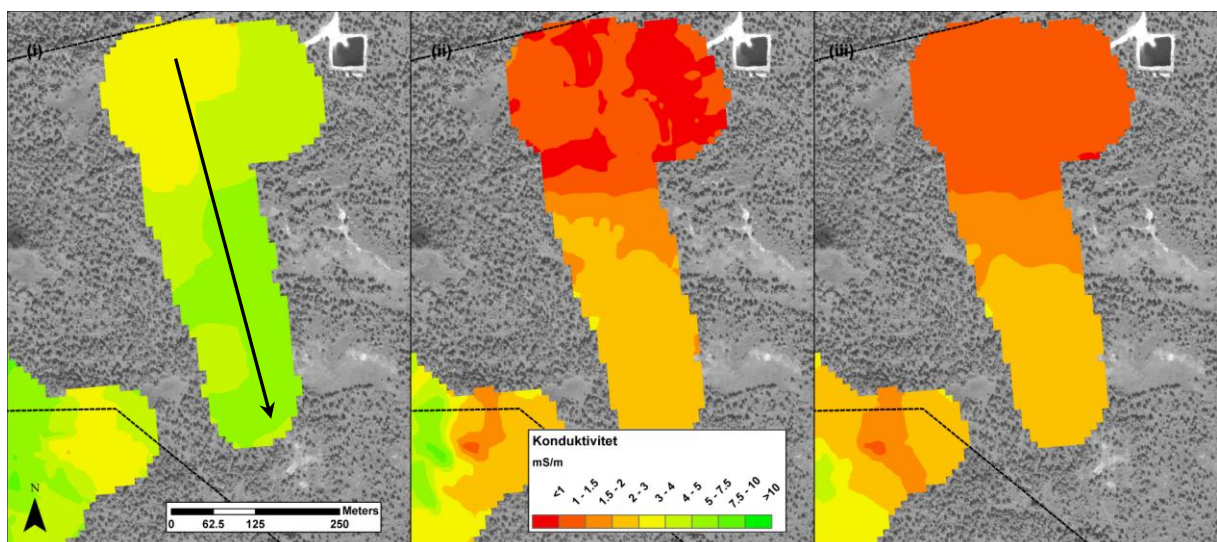




Figur 18 *In-phase* mätningar från undersökningsområde A med antenn i, ii och iii (effektiva djup cirka 2.2, 4,2 och 6.7 m)

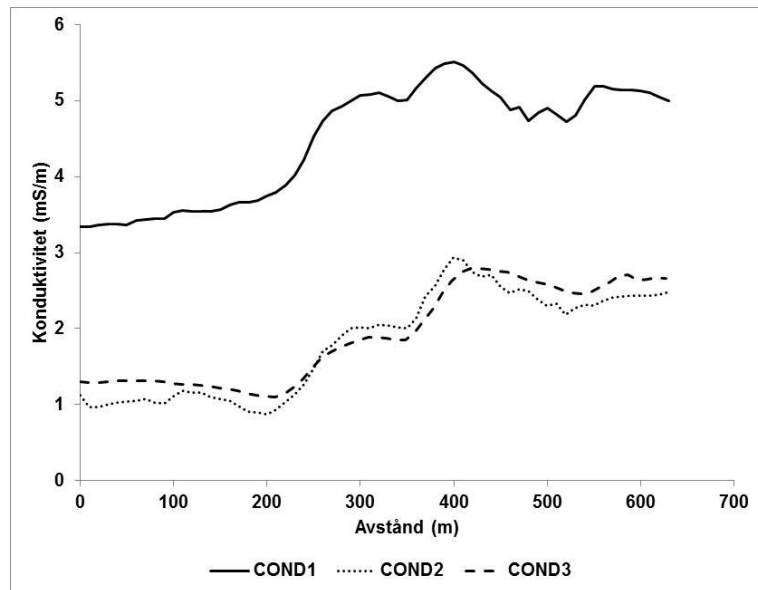
### Väster provbrotten (Område B)

Mätningar i område B visar en ökning över medianvärdet i konduktivitet i södra delen av området (figur 19). En stark ökning av den elektriska ledningsförmågan i den ytligaste markvolymen indikerar att det ytliga berget (2-3 m) är betydligt mer uppsprucket än djupare markvolymen (6-7 m). Alla tre antennerna visar en ökning i konduktivitet i den södra delen av område B (figur 20). Konduktiviteten är nästan dubbelt så hög i den södra delen (2-3 mS/m i antenn (ii) och (iii)) jämfört med den norra delen (1-1.5 mS/m). Anomalier finns dock från markytan och ner till mer än 7 m. *In-phase* variationerna längst norrut i undersökningsområde B kan ha uppkommit på grund av intilliggande provtäkt (Figur 21). *In-phase* mätningar som registrerar det magnetiska fältet påverkas i allmänhet av metalliska objekt, i detta fall det metallstängsel som omgärdar provbrottet.

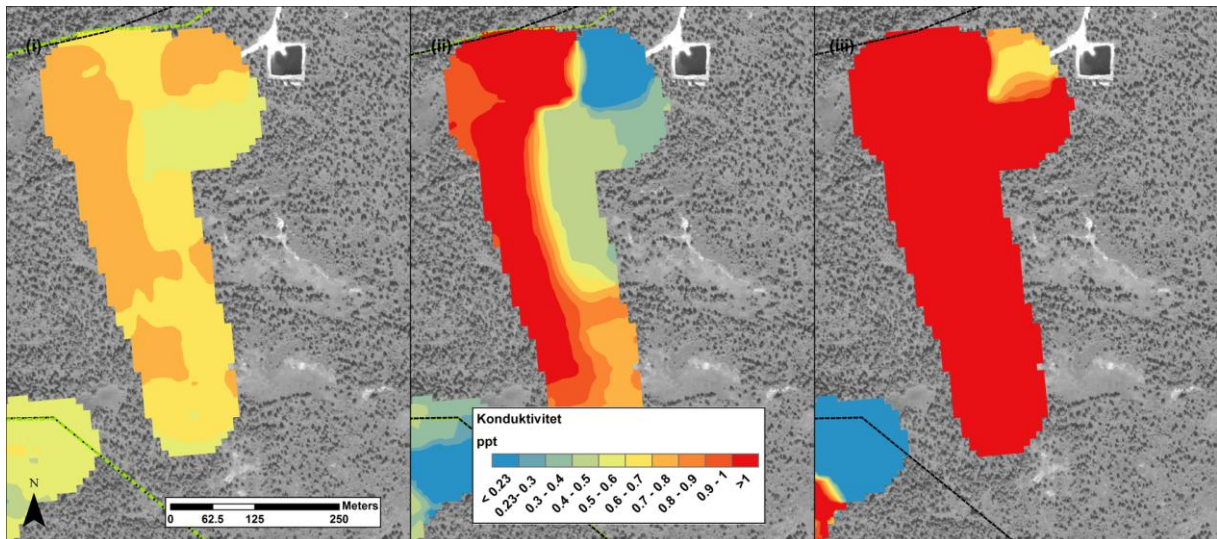


Figur 19 Resultat från EM mätningar i undersökningsområdet B med antenn i, ii och iii. Pilen visar de mätningar som presenteras i Figur 20





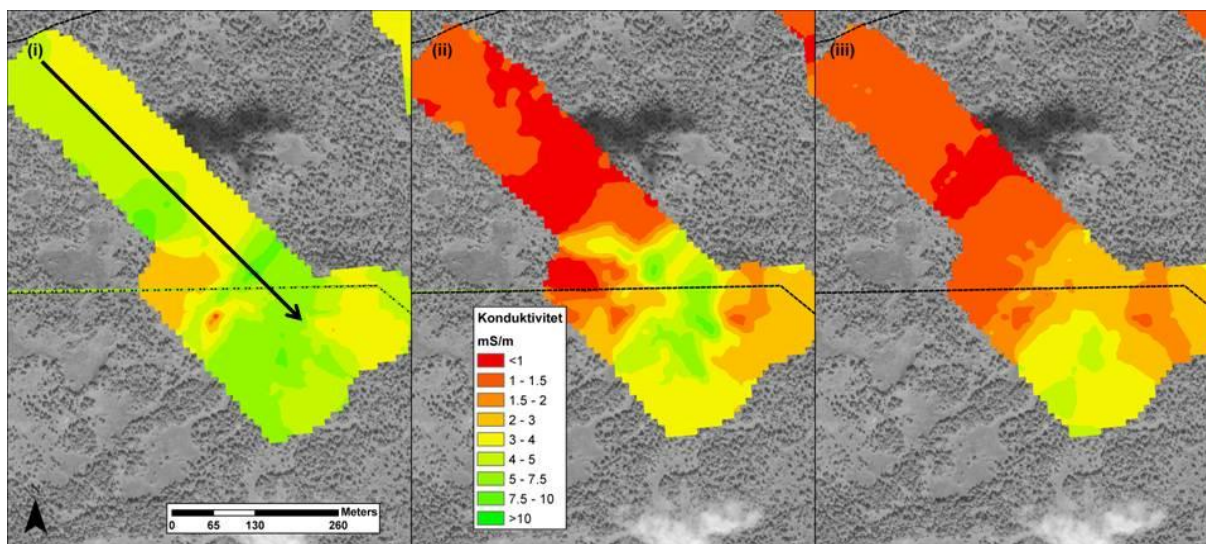
Figur 20 EM mätningar längs en linje från norr till söder i undersökningsområde B med antenn i (COND1), ii (COND2) och iii (COND3)



