Rapporter och meddelanden 140

SkyTEM-undersökningar på Gotland, del 2

Peter Dahlqvist, Carl-Axel Triumf, Lena Persson,
Mehrdad Bastani, Mikael Erlström & Kristian Schonning

SGU
Sveriges geologiska undersökning

Rapporter och meddelanden 140

SkyTEM-undersökningar på Gotland, del 2

Peter Dahlqvist, Carl-Axel Triumf, Lena Persson,
Mehrdad Bastani, Mikael Erlström & Kristian Schonning

Sveriges geologiska undersökning
2017

ISSN 0349-2176
ISBN 978-91-7403-392-2

Omslagsbild: SkyTEM-systemet vid mätning på Gotland.
Foto: SkyTEM Aps.

Tack till Mattias Gustafsson och Magdalena Thorsbrink
för värdefulla kommentarer och diskussioner.

Layout: Rebecca Litzell
Tryck: Elanders Sverige AB.

INNEHÅLL

Sammanfattning **5**

Inledning **7**
Bakgrund 7
Mål och syfte 7

Genomförda undersökningar och metoder **8**
SkyTEM 8
Borrning 9
Geofysiska markmätningar 10
Borrhålsloggning 10
Övriga data 11

Metodik **11**
Mätning med SkyTEM 11
Kvalitetskontroll och bearbetning 11
Övergång från geofysisk information om resistivitet till geologi och hydrogeologi 13
Översättning av resistivitet till saltvattennivå i Gotlands bergartsvolym 13
Modellering av resultat i 3D 14

Geologisk uppbyggnad **16**
Gotlands berggrund 16
Tektonik (sprickor, förkastningar, lineament) 19
Karstvittring 22
Berggrunden inom undersökta områden 22
Gotlands jordartsgeologiska förhållanden 23
Gotlands hydrogeologiska förhållanden 25
Nyttjande av grundvatten 28

Resultat och områdesspecifika tolkningar **28**
Område 1: Stenkyrka–Lärbo–Hejnum 29
Område 2: Åminne–Ala 41
Område 3: Stånga–Burs 54
Område 4: Sudret 68

Slutsatser och diskussion **78**

Implementering av resultat **81**
Implementering av resultat, Region Gotland och Länsstyrelsen Gotland 81
Intern implementering av resultaten vid SGU 81
Implementering av resultat för övriga intressenter 81

Referenser **82**

Bilaga 1: Brunnsprotokoll **84**

Bilaga 2: Data från Borrhålsloggning **98**

Bilaga 3: Geofysiska markmätningar **115**

SAMMANFATTNING

På Gotland är det varje år problem med tillgången på dricksvatten under sommarmånaderna. Orsaken är främst det stora antal turister och sommarboende som resulterar i kraftig ökad vattenförbrukning samtidigt som påfyllningen av grundvattenmagasinen under motsvarande period är mycket liten. Bristen är också kopplad till begränsade magasineringskapaciteter i jordlager och berggrund. Tunna jordlager i kombination med en relativt tät berggrund gör att merparten av nederbörden som faller under höst–vår inte bildar grundvatten utan rinner av från markytan, ofta som tillfälliga ytvattendrag till Östersjön, eller tas upp av vegetationen. Grundvattenbildningen under sommarperioden är också begränsad p.g.a. ringa nederbördsmängd, hög avdunstning och vegetationens vattenupptag. Förutom bristen på större grundvattenmagasin påträffas ofta salt grundvatten i grundvattentäkterna på Gotland. Sammantaget finns det därför behov av förbättrad geologisk information som kan vara till hjälp för lokalisering av nya grundvattenmagasin och kartläggning av var och på vilka djup salt grundvatten förekommer.

SGU utförde under hösten 2015 mätningar med SkyTEM-metoden inom fyra områden på Gotland för att kartlägga de geologiska förhållandena i tre dimensioner. Primärt syfte har varit att ta fram geologiskt underlagsmaterial för bedömning av de hydrogeologiska förutsättningarna för grundvattenuttag och lokalisering av större grundvattenmagasin.

Data från undersökningarna är av god kvalitet och motsvarar cirka 90 000 geofysiska sonderingar ned till ca 250 m djup. Analyseringen av den stora mängd insamlad data som redovisas i rapporten utgör en översiktlig inledande tolkning. För några utvalda delområden exemplifieras en mer detaljerad analys och tolkning. Den stora mängden data möjliggör långt mer omfattande tolkningar och bearbetningar samt användningsområden än vad som presenteras i rapporten. En stor del av rapporten fokuserar på en utvärdering av metodikens tillämpbarhet för undersökningar av berggrundsförhållandena på Gotland kopplade till grundvattenförhållandena.

Tolkning och utvärdering av SkyTEM-mätningarna har gjorts med stöd av information från geofysiska markmätningar, kontrollbrunnar och geofysisk borrhålsloggning samt erfarenheter från tidigare SkyTEM-undersökningar på Gotland (Dahlqvist m.fl. 2015). Utvärderingen visar att SkyTEM-metodiken, lämpar sig mycket väl för undersökning av Gotlands jordlager och berggrund. Metodens användbarhet för geologiska och hydrogeologiska undersökningar i likartade geologiska miljöer bedöms vara stor. Den inledande tolkningen har resulterat i avgränsning och utpekande av ett antal områden på Gotland som bedöms kunna vara potentiella nya grundvattenresurser samt riskkartor för salt grundvatten vilket utgör ett viktigt underlag för bedömning av maximalt borrdjup för dricksvattenbrunnar.

I område 1 finns det några mäktiga (upp till 20 m) sand- och grusavlagringar där det finns möjligheter till större grundvattenuttag, exempelvis Lärbrodalen och området väster om Stenkyrka. Vidare finns ett stråk som börjar sydost om Tingstäde träsk och som sträcker sig upp mot Lärbro där det bedöms finnas större grundvattentillgångar i övergången mellan märgel- och kalkstenslager. Stora vattenmängder uppmättes i ett av undersökningsborrhålen (BH 1) norr om Tingstäde, vid Erlinghems myr, och pekar på goda förutsättningar för större grundvattenuttag även här. Salt grundvatten återfinns på 30–100 m djup i undersökningsområde 1.

I norra delen av område 2 finns Gotlands största vattendrag, Gothemsån. Längs ån och dess dalgång är jorddjupen relativt stora (upp till 20 m) vilket gynnar grundvatteninfiltrationen i området. Stora vattenmängder uppmättes i ett av undersökningsborrhålen vid Gothem Suderbys. Grundvattnet transporteras till övervägande del i övergången mellan lager med ren kalksten och märgel. Vår bedömning är att det inom området sydost om Gothemsåns dalgång finns förutsättningar för större grundvattenuttag. Djupet till salt grundvatten överstiger 70 m inom stora delar av undersökningsområde 2.

I område 3 är det sand- och grusavlagringarna med något större mäktigheter (5–15 m), framförallt i närheten av Stånga och Västerlaus som bedöms vara de mest lovande för grundvattenutvinning. Dessa sand- och grusavlagringar benämns som den övre akviferen i den tredimensionella hydrogeologiska

modell som tagits fram för området. Redan nu är kommunala vattentäkter etablerade i dessa avlagringar men möjligheterna bedöms som goda att kunna utöka utvinningen till att också omfatta fler områden i dessa avlagringar. I den hydrogeologiska modellen finns även en undre akvifer. Denna är definierad ur modelltänkande och får betraktas som något mer osäker. Potentialen för grundvattenutvinning bedömer vi som mindre än i den övre akviferen. På djupet (–15 till –60 m i förhållande till havsytan) finns saltpåverkat grundvatten över hela området. I den sydöstra delen av mätområdet finns tecken på inverkan av Östersjövatten i ytnära geologiska lager. Inom området förekommer märgeldominerade områden med lokala fickor innehållande saltpåverkat grundvatten.

I område 4 bedöms förutsättningarna för större grundvattenuttag som dåliga. De bästa förhållandena finns i anslutning till mäktiga (upp till 12 m) jordlager i de centrala delarna av området (Vamlingbo och norrut). Genom att utnyttja grundvatten från akviferen i jordlagren ihop med det grundvatten som ofta rör sig i de översta metrarna i den mer sprickrika berggrunden kan man öka uttagsmöjligheterna i brunnarna. Gränsen för var det salta grundvattnet kommer ligger mellan 0 och –60 m i förhållande till havsytan. Inom den kustnära zonen (500 m) finns det tecken på viss brackvatteninträngning även på mindre djup. Det finns också tecken på att det kan finnas relikt saltvatten på 0–20 m djup i vissa områden med stora jorddjup och märgeldominerad berggrund.

resultat och rådata från undersökningarna är tillgängliga för ytterligare fördjupade analyser och tolkningar och kan användas av Region Gotland, länsstyrelsen, konsulter, universitet, m.fl. Dessa data bedöms som värdefulla för grundvattenprospektering, utformning av vattenskyddsområden och vattenförvaltningsarbete, tillståndsgivning och tillsyn av energibrunnar.

INLEDNING

Undersökningsresultaten som presenteras i rapporten baseras på geofysiska mätningar inom fyra områden på Gotland. Förutom mätningar utförda med en helikopterburen Transient ElektroMagnetisk utrustning (SkyTEM) har undersökningen omfattat fjorton undersökningsborrhål, tre geofysiska markmätningar (ERT och IP), cirka sex kilometer georadar och geofysiska borrhålsmätningar.

Huvudsyftet med mätningarna har varit att se om resultaten från TEM-mätningarna kan ge användbar geologisk information om jordlagrens och berggrundens uppbyggnad, med fokus på identifiering och avgränsning av grundvattenmagasin och salt grundvatten. Rapporten kommer huvudsakligen att utvärdera metodens användbarhet för bedömning av grundvattenförhållandena i berggrunden.

Bakgrund

TEM-mätningarna utfördes av ett danskt företag (SkyTEM Aps). Med stöd av kompletterande geologisk information från t.ex. borrningar och markgeofysik har en metodik utvecklats med framtagning av 3D-modeller av jordlagrens och berggrundens elektriska resistivitet. En liknande metodik har har använts i t.ex. Danmark för bedömning av förekomst och utbredning av större grundvatten magasin har t.ex. använts för bedömning av förekomst och utbredning av större grundvattenmagasin i Danmark.

Mätningarna på Gotland har utförts längs parallella mätlinjer med ett linjeavstånd på 200 m. Markens resistivitet har varit möjlig att mäta ner till 200–300 m djup. De variationer i resistivitet som visas i mätdata beror främst på skillnader i porositet, andelen lermineral, vattenmättnadsgraden och förekomst av salt grundvatten. Mätresultaten från de enskilda mätlinjerna har efter bearbetning och tolkning sammanfogats till en tredimensionell resistivitetsmodell för respektive område.

För att kunna bedöma hur väl modellerna stämmer med de faktiska grundvattenförhållandena kompletterades TEM-data med information från ett antal geofysiska markmätningar och undersökningsborrningar i anslutning till ett urval av identifierade resistivitetsanomalier i modellerna. Resultaten och erfarenheterna från SkyTEM-undersökningar utförda inom fyra andra områden på Gotland 2013 (Dahlqvist m.fl. 2015) har också ingått som stöd till tolkningar som ges i den här rapporten.

Mål och syfte

Målet med undersökningen har varit att få:

- kunskap om jordlagrens och berggrundens uppbyggnad i tre dimensioner ner till ca 250 m djup.
- underlag till en förbättrad grundvattenmodell för Gotland, avseende avgränsningar och karaktärisering av större grundvattenmagasin.
- information om djupnivåer för salt grundvatten.
- information som möjliggör identifiering och kartläggning av karstområden och begravda dalar.
- information om berggrundens strukturella uppbyggnad.

Syftet är att de nya kunskaperna och den insamlade informationen ska kunna användas som ett bedömningsunderlag av Region Gotland, Länsstyrelsen Gotland, Vattenmyndigheten Södra Östersjön, konsultföretag samt Mark- och Miljödomstolen i samband med frågor som framför allt är kopplade till grundvattenförhållandena. I viss mån kan informationen även användas som underlag för bedömning av förutsättningarna för ballastmaterial, industrimineral och geoenergi.

SGU har en långsiktig målsättning att utveckla metodiken för att kunna utföra mätningar och därigenom öka kunskapen om jordlagrens och berggrundens uppbyggnad och grundvattnets förekomst även inom andra områden i Sverige, i första hand i områden med sedimentär berggrund, men förhoppningsvis även i andra delar av landet. SkyTEM-metoden används även av SGU för att kartlägga kvicklera inom vissa områden i Sverige.

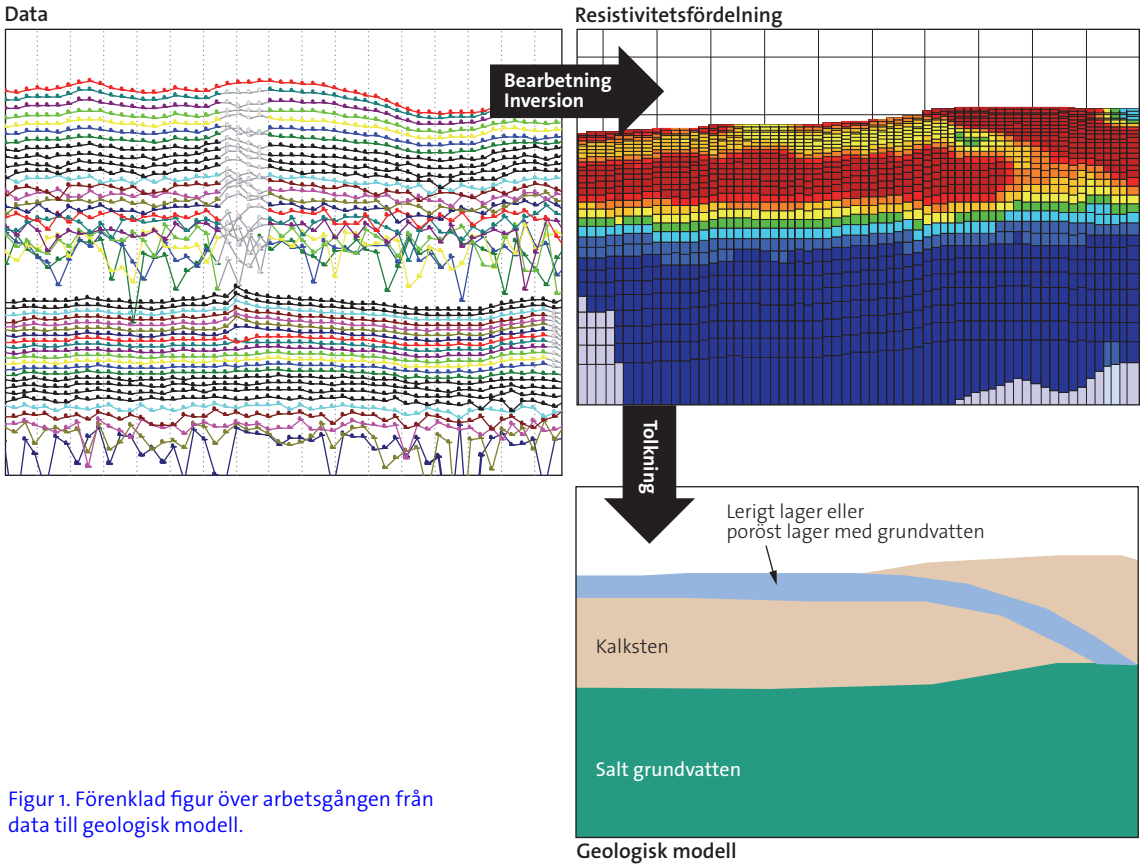
GENOMFÖRDA UNDERSÖKNINGAR OCH METODER

SkyTEM

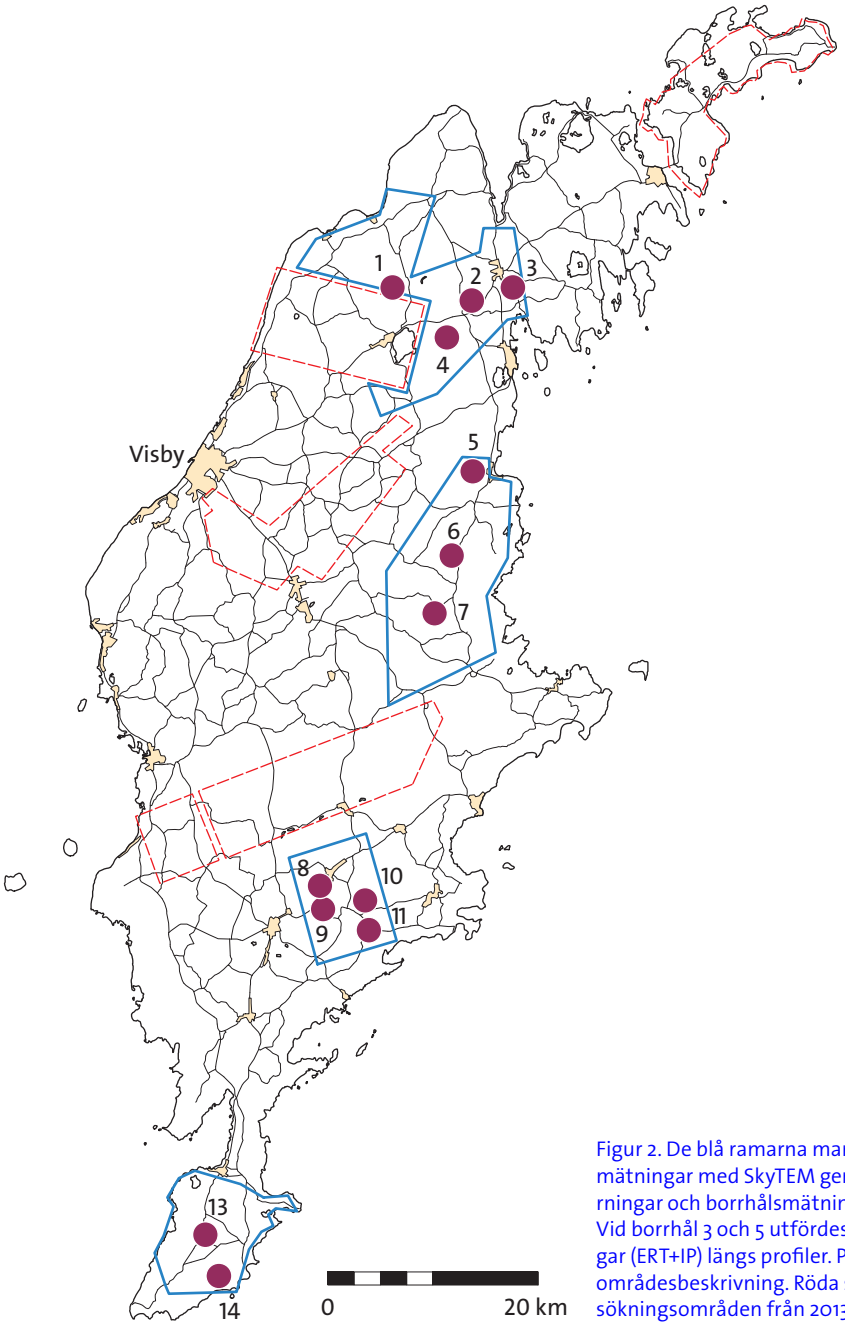
SkyTEM är ett helikopterburet elektromagnetiskt mätsystem som mäter den elektriska resistiviteten ner till 200–300 m djup. Den elektriska resistiviteten är inversen av den elektriska konduktiviteten (ledningsförmågan). Variationerna i den elektriska resistiviteten i jordlagren och berggrunden på Gotland beror framförallt på skillnader i porositet mellan olika geologiska lager liksom deras innehåll av lermineral och vatten. Vattnets salthalt är avgörande eftersom salt grundvatten markant sänker den elektriska resistiviteten.

SkyTEM är benämningen för själva mätsystemet. Till detta har det utvecklats en programvara, Aarhus Workbench (från Aarhus GeoSoftware) för kvalitetskontroll, bearbetning och olika slags inversioner (inversmodellering) av SkyTEM-data. Genom att koppla resistiviteten till geologisk information, från t.ex. brunnsborrningar, tolkas inversionsresultaten till geologiska företeelser (ex. lagring, märgel, kalksten, salt grundvatten, fig. 1). Dessutom har ett specialutvecklat 3D-program, Geoscene 3D (från I-GIS) använts för modellering och presentation av resultaten. En fördjupad beskrivning av SkyTEM-metoden, bearbetningsprocedurer och hur tolkningen gjorts presenteras i avsnittet *Metodik*. Mätningar med SkyTEM genomfördes inom fyra områden på Gotland (fig. 2):

Område 1: Stenkyrka–Lärbo–Hejnum
Område 2: Åminne–Ala
Område 3: Stånga–Burs
Område 4: Sudret.



Figur 1. Förenklad figur över arbetsgången från data till geologisk modell.



Figur 2. De blå ramarna markerar de fyra områdena där mätningar med SkyTEM genomförts och lägena för borrningar och borrhålsmätningar markeras med lila punkter. Vid borrhål 3 och 5 utfördes även geofysiska markmätningar (ERT+IP) längs profiler. Profilernas läge visas i respektive områdesbeskrivning. Röda streckade ramar visar undersökningsområden från 2013 (se Dahlqvist m.fl. 2015).

Borrning

Fjorton djupa undersökningsborrningar (hammarborrningar med diametern 115 mm) utfördes, fördelade på de fyra undersökningsområdena (fig. 2, tabell 1). Syftet med borrningarna var att samla in information om berggrundens uppbyggnad, främst djupet till förekommande kalkstens- och märgelstenslager samt vilken mängd vatten som borrhålet producerar. Brunnsprotokoll från samtliga borrningar redovisas i bilaga 1. Efter att borrhålen rensats med hjälp av tryckluft och vatten utfördes även borrhålsmätningar av resistivitet, temperatur och naturlig gammastrålning. Mätningarna utfördes av avdelningen för teknisk geologi vid Lunds Tekniska Högskola (se avsnittet *Borrhålsloggning*).

Tabell 1. Information om borrhålen och de geofysiska markmätningarna. Nivån för markytan vid borrhålen (m ö.h. = meter över havet) är tagen från GSD-höjddata, grid 2+, noggranhet +/–0,25 m (Lantmäteriet). Grundvattenytan (m u.m.y= meter under markytan) är uppmätt antingen direkt efter borrning, vid borrhålsloggning eller vid senare fältbesök.

Borr-hålsnr.	Djup (m)	Nivå markyta (m ö.h.)	Jorddjup (m)	Uppskattad vattenmängd vid borrning (l/tim)	Loggnings-djup (m)	Grundvatten-yta (m u.m.y.)	Fastighet
1	35	26	7	30 000	28	Artesisk	Tingstäde Bryor 4:16
2	80	37	3	50	78	28,11	Othem Barshage 1:31
3	60	12	18	9000	52	2,97	Lärbro Hägvide 1:8
4	80	58	0	3 300	79	29,12	Othem File 1:20
5	60	15	3	7 200	58	3,29	Gothem Kaupungs 1:19
6	30	15	0	18 000	28	Artesisk	Gothem Suderbys 1:27
7	73	18	3	7 200	Ej loggad	0,25	Norrlanda Anex 1:1
8	40	26	13	6 000	38	3,66	Stånga Stallause 1:16
9	84	25	15	2 100	81	5,96	Burs Västerlaus 2:1
10	40	14	0,5	420	37	0,3	Burs Änges 1:45
11	30	15	4,5	510	Ej loggad	1,35	Burs Amunde 1:36
12	50	2	2,8	Inget flöde	47	0,08	Öja Stora Sutarve 1:2
13	35	11	2,7	Inget flöde (10l/min i jordlagren)	Ej loggad	Saknas	Vamlingbo Storms 4:1
14	40	15	3	60	37	1,69	Vamlingbo Austre 2:1

Geofysiska markmätningar

För att ytterligare undersöka intressanta anomalier som indikerats i SkyTEM-data utfördes under oktober 2016 markmätningar med ERT (Elektrisk resistivitetstomografi) och Georadar på dessa platser. Totalt mättes tre ERT-profiler och 31 georadarprofiler.

Syftet med ERT-mätningarna var främst att få mer detaljerad information om resistivitetsfördelningen i marken och att jämföra och verifiera de resistivitetsmodeller som skapats med SkyTEM-data.

En ERT-mätning innebär att potentialskillnaden av en utsänd ström i marken registreras med två potentialelektroder. Markens resistivitet kan sedan bestämmas. Genom att öka avståndet mellan strömelektroderna ökar även metodens djupkänning. Vid mätningarna användes ett multielektrodsystem, Terrameter LS (ABEM) och ett elektrodavstånd på 2 och 5 m. För en av profilerna uppmättes förutom markens resistivitet även laddningsbarhet (inducerad polarisation, IP).

Georadar är en metod som använder högfrekventa elektromagnetiska vågor som reflekteras när de elektriska egenskaperna i marken förändras. Mätresultaten ger under gynnsamma förhållanden detaljerad information om till exempel lagerföljder och grundvattenytans läge ner till 10–20 m djup. Vid undersökningen användes en 40 MHz antenn och mätsystemet SIR3000 (GSSI). Profilernas läge visas i figurer i avsnitten för respektive område samt i bilaga 3. Resultaten från undersökningarna redovisas i de områdesvisa beskrivningarna.

Borrhålsloggning

Borrhålsloggning utfördes i totalt 16 borrhål, inkluderande borrhålen 1–6, 8–10, 12, och 14 (fig. 2) samt fem äldre borrhål (BH 15–19, tabell 2). På grund av tekniska problem kunde inte mätningar utföras i borrhål 7, 9, 11 och 13. Mätningarna inkluderade loggning med mätsonder som mäter temperatur, vattnets konduktivitet, resistivitet, självpotential och gammastrålning. I borrhålen 3, 4, 5 och 12 utfördes även en mätning med *Acoustic Televiewer Sond* (ATS) som resulterar i en högupplöst orienterad ultraljudsbild av borrhålsväggen. Borrhålsloggarna, förutom resultaten från mätningarna med ATS, redovisas i bilaga 2. Mer ingående information om metoderna samt tolkade resultat från borrhålsloggningen redovisas i Alm (2016, 2017).

Tabell 2. Övriga borrhål som undersökts med borrhålsloggning som använts i tolkningsarbetet. Grundvattenytan (m u.m.y= meter under markytan) uppmätt under perioden 7/12–13/12 2015. Nivån för markytan vid borrhålen (m ö.h. = meter över havet) är tagen från GSD-höjddata, grid 2+, noggrannhet +–0,25m (Lantmäteriet).

Borr-hålsnr	Djup (m)	Nivå markyta (m ö.h.)	Loggnings-djup (m)	Grundvatten-yta (m u.m.y.)	Borrhålsnamn
15	49,2	45	49	3,40	Filehajdar nr 7
16	43,8	41	43	20,41	Cementa 85
17	62,3	49	62	16,14	Cementa 86
18	30,5	9	30	1,54	Åminne 3
19	21,0	5	20	5,87	Öja Strands

Övriga data

I tolkningsarbetet har det även ingått analys av befintlig SGU-information, ex brunnsdata och Oljeprospektering ABs data i form av seismogram och borrhålsinformation. Till stöd för arbetet har även berggrundsdata från berggrundskartläggningen av Gotland 2006–2009 (Erlström m.fl. 2009) samt resultat från SkyTEM-undersökningen 2013 (Dahlqvist m.fl. 2015) ingått.

METODIK

Mätning med SkyTEM

Mätningarna med det helikopterburna SkyTEM-systemet utförs på 30–50 m höjd ovanför marken och består av en sändarram och mottagarspolar. Sändardelen består av en drygt 300 m^2 stor ram som innehåller en kabelslinga som hänger under helikoptern (fig. 3). I sändarramens kabelslinga skickas det regelbundet ut en kraftig ström. När strömmen momentant stängs av induceras en ström i marken som försöker efterlikna den i kabelslingan. Strömmen i marken sprider sig därefter ringformigt nedåt och utåt i marken (fig. 4).

I mottagarspolarna, som sitter på ett stativ kopplat till ramen (fig. 4), mäts hur det magnetiska fältet som är associerat till strömmen i marken klingar av, som funktion av tid efter strömavslag. Vid mätningar över en högresistiv jord- eller bergvolym är den uppmätta signalen i mottagarspolarna svag i jämförelse med de över en lågresistiv volym.

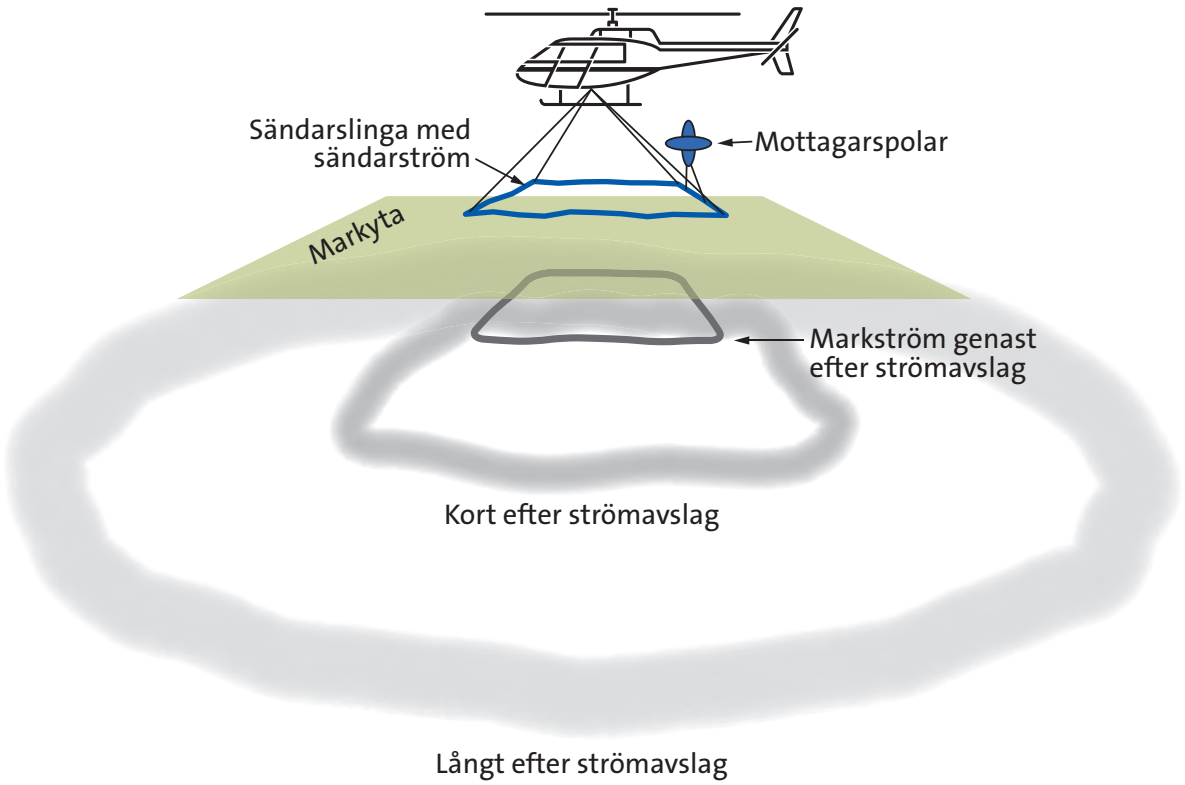
Signalen i mottagarspolen registreras tillsammans med helikopterns geografiska position, sändarramens läge och lutning, strömstyrkan i kabelslingan och flyghöjd över markytan. I samband med varje flygpass genomförs tester och kalibrering av mätsystemet. Dessa kontroller utförs på hög flyghöjd, utan påverkan av markförhållandena.

Mätningarna på Gotland utfördes i linjer med ca 200 m avstånd. Totalt tog mätningarna av 2809 linjekilometer sju dagar att genomföra. Viktigt för en rationell och säker mätning är också att information om eventuella ledningar, master och höga byggnader i mätområdet har samlats in och beaktas i planering och genomförande. Även information till allmänheten är viktig, bl.a. för att förebygga att tamdjur skräms av helikoptern och mätramen. Med hänsyn till dessa förutsättningar avviker flygstråken ofta något från den ursprungliga planen. Flygstråkens slutgiltiga läge redovisas i SkyTEMs tekniska rapporter (SkyTEM 2015).

Kvalitetskontroll och bearbetning

Efter ett flygpass kontrollerar mätgruppen datakvaliteten (för ingående beskrivning se SkyTEM 2015). Godkänns inte kvaliteten görs en ny mätning. Ofta beror en sämre kvalitet på störningar från kraftled-

Figur 3. SkyTEM-systemet vid mätning på Gotland. Foto: SkyTEM Aps.



Figur 4. Grundprincipen för mätsystemet och strömutbredning i marken, en så kallad rökring (eng. *smoke ring*).

ningar, elstängsel och järnvägar och då finns inga andra möjligheter än att acceptera dessa störningar. Efter att alla mätdata kvalitetsgranskats och godkänts, börjar en manuell kontroll och rensning (filtrering) av rådata för att få fram data som kan användas i den slutliga inversionen (inversmodellering).

Vid inversionen delas jord- och bergvolymen upp i lager där varje lager ges en mäktighet och en startresistivitet. Resistiviteten för modellens olika lager anpassas successivt i en automatisk iterativ process, till dess att de ger ett avklingningsförlopp som efterliknar det som uppmätts. När anpassningen mellan modellerad och uppmätt avklingningskurva är tillräckligt god har inversionen resulterat i en möjlig fördelning av den elektriska resistiviteten i jord- och bergvolymen. Inversionen av samtliga SkyTEM-data på Gotland har genomförts med utjämnande (eng. smooth) inversion (19–30 lager) genom att resistiviteten kontinuerligt ändras från lager till lager.

Vid inversionen är det också möjligt att använda färre antal lager (ofta tre till fem) vilket, till skillnad från utjämnande inversion resulterar i skarpa gränsytor mellan lagren. För att denna modell ska ge tillfredställande resultat krävs kompletterande information från borrhål om antalet lager, lagergränser samt att antalet lager inte ändras nämnvärt utmed mätprofilen. Fålagersmodellen lämpar sig därför bäst för mindre undersökningsområden.

Inversionsmetodiken, som har använts för SkyTEM-data från Gotland, baseras på s.k. SCI (eng. *Spatially Constrained Inversion*). Metodiken tar hänsyn till data i mätpunkten som ska inverteras och data från närliggande mätpunkter, såväl längs den aktuella mätprofilen som från de intilliggande profilerna. De inställningar som använts vid bearbetningen beskrivs inte närmare här. Inställningarna är kopplade till varje områdes digitala arbetsyta vilket gör det möjligt att återskapa och studera dessa i detalj.

Övergång från geofysisk information om resistivitet till geologi och hydrogeologi

Inversionen av SkyTEM-data resulterar i en tredimensionell bild av hur resistiviteten är fördelad i marken. För att denna ska vara användbar för exempelvis en hydrogeologisk modellering behöver resistivitetsfördelningen översättas i geologiska och hydrogeologiska termer. För detta behövs en översättningstabell där ett visst resistivitetsintervall motsvarar en viss typ av geologisk enhet. Det finns ingen entydighet i sådana översättningstabeller eftersom resistivitetsintervallen för olika geologiska lager ofta överlappar varandra.

På Gotland har geofysiska och geologiska undersökningar genomförts av bland annat SGU (Erlström m.fl. 2009, Erlström & Persson 2014, Dahlqvist m.fl. 2015). Inversionsresultaten från SkyTEM mätningarna har tillsammans med mark- och borrhålsmätningar och tidigare undersökningar resulterat i en översättningstabell där det går att utläsa vilket resistivitetsintervall som är typiskt för de olika geologiska förhållandena på Gotland (tabell 3). I tabellen finns värden för de dominerande karbonatbergarterna, kalksten och märgelsten. För stora volymer av dessa dominerande bergarter fungerar tabellens resistivitetsvärden relativt väl. I många fall är dock berggrunden uppbyggd av en växellagring eller inlagring av märgelsten respektive kalksten vilket medför att bergmassans resistivitet under dessa förhållanden är någonstans mellan de två ytterligheterna vilket gör mätningarna svårare att tolka.

Översättning av resistivitet till saltvattennivå i Gotlands bergartsvolym

Konduktivitet och resistivitet är varandras inverser, d.v.s. konduktiviteten=1/resistiviteten. Konduktiviteten anges i siemens per meter (S/m) och resistiviteten i Ohmm.

Resultat från tidigare geofysiska undersökningar på Gotland har visat att det är högst resistivitet i områden där kalkstenar dominerar medan betydligt lägre nivåer uppträder i märgeldominerade områden (Erlström m.fl. 2009, Erlström & Persson 2014, Dahlqvist m.fl. 2015). Tidigare utförda markmätningar med RMT-metoden på mellersta Gotland har även visat att revartad kalksten som ligger ovanför det salta grundvattnet, har mycket hög resistivitet (ofta över 1000 Ohmm). Märgelstenen har en avsevärt lägre resistivitet omkring 50–200 Ohmm (Erlström & Persson 2014).

Tabell 3. Ungefärliga resistivitetsintervall för olika geologiska material på Gotland. (gvy = grundvattenytan) Baserad på resultat från Erlström m.fl. (2009), Erlström & Persson (2014), Dahlqvist m.fl. (2015) samt från de nu genomförda undersökningarna med SkyTEM, ERT, och borrhålsloggning.

Geologi, markanvändning	Grundvatten-miljö	Resistivitets-intervall (Ohmm)	Kommentar
Torv, lera, gyttja	Sött	10–50	
Sand, grus	Över gvy	>300	Förekommer oftast i dynområden eller strandvallar
Sand, grus	Sött	80–200	
Jordbruksmark	Sött	10–50	Lerrikare jord med sötvatten
Morän (lerig)	Sött	30–80	Lerrikare jord med sötvatten
Kalksten	Över gvy	>1000	Sprick- porfattig kalksten har högst resistivitet medan inslag av märgel i kalkstenen kan sänka resistiviteten betydligt
Kalksten	Sött	200–1000	Sprick- porfattig kalksten har högst resistivitet medan inslag av märgel i kalkstenen kan sänka resistiviteten betydligt
Kalksten	Salt	10–200	Sprick- porfattig kalksten har högst resistivitet
Märgel- eller märgelsten	Sött	50–200	Områden med högst resistivitet innebär märgel med betydande inslag av kalksten i form av skikt eller lager
Märgel eller märgelsten	Salt	10–80	
Bergrund mättad med salt grundvatten	Salt	<40	Se diskussion i avsnittet: *Översättning av resistivitet till saltvattennivå i Gotlands berggrund*

Det salta grundvattnets effekt på bergmassans resistivitet är viktig att ta hänsyn till eftersom den har betydelse för tolkningen av djupet till det salta grundvattnet. Det optimala vore att kunna fastställa ett specifikt resistivitetsvärde som motsvarar saltvattensgränsen i en resistivitetskolumn, d.v.s. vid vilket resistivitetsvärde, och därmed på vilket djup, vi kan säga att det är salt grundvatten för olika geologiska enheter. Slutsatsen från undersökningarna 2013 är att resistivitetsvärden mindre än ca 40–50 Ohmm data sannolikt indikerar förekomst av ett saltpåverkat grundvatten i berggrunden. Dahlqvist m.fl. (2015) ger en utförlig beskrivning av hur bedömningen av resistivitetsvärdena för salt grundvatten har gjorts.

Hur påverkar förekomsten av färskvatten i ett geologiskt lager resistivitetsvärdena?

Sandkornen som bygger upp olika typer av sandavlagringar, t.ex. strandsvallsområden och isälvsavlagringar, kan i sig betraktas som elektriska isolatorer. Om sanden förekommer ovanför grundvattenytan blir resistiviteten mycket hög. Däremot blir resistiviteten avsevärt lägre när sanden ligger under grundvattenytan och porerna är mättade med färskvatten. Genom att använda Archies lag (Archie 1942) i sin enklaste form går det att beräkna bulkresistiviteten i en markvolym som består av en blandning av exempelvis sand och färskt grundvatten. Om man antar att de enskilda sandkornen är elektriska isolatorer och att sanden består av 30 procent porer mättade med färskt grundvatten med en resistivitet på ca 17 Ohmm (motsvarande konduktivitet är då ca 0,0588 S/m), innebär det att bulkresistiviteten för sandlagret blir ca 185 Ohmm.

Erlström & Persson (2014) visar att den elektriska resistiviteten i kalksten, med låg porositet och få sprickor, även under grundvattenytan kan vara mycket hög, flera tusen Ohmm. Om porositeten är hög och sprickor förekommer i kalkstenen sjunker resistiviteten markant under grundvattenytan (jämför tabell 3). Förekommer det färskvattenfyllda karststrukturer (större hålrum) i kalkstenen medför det att dessa områden har en lägre resistivitet än omkringliggande kalksten.

Modellering av resultat i 3D

Resultaten från mätningarna med SkyTEM systemet ger ett utmärkt underlag för att bygga geologiska modeller i 3D. Förutom kunskap om Gotlands geologi och hydrogeologi samt hur dessa är kopplade

till resistivitet behövs också verktyg för själva modelleringsarbetet. Vi har använt programvaran GeoScene3D (från I-GIS) för att skapa 3D-modeller för samtliga undersökta områden. Förberedelserna för modelleringsarbetet har inkluderat:

- Import av inversionsresultaten till GeoScene3D, d.v.s. resistivitetssonderingarna i varje godkänd mätpunkt.
- Import av terrängmodell och olika bearbetningar av terrängmodellen.
- Import av fastighetskartor, jordartsgeologiska kartan och berggrundsgeologiska kartan.
- Import av brunnar från SGUs brunnsarkiv

Efter att all data importerats granskas resistivitetsfördelningen längs samtliga mätprofiler. Jämförelser mot övrig data ger successivt en bild av hur resistivitetsdomänerna längs de enskilda profilerna kan vara avgränsade men också vad de kan motsvara för typ av geologisk eller hydrogeologisk enhet. Därefter påbörjas digitaliseringen av tolkningen som leder fram till att det undersökta området delats in i olika lager, från markytan ned till det ungefärliga maximala undersökningsdjupet.

Ett exempel på en profil ur 3D modellen över geologiska enheter i område 3 visas i figur 5 a–b där också motsvarande resistivitetssektion visas. Exemplet visar hur resistivitetssektionen indelats i resistivitetsdomäner som sedan klassificerats till geologiska enheter. Vanligtvis klassificeras det nedersta lagret som saltvattenmättad berggrund.

Den mest användbara 3D-modellen för den som prospekterar efter grundvatten på Gotland är givetvis den som direkt visar förekomsten av möjliga akviferer, alltså en hydrogeologisk modell. Att skapa en hydrogeologisk modell förutsätter en god insikt i var grundvatten förekommer i de olika geologiska enheterna på Gotland. Dessa modeller är svåra att göra och även om det finns mycket kunskap idag behöver hypoteser och kunskap utvecklas ytterligare för att öka kvaliteten i dessa modeller.

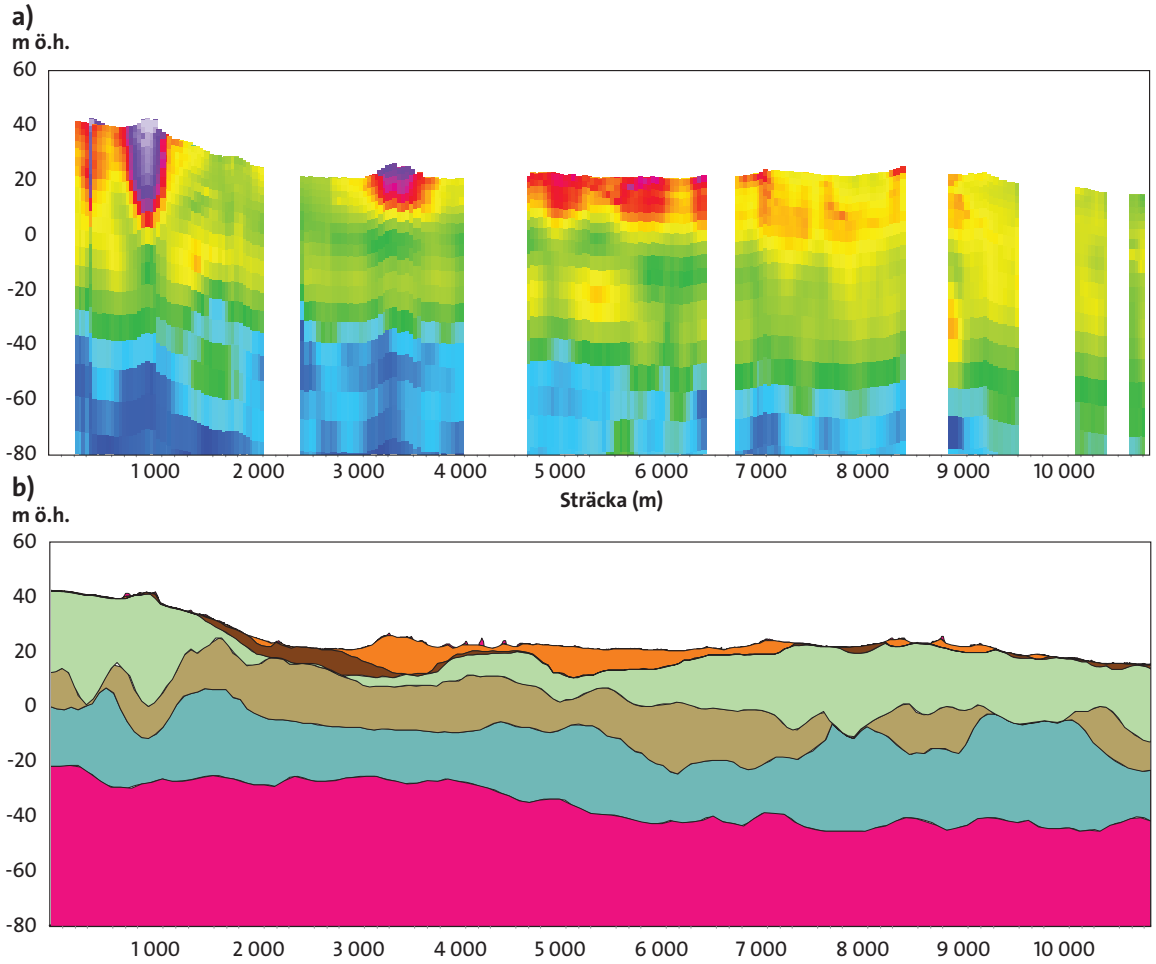
För område 3 har en enkel hydrogeologisk modell i 3D tagits fram som visar utbredningen av möjliga akviferer och djupet till salt grundvattnet. Nedan redovisas ett antal hypoteser som har använts vid arbetet med den hydrogeologiska modellen:

Mäktiga lågresistiva (under 40–50 Ohmm) domäner på djupet tolkas representera berggrund som är mättad med salt grundvatten.

Sand- och grusavlagringar på berggrunden med inget eller endast litet innehåll av silt eller lera kan förväntas ha ett resistivitetsintervall av omkring 80–200 Ohmm om de är mättade med grundvatten, se tabell 3. Ovanför grundvattenytan är deras resistiviteter mycket högre, kanske upp mot flera tusen Ohmm. Där dessa hydrauliskt konduktiva sand- och grusavlagringar når en tillräcklig mäktighet för att kunna utgöra en väsentlig grundvattenresurs ger de också ett tydligt avtryck i resistivitetsmätningarna. I området sydväst och syd om Stånga finns denna avlagringstyp och den framträder också tydligt som högresistiva enheter. Detta område tolkas representera mäktiga sand- och grusförekomster med endast litet eller knappt något innehåll av silt eller lera. Förekomsten av mäktiga sand- och grusavlagringar har klassificerats som den övre akviferen i den hydrogeologiska modellen.

Berggrunden inom område 3 domineras av bergarter med relativt låg resistivitet i jämförelse med många andra områden på Gotland. Den förhållandevis låga resistiviteten beror på att berggrunden domineras av märgelsten, lerig kalksten och karbonatrik lersten. Dessa mer eller mindre leriga karbonatbergarter fungerar som akvitarder d.v.s. de agerar som hydrauliska barriärer och hindrar till stor del grundvattenflödet. Dessa akvitarder är inte illustrerade i den hydrogeologiska modellen men de kan ses i den geologiska modellen. Akvitardernas läge ger den nedre gränsen för den undre akviferen.

I områden med hög resistivitet påträffas i regel kalksten som är mer eller mindre fattig på lermineral. Kalksten innehåller dock högre andel hydrauliskt konduktiva spricksystem och karst i jämförelse med berggrund som domineras av märgel eller märgelsten. Detta beror på kalkstenens högre mekaniska hållfasthet i kombination med låg halt av tätande lermineral. Det finns förutsättningar för bildning av grundvattenmagasin i ett hållfast berggrundslager som är beläget ovanför en berggrundsenhet som



Figur 5. **a)** Profil från område 3 som visar resistivitetsdomänerna från inversionen. Delar av profilen har vita fält som beror på att störda mätdata rensats bort. Rödviolett färg visar hög resistivitet och blå låg resistivitet. **b)** Samma profil men med den geologiska modellen d.v.s. jordarts- och berggrundsgeologiska enheter som skapats ur resistivitets- och andra data. Orange färg = sand-/grusavlagringar. Brun = övrig jord. Mintgrön = relativt högresistiva kalkstensdominerade enheter med lågt inslag av märgelsten/lerig kalksten/karbonatrik lersten. Ljusbrun = lågresistiva enheter som är märgelrika/lerrika. Turkos = relativt högresistiva kalkstensdominerade enheter med lågt inslag av märgelsten, lerig kalksten eller karbonatrik lersten. Rosaröd = ospecificerad berggrund mättad med salt grundvatten.

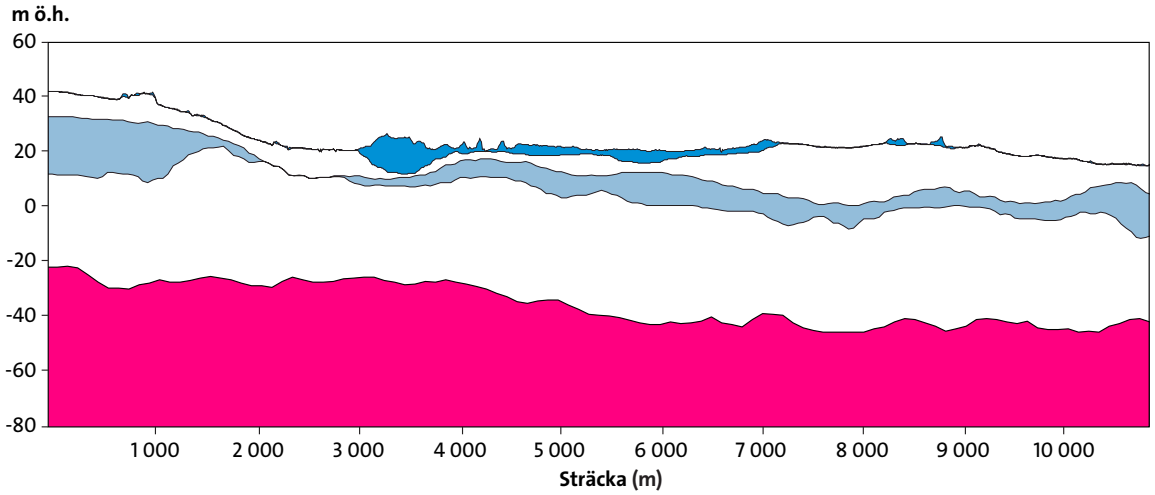
t.ex. märgel eller märgelsten som utgör en hydraulisk barriär. I den nuvarande hydrogeologiska modellenför område 3 har sådana geologiska förhållanden avgränsats och benämnts som undre akvifer om de ligger ovanför den tolkade saltvattensgränsen.

I figur 6 visas ett exempel på hydrogeologisk modell från område 3 som baseras på de hydrogeologiska antaganden som getts ovan.

GEOLOGISK UPPBYGGNAD

Gotlands berggrund

Gotlands berggrund består av siluriska karbonatbergarter som successivt tilltar i mäktighet och stratigrafisk representation söderut. Den siluriska lagerföljden har en sammanlagd mäktighet på 500–750 m och stupar svagt (0,2–0,4°) åt sydsydost. Under dessa lager påträffas en ca 100 m mäktig ordovicisk kalkstenssekvens och ca 125 m med kambrisk siltsten, sandsten och lerskiffer som i sin tur



Figur 6. En hydrogeologisk modell för samma profil som visas i figur 5. Modellen innehåller tre klasser där den mörkblå visar den övre akviferen, ljusblå visar den undre akviferen och rosaröd visar berggrund mättad med salt grundvatten.

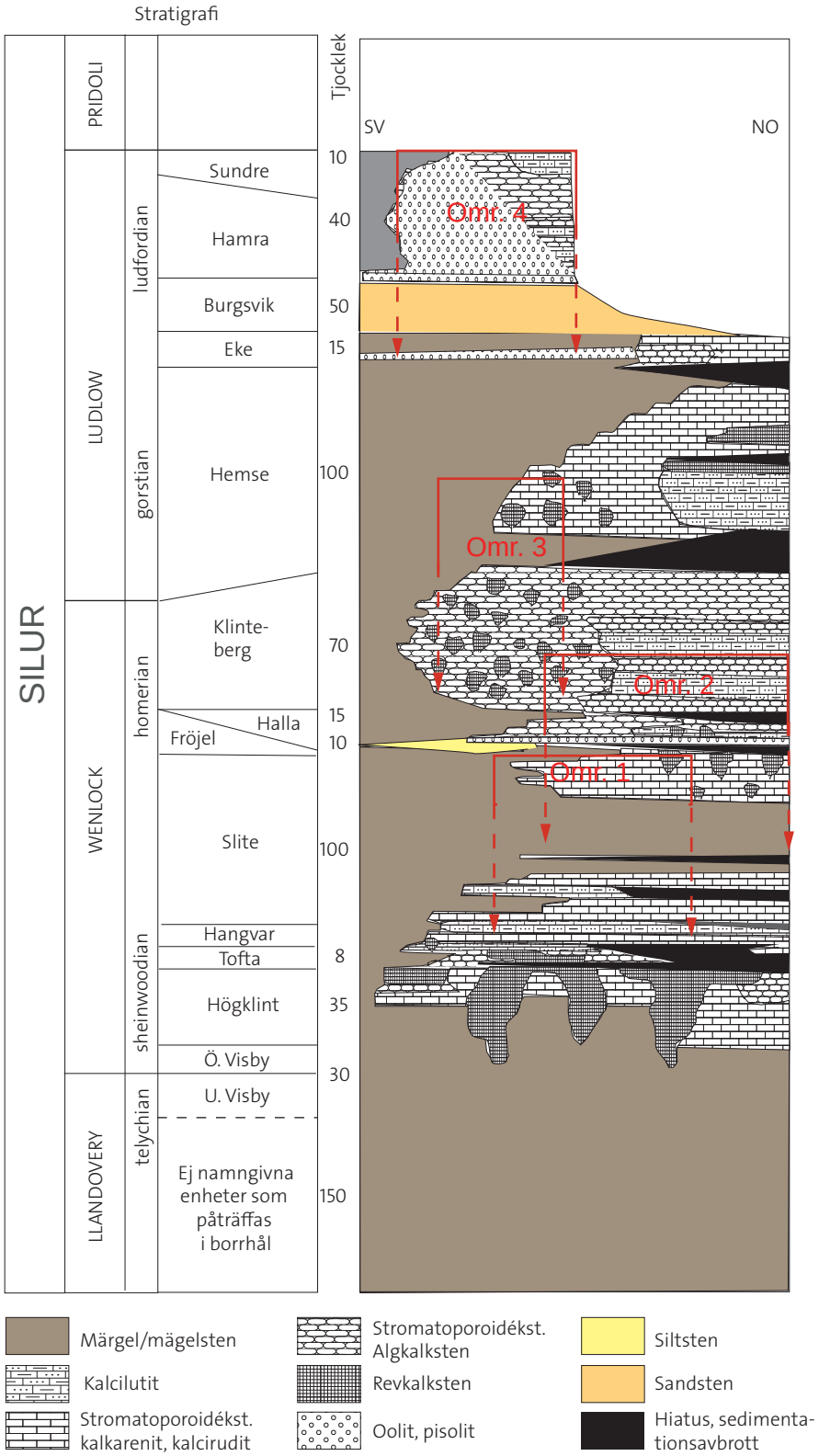
överlagrar den prekambriska kristallina berggrunden. De siluriska bergarter som bygger upp den översta delen av berggrunden representerar ett tidsavnitt på ca 10 miljoner år (428–418 miljoner år sedan) motsvarande wenlock och ludlow. De SkyTEM undersökta områdena 1–4 representerar successivt yngre berggrundsavsnitt i samma ordningsföljd (fig. 7). De äldsta siluriska berggrundsavsnitten är blottade utmed Gotlands nordvästra kust, t.ex. vid Lickershamn och Ireviken inom område 1, medan de yngsta blottade lagren påträffas inom område 4 på Sudret längst nere i söder.

Till skillnad från de ytligt liggande berggrundslagren är den siluriska berggrundens uppbyggnad på djupet inte lika välbeskriven. Eftersom de djupare borrningar och undersökningar som har gjorts främst varit inriktade på olje- och gasreservoarer i den ordoviciska och kambriska berggrunden, saknas ofta detaljerad information om den siluriska berggrundens uppbyggnad. Baserat på tillgänglig information indikeras att den djupare liggande siluriska berggrunden domineras av lerig kalksten, märgelsten, märgel och lersten, till skillnad från den mer kalkstensdominerade ytliga berggrunden.

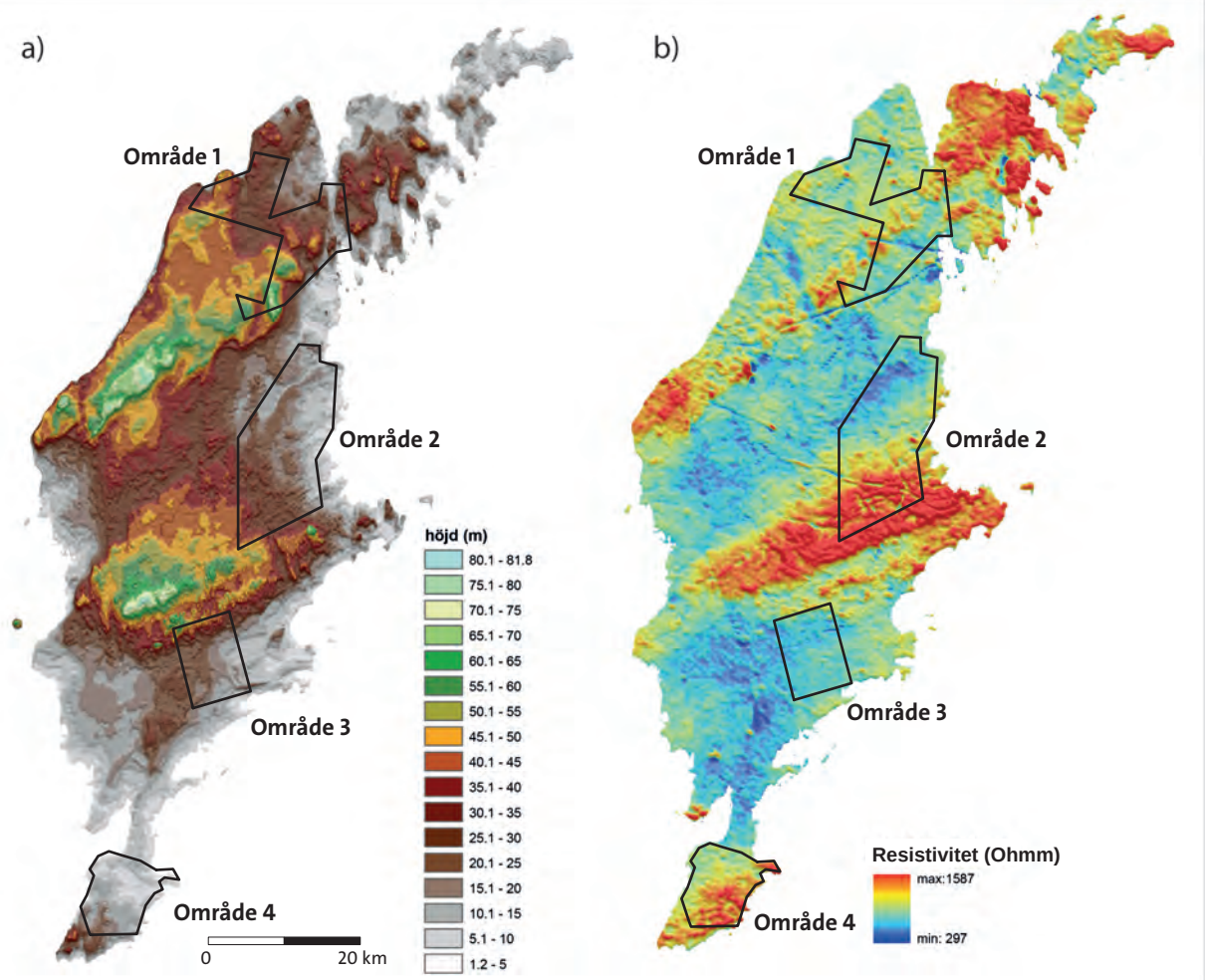
Ursprungssedimenten till de siluriska bergarterna avsattes i ett grunt hav (eng. *shelf*) som täckte stora delar av centrala Östersjöbäckenet under silurisk tid. Uppemot tio cykler med avsättning har dokumenterats (Calner m.fl. 2004). Mellan cyklerna förekom perioder med erosion och karstvittring då Gotland låg ovanför erosionsbasen (Eriksson 2004, 2007). Inom varje enhet som motsvarar en cykel är bergarterna på Gotland generellt grövre och karbonatrikare i nordost jämfört med i sydväst, där inslag av märgel och märgelsten är mer påtagliga (fig. 7). Detta till följd av successivt djupare marina avsättningsförhållanden i sydvästlig riktning under silurisk tid.

På Gotland finns tre större kalkstensdominerade områden, ett som sträcker sig från strax söder om Visby upp till Fårö, ett på mellersta Gotland och ett tredje längs ner i söder på Sudret. Områdena sammanfaller med relativt oregelbundna höjdområden som tydligt framträder på höjdreliefkartan (fig. 8a). Mellan dessa områden i låglänt terräng domineras ytberggrunden av lerig kalksten, märgel och märgelsten, t.ex. Slitemärgel och Hemsemärgel.

Berggrunden inom de kalkstensdominerade områdena domineras av kristallin kalksten där stromatoporidékalksten och krinoidékalksten samt revkalksten är de vanligaste kalstenstyperna. Lokalt förekommer även partier med grov osorterad fragmentkalksten och märgelsten. I kartbilden som visar den skenbara resistiviteten från flygmätta elektromagnetiska mätningar framträder kalkstensområdena tydligt eftersom dessa har en relativt högre resistivitet jämfört med kringliggande märgelstensdomin-



Figur 7. Schematisk figur som visar dominerande bergart, stratigrafisk indelning och de undersökta områdenas stratigrafiska täckning, från markytan och neråt (efter Erlström m.fl. 2009).



Figur 8. **a)** Höjdreliefkarta över Gotland baserad på höjddata från Lantmäteriet, **b)** Skenbar resistivitet beräknad från flygmätta elektromagnetiska data (VLF) över Gotland (efter Erlström m.fl. 2009). De svarta ramarna visar undersökningsområdena.

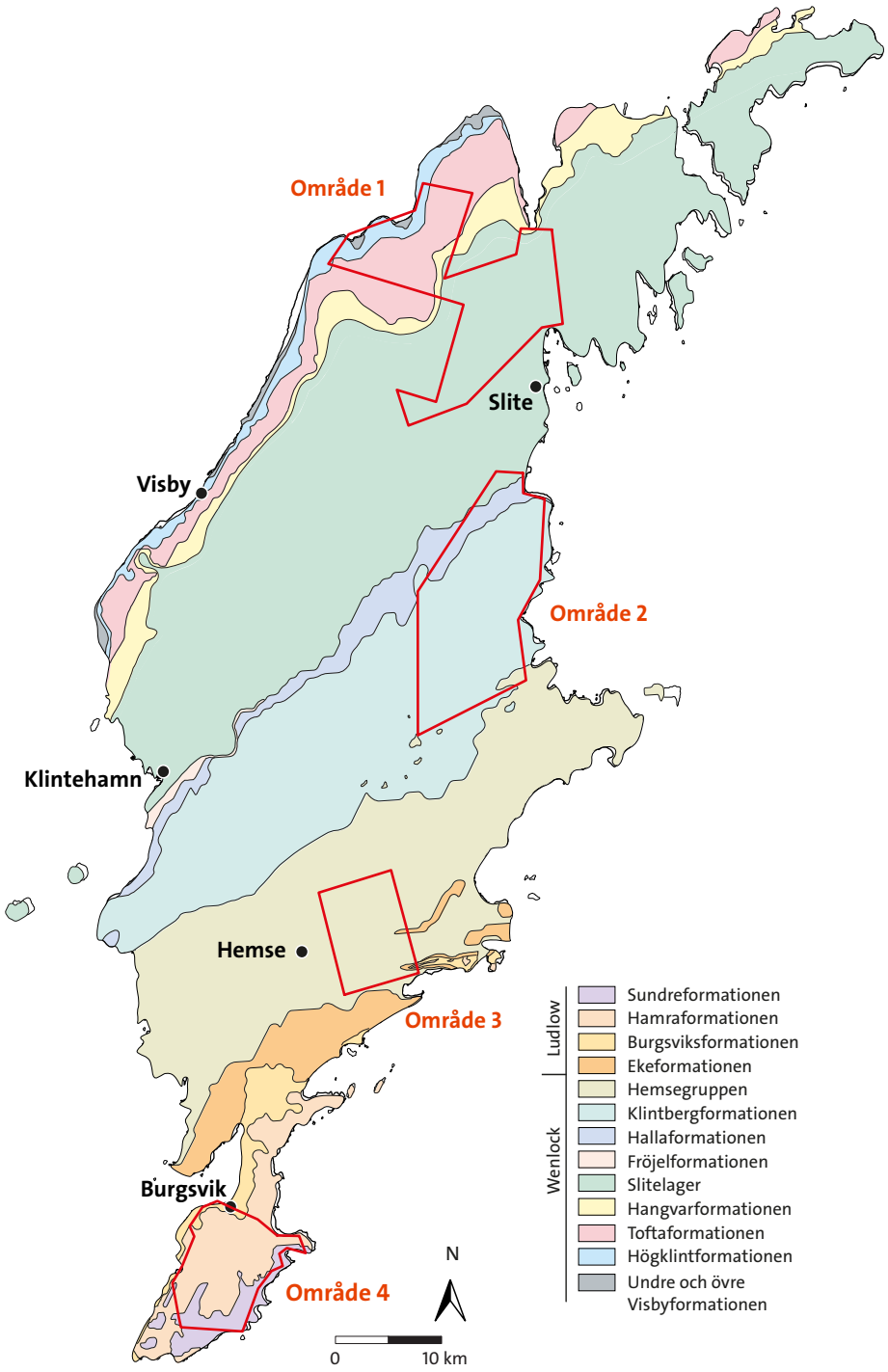
erad berggrund (fig. 8b). Den kalkstensdominerade berggrunden inom de tre områdena är vanligtvis mellan 20 och 70 m mäktig och överlagrar berggrund som domineras av lerig kalksten, märgelsten och märgel. Mäktigare kalkstenslager förekommer i underordnad omfattning på över 70 m djup.

Den stratigrafiska indelningen av den siluriska berggrunden på Gotland är en reviderad version av Hedes (1960) indelning där formationer och led baseras på både litostratigrafiska och biostratigrafiska data (Jeppsson m.fl. 2006, fig. 9).

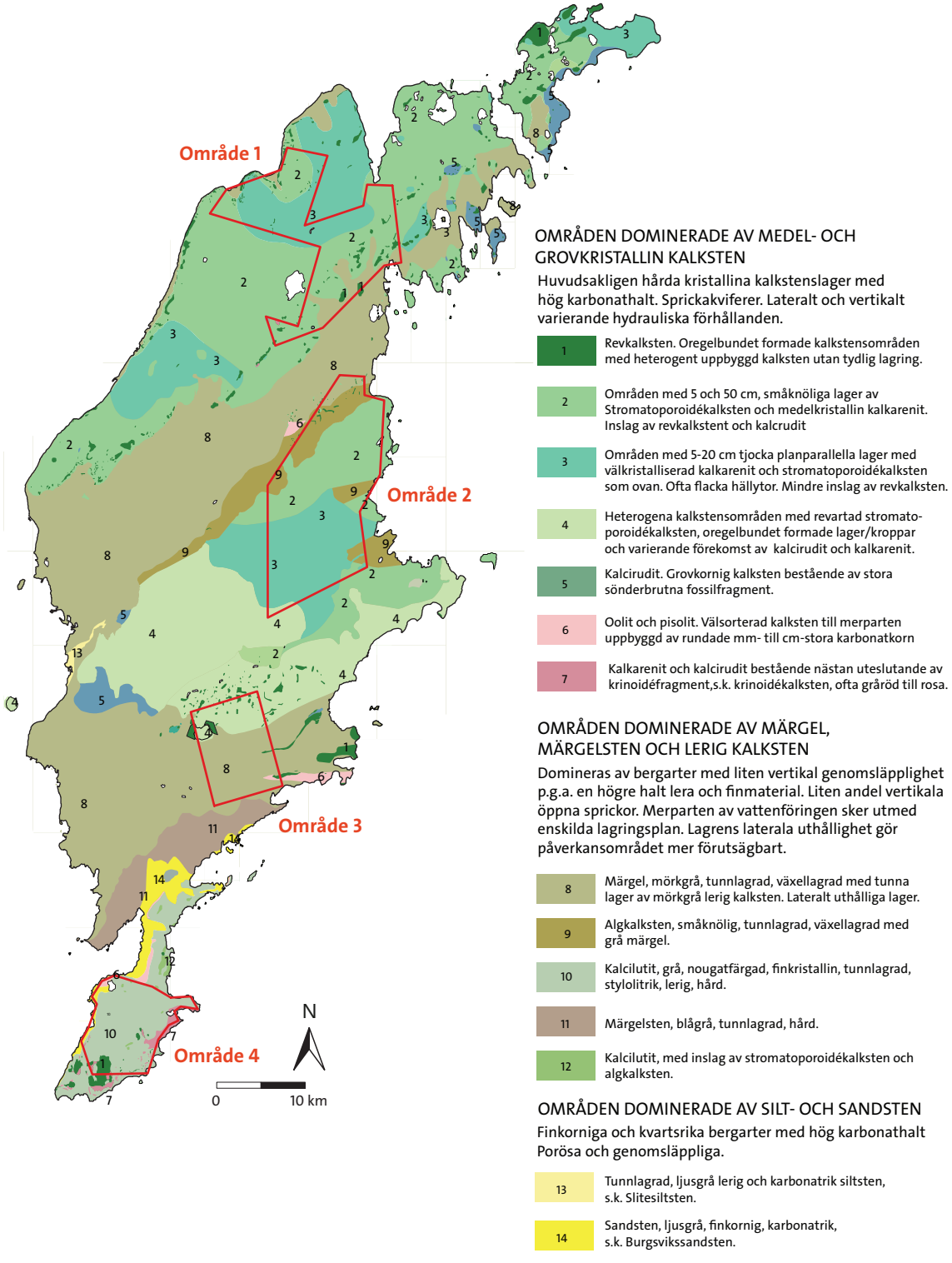
Gränserna för de stratigrafiska enheterna sammanfaller inte alltid med en tydlig bergartsgräns vilket gör att den stratigrafiska kartan (fig. 9) delvis skiljer sig från berggrundskartan (fig. 10). Eftersom många av bergartsbeskrivningarna hänvisar till de stratigrafiska enheterna kommer följande beskrivning av respektive område att innefatta både den stratigrafiska indelningen av området och förekommande bergarter som anges på berggrundskartan.

Tektonik (sprickor, förkastningar, lineament)

Den siluriska berggrundsytan på Gotland är förhållandevis lite påverkad av större tektoniska strukturer. Mindre förkastningar, sprickor och sprickzoner är dock relativt vanliga förekommande. På den regionala berggrundskartan över Gotlands län har dessa strukturer markerats (Erlström m.fl. 2009). Flertalet klas-



Figur 9. De undersökta områdenas placering i förhållande till berggrundens stratigrafiska indelning. Figuren är modifierad efter Eriksson & Calner (2005).



OMRÅDEN DOMINERADE AV MEDEL- OCH GROVKRISTALLIN KALKSTEN

Huvudsakligen hårda kristallina kalkstenslager med hög karbonathalt. Sprickakviferer. Lateralt och vertikalt varierande hydrauliska förhållanden.

1 Revkalksten. Oregelbundet formade kalkstensområden med heterogent uppbyggd kalksten utan tydlig lagring.

2 Områden med 5 och 50 cm, småknöliga lager av Stromatoporoidékalksten och medelkristallin kalkarenit. Inslag av revkalkstent och kalcrudit

3 Områden med 5-20 cm tjocka planparallella lager med välkristalliserad kalkarenit och stromatoporoidékalksten som ovan. Ofta flacka hällytor. Mindre inslag av revkalksten.

4 Heterogena kalkstensområden med revartad stromato-poroidékalksten, oregelbundet formade lager/kroppar och varierande förekomst av kalcirudit och kalkarenit.

5 Kalcirudit. Grovkornig kalksten bestående av stora sönderbrutna fossilfragment.

6 Oolit och pisolit. Välsorterad kalksten till merparten uppbyggd av rundade mm- till cm-stora karbonatkorn

7 Kalkarenit och kalcirudit bestående nästan uteslutande av krinoidéfragment,s.k. krinoidékalksten, ofta gråröd till rosa.

OMRÅDEN DOMINERADE AV MÄRGEL, MÄRGELSTEN OCH LERIG KALKSTEN

Domineras av bergarter med liten vertikal genomsläpplighet p.g.a. en högre halt lera och finmaterial. Liten andel vertikala öppna sprickor. Merparten av vattenföringen sker utmed enskilda lagringsplan. Lagrens laterala uthållighet gör påverkansområdet mer förutsägbart.

8 Märgel, mörkgrå, tunnlagrad, växellagrad med tunna lager av mörkgrå lerig kalksten. Lateralt uthålliga lager.

9 Algkalksten, småknölig, tunnlagrad, växellagrad med grå märgel.

10 Kalcilutit, grå, nougatfärgad, finkristallin, tunnlagrad, stylolitrik, lerig, hård.

11 Märgelsten, blågrå, tunnlagrad, hård.

12 Kalcilutit, med inslag av stromatoporoidékalksten och algkalksten.

OMRÅDEN DOMINERADE AV SILT- OCH SANDSTEN

Finkorniga och kvartsrika bergarter med hög karbonathalt Porösa och genomsläppliga.

13 Tunnlagrad, ljusgrå lerig och karbonatrik siltsten, s.k. Slitesiltsten.

14 Sandsten, ljusgrå, finkornig, karbonatrik, s.k. Burgsvikssandsten.

Figur 10. De undersökta områdens placering i förhållande till den ytnära berggrundens uppbyggnad. Figuren är modifierad efter Erlström m.fl. (2009).

sificeras som lineament indikerade från VLF eller från flygmagnetiska mätdata. De magnetiskt tolkade lineamenten tolkas som djupa strukturer i den underliggande prekambriska berggrunden. De angivna VLF-lineamenten bedöms representera en sprick- eller förkastningszon i den ytnära berggrunden. Ett tydligt VLF-lineament sträcker sig från Irevikens östra klintkant söderut (Erlström m.fl. 2009). En tolkning är att NNO–SSV respektive NNV–SSO riktade svaghetszoner i berggrunden avgränsar både Ireviken och Lickershamnsviken. Zonerna har skapat strukturella förutsättningar för den kvartära erosion som format dessa vikar.

En annat tydligt, framförallt morfologiskt indikerat lineament, finns i nord–sydlig riktning utmed Kappelshamnsvikens västra kant söderut via Lärbro mot Vägumeviken. Sannolikt är lineamentet kopplat till en förkastning eller sprickzon i berggrunden men detta är ännu inte bekräftat.

Karstvittring

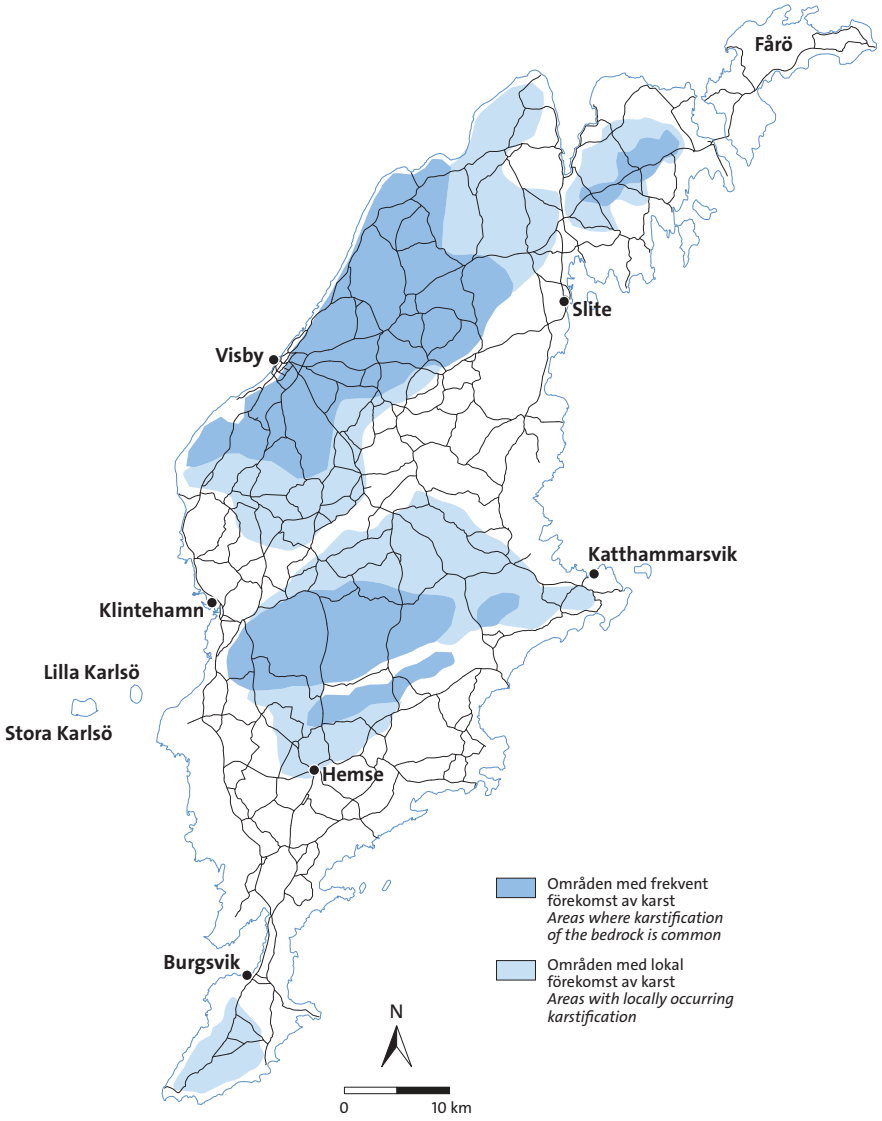
I Sverige förekommer småskalig karst på Öland, Gotland, delar av Skåne och i fjällkedjan (Engh 1980). I dessa områden förekommer karst mestadels som urlakning och vidgning av sprickor i kalkstensdominerad berggrund, sk. sprickkarren. Ytlig karstvittring (exogen karst) i form av sprickkarren är vanligt förekommande på Gotland där berggrunden huvudsakligen består av stromatoporoidékalksten. Exogen karst bildas både genom kemisk vittring av kalkstenen till följd av sur nederbörd och ytvattenavrinning i befintliga spricksystem och av biologisk aktivitet som leder till sura förhållanden som löser upp kalkstenen när kolsyra i yt- och grundvatten angriper mineralet kalcit). Inom hällområden kan vegetationen vara en starkt bidragande orsak till att exogen karst bildas eftersom växtlighet främst etablerar sig i sprickor eller andra svaghetszoner i berggrunden. Dessa förhållanden kan man se på flera platser på Gotland. Exogen karst förekommer främst inom hällområden mellan Filehajdar, Tingstäde Träsk och Hejnum Hällar samt i hällområdena sydväst och nordost om Ireviken. Det är inte helt klarlagt hur djupt ner den exogena karstvittringen går. Sprickornas vidd avtar successivt med djupet. Beroende på berggrundens uppbyggnad varierar djupgåendet. Oftast har den karstvidgade delen av sprickan ett djup under en meter. Precis som för Martebo Myr och Lummelunda är det sannolikt att det förekommer underjordiska vittringssystem i kalkstensområden som ligger över 25 m ö.h. Underjordiska karstsystem har även indikerats i samband med grundvattenstudier vid Bro (Gustafsson & Erlström 2007).

Hällobservationer indikerar att karst i huvudsak förekommer inom homogena kalkstensplatåer över 25 m ö.h. (fig. 11). Slukhål är en annan relativt vanligt förekommande karststruktur på Gotland. Med slukhål menas en punkt eller plats där ytvatten försvinner ner i en hålighet i kalkstensberggrunden, t.ex. kan en bäck sluta abrupt i anslutning till ett slukhål. Stora mängder ytvatten kan dräneras ner i berggrundens karstvittrade spricksystem och grottor via slukhål. Öppna källor i lägre liggande terräng har ofta en koppling till högre liggande slukhål. Dessa källor kan ofta ha ett artesiskt flöde. Kunskapen om förekomst av karst har mycket stor betydelse för bedömning av grundvattnets sårbarhet.

Förutom karststrukturerna som bildats efter senaste istiden (Littorinatid), eller möjligtvis under interglacial tid finns det även äldre karst på Gotland, s.k. palaeokarst. Dessa strukturer har bildats under silurisk tid i samband med tillfälliga perioder då havsnivån sjönk (regression) följt av att kalkstensberggrunden exponerats och utsatts för kemisk vittring. Dessa karstnivåer är kända från olika nivåer i ludlow- och wenlock på Gotland (Cherns 1982, Eriksson 2004, Calner m.fl. 2004). Palaeokarstsnivåerna tycks ställvis vara knutna till en förhöjning av magnesium och kloridhalterna i de karstpåverkade kalkstenslagren till följd av indunstning och inflöde av meteoriskt grundvatten under silurisk tid.

Berggrunden inom undersökta områden

Kunskapen om berggrundens uppbyggnad inom de undersökta områdena är främst baserad på hällobservationer. Denna information är relativt detaljerad avseende bergartsfördelning och stratigrafi.

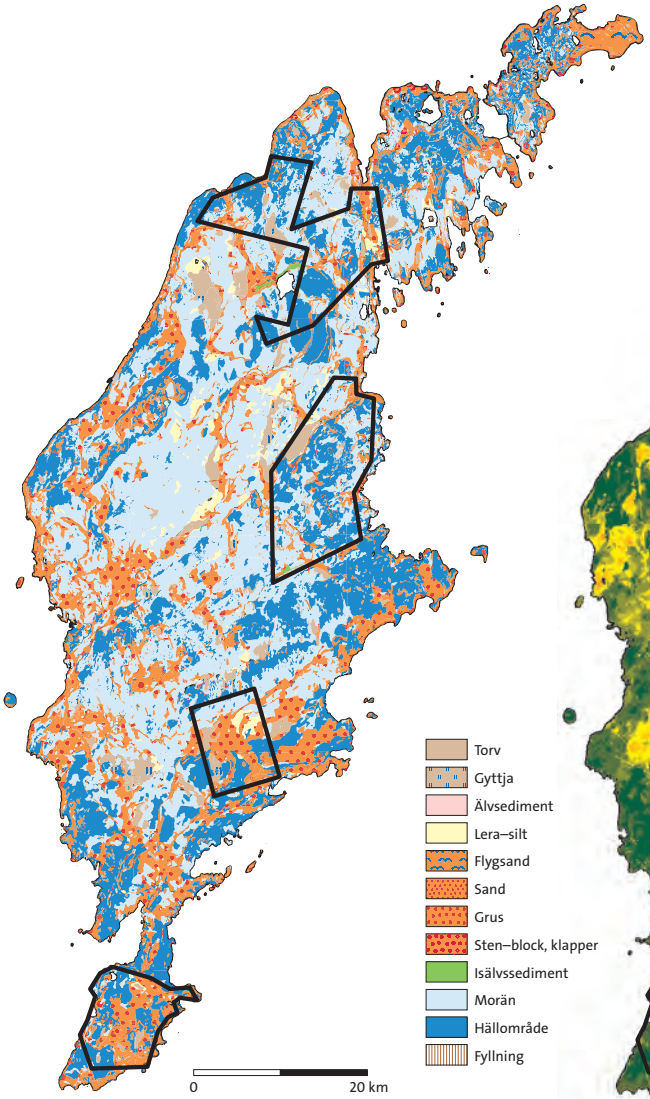


Figur 11. Förekomst av karst på Gotland (efter Erlström m.fl. 2009).

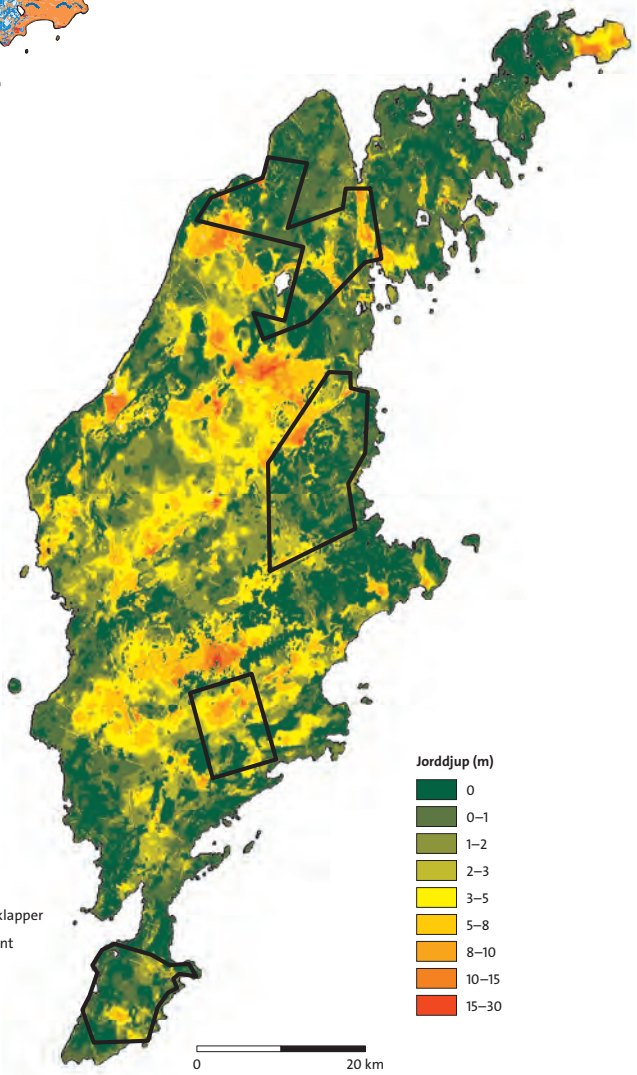
Kunskapen om den siluriska berggrundens uppbyggnad och indelning på djupet är däremot begränsad till ett fåtal detaljerade undersökningar av borrkärnor. Detta gör att förekommande djupare liggande berggrundslager är svåra att klassificera stratigrafiskt. I den översiktliga beskrivningen av lagerföljden inom respektive område ges därför endast en generell bild av förmodade stratigrafiska enheter på djupet.

Gotlands jordartsgeologiska förhållanden

Gotlands jordartsgeologiska förhållanden är kopplade till Östersjön och Östersjöns utveckling efter den senaste istiden. När Gotland i slutet av senaste istiden blev isfritt kom hela ön att ligga under den baltiska issjöns yta och har sedan dess successivt höjt sig ur Östersjön. Landskapet är därför format av kustprocesser och vågorna som har omlagrat, sorterat och omformat äldre jordavlagringar. Jordarter bildade genom strandprocesser har därför stor utbredning på ön. Strandvallar och andra landformer kopplade till strandprocesser, har en framträdande roll i landskapet (fig. 12). Ungefär en fjärdel av Gotlands yta saknar eller har ett mycket tunt och osammanhängande jordtäcke (fig. 13). För mer information om Gotlands jordartsgeologi och postglaciala utveckling se Svantesson (2005, 2008).



Figur 12. Jordartsgeologisk karta över Gotland. De svarta ramarna visar undersökningsområdena.



Figur 13. Jorddjupskarta över Gotland. De svarta ramarna visar undersökningsområdena.

Morän

Trots att landskapet är kraftigt påverkat av vågornas bearbetning är morän den vanligaste jordarten på Gotland. Moränen är finkornig med hög lerhalt, vilket är en konsekvens av att berggrunden till stor del utgörs av relativt mjuka karbonatbergarter. De största områdena med morän påträffas i de centrala, norra delarna av ön (fig. 12). I den högre liggande terrängen, i de kalkstensdominerade områdena saknas morän och ofta även andra jordarter.

Isälvsmaterial och friktionsjord

Den enda större isälvsavlagringen är Tingstädeåsen vid Tingstäde träsk. Avsaknaden av isälvsavlagringar är en konsekvens av den omfattande omlagring av jordarter som skett. De isälvsavlagringar som tidigare fanns har successivt bearbetats av vågor och omlagrats och påträffas nu som svallgrus och svallsand. Ett exempel på omlagring av en trolig isälvsavlagring är Sveriges största sanddynsområde, Avanäs, på östra

delen av Fårö. Ytterligare en konsekvens av det utsatta läget i Östersjön är att finkorniga sediment är sparsamt förekommande. Sedimentationsförhållandena har helt enkelt varit för oroliga för att några större avsättningar av lera och silt ska kunna bildats på Gotland.

Övriga jordarter

De torvmarker som finns på Gotland är ofta grunda och utdikade. På grund av de kalkrika förhållandena utgörs torven i torvmarkerna i huvudsak av agtorv, d.v.s. kärrtorv bildad av främst ag, vilket är ett vassliknande halvgräs. I anslutning till dikade, större torvmarker förekommer ofta områden med kalkrika sjösediment i form av bleke och kalkgyttja som även de torrlagts i samband med utdikning.

Gotlands hydrogeologiska förhållanden

På Gotland finns grundvatten i jordlagren (fig. 14a) och framförallt i berggrunden (fig. 14b). Sedan tidigare finns en hydrogeologisk karta med beskrivning, över Gotlands län (Karlqvist m.fl. 1982). SGU har under de senaste åren, bl.a. med hjälp av data från SkyTEM-undersökningarna successivt uppdaterat den regionala hydrogeologiska kunskapen om grundvattenförhållandena. En uppdaterad hydrogeologisk beskrivning som inkluderar både äldre data och resultat från SkyTEM-undersökningarna 2013 och 2015 beräknas färdigställas under 2018.

Grundvatten i berg

I berggrunden på Gotland finns grundvattnet i sprickor och porer. I huvudsak kan berggrunden klassificeras som en sprickakvifer. Det skapar i sin tur anisotropa hydrauliska egenskaper, vilket betyder att grundvattnet företrädesvis påträffas i sprickrika områden samt att det är svårt att förutsäga de hydrauliska förhållandena.

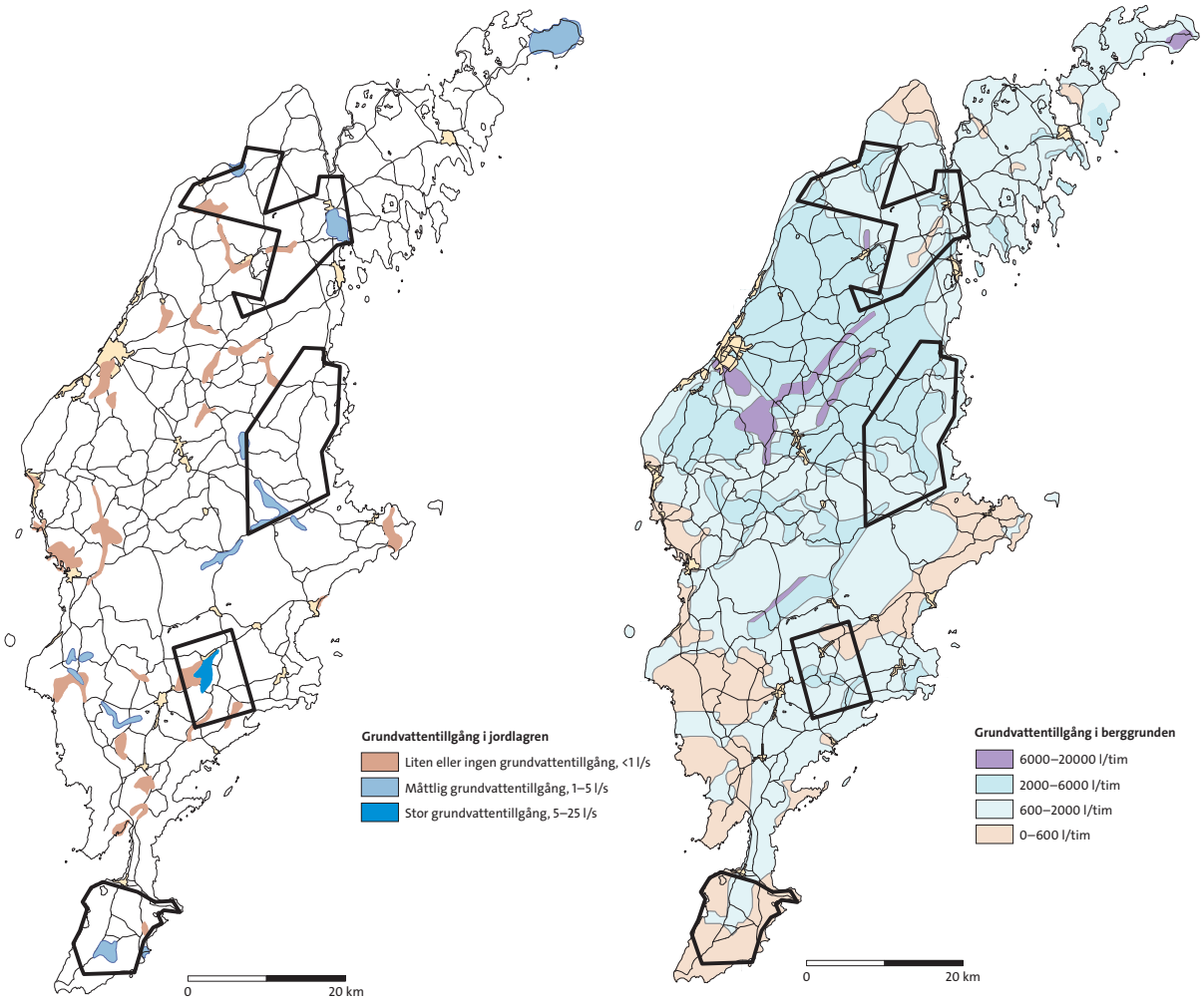
Men förutom variationer inom olika bergartsdomäner finns även barriärer och sprickor med större utbredning som ytterligare komplicerar bilden, genom att antingen agera som en hydraulisk barriär eller utgöra en betydande hydraulisk ledare (transportör av grundvatten). Förekomst av karst är ett sådant exempel. Karstsystem har stor betydelse för grundvattenflödet och magasineringsförmågan i de områden där det förekommer.

Som en följd av de varierande geologiska förhållanden kan förekommande grundvattenmagasin i berggrunden vara hydrauliskt avgränsade såväl horisontellt som vertikalt. Förutom att gränserna mellan magasinen är kopplade till berggrundens uppbyggnad, t.ex. en förekomst kan vara avgränsad av en tät märgelsten, kan gränsen även vara rent hydrauliskt betingad, d.v.s. grundvattennivåstyrd. Generellt är magasineringsförmågan i den gotländska berggrunden relativt dålig, vilket begränsar uttagsmöjligheten.

Grundvatten i jord

Eftersom merparten av Gotland har ett jorddjup under fem meter (se fig. 13) har uttagsmöjligheterna i jordlagren oftast en marginell betydelse. De få sand- och grusavlagringar som finns är små, och har mest en lokal betydelse för allmän och enskild vattenförsörjning.

Störst betydelse har grundvattenförekomsterna i jordlagren genom att tjäna som utjämningsmagasin för grundvattenbildningen till berggrunden. Jordtäcket kan genom sin relativt höga porositet lagra stora mängder nederbörd som över tiden tillförs grundvattenmagasinen i berggrunden.



Figur 14. **a)** Regional hydrogeologisk karta över grundvatten i jordlager (SGU 1982). **b)** Regional hydrogeologisk karta (grundvatten i berg) över Gotland (Arbetsmaterial). OBS, båda kartorna är under revidering och nya kartor kommer att presenteras under 2018. De svarta ramarna visar undersökningsområdena.

SGUs hydrogeologiska kartläggning

SGU utför regionala och lokala beskrivningar av grundvattenförekomsterna i Sverige. Ett led i detta arbete är att beskriva grundvattnets förekomst i jordlagren och berggrunden samt att identifiera och avgränsa grundvattenmagasin. Ett grundvattenmagasin är en, alternativt en del av, en geologisk formation som innehåller en grundvattenförekomst och som fungerar som en hydraulisk enhet. Magasinet avgränsas av hydrauliska gränser, som är mer eller mindre täta. Magasinens porositet utgörs av sprickor eller porer, vilka sinsemellan är sammanbundna så att vatten kan tillföras, lagras, röra sig i och lämna magasinet. Detta sker via en lågpunkt, t.ex. en källa, genom grundvattenuttag i brunnar eller genom läckage till angränsande magasin, eller vattendrag.

För att veta hur stora uttagbara mängder vatten som är möjliga krävs ytterligare kunskap om bl.a. geologin. För berggrunden behövs kunskap om förekommande sprickors storlek, frekvens, riktningar och kommunikation, om bergarternas uppbyggnad och porositet samt om eventuell förekomst och utbredning av karst. Denna kunskap, tillsammans med information om befintliga vattenuttag och provpumpningar samt beräkningar av grundvattenbildningen, ligger till grund för bedömning av grundvattentillgången och uttagsmöjligheten.

SGUs förhoppning är att resultaten från SkyTEM-mätningarna ska bidra till bedömningen av grundvattenmagasinens utbredning och grundvattnets förekomst på Gotland och den uppdatering av den hydrogeologiska kartan över Gotland som pågår (se preliminär karta fig. 14 a–b).

Grundvattnets kvalitet

Grundvattnets kvalitet undersöks i olika sammanhang och det finns ett flertal rapporter och sammanställningar med analysdata från Gotland. En viktig och återkommande studie (vart 5:e år) är kommunens undersökningar av vattenkvaliteten i ett antal enskilda brunnar (de så kallade 100-undersökningarna), som ger en inblick i den för tidpunkten rådande situationen Se resultat från 2015 års undersökning på deras webbplats.

Grundvattnets kvalitet styrs både av de geologiska förhållandena och av antropogen, mänsklig, påverkan. Vad gäller vattenkvaliteten på Gotland är den enskilt största orsaken till brunnsvatten med dålig kvalitet ett salt grundvatten. Förhöjda salthalter är främst naturligt betingade. Ibland är de orsakade av äldre, s.k. relikt saltvatten. Även människan påverkar kloridhalten genom vägsaltning, restutsläpp från avlopp och deponier. För vattenanvändning gäller ett nationellt riktvärde på 100 mg/l, på grund av ökad risk för korrosion. Vid kloridhalter över 300 mg/l börjar smakförändringar uppkomma.

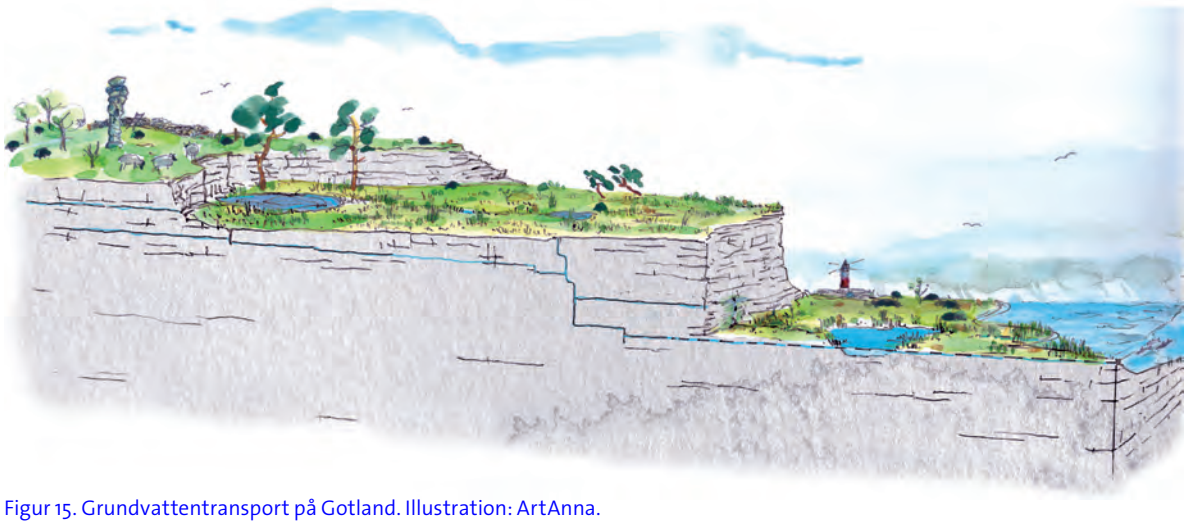
För stora delar av Gotland är risken för antropogen påverkan ansenlig, då tunt jordtäcke, genomsläppliga jordarter, områden med berg i dagen, sprickor och karst skapar sårbara förhållanden. Det ska dock tilläggas att det finns områden på Gotland med mäktigare jordtäcke som består av moränlera samt att berggrundens övre delar utgörs av tät märgel, t.ex Hemsemärgel. I dessa områden är sårbarheten avsevärt lägre. Den sårbara miljön inom främst områden med tunt jordtäcke och kalkstensdominerad berggrund har ofta lett till ett annat stort vattenkvalitetsproblem, nämligen bakterier. Höga halter koliforma bakterier förkommer i var tredje till fjärde brunn (Länsstyrelsen Gotland rapport 2009:10). Orsaken är främst påverkan från avlopp och gödselhantering.

Ett annat frekvent problem är svagt förhöjda nitrathalter, som påträffats i mer än var femte brunn. Halter som ligger över gränsen för hälsomässig anmärkning (50 mg/l) förekommer dock endast i tre procent av de undersökta brunnarna. Andra, i mindre utsträckning förekommande problem, är förhöjda borhalter samt fynd av bekämpningsmedel (Ek m.fl. 2007).

Grundvattenströmning i jordlager och berggrund

Grundvattnets transport på Gotland är till stor del styrd av de lokala geologiska förhållandena men också av topografin. Gotlands heterogent uppbyggda berggrund med lateralt och vertikalt varierande förmåga att leda vatten samt jordlagrens oregelbundna förekomst och uppbyggnad gör att grundvattenströmningen ofta varierar kraftigt över små avstånd (fig. 15). För att få en bild av grundvattenströmningen i ett område, behövs därför i många fall omfattande och kostsamma platsspecifika undersökningar. Därför görs oftast generella erfarenhetsmässiga bedömningar. Värdefull kunskap om grundvattenströmningen i den Gotländska berggrunden kommer från de undersökningar som utförts i anslutning till de större kalkbrotten på norra delen av ön. Undersökningarna kring kalkbrotten på norra Gotland visar att huvuddelen av grundvattenströmningen är lokaliserad till spricksystemen i de ytliga delarna av berggrunden. Grundvattnets strömning sker från högre belägna terrängavsnitt mot lägre; till sjöar, våtmarker och vattendrag. Bedömningar från utrednignsmaterial kopplat till kalkbrott visar att över 95 procent av den infiltrerade nettonederbörden omsätts 0–5 m under markytan.

På Gotland är det vanligt med ytavrinning, vilket betyder temporär avrinning på markytan kopplad till perioder med stor nederbörd i form av regn. Eftersom magasineringseffekten i berggrunden är begränsad och infiltrationshastigheten långsam medför detta att i berggrunden inte hinner ta emot vattnet, vilket i sin tur resulterar i ytvatten som snabbt dräneras ut till Östersjön utan att infiltrera i någon större omfattning.



Figur 15. Grundvattentransport på Gotland. Illustration: ArtAnna.

Grundvattenströmning sker också i djupare delar av berggrunden. På större djup är strömningen långsammare och av mindre storlek på grund av att generellt minskar andelen sprickor och förekomsten av karst med tilltagande djup. Karst (fig. 11) som påverkar hydrogeologin märkbart har bedömts endast påverka berggrund som ligger högre än ca 25 m ö.h. (Erlström m.fl. 2009). Detta medför att karstrelaterad grundvattenströmning är sannolikt begränsad till höjdområden över denna nivå. Inom kalkstensdominerade områden sker merparten av grundvattenströmningen utmed enskilda lagringsplan och långsträckta sprickor. Det får till följd att nivåförändringar kan ske i stor omfattning och extremt snabbt. De största grundvattenflödena har påvisats i anslutning till kraftigt uppsprucken berggrund, framför allt i i övergångar mellan kalksten och lagrad märgel och märgelsten.

Nyttjande av grundvatten

Förutom användningen av grundvatten till dricksvattenförsörjningen (ca 4 miljoner m^3/år, Region Gotland, muntlig kommunikation 2017) använder lantbruket yt- och grundvatten för bevattning och vatten till boskap. Expansion av jordbruksmark har även medfört utdikning av myrmark och avledning av vatten, vilket skapat förändrade hydrologiska förutsättningar, som i de flesta fall resulterat i minskad grundvattenbildning. Även kalkstens- och cementindustrin, som i dag bedrivs i ett antal stora och djupa stenbrott, påverkar i varierande omfattning de hydrogeologiska förhållandena kring stenbrotten.

RESULTAT OCH OMRÅDESSPECIFIKA TOLKNINGAR

Resultaten visar att SkyTEM-metoden lämpar sig särskilt väl för karaktärisering av de gotländska jordlagren och berggrunden. Sand- och grusavlagringar utan väsentligt inslag av lera och silt går att skilja från morän och jordbruksmark (tabell 3). Sprickfattig kalksten och speciellt revartad kalksten, kan med sin generellt höga resistivitet (200–1 000 Ohmm) urskiljas från märgel och märgelsten med betydligt lägre resistivitet (50–200 Ohmm). En bergrundsvolym innehållande grundvatten som är klart saltpåverkat har i sin tur ännu lägre resistivitet (under 40 Ohmm) vilket innebär att djupnivån för det salta grundvattnet i de flesta fall kan identifieras i mätdata (se även tabell 3). Mätdata innehåller framförallt detaljerad information ner till ca 250 m djup men det finns även data som indikerar djupare liggande nivåer i berggrunden, bl.a. den ordoviciska kalkstenssekvensen på ca 200–400 m djup.

Varje områdesbeskrivning inleds med en jämförelse mellan medelresistiviteten från inversionsresultaten från markytan ner till ca 10 m djup och områdets geologi. En medelresistivitet för detta ytnära djupintervall innebär att resultaten innehåller bidrag från både berggrund och jordlager. Om övertäckningen är närmare 10 m mäktig kommer också medelresistiviteten att vara en god representant för resistiviteten i övertäckningen. Med tunn eller obefintlig övertäckning representerar däremot medelresistiviteten huvudsakligen berggrund. I höjdlägen kan det vara en berggrund som har grundvattenytan långt nere, i låglägen ligger kanske grundvattenytan nära markytan. Eftersom grundvattnet också påverkar resistiviteten så innebär det att den redovisade medelresistivitets koppling till geologin kan vara ganska komplicerad. Vidare är kartan över medelresistiviteten resultatet av en interpolation där områden med databortfall till följd av störningar inte finns markerade.

Resultaten från mätningarna och kompletterande undersökningar presenteras områdesvis. I redovisningen av tolkningen ingår ett antal gemensamma kartor för alla områden, samt de mest områdesspecifika tolkningarna för respektive område. Det finns med andra ord möjlighet att göra betydligt mer med data, bland annat när det gäller presentationsformer, än vad som visas i denna rapport. Ett exempel är kartläggningen av karst. Den kräver en än mer detaljerad analys av inversionsresultaten än vad som nu genomförts, dessutom behöver analysen föregås av en viss utveckling av analysmetoden. Utvecklingen genomförs lämpligen genom att studera data mer i detalj inom kända karstområden.

SkyTEM-resultaten redovisas som djupsektioner längs utvalda profiler, och som ytkartor med resistiviteten på specifika djup. Observera att färgskalan som används i rapporten varierar beroende på den variation i resistivitet som uppmätts, och för att på bästa sätt åskådliggöra den lagring som finns.

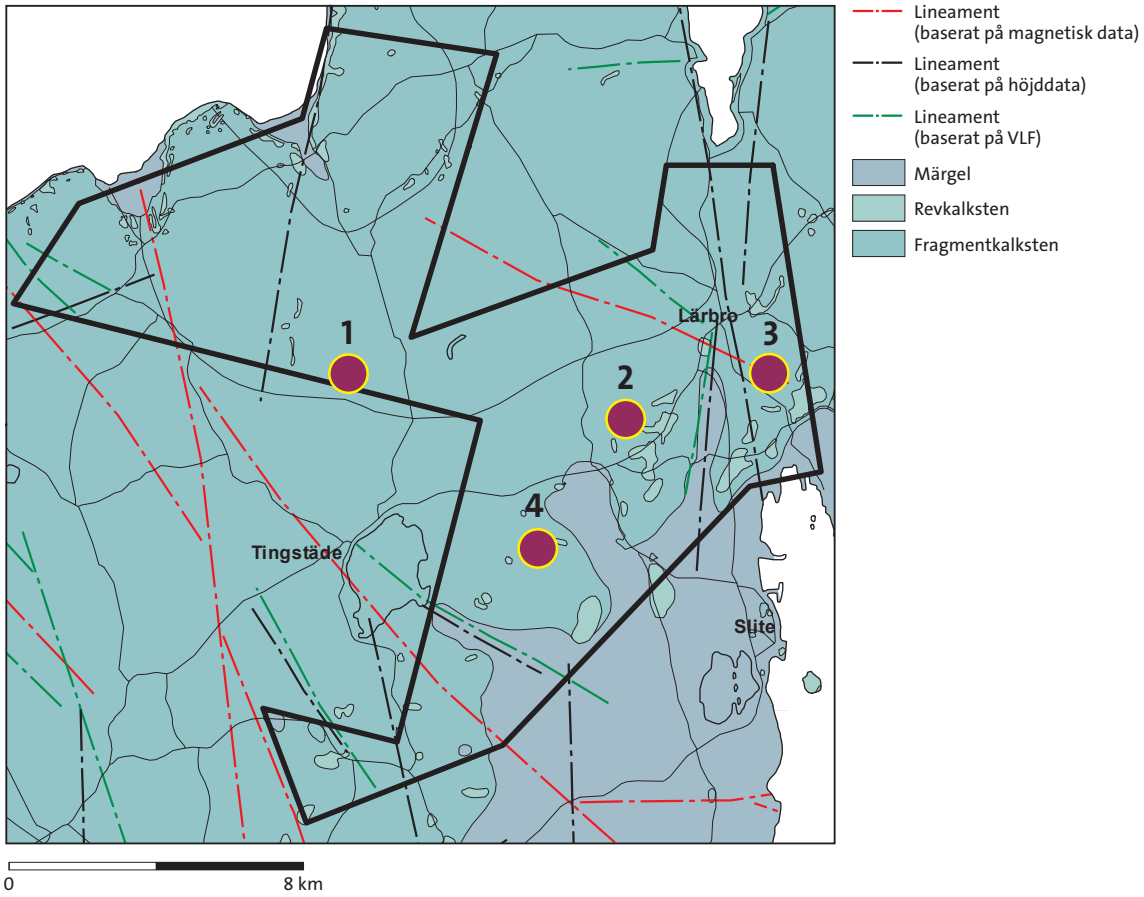
För att ge en översiktlig bild har vi inledningsvis skrivit en kort sammanfattande text om egenskaper som har att göra med den geologiska och hydrogeologiska bilden för respektive område.

Område 1: Stenkyrka–Lärbo–Hejnum

Område 1 är ett variationsrikt område, från kust med markanta klintar och Gotlands största naturreservat Hall Hangvar i väst, via jordbruksmark, myrar och skogsmark om vartannat i de centrala delarna till kalkstensbrott och Natura 2000-områden vid Filehajdar i öst. Jordbruksmarken är oftast belägen på tidigare myrområden och moränmarker medan hällmark och inslag av sandavlagringar oftast är beskogade. Längst i öst, vid Lärbro, finns en erosionsdal mellan Kapellshamnsviken i norr och Vägumeviken i söder.

Det oregelbundna undersökningsområdet ansluter i sydväst och väster till det tidigare redovisade undersökningsområdet Lummelunda (Dahlqvist m.fl. 2015, fig. 16). Områdets ytliga berggrund består av successivt yngre bergarter i sydostlig riktning. Stratigrafiskt motsvarar den berggrundsavsnitt från övre llandovery till undre wenlock. I de nordvästra delarna vid Ireviken och Lickershamn påträffas lager tillhörande den övre Visbyformationen. Dessa lager domineras av märgelsten och är endast blottade i kustskärningar (fig. 17) och kända från borrningar. Den blottade delen av Visbyformationen består av tunna lager med blågrå, mjuk märgel växellagrande med knöliga och undulerande tunna lager av ljusgrå märgelsten och kalcilutit. Den blottade delen av Visbylagren är som mest ca 12 m mäktig och utgör den övre delen av en drygt 150 m mäktig enhet som mestadels består av märgelsten överlagrande ordovicisk kalksten. I OPABs djupborrningar Suderbys-2, Hangvar-1 och Austers-1 i den nordvästra delen av område 1 påträffas den ordoviciska kalkstenen på 159, 182 respektive 168 m djup under markytan. I Filehajdarborrningen i den sydöstra delen av undersökningsområdet påträffas motsvarande lager på ca 250 m djup (fig. 20).

Den övre Visbyformationen överlagras av Högklintsformationens revartade kalkstenslager som utgör den ytliga berggrunden för stora delar av undersökningsområdets nordvästra delar (fig. 17). Formationen är uppemot 35 m mäktig och är väl exponerad i kustskärningarna vid t.ex. Lickershamn och Ireviken. Merparten av Högklintformationen består av stromatoporoidékalksten som ofta bildar oregelbundet lagrade och formade revkomplex. Merparten av dessa påträffas i den undre delen av for-



Figur 16. Berggrundskarta över område 1 (svart ram). Punkterna 1–4 motsvarar borrhål 1–4.

Figur 17. Kustskärning vid Lickershamn (6415057, 708153). I den under delen av skärningen syns Visbyformationens tydligt växellagrade sekvens med märgelsten och lerig kalksten. Överst i klinten framträder Högklintformationens revartade och oregelbundet lagrade kalkstenssekvens. Foto Mikael. Erlström.

mationen. Formationen karaktäriseras även av vertikala och horisontella frekventa växlingar mellan lagrad krinoidé och stromatoporoidékalksten och oregelbundna revkomplex. Generellt dominerar mer uthålliga och planparallella kalkstenslager i den övre delen av formationen. Märgelstenslager förekommer även inom formationen, men i underordnad omfattning.

I sydostlig riktning överlagras Högklintformationen av den uppemot 15 m mäktiga Toftaformationen. Gränsen mellan Högklint- och Toftalagren utgörs av en erosionsyta (diskontinuitetsyta). På ytan förekommer ofta ett par centimeter mäktigt konglomerat som består av omlagrade och rundade fossilfragment i ett blågrått märgligt matrix. Toftalagren karaktäriseras i förhållande till Högklintlagren av relativt tjockbankade algkalkstenar och grovkristallina fragment- och krinoidékalkstenar. I enheten förekommer även revkomplex, speciellt inom formationens nordöstliga utbredningsområde, t.ex. på Fårö.

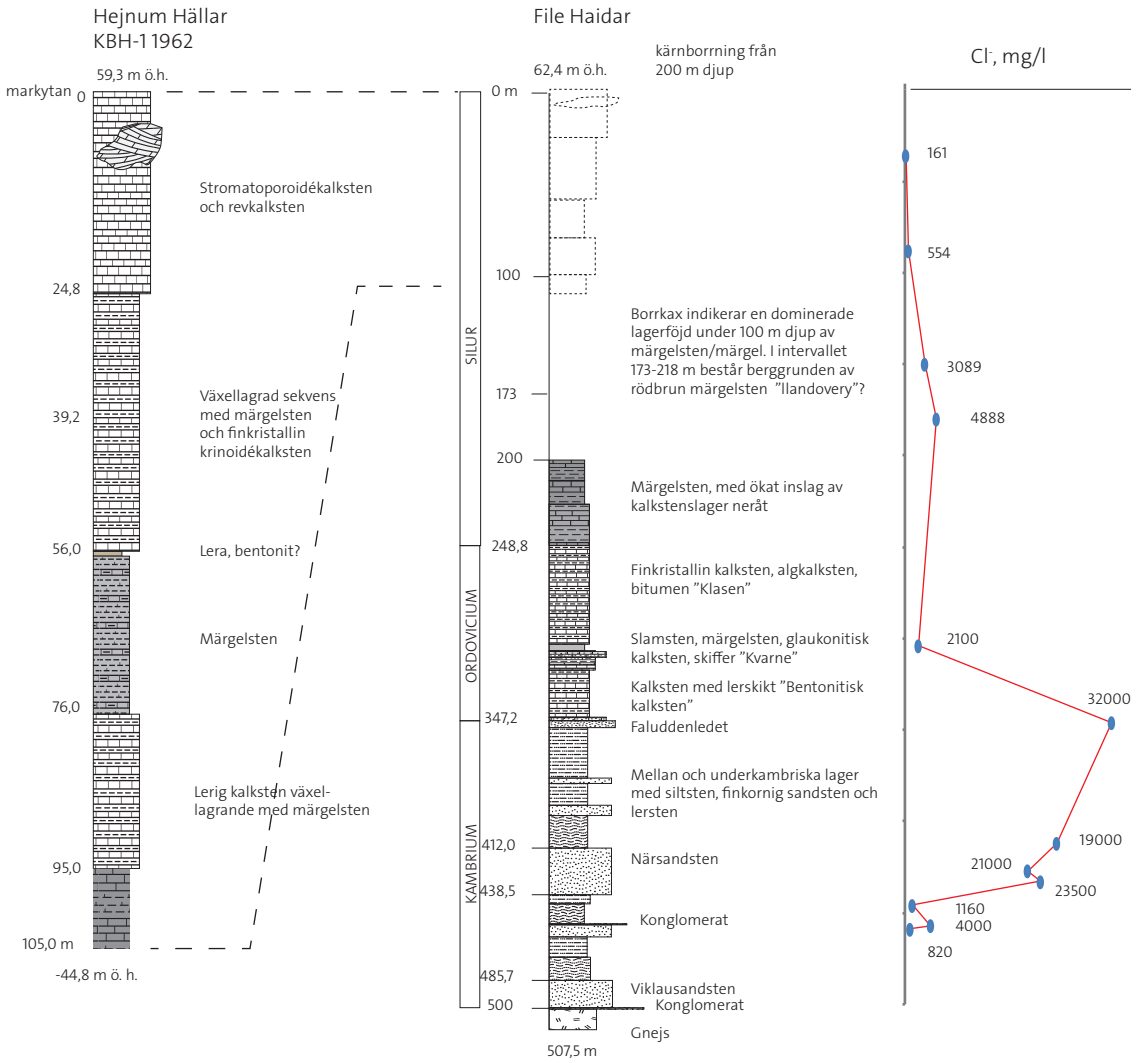
Över Toftaformationen ligger en relativt nyligen definierad, uppemot ca 10 m mäktig, stratigrafisk enhet som benämns Hangvarformationen (Jeppsson 2008). Den avgränsas uppåt och neråt av tydliga diskontinuitetsytor. Biostratigrafiskt indikeras att dessa representerar längre perioder utan avsättning av sediment. I Hangvarformationen påträffas förutom märgelsten och krinoidékalksten också den tredje revgenerationen i wenlock. Hangvarformationen påträffas inom undersökningsområdet som ytberggrund inom en ca 1 km bred oregelbunden zon mellan Austers och Tystebols.

Sydöst om zonen med Hangvarformationen utgör Slitegruppens bergarter den ytliga berggrunden inom undersökningsområdet. Gruppen som är uppemot 100 m mäktig har varierande uppbyggnad. Slitelagren består i nordväst av olika typer av lagrade kalkstenar. Ett tydligt inslag av revkroppar påträffas i nordöst. Kalkstenslagren övergår gradvis i märgel och märgelstensdominerad berggrund mot söder och sydväst. Vertikala och laterala variationer av berggrundens uppbyggnad i anslutning till revkropparna är vanligt förekommande. Lokal förekomst av märgel, grova fragmentkalkstenar såväl som välsorterade krinoidékalkstenar i anslutning till oregelbundet lagrade stromatoporoidérika rev är typiskt för Slitegruppens kalkstensområden. Detta återspeglas i terrängens ytformer där förekomst av oregelbundna revkroppar resulterar i en småkuperad terrängtyp.