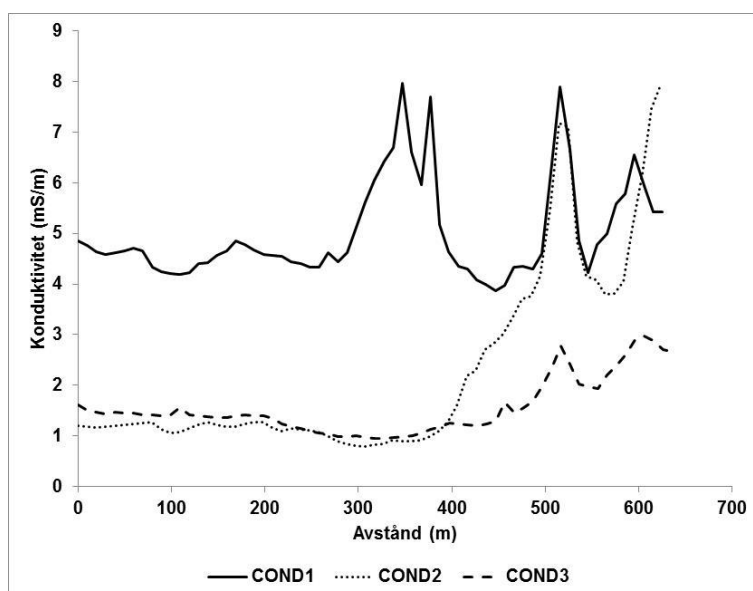
Figur 21 *In-phase* mätningar från undersökningsområde B med antenn i, ii och iii

### NV delen av täktområdet, mot Bräntings haid (Område C)

I område C mot Bräntings haid visar mätningarna något högre värden i den södra delen av området, mellan 5-10 mS/s (figur 22). I den norra delen ligger mätningarna i närheten av medianvärdena för all tre antennerna. Starka variationer i alla antenner uppkommer från avståndet 50-100 m från Bränting haid's Natura 2000-område (figur 23). Den generella ökningen i konduktivitet kan bero på ökad vattenhalt i det ytligaste berget (figur 22 och 23). En generell typprofil genom området från norr till söder kan ses i figur 23. Terrängen var vid mätfallet blöt, men då jordlagret var tunt och jämnt borde det inte leda till de starka anomalier som finns vid 500 m och 600 m (figur 23).



Figur 22 Resultat från EM mätningar i undersökningsområde C med antenn i, ii och iii som medger effektiva djup på cirka 2.2, 4,2 respektive 6.7 m Pilen visar de mätningar som presenteras i figur 23



Figur 23 EM mätningar i undersökningsområde B med antenn i (COND1), ii (COND2) och iii (COND3)

En mer detaljerad analys av konduktivitetsfördelningen kan ses i figur 24. Områden med hög ledningsförmåga ligger precis längs en trädlinje och är starkast i antenn (i) och (ii), vilket kan innebära att de återfinns ner till 4-5 m djup. En möjlig förklaring till de anomalier som syns i den södra delen av undersökningsområde C är således uppspräckning längs en nordost-sydväst orientering. De kraftiga anomalierna i antenn (ii) indikerar elektriska ledare på nivån 4-5 m (Milsom och Eriksen 2011) (figur 25).

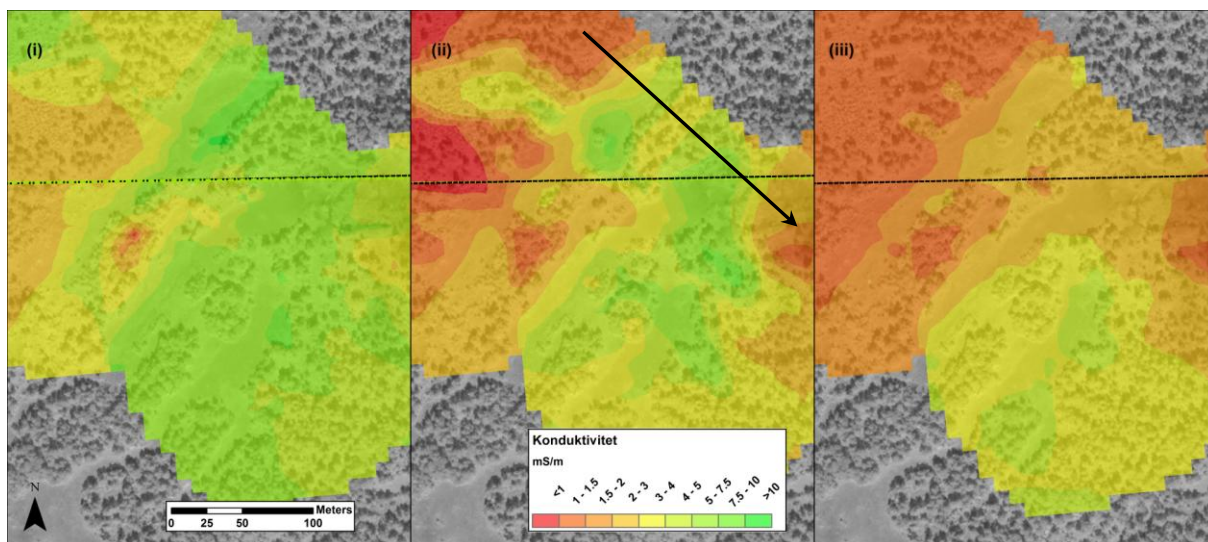
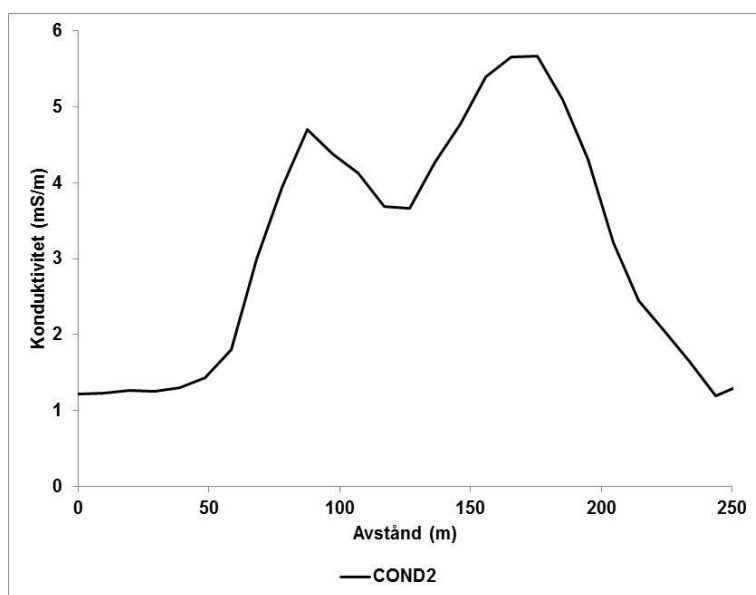


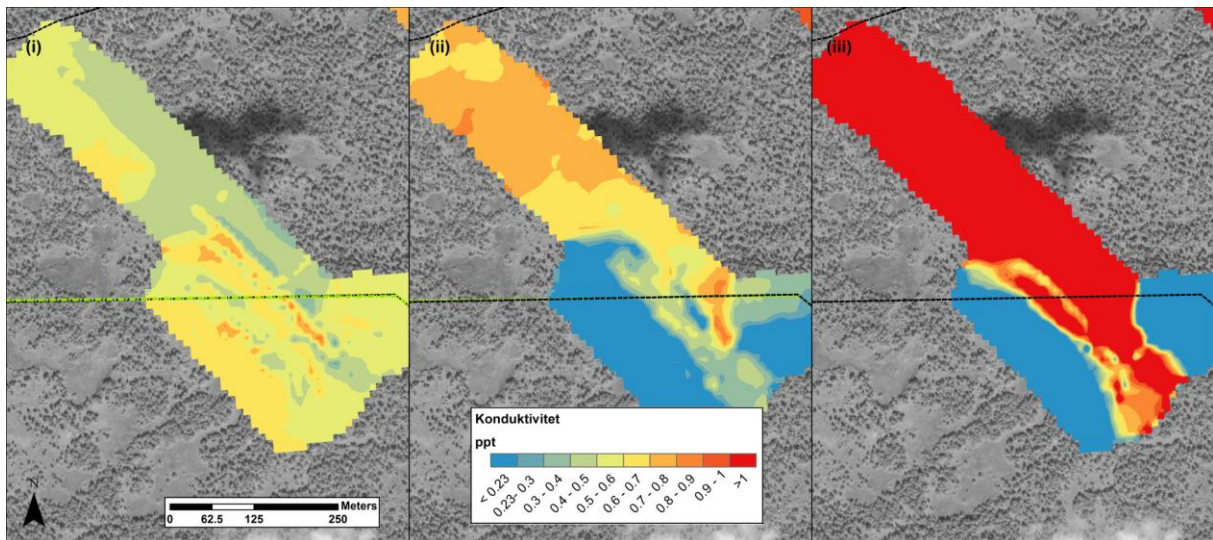
Figure 24 Resultat från EM mätningar i den södra delen av undersökningsområde C med antenn i, ii och iii (effektiva djup cirka 2.2, 4,2 och 6.7 m). Pilen indikerar läget på den mätningprofil som visas i figur 25



Figur 25 EM mätningar i den södra delen av undersökningsområde C med antenn ii (effektivt djup ca 4.2m)

*In-phase* mätningarna visar att variationerna ökar i den södra delen av undersökningsområde C, vilket kan innebära att det området är generellt mer uppsprucket ner till djupet 5 m (figur 26). *In-phase* mätningarna i antenn (ii) och (iii) visar även en stark anomali med en nordväst-sydostlig orientering i den södra delen av undersökningsområdet, där ett vegetationsstråk har en likartad orientering.