I undersökningsområdets sydöstligaste del har Cementa AB sin bergtäkt Filehajdar där man bryter kalksten tillhörande Slitegruppens yngre delar. I en kärnborrning vid Hejnum Hällar, ca 3 km sydost om Filehajdartäkten, består lagerföljden av 25 m stromatoporoidékalksten med rev överlagrande lagrad krinoidékalksten och märgelsten som på ca 56 m djup övergår i märgel och märgelsten. Lagerföljden domineras därunder av märgelsten med inslag av oregelbundna finkristallina leriga kalkstenslager, förutom ett parti mellan 76 och 95 m djup där inslaget av lerig kalksten är något högre (fig. 18). I Filehajdarborrningen indikeras från borrkaxundersökningar att märgelsten dominerar ner till toppen av den ordoviciska kalkstenen på 248,8 m djup (fig. 18, Thorslund & Westergård 1938).

Sammanfattningsvis domineras den ytliga berggrunden av olika typer av lagrad kalksten inom merparten av undersökningsområdets centrala och nordvästra delar, medan märgelsten förekommer framförallt i den sydöstra delen. Generellt domineras berggrunden på djupet av märgel och märgelsten. I den nordvästra delen är den övre kalkstensdominerade delen av berggrunden, representerad av Högklint-, Tofta- och Hangvarlager, i storleksordningen 20–70 m mäktig. Variationerna beror till största delen på var revkropparna förekommer. I sydost består den kalkstensdominerade övre 20–50 m mäktiga delen av berggrunden till merparten Slitelager, överlagrande märgelsten och enstaka avsnitt med lerigare kalksten. Dessa är sannolikt likåldriga med lerigare karbonatbergarter som åldersmässigt hör ihop med de äldre kalkstensformationerna i nordväst (fig. 7).

Moränlera är den dominerande jordarten inom undersökningsområdet. I höjdområdena är jordtäcket tunt eller saknas helt (fig. 19). Vid Hejnum finns några väl utbildade drumliner i moränen. I den södra delen av Lärbrodalen finns några mindre isälvsavlagringar (fig. 19). I Lärbrodalen finns det även större områden med glacial varvig silt och lera, som till viss del är täckta av yngre svallsediment (fig. 19). Varvig lera finns även under Elinghemsmyr en av de största torvmarkerna på Gotland och som ligger i nordvästra delen av undersökningsområdet. Förutom i Lärbrodalen finns större områden med svall-

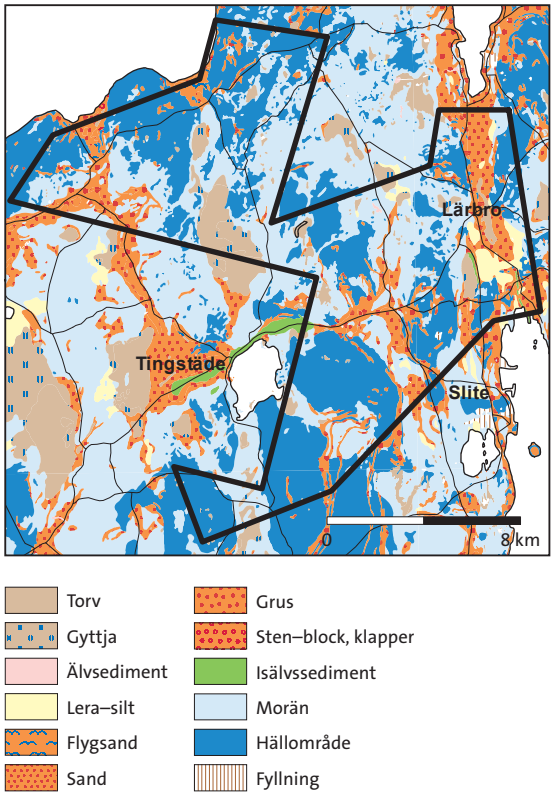


Figur 18. Sammanställning av berggrundens uppbyggnad på djupet baserat på kärnborrningarna Hejnum Hällar (6400738, 718230) och Filehajdar (6403354, 718962). Observera att kärnborrningen börjar först på 200 m djup i Filehajdarborrningen. Underlaget till figuren är hämtat från Thorslund & Westergård (1938) och SGUs borrkärnearkiv.

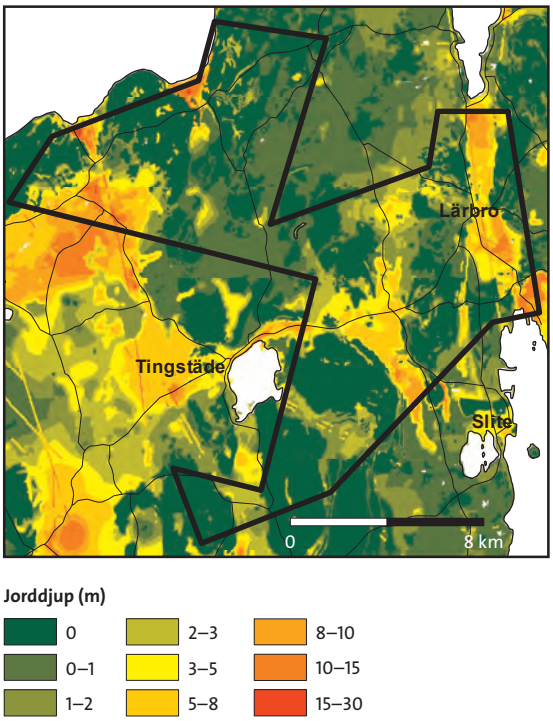
sediment vid Stenkyrka och upp mot Lickershamn, vid Irevik samt väster om Othem mot Tingstäde (fig. 19). Förutom Elinghemsmyr finns en del mindre torvmarker men torvdjupet är litet och i dessa dominerar istället kalkgyttja och bleke. I höjdområdena Hejnum hällar och Filehajdar med kalt berg finns ett antal erosionsrännor åt öster. Dessa har tidigare tolkats som glaciala erosionsrännor men kan mycket väl vara landformer från havsbottnen under avsättningen av kalkstenen under Silur. Förutom Lärbrodalen så ligger området i huvudsak ovanför Litorinahavets gräns. Tydliga strandvallar från Ancylussjön finns främst sydväst om Lickershamn och på östra sidan av Hejnum Hällar. Jorddjupet inom undersökningsområdet är oftast mindre än en meter men vid Irevik, Lickershamn, Lärbrodalen, öster om Filehajdar och vid Stenkyrka finns det jordlager med 5–20 m mäktighet (fig. 20).

Jämförelse mellan medelresistiviteten och geologi

Resistivitetsfördelningen i den övre delen av marken (0–10 m, fig. 21) har klassificerats och primärt delats upp i tre intervall, innehållande olika geologi (jämför fig. 16, 19 och 20):



Figur 19. Jordartskarta över område 1. Undersökningsområdet markeras med den svarta ramen.



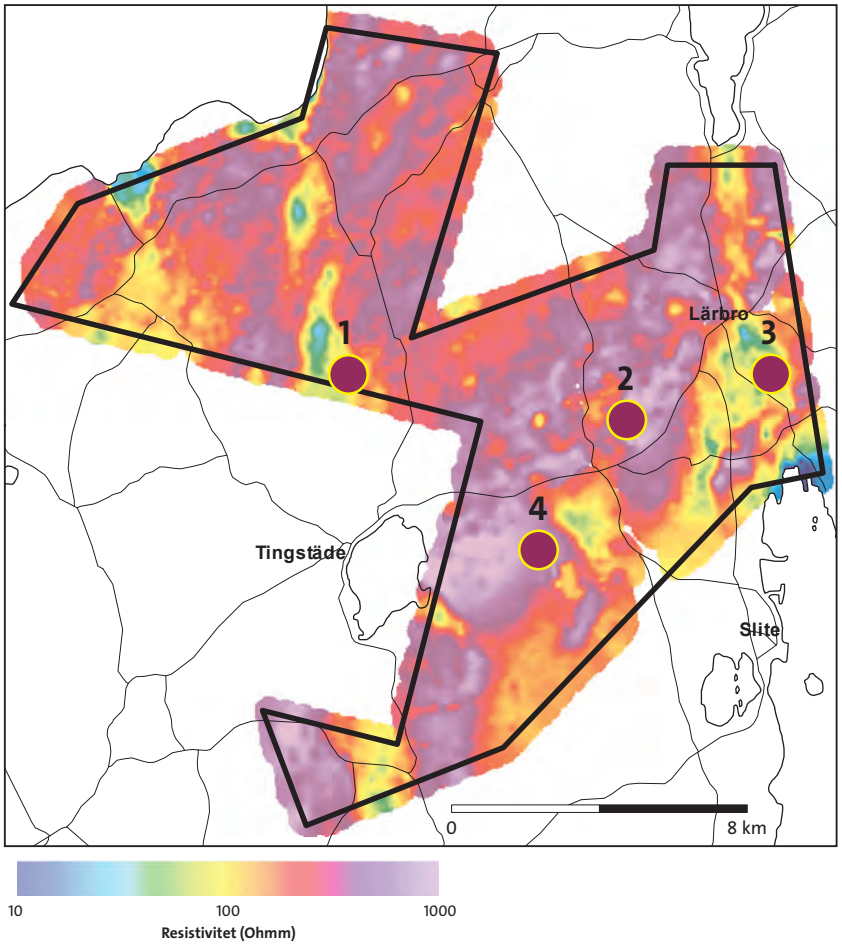
Figur 20. Jorddjupskarta över område 1. Undersökningsområdet markeras med den svarta ramen.

- Områden med höga till mycket höga resistivitetsnivåer (över 400 Ohmm) som representerar berg i dagen (kalksten) och tunna jordtäcken.
- Områden med låg till medelhög resistivitet (100–200 Ohmm) som i huvudsak finns i södra delen av området. Området får sin resistivitetsignal från märgelsten som dominerar här.
- Områden med låg till medelhög resistivitet (40–100 Ohmm) som består av områden med torv, kalkgyttja, sjöar, större jorddjup (över 5 m i medel enligt brunnsarkivet) och där ytberggrunden utgörs av märgel- och siltsten.

I den nordvästra delen av området kan två tydliga lågresistiva zoner med nord–sydliga riktningar observeras på resistivitetskartan (fig. 21). Den östra zonen (Mullinträsk–Elingsfors–Ire) har en riktning motsvarande Ireån. En måttlig ökning i jordlagrens tjocklek i samma riktning kan också observeras i jorddjupskartan (fig. 19). Förekomsten av bleke, kalkgyttja, kärrtorv (fig. 19) samt sjön Millumträsk (i den södra delen) har en betydande påverkan på resistiviten i zonen på grund av den höga vattenhalten.

Den lågresistiva zonen i västra delen (Stenkyrka Garde) har en något högre resistivitet än den östra zonen trots att jordlagrens tjocklek här är betydligt större. Jordarterna väster om Stenkyrka består huvudsakligen av sand och grus (fig. 19). En lågresistiv zon i den södra delen av området (väster om Othem och sydväst om Stenstuga) uppträder också på kartan. I detta fall är det troligen den leriga moränen (fig. 19) med en betydande mäktighet (fig. 20) som orsakar den lågresistiva zonen.

I figur 22 presenteras berggrundskartan samt de genomsnittliga resistivitetskartorna för olika djupintervall, för jämförelse. Resistivitetskartan i 30–20 m ö.h. intervallet (figur 22b) visar att de områden



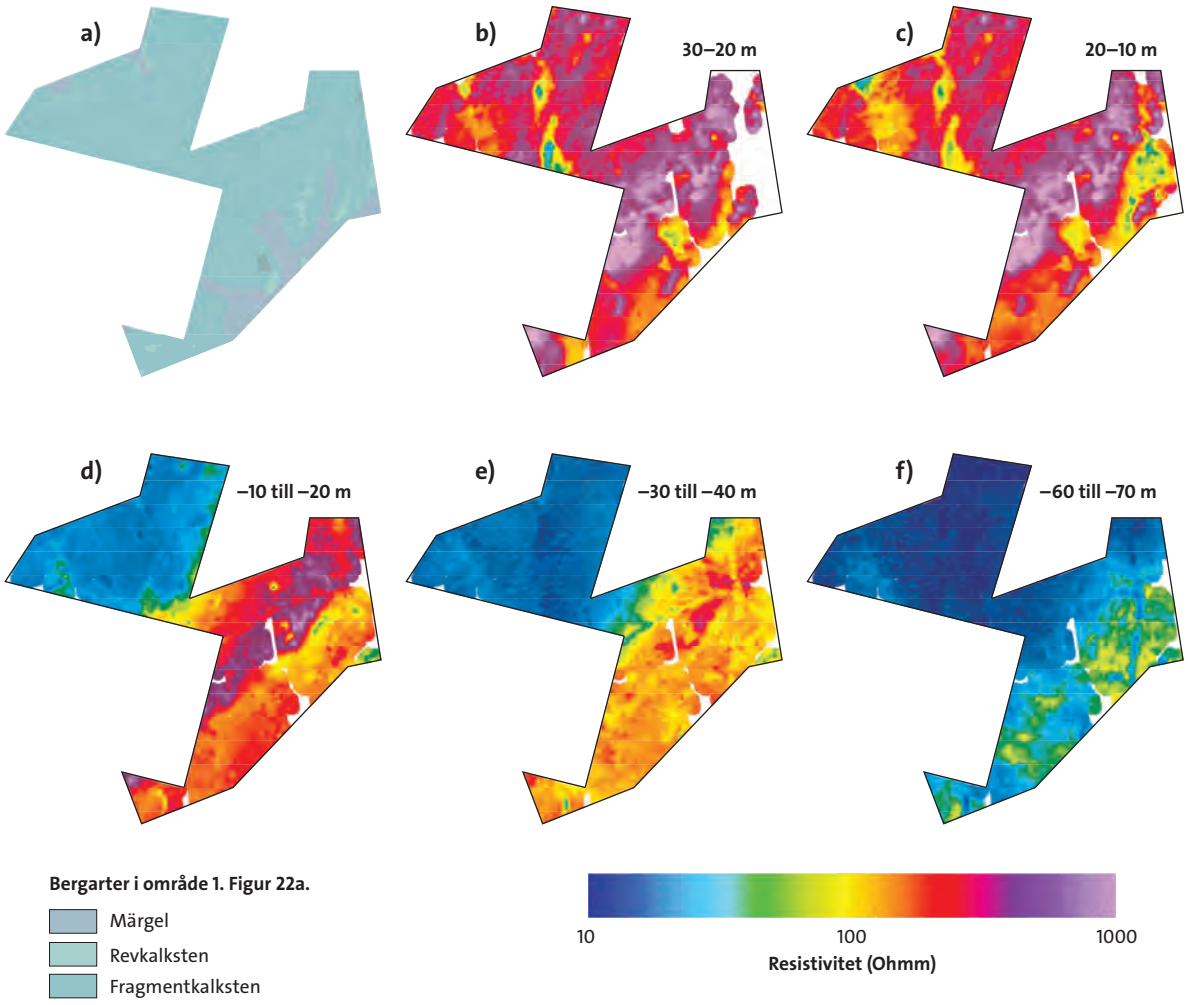
Figur 21. Medelresistiviteten för de översta 10 m inom område 1 (inom den svarta ramen). De lågresistiva områdena sammanfaller huvudsakligen med tjockare jordlager och sediment med lägre resistivitet, som lera och lerig morän. De högresistiva områdena på kartan korrelerar med berghällar (kalksten och till viss del märgel).

som domineras av kalksten har högre resistiviteter än områden med märgel. Även i dessa områden påvisar resistivitetskartan (30–20 m ö.h.) variationer inom kalkstenen som orsakas av växlingen mellan revkalksten (högre resistivitet) och stromatoporoidékalksten (lägre resistivitet). Mot djupet sjunker resistiviteten kraftigt i de norra delarna av undersökningsområdet (fig. 22 d–f). Minskningen i resistivitet, ner till 20 m under havsytan, beror främst på en förändring i stratigrafin, det vill säga att märgeln ligger under den mer resistiva kalkstenen. Detta stämmer med den geologiska modellen från tidigare studier (Erlström m.fl. 2009), dvs. att bergarterna stupar mot sydost vilket innebär att den resistiva kalkstenen blir tjockare i den riktningen. Den sydöstra delen av områdets geologi är mer komplicerad. De låga till mycket låga resistiviteterna vid större djup (fig. 22e) indikerar berggrund mättad med salt grundvatten som sänker resistiviteten till ca 40 Ohmm. Figur 22f visar att vid 60 m under havsytan är berggrunden i hela området påverkad av salt grundvatten.

Geologisk 3D modell

Vi har valt två profiler (se fig. 23) i de centrala delarna av undersökningsområdet för att visa ett exempel på 3D modellen (fig. 24 & 25). Resistivitetsmodeller från undersökningar utförda 2013 (Dahlqvist m.fl. 2015) har inkluderats i sammanställningen av modellen. Det bör noteras att resistivitetsmodellerna från de två undersökningarna genererades oberoende av varandra och visar en mycket god korrelation.

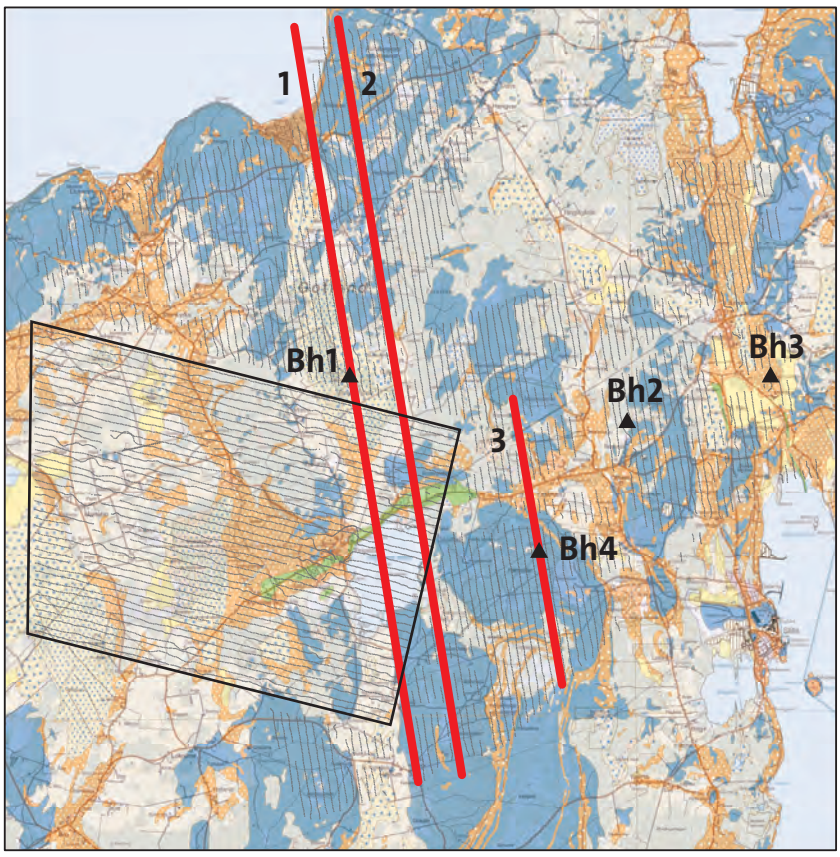
Profil 1 (fig. 23) är drygt 19 km lång med en nordnordväst–sydsydostlig riktning. Det finns flertal brunnar nära profilen och de två närmaste (ca 100 m i varje sida av profilen) visas på modellerna. Modellen visar flera lager med olika resistivitet och tjocklek. Längs de första 16,5 km av profilen är modellen enklare jämfört med dess slut som blir mer komplext. Ett tunt lager med varierande jordarter



Figur 22 En jämförelse mellan berggrundskartan och variation av resistivitet i olika djupintervall i område 1.

(se fig. 24) förekommer längs större delen av profilen. Jordlagren är mäktigast i centrala delen. Under jordlagren finns berggrund med högre resistivitet, vilkenbedöms bestå av den hårda revkalkstenen som har rapporterats i geologiska observationer på hällar och i borrprotokoll. Den ytnära berggrunden har en varierande resistivitet längs profilen som dels beror på litologiska variationer, och dels på närvaro av sprickor. Sprickorna är förmodligen mättade med grundvatten, dock kan vissa innehålla lera. Det högresistiva lagret blir mäktigare i den sydvästra delen av profilen (fig. 24). Ett lager med betydligt lägre resistivitet (under 150 Ohmm) med svag sydostlig stupning underlagrar den tätare kalkstenen. Detta lågresistiva lager når markytan i de norra delarna av profilen och här kan man se att det är märgel tillhörande Visbyformationen.

De flesta observationerna i brunnar och borrhål indikerar att grundvattentillgången ökar markant i anslutning till kontakten mellan kalkstenen och märgeln. Detta innebär att märgeln och kontaktytan mellan märgel och kalksten, eller båda, har en bättre hydraulisk konduktivitet. I tabell 4 sammanfattas protokollen från de två äldre borrhålen som ligger närmast till den utvalda profilen (fig. 23). I kolumnen längst till höger i tabell 4 redovisas variation av resistiviteten i den närmaste SkyTEM-profilen. Tabellen visar en rimlig överensstämmelse mellan variationerna i resistivitetsmodeller och borrhålsobservationer. Till exempel finns det i SkyTEM modellerna ett lager med resistivitet > 250 Ohmm där lägerföljden i borrhålprotokollet visar hård kalksten. Däremot visar märgeln en betydlig lägre resistivitet (< 150 Ohmm).



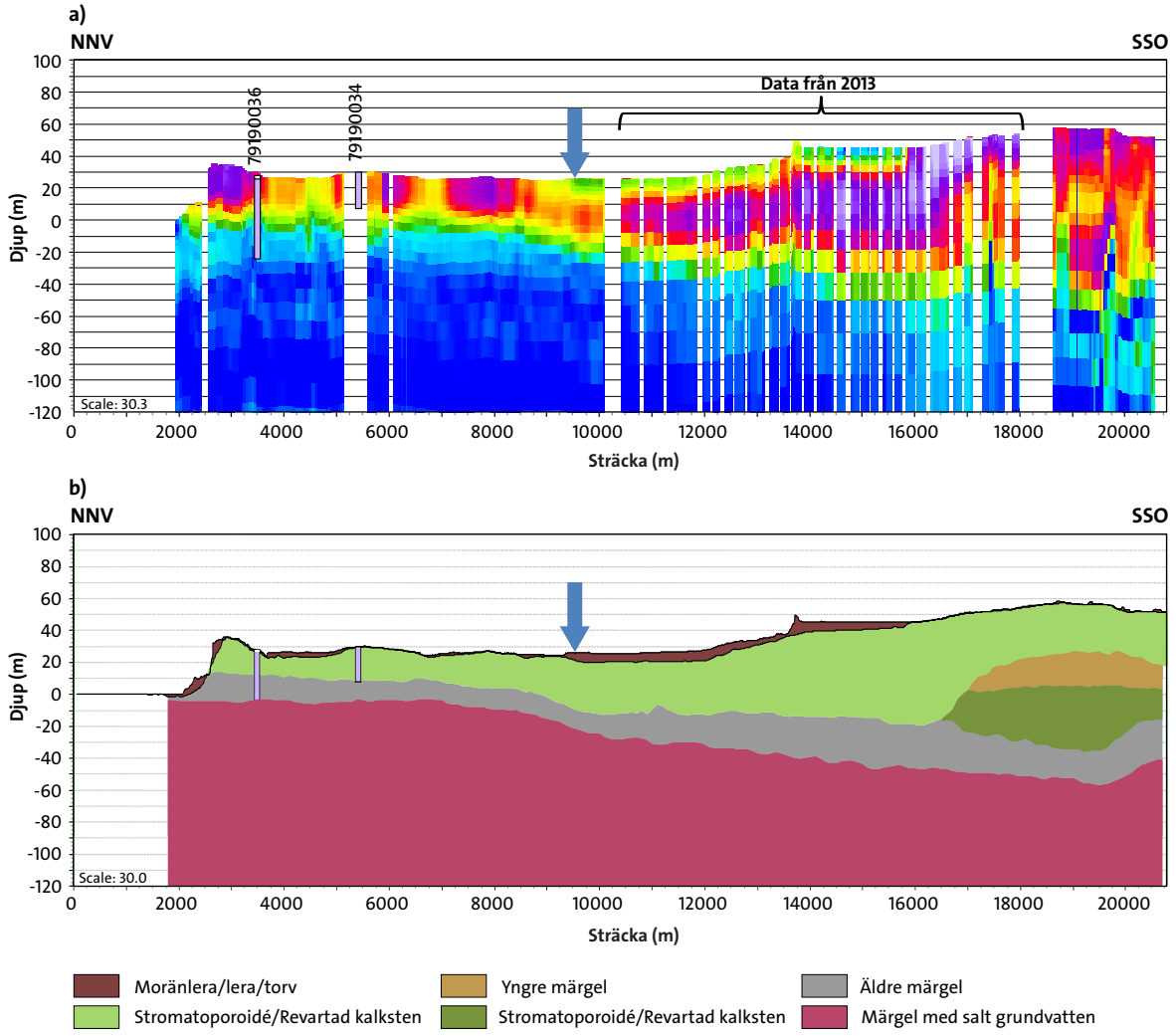
Figur 23. Läget av de utvalda profilerna (1–3) för demonstration av tredimensionell geologisk modellering. Baserat på resultaten från SkyTEM undersökningen valdes fyra undersökningsborrhål som visas med svarta symboler. Den svarta fyrkanten markerar ett av de områden som undersöktes 2013–2015 (Dahlqvist m.fl 2015). De tunna svarta streckade linjerna visar flyglinjerna för båda undersökningarna. I bakgrunden visas jordartskartan (se fig. 19) samt översiktskartan i transparent form.

Genom att jämföra de geologiska observationerna och informationen från närliggande borrhål med resistivitetsmodellen föreslog vi en ny plats för borrning i Tingstädeområdet (fig. 23, fig. 24 a, b). I resistivitetsmodellen observerade vi en vertikal förskjutning i kalkstenen, en minskning av dess resistivitet och även en ökning av dess tjocklek. Alla dessa resultat inderar förekomst av en sprickzon i denna del av profilen. Enligt borrhålsprotokollet påträffades en stor spricka 24 m djup och den uppmätta vattenmängden är 30 000 liter per timme vilket är mycket högt. Det är viktigt att nämna att resistivitetsmodellen visar förändringar i lagerföljden de sista 3,5 km av södra änden av profilen. Den geologiska modell som visas i figuren är en ganska förenklad bild av geologin. Den översta kalkstenen har väldigt varierande egenskaper och består av äldre (i södra delen) och yngre (i norra delen) enheter. Den yngre och grundare märgeln i södra delen har betydligt högre resistivitet än den äldre och djupare märgeln.

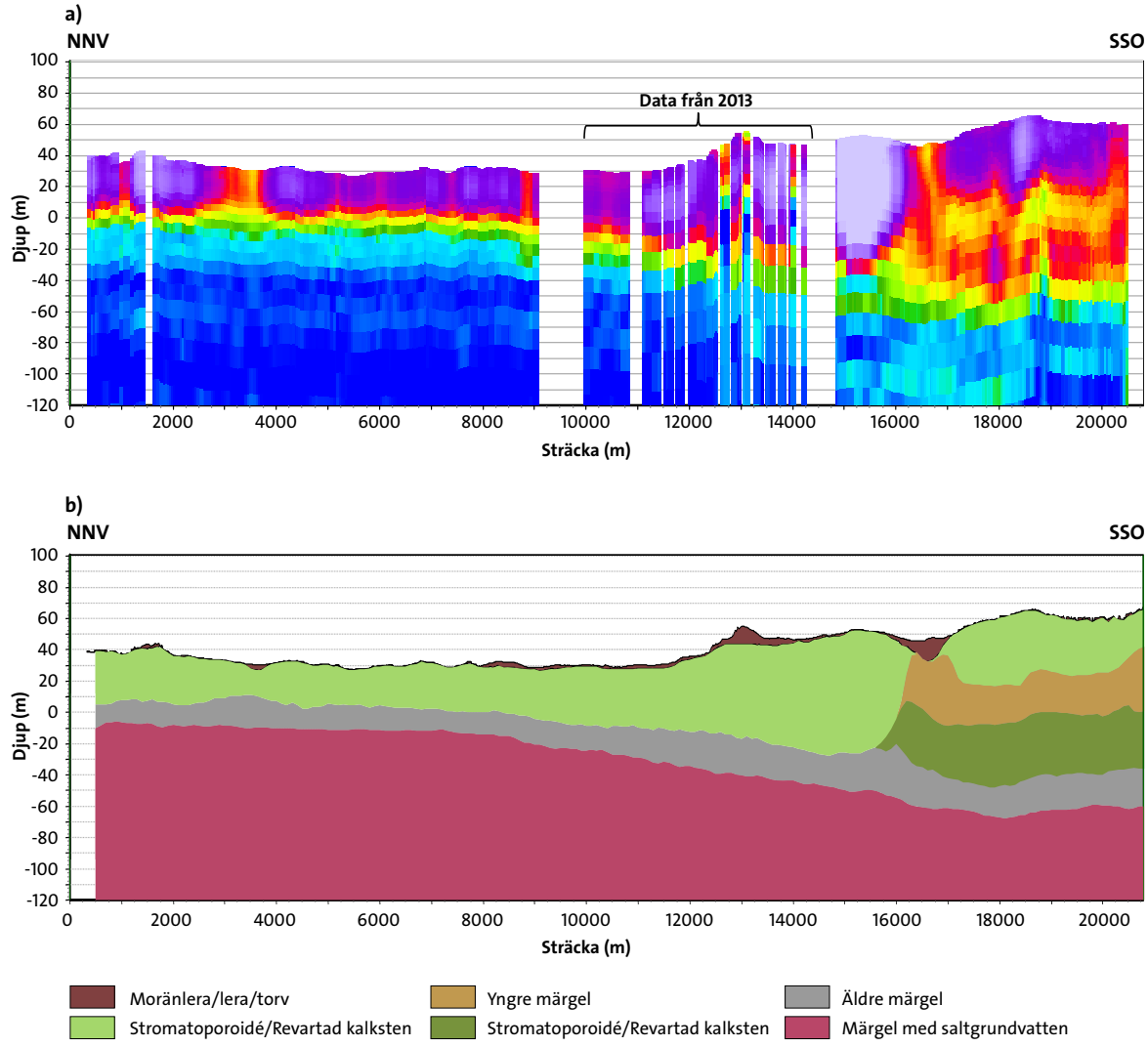
Modelleringsresultat för profil 2 (fig. 23) visas i figur 25. Kalkstenen i denna modell verkar ha högre resistivitet än kalkstenen i profil 1, vilket innebär att den kan vara mer kompakt och därmed mindre permeabel. Tyvärr finns det inga brunnar eller borrhål nära profil 2 för att verifiera dessa parametrar. Likt profil 1, visar den södra delen av profilen att resistivitetsmodellen har en diskontinuitet i den resistiva kalksten. Det kan vara relaterat till närvaron av mäktigare jordlager (lerig morän eller moränlera) eller vara ett tecken på en sprickzon. Under jordlagen ser modellen komplicerad ut och den tolkade geologiska modellen bygger på bedömningar som gjorts med hjälp av de strukturer som ses i den sydligaste delen av profilen. Detta innebär att det lågresistiva skiktet under kalkstenen mellan 17 000–21 000 m i profilen tolkas som den andra typen av märgel (jämför fig. 24) vilken underlagrar jordlagren. Detta område skulle kunna vara en potentiell akvifer.

Tabell 4. Data från borrhålsprotokoll från de tre närliggande borrhålen till profil 1. Läget för profilerna visas i Figur 23 & 24. *gvy: Djup till grundvattenytan.

Brunns-/ borrhåls-id	Lagerföljd enligt borrprotokollet	gvy* (m)	Vattenmängd (l/tim)	Resistivitet (Ohmm)
905140737	0,0–0,2 grus 0,2–11,0 kalksten (hård) 11,0–30,0 märgel	7	280	 > 250 (0,0–15,0 m) < 150 (15,0–?)
904090974	0,0–0,6 grus 0,6–14,0 kalksten (mycket hård) 14,0–30,0 märgel	5	1200	 > 250 (0.0–16,0 m) < 150 (16,0– ?)
BH1 (Tingstäde)	0,0–3,0 jord 3,0–6,0 lera 6,0–7,0 grus, jord, sand 7,0–35 kalksten (stor sprick i 24 m)	6	30 000	< 80 (0.0–9,0 m) 150–200 (9,0–40 m)



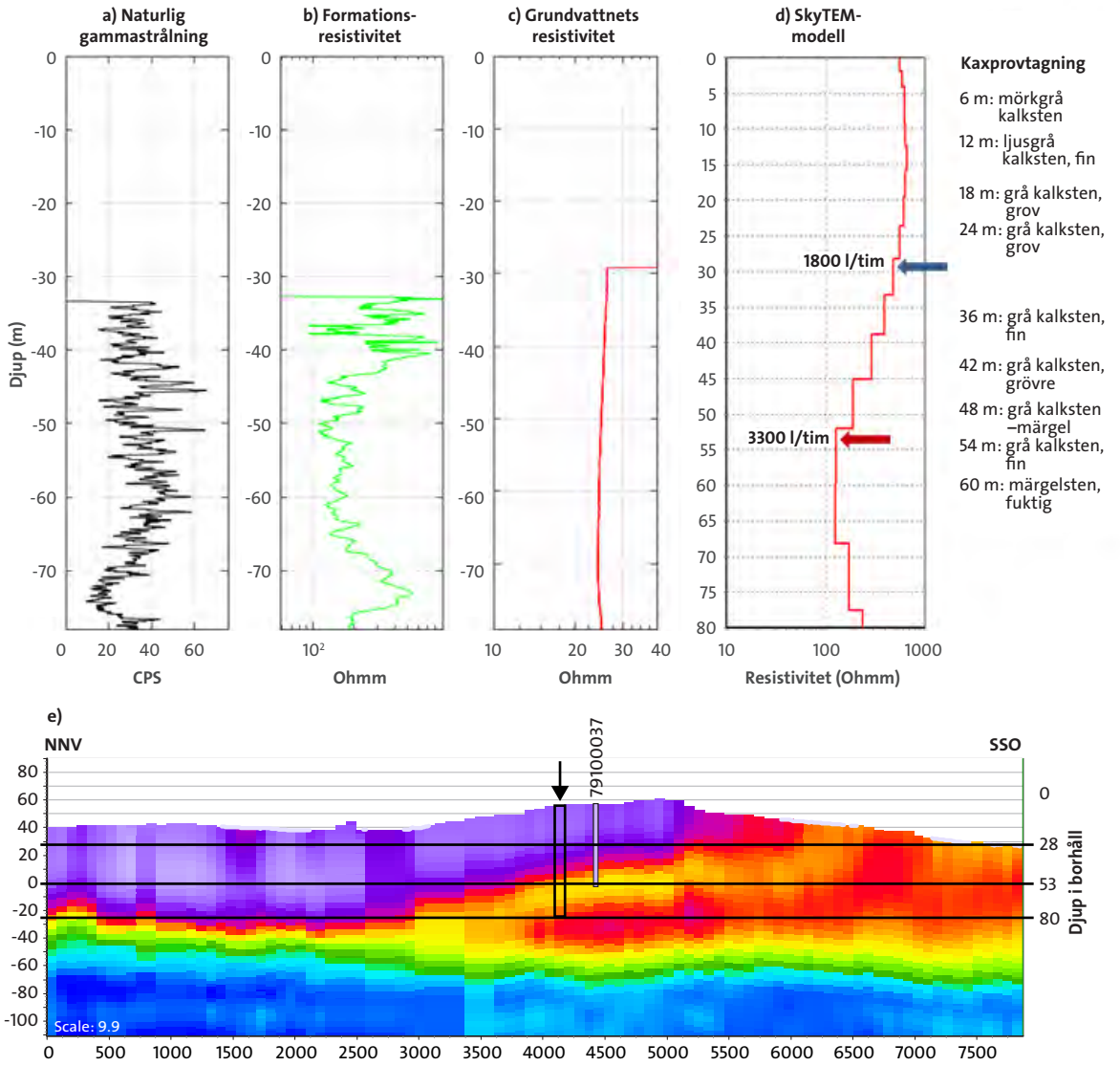
Figur 24. Resistivitetsmodellen (a) och den tolkade geologiska modellen (b) längs profil 1. Resistivitetsmodellerna från SkyTEM-undersökningen 2013 är inlagda längs profilen. Två äldre brunnar (se tabell 4 för borrhålsinformation) från 1970-talet i närheten av profilen visas med violett färg. Pilen indikerar läget av det nya borrhålet (BH1).



Figur 25. Resistivitetsmodellen (a) och den tolkade geologiska modellen (b) längs profil 2. Resistivitetsmodellerna från SkyTEM undersökningen 2013 (Dahlqvist m.fl 2015) är inlagda i profilen.

Borrhål och borrhålsloggning

De fyra undersökningsborrhål som borrades i området har även loggats för att bedöma variationen av olika fysikaliska parametrar som påverkar de hydrogeologiska parametrarna. I figur 26 a–d visar vi loggningsresultat som från borrhål nr 4 i Othem File (se fig. 2). Vid 28 m djup uppmättes en vattenmängd på 1800 l/tim och vattenmängden ökade till 3300 l/tim vid 53 m djup. Den uppmätta vattenresistiviteten är stabil och konstant (ca 25 Ohmm). Resulteten från resistivitetsmätningen i borrhålet visar en kraftig minskning av resistiviteten vid 40 m djup, från 800 Ohmm till ett genomsnitt på 150 Ohmm. Den naturliga gammastrålningen visar även en ökning vid samma nivå vilket tyder på en ökning av andelen lermineral (märgel). Detta kan förklara de lägre resistiviteter som ses i borrhålsmätningarna, vilket också indikerar förekomst av tunna lager av märgel i kalkstenen. Resistivitetsmodellen från SkyTEM mätningen (fig. 26d) visar värden i samma intervall som borrhålmätningarna frånsett något mindre kraftiga variationer. Ökningen i vattenmängd vid 53 m djup sammanfaller med en kraftig minskning i resistivitetsmodellen. Information från borrhål 4 och ett närliggande borrhål (7910037) tillsammans med resistiviteterna från SkyTEM modellen sammanfattas i tabell 5 för jämförelse.



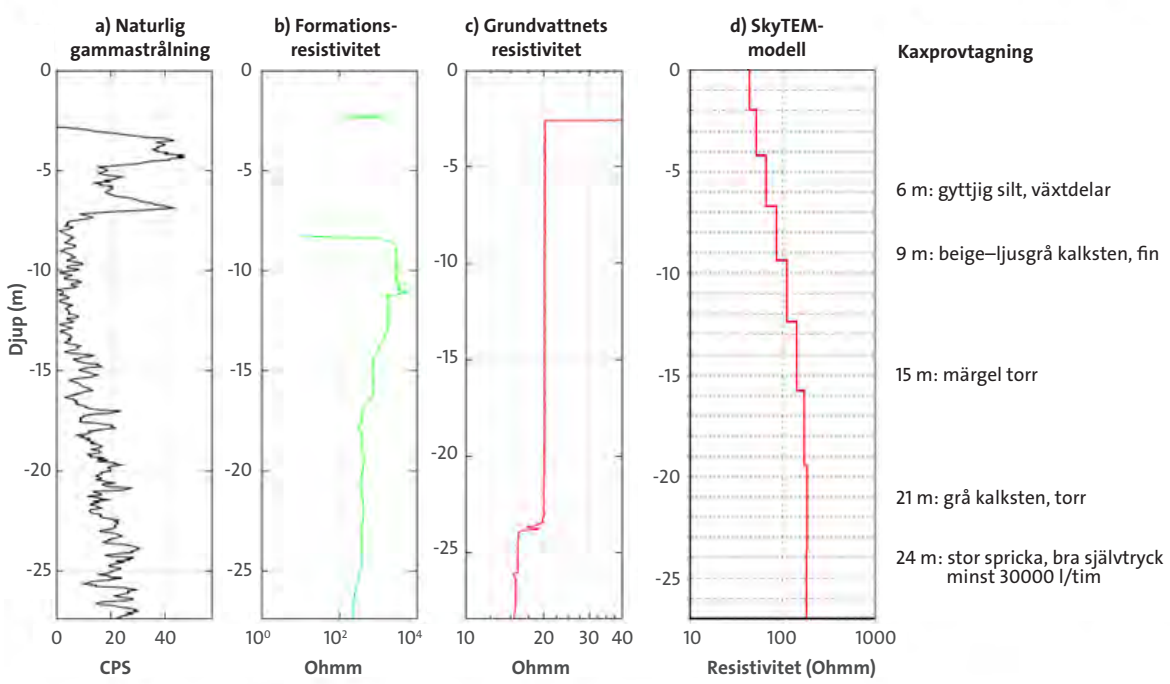
Figur 26. Loggningar i Othem-file borrhål 4. a) naturlig gammastrålning, b) formationsresistivitet och c) grundvattenvattnets resistivitet. För jämförelse visar vi i d) den modellerade resistiviteten från SkyTEM data vid den närmaste punkten på flyglinjen. Resistivitetsmodellen, läget av borrhål nr 4 visas i e). Information från kaxprovtagning visas bredvid SkyTEM modellen (d) för jämförelse.

Vid avstånd över 4 200 m längs profil 3 (fig. 26e) uppvisar resistivitetsmodellen ett lager med lägre resistivitet än de överliggande lagren. Detta lager påträffas vid ca 52 m djup i borrhål 4 och har en tjocklek på ca 20 m. Lagret kan antingen vara sprickrik kalksten eller kalksten lagrad med tunna skikt av märgel. Detta lager har förmodligen en högre hydraulisk permeabilitet. Vid de djupare partierna av borrhålet (över 65 m djup) ökar resistiviteten (fig. 26b), gammastrålningen minskar och SkyTEM modellen visar en ökning i resistiviteten. Det på djupet liggande högresistiva lager, vid avstånd över 3 800 m i resitivitetsmodellen (fig. 26e) tolkas som en annan typ kalksten (kalkarenit).

Loggningsdata i borrhålet nära Tingstädeträsk (BH 1, fig. 2) visas i figur 27. Borrhålet borrades till 35 m djup och loggningarna genomfördes till 27 m djup. Grundvattnets resistivitet är 20 Ohmm, något lägre än i BH 4, Othem File, och sjunker till 15 Ohmm vid 24 m. Närvaron av en stor spricka på 24 m djup har gett upphov till en anmärkningsvärt hög vattenmängd på 30 000 l/tim i detta borrhål.

Tabell 5: Protokoll från de två närliggande borrhålen till profil 3.
Läget för profilerna visas i figur 23. *gvy: Djup till grundvattenytan.

Brunns-/ borrhåls-id	Lagerföljd enligt borrprotokollen	gvy* (m)	Vattenmängd (l/tim)	Resistivitet (Ohmm)
79100037	0,0–0,3 Kalksten med sprickor 0,2–30,0 Kalksten (mycket hård) 30,0–60,0 Kalksten (hård)	24	500–1000	500 (0,0–32,0 m) 120–300 (32,0–60,0 m)
BH4 (Othem File)	0.0–80.0 kalksten	29	1800 (28 m) 3300 (53 m)	500 (0,0–38,0 m) 300–120(38,0–70,0 m) 120–250 (70,0–80,0 m)



Figur 27. Loggningsdata från borrhålet nordväst om Tingstädeträsk (BH 1). De tre första bilderna från vänster till höger visar (a) naturlig gammastrålning, (b) formationsresistivitet och (c) grundvattnets resistivitet. För jämförelse visas i (d) den modellerade resistiviteten från SkyTEM data vid den närmaste punkten på flyglinjen. Kaxprovtagningen i det nya borrhålet visas även bredvid SkyTEM modellen (d).

Förutsättningar för grundvattenuttag i område 1

SGUs bedömning utifrån tidigare känt underlag (fig. 14a–b) är att de bästa förutsättningarna i området finns längs områdets sydöstra gräns från Hejnumsdalen upp längs hela Lärbrodalen, vid Stenkyrka och Irevik där enskilda grundvattenbrunnar kan ge mellan 2000 och 6000 l/tim. Utanför dessa områden är det sällan brunnar ger mer än 2000 l/tim.

Den geologiska modellen över område 1 kan användas för att få en bättre bild av förutsättningarna för grundvattenbildning i området. I avsnittet *modellering av 3D-resultat* beskrivs möjliga former av akviferer på Gotland. Den övre akviferen i område 1 finns i anslutning till sammanhängande områden med förhållandevis mäktiga jordlager som skapar möjligheter att bilda grundvatten i jord- och berglager.

I figur 28a visas kartan över den tolkade totala tjockleken av jordlager i området 1 (från 3D-modellen) tillsammans med en förenklad jordartskarta över delar av området där tjockleken är större än 5 m. Figuren visar också vattenmängd och brunns- eller borrhålets djup tagna från SGUs brunnsarkiv på

samma karta. Notera att det uppvisade området täcker det nya undersökningsområdet samt stora delar av ett av områdena som undersöktes med SkyTEM 2013 och finns rapporterat i Dahlqvist m.fl. (2015). Kartan visar att borrhål med djup under 20 m i områden där mäktigare postglaciala sand och svallsediment eller grus dominerar, har betydligt större uttagskapacitet än brunnar i områden med moränlera eller lerig morän. Ett exempel är området väster om Stenkyrka i nordvästra delen av område 1.

Den undre akviferen i område 1 diskuteras här i två steg. Figur 28b visar den tolkade mäktigheten av en yngre märgel som uppträder i den geologiska modellen i södra delen av område 1 sydost om Tingstädeträsk. Märgeln visar ganska varierande tjocklek och djup till överytan. Den har dock något högre resistivitet än den äldre och djupare liggande märgeln i Visbyformationen, vilket kan tyda på något lägre lermineralhalt och förmodligen högre hydraulisk permeabilitet. Brunnsdata (vattenmängd och borrhålens totaldjup) visas ovanpå modellen i figur 28 b. Det finns ett starkt samband mellan högre vattenmängd vid kontakten mellan märgel och underliggande eller överliggande lager (största med 12000 l/tim norr om Bjärs, dock på 183 m djup). I områden där märgeln är tunn finns betydligt mindre vattenmängd enligt brunnsarkivet. I de djupare borrhålen påträffas större vattenmängder vilket delvis kan förklaras med att man får en större vattenmängd om man forsätter med borrning tills underliggande lager nås. Det kan även vara den totala borrhålslängden som gör att man får mycket vatten. Ett större borrdjup ökar dock risken för att komma ned i ett grundvatten med förhöjd kloridhalt. Detta visar mervärdet av information som finns i resistivitetsmodellerna för att optimera platser för att genomföra borrningar. I figur 28 c visas djupet till den undre gränsen för det mest resistiva lagret i resistivitetsmodellen, nämligen kalkstenen (se fig. 24 & 25). Notera attdjupet är något grundare i den södra delen av området (fig. 28 c) där en annan typ av kalksten uppträder på berggrundskartan (fig. 16). Kartan över djupet tillsammans med uppmätta vattenmängder i brunnar kan användas för att samtolka och ta fram en karta som visar områden där stora grundvattenförekomster kan påträffas i den undre akviferen.

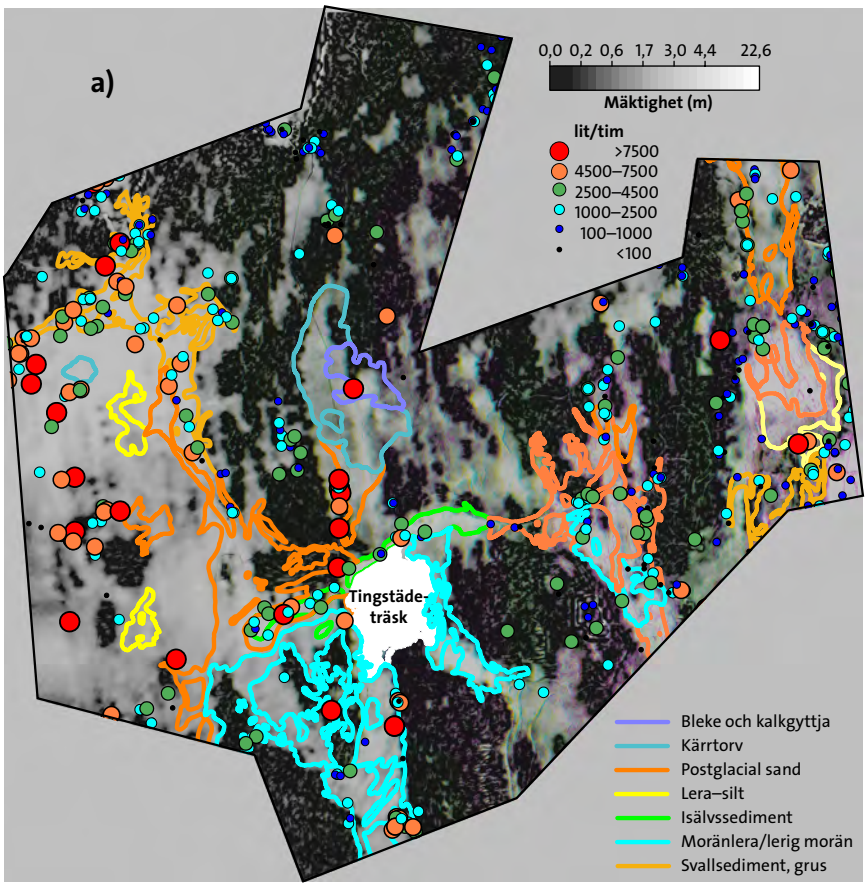
I figur 28 c visas ett exempel i form av en streckad polygon. Polygongränsen sammanfaller med läget av de borrhål som har borrats djupare än jorddjupet och har betydligt högre vattenmängder (se fig. 28 a & 21). En kraftig skillnad i djup till kalkstenens underyta sammanfaller med gränsen till den uppritade polygonen. Detta kan betraktas som ett spricksystem, något som är relativt vanligt i den sedimentära berglagerföljden på Gotland.

Förekomst av salt grundvatten

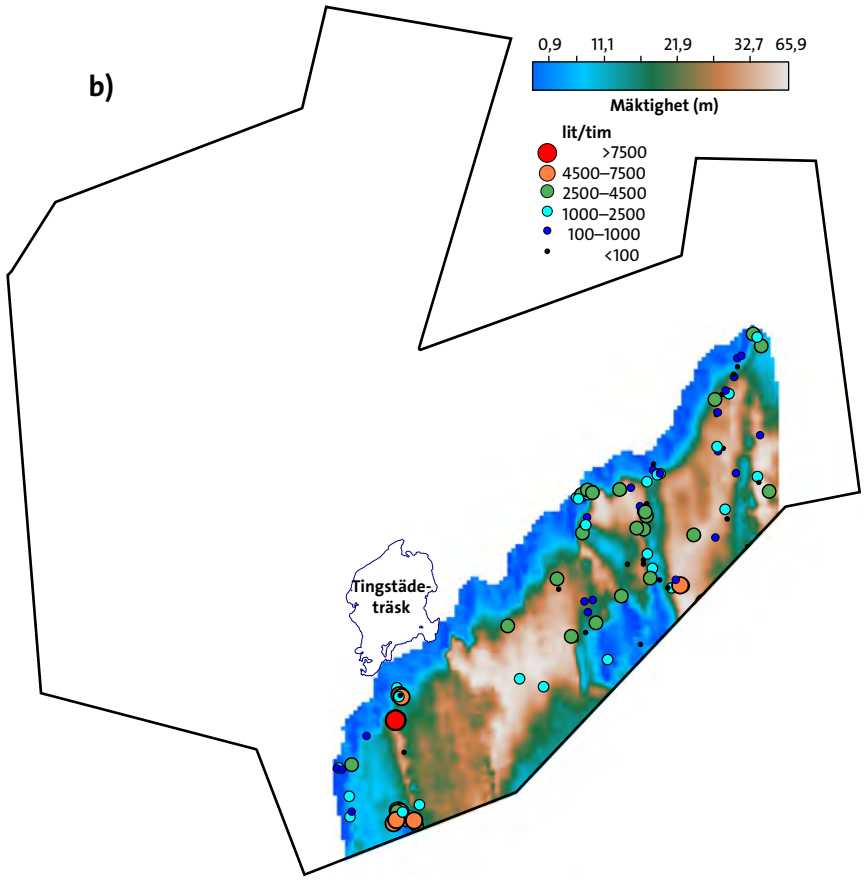
Dahlqvist m.fl. (2015) visar förekomst av salt grundvatten på djupet inom hela undersökningsområden från SkyTEM-områdena 2013, i form av kartor. Detta utfördes genom användning av samma tolkningsprinciper som beskrivs dels ovan i avsnittet *Översättning av resistivitet till saltvattennivå i Gotlands bergartsvolym* (se även en mer detaljerad beskrivning om förekomst av salt grundvatten i område 3). I figur 28d redovisas den tolkade nivån till det salta grundvattnets överyta. Kartan visar djupet till 40 Ohmm beräknat från resistivitetsmodellerna. Den följer i stort sett samma trend som djupet till den mer konduktiva märgeln som ligger under kalkstenen och är mättad med salt grundvatten (fig. 24 & 25). Generellt ökar djupet till det salta grundvattnet mot sydost. I den sydöstligaste delen har djupet ett mer varierande mönster. Det har troligen orsakats delvis av litologiska variationer där en mer lagrad kalkarenit (med lägre resistivitet än revkalksten) uppträder i modellen (se fig. 24 & 25) och delvis p.g.a. variationer i topografin.

Område 2: Åminne–Ala

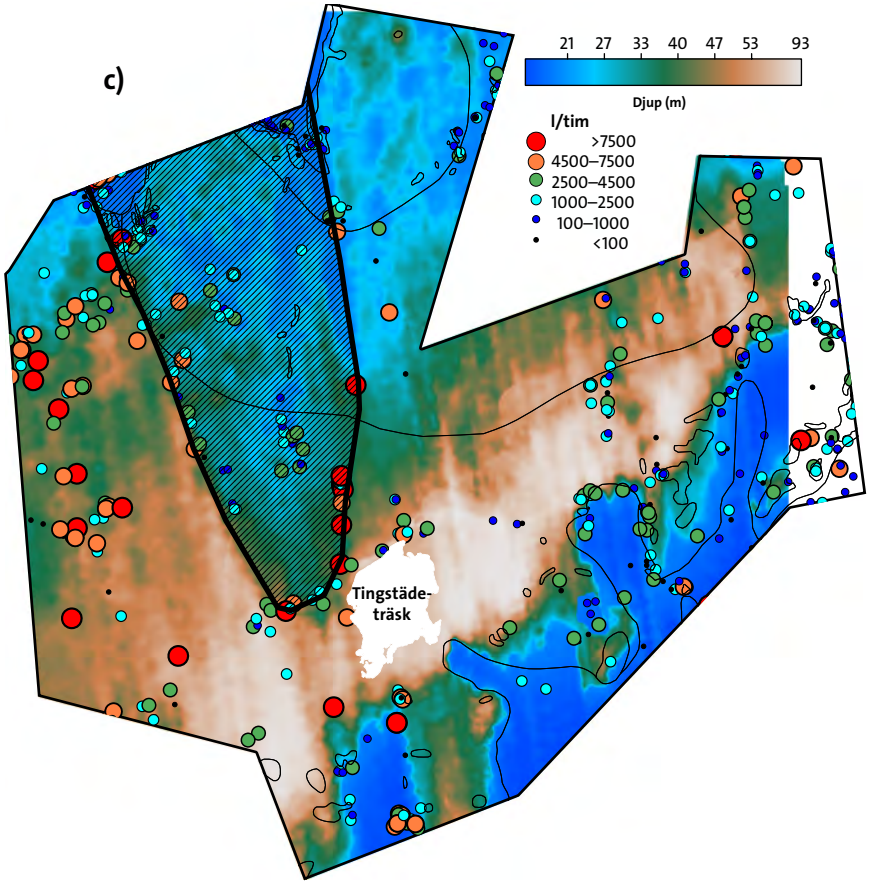
I nordvästra delen av Åminne–Ala området finns en markant brant som skiljer ett nordvästligt område med jordbruksmark från ett högre beläget område med företrädesvis häll- och skogsmark i söder. Gothemsån, som är Gotlands största vattendrag, rinner nere i dalgången strax nordväst om branten. Det huvudsakliga vattenflödet i bäckar är mot ost eller nordost. Storsund som är ett Natura 2000-område har tidigare varit en havsvik. I området finns även en del källor.



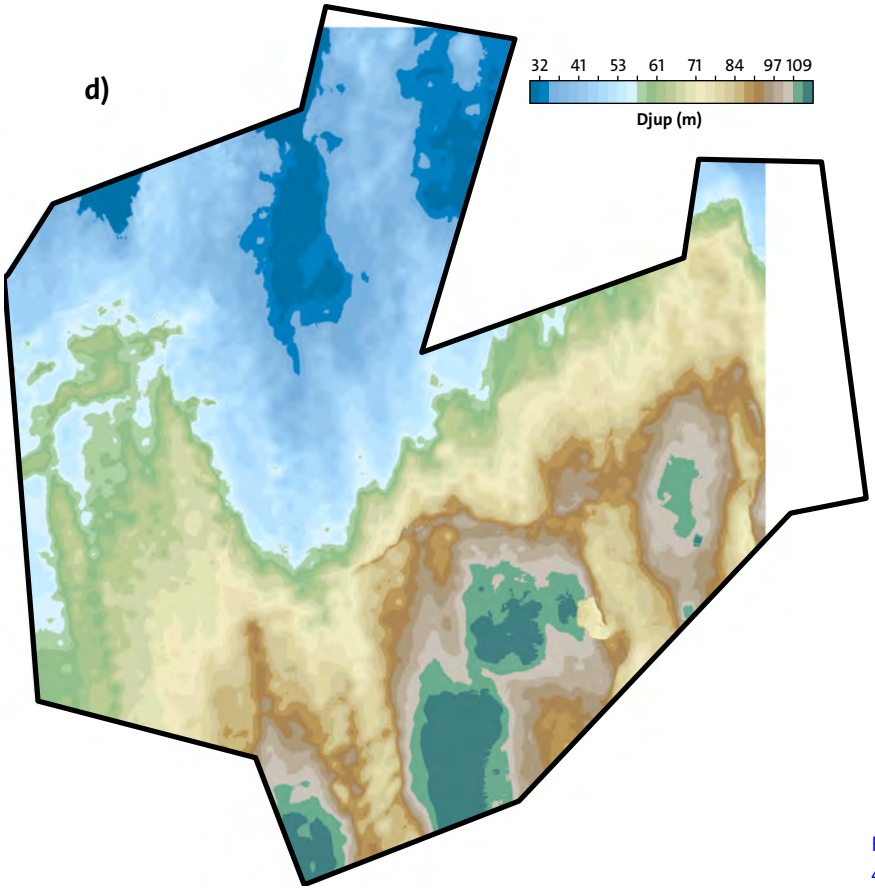
Figur 28. a) Mäktighet av jordarter som bestämts baserat på kombination av resistivitetsmodellen och brunnsdata.



Figur 28. b) Mäktighet på yngre märgeln som kan beaktas som den undre akviferen i område 1.



Figur 28. c) Djup till bottenytan av den mer resistiva kalkstenen i område 1. Den streckade ytan begränsar ett exempel där djupet varierar ganska kraftigt. Symboler med olika storlek och färg visar uppmätta vattenmängder i brunnar och borrhål tagna från SGUs brunnsarkiv. Siffrorna bredvid symbolerna visar borrhålens totaldjup.



Figur 28. d) Djup till nivån för 40 Ohmm.

Den ytliga berggrunden består av bergartsekvenser som representerar översta delen av Slitegruppen, Hallaformationen och Klintebergsformationen (fig. 7 & 9). Inom en smal zon i de norra delarna av området mellan Åminne och Hörsne påträffas Hallaformationens bergarter som vilar på en erosionsyta som bryter av Slitelagren. Hallaformationen utgör en transgressiv bergartssekvens som representerar en av Gotlands tio siluriska sedimentationsperioder Den understa delen består av en uppemot fem meter mäktig korsskiktad lagersekvens med välsorterad oolit (fig. 29) som lokalt förekommer i trakterna kring Bara. Resterande del av Hallaformationen domineras av märgel och lerig kalksten med små stromatoporoidérev och lager med algkalksten. Hallaformationen är sammanlagt ca 15 m mäktig inom området. Utbredningen och den litologiska uppbyggnaden på djupet söderut in under Klintebergsformationen är okänd. Gränsen mellan Halla- och Klintebergsformationerna är blottad i en kustskärning vid Gothemshammar i den nordöstra delen av undersökningsområdet (fig. 30).