Figur 26 *In-phase* mätningar i undersökningsområde C med antenn i, ii och iii

### Söder om täktområdet, mot Bluttmo myr (Område D)

Konduktiviteten i område D ligger något högre närmast markytan, oftast mellan 3-4 mS/m. På djupet 5-10 m varierar den elektriska konduktiviteten mellan 0 och 2 mS/m (Figur 27). Den västra delen av undersökningsområdet D har en lägre ledningsförmåga, vilken kan förklaras av att marken här är högre och torrare. En svag ökning i konduktivitet är också tydlig mellan antenn ii och iii, vilken kan förklaras av en ökad vattenhalt i det djupare lagret. En ökning i konduktivitet kan också ses i den södra delen av undersökningsområdet. Detta är ett typiskt resultat av förorenat dagvatten från en vägbana. Olika metaller och andra katjoner, liksom ytligt finmaterial i form av dammpartiklar leder till en ökning i konduktiviteten nära befintliga vägar, i detta fall väg 148 (Earon et al. 2012). En mindre ökning av konduktiviteten (cirka 0.5 mS/m) som kan ses cirka 150 m norr om vägen i antenn iii kan dock ha uppkommit på grund av lokalt mer uppsprucken berggrund. Mätvärdena i undersökningsområde D ligger nära medianvärdet för alla undersökningsområden, vilket indikerar att berggrunden är relativ likartat ner till ett djup av cirka 8-9 m.

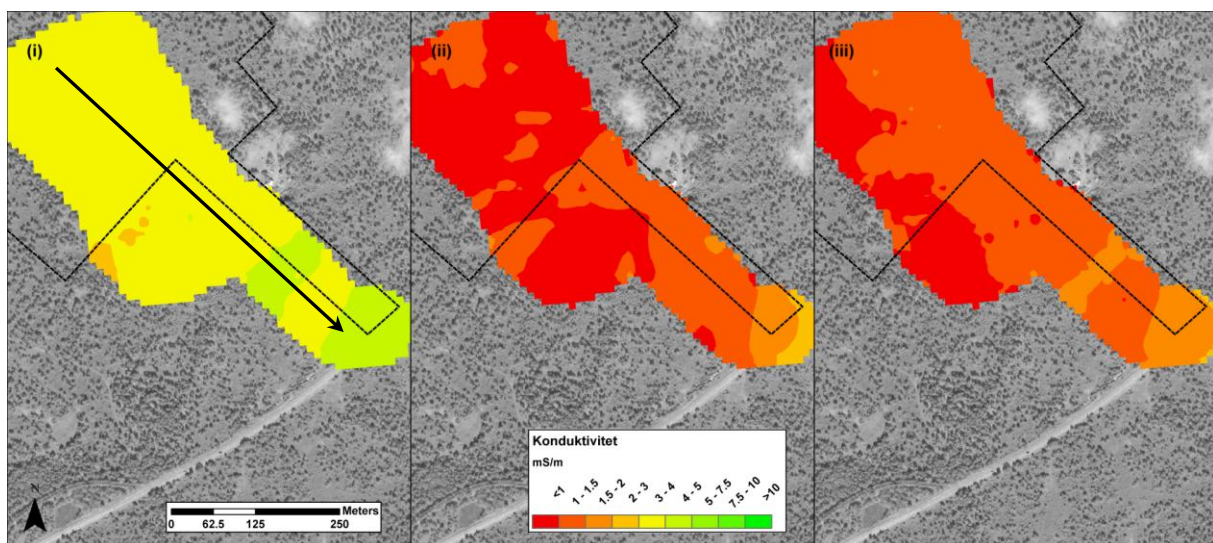
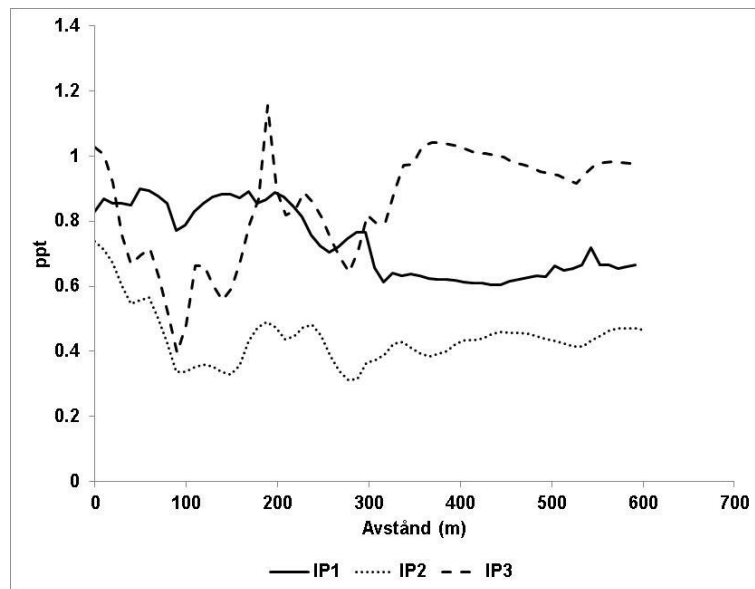


Figure 27 Resultat från EM mätningar i undersökningsområde D med antenn i, ii och iii. Pilen indikerar den mätningprofil som visas i figur 28



*In-phase* mätningar visar en ökning i variation i den norra delen av område D (Figur 28). Variationerna kan bero på metalliska rester som upptäcktes under mätningarna. Variationen är störst i antenn (i) och minst i antenn (iii), vilket pekar på att de konduktiva objekten kan ligga inom de översta 2-4 m under markytan eller direkt på marken om de är starka ledare. Ökningen i mätvärden i den södra delen av området kan ha uppkommit på grund av föroreningar från vägen, där mätlinjerna förlades till en mindre skogsväg mellan kalkugnen och väg 148.



Figur 28 *In-phase* mätningar i undersökningsområde D med antenn i (IP1), ii (IP2) och iii (IP3)

## GPR (markradar)

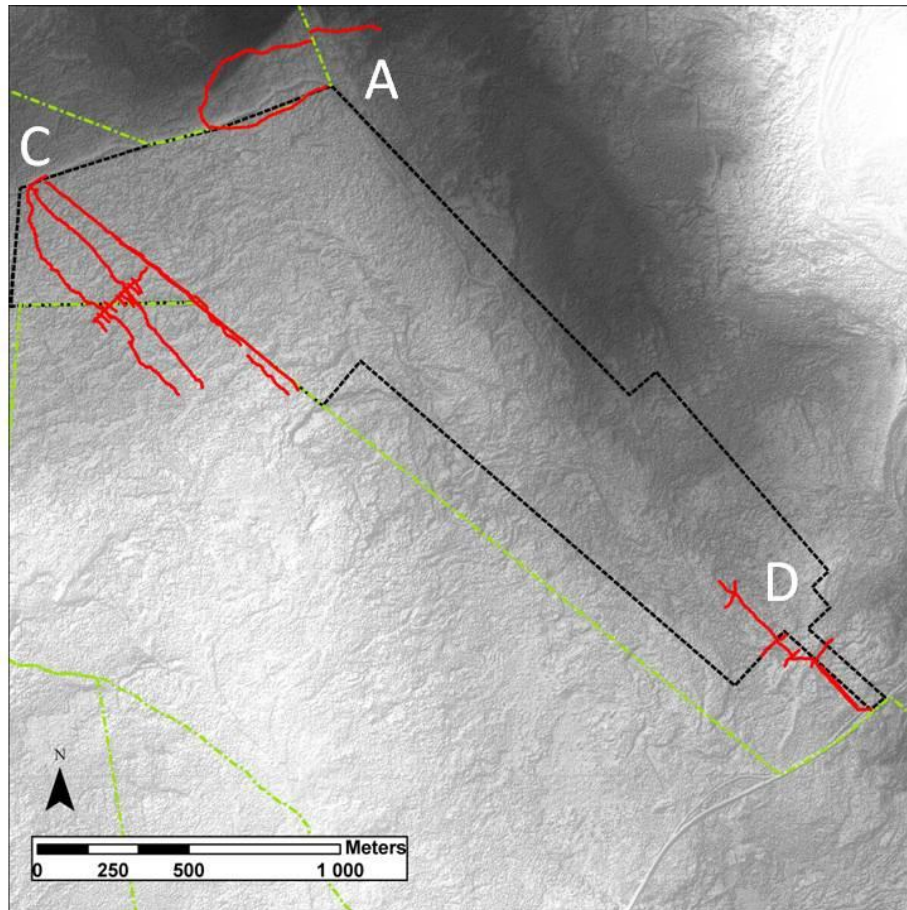
### Syfte

GPR-mätningar har genomförts i undersökningsområden (A, C och D). Syftet har varit att identifiera strukturer i den översta delen av marken. Tidigare undersökningar med 100MHz-antenn längs vägar i norra och östra delarna av täktområdet har visat ett flertal förmodade sprickor och sprickzoner (Erlström 2008). GPR-mätningar har vidare kunnat användas för att identifiera ytliga revkroppar.

### Metodik

Dessvärre fanns ett tekniskt fel på den 100 MHz antenn som planerats användas. Mätningarna gjordes därför med frekvensen 250 MHz som bara medger ett begränsat nedträngningsdjup, ibland bara 4-5 meter i kalkstensberggrund. Mätningarna utfördes med ett markradarsystem från Malå Geoscience med skärmad 250 MHz-antenn. Radarmätningarna sammankopplades med GPS för exakt positionering. Filtrering av data och processering har gjorts i 2D med programmet Reflexw (Sandmeier 2005). Tolkningen bygger i stora delar på erfarenheter från tolkning i liknande terräng.

GPR-linjerna visas i figur 29. Totalt omfattar GPR-mätningarna en sträcka av 5-6 km.

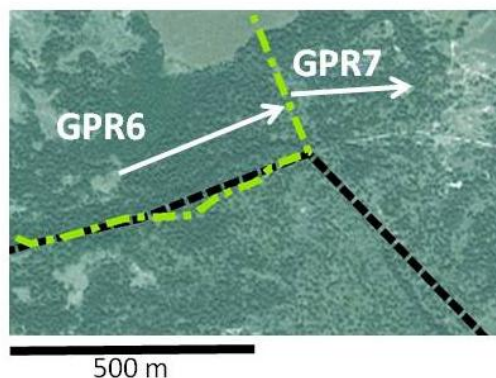


Figur 29 Mätlinjer med GPR (röda linjer) i Bunge Ducker

## Resultat

### Nordöstra tätkanten mot Bästeträsk (Område A)

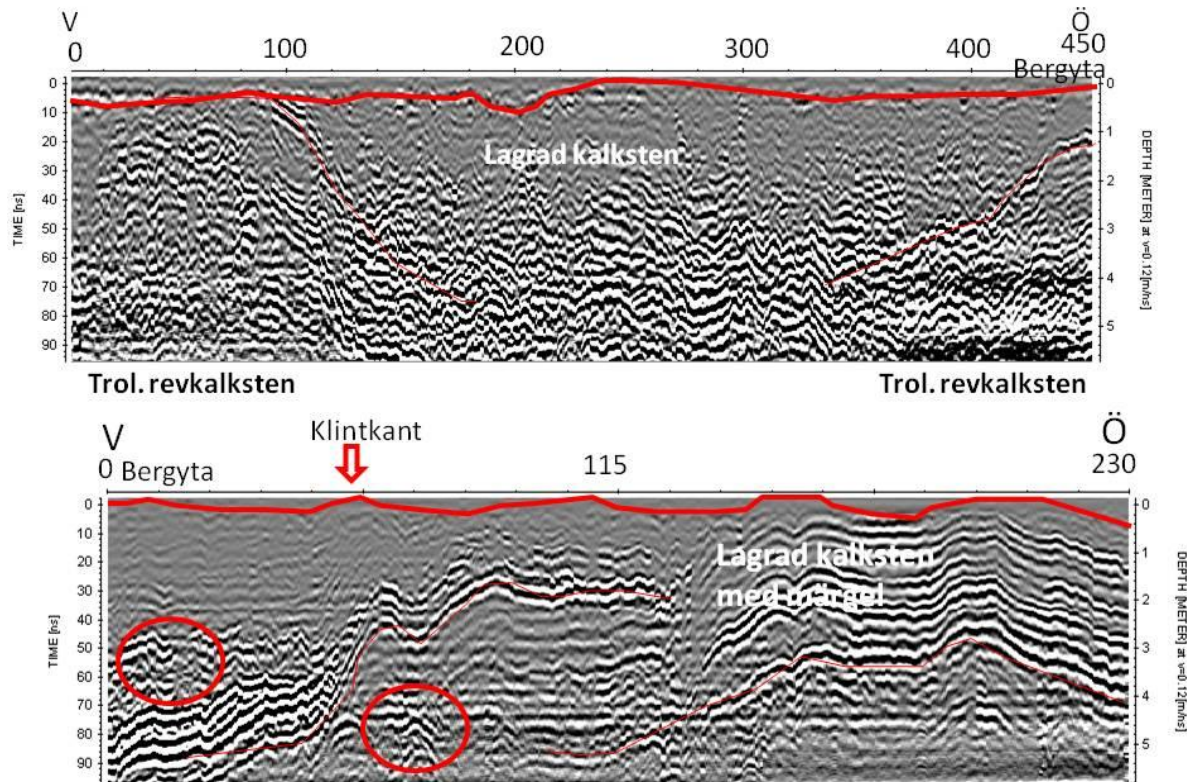
Endast två mätlinjer gjordes inom det nordostliga området (område A). Tolkbara delar av profilernas utsträckning visas i figur 30.



Figur 30 GPR-profiler i nordöstra gränsen mellan Bunge Ducker 1:64 och Bräntings haid.

De två profilerna presenteras i figur 31. Profilerna visar att området domineras av lagrad kalksten men troligtvis med inslag av revkalksten. Två sådana revbildningar kan eventuellt identifieras i profil GPR6. Berggrundsytan är relativt ytlig och når markytan i vissa delar av profilen. Övergången mellan revbildningar och lagrad

kalksten kännetecknas av topografiska nivåskillnader upp till 2m. Topografiska variationer har dock inte lagts in i profil GPR6. I öster (profil GPR7) övergår berggrunden i lagrad kalksten, troligtvis med lager av mörkel. En mindre klintkant (0.5m) vid ca 50 m i GPR7 sammanfaller med förändringar i underliggande kalkstenslagring som troligtvis ger sprickbildning ända upp i markytan. SGU (2008) har med bl a RMT-mätningar tidigare detekterat möjliga sprickbildningar på djupet inom detta område.



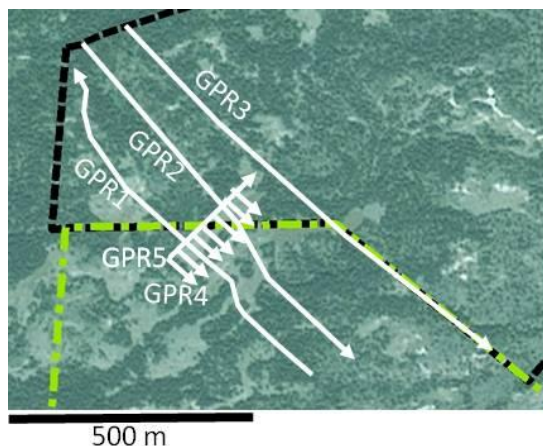
Figur 31 Två GPR-profiler i nordöstra delen av området. Den övre bilden representerar GPR6 och den undre GPR7 (se figur 30).

### NV delen av täktområdet, mot Brättings haid (Område C)

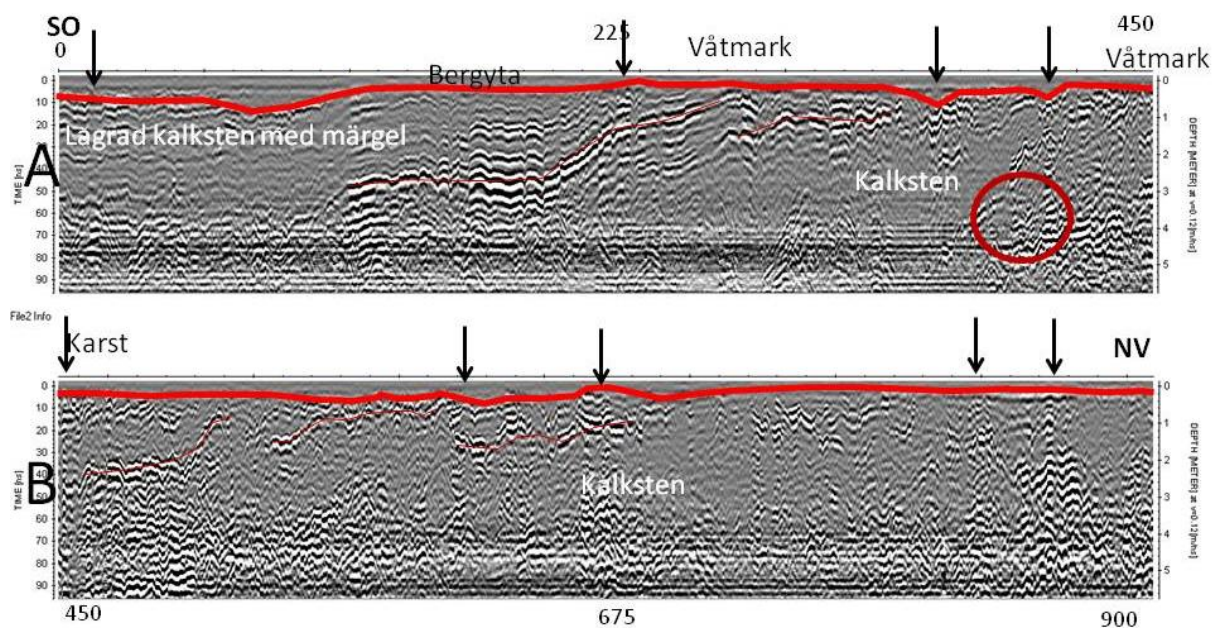
I området har huvudsakligen tre långa profiler genomförts med orientering NV-SO. Sträckningen av profilerna syns i figur 32. Berggrunden utgörs huvudsakligen av revkalksten och lagrad kalksten. I SV på område Brättings haid finns ytligt lagrad kalksten med inslag av mörkel eller mörkelsten. Berggrundsytan är mycket ytlig och går ställvis i dagen. Ett flertal relativt ytliga strukturer (hyperblar) är synliga på nivån 3-4 m. I några fall utgör dessa dock luftreflexer från närliggande träd. Den lagrade kalkstenen med mörkelskikt syns tydligt i den sydligaste delen av profilen. Ett antal av dessa skikt kan utgöra subhorisontella eller svagt lutande skikt eller lagringsplan, se figur 33. Ett antal ytliga strukturer är synliga, vilket troligtvis utgör karstsprickor. De är brantstående och ger inte upphov till några större anomalier i radargrammen. Några av dessa har även kunnat identifieras i fält där bergytan varit blottad. Deras orientering kan inte avgöras i radargrammen men mätningar på hållar där de varit synliga indikerar att orienteringen i detta område huvudsakligen är i SV-NO (egna mätningar samt Naturvårdsverket 2015).