Merparten av den ytliga berggrunden inom området består av kalkstenslager tillhörande den uppemot 70 m mäktiga Klintebergsformationen. Denna består i huvudsak av lagrade krinoidé- och stromatoporoidékalkstenar men även ett betydande inslag av revkroppar, framförallt i formationens övre delar. Formationens kalkstensdominerade berggrund utgör merparten av kalkstensområdet som sträcker sig över mellersta Gotland. Kalkstensområdets utbredning över mellersta Gotland framträder tydligt på höjdreliefkartan och som ett högresistivt område på SGUs resistivitetskarta över Gotland (Erlström m.fl. 2009, fig. 8a & b). Klintebergsformationens nordvästra begränsning är, framförallt i de centrala delarna av utbredningsområdet, tydligt markerat som en brant. I de östra delarna av utbredningsområdet delas formationen normalt in i sex enheter där den undre delen (enhet a) representeras av en ca 15 m mäktig sekvens med lagrad, lerig kalksten och märgelsten följt av ca 20 m med tät finkristallin algkalksten, krinoidékalksten och lerig kalksten (enhet b–e), och överst en ca 30 m mäktig sekvens med stromatoporoidékalksten och rev (enhet f, Shaikh m.fl. 1990). Inom undersökningsområdet dominerar bergarter tillhörande de undre delarna av Klintebergsformationen. I en kärnborrning vid Ala (strax utanför det sydvästra hörnet av området) är kalkstensenheten drygt 60 m mäktig vilket även indikeras i resultaten från genomförda RMT mätningar (Erlström & Persson 2014, fig. 31). I borrningen är även de yngre delarna av Klintebergsformationen representerade. I Alaborrningen underlagras kalkstensenheten av successivt mot djupet av lerigare karbonatbergarter och mörkgrå märgelsten som från ca 70 m djup blir den dominerande bergarten. Sannolikt är djupet till gränsen

Figur 29. Korsskiktad Baraoolit som lokalt påträffas inom de norra delarna av undersöknings-område 2, lokalt överlagrande de yngsta delarna av Slitelagren. Bara (6388164, 715621). Foto: Mikael Erlström.

Figur 30. Gränsen mellan den övre märgeldominerade delen av Hallaformationen och algkalksten tillhörande undre delen av Klintebergsformationen. Kustskärning vid Gothemshammar (6391348, 727130). Foto: Mikael Erlström.

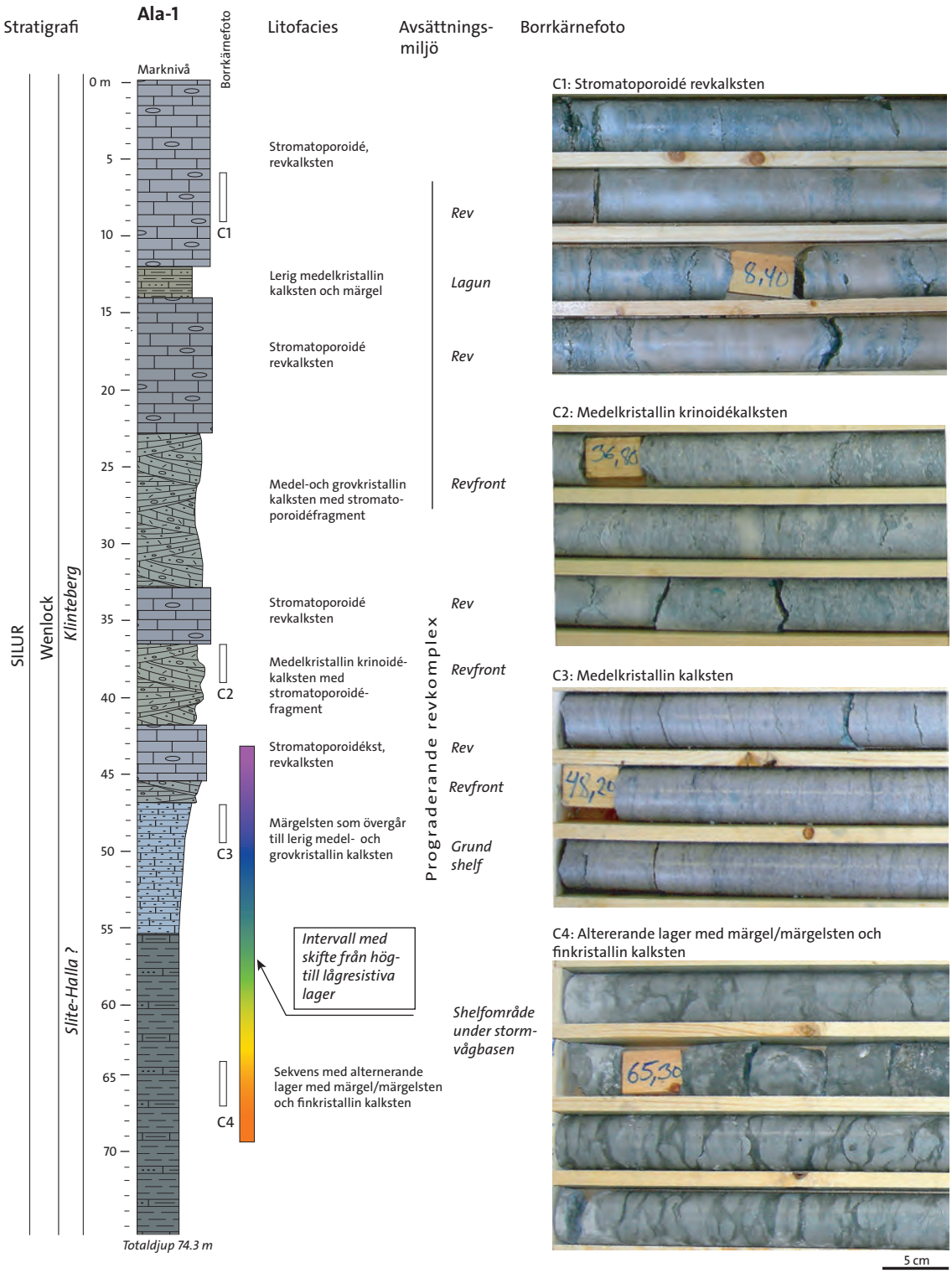
mellan kalkstensenheten och märgelstenen kraftigt varierande pga. nertryckning av märgelstenslagren under lokalt förekommande revkroppar. Stratigrafiskt är det osäkert vilken tillhörighet den underliggande märgeln har. Den bör rimligtvis vara ekvivalent med Hallaformationen och Slitegruppen. Även om Alaborrningen ligger utanför området bedöms förhållandena i den sydvästra delen som likartade. Generellt antas mäktigheten på kalkstensenheten tillta söderut inom område 2.

Tunt jordtäcke och kalt berg dominerar inom område 2 (fig. 32). Moränlera förekommer också till stor del i området och finns främst inom två större sammanhängande moränområden; det ena sträcker sig från nordväst om Åminne ner i ett stråk åt sydost mot kusten, det andra området i sydvästra delen av undersökningsområdet (fig. 33). En mindre isälvsavlagring finns vid Gurfiles i sydvästra delen av undersökningsområdet. Svallsand och svallgrus förekommer över hela området men de största ytorna finns främst vid Åminne, i anslutning till isälvsavlagring vid Gurfiles och söder om Hammars (fig. 32). I nordvästra hörnet av området finns Lina myr, en av Gotlands större torvmarker, i övrigt finns en del mindre torvmarker (fig. 32). Förutom det nordvästra området där jorddjupen kan vara upp mot 20 m mäktiga är jorddjupen inom område 2 mindre än 5 m och oftast mindre än 1 m (fig. 33).

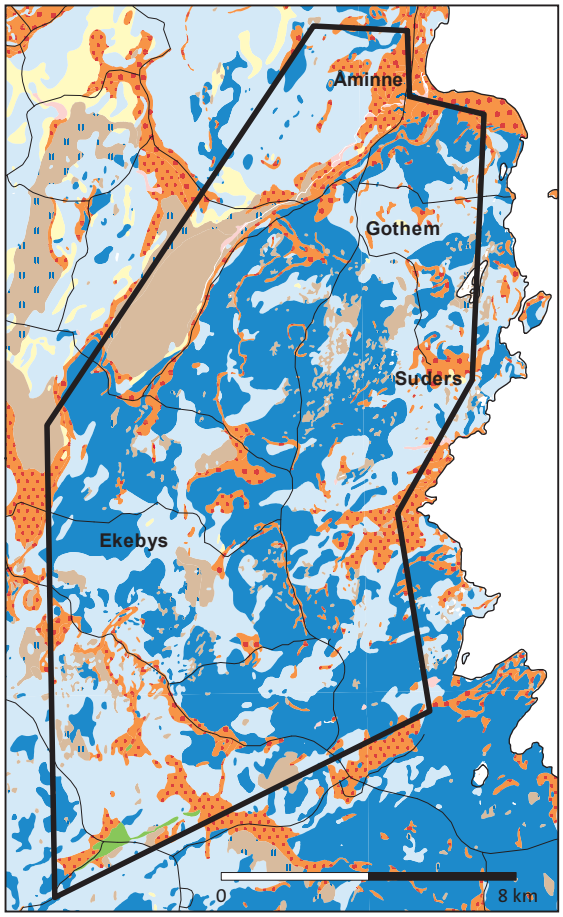
Jämförelse mellan medelresistiviteten och geologi

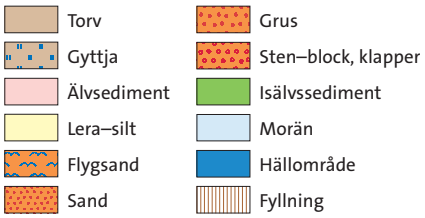
Figur 34 visar medelresistiviteten beräknad från SkyTEM-data, från de yligaste delarna av marken ner till ett djup av 10 m. Eftersom området domineras av tunna jordtäcken och hällområden återspeglar resistiviteten huvudsakligen variationer i berggrundens sammansättning. Vid Line myr i den nordvästra delen av området samt längs med Gothemsåns dalgång är jorddjupen avsevärt större och här återspeglar resistiviteten framförallt jordlagrens sammansättning. Medelresistiviteten nära markytan kan delas in i fyra olika resistivitetsintervall beskrivna nedan i förhållande till sammansättningen av de ytnära jordlagren och bergrunden (fig. 32 och fig. 35).

- Mycket hög resistivitet (över 500 Ohmm) förekommer i den sydligaste delen av området och motsvarar områden med häll och tunna jordlager där berggrunden består av oregelbundet lagrad kalksten och revkalksten.
- Hög resistivitet (200–500 Ohmm) dominerar i de centrala delarna av området. Här domineras berggrunden av lagrad kalksten (kalkarenit och stromatoporoidékalksten).

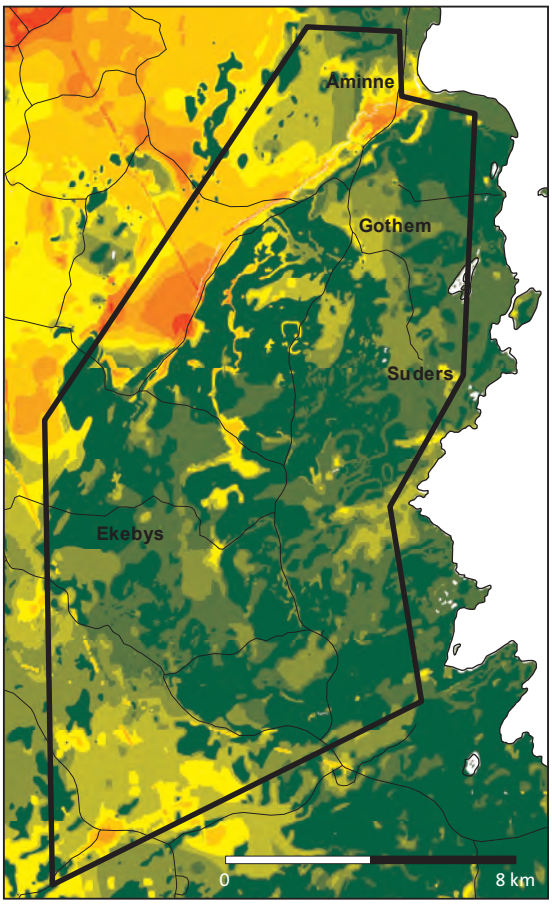


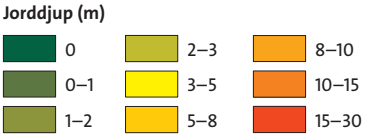
Figur 31. Berggrundens uppbyggnad i Alaborrningen (6367955, 718954), efter Erlström & Persson (2014).





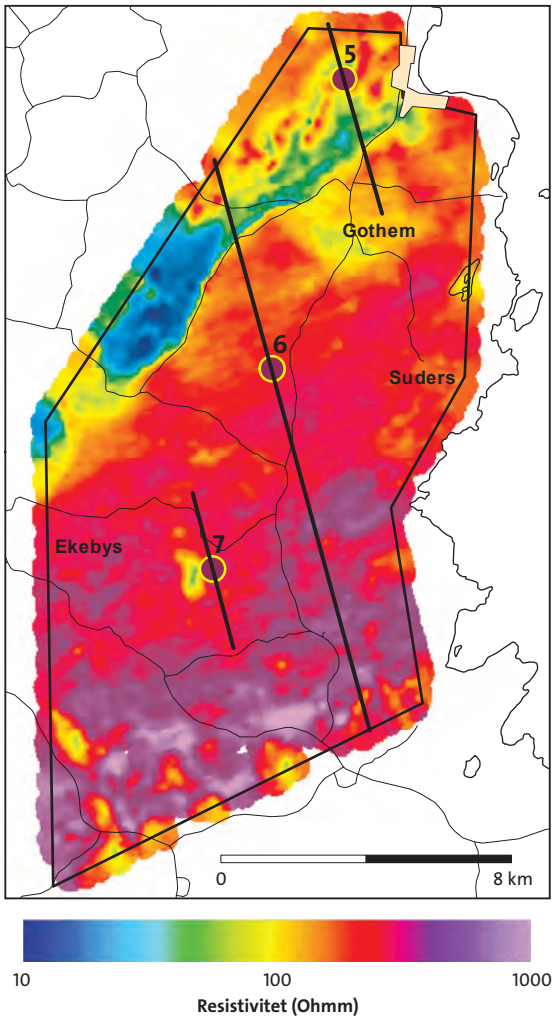
Figur 32. Jordartskarta över område 2. Undersökningsområdet markeras med den svarta ramen.



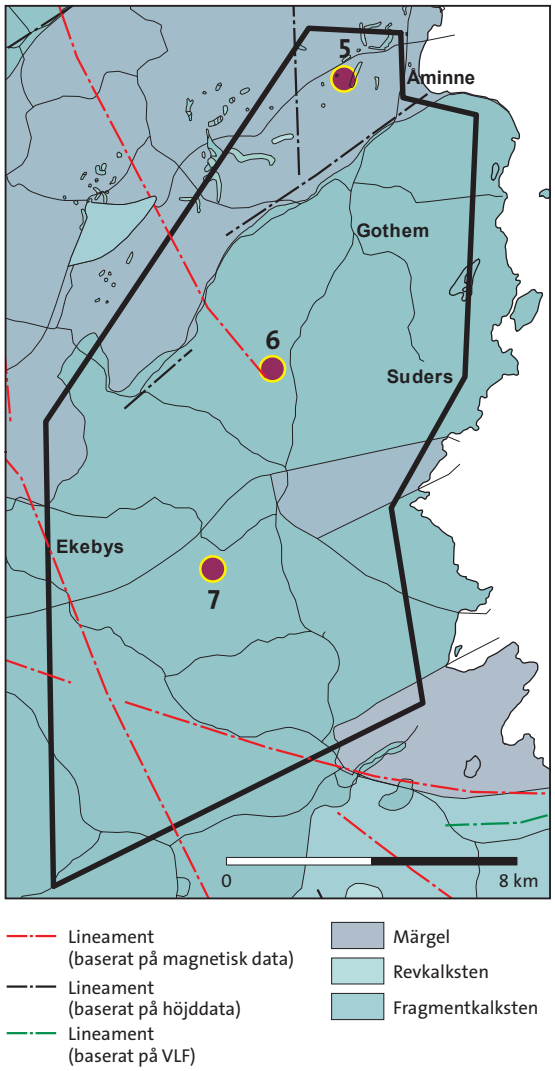


Figur 33. Jorddjupskarta över område 2. Undersökningsområdet markeras med den svarta ramen.

- Medelhög resistivitet (80–200 Ohmm) förekommer främst i den norra delen av området. Här domineras berggrunden av märgel och tunna lager med finkornig kalksten (kalcilutit). I den nordligaste delen av området förekommer märgel med inslag av mindre högresistiva kroppar med revkalksten vilket återspeglas i resistivitetskartan som ett oregelbundet mönster med omväxlande hög och låg resistivitet.
- Låg resistivitet (10–80 Ohmm) förekommer främst i områden med mäktiga jordlager med torv, lera och silt. Dessa områden finns huvudsakligen i den topografiska sänka, knuten till märgelberggrund, där Gothemsån rinner samt några mindre områden vid Norrlanda och Storsund där det finns större våtmarker. Även ett litet område i närheten av Gothem och längs områdets södra gräns är inkluderat.



Figur 34. Medelresistiviteten för de översta 10 m inom område 2. Punkterna visar borrhål och linjerna läget för de profiler som diskuteras i texten.



Figur 35. Berggrundskarta över område 2. Undersökningsområdet inom den svarta ramen.

Geologisk 3D modell

En tredimensionell geologisk modell över området har tagits fram enligt metodiken som beskrivs i avsnittet *Modellering av resultat i 3D*. Som underlag till modelleringen har resistivitetssektioner från SkyTEM-mätningen använts tillsammans med jordartskartan, berggrundskartan samt information från borrhål inom området. 3D-modellen innehåller totalt åtta olika lager som är beskrivna i tabellen nedan (tabell 6). Utöver dessa åtta lager innehåller även 3D-modellen en tolkad gräns till salt grundvatten. Denna gräns är beskriven nedan under avsnittet *Gräns till salt grundvatten*.

Figur 36 visar en resistivitetsmodell och en berggrundsmodell längs en 16 km lång profil som sträcker sig över hela undersökningsområdet i nord–nordvästlig riktning. Resistivitetsmodellen visar överst ett högresistivt lager, motsvarande kalksten tillhörande Klintebergsformationen. Lagret sträcker sig från Gothemsån i norr och vidare söderut. Detta lager har delats in i två bergartstyper baserat på resistivitetsmodellen där den norra delen med resistiviteter omkring 100–400 Ohmm tolkas som lagrad kalksten (Kalksten 1a) och den högresistiva delen i söder med större mäktighet tolkas som oregelbundet lagrad kalksten och revkalksten (Kalksten 1b). Detta lager underlagras av ett väl avgränsat lågresistivt lager som tolkas som märgel, märgelsten och lerig kalksten, tillhörande Hallaformationen (Märgel 2). Detta lager

Tabell 6. Beskrivning av de lager som ingår i den tredimensionella geologiska modellen för område 2.

Lagernamn i 3D-modell	Geologisk beskrivning med kommentar	Resistivitet (Ohmm)
Sand	Sand och grus har relativt hög resistivitet och ofta är lagren så tunna att de inte är detekterbara i resistivitetsmodellen. Därför har borrhålsdata tillsammans med jordartskartan använts vid tolkningen. Mycket tunna sandlager med liten utbredning har inte tagits med i modellen.	>100
Jord	Jordlager med låg resistivitet (vanligtvis moränlera, lera eller torv). Här finns även sjöar och våtmarker. Mycket tunna jordlager som inte kan identifieras i resistivitetsmodellen har inte tagits med i modellen.	10–100
Märgel 1	Lagret består av tunna lager med märgel och har en relativt liten utbredning i den sydöstra delen av området.	<100
Kalksten 1a Kalksten 1b	Kalksten med lågt lerinnehåll tillhörande Klintebergsformationen förekommer inom hela området förutom i den nordligaste delen, norr om Gothemsån. Lagret är som mäktigast i söder (60–70 m) och tunnar ut mot norr. Kalkstenen har i 3D-modellen delats upp i två varianter där ”Kalksten 1a” som har hög resistivitet, motsvaras av lagrad kalksten (kalkarenit och stromatoporoidékalksten). ”Kalksten 1b” som förekommer inom den södra delen av området, har mycket hög resistivitet och motsvaras av oregelbunden revartad kalksten.	100–400 400–3000
Märgel 2	Ett lågresistivt lager når markytan vid Gothemsåns dalgång och motsvaras sannolikt av märgel, märgelsten och lerig kalksten tillhörande Hallaformationen. Lagret som fortsätter söderut in under Klintebergsformationen har en mäktighet på ca 15–20 m.	10–100
Kalksten 2	Lagrad kalksten tillhörande Slitegruppens bergarter. Detta lager har något lägre resistivitet i jämförelse med ”Kalksten 1” vilket indikerar att lerinnehållet är högre här. Mäktigheten uppgår till ca 90 m i norr och lagret tunnar sedan ut mot söder. Den undre begränsningen av lagret är dock mycket dåligt bestämd pga. att upplösningen resistivitetsmodellen försämras på större djup men främst pga. att berggrunden här är påverkad av salthaltigt grundvatten.	100–300
Berggrund mättad med salt grundvatten	Märgeldominerad berggrund med saltvatten. Här är berggrunden med största sannolikhet mättad med salthaltigt grundvatten och det är inte möjligt att i resistivitetsmodellerna urskilja olika bergartslager. Observera att överytan på detta lager inte överensstämmer med gränsytan till salt grundvatten.	<40

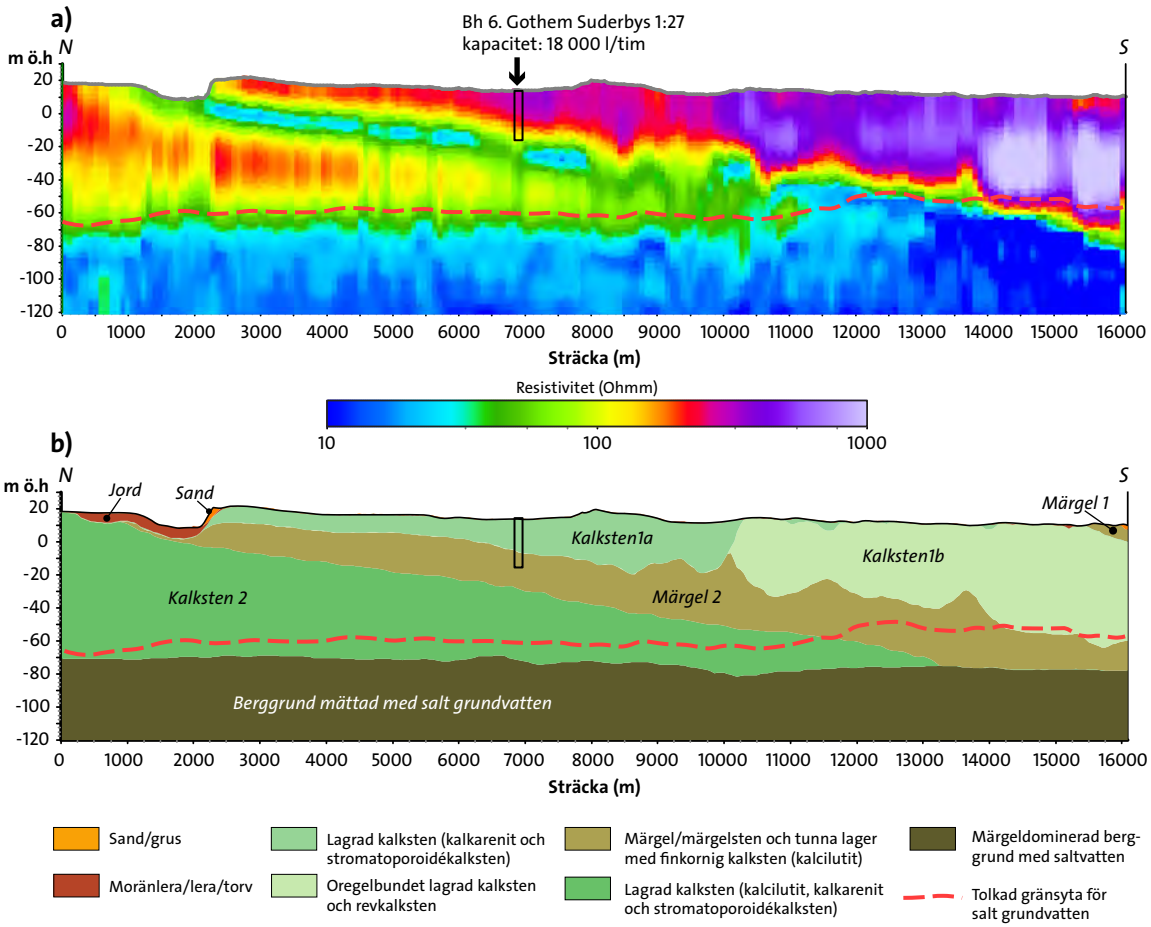
stupar svagt mot sydost och har i den geologiska modellen en mäktighet på 20 till 30 m. I resistivitetsmodellen (fig. 36b) är överytan på den lågresistiva Hallaformationen relativt väl bestämd (jämför även fig. 30) medan den undre gränsdragningen är mer diffus och osäker. Hallaformationen underlagras av kalksten tillhörande Slitegruppens bergarter (kalksten 2) och detta lager går i dagen norr om Gothemsåns dalgång. Resistivitetsmodellen (fig. 36b) visar generellt mycket låga resistiviteter vid ca 60–70 m under havsytans nivå. På detta djup har ett bottenlager lagts in. Här är berggrunden med största sannolikhet mättad med salt grundvatten och det är inte möjligt att urskilja olika bergartslager i resistivitetsmodellerna.

Den geologiska lagringen och de bergrundsenheter som åskådliggörs i figur 36 är generell för hela området Åminne–Ala. I figur 37 visas ett utsnitt av den tredimensionella modellen över området.

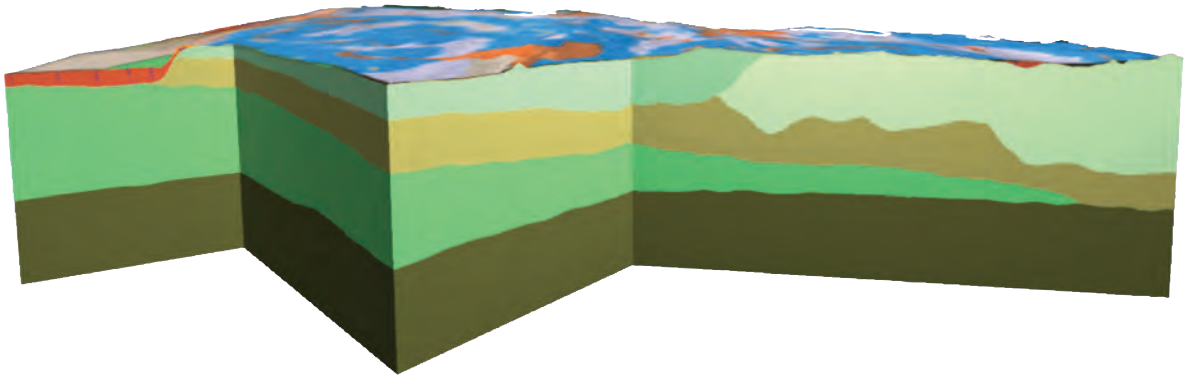
Förekomst av salt grundvatten

Resistivitetssektionerna visar genomgående mycket låga resistiviteter på djup större än ca 70–90 m vilket indikerar förekomst av salt grundvatten. Profilen i figur 36a är relativt representativ för hela området Åminne–Ala och den norra delen (fram till 10 000 m längs profilen) visar att resistiviteten sjunker relativt snabbt (från 100 till 20 Ohmm) vid ca –70 m ö.h. Gränsen för salt grundvatten har här, i området med lagrad kalksten, satts till ca 50 Ohmm. Vid ca 12 000 m längs profilen (fig. 36a) når ett märgellager den tolkade saltvattengränsen. Eftersom även märgeln har låg resistivitet är det svårt att bedöma gränsen till salt grundvatten i det område där märgeln finns på detta djup. I den södra delen av profilen förekommer en revartad kalksten med mycket hög resistivitet och sannolikt mycket låg porositet, vilket innebär att saltvattnets påverkan på resistiviteten är mindre i denna typ av bergrund. Gränsen för salt grundvatten har inom detta område lagts vid en något högre resistivitet.

Figur 38 visar tolkat djup till salt grundvatten över området Åminne–Ala. Djupet varierar mellan ca 50 och 90 m med ett medeldjup på 73 m. Störst djup till salt grundvatten (över 85 m) förekommer i områdets norra samt västra del. De minsta djupen (under 60 m) förekommer i områdets östra, kustnära delar.

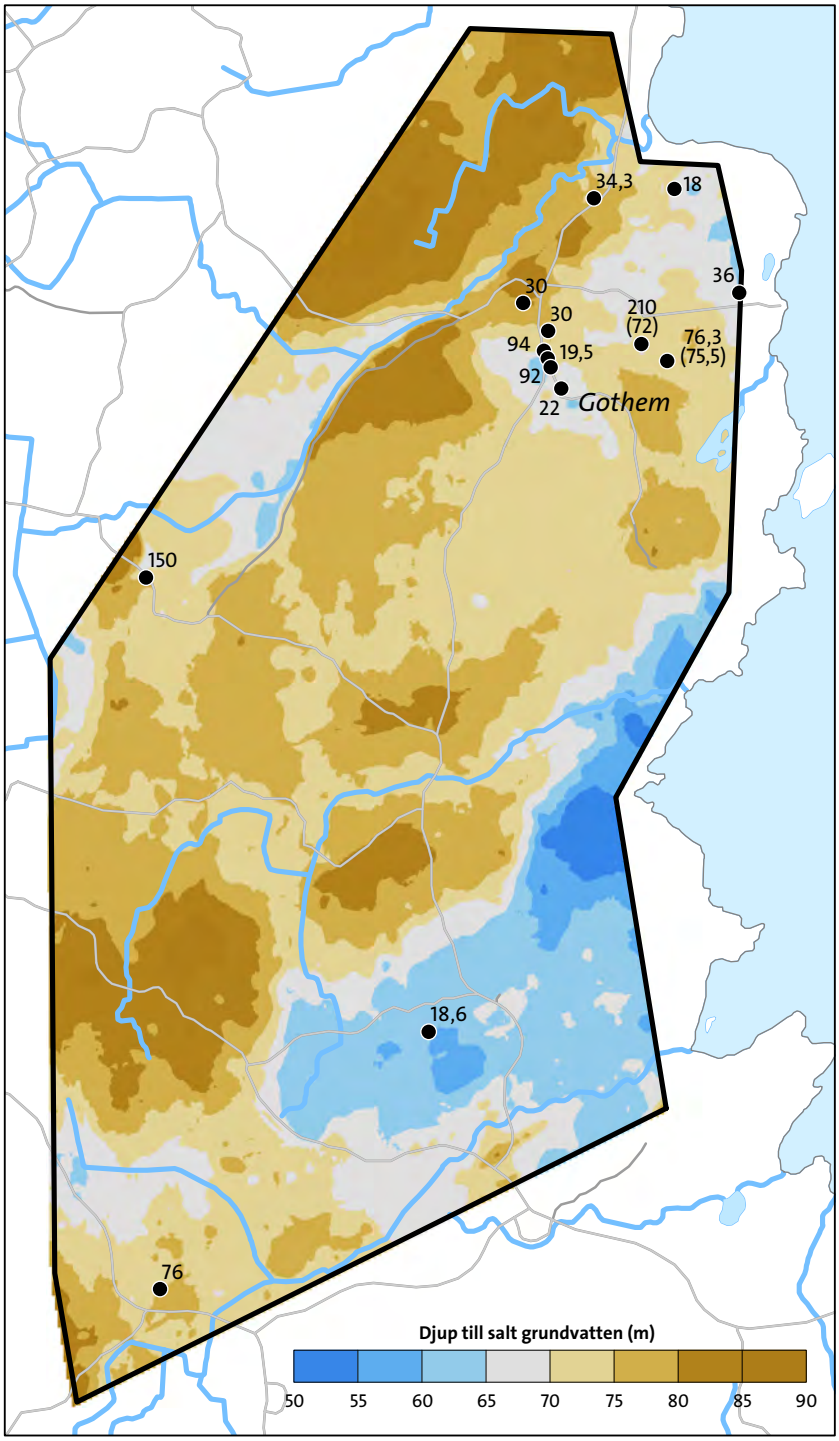


Figur 36. Resistivitetsmodell (a) och geologisk modell (b) längs en 16 km lång profil från norr till söder. Läget för borrhål 6, på fastigheten Gothem Suderbys visas i profilen. Profilens läge är markerat i fig. 34. Notera att förhållandet mellan djup och längdskala är kraftigt överdriven.



Figur 37. Ett utsnitt av den tredimensionella geologiska modellen över område 2: Åminne–Ala. Betraktelsepunkten ligger i väster och den vertikala skalan är överdriven 20 gånger i förhållande till den horisontella. Markytan är draperad med en förenklad version av jordartskartan. Färgsättningen i den geologiska modellen är densamma som i figur 36.

I området finns totalt 14 brunnar i SGUs brunnsdatabas med förhöjd kloridhalt (över 280 mg/l) eller med kommentar om salt eller bräckt vatten. Siffran vid borrhålet i figur 38 anger totalt borrdjup. Siffran inom parentes (för två av brunnarna) anger vid vilket djup salt grundvatten påträffats och detta djup stämmer bra överens med den tolkade saltvattengränsen. I området finns dock ett antal grunda brunnar där salt grundvatten påträffats (ofta efter tryckning) ovanför det tolkade djupet. Några av dessa ligger nära kusten men det finns även ett antal brunnar i ett stråk nordväst om Gothem där salt grundvatten påträffats på ca 20 m djup.

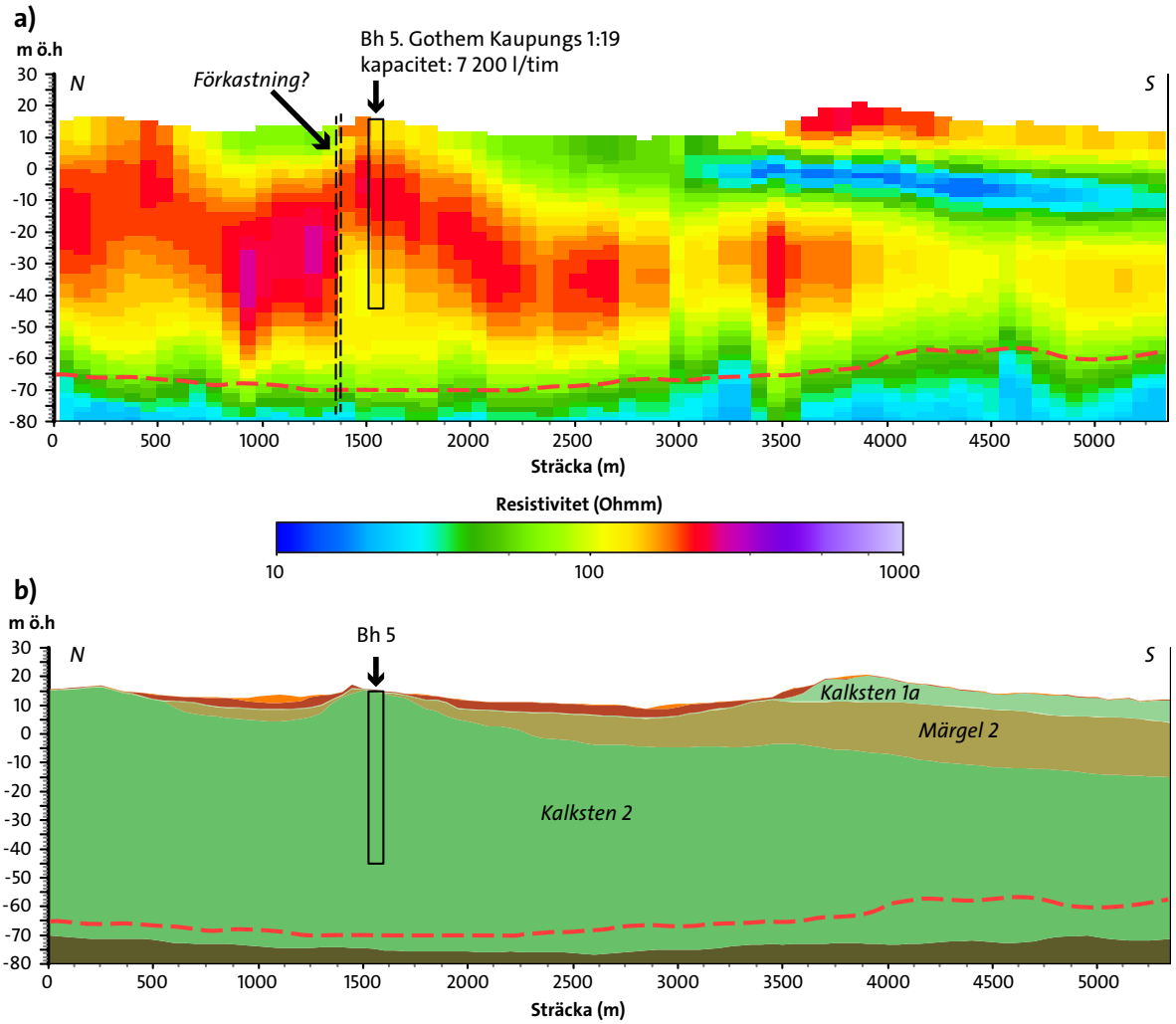


Figur 38. Tolkat djup till det salta grundvattnets överyta. Punkterna med siffror motsvarar brunnar med saltpåverkat grundvatten och brunnens totaldjup (SGUs brunnsarkiv).

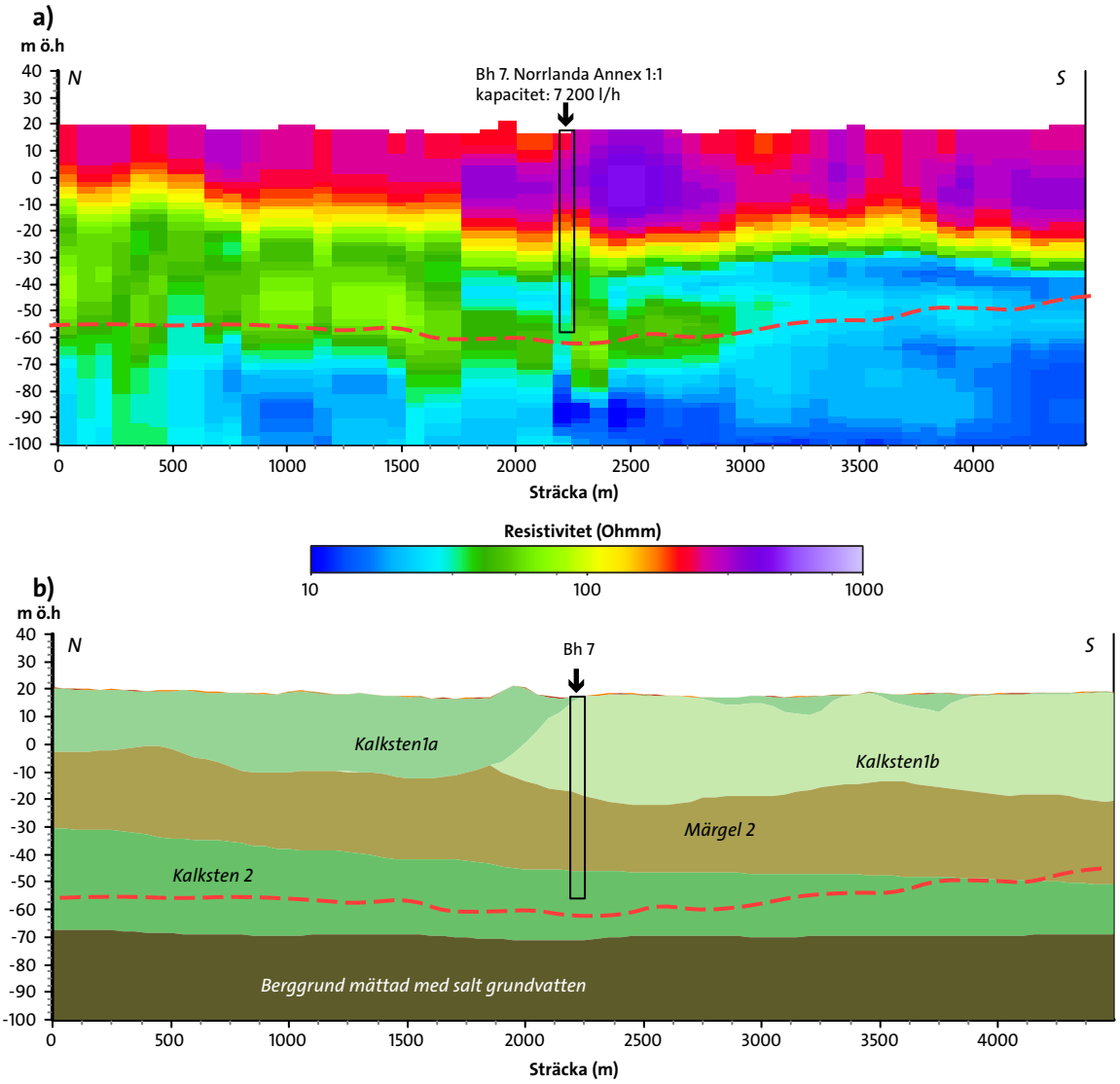
Borrhål och borrhålsloggning

Tre undersökningsborrhål har borrats inom området (BH 5–7, fig. 2, bilaga 1). Borrhålsloggning utfördes i de två nordligaste borrhålen (BH 5 och 6). Borrhål 5, Gothems Kaupungs 1:19 borrades till 60 m djup (fig. 39). Ett ökat vattenflöde uppmättes vid 21, 29, 30, 40 och 50 m djup. Vid 29 m finns notering om en spricka i borrprotokollet (bilaga 1, 3). Vattenmängden uppmättes till 7 200 l/h. Enligt borrprotokollet är jorddjupet 3 m (morän) följt av en meter märgel och sedan kalkberg ned till 60 m. Undersökning av kaxprover tagna var 6 meter (från 6 till 60 m djup) visar att berggrunden består av kalksten som blir något grövre vid 24 m djup.

Resultat från loggningen av BH 5 redovisas i bilaga 3. På djup från 3 till 18 m indikerar loggningen ren kalksten (mycket låg gammastrålning) samt några cirka två meter mäktiga märgellager (förhöjd gammastrålning). På djup från 18 m och till bottnen av borrhålet är gammastrålningen något förhöjd vilket indikerar lagrad kalksten med ett visst märgelinnehåll. Borrväggens resistivitet är uppmätt från 15 m djup och visar en relativt konstant resistivitet omkring 200–300 Ohmm längs hela borrhålet. Dessa resistivitetsvärden överensstämmer med den övre delen av resistivitetssektionen i SkyTEM-data (ned till 30 m djup) i fig 39. Den ena mätsonden, som har en bättre upplösning närmast borrväggen, visar flera tunna, lågresistiva zoner vid 20, 28, 35 och 52 m djup som sammanfaller med en ökad gam-



Figur 39. Resistivitetsmodell (a) och geologisk modell (b) längs en drygt 5 km lång profil från norr till söder. Läget för borrhål 5, Gothem Kaupungs, visas i profilen. Profilens läge är markerat i fig. 34. Notera att förhållandet mellan djup och längdskala är kraftigt överdriven. Se figur 36 för teckenförklaring till geologisk modell.



Figur 40. Resistivitetsmodell (a) och geologisk modell (b) längs en 5 km lång profil från norr till söder. Läget för borrhål 7, Norrlanda Annex, visas i profilen. Profilen är markerad i figur 34. Notera att förhållandet mellan djup och längdskala är kraftigt överdriven. Se figur 36 för teckenförklaring till geologisk modell.

mastrålning. Dessa metertjocka zoner tolkas som lagringsplan och sprickzoner och djupen stämmer relativt väl överens med de djup där ett ökat vattenflöde konstaterats i borrprotokollet. Grundvattnets konduktivitet är i den övre delen av borrhålet uppmätt till ca 65 mS/m och ökar till 85 mS/m vid 22 m djup och till 120 mS/m vid 55 m djup. Kloridhalten har uppmätts till 130, 250 och 260 mg/l på ett djup av 21, 40 respektive 60 m (bilaga 1).

Resistivitetsmodellen i figur 39a visar att resistiviteten minskar från ca 230 Ohmm till 130 Ohmm på 30 m djup vid läget för borrhålet. Den minskade resistiviteten beror sannolikt på en högre porositet och sprickighet i kalkstenen och därigenom ett högre vatteninnehåll. De relativt höga kloridhalterna bidrar sannolikt också till den lägre resistiviteten. Dislokationen som är tydlig i resistivitetsmodellen (fig. 39b) vid ca 1 375 m indikerar en möjlig förkastning. Den kan även iakttas i närliggande profiler och kan följas i ett cirka tre kilometer långt stråk med sydvästlig riktning.

Borrhål 6, Gothems Suderbys 1:27 borrades till 30 m djup (fig. 36) och gav vatten vid 13 och 15 m. Vid 30 m uppmättes en total vattenmängd på 18 000 l/t med självtryck. Enligt borrprotokollet består berggrunden av kalkberg men undersökning av kaxprover tagna var sjätte meter (bilaga 1) visar att

berggrunden i ytan består av kalksten som övergår till märgel vid ca 18 m djup, något som också överensstämmer med den geologiska modellen i figur 36.

Resultat från borrhålsloggningen visar huvudsakligen mycket låg gammastrålning de översta 15 m, vilket indikerar ren kalksten och en förhöjd gammastrålning mellan 15 m och 20 m samt mellan 22 och 30 m vilket tyder på ett ökat märgelinnehåll i dessa avsnitt (bilaga 3). Borrväggens resistivitet är uppmätt från 12 m djup och visar att resistiviteten varierar mellan 100 och 400 Ohmm längs borrhålet. De lågresistiva sektionerna sammanfaller med avsnitten med förhöjd gammastrålning. De uppmätta resistivitetsvärdena överensstämmer även med resistivitetssektionen från SkyTEM-data i figur 36a. Grundvattnets konduktivitet i borrhålet ligger på en stabil nivå omkring 34 mS/m ned till 16 m och ökar sedan konstant upp till 53 mS/m på 30 m djup. Mätning av kloridhalten visade låga nivåer på 8.4 mg/l både på 13 och 30 m djup (bilaga 1).

Borrhål 7, Norrlanda Annex 1:1 borrades till 73 m djup (fig. 40) och gav vatten vid 18 m och en ökad vattenmängd på 7 200 l/t på 61 m djup. Enligt borrprotokollet är jorddjupet tre meter (sand och grus) och bergrunden består av kalkberg. Kloridhalten är uppmätt till 12 mg/l (djup för provtagning okänt). Undersökning av kaxprover tagna var sjätte meter visar märgel på 6 m djup och sedan kalksten ned till 72 m (bilaga 1). Det var svårt att bedöma bergartstyp enbart utifrån kaxproverna. Den tolkade geologiska modellen visar märgeldominerad berggrund mellan 35 till 60 m djup och den lägre resistiviteten i resistivitetssektionen (fig. 40a) indikerar ett högre lerinnehåll på detta djup. Ingen borrhålsloggning utfördes i detta borrhål.

Förutsättningar för grundvattenuttag i område 2

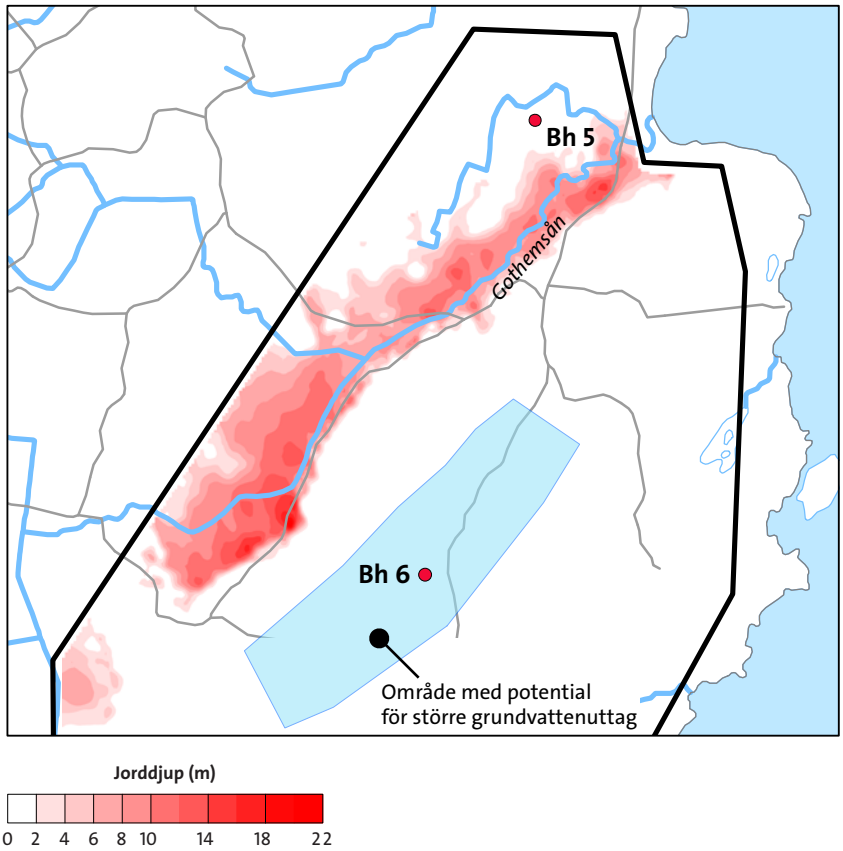
SGUs bedömning från tidigare känt underlag är att det är möjligt att ta ut ca 2000–6000 l/tim från bergborrade brunnar i framförallt de västliga delarna av undersökningsområdet men även ner mot Anga (fig. 14b). När det gäller uttagskapacitet från brunnar i jordlagren finns de bästa möjligheterna i de områden som har större jordmäktighet, d.v.s. i princip längs dalen som Gothemsån rinner i. Det troliga är även att Gothemsån bidrar till infiltration av vatten till grundvattenmagasinen i anslutning till detta område. Vid Åminne i nordöstra delen av området finns en kommunal vattentäkt. Vattentäkten består av ett antal bergborrade brunnar i ett område med lite större jorddjup 5–10 m.

Resistivitetsmodellerna framtagna från SkyTEM-data har använts för att göra en ny, förbättrad modell av jorddjupen i området (fig. 41). Jorddjupen längs Gothemsåns dalgång varierar mellan ca 4 och 22 m inom ett en kilometer brett och tio kilometer långt område. Volymsmässigt utgör de en av de större jordlagerförekomsterna på Gotland. Jordlagren längs Gothemsån består i sydväst främst av organiska jordar och lera medan sand och grus dominerar i nordost (jämför fig. 32).

De tre undersökningsborrhål som borrats inom området gav alla vatten men borrhål 6, Gothems Suderbys, gav klart mest vatten; uppmätt vattenmängd på 18 000 l/tim och artesiskt tryck. Den stora vattenmängden beror sannolikt på närheten till Gothemsån och de mäktiga jordlager där, vilka bidrar till en ökad infiltration i området. Grundvattentransporten kan sedan ske längs berggrundens lagringsplan. Baserat på dessa resultat har vi markerat ett ca 7 km långt och 2 km brett område sydöst om Gothemsån där möjligheterna för grundvattenuttag bör vara speciellt goda (fig. 41). Hänsyn har även tagits till förekomst av saltvatten i ytliga brunnar och inom hela det markerade området överstiger det tolkade djupet till salt grundvatten 70 m (fig. 38).

Område 3: Stånga–Burs

Delar av Stånga–Burs området är uppodlat och består av högkvalitativ jordbruksmark. Det finns dock även talldominerade skogsområden. Det finns även några sand- och grustäkter samt bevattningsdammar i området. De uppodlade områdena är ofta knutna till utdikade myrområden och moränmark medan de skogbevuxna områdena företrädesvis är hällmark eller områden med tunna sandavlagringar.



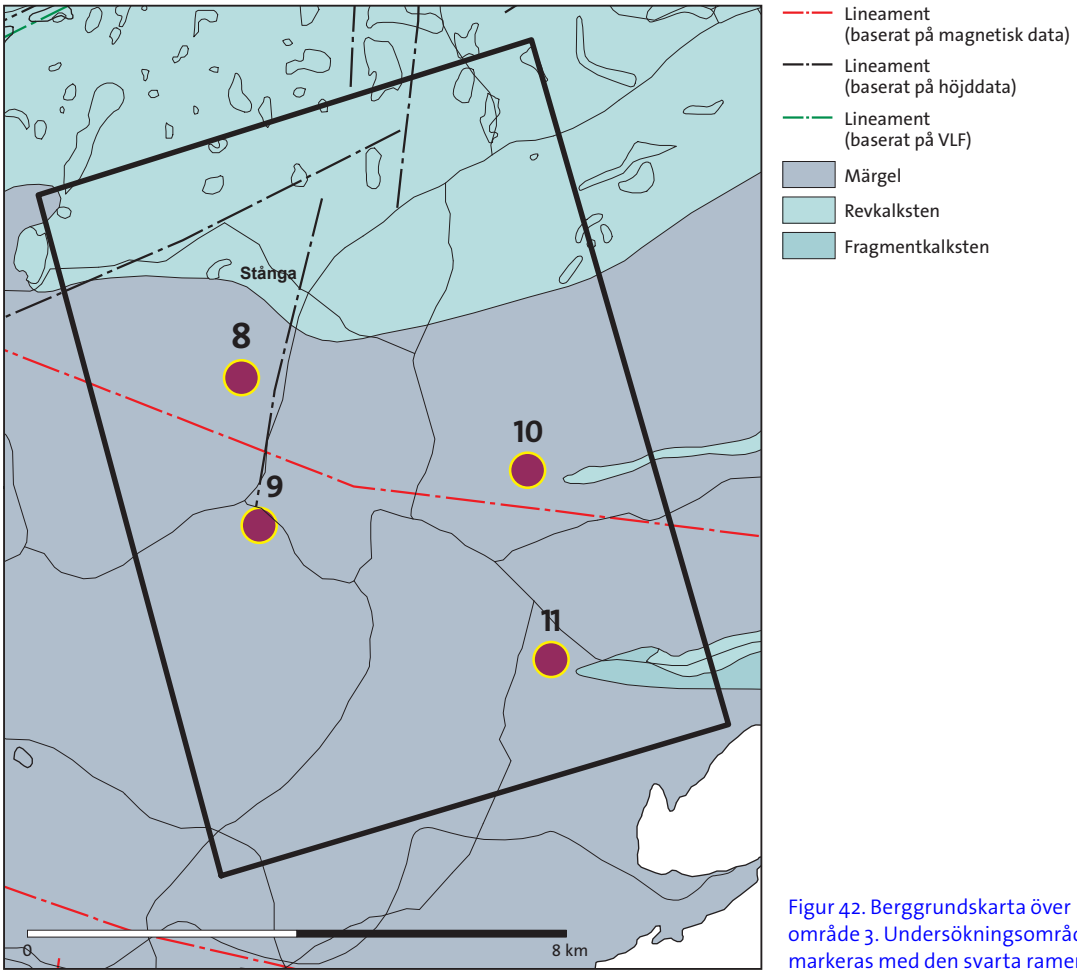
Figur 41. Tolkade jorddjup längs Gothemsåns dalgång och område med potential för större grundvattenuttag.

Inom området påträffas nästan uteslutande berggrund som stratigrafiskt tillhör Hemsegruppen. Gruppen har ett påtagligt större inslag av kalksten i den nordöstra delen av sitt utbredningsområde (fig. 9) medan växellagring mellan finkristallin lerig kalksten och märgel dominerar i sydväst och väster (fig. 7). Det ska påpekas att berggrunden inom Hemsegruppen karaktäriseras av en stor variation i förekomsten av olika karbonatbergarter. Det undersökta området ligger i övergången mellan kalkstens- och märgeldominerad berggrund (fig. 42) vilket gör att både den laterala och vertikala variationen i utbredning och förekomst av olika lager, speciellt i den övre delen av berggrunden, bedöms som stor. Totalt är Hemsegruppen omkring 100 m mäktig och indelad i ett flertal underenheter, främst inom dess huvudsakligen kalkstendominerade delar i de nordöstra delarna av utbredningsområdet (fig. 7). Gruppens bergarter överlagrar i nordost en tydlig erosionsyta som avslutar Klintebergsformationen. Ytan representerar ett större sedimentationsavbrott före avsättningen av Hemselagren. I de norra delarna av område 3 består berggrunden av horisontellt lagrad märgelsten och orgelbundet lagrad och revartad stromatoporoidékalksten. De oregelbundet formade lokala enheterna med revartad stromatoporidékalksten tillhör de undre delarna av Hemseformationen (fig. 43).

Dessa är avsevärt mindre mäktiga jämfört med Klintbergsformationens revkalkstenar. Vanligtvis är de i storleksordningen 5–10 m mäktiga. Här påträffas även relativt frekvent karststrukturer i berggrundsytan, både i form av slukhål och som sprickkarren.

I övrigt domineras Hemselagren av märgel och lersten, ofta med varierande mängd av 1–3 cm mäktiga undulerande knöliga lager med finkristallin lerig kalksten (fig. 44). Inom område 3 påträffas lokalt i den sydöstra delen ett fåtal meter med kalksten ovanpå Hemsemärgel (fig. 42, Lau och Burgen) tillhörande Ekeformationen (Eriksson & Calner 2007).

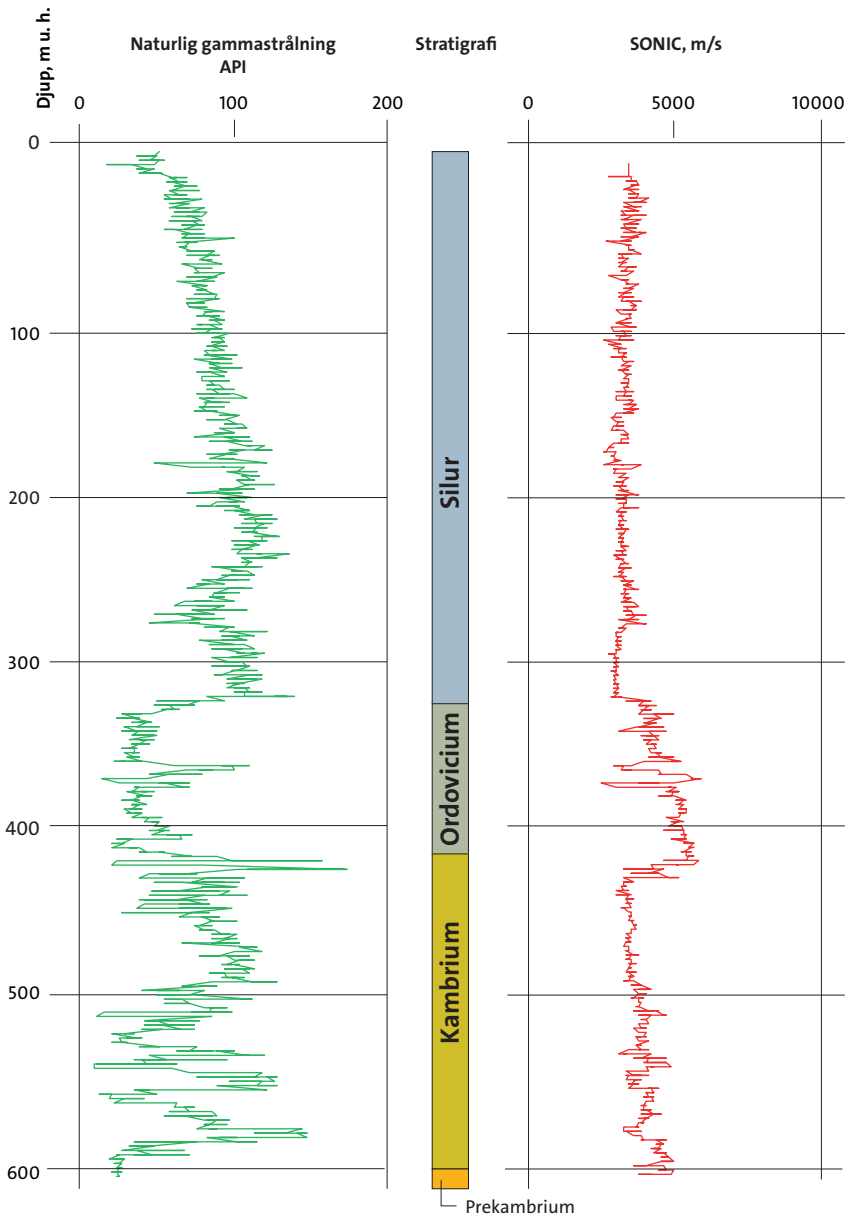
Inom undersökningsområde 3 kan man förvänta sig att berggrunden på djupet domineras av märgelsten och lerig kalksten samt karbonatrik lersten. Närformationen som bedöms vara uppemot 65 m



Figur 42. Berggrundskarta över område 3. Undersökningsområdet markeras med den svarta ramen.