Karstsprickorna sträcker sig i regel synligt endast 1-2 m ner i berget där de troligtvis avlänkas genom subhorisontella plan eller utmed sk styloliter på skiktytor (har iakttagits i samband med provbrytningen, samt beskrivs av SGU 2005 och SGU 2008), . Vissa partier längs profilerna har en tydlig ytlig uppkrossning. Denna är enligt radargrammen dock ytlig och beror bl a på frostsprängning .

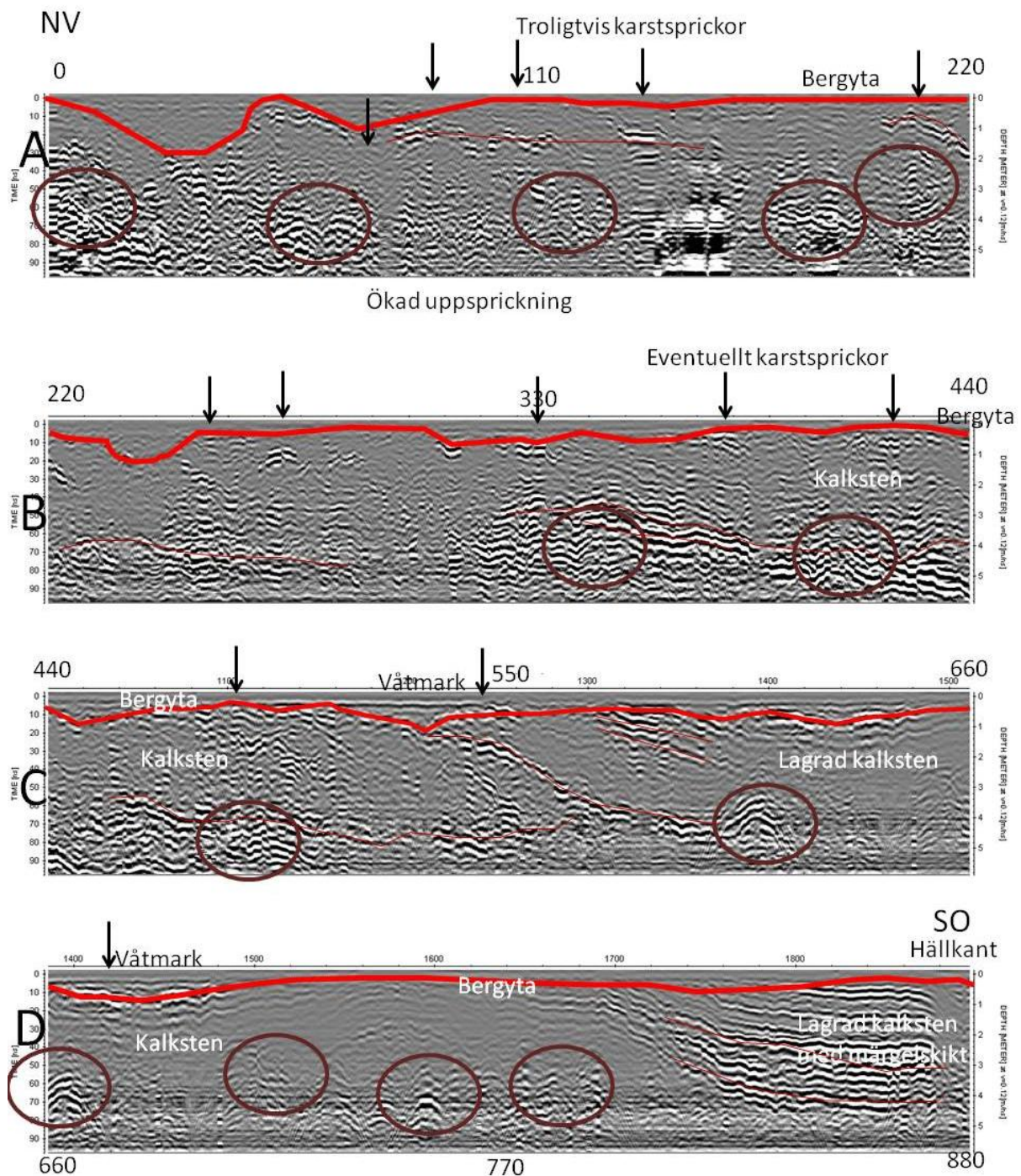


Figur 32 GPR-profiler i NV delen av täktområdet, i gränsområden till Bräntings haid.



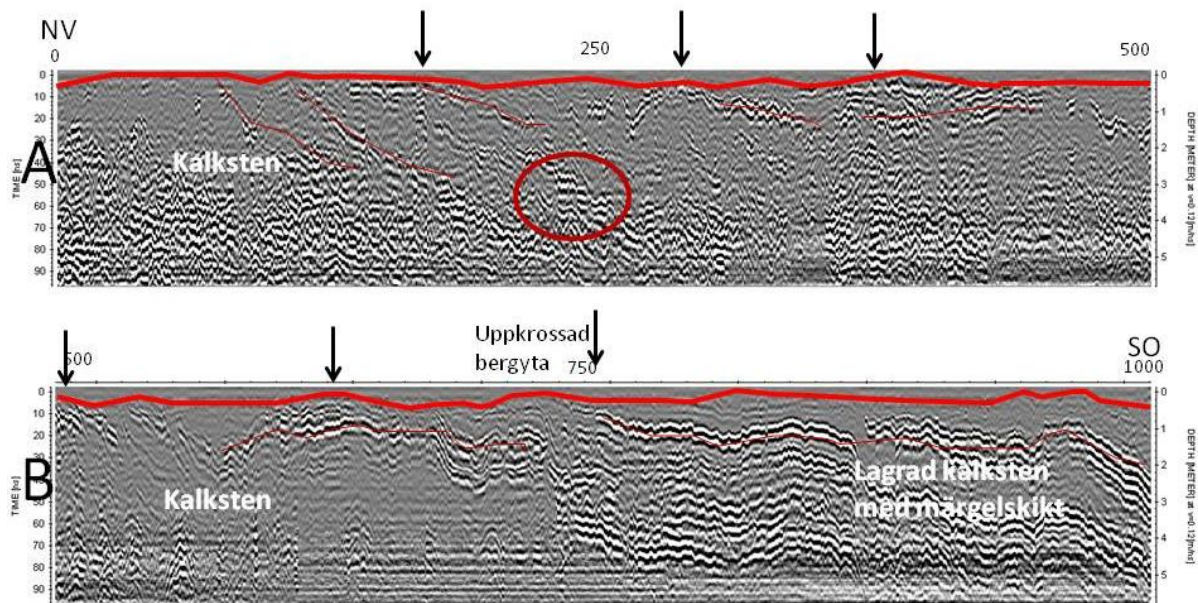
Figur 33 Profil GPR1 med riktning SO-NV. Berggrundsytan är ytlig (rött tjockt streck). Ett antal ytliga (visas med pilar) och en djupare struktur (visas med ring) är markerade, liksom tydliga skiktgränser.





Figur 34 Tolkad profil från markradarprofil GPR2 i NV delen av Bunge Ducker 1:64. Profilen sträcker sig i NV-SO. Ett antal strukturer är synliga (markerade med ringar) liksom subhorisontella plan som antingen utgörs av sprickor och lagringsplan eller i vissa fall av tunna margskikt (markerade med tunna röda streck). Eventuella karstsprickor är markerade med pilar. Den förmodade radarvågshastigheten är 0.12 m/ns

Figur 35 visar ett radargram från en parallell linje åt nordost (GPR3).

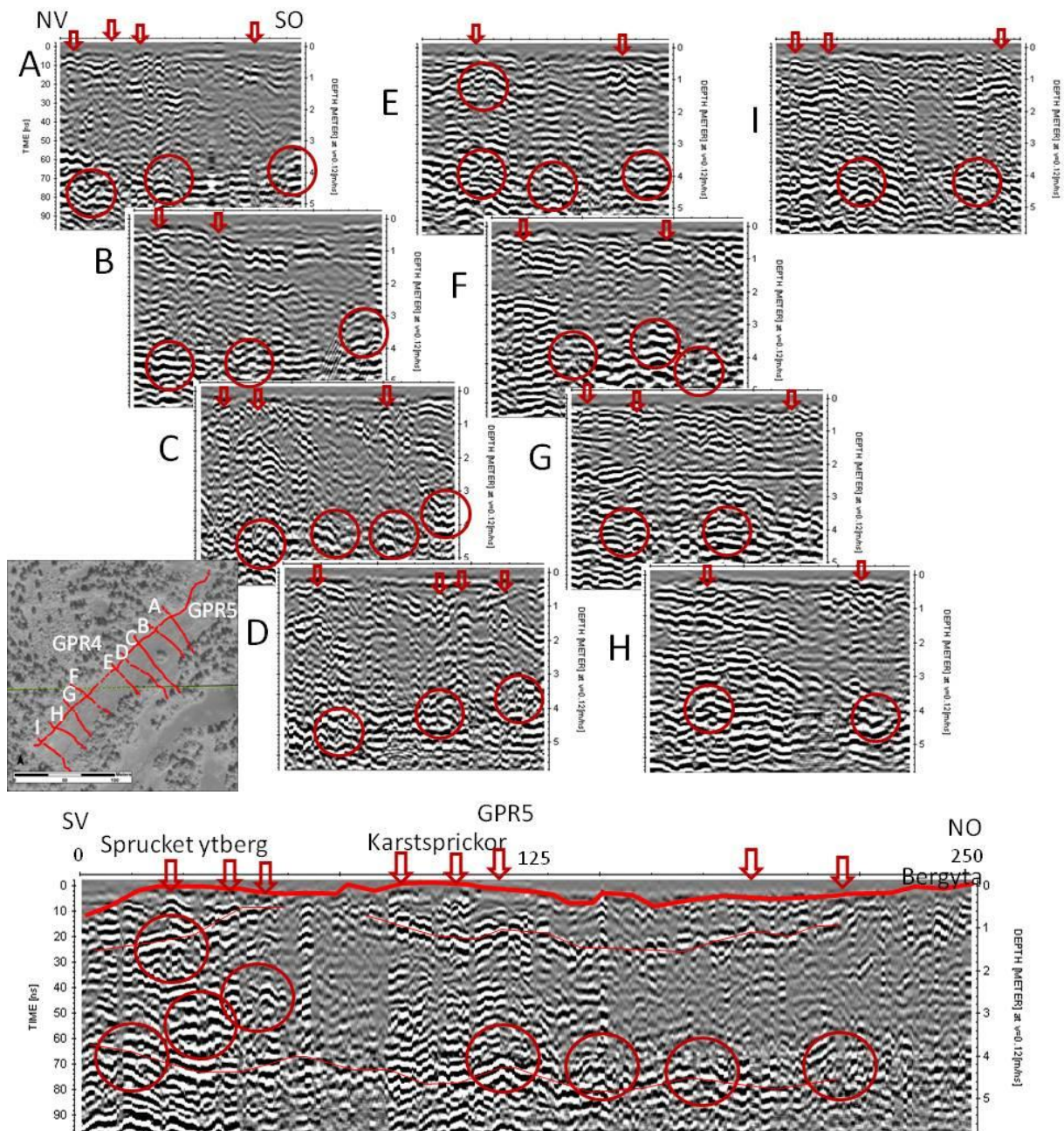


Figur 35 Radargram från GPR3. Större delen av profilen består av kalksten, i sydöstra delen dock lagrad kalksten, troligtvis med margskikt. Vissa ytliga strukturer är markerade med pilar.

I syfte att noggrannare undersöka en våtmark som sträcker sig från Bräntings haid in mot täktområdet har ett flertal korta parallella GPR-profiler utförts (GPR4) samt en profil vinkelrät mot de korta (GPR5). Några av de korta profilerna samt den tvärgående presenteras i figur 36.

Figuren visar att våtmarken är tydligt och ställvis kraftigt uppsprucken i ytan. Dessutom finns en hel del karstsprickor, särskilt i våtmarkens nordvästra kant. Tvärfiguren i GPR4 och GPR5 visar att uppspräckningen följer våtmarkens utsträckning. Dess västra sida kan klassas som en sprickzon som har en orientering från våtmarken i norra Bräntings haid in mot det planerade kalkbrottet. Radargrammen visar även att det förekommer ett flertal strukturer även ner till nivån 5m under markytan. Det går inte att utesluta att åtminstone några av dessa utgör karststrukturer. Någon meter under markytan finns flacka strukturer som länkar av vertikala flöden. Liknande subhorisontella lagringsytor påträffas också på nivån 4 m under markytan (figur 36, GPR5).





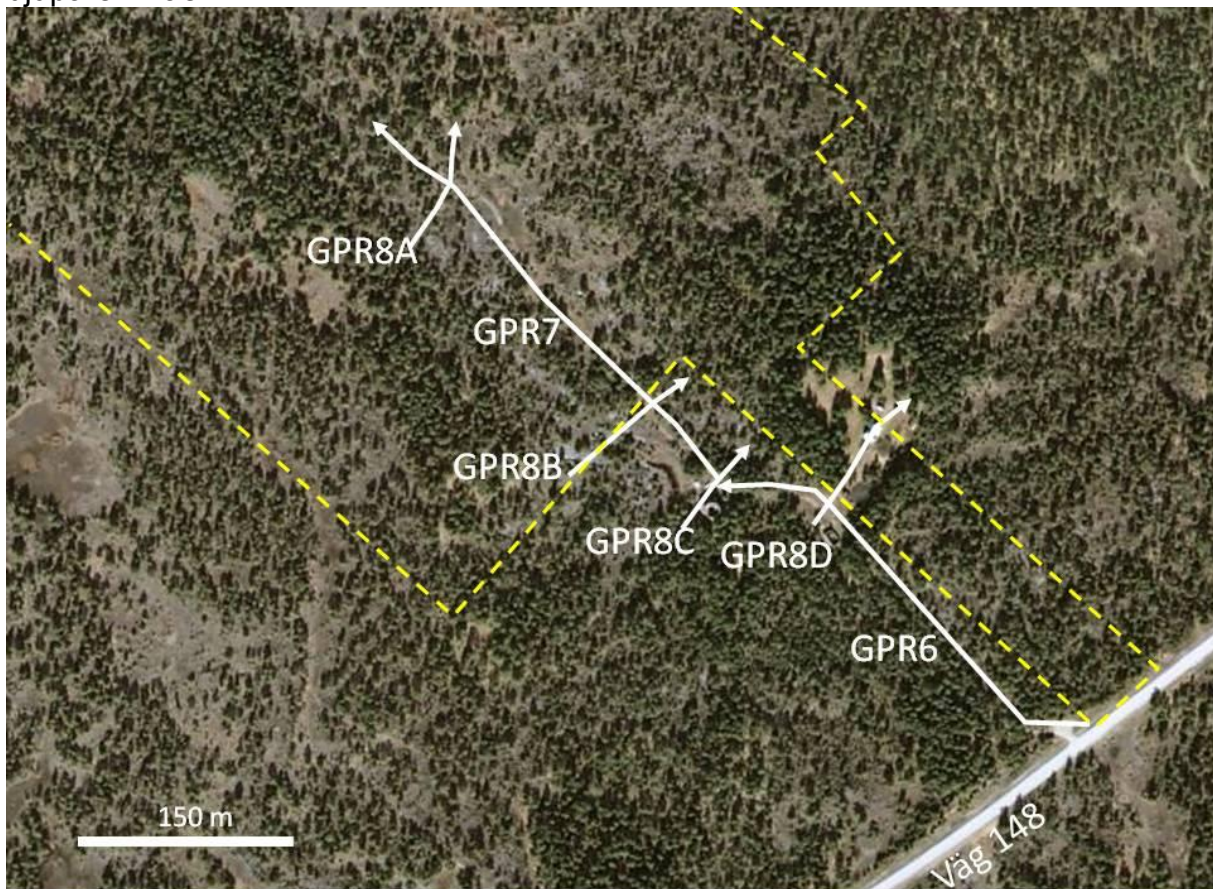
Figur 36 Radargram från 9 korta radarlinjer (GPR4) tvärs en av de våtmarker som återfinns i norra Bräntings haid. Profilerna går från NV till SO och är markerade (A-I) i den infällda GPS-inmätta flygbilden. Den undre längre profilen (GPR5) går utmed nordvästra kanten av våtmarken i nordostlig riktning. Ytliga strukturer är markerade med pilar, djupare med ringar.