Figur 43. Småkuperad terräng med uppsprucken och vittrade, knöliga och oregelbundet formade kalkstensrev tillhörande Hemsegruppens undre kalkstensdominerade delar, ONO om Etelhem (6361660, 715663). Foto: Mikael Erlström.

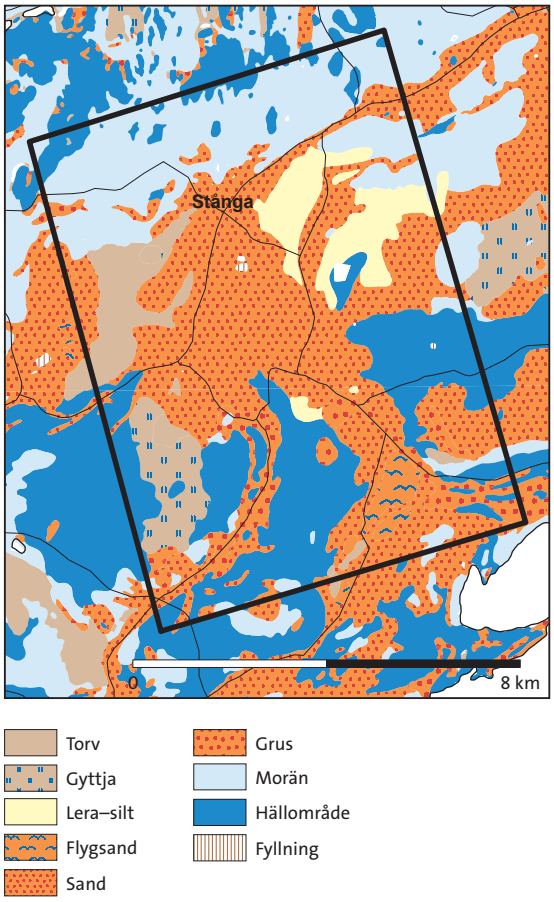
Figur 44. Exempel på Hemselagrens dominerande uppbyggnad i den sydvästra och västra delen av utbredningsområdet. Växellagring mellan blågrå märgel och grå finkristallin lerig kalksten, Hemse kanal (6347903, 692845). Foto: Mikael Erlström.



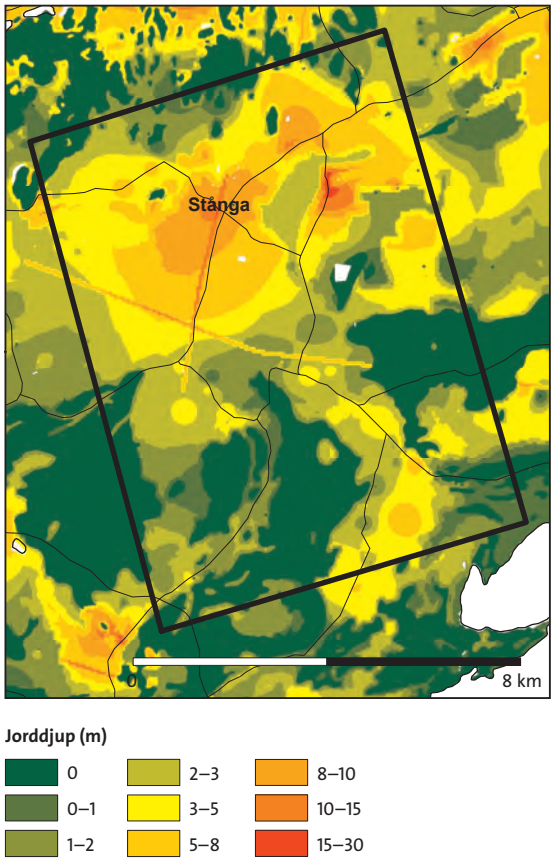
Figur 45. Illustration som visar geofysiska borrhålsloggar (naturlig gammastrålning och Sonic) i OPAB borrningen Hemse-1(6349238, 704674) tillsammans med stratigrafiska nivåer.

mäktig och som utgör Hemseguppens övre delar domineras inom undersökningsområdet av leriga och laminerade kalkstenar växellagrade med märgel och karbonatrik lersten. Övergången mellan Hemsegruppen och underliggande Klintebergsformationens berggrundslager inom undersökningsområdet är inte klarlagd. Mätningar av den naturliga gammastrålningen i OPAB borrningen Hemse-1 (fig. 45) visar successivt högre mätvärden ner till ca 225 m djup vilket indikerar att berggrunden blir lerigare på djupet. Endast ett fåtal tunnare kalkstensnivåer kan urskiljas. Någon tydlig anomali som skulle vara knuten till övergången mellan Hemse- och Klintebergslager framträder inte. Sannolikt representeras även Klintebergsformationen av relativt leriga kalkstenar och märgel som inte nämnvärt skiljer sig från Hemseformationen.

I de norra delarna av undersökningsområdet, upp mot de högre liggande områdena i norr, dominerar moränlera (fig. 46). Moränleran ligger i lä i förhållande till isrörelseriktningen och mellan de uppstickande bergknallarna kan moränen vara förhållandevis mäktig här, vilket antyds av att Strömmaån eroderat sig ner 8 m i moränen. Området med moränlera avbryts i söder av Ancylusgränsens (20 m ö.h.) strandbildningar med strandvallar och erosionshak i moränen och med svallgrus och svallsandsavla-



Figur 46. Jordartskarta över område 3. Undersökningsområdet markeras med den svarta ramen.

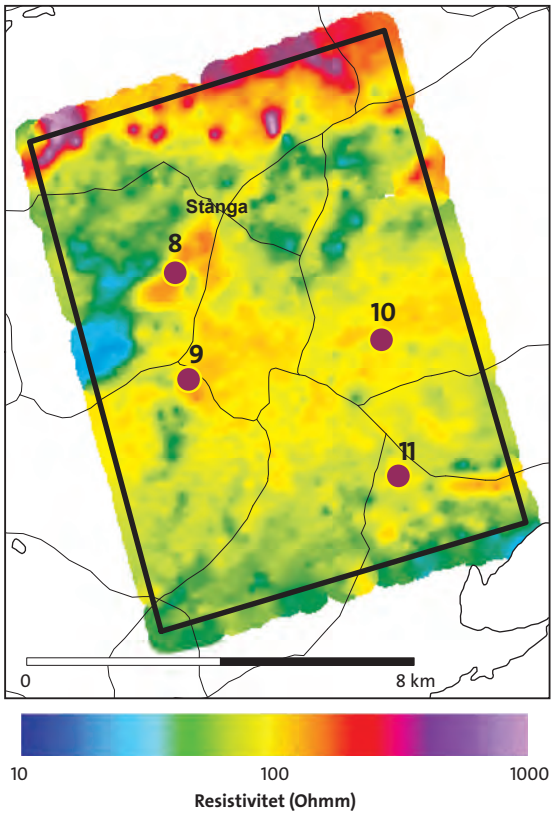


Figur 47. Jorddjupskarta över område 3. Undersökningsområdet markeras med den svarta ramen.

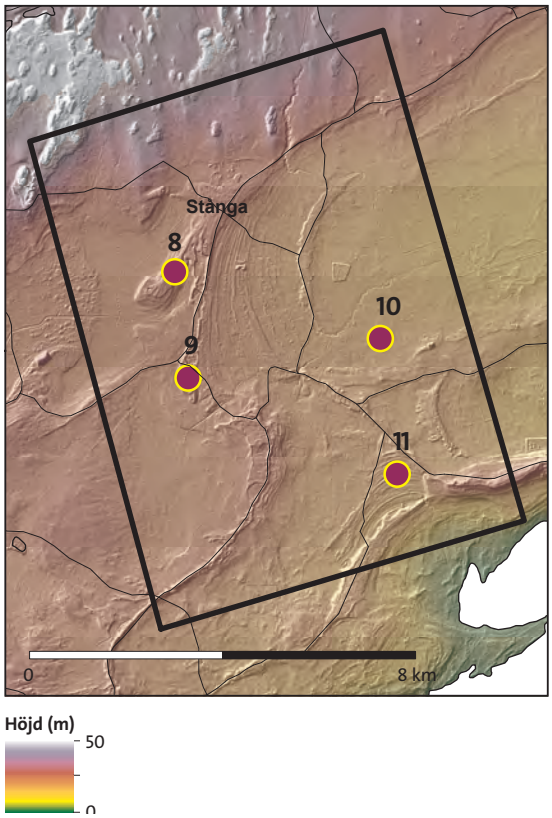
gringar. Ancylusvallen kan följas härifrån ända ner till Rone. Även Littorinavallen (16 m ö.h.) är tydligt utbildad i området. Svallsedimenten kan följas åt sydväst ner mot kusten genom Burs men i den södra delen av området domineras av områden med tunt jordtäcke och kalt berg. Glacial varvig silt och lera finns i ett område öster om Stånga (fig. 46) men kan även finnas under svallsedimenten. Två stora torvmarker som finns längs med den västra avgränsningen av området (fig. 46) har ursprungligen utgjorts av kärrtorv, men dikning och uppodlig har gjort att underliggande bleke och kalkgyttja kommit i dagen. I område 3 finns det ett relativt stort sammanhängande område med jordmäktigheter på i medletal 5–10 m med upp till 15 m mäktighet (fig. 47).

Jämförelse mellan medelresistiviteten och geologi

Medelresistiviteten från inversionsresultaten har beräknats från markytan ner till ca 10 m djup (fig.48). I delar av område 3 innebär det att medelresistiviteten innehåller bidrag från både berggrunden och dess övertäckning. I Stångaområdet finns dock mäktiga sand- och grusavlagringar som överstiger tio meter, där kommer medelresistivitet att vara en god representant för sand- och grusavlagringen. I andra delar av område 3 är övertäckningen däremot tunn eller obefintlig och där kommer medelresistiviteten att representera den ytliga delen av berggrunden. I höjdlägen kan grundvattenytan ligga förhållandevis långt nere, medan grundvattenytan i dalar och andra låglägen kan ligga närmare markytan. Eftersom grundvattenytans läge liksom grundvattnets sammansättning har stor inverkan på medelresistiviteten så förstår vi att medelresistivitetens koppling till geologi och hydrogeologi kan vara ganska kompli-



Figur 48. Medelresistiviteten för de översta tio metrarna i område 3.



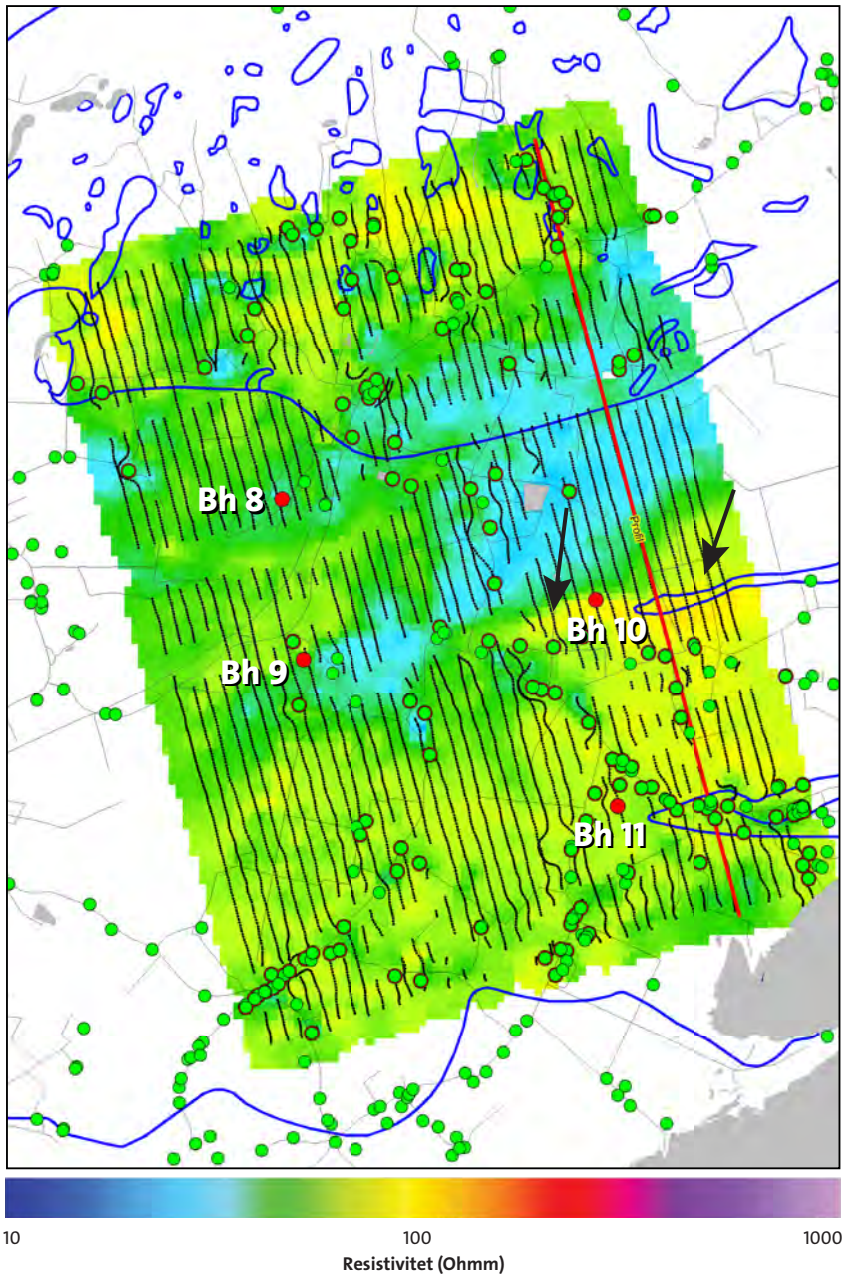
Figur 49. Höjddata och relief över område 3.

cerad. Vidare är kartan över medelresistiviteten resultatet av en interpolation där inte områden med databortfall till följd av störningar finns markerade. Kartan över medelresistiviteten nära markytan (fig. 48) kommenteras översiktligt nedan:

- Områden med hög resistivitet (över 150 Ohmm). De utgörs huvudsakligen av höjdområdet i norr med häll och tunna jordlager (jämför även med reliefkartan i fig. 49). Bergarten som dominerar är revkalksten vilken också är den främsta orsaken till den höga resistiviteten.
- Områden med medelhög resistivitet (90–200 Ohmm). De motsvarar huvudsakligen sammanhängande områden med mäktigare sandavlagringar (mer än 3 m) men även av ett område längst i sydost med kalksten.
- Områden med låg resistivitet (30–90 Ohmm). De representerar områden där bergarterna innehåller större inslag av märgel eller där övertäckningen består av lera, silt, organogena jordarter, kalkbleke, morän och sand där de senare förmodligen har betydande innehåll av silt eller lera. Det lägre resistivitetsintervallet (ca 30–40 Ohmm) är ofta förknippat med fuktiga områden.

En jämförelse mellan kartan över den ytliga medelresistiviteten (fig. 48) och berggrundskartan (fig. 42) visar att de högresistiva ytnära enheterna är kopplade till revkalkstenen i norr och det sydostligt belägna smala stråket av renare kalksten som representerar Ekeformationen. Dock indikerar inte medelresistiviteten på ett tydligt vis bergartsgränsen mellan stromatoporoidékalksten i norr och märgel i söder.

De strukturer som finns markerade i berggrundskartan (fig. 42) är inte synliga i inversionsresultaten.

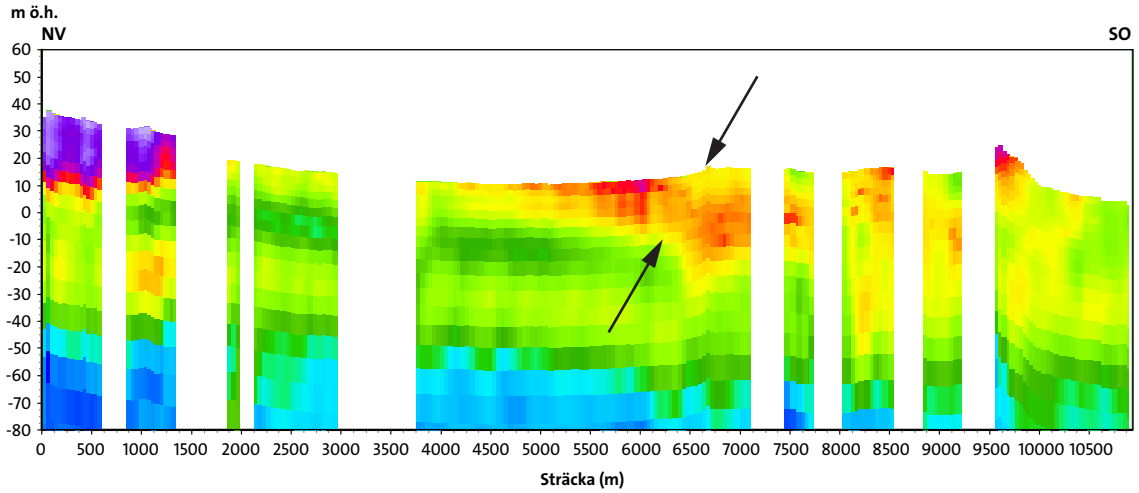


Figur 50. Den nordliga representanten för Ekeformationen kan fortsätta längre västerut än vad som visas på den befintliga berggrundskartan. Kartan visar medelresistiviteten i nivåintervallet –10 m ö.h. till –15 m ö.h. Blå färg indikerar låg relativ resistivitet och gul färg hög relativ resistivitet. Bergartsgränserna (blåa linjer) är hämtade ur berggrundskartan (fig. 10 och fig. 42). De delar av flyglinjerna där data har godkänts kvalitetsmässigt visas i svart. Den röda linjen markerar läget av profilen i figur 51.

Däremot finns en tydlig diskontinuitet i resistiviteten i närheten av det nordligare av de två stråken av Ekeformationen. Diskontinuiteten är tydlig i såväl ytkarta över resistiviteten på höjdnivån –10 m ö.h. till –15 m ö.h. (fig. 50) som i profiler (fig. 51) över området.

I områdets centrala östra del finns en högresistiv berggrundsvolym som delvis sammanfaller med den nordligare av de två kalkstensstråken ur Ekeformationen som sträcker sig in i området österifrån. Den är tydlig i kartan som visar resistiviteten i nivåintervallet –10 m ö.h. till –15 m ö.h. (fig. 50) och visar att stråket sannolikt har större utbredning mot väster än vad berggrundskartan indikerar. En möjlig tolkning blir att just detta stråk av Ekeformationen har en ringa bredd i ytan jämfört med något djupare ned i berggrunden. Formationerna i denna del av område 3 är därför att betrakta som heterogent uppbyggda och kan inte betraktas som horisontella lager.

Enligt berggrundskartan (fig. 42) ska område 3 domineras av märgel. I jämförelse med de andra

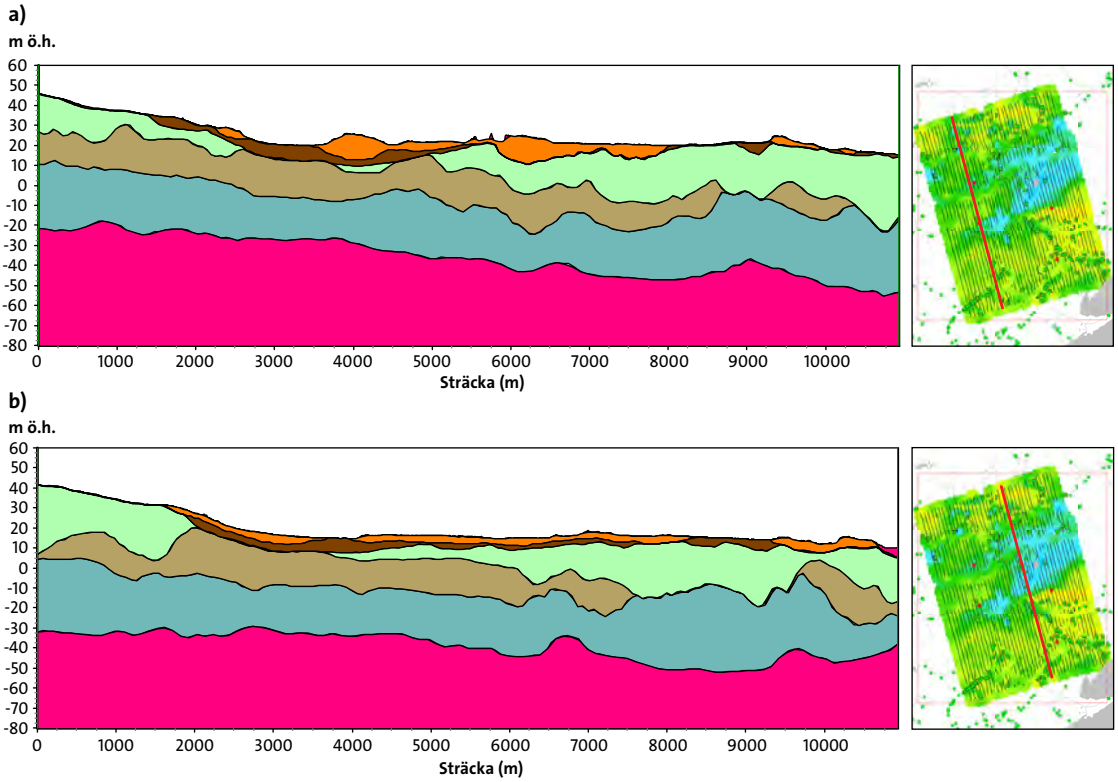


Figur 51. En diskontinuitet som indikerar en skarp förändring av mäktighet alternativt subvertikal förskjutning av den högresistiva kalkstenssekvensen. Profilens läge framgår av figur 50.

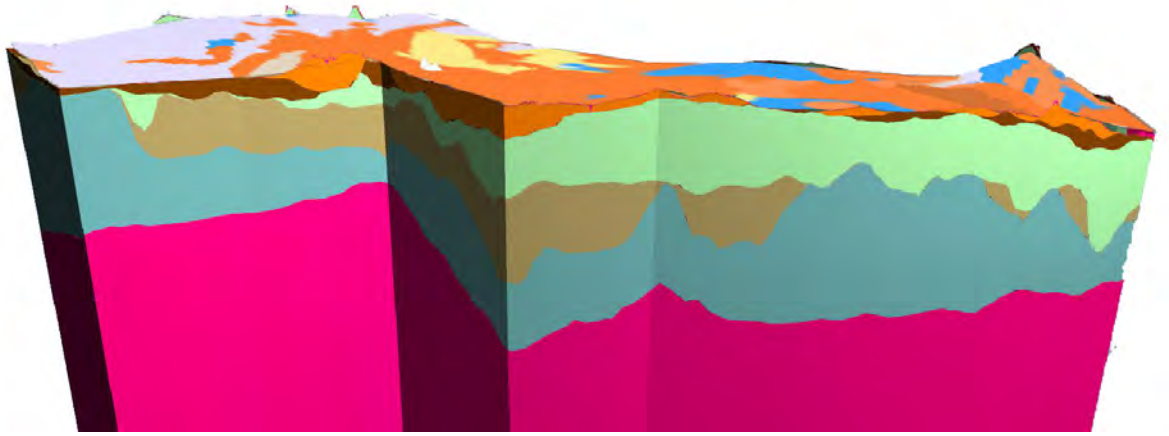
Tabell 7. Beskrivning av de lager som ingår i den tredimensionella geologiska modellen för område 3.

Lager (benämning i 3D-modellen)	Geologisk beskrivning samt kommentarer	Resistivitetsintervall enl. inversionen, typiskt (Ohmm)
Berggrund mättad med salt grundvatten	Samling av berggrundslager som inte har klassificerats m.a.p. möjliga bergarter men som tolkas vara mättad med salt grundvatten.	< 40
Nedre kalksten	Lagret klassificeras som en variant av kalksten med något inslag av märgel, där märgeln förekommer spritt i lagret eller som tunnare skikt.	50–80
Märgel	Lagret klassificeras som märgelrik kalksten till märgel p.g.a. dess lägre resistivitet. Lagret betraktas som en möjlig akvitard som skulle kunna ha barriärliknande effekt på grundvattenströmning (se även beskrivningen av den hydrogeologiska modellen nedan). Fungerar som en underyta till den undre akviferen. I detta lager finns observationer av salt grundvatten i några borrhål. I den centrala södra delen av område 3 har detta lager varit svårt att gränssätta, där är modellen således mycket osäker.	30–50
Övre kalksten	Lagret tolkas utgöra en variant av kalksten, ungefär som nedre kalksten ovan.	60–110
Jord	Benämningen jord är ett samlingsnamn för olika typer av morän och siltiga till leriga alluviala avlagringar.	40–60
Sand–grus	Alluviala avlagringar som domineras av sand och grus. Den högresistiva delen av detta lager tolkas utgöra den övre akviferen.	70–150
Havsytinfluens	I den sydöstra delen av block 3 finns ett havsnära område där resistiviteten är förhållandevis låg i ytnära sektioner och där det inte går att utesluta påverkan av havsvatten i den ytnära delen av den geologiska sekvensen. I dessa saltvatteninfluerade delar klassificeras inte den geologiska enheten men rimligen är innehållet detsamma som lateralt utanför influensområdet.	20–40

tre områdena (område 1, 2 och 4) saknar också område 3 större berggrundsenheter med de höga till mycket höga resistiviteter som är förbundna med rena kalkstenar. Resistivitetsprofilerna över område 3 visar dock att tydlig lagring förekommer i berggrunden där ett par av dessa lager har högre resistiviteter. Sammantaget indikerar den lagrade resistivitetsfördelningen att delar av den märgeldominerade bergmassan torde innehålla väsentliga inslag av intervall mer relativt större inslag av kalkstenslager. Dessa karbonatrikare lager, med relativt sett högre resistiviteter, kallas kalksten, övre och kalksten, undre i den geologiska modellen trots att de knappast utgör rena kalkstenar. I de borrningar som finns dokumenterade i brunnsdatabasen noteras ofta kalkberg eller kalksten vilket också stödjer lagerindelningen i den framtagna 3D-modellen över område 3.



Figur 52. Den geologiska modellen innehåller lager som representerar olika geologiska enheter. Orange färg = sand–grusavlagringar. Brun = övrig jord. Mintgrön = relativt högresistiva kalkstensdominerade enheter med lågt inslag av märgelsten/lerig kalksten/karbonatrik lersten. Ljusbrun = lågresistiva enheter som är märgelrika/lerrika. Turkos = relativt högresistiva kalkstensdominerade enheter med lågt inslag av märgelsten, lerig kalksten eller karbonatrik lersten. Rosaröd = ospecificerad berggrund mättad med salt grundvatten.. Profilernas lägen redovisas i de små kartorna som röda linjer.



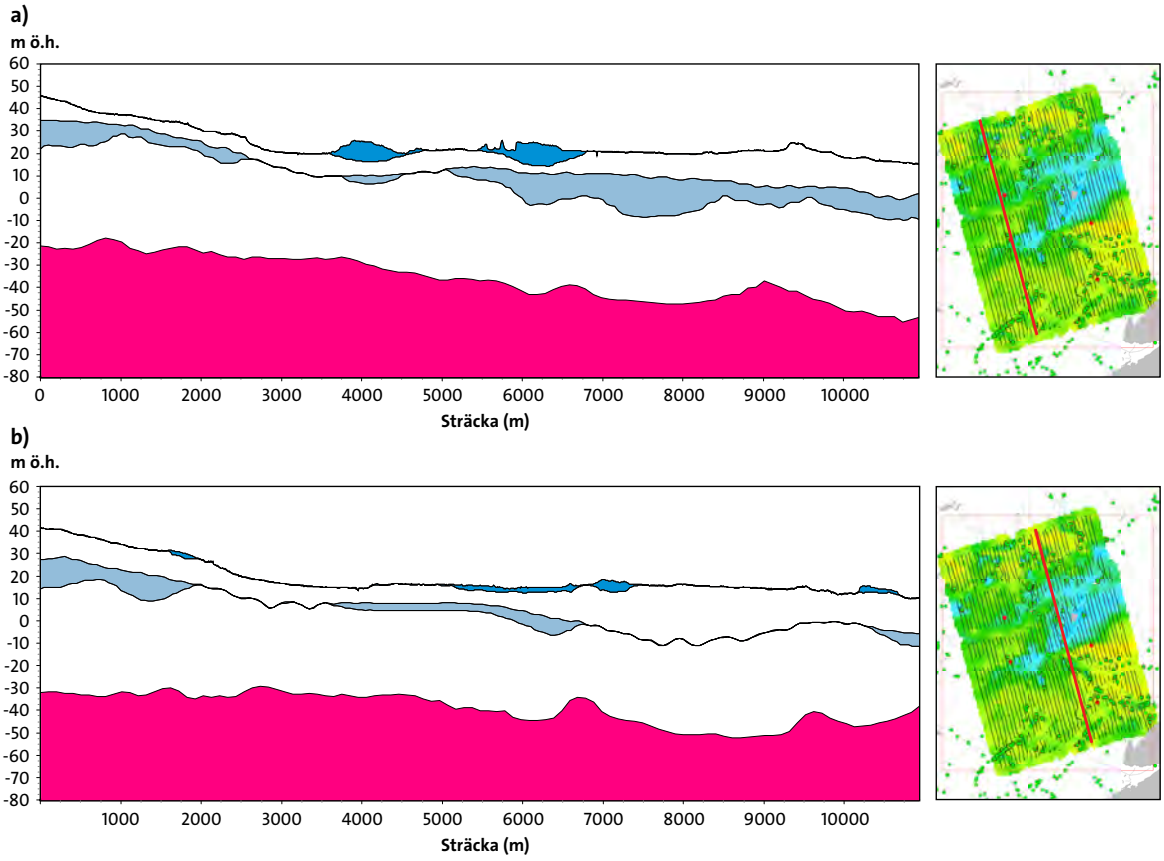
Figur 53. Ett utsnitt av den tredimensionella geologiska modellen över område 3. Betraktelsepunkten ligger i sydväst och den vertikala skalan är överdriven 30 ggr i förhållande till den horisontella. Markytan är draperad med en förenklad version av jordartskartan. Färgsättningen är densamma som i figur 52. De lager som ingår i den hydrogeologiska modellen beskrivs i tabell 8.

Geologisk 3D modell och hydrogeologisk modell

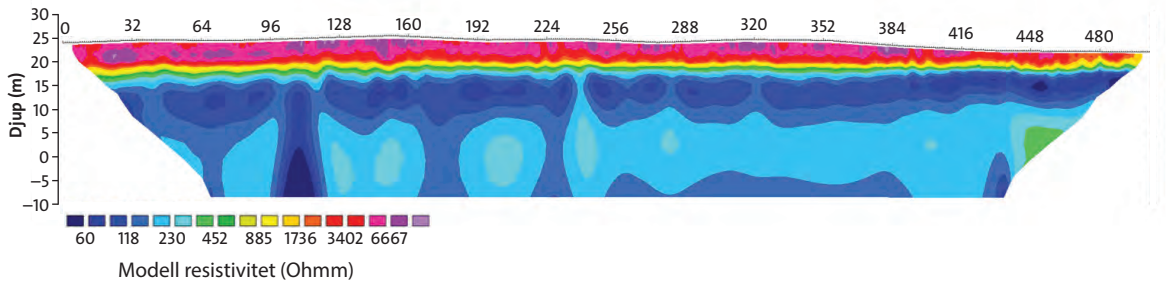
De geologiska och hydrogeologiska modellerna i 3D är skapade enligt grunderna som beskrivs i avsnittet *Modellering av resultat i 3D*. 3D-modellerna finns i GeoScene3D-format och innehåller olika lager. Lagren i den geologiska modellen är beskrivna nedan i tabell 7. Ett par utsnitt från den geologiska 3D-modellen visas i profilform i figur 52 och som en 3D-modell i figur 53. Två utsnitt från den hydrogeologiska 3D-modellen visas i profilform i figur 54.

Tabell 8. Lager som ingår i den tredimensionella hydrogeologiska modellen för område 3.

Lager (benämning i 3D-modellen)	Hydrogeologisk beskrivning samt kommentarer
Berggrund, ospecificerad, som är mättad med salt grundvatten	Detta lager i den hydrogeologiska modellen representerar berggrund som tolkas vara mättade med salt grundvatten.
Akvifer 2	Detta lager i den hydrogeologiska modellen klassificeras som en undre akvifer. Lagret är högresistivt i jämförelse med den allmänna resistivitetsnivån inom område 3 och tolkas därför kunna representera kalkstensdominerad berggrund. Därmed finns möjlighet att den mekaniska kompetensen kan vara något förhöjd jämfört med de märgeldominerade geologiska enheter som annars förefaller dominera område 3. Viss förhöjd sprickbildning kan förekomma, vilket i samverkan med det underlagrande lågresistiva märgelrikare lagret (akvitarden) kan leda till bildning av grundvattenreservoirer.
Akvifer 1	Detta lager i den hydrogeologiska modellen representerar relativt högresistiva alluviala avlagringar som domineras av sand och grus. Dessa lager tolkas utgöra den övre akviferen och bedöms generellt besitta hög potential för grundvattenuttag. Genom att studera akviferens uppbyggnad och position i förhållande till områdets terräng och geologiska uppbyggnad kan sannolikt vissa delområden inom akviferen identifieras som mer lovande än andra.
Havsvatteninfluens	Som beskrivits i den geologiska modellen finns områden med möjlig influens av ytligt salt havsvatten i den sydöstra delen av område 3.



Figur 54. Den hydrogeologiska modellen innehåller lager med olika hydrogeologiska enheter. övre akvifer = mörkblå; Undre akvifer = ljusblå; geologiska enheter mättade med salt grundvatten eller ytligt havsvatten = rosa. Profilernas läge redovisas i de små kartorna.



Figur 55. Resistivitetssektion ur inversion av data från markmätning vid Västerlaus (se bilaga 1 för läge).

Borrhål och geofysiska profilmätningar

Resultaten av borrningar visas i bilaga 1 och 2, resultaten av markmätningarna visas i bilaga 3. Delar av resultaten kommenteras också i anslutning till beskrivningarna av de övre och undre akvifererna nedan.

Två av borrhålen (BH 8, Stånga Stallause, BH 9, Västerlaus) som borrades i SGUs regi under 2016 är lokaliserade där alluviala avlagringar med sand och grus dominerar, de ligger i den centrala västra delen av område 3 i trakten av Stånga där också en kommunal vattentäkt är belägen. Ett borrhål (borrhål 10,Burs Änges) sänktes i den centrala östra delen av område 3 mot den diskontinuitet som beskrivs i avsnittet *Kommentarer om resistiviteten i jämförelse med berggrundskartan*. Borrhål 11, Burs–Amunde utfördes i sydöstra delen av område 3 där alluvialt material dominerar i ytan.

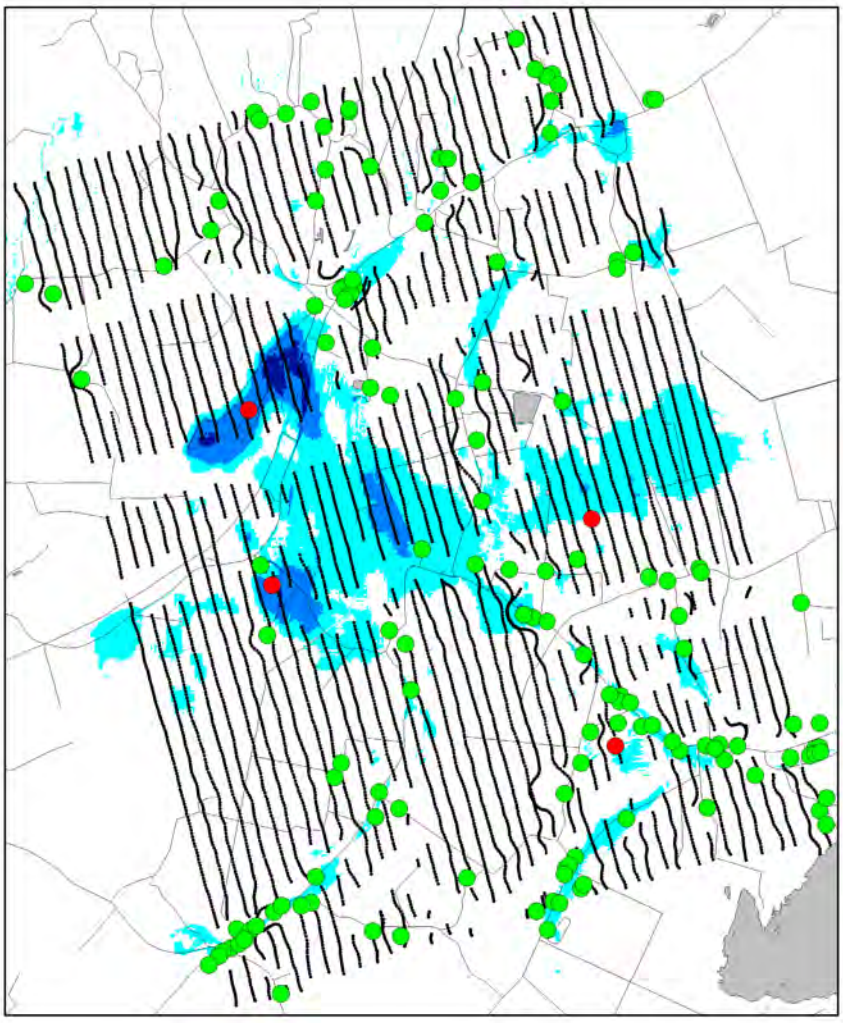
Geofysiska profilmätningar utfördes av SGU i område 3 under 2016, både med georadar och med resistivitetsmätning. Profillägen framgår av bilaga 3.

För en av profilerna mättes både resistivitet och georadar, profilen ligger vid borrhål 9, Västerlaus. I data från georadarmätningen är reflexerna tydliga från grundvattenytan och från botten på sand- och gruspacken. Resistivitetssektionen (fig. 55) visar att den torra sanden eller gruset ovanför grundvattenytan är mycket högresistiv medan resistiviteten sjunker i sanden eller gruset under grundvattenytan. Djupare ned ökar sedan resistiviteten vilket kommer sig av att berggrunden är något mer elektriskt resistiv än den grundvattenmättade sand- och grusavlagringen. Brunnsborrningen som utfördes vid profilen under 2016 i SGUs regi visar att det finns en ca 15 m mäktig avlagring med sand och grus vilket stämmer mycket väl med var gränsen mellan sand–grus och berggrund ligger enligt de geofysiska markmätningarna.

Förutsättningar för grundvattenuttag i område 3

I området finns två kommunala grundvattentäkter, Burs och Stånga, båda baserade på grundvattenuttag från brunnar i jordlagren. Överlag finns det enligt brunnsarkivets uppgifter förutsättningar för enskilda grundvattenuttag på ca 1 000–6 000 l/h i området (fig. 14b). SGUs samlade bedömning från tidigare känt underlag (grundvatten från både jord och berg) är att det i områden med mäktiga jordlager bör gå att ta ut mellan 6 000 och 12 000 l/h (fig. 14 a & b).

Den tolkade mäktigheten av de övre akvifererna redovisas figur 56. De två kommunala vattentäkter som finns i område 3 tar sitt vatten från brunnar i jordlagren inom det som klassificerats som den övre akviferen. Området i närheten av den kommunala vattentäkten i Stånga syns tydligt i inversionsresultaten som högresistiva markvolymer vilket tolkas motsvara sand- och grusavlagringar. Enligt utredningar gällande vattentäkten som gjordes 1967 (SGU 09_044) så ligger grundvattenytan i området på mellan +20 och +24 m ö.h. Brunnarna i denna del av området är inte borrade ned till berg utan har avslutats vid ca 7–10 m då man fått tillräckligt med vatten (7000–12000 l/tim) på dessa djup. Det är



Figur 56. Mäktigheten hos den övre akvifereren inom område 3. Mäktighet: 2–5 m = ljusblå, 5–10 m = mellanblå, >10 m = mörkt grönblå. Gröna punkter visar brunnar, röda punkter visar brunnar borrade under 2016 i SGUs regi. Svarta linjer visar kvalitetsgodkända data från den flygburna TEM-mätningen.

sannolikt att det i detta område kan finnas sand- och grusavlagringar med mäktighet av 15–20 m med en vattenmättad zon på 5–15 m.

Lite längre söderut ligger den kommunala vattentäkten vid Burs. Vattentäkten utgörs av en grävd brunn som är ca 3,5 m djup och grundvattenytan ligger mellan på 2–2,5 m djup från marknivån. Inga uppgifter finns om jordarten vid brunnen men enligt SGUs jordartskarta och brunnar i brunnsarkivet är det svallsediment i form av sand eller grus i området. Avlagringarna ligger i en grund sänka i berget men sticker ändå upp som en svag förhöjning i landskapet och mäktigheten uppgår som mest till ca 5 m.

Den övre akvifereren som har avgränsats utifrån tolkning av TEM-data och geologiska stödjande data, har sin största sammanhängande utbredning i den centrala delen av område 3. Dessa akviferer tolkas stryka i öst–väst längs en sträcka av nästan sju kilometer inom mätområdet. Det är i den övre akviferens västliga del som den kommunala vattentäkten vid Stånga finns lokaliserad. Dessa alluviala avlagringar är som mäktigast i trakterna av den kommunala vattentäkten men är intressanta ur ett grundvattenperspektiv även österut. Med tanke på terrängformerna, där den tolkade övre akvifererens östliga utlöpare ligger i en svacka som sammanfaller med ett vattendrag, förtjänar också denna östliga del att kontrolleras med avseende på mäktighet och hydrauliska egenskaper. En nackdel är dock att utlöparen ligger relativt långt från sammanhängande bebyggelse.

Den övre akviferen förekommer också som några spridda mindre enheter inom område 3. I de flesta av dessa finns dock borrhål sedan tidigare samtidigt som de förefaller ha relativt begränsad lateral utbredning och relativt ringa mäktighet.

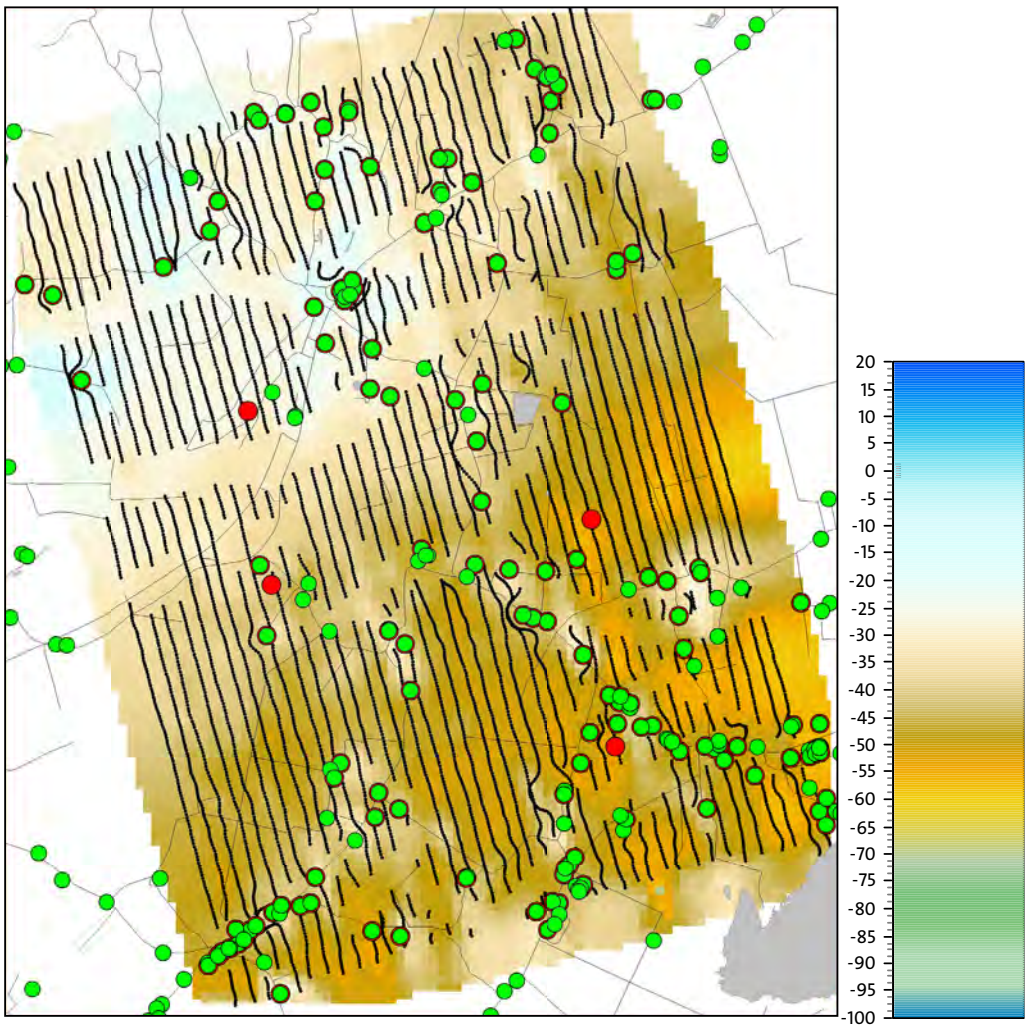
Tabell 9 Jämförelse mellan borrhålsinformation och läget av den tolkade undre akviferen.

Brunns-id, benämning, koordinater (Sweref99TM)	Borrhåls-längd (m), kapacitet (l/tim)	Eventuella noteringar om vatteninflöde	Relation till tolkat läge för den undre akviferen. Övriga kommentarer.
Saknas, borrat 2016 i SGUs regi, Burs Änges, 6351298/712530	40/420	På 22 m 240 l/tim, 25,5 m 420 l/tim	Borrhålet ska penetrera den undre akviferen mellan borrhålslängd cirka 18–28 m. Vattnet kommer inom den undre akviferen.
69100096, Ängels, koordinater 6350799/712349	45, 300		Förväntad borrhålslängd för den undre akviferen är ca 22–27 m. Ursprunglig kapacitet var 600 l/tim, men med något salt vatten på 43 m. Hålet därför tätat till 36 m djup vilket sänkte kapaciteten till den slutliga (300 l/tim). Det sannolika är att vattenflödet kommer mellan 25–35 m under markytan 36 m, d.v.s. ca 5–10 m under den undre akviferen. Bergart anges till kalkberg med märgel i brunnsprotokollet.
59300116, Burs Salmans, koordinater 6349911/710000	35, 1500	Vatten efter tryckning från 4–35 m.	Förvänta borrhålslängd för undre akviferen är ca 16–25 m. Obekant inom vilken del av den tryckta sektionen som vattnet kommer in, men den undre akviferen ligger inom den tryckta sektionen. Bergarten anges till lagrad kalksten. Möjligen sätter lermineral i märgelskikt igen hydrauliska passager varför hydraulisk tryckning gett så gott resultat.
59300074, Burs Flors, koordinater 6349743/710202	31, 900	Vatten vid 22 m, 25 m, 28 m	Förväntad borrhålslängd för den undre akviferen är ca 18–26 m dvs. vattnet kommer till stor del inom den undre akviferen. Bergarten anges vara märgelsten i brunnsprotokolletmen resistiviteten tyder på att även en del kalksten bör förekomma.
69100039, Sigdes, koordinater 6350687/713870	33, 2400	Ingen uppgift	Förväntad borrhålslängd för den undre akviferen är ca 22–30 m. Borrhålet når endast någon meter längre än underkanten på den undre akviferen varför en del vatten borde komma från denna. Bergarten anges till övervägande del vara medelhård kalksten i brunnsprotokollet.
69100060, Lillrone, koordinater 6357289/711582	43, 360	35 m och 42 m	Förväntad borrhålslängd för den undre akviferen är ca 22–35 m, d.v.s. vattnet kommer väsentligen i underkanten av den undre akviferen och ca 7 m under den. Bergarten är enligt brunnsprotokollet kalkberg som är grått till blått.
69100282, Frigsarve, koordinater 6355696/709766	26, 120	26 m (sött) och 30 m (bräckt vatten, sektionen tätats bort)	Förväntad borrhålslängd för den undre akviferen är ca 9–16 m, vatteninflödena ligger dock djupare.
914564034, Liffride, koordinater 6356501/709029	25, 600	23 m	Förväntad borrhålslängd för den undre akviferen är ca 11–29 m, dvs. vatten kommer in i förväntad sektion.

Identifieringen och avgränsningen av den undre akvifereren i den hydrogeologiska modellen är resultatet av modelltänkande. Bakgrunden som styrt identifieringen av de volymer som klassificerats som den undre akviferen finns beskriven i ett par textstycken ovan i rapporten. I tabell 9 beskrivs åtta borrhål som valts därför att de penetrerar några av de berggrundsvolymer där tolkningen indikerar att en undre akvifer kan förekomma. Vattenförekomsten i respektive borrhål har jämförs med läget av den tolkade undre akvifereren. Det är dock viktigt att komma ihåg att borrprotokollen kan vara svårtolkade. Det är oftast inte entydigt var vattnet kommer in i borrhålet, i sådana fall har förutsatts att det mesta grundvattnet kommer från sprickplan i de nedre delarna av borrhålet. Slutsatsen av jämförelsen är att det tycks finnas en viss överensstämmelse mellan det tolkade läget av den undre akviferen och var i borrhålet som grundvatten kommer in. Den konceptuella modellen som ligger till grund för den undre akviferen tycks därför ha viss relevans.

Förekomst av salt grundvatten

Salt grundvatten förekommer på djupet inom hela område 3, tolkningen av djupläget för var det salta grundvattnet baseras på de principer som beskrivs i avsnittet *Översättning av resistivitet till saltvattennivå i Gotlands bergartsvolym* och i Dahlqvist m.fl. (2015). I figur 57 redovisas den tolkade nivån på det salta grundvattnets överyta. Ett problem med den tolkade nivån för det salta grundvattnet är att den ligger djupare längre mot sydost trots att den sydöstliga delen av område 3 ligger närmare havet.



Figur 57. Tolkad nivå hos det salta grundvattnets överyta (m ö.h.) inom område 3.

Bland möjliga förklaringar finns att 40 Ohmmeters-ytan följer en märgelenhets övre yta, dvs. att den tolkade saltvattensgränsen egentligen representerar en litologisk gräns. En annan möjlighet är att det finns en vattenströmning av sötvatten som följer den allmänna stupningen hos berggrundens lager och att denna grundvattenström trycker undan salt grundvatten, i så fall är den nuvarande tolkningen av ytan rimlig.

I den södra delen av område 3 finns lokala områden med ytligare liggande salt grundvatten. Dessa sammanfaller med områden där dels TEM-data är störda p.g.a. bebyggelse men dels också med befintliga brunnar. Frågan är alltså om bestämningen av nivån hos den salta grundvattenytan i dessa områden är osäker eller felaktig till följd av lokala databortfall i TEM-data eller om den förhöjda nivån för det salta grundvattnet orsakas av pumpningen av sötvatten i de brunnar som finns, s.k uppkoning.

I den sydöstra delen av område 3 uppträder ytliga lågresistiva områden som tolkas indikera påverkan av havsvatten. Dessa finns representerade i de geologiska och hydrogeologiska modellerna.

Salt grundvatten påträffas också i en del borrhål på nivåer som ligger ovanför den huvudnivå som presenterats i figur 57. Inte sällan sammanfaller dessa saltvattenindikationer med det lågresistiva lager som kallas märgel i den geologiska modellen. Hypotesen är att den långsamma vattenomsättningen i lerrik märgel lett till att fickor av relikt salt vatten fortfarande existerar inom märgeln och att dessa kan ge lokala problem med salt grundvatten även på relativt grunda nivåer.

Område 4: Sudret

Sudret ligger längst söderut på Gotland och består till stora delar av hällmark med låg växtlighet, t.ex. olika sorters gräs och enbuskar. Det finns områden som karakteriseras av olika strandvallsstadier med bland annat höga vallar och klapperstensfält. Betes- som odlingsmark är ett vanligt inslag liksom skog och mindre områden med myrmark. De inre delarna av Sudret har ett stort inslag av tall i blandskogen. Den samlade bebyggelsen finns i Burgsvik, i övrigt är det vanligt med spridda fastigheter varav en del är fritidsboenden. Söder om undersökningsområdet är landskapet mycket öppet och kargt med alvarmark och odlingsmarker med mycket tunna jordlager. På Sudret finns en större sjö, Mjölhatte träsk, som ligger i det nordöstra hörnet av undersökningsområdet. Det är en grund sjö, som tidigare varit en havsvik och som avskiljts från havet genom den relativa landhöjning som sker i området (några decimeter relativ landhöjning sedan början av 1800-talet och mellan 2–3 m sedan 1000-talet). Området kring Mjölhatte träsk är något annorlunda i sin karaktär, här finns en relativt frodig växtlighet i form av blandskog och högre buskskikt. Stockviken i nordost är en igenväxt vik som är i ett senare sjöbildningsstadie som är relativt igenväxt med hög vass. Muskmyr är en agmyr med öppna vattenspeglar och ett Natura 2000-område. Myren avvattnas via ett slukhål nordväst om myren. Vattnet kommer sedan fram i form av en källa väster om slukhålet där det bidrar till ytterligare en agmyr. Dessa ekosystem försörjs troligen även med vatten från det ytligaste grundvattnet.

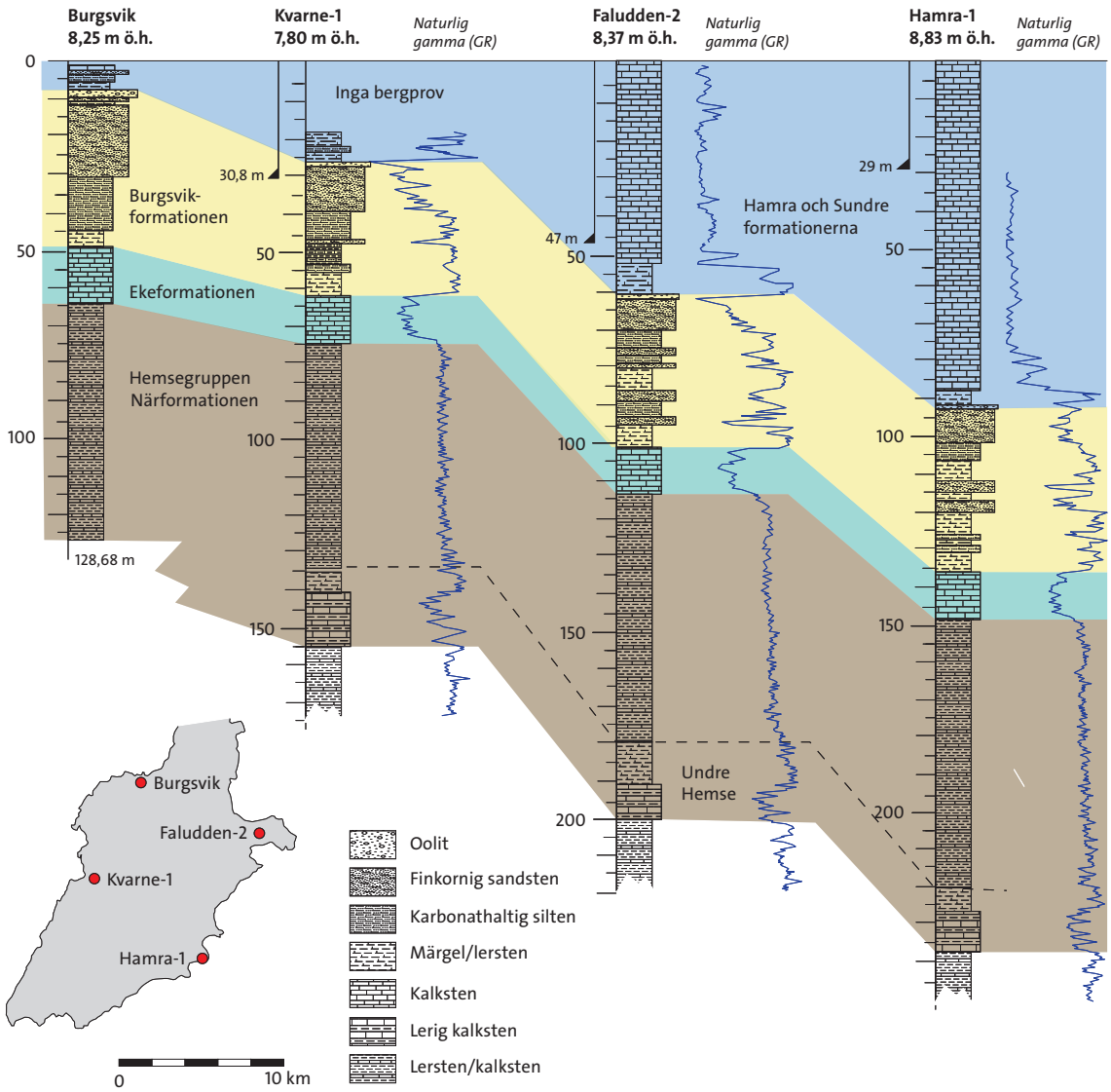
OPAB har utfört ett stort antal prospekteringsborrningar på Sudret varav 10-talet av dessa även innefattar bergartsbeskrivningar av borrkax och resultat från geofysisk borrhålsloggning av den siluriska berggrunden. Dessutom finns i Burgsvik en kärnborrning utförd av SGU 1915 till 128,68 m djup (Hede 1919) vilken ger värdefull information om berggrunden som stöd till tolkningen av OPABs kaxprovsbeskrivningar och resultaten från de geofysiska loggningarna i deras borrningar. I figur 58 illustreras förutom lagerföljden i Burgsviksborrningen en tolkning av lagerföljderna i OPAB borrningarna Kvarne-1, Faludden-2 och Hamra-1. Ner till ca 150 m djup består berggrunden överst av bergarter tillhörande Hamra och Sundreformationerna följt av Burgsvik-, Eke-, och Närformationernas bergarter (Hemsegruppen, fig. 7).

Berggrunden består överst av ett kalkstensdominerat avsnitt tillhörande Hamra och Sundreformationerna som successivt tilltar i tjocklek i sydsydostlig riktning. Hamraformationen karaktäriseras av lerig algkalksten, mindre revkomplex och finkristallin krinoidékalksten. Sundreformationen som utgör berggrundsytan på den sydöstra delen av Sudret består i huvudsak av lagrad, grovkristallin, ofta rödaktig krinoidékalksten samt revkalksten (fig. 59).

Burgsviksformationen består av ett uppemot 50 m mäktigt avsnitt med varierande karbonathaltiga siltstens- och sandstenslager samt lersten och märgelsten. Övre delen utgörs av ett uppemot 10 m mäktigt lager av Burgsvikssandsten (fig. 60). Sandstenen består av välsorterad, fin- och medelkornig, glimmerrik kvartsarenit. Denna överlagras i sin tur av ett uppemot fem meter mäktigt oolitiskt kalkstenslager. Den underliggande 12–15 m mäktiga Ekeformationen består av homogen kalksten som tydligt framträder på gammaloggen som ett parti med låga gammavärden. Ekeformationens överyta påträffas på 50 till 90 m djup.

Hemsegruppen domineras av Närformationen som består av en 70–80 m mäktig sekvens med karbonatrik lersten, lerig kalksten och märgel. Denna sekvens överlagrar en ca 10 m mäktig lerig kalksten (sannolikt undre Hemselager) som i sin tur överlagrar en växellagrad sekvens med märgel, lersten och lerig kalksten som fortsätter ner till gränsen för de ordoviciska lagren på 420–480 m djup.

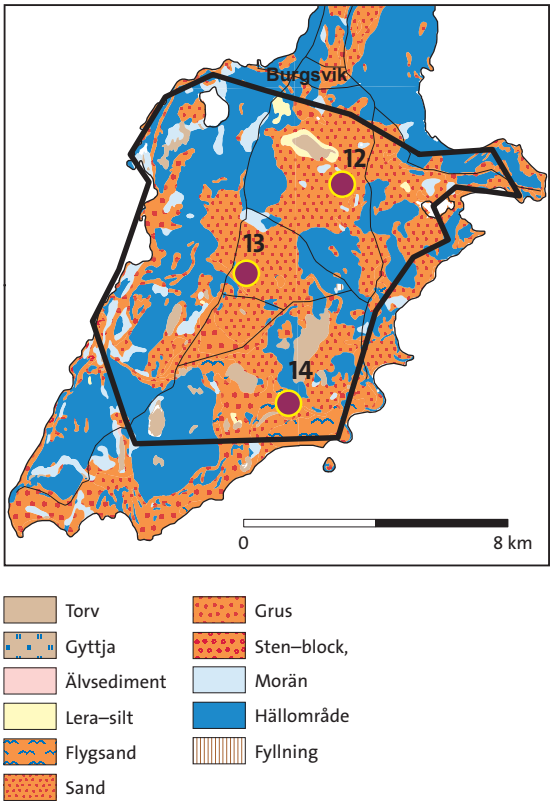
I områdets centrala och sydöstra delar är jordtäcket mer sammanhållet medan jordtäcket i de västra delarna i huvudsak är tunt eller saknas (fig. 61). I princip hela området ligger under Litorinahavets nivå och är starkt präglat av kust och strandprocesser. De dominerande jordarterna utgörs därför av svallsand och svallgrus även om det förekommer några mindre torvmarker och områden med moränlera (fig. 61). Moränleran förekommer främst som mindre områden insprängda i den västra delen, kännetecknad av tunt jordtäcke och kalt berg. I den sydöstra delen av området finns flygsandområden



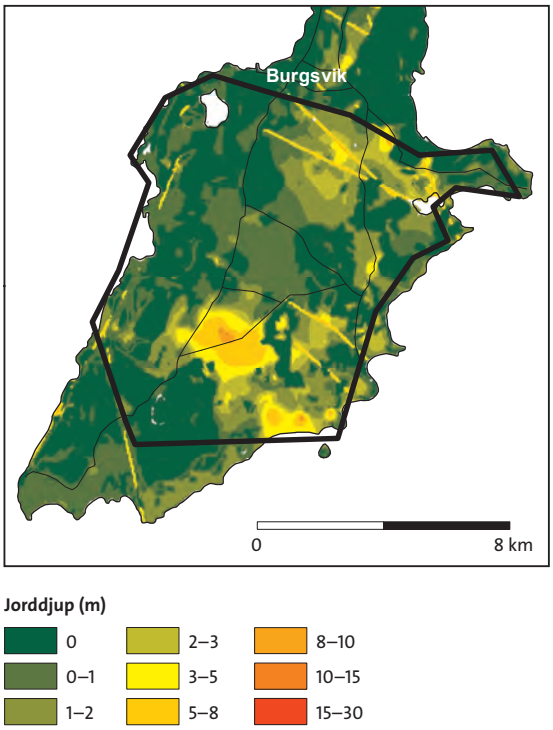
Figur 58. Illustration av berggrundens uppbyggnad i kärnborrningen Burgsvik, och OPAB-borrningarna Kvarne-1, Faludden-2 och Hamra-1. Informationen är baserad på Hede (1919) och OPABs borrhålsrapporter.

Figur 59. Sundrerev vid Holmhällar (6314776, 700451) på sydöstra delen av Sudret. Dessa består av grovkristallin fragmentkalksten och stromatoporoidékalksten. Foto: Mikael Erlström.

Figur 60. Kustskärning vid östra sidan av Sudret norr om Hallbjäns (6315826, 691623). Underst framträder Burgsviksandstenens övre del som består av medelkornig kvartsarenit. Denna överlagras av oolitiska kalkstenslager som successivt övergår i lager med algkalksten och krinoidékalksten som utgör Hamraformationens undre del. Foto: Mikael Erlström.



Figur 61. Jordartskarta över område 4. Undersökningsområdet markeras med den svarta ramen.



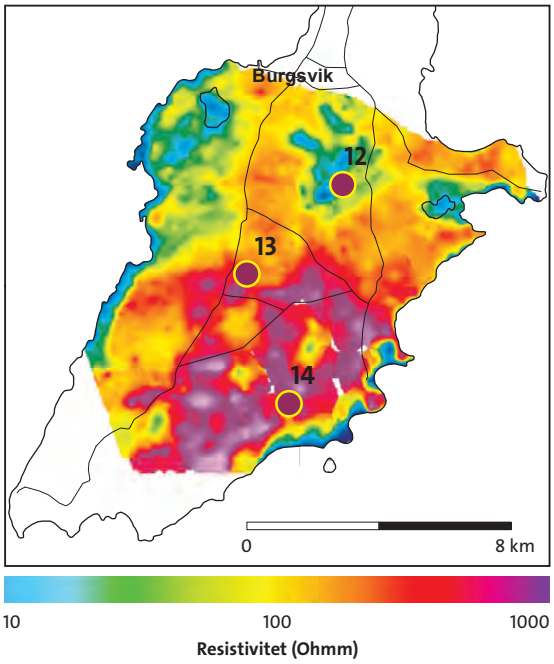
Figur 62. Jorddjupskarta över område 4. Undersökningsområdet markeras med den svarta ramen.

särskilt i området kring Holmhällar. Såväl Ancylusgränsen på ca 20 m ö.h. som Litorinagränsen på ca 13 m ö.h. är väl utvecklade med tydliga strandvallar där Litorinavallen är särskilt tydlig öster om Langmyr. De delar som ligger ovanför Ancylusgränsen framträder tydligt som områden med kalt berg öster och nordost om Sundre och höjdområdet sydväst om Vamlingbo. På grund av den omfattande svallningen i området och Ancylussjöns och Litorinahavets transgressioner kan det förekomma både torv och finkorniga jordarter som lera och silt under svallsedimenten.

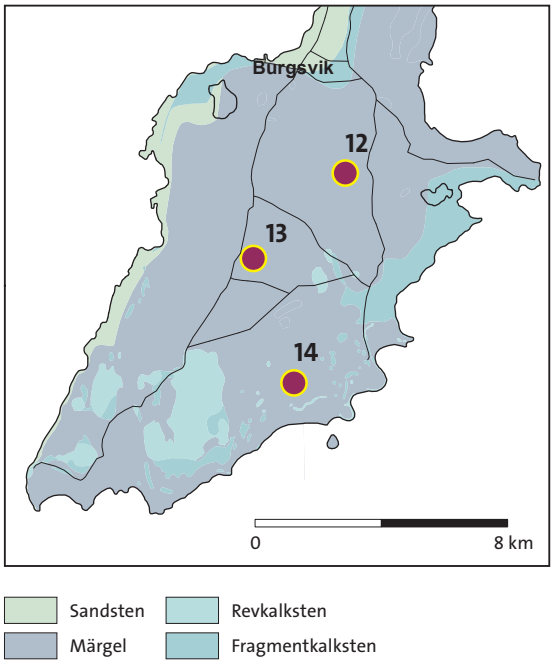
Jorddjupen är generellt små på Sudret, ofta max 1 m (fig. 62). Vid Vamlingbo finns det enda större området med jordmäktighet på 5–10 m som hittills lokaliserats (fig. 62).

Medelresistiviteten från inversionsresultaten har beräknats från markytan ner till cirka tio meters djup (fig. 63) och jämförts med sammansättningen av de ytliga geologiska lagren (fig. 61 och fig. 64). Man kan urskilja tre resistivitetsintervall, med olika geologisk uppbyggnad och geoelektriska egenskaper:

- Områden med hög resistivitet (över 300 Ohmm) som representerar höjdområden i sydost med häll och tunna jordlager (oftast mindre än 3 m). Geologin domineras här av revkalksten och sandiga jordar vilket är orsaken till den höga resistiviteten. Troligen är stora delar av de översta tio metrarna ovanför grundvattenytan i dessa områden.
- Områden med medelhög resistivitet (80–300 Ohmm), motsvarande områden med märgel och kalksten, oftast som berg i dagen eller med tunna jordtäcken men även med överlagrande morän och sand. I områden med sand kan mäktigheten vara betydande men grundvattenytan ligger troligen relativt ytligt (ca 1–3 m djup).
- Områden med låg resistivitet (20–80 Ohmm), motsvarande i huvudsak områden med lera, silt, organogena jordarter, kalkbleke, morän, men i vissa fall även där berggrunden går i dagen och



Figur 63 Medelresistivitet för de översta 10 m i område 4. Undersökningsområdet inom den svarta ramen. Punkterna 12, 13 och 14 är borrhål utförda under projektets gång (Bilaga 1).



Figur 64. Berggrundskarta över område 4. Undersökningsområdet inom den svarta ramen. Figur 65 Höjddata över område 4. Undersökningsområdet inom den svarta ramen.

består av märgel. Områden med resistivitetsintervallet 20–50 Ohmm är knutna till fuktiga områden ofta i form av myrar och sjöar. Längst i väster finns ett smalt område med lägre resistivitet (20–30 Ohmm), som kan knytas till ytlig förekomst av Burgsvikssandsten och eventuellt inslag av brackvatteninträngning. Längs kusten i sydost är de låga resistiviteterna knutna till brackvatteninträngning i ytliga jord- och berglager.

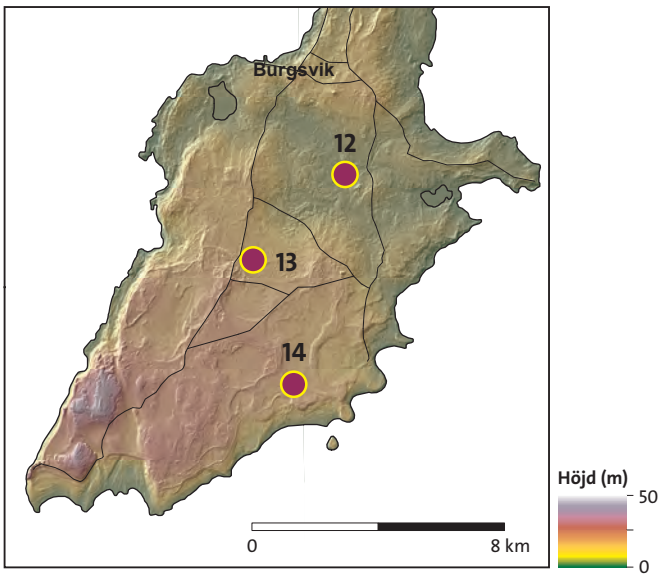
Det finns en viss koppling mellan SkyTEM-data och höjddata (jämför figur 63 & 65). Bland annat kan man se att de låglänta områdena i norra delen av området domineras av en lägre resistivitet. Området karakteriseras av företrädesvis märgel med leriga eller organogena jordarter. Det är också troligt att det kan finnas inslag av saltpåverkat grundvatten i berggrunden, det är inte mer än några tusen år sedan hela detta låglänta område var en havsvik. De sandiga jordarna i detta område är till stor del mättade med grundvatten men har troligen även inslag av finmaterial i sig vilket också sänker resistiviteten ytterligare. På samma sätt är högre liggande områden oftast kännetecknade av hög resistivitet. En tolkning är att dessa områden består till större del av mer erosionstålig berggrund.

Geologisk 3D-modell område 4

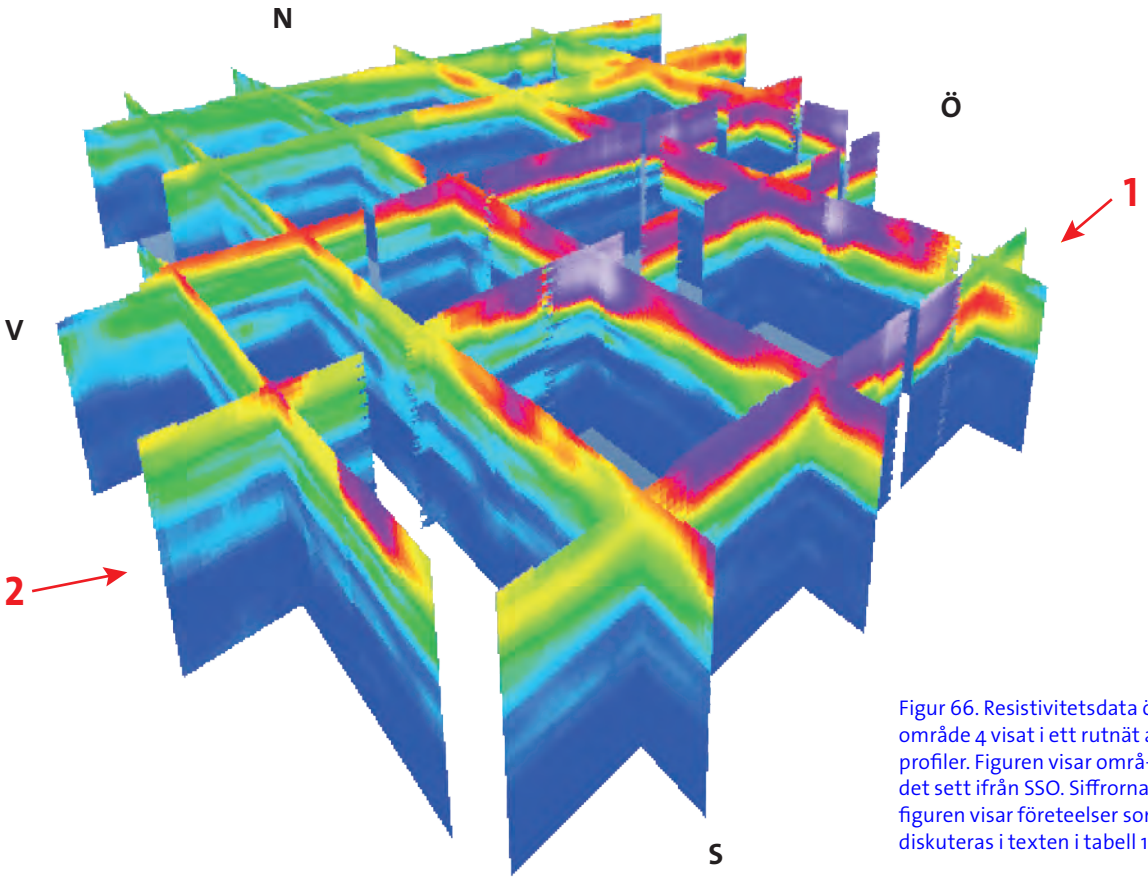
Den geologiska modellen på Sudret är indelad i sex lager (tabell 10) först och främst baserat på resistiviteten i marken men vi har även vägt in och gjort gränsdragningar baserat på geologisk information från brunnsprotokoll, jord- och berggrundskartor, jorddjupskarta, borrhålsloggning, m.m. I figur 66 och 67 visas tio profiler i ett rutnät över området, profilerna går i riktning nord–syd och öst–väst och visar resistivitetsdata (fig. 66) samt den geologiska modellen (fig. 67).

Tabell 10 Beskrivning av de lager som ingår i den tredimensionella geologiska modellen för område 4.

Lager	Geologisk beskrivning och kommentarer	Resistvitet (Ohmm)
Lager 1	Jordlager med medel till hög resistivitet som mestadels motsvarar sand och grus. I vissa fall har lagret en hög resistivitet (>200) vilket tolkas som att jordlagren är omättade, dvs. ovanför grundvattenytan. Lagret är till stora delar tunt men det finns områden med större mäktighet, framförallt i området vid Vamlingbo (se även fig. 68).	>80
Lager 2	Jordlager med låg resistivitet. Lagret innehåller jordarter som oftast har en övervägande mängd silt, lera eller organiskt material, men det finns troligen tunna renare sandlager som ligger under grundvattenytan, d.v.s. är mättade med grundvatten. Här finns även sjöar, våtmarker och utdikade torvområden.	20–80
Lager 3	Lagret består av ytlig berggrund med låg resistivitet (jämför med ytliga resistivitetsvärden med grön färg i figur 63). I stora delar av området består lagret av märgelsten tillhörande Hamralagren. I något enstaka fall kan det förekomma karstifierad kalksten i detta lager. Längs sydöstra kusten är det troligt att lagret motsvarar berggrund och jordlager som innehåller salt grundvatten (se nr 1 i fig. 66).	40–80
Lager 4	Berggrund som motsvarar kalksten med lågt lerinnehåll. Lagret kan delas in i två relativt geografiskt avgränsade delar, ett område med något lägre (100–300 Ohmm) resistivitet och ett med riktigt hög (över 300 Ohmm) resistivitet. Den senare är vanligast i östra och södra delen av undersökningsområdet och motsvarar till största delen Hamralagren som här domineras av revkalksten, med en mäktighet på 20–60 m. Längst mot sydost finns även Sundre revkalksten (upp till 10 m mäktig) i detta lager. I norr och väst motsvarar lager 4 Hamralagren, en mer finkristallin kalksten med något mer lerinnehåll, som har mäktighet på upp till 20 m. Lager 4 minskar mot nordväst och övergår till märgelrikare berggrund tillhörande lager 3.	>100
Lager 5	Sand- och siltsten tillhörande Burgsvikssandsten. Lagret är 20–60 m mäktigt i modellen vilket överensstämmer med mäktighetsuppgifter från litteraturen och stratigrafiska arbeten (fig. 58). Lagrets undre gräns motsvarar överytan av en underlagrande kalksten (Ekeformationen, som syns som en något förhöjd resistivitet (se nr 2 i fig. 66). Gränsen är mer osäker än övriga gränser i modellen då den oftast ligger ett tiotal meter under den gräns där det salta grundvattnet förekommer.	20–80
Saltpåverkad berggrund	Berggrunden i detta lager är med största sannolikhet mättat med saltpåverkat grundvatten. Överytan på lagret går inom lager 5. I figur 67 syns lagret endast som en grå nivå. Risken för saltpåverkat brunnsvatten är hög om brunnsborrning genomförs under denna nivå.	<40



Figur 65. B Höjddata över område 4.

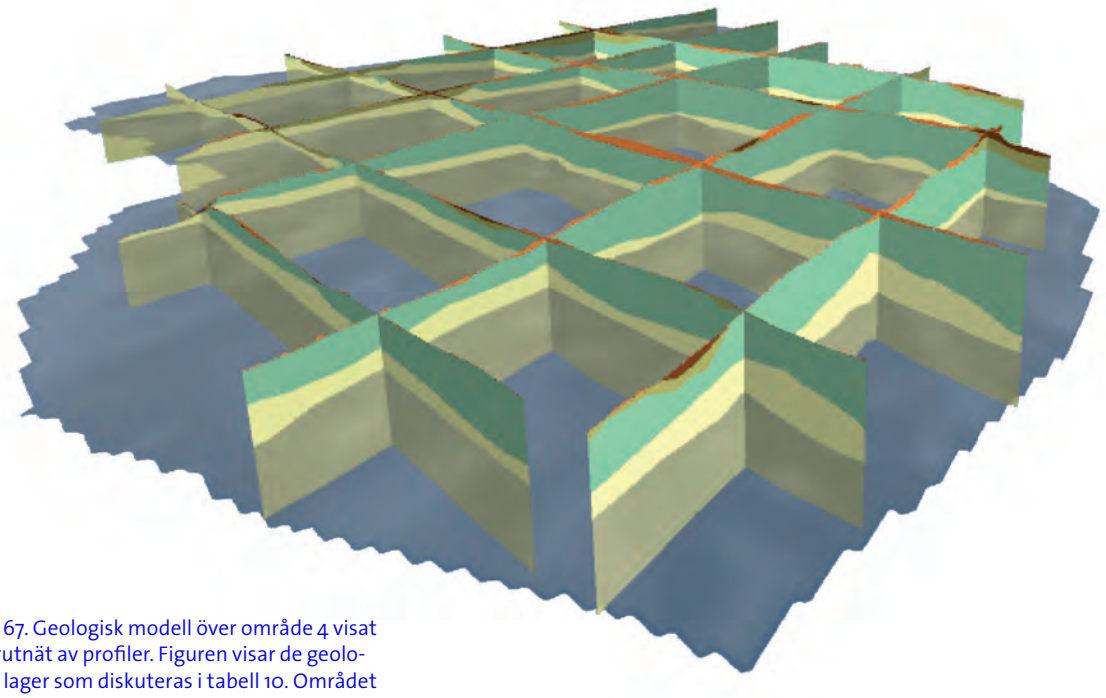


Figur 66. Resistivitetsdata över område 4 visat i ett rutnät av profiler. Figuren visar området sett ifrån SSO. Siffrorna i figuren visar företeelser som diskuteras i texten i tabell 10.

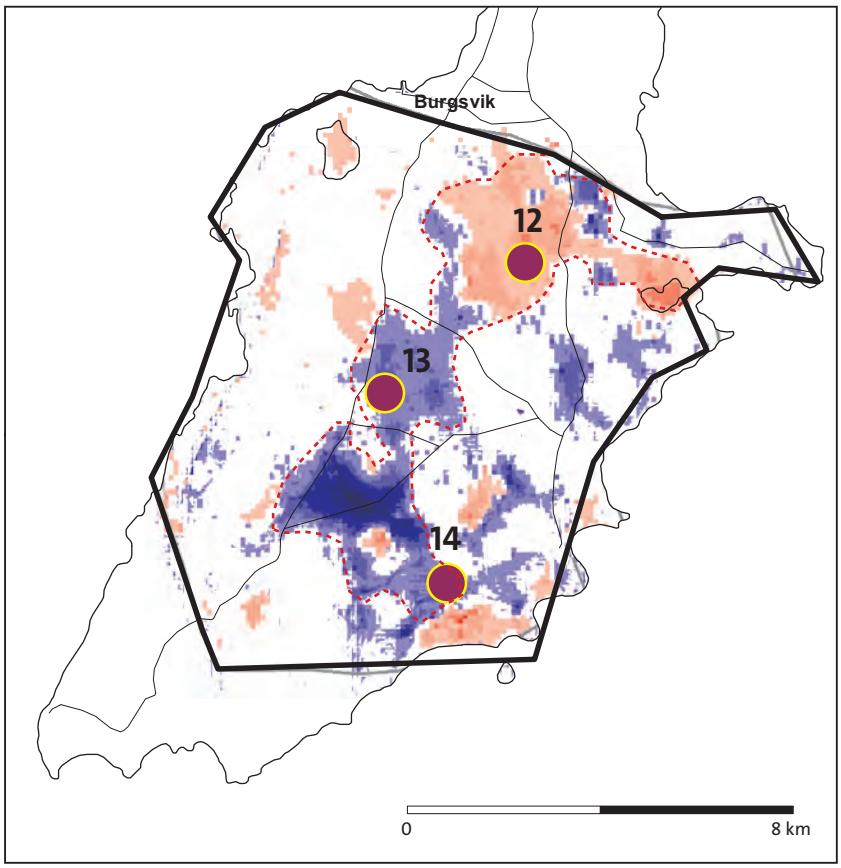
Förutsättningar för grundvattenuttag i område 4

På Sudret finns idag ingen kommunal dricksvattentäkt utan de som får kommunalt vatten, främst Burgsvik, får vatten norrifrån. Enligt brunnsarkivet och diskussioner med boende i området finns det enskilda grävda brunnar i områden med relativt mäktiga sandlager som ger förhållandevis mycket vatten. En VA-utredning för Storsudret gjordes 2010 (WRS 2011). Enligt brunnsarkivets uppgifter är förutsättningarna, även för enskilda grundvattenuttag, relativt små i området (fig. 14a). SGUs bedömning från tidigare underlag är att man kan räkna med mellan 300–600 l/tim från brunnar på Sudret och endast i undantagsfall kan man utvinna mer än 2000 l/tim per brunn.

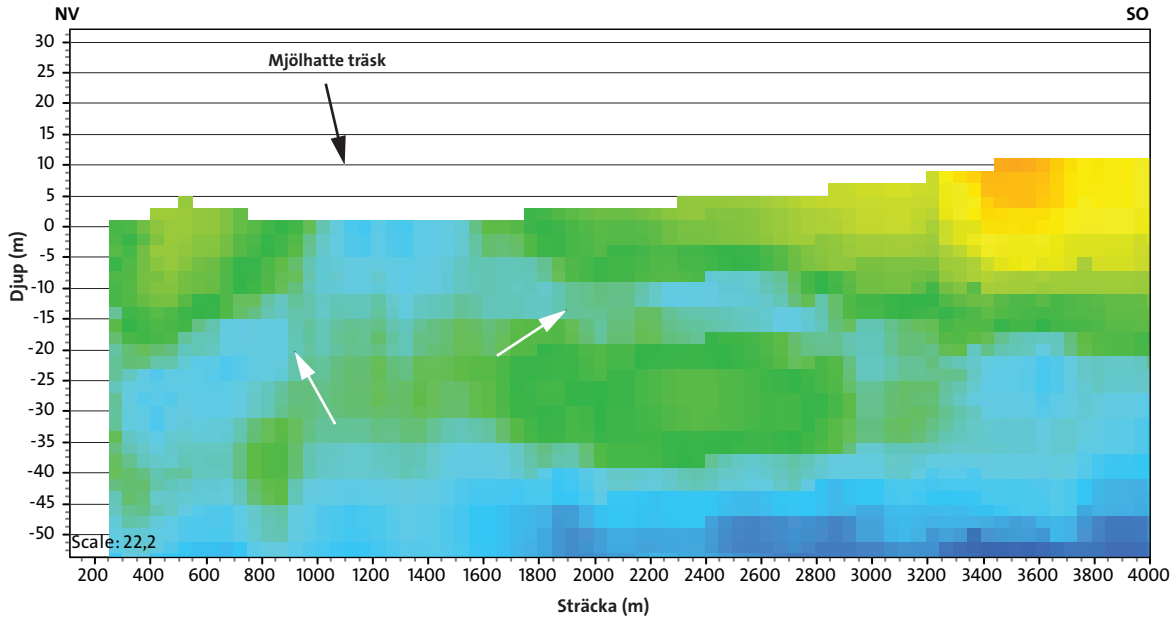
Förutsättningarna för större grundvattenuttag har sedan länge antagits vara små på Sudret (fig. 14 a–b) vilket också är den huvudsakliga lärdom man kan dra av vår undersökning. Om man ser rent geologiskt på var det troligen är störst grundvattenbildning finns de bästa förutsättningarna på Sudret i ett sammanhängande område (fig. 68) med förhållandevis mäktiga jordlager (lager 1 och 2) på centrala Sudret (från Vamlingbo och norrut). Stora delar av nederbörden i detta område har goda chanser att bilda grundvatten i jord- och berglagren. Dock finns det ett antal dikningsföretag i området vilket skapar ökad avrinning och minskad kvarhållande effekt, något som bidragit till en minskad grundvattenbildning till berggrunden. I delar av detta område är det möjligt att få tillräckligt (i alla fall för enskilda dricksvattenuttag) med grundvatten ifrån grävda brunnar. Bäst är troligen förhållandena i de områden där sand och grus dominerar (blå färgskala i fig. 68), men även områdena med andra jordarter som i detta område kan ha en viss inblandning av sand (röd färgskala i fig. 68) kan innehålla grundvatten som kan tillgodogöras från grävda brunnar. Resultaten från våra georadarundersökningar



Figur 67. Geologisk modell över område 4 visat i ett rutnät av profiler. Figuren visar de geologiska lager som diskuteras i tabell 10. Området sett ifrån SSO. Under den gråa nivån är berggrunden helt mättad med salt grundvatten.



Figur 68. Illustration som visar förekomsten av jordlager som är mäktigare än två meter, inom Sudret (mörkare färger för större mäktighet, största jordmäktigheten inom Sudret är ca 12 m). Den röda streckade linjen markerar ett sammanhängande område där mäktigheten på jordlagren är större. Här bedömer vi att huvuddelen av nettonederbörden bildar grundvatten. Den blåa färgskalan motsvarar områden med mestadels sand och grus. Delar av dessa områden, framförallt med mindre mäktighet, kan vara helt torra under perioder utan grundvattenbildning. Den röda färgskalan motsvarar områden med jordarter som företrädesvis har mer silt- och lermineral i sig eller består av organogena jordar. Jordlagren här har en även en större vattenhållande förmåga vilket göra att de oftast är fuktiga, dock kan det vara svårt att få tillräckligt med vatten momentant från brunnar i dessa jordlager.

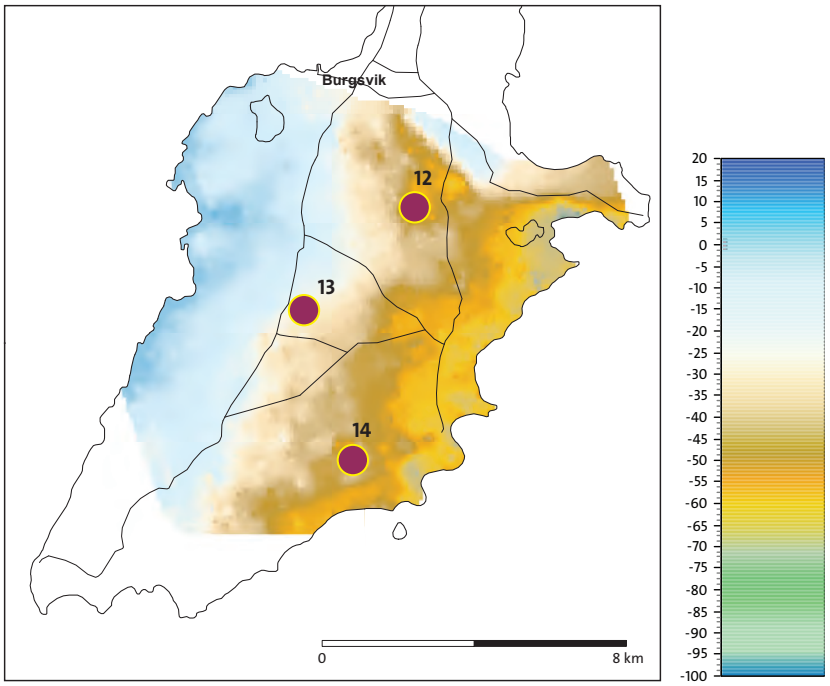


Figur 69. Profil i nordväst–sydost riktning över Mjölhatte träsk. De vita pilarna visar lågresistiva (blåa) nivåer som kan vara ett tecken på sötvatten men även mer märgelrik berggrund.

visar på metodens användbarhet när det gäller att bestämma jorddjupet i sand- och grusavlagringar samt grundvattenytans läge (bilaga 3).

Vid en jämförelse med höjddata (fig. 65) ser man att stora delar av detta utpekade område med bedömd hög potential för grundvattenbildning ligger i en skålform som lutar något åt norr från området kring Vamlingbo. Detta betyder att vi även kan förvänta oss en grundvattenströmning i jordlagren från Vamlingbo och norrut i detta område. Grundvattnet i de röda områdena, framförallt kustnära, kan i vissa fall ha ett brackvatteninslag medan risken för ett saltpåverkat grundvatten är lägre i de blåa områdena. Berggrunden inom detta område består av märgelsten (lager 3, resistivitet: 40–80 Ohmm) samt kalksten (lager 4, resistivitet: 100–300 Ohmm). Det är generellt något större chanser till grundvattenuttag ifrån brunnar i lager 4 än i lager 3. För att tillgodogöra sig det mesta av grundvattnet i området bör man använda sig av brunnar som tar tillvara både grundvatten från jordlagren och berggrunden. Antingen kan man använda sig av en kombinerad brunn, en borrad spets i en grävd brunn eller med ett intagsfilter i jordlagren och de översta metrarna i berggrunden. I de fall man sätter foderrör genom jordlagren och de översta metrarna i berggrunden minskar uttagsmöjligheterna med största sannolikhet. Anledningen är att berggrunden är tät (lager 3) eller förhållandevis tät (lager 4) vilket gör att mycket av grundvattnet rör sig i jordlagren eller de översta metrarna i berggrunden som oftast är något mer rik på sprickor än berggrunden på djupet.

Mjölhatte träsk som ligger strax söder om Burgsvik är ca 90 ha stor. Den låga resistiviteten från den grunda sjön (medelkonduktivitet Mjölhatte träsk 38mS/m (Länsstyrelsen, personlig kommunikation 2017) vilket motsvarar ca 25 Ohmm) fortsätter neråt och fortplantar sig mot sydost (fig. 69). En tolkning är att vatten från Mjölhatte träsk långsamt förser berggrunden med grundvatten som följer lagringsytorna mot sydost och nordväst (fig. 69). Om detta är fallet borde området direkt sydost om Mjölhatte träsk kunna utgöra ett område med möjlighet till relativt större grundvattenuttag. En annan tolkning är att läget för Mjölhatte träsk sammanfaller med underliggande tät berggrund, t.ex. märgel och att den låga resistiviteten vi ser i SkyTEM-data beror på berggrundens utbredning. Men eftersom området kring Mjölhatte träsk utgörs av relativt lummiga förhållanden med blandskog kan det vara värt att utreda områdets grundvattenförhållanden genom provborrningar.



Figur 70. Nivån (m ö.h.) för gränsen 40 Ohmm. Nivån tolkas som att berggrunden är helt mättad med salt grundvatten. Gränsen är något mer osäker i öster.

Förekomst av salt grundvatten

I figur 70 visas en översiktlig bild av på vilket djup berggrunden bedöms vara mättad med salt grundvatten på Sudret. Bakgrunden till bedömningen av gränsen för möjlig saltvattenpåverkan ges dels ovan i avsnittet *Översättning av resistivitet till saltvattennivå i Gotlands bergartsvolym*, dels i en tidigare rapport (Dahlqvist m.fl. 2015). Denna gräns går i det bergartsled som kallas Burgsvikssandstenen (lager 5, tabell 10, fig. 67) och lutar från nordväst mot sydost. Sandstenen är lågresistiv (20–80 Ohmm) på grund av sitt lerinnehåll och det är därför mycket svårt att med tillgänglig data särskilja exakt var gränsen för det salta grundvattnet finns på Sudret. Dock kan man säga att det oftast är salt grundvatten om man borrar ned till sandstenen. Burgsvikssandstenen som ligger som ytligast på västra Sudret återfinns på successivt djupare nivåer österut. Den överliggande berggrunden i de östliga delarna av Sudret utgörs av en tät revkalksten (lager 4, huvudsakligen Hamraformationen) som har hög resistivitet då den har låg permeabilitet (d.v.s. den är tät och innehåller lite vatten). Den låga permeabiliteten medför att kalkstenen kan innehålla lite salt grundvatten trots att den har en hög resistivitet.

Det är sannolikt att en väsentlig del av den grundvattentransport som sker i berggrunden sker utmed lagringsplan i berggrunden dvs. från nordväst mot sydost. Detta gör då att det blir mer sött grundvatten mot sydost vilket kan vara en faktor som gör att gränsen för 40 Ohmm ligger på större djup i sydost än i nordväst. Någon kilometer NNO om BH 12 finns en skillnad i nivå till 40 Ohmm-gränsen som bör ha att göra med någon form av förkastning. Gränsen för 40 Ohmm går i dessa östra delar av Sudret på så stort djup som 70 m djup på vissa ställen (fig. 70) vilket får anses vara för djupt för att stämma. Som ett exempel borras dricksvattenbrunnar aldrig djupare än 60 m på Sudret på grund av risken för salt grundvatten (Fredrik Ahlqvist, Ahlqvists Brunnsborrning AB, personlig kommunikation 2017).

Salt grundvatten kan förekomma riktigt ytligt, ibland t.o.m. i grävda brunnar. Det rör sig då om mer lokala företeelser med relikt vatten som blivit kvar i jordlagren sedan området var under havsytan. Sammanfattningsvis gör vi tolkningen att gränsen för salt grundvatten i berggrunden kan gå något högre upp än den presenterade 40 Ohmm gränsen, framförallt i de östra delarna på Sudret. Kartan i figur 70 ska med andra ord användas med stor försiktighet.

Borrhål & borrhålsloggning

Ett undersökningsborrhål på Sudret borrades vid Öja Stora Sutarve 1:2 (BH 12, fig. 2, och bilaga 1). Under tre meter mäktiga jordlager med sand följer kalksten 3–33 m, sandsten 33–35 m, kalksten 35–43 m, sandsten 43–50 m. Brunnen gav väldigt lite vatten vid utförandet, man kunde inte ens mäta en grundvattenyta i borrhålet. Vid omsättningspumpning den 31/1 2017 låg grundvattennivån dock i markytan. Pumpningen visade att tillrinningen till borrhålet är liten, grundvattennivån sjönk ca 10 m på 1,5 min pumpning (1 l/s). Dessutom hade vattnet en hög konduktivitet (över 5000 µS/cm) vilket tyder på att det vid någon nivå längs borrhålet rinner in saltpåverkat grundvatten. Vid borrhålsloggning låg konduktiviteten på under 1000 uS/cm så något har hänt i borrhålet mellan dessa mätningar. Det troliga är att det i de nedre delarna eller t.o.m. under botten på brunnen (50 m djup) finns ett saltpåverkat grundvatten med högt tryck. Vid detta borrhål är djupet till 40 Ohmm-gränsen på ca 50–55 m djup (fig. 70). Från borrhålsloggningen kan man dra slutsatserna att berggrunden ner till ca 20 m djup (omväxlande märgel och leriga kalkstenslager) skiljer sig markant från avsnittet mellan 20–48 m (kalksten med betydligt mindre lerinnehåll, bilaga 3). Det är svårt att med enbart okulär besiktning av borrkaxet verifiera om det är sandsten eller kalksten i partierna 33–35 respektive 43–50 m (jämför bilaga 1).

Undersökningsborrhål BH 13 utfördes på fastigheten Vamlingbo Storms 4:1 (fig. 2 och bilaga 1). Jorddjupet var 2,7 m och jordlagren bestod av sand. Enligt borrprotokollet ser lagerföljden i berg ut som följer: 2,7–35 m, kalksten. Studier av borrkax verifierar att det är kalksten, men det är svårt att särskilja om det finns olika typer av kalksten även om det finns en antydan till en förändring mot en grövre kalksten mellan 30 och 35 m. Brunnen gav inget vatten från borrning i berget vid utförandet. Dock fanns det grundvatten (ca 10 l/min) i övergången mellan sand och berg vilket än en gång visar på vikten av att tillgodogöra sig vatten från denna övergångszon. En något motstridig uppgift från brunnsborraren om ett kemiprov taget på sex meters djup visar en förhöjd salthalt i borrhålet. Möjligen finns det ett saltpåverkat grundvatten på djupet som trycker upp i efterhand. Vid detta borrhål är djupet till 40 Ohmm-gränsen på ca 35 m djup (fig. 70). Ingen borrhålsloggning utfördes i borrhålet.

Ett andra undersökningsborrhål på Sudret utfördes på fastigheten Vamlingbo Austre 2:1 (BH 14, fig. 2, bilaga 1). Jorddjupet är 4 m och under ett en meter tjockt mullager var det tre meter grus. Enligt borrprotokollet ser lagerföljden i berg ut som följer: trasigt berg 3–4 m, mjuk kalksten 4–40 m. Brunnen gav inte särskilt mycket vatten vid utförandet, endast 600 l/h. Vid en omsättningsprovpumpning 31/1 2017 med 1 l/s under ca 3 min sänktes grundvattennivån med ca 12,5 m. Under den korta pumpningen bibehölls konduktiviteten (ca 800 uS/cm) och efter ca 20 min hade grundvattennivån återhämtat sig med ca 8 m vilket pekar på att det finns en viss tillrinning. Uttagskapaciteten från brunnar i detta område är med andra ord troligen låg och det verkar inte finnas någon anledning att borra djupt för att försöka få mer grundvatten i sin brunn. I stället bör man försöka tillgodogöra sig vatten från de ytligare jord- och berglagren.

Borrhålsloggning av BH 14 visar på två huvudsakliga typer av berggrund, en ner till ca 12 m och en från ca 12 m ner till botten. De översta 12 m har mindre inslag av lera vilket också stämmer överens med borrkaxet, det är endast kax från 6 m som kan identifieras som kalksten, resterande kaxprover från nivåerna, 12, 18, 24, 30, 36 och 40 m består av finkornigt torrt stenmjöl eller blöt lera. En av anledningarna till utförandet av BH 14 var att vi misstänkte att det kunde finnas karst i området, p.g.a. en lågresistiv lins i den högresistiva revkalkstenen. Från brunnsprotokollet och den kaxprovtagning som gjordes kan man inte se att det rör sig om någon karst. Det troliga är att det rör sig om en lerigare kalksten. Borrhål 14 uppvisar ingen saltvatteninträngning varken vid borrning, geofysisk loggning eller vid omsättningsprovpumpning vid fältbesök den 31/1 2017. Detta stämmer väl överens med den tolkning av saltvattengränsen som gjorts där det saltpåverkade grundvattnet tolkas komma på ca 55 m djup.

SLUTSATSER OCH DISKUSSION

En fullständig analys av all data som samlats in i samband med SkyTEM-mätningarna på Gotland är en mycket tidskrävande procedur och något SGU inte har haft möjlighet att göra i detta skede. För att belysa vilka möjligheter som finns har vi koncentrerat arbetet på ett urval av analyser och metoder med olika inriktningar, framförallt har vi fokuserat på hydrogeologiska frågeställningar. Mängden data möjliggör, tillsammans med annan geologisk information, en stor potential till fortsatta, fördjupade analyser av de geologiska förhållandena på Gotland. Resultaten från de utvärderingar och tolkningar som presenteras i rapporten, visar också på hur man kan förbättra underlaget genom att kalibrera och verifiera tolkningar med kompletterande undersökningar, i form av borrning samt geofysiska mark- och borrhålsundersökningar.

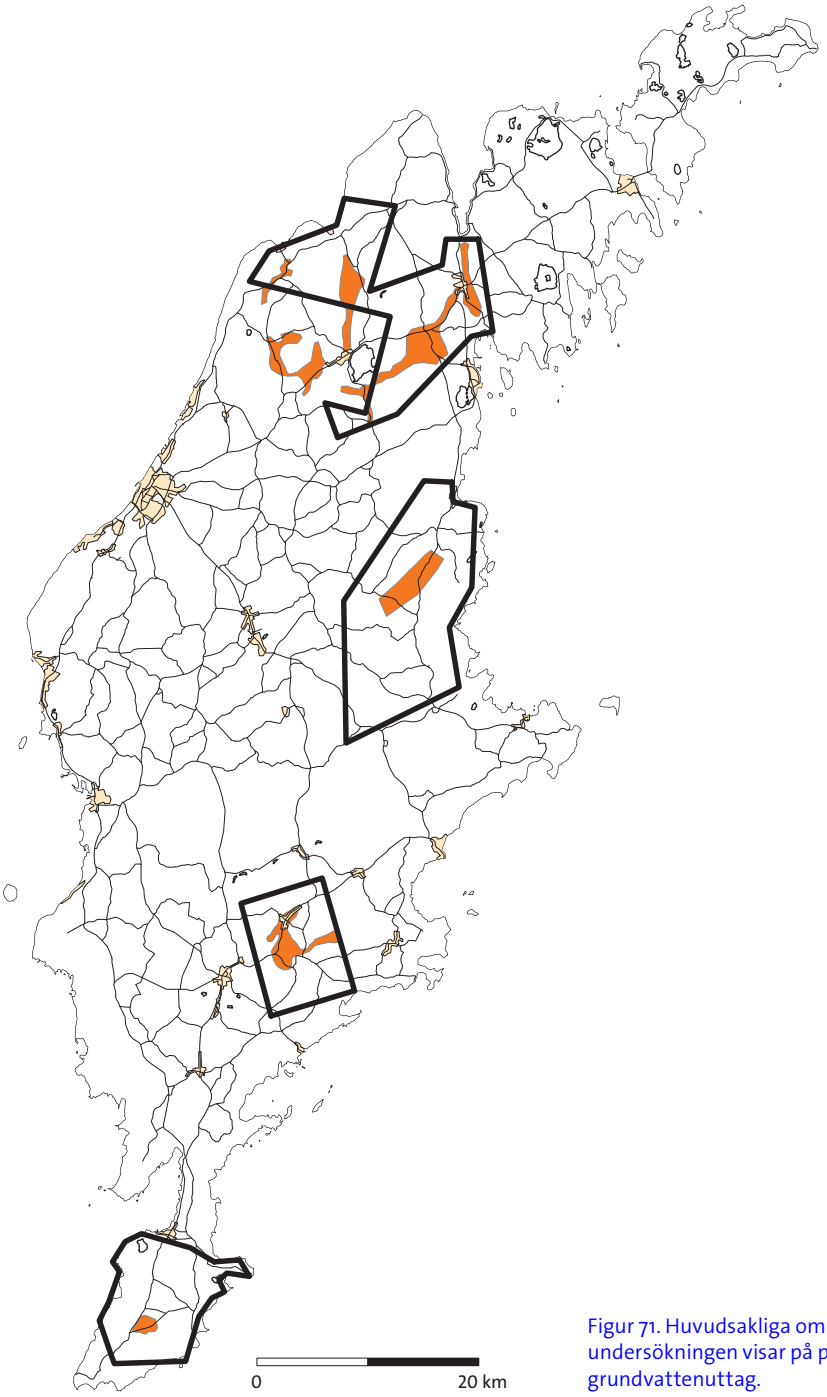
I samtliga undersökningsområden har vi kunnat urskilja på vilket djup som det salta grundvattnet uppträder (fig. 28, 38, 57 & 70). Kartorna indikerar maximalt borrdjup utan att riskera saltpåverkat grundvatten. Kartornas noggrannhet kan dock förbättras genom att komplettera med vattenanalysdata. Den nivå vi visar i rapporten är nivån för kraftigt salt grundvatten. Är man intresserad av t.ex. smakgränsen (300 mg/l) så ligger nivån sannolikt något högre upp i berggrunden. Tullström (1954) gjorde en nivåkarta för gränsen mellan sött och salt grundvatten på vissa delar av ön, och i Dahlqvist m.fl. (2015) finns saltvattenkartor från de fyra områden som undersöktes med SkyTEM 2013. I framtida analyser bör man inkludera all ny information om kemi, som tillsammans med SkyTEM-data kan förbättra underlaget väsentligt. De borrhål som utförts i SGUs regi kommer att återfyllas så att inget läckage av saltpåverkat grundvatten sker i framtiden.

I tolkningsarbetet har vi pekat ut antal områden som intressanta ur ett dricksvattenperspektiv med betoning på större grundvattenuttag (fig. 71). Det är dock viktigt att betona att SkyTEM-data endast bör användas för en första avgränsning av intressanta områden. För att bedöma uttagsmängder, tillrinningsområden, grundvattenbildning etc. behövs fler undersökningar i form av geofysiska mark- eller borrhålsmätningar, borrningar och provpumpningar. Även genom kompletterande uttagsinformation från brunnar kan underlaget förbättras och t.ex. användas i planering av exploateringsområden.

I område 1,Stenkyrka–Lärbo–Hejnum finns en övre akvifer där de grövre jordarterna, i form av sand och grus, har en stor mäktighet (över 10 m). De bästa förutsättningarna för grundvatten ifrån akviferer i jordlagren finns troligen kring Stenkyrka och Lärbro. I sydöstra delen av området, från Hejnum upp mot Lärbro, finns en berggrundsakvifer i övergången mellan en högresistiv kalksten och den underlagrande märgeln (fig. 71). Det finns även en möjlighet till större grundvattenuttag norr om Tingstädeträsk, där förekomsten av grundvatten troligen är kopplat till sprickzoner (fig. 71). Ett av undersökningsborrhålen (BH 1) som gav stora vattenmängder (över 30 000 l/tim) får grundvatten från denna utpekade akvifer.

I norra delen av område 2, Åminne–Ala finns Gotlands största vattendrag Gothemsån. Längs ån och dess dalgång är jorddjupen relativt stora vilket troligtvis bidrar till infiltrationen av grundvatten i området. Stora vattenmängder uppmättes i ett av undersökningsborrhålen, vid Gothem Suderbys (BH 6). Grundvattnet transporteras till övervägande del i övergången från ren kalksten till märgel från området med mäktiga jordlager mot sydost. Vår bedömning är att det inom området sydost om Gothemsåns dalgång därför finns mycket goda förutsättningar för större grundvattenuttag. Djupet till saltpåverkat grundvatten överstiger 70 m inom den största delen av undersökningsområde 2, men minskar något mot sydost.

I område 3, Stånga–Burs är det sand- och grusavlagringarna i Stånga och Västerlaus med något större mäktigheter som bedöms vara de mest lovande för grundvattenutvinning i större omfattning (fig. 71). Utbredning och mäktighet på dessa avlagringar har bestämts dels med hjälp av den jorddjupsmodell som tidigare tagits fram av SGU, dels baserat på resistivitetssektionerna från SkyTEM-data. Då jorddjupsmodellen främst är baserad på enstaka brunnar eller borrhål samt hällförekomst är den behäftad med tilltagande osäkerhet med ökat avstånd till brunnar eller hällar. Vidare ger resistivitetsinformationen



Figur 71. Huvudsakliga områden där data från undersökningen visar på potential för större grundvattenuttag.

från SkyTEM-data endast en översiktlig bild av avlagringarnas utbredning i tre dimensioner varför de modellerade mäktigheterna hos sand- och grusavlagringarna behöver förbättras inför mer omfattande utvinning av grundvatten. Systematiska mätningar med georadar och enstaka resistivitetsprofiler kan ge ett väsentligt och kostnadseffektivt bidrag för att utreda detta.

I område 4, Sudret har det varit svårt att peka ut något område för större grundvattenuttag. De största möjligheterna finns i områden med stora jorddjup i de centrala delarna, kring Vamlingbo (fig. 71). Det handlar dock om betydligt mindre uttagskapacitet än i de utpekade områdena i område 1–3. För att tillgodogöra sig mesta möjliga grundvatten på Sudret är det viktigt att man utför brunnskonstruktion som kan tillgodogöra sig grundvatten från både jord- och berggrundsakviferen.

SkyTEM har visat sig väl lämpad för identifiering av lågpermeabla jord- och bergarter. Basinformationen visar bland annat på förekomst av ett antal större berggrundsvolymer som domineras av märgel och märgelsten. Då dessa bergartsvolymer ofta är betydligt tätare än kalkstenen, samlas och transporteras mycket vatten i anslutning till gränserna mellan olika bergartsvolymer. Det gör att märgelvolymernas gränser delvis kan användas för att avgränsa grundvattenmagasin. Detsamma gäller de lågpermeabla jordarter som man kan bestämma mäktighet och utbredning av. Denna avgränsning kan användas som underlag för sårbarhetskartering av jordlager och den ytnära berggrunden. Man kan t.ex. peka ut var dricksvattenbrunnar ligger något mer skyddade mot föroreningar och var man kanske bör undvika att borra för geoenergi pga. risk för onödig penetrering av täta jordlager eller berggrund.

Sammanfattningsvis representerar resultaten undersökningar i fyra delområden, med varierande geologisk uppbyggnad. Resultaten har generellt sett gett mycket värdefull och ny information, som bland annat medför möjligheter till en tredimensionell kartläggning av förekommande jordlager och berggrundsenheter. Användbarheten har funnits vara stor för identifiering av potentiella, större grundvattenförekomster, och även som underlag för skydd av grundvattenförekomster, samt identifiering av salt grundvatten. Undersökningarna ger också värdefull strukturgeologisk information som avsevärt ökar förståelsen av berggrundens uppbyggnad. En fördjupad analys och uppföljning med fler borrhål och geofysiska markmätningar, skulle med säkerhet öka förståelsen och möjligheten till prognostisering av möjliga grundvattenförekomsterna ytterligare. Med säkerhet skulle även en utökning med fler mätområden ge förutsättningar för ett mer regionalt tredimensionellt geologiskt och hydrogeologiskt underlag.

IMPLEMENTERING AV RESULTAT

De data som samlats in genom SkyTEM-mätningarna är tillgängliga via SGUs kundtjänst. Resultaten i bearbetad form är i och med denna rapports fullbordande tillgängliga för Region Gotland och Länsstyrelsen Gotland. Övriga intressenter kan vända sig till SGUs kundtjänst med förfrågningar varefter SGU får återkomma med besked om vad som är tillgängligt. SGU planerar att utföra en geologisk 3D-modell över hela Gotland under 2017–2018, mycket baserat på SkyTEM-data.

Implementering av resultat, Region Gotland och Länsstyrelsen Gotland

Resultaten kommer att delges Region Gotland och Länsstyrelsen Gotland i former som är ändamålsenliga och lättarbetade. Då datamängden är mycket stor kommer platsspecifika underlag, baserade på frågeställningarna att tas fram, i samråd med Region Gotland och Länsstyrelsen Gotland. Underlaget kan med fördel användas vid arbete med

- planering av kommunal dricksvattenförsörjning
- vattenskyddsområden, utformning, tillsyn
- planering och tillsyn av anläggningar för geoenergi
- planering och tillsyn av brunnar för enskild vattenförsörjning och avlopp
- vattenförvaltningsarbetet.

Länsstyrelsen Gotland kommer under 2017–2018 att arbeta fram en Regional vattenförsörjningsplan som kan ha stor nytta av resultaten från denna rapport.

Intern implementering av resultaten vid SGU

SGU kommer under 2017 och 2018 att skriva en rapport som syftar till att uppdatera den hydrogeologiska beskrivningen och kartan för Gotlands län, samt utföra en geologisk 3D modell för hela Gotland. De data som tagits fram i detta projekt kommer till stor del att utgöra underlag för denna uppdatering. Förhoppningen är att vi ska kunna peka ut fler områden som utgör möjliga större grundvattenmagasin i berg, och avgränsa något grundvattenmagasin i jord. De vattenförvaltningsförekomster som finns kommer även att ses över med tanke på all ny data.

SGU kommer att använda sig av resultaten från SkyTEM-mätningarna i arbetet med förorenade områden. Data från undersökningarna kommer att vara av betydelse för SGUs remissyttranden för verksamheter och områdesskydd på Gotland. Genom att analysera SkyTEM-data kan vi även förbättra våra underlag när det gäller jordarter och bergarter. Vi kan även leverera ett underlag av jord och berg i tre dimensioner samt kalibrera den automatiserade jorddjupsmodell som finns på SGU.

Under 2017–2018 kommer SGU att ha ett internt FoU-projekt för Sudret där resultaten från SkyTEM-undersökningarna utgör ett viktigt basunderlag. Målet är bl.a. att testa möjligheterna att uppdatera bergrundskartan med hjälp av SkyTEM-data, se över möjligheterna för energilagring i Burgsvikssandstenen, samt se hur långt man kan komma med hydrogeologisk modellering på Sudret.

Implementering av resultat för övriga intressenter

Resultaten från SkyTEM-undersökningarna finns tillgängliga att användas av teknik- och miljökonsulter, mark- och miljödomstolen, borrföretag, etc. vid arbete med geologiska och hydrogeologiska frågeställningar. SGU ser gärna att användare av SkyTEM-data återkommer med erfarenheter och resultat för att SGU ska kunna uppdatera och förbättra de geologiska och hydrogeologiska modellerna.

REFERENSER

Alm, P-G., 2015: Loggningsrapport. Borrhålsloggning Gotland, Sveriges geologiska undersökning, diarienummer: 423-22354/2015.

Alm, P-G., 2016: Loggningsrapport. Borrhålsloggning Gotland, Sveriges geologiska undersökning, diarienummer: 423-2454/2016.

Archie, G.E., 1942: The electrical resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristics, *Transactions of the American Institute of Mining and Metallurgical Engineers 146*, 54–62.

Calner, M., Jeppsson, L. & Munnecke, A., 2004: The Silurian of Gotland – Part I: Review of the stratigraphic framework, event stratigraphy, and stable carbon and oxygen isotope development. *I* A. Munnecke, T. Servais & C. Schulbert (red.): *Early Palaeozoic Palaeogeography and Palaeoclimate (IGCP 503). Abstracts and Field Guides*. Erlanger geologische ABH andlungen, Sonderband 5, 113–131.

Cherns, L. 1982; Paleokarst, tidal erosion surfaces and stromatolites in the Silurian Eke Formation of Gotland. *Sedimentology 29*. 819–833.

Dahlqvist, P., Triumf, 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. Sveriges geologiska undersökning, *Rapporter och Meddelanden 136*, 108 s.

Ek, B-M., Thunholm, B, Östergren, I, Falk, R., Mjönes, L. 2007: Naturlig radioaktivitet, uran och andra metaller i dricksvatten. *SGU-rapport 2007:13*. Sveriges geologiska undersökning.

Engh, L., 1980: *Lummelundagrottan med tillhörande karstområde. Svenska grottor 3*, Sveriges speleologförbund. 290 s.

Eriksson, M.J., 2004: Formation and significance of a middle Silurian ravinement surface on Gotland, Sweden. *Sedimentary Geology 170*, 163–175.

Eriksson, M.J., 2007: Silurian carbonate platforms of Gotland, Sweden–archieves of local, regional and global environmental changes. *Litholund thesis 13*, 19 s.

Eriksson, M.E. & Calner, M., (red.), 2005: The Dynamic Silurian Earth. Subcommission on Silurian Stratigraphy Field Meeting 2005. Field guide and abstracts. Sveriges geologiska undersökning, *Rapporter och meddelanden 121*, 99 s.

Eriksson, M.J. & Calner, M., 2007: A sequence stratigraphical model for the late Ludfordian (Silurian) of Gotland, Sweden: implications for timing between changes in sea level, palaeoecology, and the global carbon cycle. *Facies 54*, 253–276.

Erlström, M. & Persson, L., 2014: Radiomagnetotelluric mapping of marlstone and limestone in the Silurian bedrock of Gotland. GFF, 136. http://dx.doi.org/10.1080/11035897.2014.945617.

Erlström, M., Persson, L., Sivhed, U. & Wickström, L., 2009: Beskrivning till regional berggrundskarta över Gotlands län. *Sveriges geologiska undersökning K221*, 60 s.

Hede, J.E., 1919: Djupborrningen vid Burgsvik på Gotland 1915. Sveriges geologiska undersökning C 298, 59 s.

Hede, J.E., 1960: The Silurian of Gotland. I G. Regnéll & J.E. Hede (red.): The Lower Palaeozoic of Scania. The Silurian of Gotland. *International Geological Congress XXI. Session Norden*. Guidebook Sweden d. Stockholm, 89 s.

Gustafsson, M. & Erlström, M., 2007: Provpumpning Bro Stentäkt. Sveriges geologiska undersökning Dnr. *08-779/2007*. 7s.

Jeppsson, L., 2008: The Lower Wenlock Hangvar Formation – a sequence previously split between the Högklint and and Slite beds (Silurian, Gotland, Sweden). *GFF 130*, 31–40.

Jeppsson, L., Eriksson, M.E. & Calner, M., 2006: A latest Llandovery to latest Ludlow high-resolution biostratigraphy based on the Silurian of Gotland–a summary. *GFF 128*, 109–114.

Munthe, H., 1910: Studier öfver Gottlands senkvartära historia. *Serie Ca 4*, Sveriges geologiska undersökning, 213s.

Shaikh, N. A., Bruun, Å., Karis, L., Kjellström, G., Sivhed, U., Sundberg, A. & Wik, N.-G., 1990: Kalksten och dolomit i Sverige. Del 3. Södra Sverige. Sveriges geologiska undersökning, *Rapporter och meddelanden 56*, 296 s.

SkyTEM, 2015: *SkyTEM Survey: Gotland Sweden. Data report*. SkyTEM Surveys ApS, Denmark. 54 s.

Svantesson, S.I., 2005: Jordartskartan Gotland, norra delen, skala 1:100 000. *Sveriges geologiska undersökning K4:1.*

Svantesson, S.I., 2008: Beskrivning till jordartskartan Gotland. *Sveriges geologiska undersökning K4*, 48s.

Thorslund, P. & Westergård, A.H., 1938: Deep boring through the Cambro-Silurian at File Haidar, Gotland. *Preliminary report. Sveriges geologiska undersökning C 415*, 48 s.

Thulin Olander, H., 2015: A contribution to the knowledge of Fårö´s hydrogeology. *Dissertations in Geology at Lund University, No. 427*, 38 s.

Tullström, H., 1954: Preliminärt meddelande om hydrogeologiska undersökningar på Gotland. *Grundförbättringar, tidskrift för jordbrukets rationalisering genom grundförbättringar* Årg. 7. nr. 4. Uppsala

BILAGA 1: BRUNNSPROTOKOLL

Figur 1:1. Borrprotokoll från borrhål 1, Tingstäde Bryor.