### Sydligaste delen av täktområdet mot väg 148 (Område D)

Undersökningsområde D är beläget längst i söder och omfattar sydligaste delen av täktområdet Bunge Ducker 1:64 samt söderut ner till väg 148, figur 37. Syftet har varit att detektera eventuella ytliga barriärer för grundvattenströmning, liksom eventuell förekomst av sprickor ner till 5m under markytan. Eftersom endast en 250MHz-antenn kunde användas under mätningarna så är värdet av mätningarna



begränsat eftersom eventuella grundvattenflöden troligtvis sker huvudsakligen på djupare nivåer.



Figur 37 Radarlinjer i södra delen av Bunge Ducker 1:64

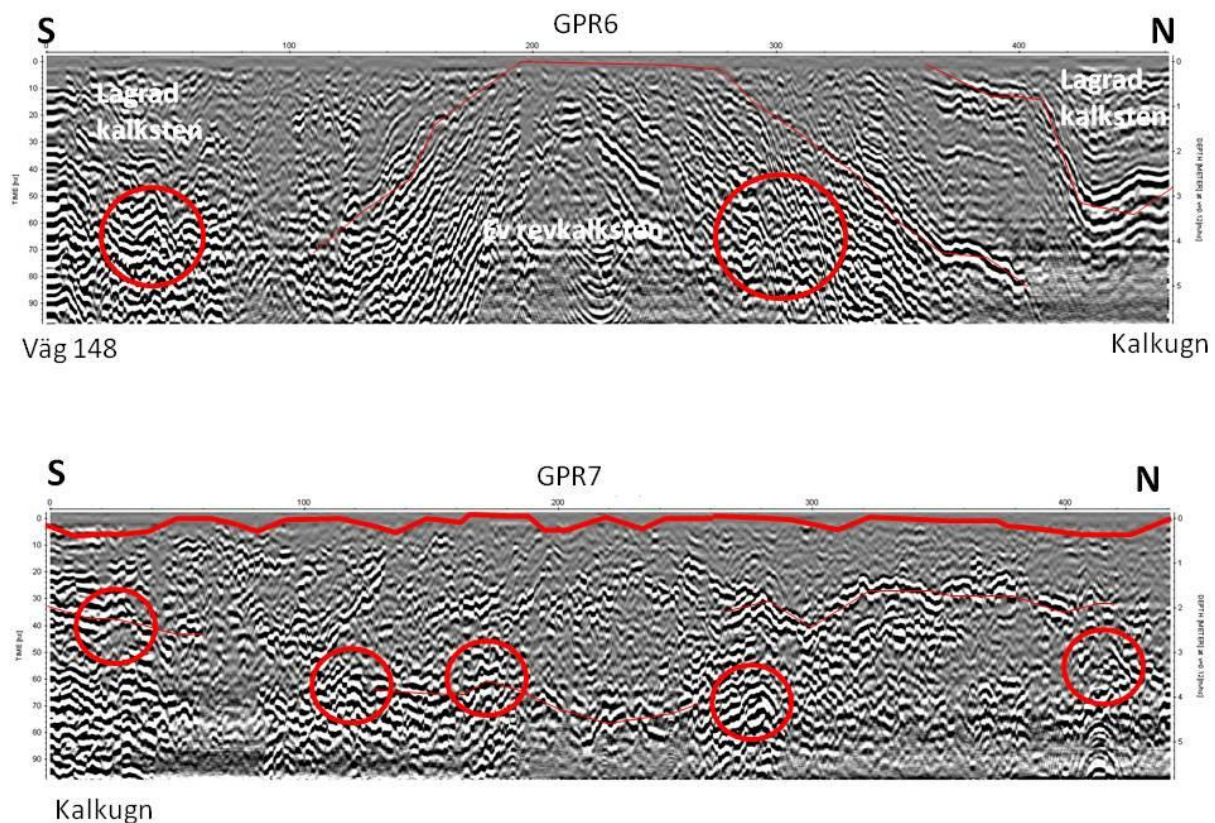
Radarprofil GPR6 respektive GPR7 gjordes längs en mindre skogsbilväg och radargrammen redovisas i figur 38.

Radargrammen visar endast översta delen av marken. Berget ligger i allmänhet mycket yttnära, oftast som berg i dagen eller täckt av ett mycket tunt lager av kalkstensmorän eller svallsand. GPR6 visar ca 200 m norr om väg 148 en tydlig förhöjning av kalkstenslagren som kan utgöra en mindre revkropp. Den omgärdas av mer lagrad kalksten. Några strukturer på nivån 3-4 m under markytan och som kan utgöra lokal karst är markerade. I allmänhet är dock profilen dragen parallellt med förhärskande ytliga karststrukturer.

Norr om kalkugnen (GPR7) så syns tydliga subhorisontella lager på ca 2 respektive 4 m djup. Huruvida dessa är vattenförande sprickor eller tunna margskikt går inte att avgöra i radargrammen. Ett antal andra strukturer, på nivå 3-4 m är också markerade. Det går inte att avgöra om dessa är relaterade till karst men saknar i allmänhet synlig förbindelse med ytan.

Ett antal korta tvärprofiler har också utförts (GPR8A-D). Dessa är sammanställda i figur 39.

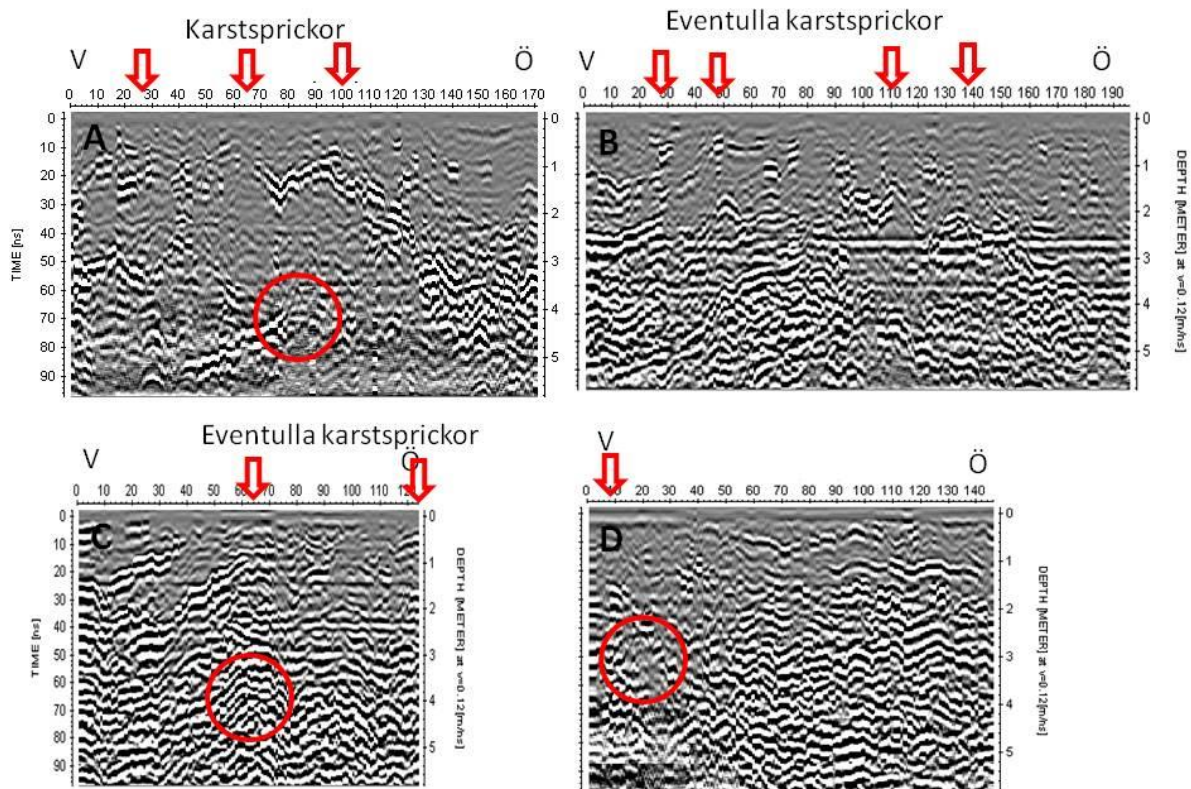




Figur 38 Radarprofiler som visar GPR6 (övre bild, från väg 148 längs skogsbilväg norrut till kalkugn) samt GPR7 (nedre bild, från kalkugn längs skogsbilväg norrut). Strukturer och tydliga lager och skiktgränser är inlagda.

De korta tvärprofilerna (GPR8A-D, figur 39) innehåller ett större antal strukturer varav en del är markerade i figur 39. Flera hyperblar syns t ex på drygt 1 m djup i figur GPR8A. Eftersom många inmätta sprickor i området är sk karstsprickor och har en orientering NV-SO, är sannolikheten att påträffa dessa sprickor genom tvärprofiler stor. Flera av de i figur GPR8 angivna eventuella karstsprickorna var även synliga direkt i markytan.

Figureerna visar att det förmodligen finns karstsprickor som skulle kunna föra vatten söderut mot väg 148 och vidare mot Natura 2000-området Gildarshagen med Bluttmo myr. Profilerna har inte uppvisat några geologiska hinder för detta men radarvågen kan dessvärre i detta fall endast ge information inom de översta 5-6 metrarna. De påträffade karstsprickorna längs profilsträckningarna är dock fossila i den bemärkelsen att de troligtvis bildats under andra klimatiska och geologiska förhållanden och idag endast visar en långsam fortsatt karstutveckling. Aktiv karstbildning kräver i allmänhet förhöjd kolsyrehalt i genomströmmande vatten, vilket ofta kräver vegetationstäckning eller infiltration via våtmark.