SGU diarienr: 916625521

BRUNNS- OCH BORR-PROTOKOLL

Utskriftsdatum: 2017-02-10

Borrningen avslutad datum: 2016-11-25

Protnr: 200872:1

Borrföretag

AHLQVISTS BRUNNSBORRNING AB

Fröjel Sälle 931

623 55 Klintehamn

Tel: 070-6955191

Fax: 0498-244005

E-post: info@ahlqvistbrunnsborrning.se

www.ahlqvistsbrunnsborrning.se

Borrad enligt Normbrunn-07

Borrplatsens läge

Fastighetsbeteckning (namn och nummer): Tingstäde Bryor 4:16

Ort:

Församling:

Kommun: Gotland

Borrplatsens läge:

Borrplatsens GPS-koordinater i system: [X] SWEREF 99 TM [ ] SWEREF 99 (WGS 84) [X] RT90 2,5 gon V

N: 6409687 E: 715254 X: 6409341 Y: 1667465

Borrplatsens adress: Tingstäde Bryor

Telefon (även riktnummer):

Ägare/Beställare

Ägares/beställares namn: Sveriges geologiska undersökning SGU

Telefon (även riktnummer):

Utdelningsadress, om annan än borrplatsens adress ovan: FE 17

Ortsadress (postnummer och ortsnamn): 83873 Frösön

Jordarter/bergarter m.m.

Djup under markytan från	till	Jordart/bergart Färg	Anmärkningar (vattenförekomst, sprickor m.m.)
0.0	3.0	jord	Stor spricka på 24 m
3.0	6.0	Lera	
6.0	7.0	grus,jord,sand	
7.0	35.0	kalkberg	

Tekniskt utförande

Borrmaskinstyp: [X] sänkhammare [ ] annan:

Tätning mellan foderrör och berg har skett med: [ ] cementering [X] extra plaströrsfodring [ ] annan:

Borrhål fodrat: [X] stålrör — Ytterdiameter 139.7 x Godstjocklek 5.0 mm — djup från 0.0 till 9.0 m

[ ] annan rörtyp: — Ytterdiameter x Godstjocklek mm — djup från till m

Totaldjup från markytan: 35.0 m

Jorddjup från markytan (djup till berg): 7.0 m

Borrhålets bottendiameter: 115.0 mm

Brunnens användning: [ ] hushållsvatten [ ] energi värme/kyla [ ] kommunalt vatten [X] övrigt: Observationsbrunn, -rör

Vattenanalys utförd: [ ] fys. kemisk [ ] bakteriologisk [ ] radon

Vattenflaska lämnad: [ ] ja [ ] nej

Analysresultat: [ ] bifogas [ ] insändes senare

Provpumpning m.m.

Typ av kapacitetsmätning: [X] blåsning [ ] flottörmätning [ ] pumpning

Pumpens maxkapacitet: liter/tim

Pump- eller blåsdjup under markytan	Pump- eller blåstid	Vattenmängd		Vid kapacitetsmätningen sjönk vattenytan (räknat från markytan) djup från — till
35.0 m	0.5 tim	30000 liter/tim	[X] före tryckning	— m
m	tim	liter/tim	[ ] efter tryckning	djup från — till m

GV-nivå

Stabil grundvattennivå under markytan: 6.0 m

Datum vid mätningstillfället: 2016-11-25

Mätning av grundvattennivån har skett: [ ] före vattenuttag [ ] efter vattenuttag — antal timmar

Anmärkningar

Anmärkningar: [ ] tryckning [ ] sprängning [ ] gradborrning, riktning:

Annan anmärkning: Stor spricka på 24 m, bra självtryck minst 500 l/min.

Uppmätt kloridhalt		konduktivitet		m under markytan
160	mg/l	86,9	mS/m	6
22	mg/l	54,6	mS/m	15
23	mg/l	50,4	mS/m	21
87	mg/l	71,6	mS/m	24

Konduktivitet anges i milliSiemens per meter, mS/m

Underskrift

Namnförtydligande: Fredrik Ahlqvist

Certifierad borrare nr: 0330-10

GEOTEC Svenska Borrentreprenörers Branschorganisation

91	73,4	27
		35
90	72,5	

Figur 1:2. Borrprotokoll från borrhål 2, Othem Barshage.

SGU diarienr: 917509967

Borrföretag
AHLQVISTS BRUNNSBORRNING AB
Fröjel Sälle 931
623 55 Klintehamn
Tel: 070-6955191
Fax: 0498-244005
E-post: info@ahlqvistbrunnsborrning.se
www.ahlqvistsbrunnsborrning.se Borrad enligt Normbrunn-07

BRUNNS- OCH BORR-PROTOKOLL
Utskriftsdatum: 2017-02-10
Borrningen avslutad datum: 2016-12-01
Protnr: 200878

BORRARE

Borrplatsens läge

Fastighetsbeteckning (namn och nummer)	Ort
Othem Barshage 1:46	
Församling	Kommun
	Gotland
Borrplatsens läge	Borrplatsens GPS-koordinater i system: ☐ SWEREF 99 TM ☐ SWEREF 99 (WGS 84) ☐ RT90 2,5 gon V
Borrplatsens adress: Othem Barshage	Telefon (även riktnummer)

Ägare/Beställare

Ägares/beställares namn	Telefon (även riktnummer)
Sveriges geologiska undersökning SGU	
Utdelningsadress, om annan än borrplatsens adress ovan: FE 17	Ortsadress (postnummer och ortsnamn): 838 73 Frösön

Jordarter/bergarter m.m.

Djup under markytan från	till	Jordart/bergart	Färg	Anmärkningar (vattenförekomst, sprickor m.m.)
0.0	3.0	Jord/sand		
3.0	4.0	Sand/jord		
4.0	80.0	Kalkberg		

Tekniskt utförande

Borrmaskinstyp: [X] sänkhammare [ ] annan:

Tätning mellan foderrör och berg har skett med: [ ] cementering [X] extra plaströrsfodring [ ] annan:

Borrhål fodrat	Ytterdiameter	Godstjocklek	djup från	till
[X] stålrör	139.7	x 5.0 mm	0.0	— 6.0 m
[ ] annan rörtyp:		x mm		— m

Totaldjup från markytan	Jorddjup från markytan (djup till berg)	Borrhålets bottendiameter
80.0 m	3.0 m	115.0 mm

Brunnens användning: [ ] hushållsvatten [ ] energi värme/kyla [ ] kommunalt vatten [X] övrigt: Observationsbrunn, -rör

Vattenanalys utförd: [ ] fys. kemisk [ ] bakteriologisk [ ] radon

Vattenflaska lämnad: [ ] ja [ ] nej

Analysresultat: [ ] bifogas [ ] insändes senare

Provpumpning m.m.

Typ av kapacitetsmätning: [X] blåsning [ ] flottörmätning [ ] pumpning

Pumpens maxkapacitet: liter/tim

Pump- eller blåsdjup under markytan	Pump- eller blåstid	Vattenmängd		Vid kapacitetsmätningen sjönk vattenytan (räknat från markytan) djup från	till
80.0 m	0.5 tim	50 liter/tim	[X] före tryckning	—	m
m	tim	liter/tim	[ ] efter tryckning	—	m

GV-nivå

Stabil grundvattennivå under markytan	Datum vid mätningstillfället	Mätning av grundvattennivån har skett	antal timmar
m		[ ] före vattenuttag [ ] efter vattenuttag	

Anmärkningar

Anmärkningar: [ ] tryckning [ ] sprängning [ ] gradborrning, riktning:

Annan anmärkning: Spricka på 45 m, inget vatten. Vatten på 75 m ca 50 l/tim.

Uppmätt kloridhalt	konduktivitet	m under markytan
mg/l	mS/m	
840 mg/l	355 mS/m	61
910 mg/l	362 mS/m	69
mg/l	mS/m	

Konduktivitet anges i milliSiemens per meter, mS/m

Underskrift

Namnförtydligande: Fredrik Ahlqvist

Certifierad borrare nr: 0330-10

GEOTEC
Svenska Borrentreprenörers Branschorganisation

Figur 1:3. Borrprotokoll från borrhål 3, Lärbro Hägvide.

SGU diarienr: 916625638

BRUNNS- OCH BORR-PROTOKOLL

Utskriftsdatum: 2017-02-10

Borrningen avslutad datum: 2016-12-02

Protnr: 200877

BORRARE

Borrföretag

AHLQVISTS BRUNNSBORRNING AB
Fröjel Sälle 931
623 55 Klintehamn
Tel: 070-6955191
Fax: 0498-244005
E-post: info@ahlqvistbrunnsborrning.se
www.ahlqvistsbrunnsborrning.se Borrad enligt Normbrunn-07

Borrplatsens läge

Fastighetsbeteckning (namn och nummer)	Ort
Lärbro Hägvide 1:8	
Församling	**Kommun**
	Gotland
Borrplatsens läge	**Borrplatsens GPS-koordinater i system:** [X] SWEREF 99 TM [ ] SWEREF 99 (WGS 84) [X] RT90 2,5 gon V
	N: 6409633 E: 726539 X: 6409152 Y: 1678751
Borrplatsens adress	**Telefon (även riktnummer)**
Lärbro Hägvide	

Ägare/Beställare

Ägares/beställares namn	Telefon (även riktnummer)
Sveriges geologiska undersökning SGU	
Utdelningsadress, om annan än borrplatsens adress ovan	**Ortsadress (postnummer och ortsnamn)**
FE 17	83873 Frösön

Jordarter/bergarter m.m.

Djup under markytan från	till	Jordart/bergart	Färg	Anmärkningar (vattenförekomst, sprickor m.m.)
0.0	12.0	Lera, sand		
12.0	18.0	Grus, sand		
18.0	60.0	Kalkberg		

Tekniskt utförande

Borrmaskinstyp: [X] sänkhammare [ ] annan:

Tätning mellan foderrör och berg har skett med: [ ] cementering [X] extra plaströrsfodring [ ] annan:

Borrhål fodrat	Ytterdiameter		Godstjocklek		djup från		till	
[X] stålrör	139.7	x	5.0	mm	0.0	—	21.0	m
[ ] annan rörtyp:		x		mm		—		m

Totaldjup från markytan	Jorddjup från markytan (djup till berg)	Borrhålets bottendiameter
60.0 m	18.0 m	115.0 mm

Brunnens användning: [ ] hushållsvatten [ ] energi värme/kyla [ ] kommunalt vatten [X] övrigt: Observationsbrunn, -rör

Vattenanalys utförd: [ ] fys. kemisk [ ] bakteriologisk [ ] radon

Vattenflaska lämnad: [ ] ja [ ] nej

Analysresultat: [ ] bifogas [ ] insändes senare

Provpumpning m.m.

Typ av kapacitetsmätning: [X] blåsning [ ] flottörmätning [ ] pumpning

Pumpens maxkapacitet: liter/tim

Pump- eller blåsdjup under markytan	Pump- eller blåstid	Vattenmängd		Vid kapacitetsmätningen sjönk vattenytan (räknat från markytan) djup från	till
m	tim	liter/tim	[ ] före tryckning		— m
m	tim	liter/tim	[ ] efter tryckning		— m

GV-nivå

Stabil grundvattennivå under markytan	Datum vid mätningstillfället	Mätning av grundvattennivån har skett		antal timmar
6.0 m	2016-12-02	[ ] före vattenuttag	[ ] efter vattenuttag	

Anmärkningar

Anmärkningar: [ ] tryckning [ ] sprängning [ ] gradborrning, riktning:

Annan anmärkning: Stor spricka på 19 m självtryck som täpptes till med foder-röret. Vid sprickan på 19 m gav det ca 150 lit/min (innan sprickan täpptes till med foderrör). Efter sprickan täpptes til

Uppmätt kloridhalt		konduktivitet		m under markytan
31	mg/l	61,3	mS/m	21

Konduktivitet anges i milliSiemens per meter, mS/m

Underskrift

0330-10

Namnförtydligande: Fredrik Ahlqvist

Certifierad borrare nr

GEOTEC
Svenska Borrentreprenörers Branschorganisation

Figur 1:4. Borrprotokoll från borrhål 4, Othem File.

SGU diarienr: 917506512

BRUNNS- OCH BORR-PROTOKOLL

Utskriftsdatum: 2017-02-10

Borrningen avslutad datum: 2016-12-01

Protnr: 200878

Borrföretag

AHLQVISTS BRUNNSBORRNING AB
Fröjel Sälle 931
623 55 Klintehamn
Tel: 070-6955191
Fax: 0498-244005
E-post: info@ahlqvistbrunnsborrning.se
www.ahlqvistsbrunnsborrning.se Borrad enligt Normbrunn-07

Borrplatsens läge

Fastighetsbeteckning (namn och nummer): Othem File 1:20	Ort: Slite
Församling: Othem-Boge	Kommun: Gotland
Borrplatsens läge:	Borrplatsens GPS-koordinater i system: ☐ SWEREF 99 TM ☐ SWEREF 99 (WGS 84) ☐ RT90 2,5 gon V
Borrplatsens adress: Othem File	Telefon (även riktnummer):

Ägare/Beställare

Ägares/beställares namn: Sveriges geologiska undersökning SGU	Telefon (även riktnummer):
Utdelningsadress, om annan än borrplatsens adress ovan: FE 17	Ortsadress (postnummer och ortsnamn): 838 73 Frösön

Jordarter/bergarter m.m.

Djup under markytan från	till	Jordart/bergart	Färg	Anmärkningar (vattenförekomst, sprickor m.m.)
0.0	80.0	Kalkberg		

Tekniskt utförande

Borrmaskinstyp: [X] sänkhammare [ ] annan:

Tätning mellan foderrör och berg har skett med: [ ] cementering [X] extra plaströrsfodring [ ] annan:

Borrhål fodrat	Ytterdiameter	Godstjocklek	djup från	till
[X] stålrör	139.7	x 5.0 mm	0.0	6.0 m
[ ] annan rörtyp:	Ytterdiameter	x Godstjocklek mm	djup från	till m

Totaldjup från markytan	Jorddjup från markytan (djup till berg)	Borrhålets bottendiameter
80.0 m	0.0 m	115.0 mm

Brunnens användning: [ ] hushållsvatten [ ] energi värme/kyla [ ] kommunalt vatten [X] övrigt: Observationsbrunn, -rör

Vattenanalys utförd: [ ] fys. kemisk [ ] bakteriologisk [ ] radon

Vattenflaska lämnad: [ ] ja [ ] nej

Analysresultat: [ ] bifogas [ ] insändes senare

Provpumpning m.m.

Typ av kapacitetsmätning: [X] blåsning [ ] flottörmätning [ ] pumpning

Pumpens maxkapacitet: liter/tim

Pump- eller blåsdjup under markytan	Pump- eller blåstid	Vattenmängd		Vid kapacitetsmätningen sjönk vattenytan (räknat från markytan)
80.0 m	0.5 tim	3300 liter/tim	[X] före tryckning	djup från — till m
m	tim	liter/tim	[ ] efter tryckning	djup från — till m

GV-nivå

Stabil grundvattennivå under markytan	Datum vid mätningstillfället	Mätning av grundvattennivån har skett		antal timmar
29.0 m		[ ] före vattenuttag	[ ] efter vattenuttag	

Anmärkningar

Anmärkningar: [ ] tryckning [ ] sprängning [ ] gradborrning, riktning:

Annan anmärkning: Vatten på 28 m ca 30 lit/min ökande vid 53 m till ca 55 lit/min.

Uppmätt kloridhalt	konduktivitet	m under markytan
190 mg/l	129 mS/m	28
50 mg/l	94,9 mS/m	79
240 mg/l	139 mS/m	80
mg/l	mS/m	

Konduktivitet anges i milliSiemens per meter, mS/m

Underskrift

Namnförtydligande

Certifierad borrare nr

GEOTEC
Svenska Borrentreprenörers Branschorganisation

Figur 1:5. Borrprotokoll från borrhål 5, Gothem Kaupungs.

SGU diarienr: 917501117

BRUNNS- OCH BORR-PROTOKOLL

Utskriftsdatum: 2017-02-10

Borrningen avslutad datum: 2016-11-23

Protnr: 200873

BORRARE

Borrföretag

AHLQVISTS BRUNNSBORRNING AB
Fröjel Sälle 931
623 55 Klintehamn
Tel: 070-6955191
Fax: 0498-244005
E-post: info@ahlqvistbrunnsborrning.se
www.ahlqvistsbrunnsborrning.se Borrad enligt Normbrunn-07

Borrplatsens läge

Fastighetsbeteckning (namn och nummer): Gothem Kaupungs 1:19
Ort:
Församling: Gothem
Kommun: Gotland
Borrplatsens läge:
Borrplatsens GPS-koordinater i system: [X] SWEREF 99 TM [ ] SWEREF 99 (WGS 84) [X] RT90 2,5 gon V
N: 6392110 E: 722755 X: 6391673 Y: 1674758
Borrplatsens adress: Gothem Kaupungs
Telefon (även riktnummer):

Ägare/Beställare

Ägares/beställares namn: Sveriges geologiska undersökning SGU
Telefon (även riktnummer):
Utdelningsadress, om annan än borrplatsens adress ovan: FE 17
Ortsadress (postnummer och ortsnamn): 83873 Frösön

Jordarter/bergarter m.m.

Djup under markytan från	till	Jordart/bergart	Färg	Anmärkningar (vattenförekomst, sprickor m.m.)
0.0	3.0	Stenig/blockig morän		
3.0	4.0	Märgel		
4.0	60.0	Kalkberg		Se sid 2 anm 3

Tekniskt utförande

Borrmaskinstyp: [X] sänkhammare [ ] annan:
Tätning mellan foderrör och berg har skett med: [ ] cementering [X] extra plaströrsfodring [ ] annan:

Borrhål fodrat	Ytterdiameter		Godstjocklek		djup från		till	
[X] stålrör	139.7	x	5.0	mm	—		6.0	m
[ ] annan rörtyp:		x		mm	—			m

Totaldjup från markytan: 60.0 m
Jorddjup från markytan (djup till berg): 4.0 m
Borrhålets bottendiameter: 115.0 mm

Brunnens användning: [ ] hushållsvatten [ ] energi värme/kyla [ ] kommunalt vatten [X] övrigt: Observationsbrunn, -rör

Vattenanalys utförd: [ ] fys. kemisk [ ] bakteriologisk [ ] radon
Vattenflaska lämnad: [ ] ja [ ] nej
Analysresultat: [ ] bifogas [ ] insändes senare

Provpumpning m.m.

Typ av kapacitetsmätning: [X] blåsning [ ] flottörmätning [ ] pumpning
Pumpens maxkapacitet: liter/tim

Pump- eller blåsdjup under markytan	Pump- eller blåstid	Vattenmängd		Vid kapacitetsmätningen sjönk vattenytan (räknat från markytan) djup från	till
60.0 m	0.5 tim	7200 liter/tim	[X] före tryckning	—	m
m	tim	liter/tim	[ ] efter tryckning	—	m

GV-nivå

Stabil grundvattennivå under markytan: 21.0 m
Datum vid mätningstillfället: 2016-11-23
Mätning av grundvattennivån har skett: [ ] före vattenuttag [ ] efter vattenuttag
antal timmar:

Anmärkningar

Anmärkningar: [ ] tryckning [ ] sprängning [ ] gradborrning, riktning:

Annan anmärkning: Flöde vid 50 m ca 95- 100 l/min. Vatten vid 21 m ca 3l/min ökat flöde vid 29 m (bra spricka) Flöde vid 30 m och 40 m 80-85 l/min

Uppmätt kloridhalt		konduktivitet		m under markytan
130	mg/l	83,3	mS/m	21
250	mg/l	126	mS/m	40
260	mg/l	133	mS/m	60
	mg/l		mS/m	

Konduktivitet anges i milliSiemens per meter, mS/m

Underskrift

Namnförtydligande: Fredrik Ahlqvist
Certifierad borrare nr: 0330-10

GEOTEC
Svenska Borrentreprenörers Branschorganisation

Figur 1:6. Borrprotokoll från borrhål 6, Gothem Suderbys.

SGU diarienr: 916625567

BRUNNS- OCH BORR-PROTOKOLL

Utskriftsdatum: 2017-02-10

Borrningen avslutad datum: 2016-11-25

Protnr: 200872:3

BORRARE

Borrföretag

AHLQVISTS BRUNNSBORRNING AB
Fröjel Sälle 931
623 55 Klintehamn
Tel: 070-6955191
Fax: 0498-244005
E-post: info@ahlqvistbrunnsborrning.se
www.ahlqvistsbrunnsborrning.se Borrad enligt Normbrunn-07

Borrplatsens läge

Fastighetsbeteckning (namn och nummer): Gothem Suderbys 1:27
Ort:
Församling:
Kommun: Gotland
Borrplatsens läge:
Borrplatsens GPS-koordinater i system: [X] SWEREF 99 TM [ ] SWEREF 99 (WGS 84) [X] RT90 2,5 gon V
N: 6384145 E: 720743 X: 6383731 Y: 1672651
Borrplatsens adress: Gothem Suderbys
Telefon (även riktnummer):

Ägare/Beställare

Ägares/beställares namn: Sveriges geologiska undersökning SGU
Telefon (även riktnummer):
Utdelningsadress, om annan än borrplatsens adress ovan: FE 17
Ortsadress (postnummer och ortsnamn): 83873 Frösön

Jordarter/bergarter m.m.

Djup under markytan från	till	Jordart/bergart	Färg	Anmärkningar (vattenförekomst, sprickor m.m.)
0.0	30.0	Kalkberg		Se sid 2 anm 1

Tekniskt utförande

Borrmaskinstyp: [X] sänkhammare [ ] annan:
Tätning mellan foderrör och berg har skett med: [ ] cementering [X] extra plaströrsfodring [ ] annan:

Borrhål fodrat	Ytterdiameter	Godstjocklek	djup från	till
[X] stålrör	139.7	x 5.0 mm	0.0	6.0 m
[ ] annan rörtyp:		x mm		m

Totaldjup från markytan: 30.0 m
Jorddjup från markytan (djup till berg): 0.0 m
Borrhålets bottendiameter: 115.0 mm
Brunnens användning: [ ] hushållsvatten [ ] energi värme/kyla [ ] kommunalt vatten [X] övrigt: Observationsbrunn, -rör

Vattenanalys utförd: [ ] fys. kemisk [ ] bakteriologisk [ ] radon
Vattenflaska lämnad: [ ] ja [ ] nej
Analysresultat: [ ] bifogas [ ] insändes senare

Provpumpning m.m.

Typ av kapacitetsmätning: [X] blåsning [ ] flottörmätning [ ] pumpning
Pumpens maxkapacitet: liter/tim

Pump- eller blåsdjup under markytan	Pump- eller blåstid	Vattenmängd		Vid kapacitetsmätningen sjönk vattenytan (räknat från markytan) djup från	till
30.0 m	0.5 tim	18000 liter/tim	[X] före tryckning		m
m	tim	liter/tim	[ ] efter tryckning		m

GV-nivå

Stabil grundvattennivå under markytan: 1.6 m
Datum vid mätningstillfället:
Mätning av grundvattennivån har skett: [ ] före vattenuttag [ ] efter vattenuttag
antal timmar:

Anmärkningar

Anmärkningar: [ ] tryckning [ ] sprängning [ ] gradborrning, riktning:
Annan anmärkning: Vatten vid 13 m, vattenflöde självtryck 3.600l/tim. 15 m
5.100l/tim Blåsning minsta möjliga tryck på 30 m 18.000l/im

Uppmätt kloridhalt	konduktivitet	m under markytan
8,4 mg/l	50,7 mS/m	13
8,4 mg/l	51,4 mS/m	30
mg/l	mS/m	
mg/l	mS/m	

Konduktivitet anges i milliSiemens per meter, mS/m

Underskrift

Namnförtydligande: Fredrik Ahlqvist
Certifierad borrare nr: 0330-10

GEOTEC
Svenska Borrentreprenörers Branschorganisation

Figur 1:7. Borrprotokoll från borrhål 7, Norrlanda Anex.

SGU diarienr: 917501182

Borrföretag
AHLQVISTS BRUNNSBORRNING AB
Fröjel Sälle 931
623 55 Klintehamn
Tel: 070-6955191
Fax: 0498-244005
E-post: info@ahlqvistbrunnsborrning.se
www.ahlqvistsbrunnsborrning.se Borrad enligt Normbrunn-07

BRUNNS- OCH BORR-PROTOKOLL
Utskriftsdatum: 2017-02-10
Borrningen avslutad datum: 2016-12-13
Protnr: 200890

BORRARE

Borrplatsens läge

Fastighetsbeteckning (namn och nummer): Norrlanda Annex 1:1	Ort:
Församling:	Kommun: Gotland
Borrplatsens läge:	Borrplatsens GPS-koordinater i system: [X] SWEREF 99 TM [ ] SWEREF 99 (WGS 84) [X] RT90 2,5 gon V N: 6378614 E: 719130 X: 6378219 Y: 1670972
Borrplatsens adress: Norrlanda Annex	Telefon (även riktnummer):

Ägare/Beställare

Ägares/beställares namn: Sveriges geologiska undersökning SGU	Telefon (även riktnummer):
Utdelningsadress, om annan än borrplatsens adress ovan: FE 17	Ortsadress (postnummer och ortsnamn): 838 73 Frösön

Jordarter/bergarter m.m.

Djup under markytan från	till	Jordart/bergart	Färg	Anmärkningar (vattenförekomst, sprickor m.m.)
0.0	3.0	Sand/Grus		
3.0	73.0	Kalkberg, homogent		

Tekniskt utförande

Borrmaskinstyp: [X] sänkhammare [ ] annan:
Tätning mellan foderrör och berg har skett med: [ ] cementering [X] extra plaströrsfodring [ ] annan:

Borrhål fodrat	Ytterdiameter		Godstjocklek		djup från		till	
[X] stålrör	139.7	x	5.0	mm	0.0	—	6.0	m
[ ] annan rörtyp:	Ytterdiameter	x	Godstjocklek	mm	djup från	—	till	m

Totaldjup från markytan	Jorddjup från markytan (djup till berg)	Borrhålets bottendiameter
73.0 m	3.0 m	115.0 mm

Brunnens användning: [ ] hushållsvatten [ ] energi värme/kyla [ ] kommunalt vatten [X] övrigt: Observationsbrunn, -rör

Vattenanalys utförd: [ ] fys. kemisk [ ] bakteriologisk [ ] radon
Vattenflaska lämnad: [ ] ja [ ] nej
Analysresultat: [ ] bifogas [ ] insändes senare

Provpumpning m.m.

Typ av kapacitetsmätning: [X] blåsning [ ] flottörmätning [ ] pumpning
Pumpens maxkapacitet: liter/tim

Pump- eller blåsdjup under markytan	Pump- eller blåstid	Vattenmängd		Vid kapacitetsmätningen sjönk vattenytan (räknat från markytan)
73.0 m	0.5 tim	7200 liter/tim	[X] före tryckning	djup från — till m
m	tim	liter/tim	[ ] efter tryckning	djup från — till m

GV-nivå

Stabil grundvattennivå under markytan	Datum vid mätningstillfället	Mätning av grundvattennivån har skett	antal timmar
0.25 m		[ ] före vattenuttag [ ] efter vattenuttag	

Anmärkningar

Anmärkningar: [ ] tryckning [ ] sprängning [ ] gradborrning, riktning:
Annan anmärkning: Vatten på 18 m ca 80 l/min ökande vid 61 m till 120 l/min.

Uppmätt kloridhalt	konduktivitet	m under markytan
12 mg/l	57,8 mS/m	?
mg/l	mS/m	
mg/l	mS/m	
mg/l	mS/m	

Konduktivitet anges i milliSiemens per meter, mS/m

Underskrift

0330-10
Certifierad borrare nr

Namnförtydligande: Fredrik Ahlqvist

GEOTEC
Svenska Borrentreprenörers Branschorganisation

Figur 1:8. Borrprotokoll från borrhål 8, Stånga Stallause.

SGU diarienr: 916625616

BRUNNS- OCH BORR-PROTOKOLL

Utskriftsdatum: 2017-02-10

Borrningen avslutad datum: 2016-11-15

Protnr: 200866:1

Borrföretag
AHLQVISTS BRUNNSBORRNING AB
Fröjel Sälle 931
623 55 Klintehamn
Tel: 070-6955191
Fax: 0498-244005
E-post: info@ahlqvistbrunnsborrning.se
www.ahlqvistsbrunnsborrning.se Borrad enligt Normbrunn-07

Borrplatsens läge

Fastighetsbeteckning (namn och nummer): Stånga Stallause 1:16
Ort:
Församling:
Kommun: Gotland
Borrplatsens läge:
Borrplatsens GPS-koordinater i system: [X] SWEREF 99 TM [ ] SWEREF 99 (WGS 84) [X] RT90 2,5 gon V
N: 6352661 E: 708250 X: 6352392 Y: 1659783
Borrplatsens adress: Stånga Stallause
Telefon (även riktnummer):

Ägare/Beställare

Ägares/beställares namn: Sveriges geologiska undersökning SGU
Telefon (även riktnummer):
Utdelningsadress, om annan än borrplatsens adress ovan: FE 17
Ortsadress (postnummer och ortsnamn): 83873 Frösön

Jordarter/bergarter m.m.

Djup under markytan från	till	Jordart/bergart	Färg	Anmärkningar (vattenförekomst, sprickor m.m.)
0.0	13.0	Sand/grus		Se sid 2 anm 2
13.0	40.0	kalkberg		

Tekniskt utförande

Borrmaskinstyp: [X] sänkhammare [ ] annan:
Tätning mellan foderrör och berg har skett med: [ ] cementering [X] extra plaströrsfodring [ ] annan:

Borrhål fodrat: [X] stålrör — Ytterdiameter 139.7 x Godstjocklek 5.0 mm — djup från 0.0 — till 15.0 m
[ ] annan rörtyp: — Ytterdiameter x Godstjocklek mm — djup från — till m

Totaldjup från markytan: 40.0 m
Jorddjup från markytan (djup till berg): 13.0 m
Borrhålets bottendiameter: 115.0 mm

Brunnens användning: [ ] hushållsvatten [ ] energi värme/kyla [ ] kommunalt vatten [X] övrigt: Observationsbrunn, -rör

Vattenanalys utförd: [ ] fys. kemisk [ ] bakteriologisk [ ] radon
Vattenflaska lämnad: [ ] ja [ ] nej
Analysresultat: [ ] bifogas [ ] insändes senare

Provpumpning m.m.

Typ av kapacitetsmätning: [X] blåsning [ ] flottörmätning [ ] pumpning
Pumpens maxkapacitet: liter/tim

Pump- eller blåsdjup under markytan	Pump- eller blåstid	Vattenmängd		Vid kapacitetsmätningen sjönk vattenytan (räknat från markytan)
40.0 m	0.5 tim	6000 liter/tim	[X] före tryckning	djup från — till m
m	tim	liter/tim	[ ] efter tryckning	djup från — till m

GV-nivå

Stabil grundvattennivå under markytan: 9.0 m
Datum vid mätningstillfället: 2016-11-15
Mätning av grundvattennivån har skett: [ ] före vattenuttag [ ] efter vattenuttag — antal timmar

Anmärkningar

Anmärkningar: [ ] tryckning [ ] sprängning [ ] gradborrning, riktning:

Annan anmärkning: Stor spricka på 30 m, vatten på 37 m ca 6.000 l/tim.

Uppmätt kloridhalt	konduktivitet	m under markytan
7,1 mg/l	21,1 mS/m	10
3700 mg/l	1096 mS/m	36
3700 mg/l	1095 mS/m	40
mg/l	mS/m	

Konduktivitet anges i milliSiemens per meter, mS/m

Underskrift

Namnförtydligande: Fredrik Ahlqvist
Certifierad borrare nr: 0330-10

Svenska Borrentreprenörers Branschorganisation

Figur 1:9. Borrprotokoll från borrhål 9, Burs Västerlaus.

SGU diarienr: 917506502

Borrföretag
AHLQVISTS BRUNNSBORRNING AB
Fröjel Sälle 931
623 55 Klintehamn
Tel: 070-6955191
Fax: 0498-244005
E-post: info@ahlqvistbrunnsborrning.se
www.ahlqvistsbrunnsborrning.se Borrad enligt Normbrunn-07

BRUNNS- OCH BORR-PROTOKOLL
Utskriftsdatum: 2017-02-10
Borrningen avslutad datum: 2016-11-24
Protnr: 200873:1

Borrplatsens läge

Fastighetsbeteckning (namn och nummer)	Ort
Burs Västerlaus 2:1	Stånga
Församling	**Kommun**
Stånga-Burs	Gotland

Borrplatsens läge:

Borrplatsens GPS-koordinater i system: ☐ SWEREF 99 TM ☐ SWEREF 99 (WGS 84) ☐ RT90 2,5 gon V

Borrplatsens adress: Burs Västerlaus

Telefon (även riktnummer):

Ägare/Beställare

Ägares/beställares namn: Sveriges geologiska undersökning SGU

Telefon (även riktnummer):

Utdelningsadress, om annan än borrplatsens adress ovan: FE 17

Ortsadress (postnummer och ortsnamn): 838 73 Frösön

Jordarter/bergarter m.m.

Djup under markytan från	till	Jordart/bergart Färg	Anmärkningar (vattenförekomst, sprickor m.m.)
0.0	3.0	Sand	
3.0	9.0	Sand/grus/lera	
9.0	12.0	Grus/lera/sand	
12.0	15.0	Grus	
15.0	80.0	Kalkberg	

Tekniskt utförande

Borrmaskinstyp: [X] sänkhammare [ ] annan:

Tätning mellan foderrör och berg har skett med: [ ] cementering [X] extra plaströrsfodring [ ] annan:

Borrhål fodrat	Ytterdiameter		Godstjocklek		djup från		till	
[X] stålrör	139.7	x	5.0	mm	0.0	—	18.0	m
[ ] annan rörtyp:	Ytterdiameter	x	Godstjocklek	mm	djup från	—	till	m

Totaldjup från markytan	Jorddjup från markytan (djup till berg)	Borrhålets bottendiameter
80.0 m	0.0 m	115.0 mm

Brunnens användning: [ ] hushållsvatten [ ] energi värme/kyla [ ] kommunalt vatten [X] övrigt: Observationsbrunn, -rör

Vattenanalys utförd: [ ] fys. kemisk [ ] bakteriologisk [ ] radon

Vattenflaska lämnad: [ ] ja [ ] nej

Analysresultat: [ ] bifogas [ ] insändes senare

Provpumpning m.m.

Typ av kapacitetsmätning: [X] blåsning [ ] flottörmätning [ ] pumpning

Pumpens maxkapacitet: liter/tim

Pump- eller blåsdjup under markytan	Pump- eller blåstid	Vattenmängd		Vid kapacitetsmätningen sjönk vattenytan (räknat från markytan)
80.0 m	0.5 tim	2100 liter/tim	[X] före tryckning	djup från — till m
m	tim	liter/tim	[ ] efter tryckning	djup från — till m

GV-nivå

Stabil grundvattennivå under markytan	Datum vid mätningstillfället	Mätning av grundvattennivån har skett	antal timmar
9.0 m	2016-11-24	[ ] före vattenuttag [ ] efter vattenuttag	

Anmärkningar

Anmärkningar: [ ] tryckning [ ] sprängning [ ] gradborrning, riktning:

Annan anmärkning: Vatten på 19 m ca 23 lit/min ökande vid 22 m till ca 30 lit/min ökande och salt vatten på 65 m ca 35 lit/min.

Uppmätt kloridhalt	konduktivitet	m under markytan
11 mg/l	33,4 mS/m	9
30 mg/l	45,5 mS/m	18
40 mg/l	51,4 mS/m	36
48 mg/l	55,9 mS/m	50

Konduktivitet anges i milliSiemens per meter, mS/m

Underskrift

Namnförtydligande

Certifierad borrare nr

GEOTEC
Svenska Borrentreprenörers Branschorganisation

930 320 70
3000 903 80

Figur 1:10. Borrprotokoll från borrhål 10, Burs Änges.

SGU diarienr: 916625624

Borrföretag
AHLQVISTS BRUNNSBORRNING AB
Fröjel Sälle 931
623 55 Klintehamn
Tel: 070-6955191
Fax: 0498-244005
E-post: info@ahlqvistbrunnsborrning.se
www.ahlqvistsbrunnsborrning.se Borrad enligt Normbrunn-07

BRUNNS- OCH BORR-PROTOKOLL
Utskriftsdatum: 2017-02-10
Borrningen avslutad datum: 2016-11-15
Protnr: 200866:2

BORRARE

Borrplatsens läge

Fastighetsbeteckning (namn och nummer): Burs Änges 1:45	Ort:
Församling:	Kommun: Gotland
Borrplatsens läge:	Borrplatsens GPS-koordinater i system: [X] SWEREF 99 TM [ ] SWEREF 99 (WGS 84) [X] RT90 2,5 gon V N: 6384145 E: 720743 X: 6383731 Y: 1672651
Borrplatsens adress: Burs Änges	Telefon (även riktnummer):

Ägare/Beställare

Ägares/beställares namn: Sveriges geologiska undersökning SGU	Telefon (även riktnummer):
Utdelningsadress, om annan än borrplatsens adress ovan: FE 17	Ortsadress (postnummer och ortsnamn): 83873 Frösön

Jordarter/bergarter m.m.

Djup under markytan från	till	Jordart/bergart	Färg	Anmärkningar (vattenförekomst, sprickor m.m.)
0.0	0.5	Jord		
0.5	1.0	Trasigt kalkberg		
1.0	40.0	Kalkberg		Se sid 2 anm 3

Tekniskt utförande

Borrmaskinstyp: [X] sänkhammare [ ] annan:
Tätning mellan foderrör och berg har skett med: [ ] cementering [X] extra plaströrsfodring [ ] annan:

Borrhål fodrat	Ytterdiameter	Godstjocklek	djup från	till
[X] stålrör	139.7	x 5.0 mm	0.0	6.0 m
[ ] annan rörtyp:	Ytterdiameter	Godstjocklek	djup från	till
		x mm		m

Totaldjup från markytan	Jorddjup från markytan (djup till berg)	Borrhålets bottendiameter
40.0 m	0.5 m	115.0 mm

Brunnens användning: [ ] hushållsvatten [ ] energi värme/kyla [ ] kommunalt vatten [X] övrigt: Observationsbrunn, -rör

Vattenanalys utförd: [ ] fys. kemisk [ ] bakteriologisk [ ] radon
Vattenflaska lämnad: [ ] ja [ ] nej
Analysresultat: [ ] bifogas [ ] insändes senare

Provpumpning m.m.

Typ av kapacitetsmätning: [X] blåsning [ ] flottörmätning [ ] pumpning
Pumpens maxkapacitet: liter/tim

Pump- eller blåsdjup under markytan	Pump- eller blåstid	Vattenmängd		Vid kapacitetsmätningen sjönk vattenytan (räknat från markytan)
40.0 m	tim	420 liter/tim	[X] före tryckning	djup från — till m
m	tim	liter/tim	[ ] efter tryckning	djup från — till m

GV-nivå

Stabil grundvattennivå under markytan	Datum vid mätningstillfället	Mätning av grundvattennivån har skett	antal timmar
9.0 m		[ ] före vattenuttag [ ] efter vattenuttag	

Anmärkningar

Anmärkningar: [ ] tryckning [ ] sprängning [ ] gradborrning, riktning:
Annan anmärkning: Vatten på 22 m 240 l/tim ökande vid 25,5 m till 420 l/tim

Uppmätt kloridhalt	konduktivitet	m under markytan
164 mg/l	420 mS/m	25
183 mg/l	480 mS/m	40
mg/l	mS/m	
mg/l	mS/m	

Konduktivitet anges i milliSiemens per meter, mS/m

Underskrift

0330-10
Certifierad borrare nr

Namnförtydligande: Fredrik Ahlqvist

GEOTEC
Svenska Borrentreprenörers Branschorganisation

Figur 1:11. Borrprotokoll från borrhål 11, Burs Amunde.

SGU diarienr: 916625545

Borrföretag
AHLQVISTS BRUNNSBORRNING AB
Fröjel Sälle 931
623 55 Klintehamn
Tel: 070-6955191
Fax: 0498-244005
E-post: info@ahlqvistbrunnsborrning.se
www.ahlqvistsbrunnsborrning.se Borrad enligt Normbrunn-07

BRUNNS- OCH BORR-PROTOKOLL
Utskriftsdatum: 2017-02-10
Borrningen avslutad datum: 2016-11-25
Protnr: 200872:2

BORRARE

Borrplatsens läge

Fastighetsbeteckning (namn och nummer): Burs Ammunde 1:36	Ort:
Församling:	Kommun: Gotland
Borrplatsens läge:	Borrplatsens GPS-koordinater i system: [X] SWEREF 99 TM [ ] SWEREF 99 (WGS 84) [X] RT90 2,5 gon V
	N: 6348471 E: 712826 X: 6348147 Y: 1664310
Borrplatsens adress: Burs Ammunde	Telefon (även riktnummer):

Ägare/Beställare

Ägares/beställares namn: Sveriges geologiska undersökning SGU	Telefon (även riktnummer):
Utdelningsadress, om annan än borrplatsens adress ovan: FE 17	Ortsadress (postnummer och ortsnamn): 83873 Frösön

Jordarter/bergarter m.m.

Djup under markytan från	till	Jordart/bergart	Färg	Anmärkningar (vattenförekomst, sprickor m.m.)
0.0	4.5	sand		Se sid 2 anm 2
4.5	30.0	Kalkberg		

Tekniskt utförande

Borrmaskinstyp: [X] sänkhammare [ ] annan:
Tätning mellan foderrör och berg har skett med: [ ] cementering [X] extra plaströrsfodring [ ] annan:

Borrhål fodrat	Ytterdiameter		Godstjocklek		djup från		till	
[X] stålrör	139.7	x	5.0	mm	0.0	—	9.0	m
[ ] annan rörtyp:	Ytterdiameter	x	Godstjocklek	mm	djup från	—	till	m

Totaldjup från markytan	Jorddjup från markytan (djup till berg)	Borrhålets bottendiameter
30.0 m	4.5 m	115.0 mm

Brunnens användning: [ ] hushållsvatten [ ] energi värme/kyla [ ] kommunalt vatten [X] övrigt: Observationsbrunn, -rör

Vattenanalys utförd: [ ] fys. kemisk [ ] bakteriologisk [ ] radon
Vattenflaska lämnad: [ ] ja [ ] nej
Analysresultat: [ ] bifogas [ ] insändes senare

Provpumpning m.m.

Typ av kapacitetsmätning: [X] blåsning [ ] flottörmätning [ ] pumpning
Pumpens maxkapacitet: liter/tim

Pump- eller blåsdjup under markytan	Pump- eller blåstid	Vattenmängd		Vid kapacitetsmätningen sjönk vattenytan (räknat från markytan)
30.0 m	0.5 tim	510 liter/tim	[X] före tryckning	djup från — till m
m	tim	liter/tim	[ ] efter tryckning	djup från — till m

GV-nivå

Stabil grundvattennivå under markytan	Datum vid mätningstillfället	Mätning av grundvattennivån har skett	antal timmar
1.6 m	2016-11-25	[ ] före vattenuttag [ ] efter vattenuttag	

Anmärkningar

Anmärkningar: [ ] tryckning [ ] sprängning [ ] gradborrning, riktning:

Annan anmärkning: Dammtorrt -12 m Fukt på 14 m, vatten på 17 m (ej mätbar vattenmängd 15-20 m. Vatten på 30 m 510 l/tim.

Uppmätt kloridhalt	konduktivitet	m under markytan
29 mg/l	48,7 mS/m	10
mg/l	mS/m	
mg/l	mS/m	
mg/l	mS/m	

Konduktivitet anges i milliSiemens per meter, mS/m

Underskrift

Namnförtydligande: Fredrik Ahlqvist
Certifierad borrare nr: 0330-10

GEOTEC
Svenska Borrentreprenörers Branschorganisation

Figur 1:12. Borrprotokoll från borrhål 12, Stora Sutarve.

SGU diarienr: 917501122

Borrföretag
AHLQVISTS BRUNNSBORRNING AB
Fröjel Sälle 931
623 55 Klintehamn
Tel: 070-6955191
Fax: 0498-244005
E-post: info@ahlqvistbrunnsborrning.se
www.ahlqvistsbrunnsborrning.se Borrad enligt Normbrunn-07

BRUNNS- OCH BORR-PROTOKOLL
Utskriftsdatum: 2017-02-10
Borrningen avslutad datum: 2016-09-12
Protnr: 200790

BORRARE

Borrplatsens läge

Fastighetsbeteckning (namn och nummer): Hamra Stora Sutarve 1:2
Ort:
Församling: Hoburg
Kommun: Gotland
Borrplatsens läge:
Borrplatsens GPS-koordinater i system: [X] SWEREF 99 TM [ ] SWEREF 99 (WGS 84) [X] RT90 2,5 gon V
N: 6322259 E: 700259 X: 6322081 Y: 1651431
Borrplatsens adress: Öja Stora Sutarve
Telefon (även riktnummer):

Ägare/Beställare

Ägares/beställares namn: Sveriges geologiska undersökning SGU
Telefon (även riktnummer):
Utdelningsadress, om annan än borrplatsens adress ovan: FE 17
Ortsadress (postnummer och ortsnamn): 83873 Frösön

Jordarter/bergarter m.m.

Djup under markytan från	till	Jordart/bergart	Färg	Anmärkningar (vattenförekomst, sprickor m.m.)
0.0	2.8	Sand		
2.8	18.0	Kalksten	Vit	Mellan 10-17 m lersläpp i kalkberg.
18.0	27.0	Kalksten	Blå	
27.0	33.0	Kalksten	Brun	Fukt vid 32 m. Inget vatten.
33.0	35.0	Sandsten		
35.0	43.0	Kalksten		
43.0	50.0	Sandsten		

Tekniskt utförande

Borrmaskinstyp: [X] sänkhammare [ ] annan:
Tätning mellan foderrör och berg har skett med: [ ] cementering [X] extra plaströrsfodring [ ] annan:

Borrhål fodrat	Ytterdiameter		Godstjocklek		djup från		till	
[X] stålrör	139.7	x	5.0	mm	0.0	—	6.0	m
[ ] annan rörtyp:	Ytterdiameter	x	Godstjocklek	mm	djup från	—	till	m

Totaldjup från markytan: 50.0 m
Jorddjup från markytan (djup till berg): 2.8 m
Borrhålets bottendiameter: 115.0 mm

Brunnens användning: [ ] hushållsvatten [ ] energi värme/kyla [ ] kommunalt vatten [X] övrigt: Observationsbrunn, -rör

Vattenanalys utförd: [ ] fys. kemisk [ ] bakteriologisk [ ] radon
Vattenflaska lämnad: [ ] ja [ ] nej
Analysresultat: [ ] bifogas [ ] insändes senare

Provpumpning m.m.

Typ av kapacitetsmätning: [X] blåsning [ ] flottörmätning [ ] pumpning
Pumpens maxkapacitet: liter/tim

Pump- eller blåsdjup under markytan	Pump- eller blåstid	Vattenmängd		Vid kapacitetsmätningen sjönk vattenytan (räknat från markytan) djup från	till
m	tim	liter/tim	[ ] före tryckning	djup från —	till m
m	tim	liter/tim	[ ] efter tryckning	djup från —	till m

GV-nivå

Stabil grundvattennivå under markytan: m
Datum vid mätningstillfället:
Mätning av grundvattennivån har skett: [ ] före vattenuttag [ ] efter vattenuttag
antal timmar

Anmärkningar

Anmärkningar: [ ] tryckning [ ] sprängning [ ] gradborrning, riktning:

	Uppmätt kloridhalt	konduktivitet	m under markytan
	12 mg/l	58,9 mS/m	?

Annan anmärkning: Mellan 10-17 m lersläpp i kalkberg. Fukt vid 32 m. Inget vatten.

Konduktivitet anges i milliSiemens per meter, mS/m

Underskrift
Namnförtydligande: Fredrik Ahlqvist
Certifierad borrare nr: 0330-10

GEOTEC
Svenska Borrentreprenörers Branschorganisation

Figur 1:13. Borrprotokoll från borrhål 13, Vamlingbo Storms.

SGU diarienr: 917501104

BRUNNS- OCH BORR-PROTOKOLL

Utskriftsdatum: 2017-02-10

Borrningen avslutad datum: 2016-12-09

Protnr: 200889

BORRARE

Borrföretag

AHLQVISTS BRUNNSBORRNING AB
Fröjel Sälle 931
623 55 Klintehamn
Tel: 070-6955191
Fax: 0498-244005
E-post: info@ahlqvistbrunnsborrning.se
www.ahlqvistsbrunnsborrning.se

Borrplatsens läge

Fastighetsbeteckning (namn och nummer): Vamlingbo Storms 4:1
Ort: Vamlingbo
Församling: Hoburg
Kommun: Gotland
Borrplatsens läge:
Borrplatsens GPS-koordinater i system: ☐ SWEREF 99 TM ☐ SWEREF 99 (WGS 84) ☐ RT90 2,5 gon V
Borrplatsens adress:
Telefon (även riktnummer):

Ägare/Beställare

Ägares/beställares namn: Sveriges geologiska undersökning SGU
Telefon (även riktnummer):
Utdelningsadress, om annan än borrplatsens adress ovan: FE 17
Ortsadress (postnummer och ortsnamn): 838 73 Frösön

Jordarter/bergarter m.m.

Djup under markytan från	till	Jordart/bergart	Färg	Anmärkningar (vattenförekomst, sprickor m.m.)
0.0	2.7	Sand		
2.7	35.0	Kalkberg		Se sid 2 anm 2

Tekniskt utförande

Borrmaskinstyp: [X] sänkhammare [ ] annan:
Tätning mellan foderrör och berg har skett med: [ ] cementering [X] extra plaströrsfodring [ ] annan:

Borrhål fodrat: [X] stålrör — Ytterdiameter 139.7 x Godstjocklek 5.0 mm — djup från 0.0 — till 6.0 m
[ ] annan rörtyp: — Ytterdiameter x Godstjocklek mm — djup från — till m

Totaldjup från markytan: 35.0 m
Jorddjup från markytan (djup till berg): 2.7 m
Borrhålets bottendiameter: 115.0 mm

Brunnens användning: [ ] hushållsvatten [ ] energi värme/kyla [ ] kommunalt vatten [X] övrigt: Observationsbrunn, -rör

Vattenanalys utförd: [ ] fys. kemisk [ ] bakteriologisk [ ] radon
Vattenflaska lämnad: [ ] ja [ ] nej
Analysresultat: [ ] bifogas [ ] insändes senare

Provpumpning m.m.

Typ av kapacitetsmätning: [X] blåsning [ ] flottörmätning [ ] pumpning
Pumpens maxkapacitet: liter/tim

Pump- eller blåsdjup under markytan	Pump- eller blåstid	Vattenmängd		Vid kapacitetsmätningen sjönk vattenytan (räknat från markytan) djup från — till
35.0 m	tim	0 liter/tim	[X] före tryckning	— m
m	tim	liter/tim	[ ] efter tryckning	— m

GV-nivå

Stabil grundvattennivå under markytan: m
Datum vid mätningstillfället:
Mätning av grundvattennivån har skett: [ ] före vattenuttag [ ] efter vattenuttag — antal timmar

Anmärkningar

Anmärkningar: [ ] tryckning [ ] sprängning [ ] gradborrning, riktning:
Annan anmärkning:

Uppmätt kloridhalt	konduktivitet	m under markytan
780 mg/l	315 mS/m	6
mg/l	mS/m	
mg/l	mS/m	
mg/l	mS/m	

Konduktivitet anges i milliSiemens per meter, mS/m

Underskrift:
Namnförtydligande: Fredrik Ahlqvist
Certifierad borrare nr: 0330-10

GEOTEC
Svenska Borrentreprenörers Branschorganisation

Figur 1:14. Borrprotokoll från borrhål 14, Vamlingbo Austre.

SGU diarienr: 917501174

Borrföretag
AHLQVISTS BRUNNSBORRNING AB
Fröjel Sälle 931
623 55 Klintehamn
Tel: 070-6955191
Fax: 0498-244005
E-post: info@ahlqvistbrunnsborrning.se
www.ahlqvistsbrunnsborrning.se Borrad enligt Normbrunn-07

BRUNNS- OCH BORR-PROTOKOLL
Utskriftsdatum: 2017-02-10
Borrningen avslutad datum: 2016-11-02
Protnr: 200865

BORRARE

Borrplatsens läge

Fastighetsbeteckning (namn och nummer)	Ort
Vamlingbo Austre 2:1	
Församling	**Kommun**
Hoburg	Gotland
Borrplatsens läge	**Borrplatsens GPS-koordinater i system:** [X] SWEREF 99 TM [ ] SWEREF 99 (WGS 84) [X] RT90 2,5 gon V
	N: 6315587 E: 698615 X: 6315427 Y: 1649708
Borrplatsens adress	**Telefon (även riktnummer)**
Vamlingbo Austre	

Ägare/Beställare

Ägares/beställares namn	Telefon (även riktnummer)
Sveriges geologiska undersökning SGU	
Utdelningsadress, om annan än borrplatsens adress ovan	**Ortsadress (postnummer och ortsnamn)**
FE 17	838 73 Frösön

Jordarter/bergarter m.m.

Djup under markytan från	till	Jordart/bergart	Färg	Anmärkningar (vattenförekomst, sprickor m.m.)
0.0	1.0	Jord		Vatten på 12 m ca 1 lit/min
1.0	3.0	Grus		
3.0	4.0	Trasigt berg		
4.0	40.0	Mjuk kalksten		

Tekniskt utförande

Borrmaskinstyp: [X] sänkhammare [ ] annan:
Tätning mellan foderrör och berg har skett med: [ ] cementering [X] extra plaströrsfodring [ ] annan:

Borrhål fodrat	Ytterdiameter	Godstjocklek	djup från	till
[X] stålrör	139.7	x 5.0 mm	0.0	6.0 m
[ ] annan rörtyp:		x mm		m

Totaldjup från markytan	Jorddjup från markytan (djup till berg)	Borrhålets bottendiameter
40.0 m	3.0 m	115.0 mm

Brunnens användning: [ ] hushållsvatten [ ] energi värme/kyla [ ] kommunalt vatten [X] övrigt: Observationsbrunn, -rör

Vattenanalys utförd: [ ] fys. kemisk [ ] bakteriologisk [ ] radon
Vattenflaska lämnad: [ ] ja [ ] nej
Analysresultat: [ ] bifogas [ ] insändes senare

Provpumpning m.m.

Typ av kapacitetsmätning: [X] blåsning [ ] flottörmätning [ ] pumpning
Pumpens maxkapacitet: liter/tim

Pump- eller blåsdjup under markytan	Pump- eller blåstid	Vattenmängd		Vid kapacitetsmätningen sjönk vattenytan (räknat från markytan)
40.0 m	0.5 tim	60 liter/tim	[X] före tryckning	djup från — till m
m	tim	liter/tim	[ ] efter tryckning	djup från — till m

GV-nivå

Stabil grundvattennivå under markytan	Datum vid mätningstillfället	Mätning av grundvattennivån har skett	antal timmar
m		[ ] före vattenuttag [ ] efter vattenuttag	

Anmärkningar

Anmärkningar: [ ] tryckning [ ] sprängning [ ] gradborrning, riktning:
Annan anmärkning: Vatten på 12 m ca 1 lit/min

Uppmätt kloridhalt	konduktivitet	m under markytan
38 mg/l	-- mS/m	12
180 mg/l	93,2 mS/m	40
mg/l	mS/m	
mg/l	mS/m	

Konduktivitet anges i milliSiemens per meter, mS/m

Underskrift

0330-10
Certifierad borrare nr

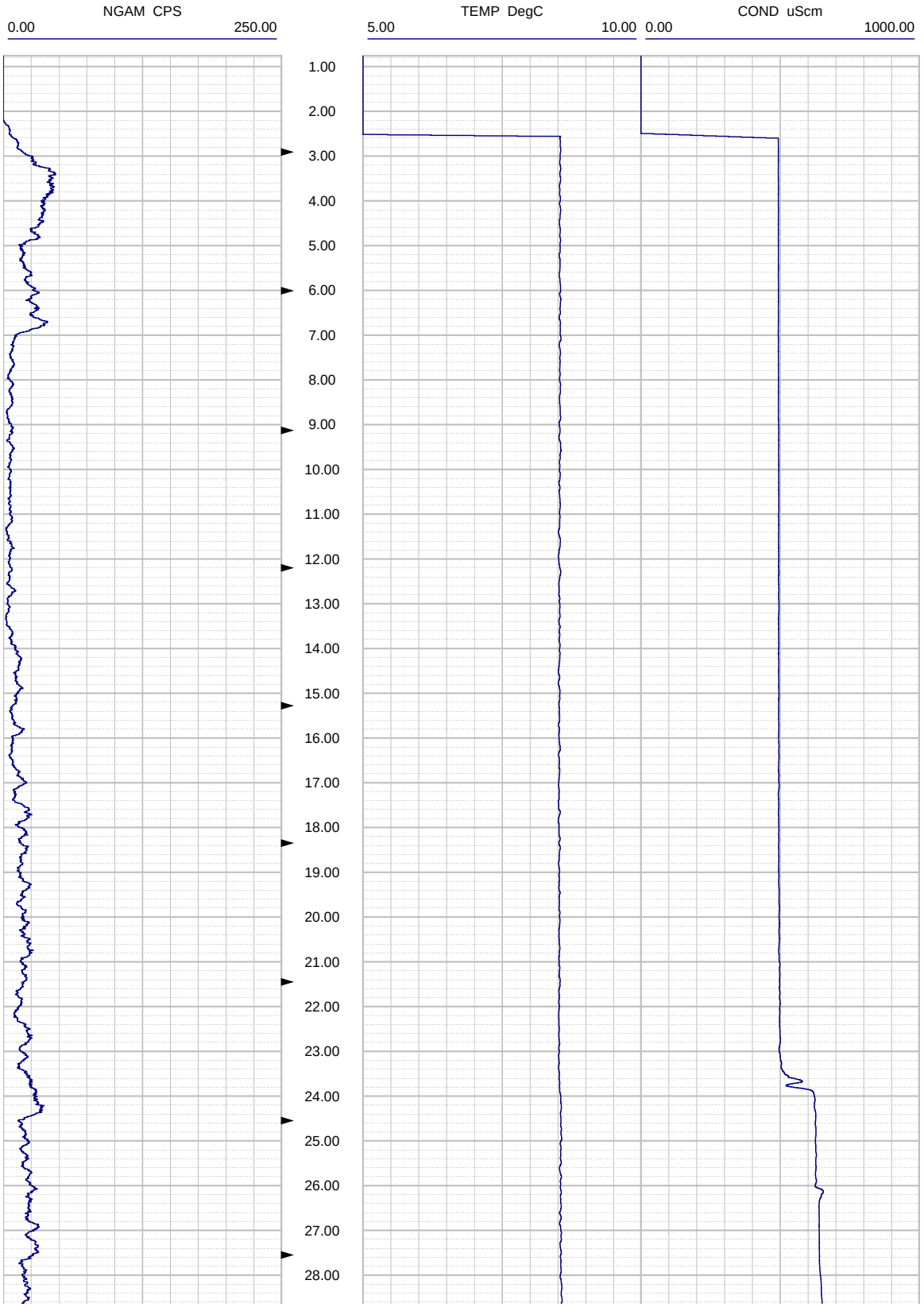
Fredrik Ahlqvist
Namnförtydligande

GEOTEC
Svenska Borrentreprenörers Branschorganisation

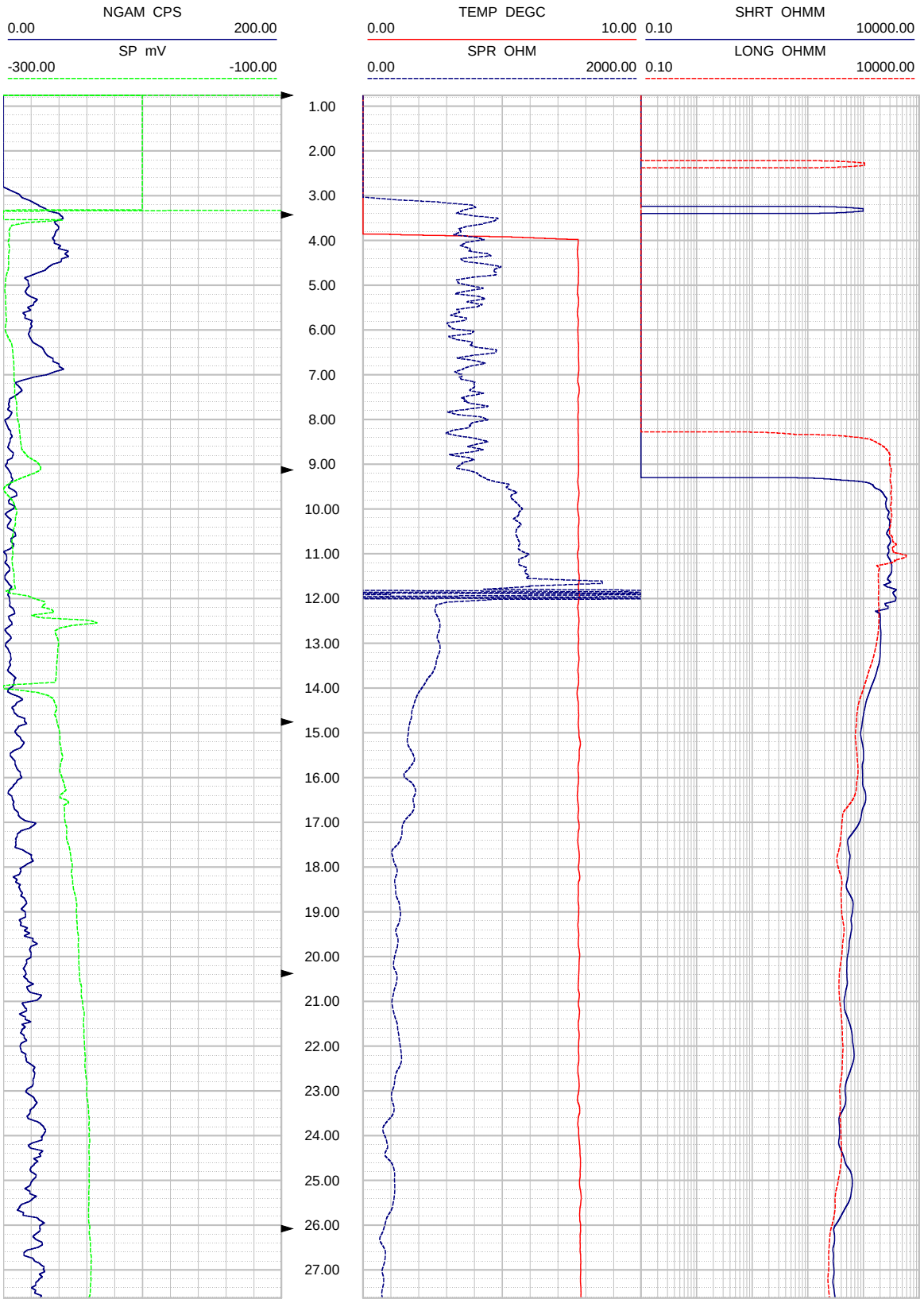
BILAGA 2: DATA FRÅN BORRHÅLSLOGGNING

Data från borrhålsloggningen för respektive borrhål. Mer information om metodik, tolkningar etc. finns i rapportform (Alm 2015, 2016).