Figur 39 Fyra korta radarprofiler i södra delen av täktområdet i orientering väst-öst. Förmodade, konstaterade eller möjliga karstsprickor visas med röda pilar, djupare strukturer visas med ringar.

## Diskussion och slutsatser

Geofysiska undersökningar har genomförts i gränsområdena mellan Bunge Ducker 1:64 och anslutande Natura 2000-områden. I stora delar av dessa områden har inga tidigare geofysiska eller mer detaljerade geologiska undersökningar presenterats. Undersökningarnas syfte har huvudsakligen varit att analysera eventuella hydrauliska kopplingar mellan det eventuella kalkbrottet och omgivande skyddsvärda områden. De geofysiska undersökningarna har omfattat geoelektriska resistivetsmätningar (ERT), elektromagnetiska mätningar (EM) samt markradarmätningar (GPR). Tidigare har även VLF-mätningar utförts i samma syfte och område (Aqater 2015). Mätningarna visar att de undersökta områdena är hydrauliskt synnerligen heterogena. Områden med revkalksten är ofta starkt karstifierad, vilket även kan ses i ytan genom ett stort antal karstvittrade sprickor. De översta delarna av berggrunden, ner till 5-6 m, är i regel kraftigt uppspruckna. Eftersom enskilda karstsprickor okulärt endast kan följas 1-2 m ner från markytan finns det subhorisontella sprickor och lager som lateralt dränerar vattnet vidare. Lokalt kommer detta grundvatten efter relativt kort transport upp i lokala och ibland temporära (efemära) våtmarker. En del av det infiltrerade vattnet dräneras troligtvis vidare, dels mot djupare nivåer, dels lateralt mot Bästeträsk.

De undersökningar som genomförts norr om tåkten, inne i Bästeträsk Natura 2000-område bekräftar tidigare av SGU genomförda geofysiska undersökningar med RMT i gränsområdet (Erlström 2008). Revkalkstenen är i detta område i regel mer elektrisk

ledande än massiv revkalksten i allmänhet. De kompletterande undersökningar som genomförts visar att de anomalier som SGU utpekade i nordöstra delen av täktområdet kan ha sin förlängning in i Bästeträsk Natura 2000-område. Det går således inte att utesluta att ett djupare kalkbrott i norra delen av täktområdet kan påverka ytliga och djupare grundvattennivåer i anslutande Natura 2000-område.

Såväl EM-data, VLF-data, radardata och resistivetsdata visar att de övre delarna av kalkstensberggrunden (0-5 m) är kraftigt uppsprucken i nordvästra delen av täktområdet längs gränsen mot Bräntings haid. Flera elektriskt konduktiva zoner som troligtvis är betingade av uppsprucken berggrund sträcker sig från våtmarksområdena i norra Bräntings haid i orientering in mot täktområdet. På några ställen finns även enskilda konduktiva strukturer på djupare nivåer som kan vara karstbetingade. Den övre uppspruckna delen av kalkstensberggrunden visar att det ytliga vattnet i våtmarkerna med stor sannolikhet står i hydraulisk förbindelse med grundvattnet. Eftersom våtmarkerna utgör landskapets lågpunkter och berggrunden ställvis kraftigt uppsprucken är dessa med stor sannolikhet, åtminstone lokalt, beroende av utströmmande grundvatten. De olika geofysiska metoderna (GPR, VLF och EM) visar en samstämmig bild att de våtmarker som kalkstenstäckten kommer att skära av följer strukturer i berggrunden, i detta fall sprickzoner som delvis är kraftigt karstifierade. De troligtvis dränerande strukturerna påträffas åtminstone ner till 5m djup under markytan. Det finns således inga geofysiska mätningar som stöder antagandet att våtmarkerna utgör någon separat hydrologisk enhet på tät botten utan tvärtom visar mätningarna på att förutsättningar finns för en god hydraulisk förbindelse mellan yt- och grundvatten i detta område.

De geofysiska mätningarna i södra delen av täktområdet, mot Bluttmo myr, har inte kunnat verifiera antagandet om att det finns en geologisk barriär mellan täktområdet och väg 148. Mätningarna har tvärtom visat att den topografiskt betingade ytvattendelaren i detta område inte tycks ha en geologisk förklaring annat än att den kan vara ett resultat av en underliggande revkropp. En utsträckning av en barriär av bottenmargel såsom presenterats av Bergab (2015) har inte verifierats. De höga resistivetsvärdena ( $>2000\Omega\text{m}$ ) antyder att berggrunden möjligtvis lokalt kan bestå av kalksten med inslag av margelskikt eller kalksten med ökad uppspräckning och högre vattenhalt. Eftersom resistivetsmätningar inte alltid är helt lämplig för studier av tunnare djupa skikt av margel och margelsten (Erlström m fl 2009), bör området istället kompletteras med RMT-mätningar. Sannolikt finns dock ingen geologisk barriär utan mäktigare partier av bottenmargeln återfinns troligtvis under täktbottennivå. Eftersom de geologiska strukturerna i täktområdet har en tydlig orientering i NV-SO pekar de geologiska förhållandena istället mot att dränering åt SO är möjlig.

## Referenser

- Aquater 2015: VLF mätningar i Bräntings haid Natura 2000-område. Aquater Rapport 2015-09-23
- Bergab 2015: Resistivitet i Bunge Ducker 1:64. Resistivetsmätning för bestämning av nivåer för bottenmargeln. Bergab rapport 2015-02-03.
- Dahlqvist, P., Triumph, C-A., Persson, L., Bastani, M., Erlström, M., Jørgensen, F., Thulin Olander, H., Gustafsson, M., Thorsbrink, M., Schoning, K., Curtis, P.,



- 2015: SkyTEM-undersökningar på Gotland. SGU Rapporter och meddelanden 136.
- Earon R, Olofsson B, Renman G (2012) Initial Effects of a New Highway Section on Soil and Groundwater. *Water, Air and Soil Pollution*. 223( 8): 5413-5432
- Erlström, M., Persson, L., Sivhed, U., Wickström, L. 2009: Beskrivning till regional berggrundskarta över Gotlands län. Rapport, SGU K221
- Erlström, M., 2008: Beskrivning av berggrundsförhållanden och tolkning av geofysiska mätningar i anslutning till Bungetäkten. Sammanställning på uppdrag av Nordkalk. SGU rapport 2008-04-24.
- Erlström, M., Persson, L., 2014: Radiomagnetotelluric mapping of marlstone and limestone in the Silurian bedrock of Gotland. *GFF* 136, 571-580.
- GFInstruments 2015: Short guide for electromagnetic conductivity mapping and tomography. Report, GF Instruments.
- Golder 2015: Analys av kompletterande undersökningar mellan Bungetäkten och Bluttmo myr. Hydrogeologiska förhållanden i Bunge-Ducker 1-64 med omgivning. Golder Rapport 2015-03-15.
- IVL 2005: Miljökonsekvensbeskrivning inklusive teknisk beskrivning av två provbrott för kalkbrytning, Bunge Ducker 1:64. IVL rapport 2005-06-13.
- IVL 2007: Uppföljning av provbrytningen på Bunge Ducker 1:64. IVL rapport 2007-05-31.
- Karlquist, L., Fogdestam, B., Enquist, P., 1982: Beskrivning och bilagor till hydrogeologiska kartan över Gotlands län. SGU Ah3.
- Linde, N., Pedersen, N.B., 2004: Evidence of electrical anisotropy in limestone formations using the RMT-technique. *Geophysics* 69, p 909-916.
- Loke M. H., 2000: Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies -A practical guide to 2-D and 3-D surveys
- Milsom, J., Eriksen, A. 2011: *Field Geophysics*, 4<sup>th</sup> Ed. John Wiley & Sons: Oxford.
- Manual, 2010: RES2DINV ver. 3.59 for Windows 98/Me/2000/NT/XP: Rapid 2-D Resistivity & IP inversion using the least-squares method, Geotomo Software
- Persson, L., Erlström, M., 2014: Geophysical imaging of Silurian carbonates by use of ground and airborne electromagnetic and radiometric methods on the island of Gotland, Sweden. Interpretation August 2015, v. 3:SY1-SY11
- Reynolds, J.,M. 2011: *An introduction to applied and environmental geophysics*, 2<sup>nd</sup> Ed. Wiley-Blackwell: West Sussex
- Sandmeier, K.J., 2005: Reflexw - the 2D processing and 2D/3D interpretation software for GPR, reflection seismic and refraction seismic.
- SGF 2008: Svenska Geotekniska Föreningen. Automatiserad resistivitetsmätning - metodblad. 2008-01-01
- SGU 2005: Fördjupade hydrogeologiska undersökningar för planerat stenbrott vid Rute-Brantingshajd. Delrapport avseende: Berggrunds-/strukturgeologisk modell. Rapport SGU 2005-12-07.
- SGU 2008: Uppföljning av provbrytningsområdet i Bunge -Geologi-provtäkt, fältinspektion 2006-11-16