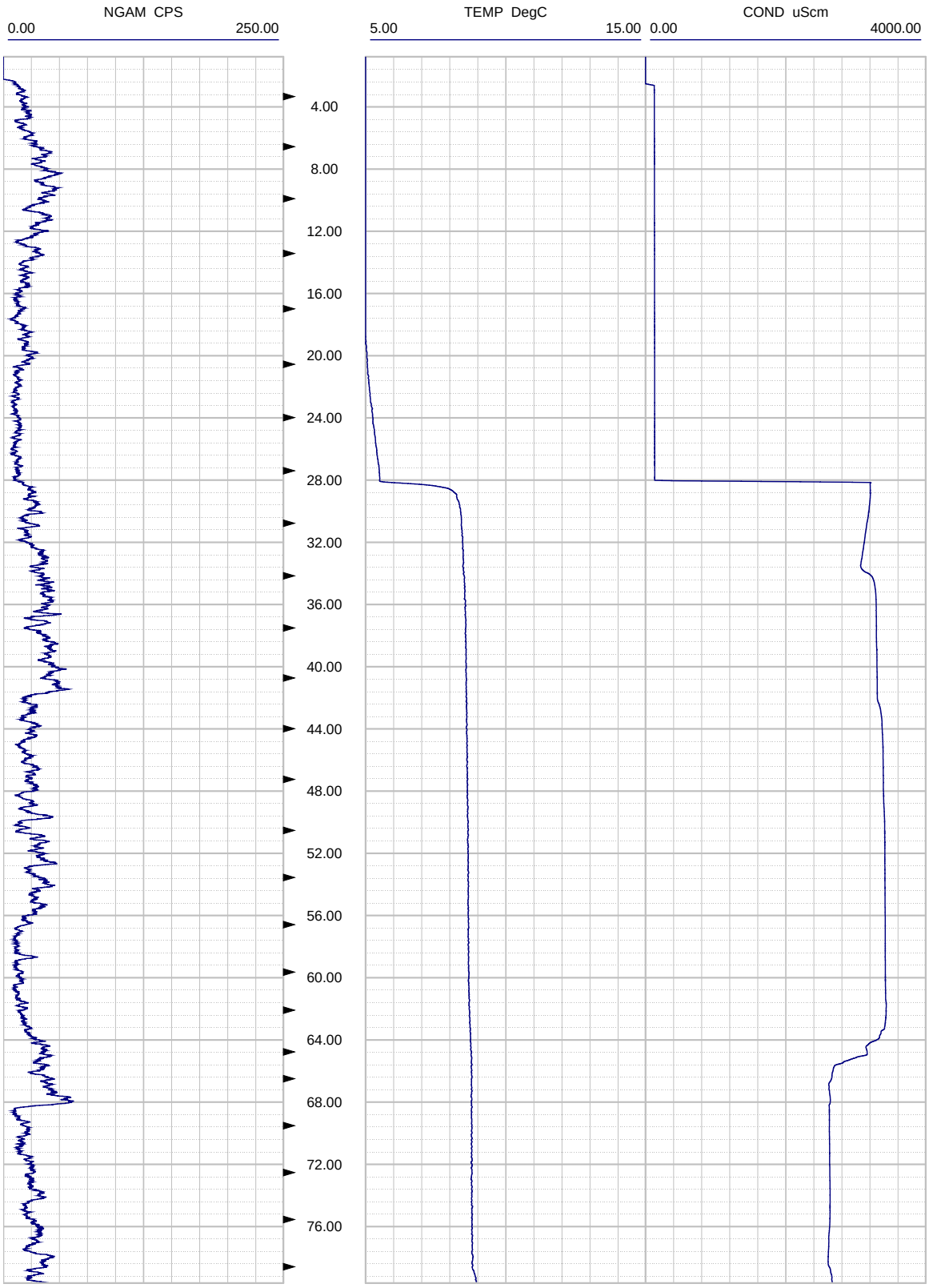
Figur 2:1.1 Fluid Temperature & Conductivity logg från borrhål 1, Tingstäde Bryor.



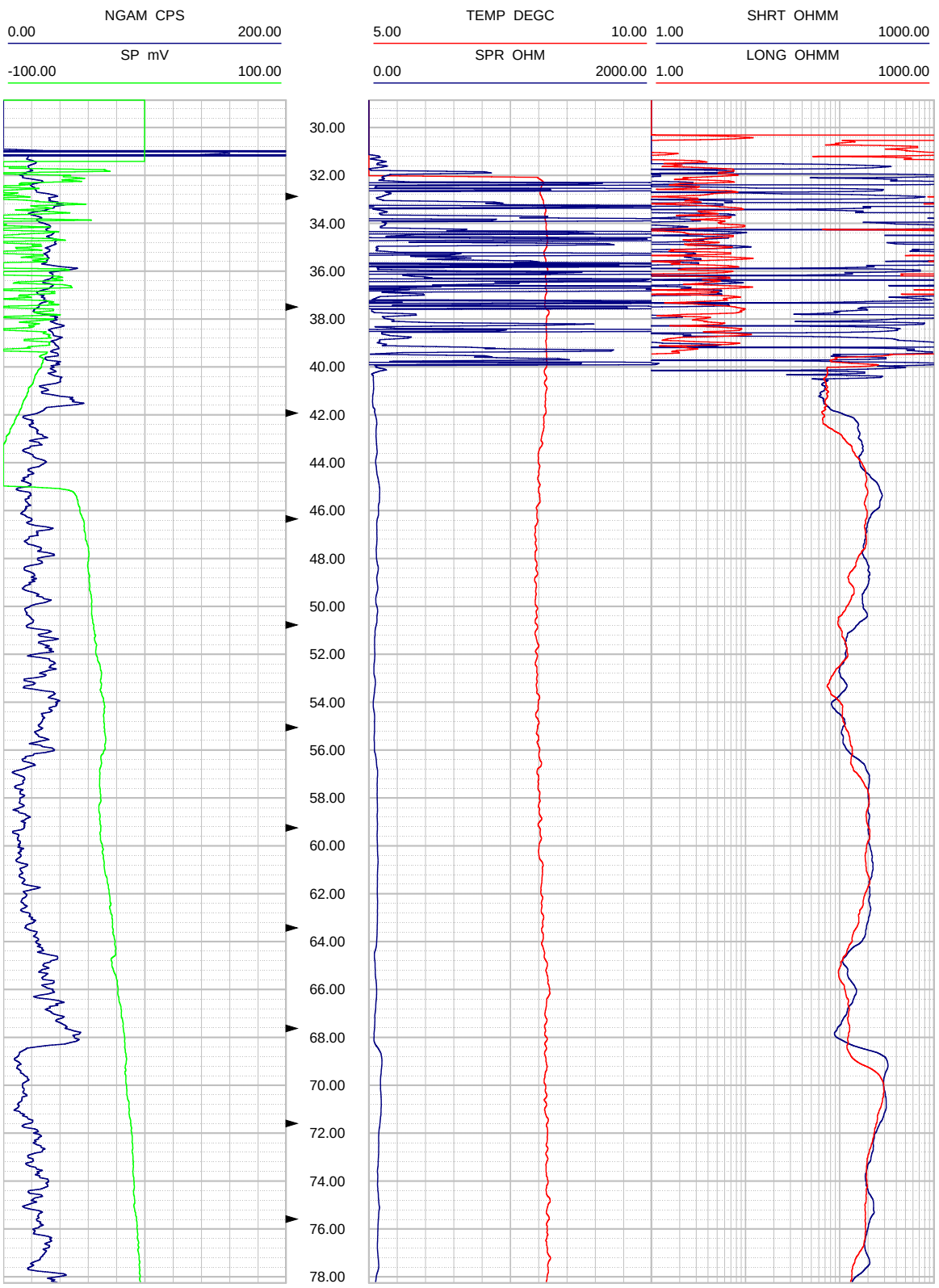
Figur 2:1.2 E-logg från borrhål 1, Tingstäde Bryor.



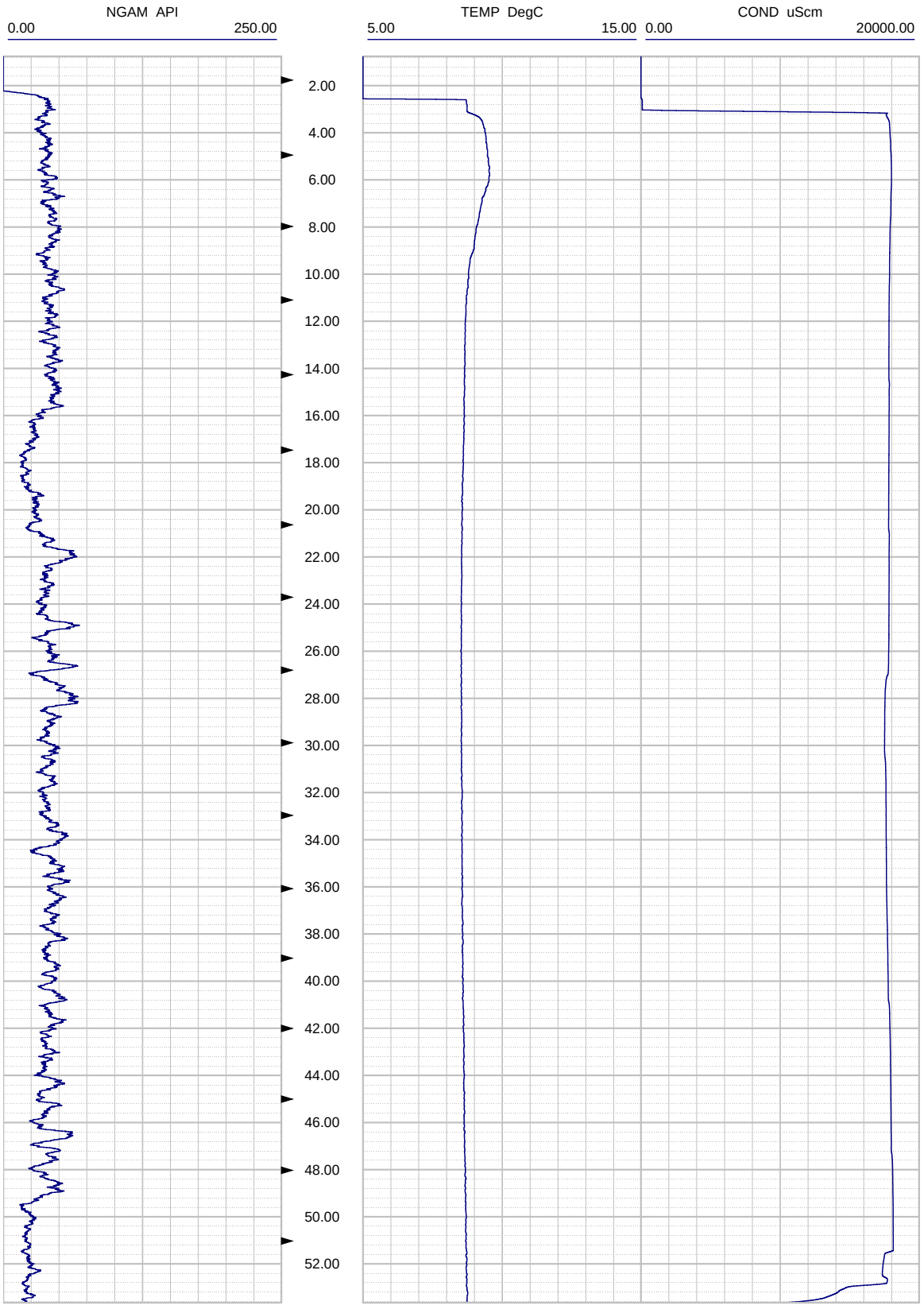
Figur 2:2.1 Fluid Temperature & Conductivity logg från borrhål 2, Othem Barshage .



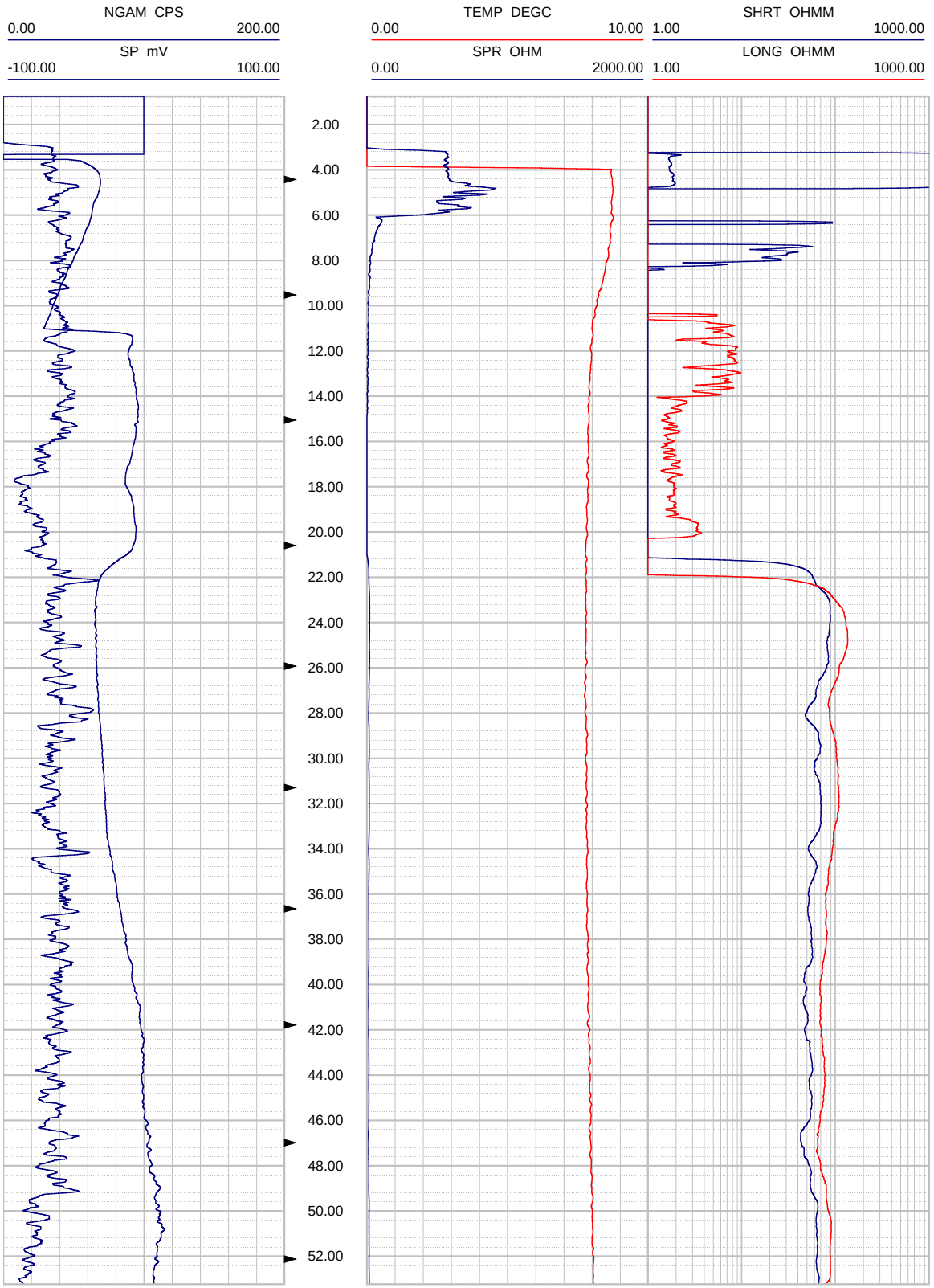
Figur 2:2.2 E-logg från borrhål 2, Othem Barshage .



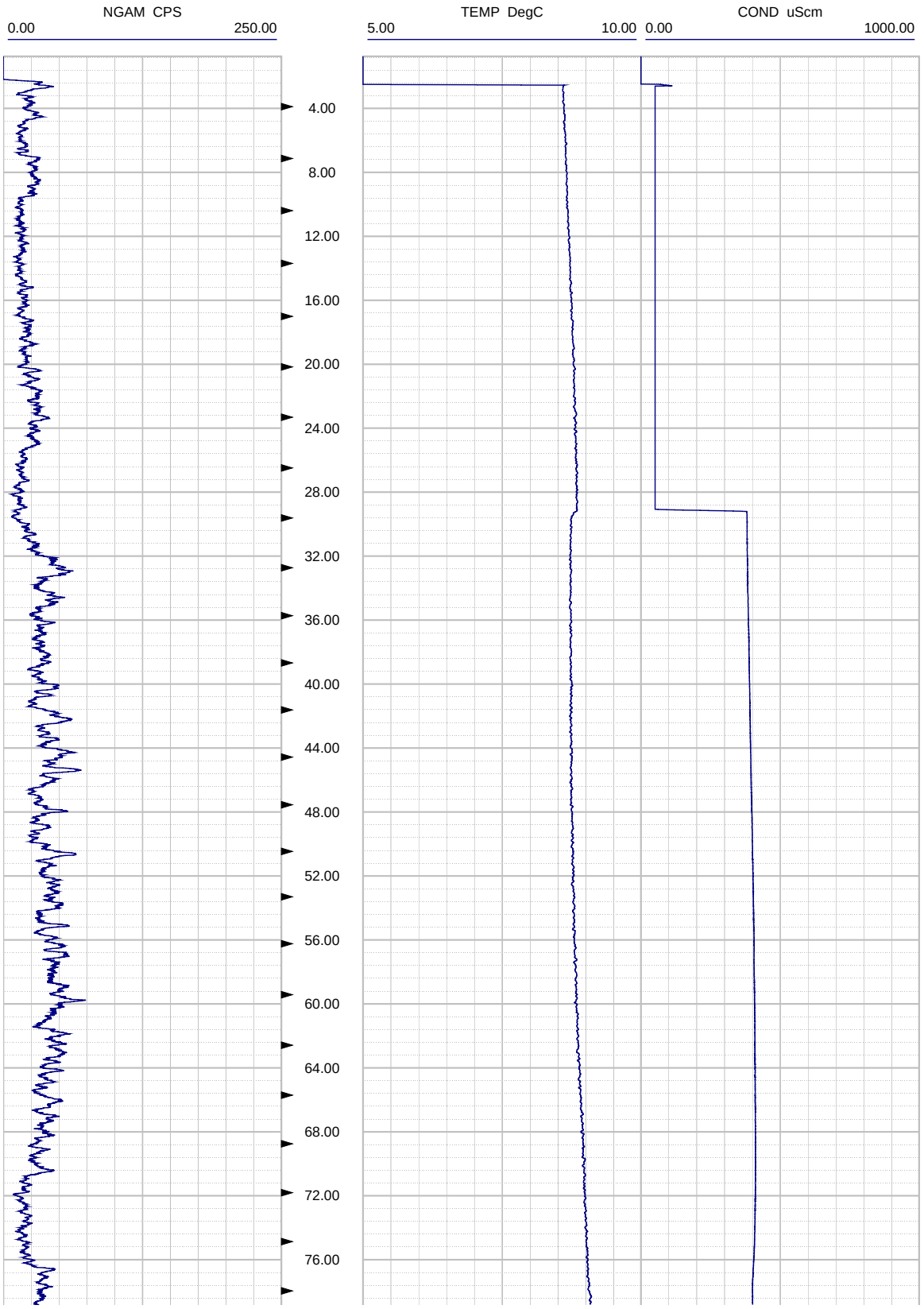
Figur 2:3.1 Fluid Temperature & Conductivity logg från borrhål 3, Lärbro Hägvide.



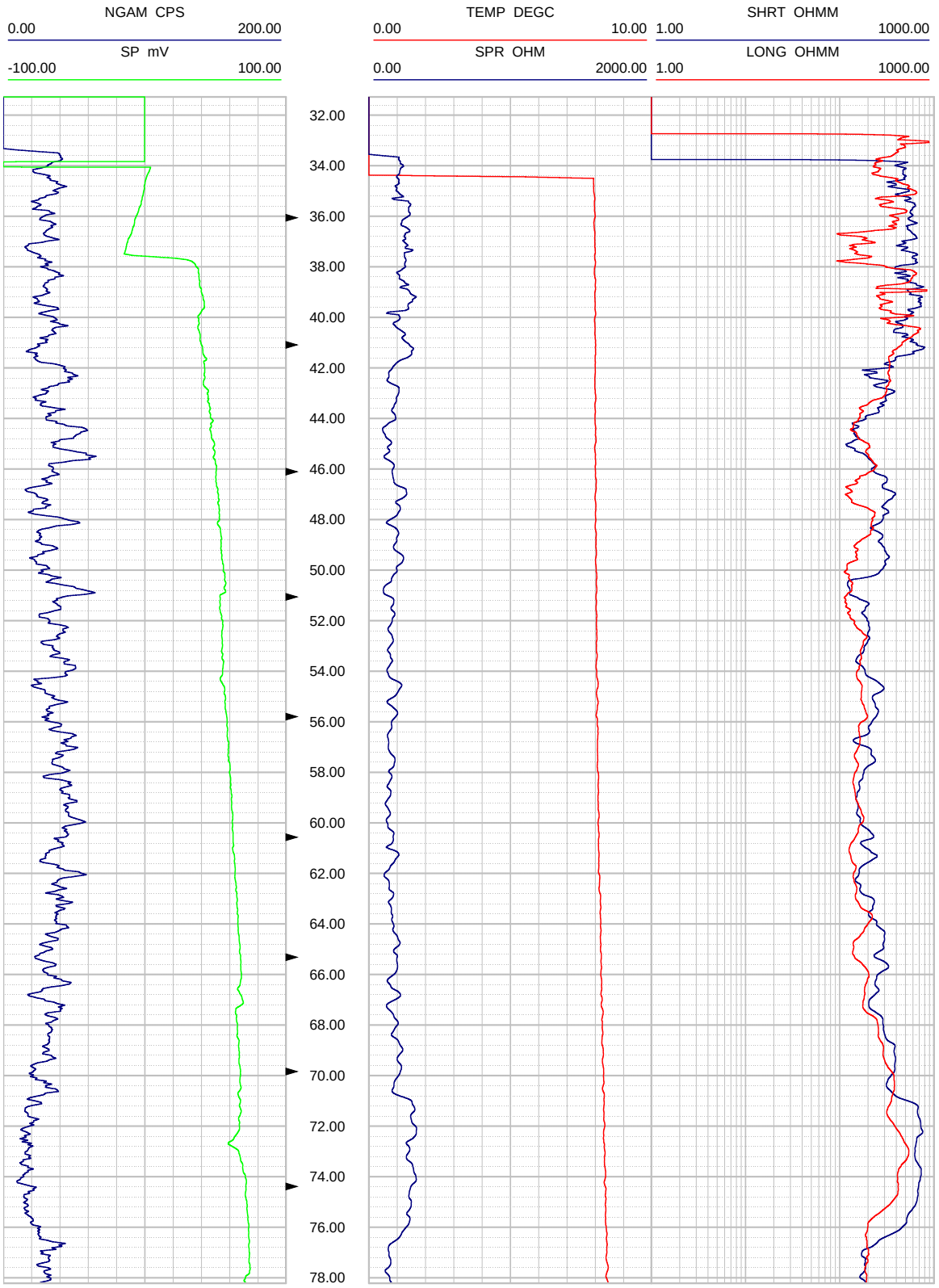
Figur 2:3.2 E-logg från borrhål 3, Lärbro Hägvide.



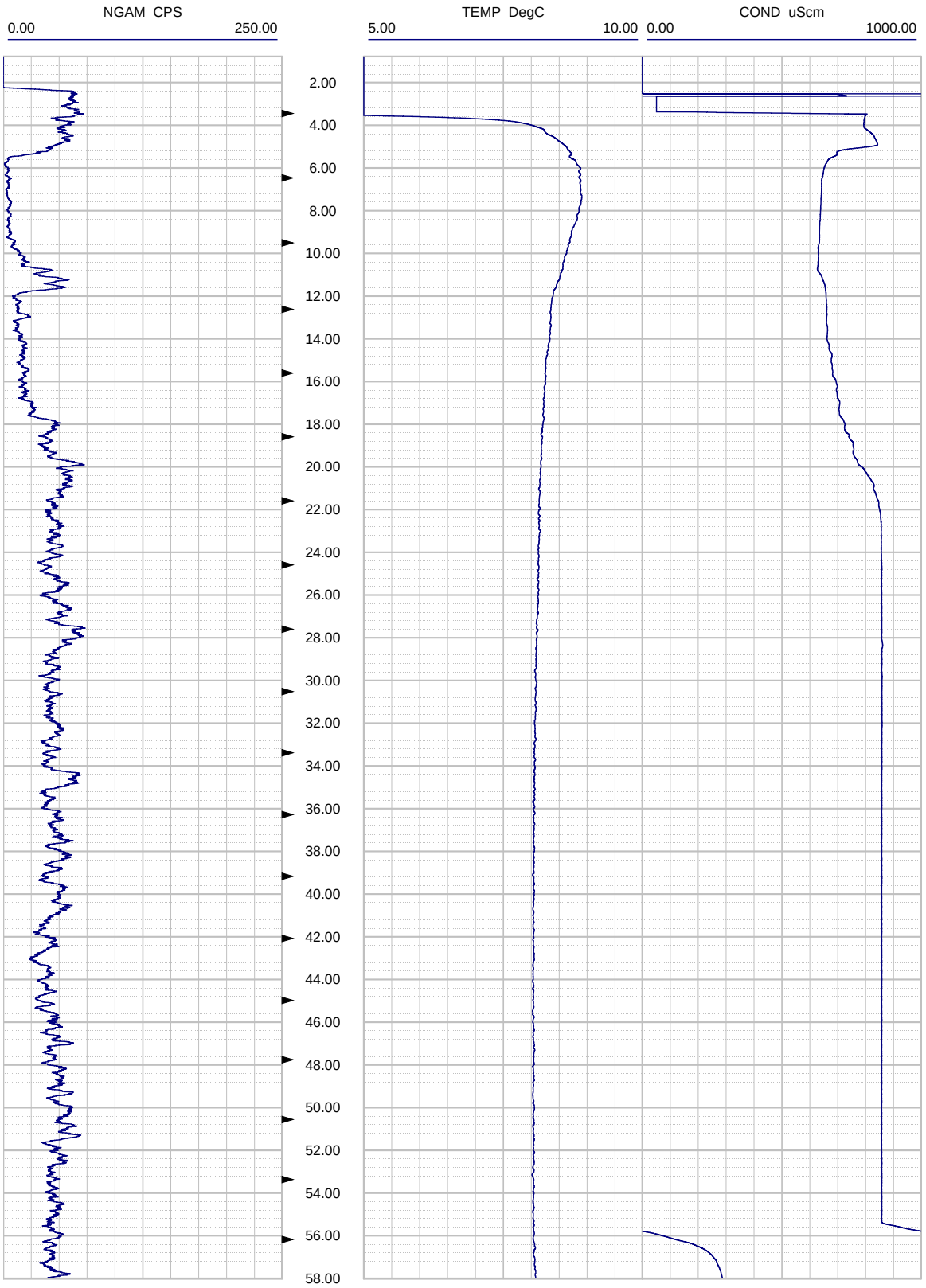
Figur 2:4.1 Fluid Temperature & Conductivity logg från borrhål 4, Othem File.



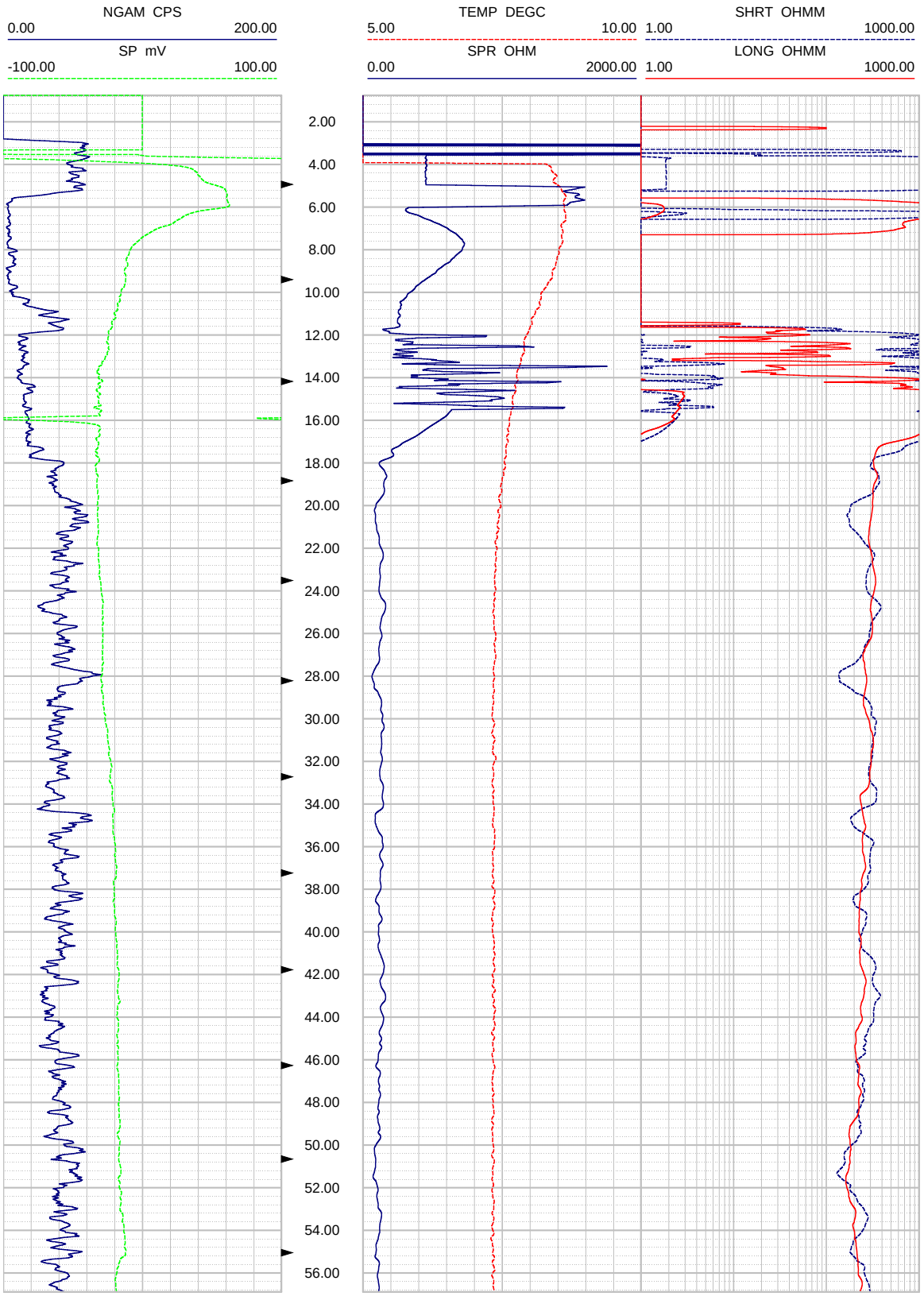
Figur 2:4.2 E-logg från borrhål 4, Othem File.



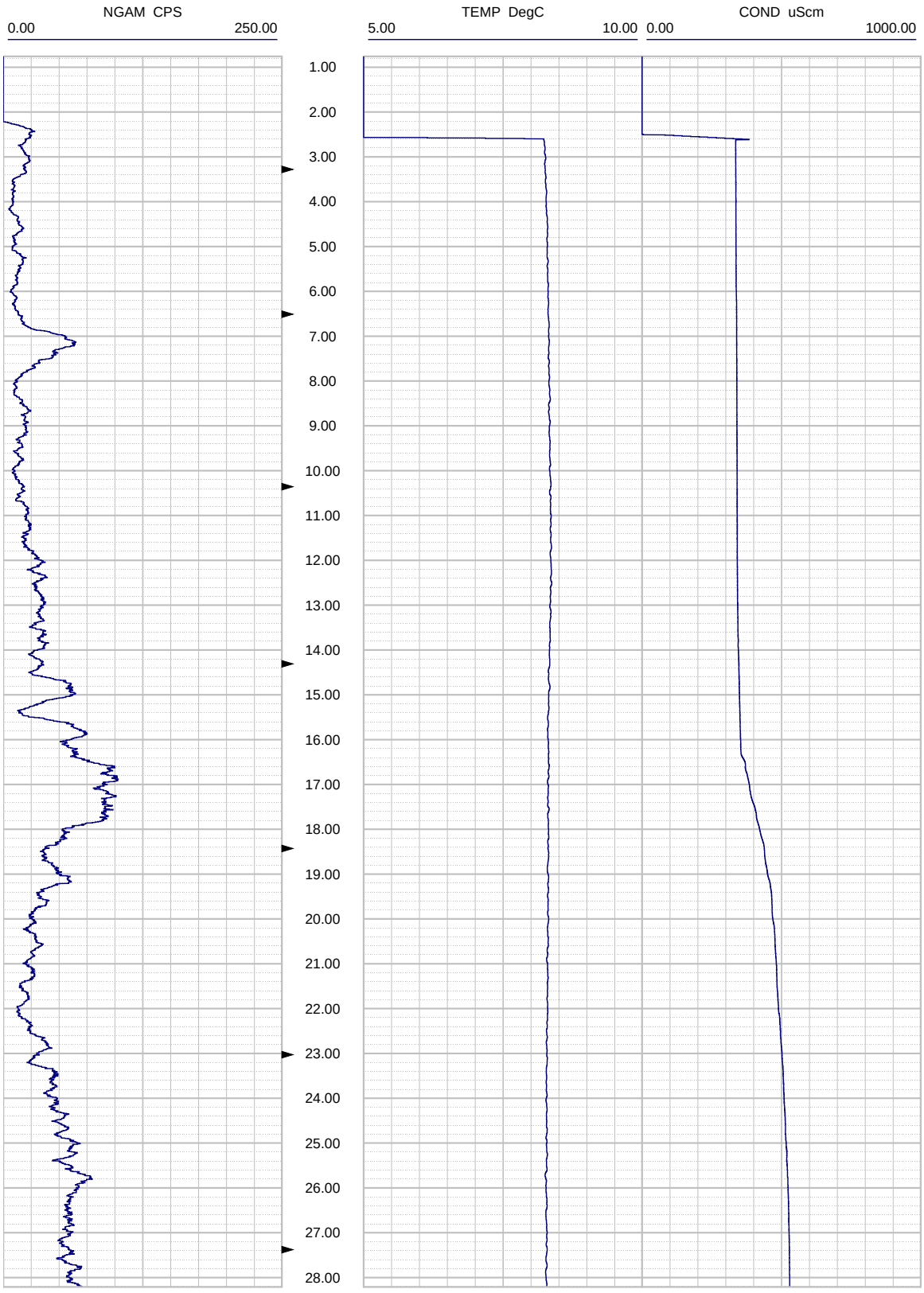
Figur 2:5.1 Fluid Temperature & Conductivity logg från borrhål 5, Gothem Kaupungs.



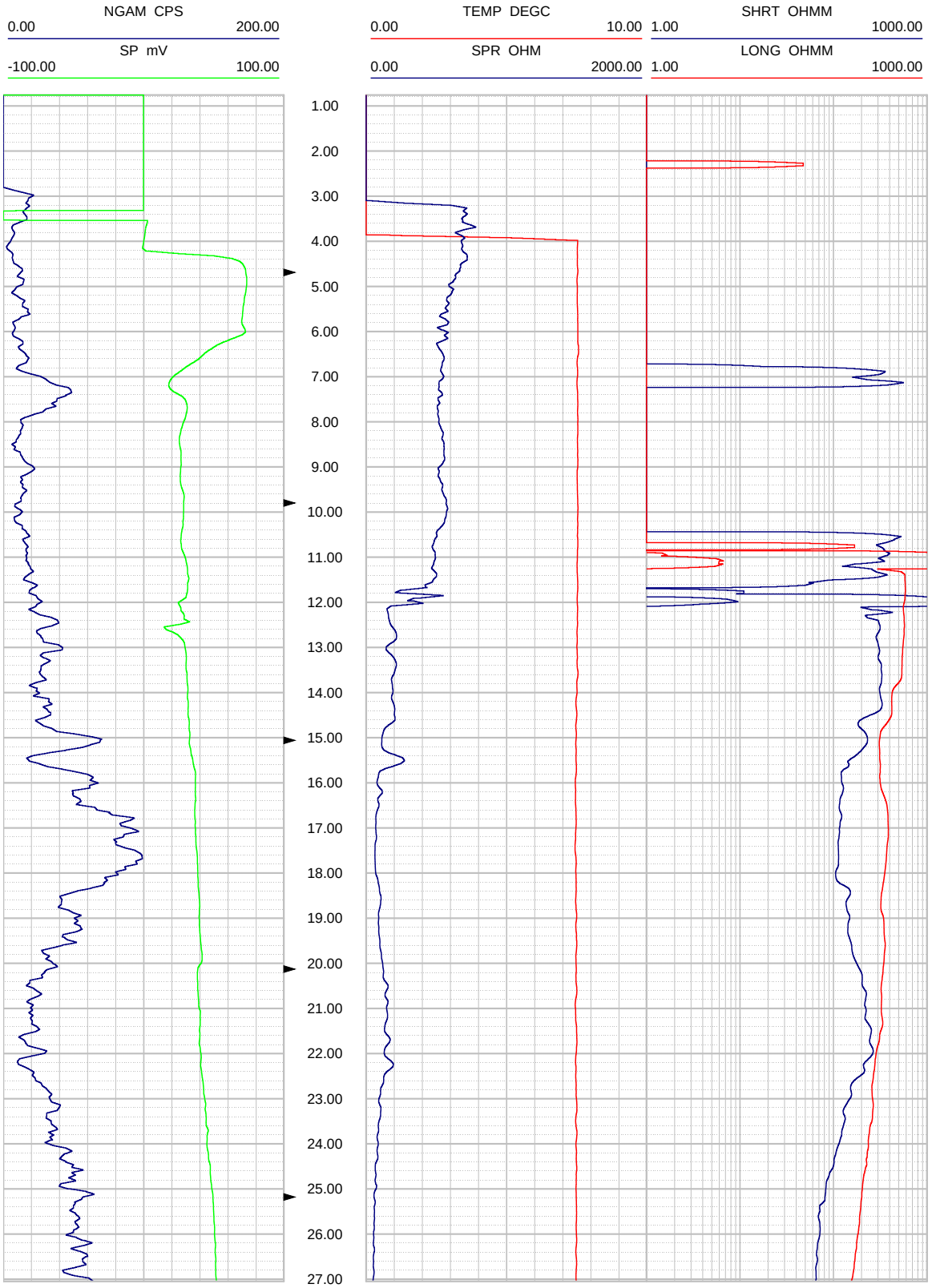
Figur 2:5.2 E-logg från borrhål 5, Gothem Kaupungs.



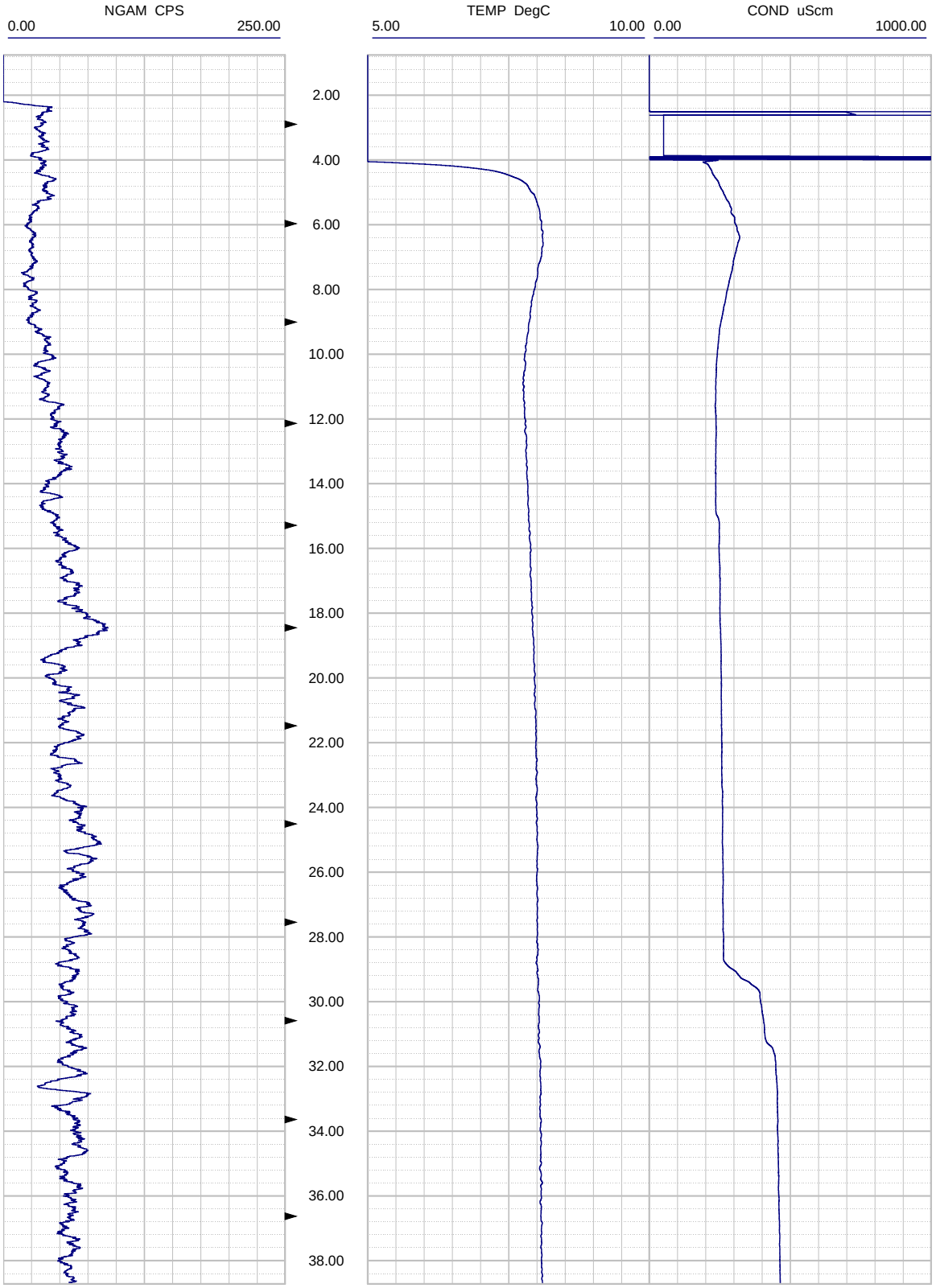
Figur 2:6.1 Fluid Temperature & Conductivity logg från borrhål 6, Gothem Suderbys.



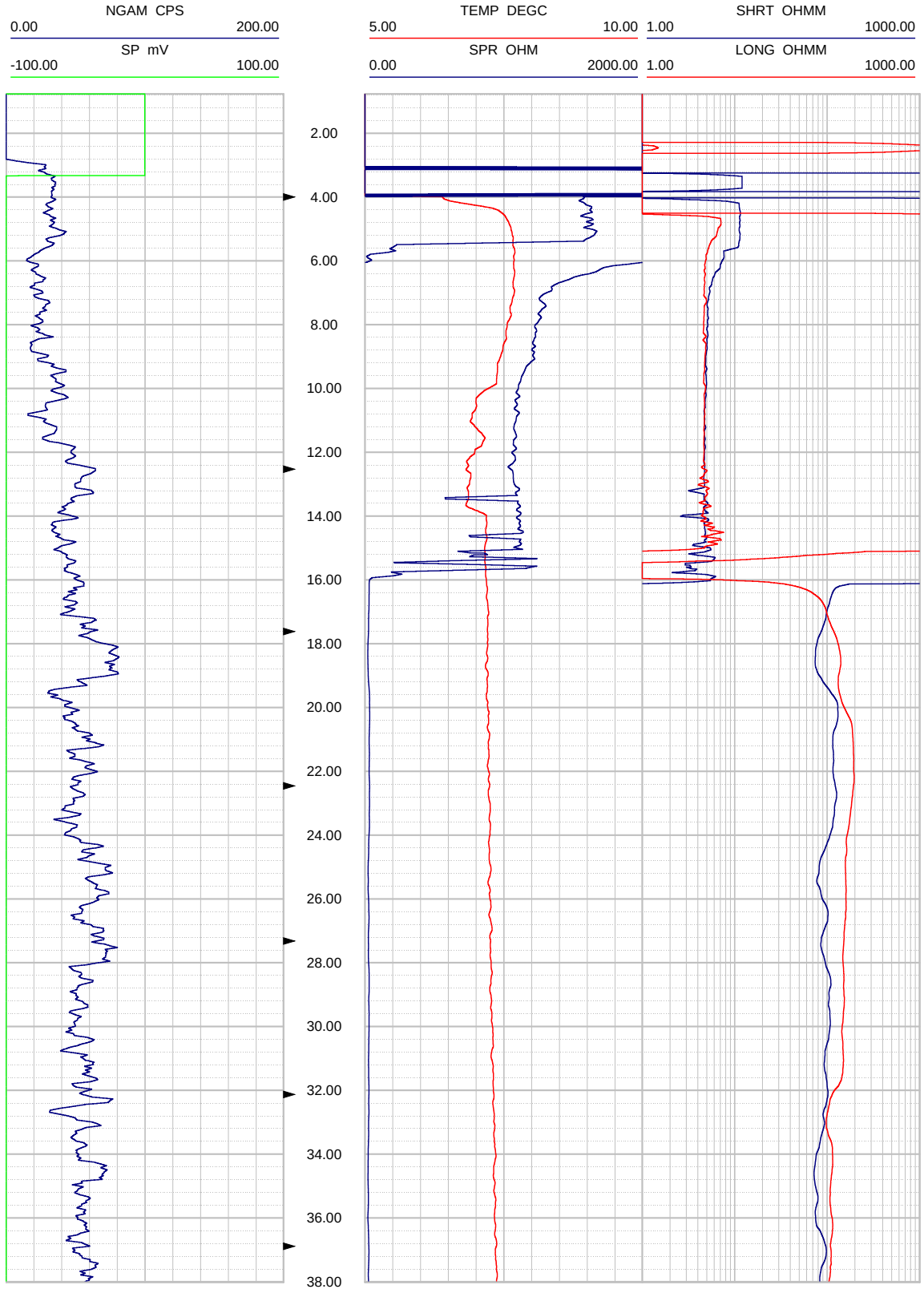
Figur 2:6.2 E-logg från borrhål 6, Gothem Suderbys.



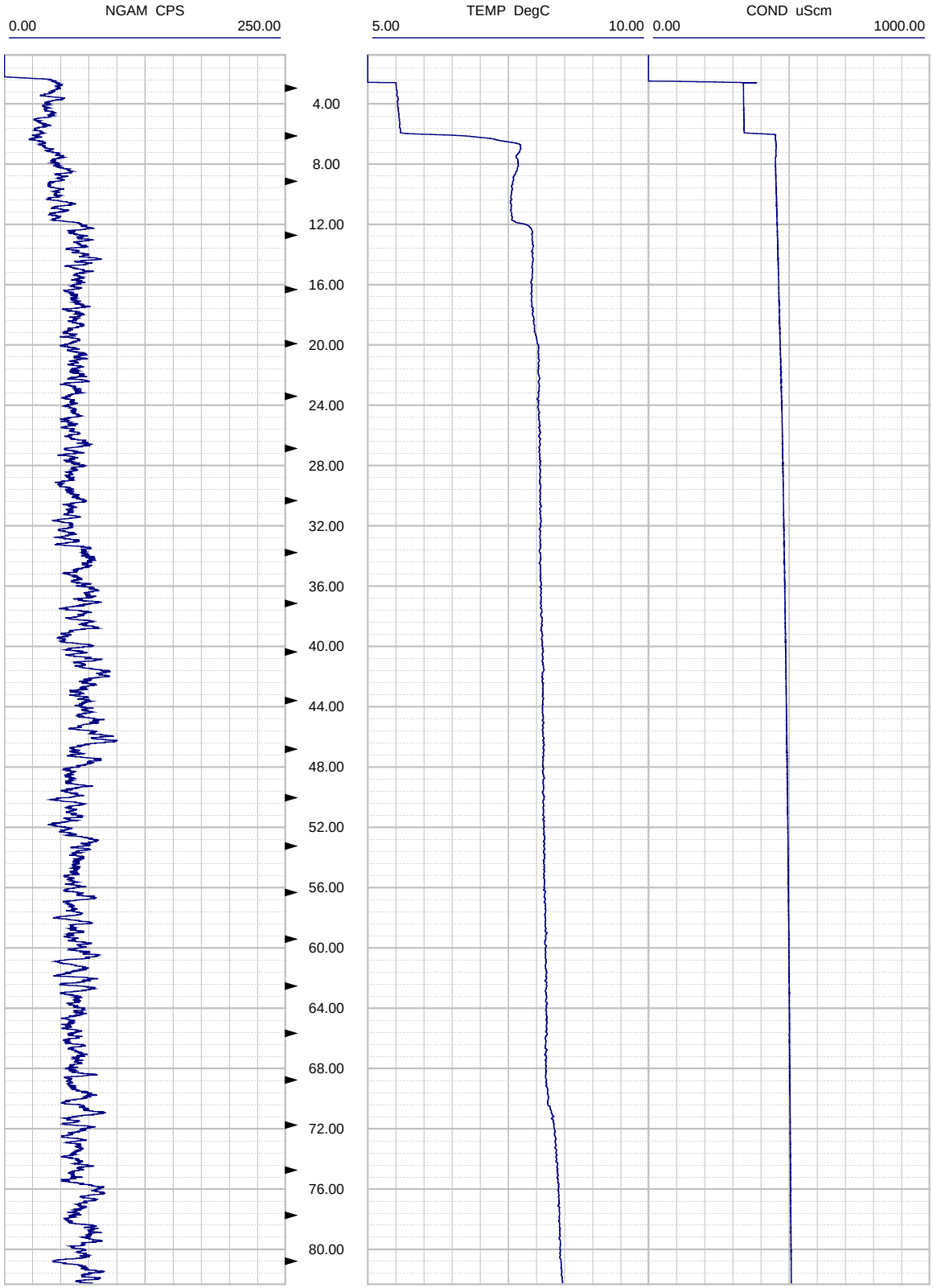
Figur 2:7.1 Fluid Temperature & Conductivity logg från borrhål 8, Stånga Stalluse.



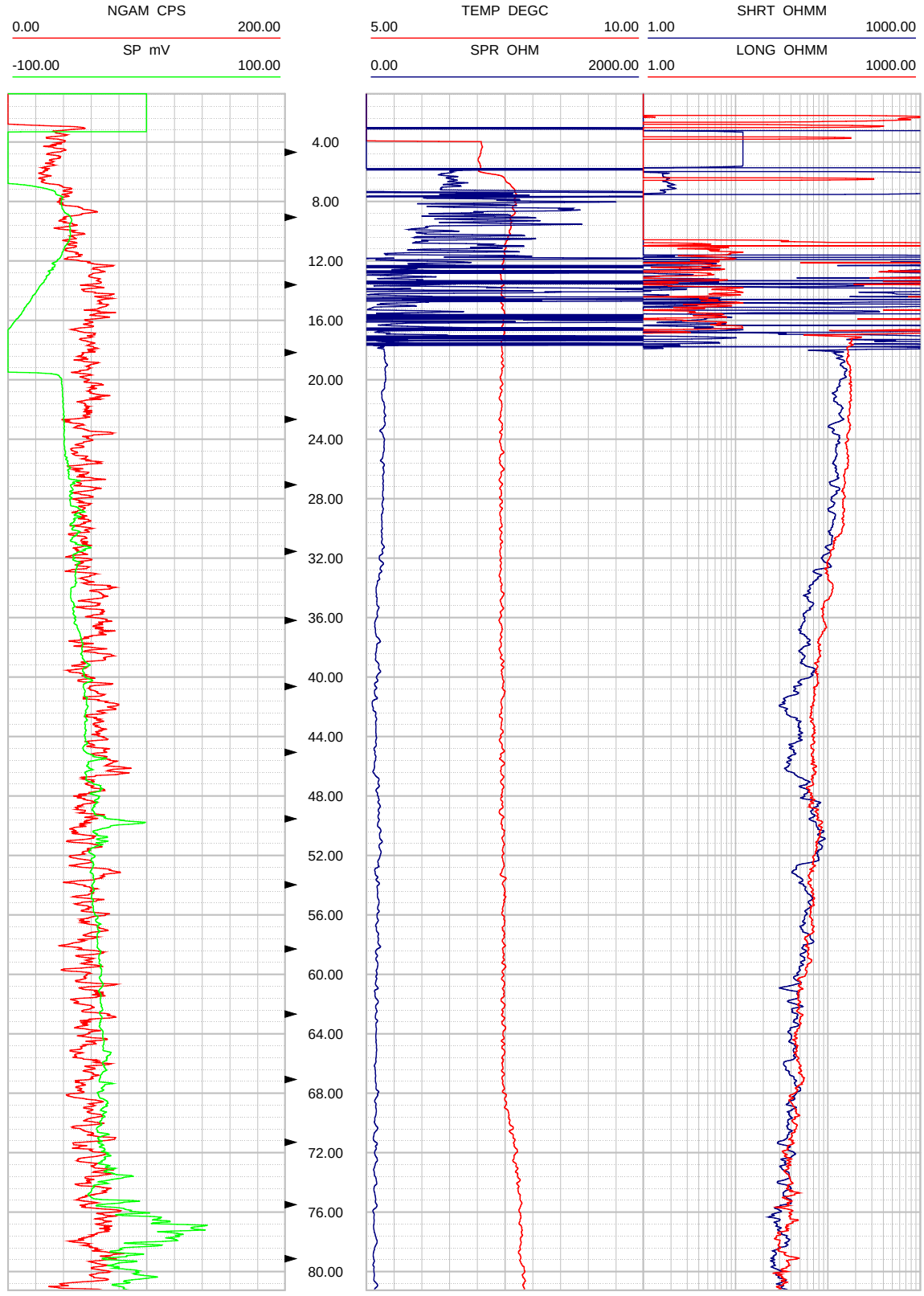
Figur 2:7.2 E-logg från borrhål 8, Stånga Stalluse.



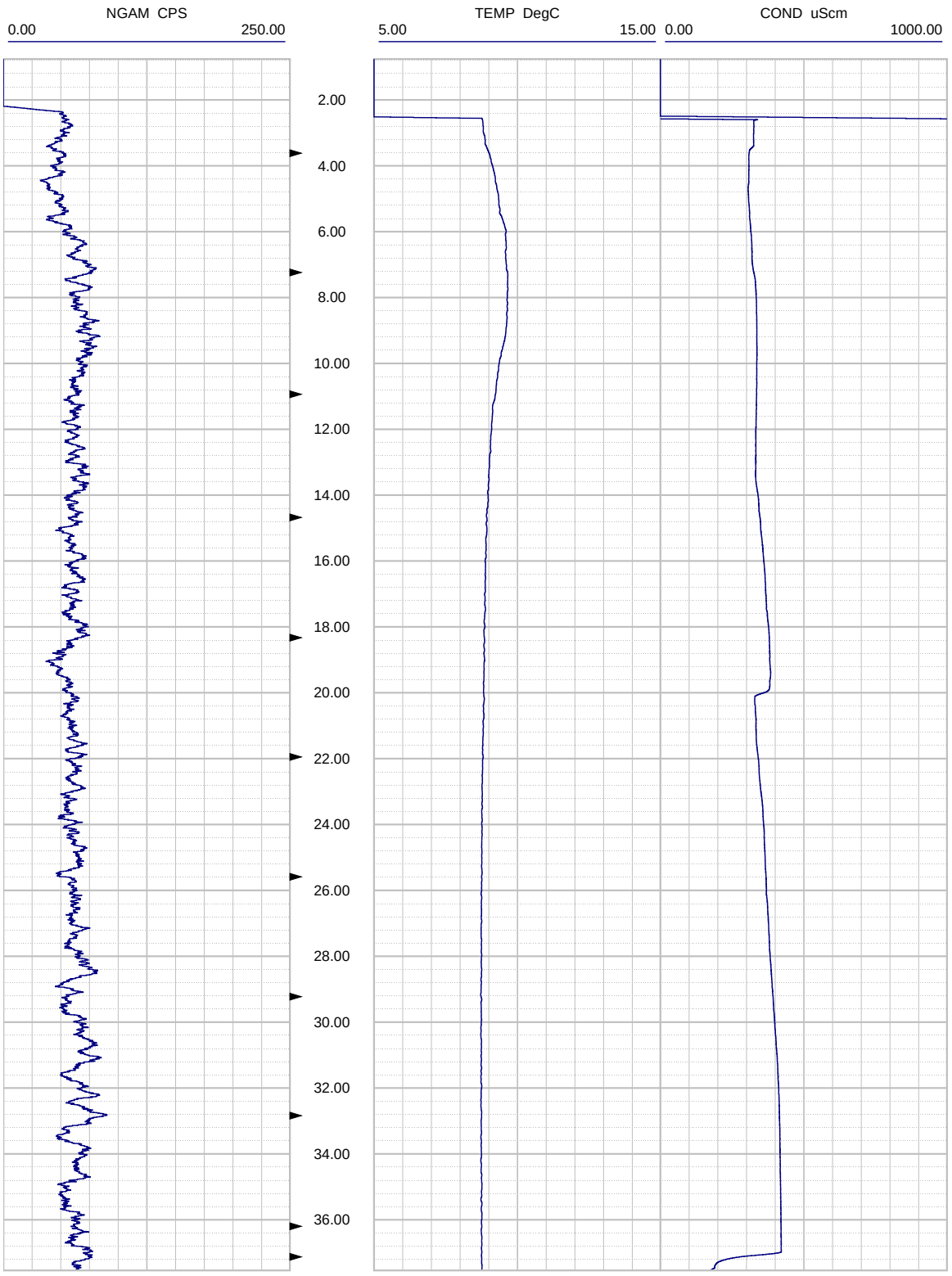
Figur 2:8.1 Fluid Temperature & Conductivity logg från borrhål 9, Burs Västerlaus.



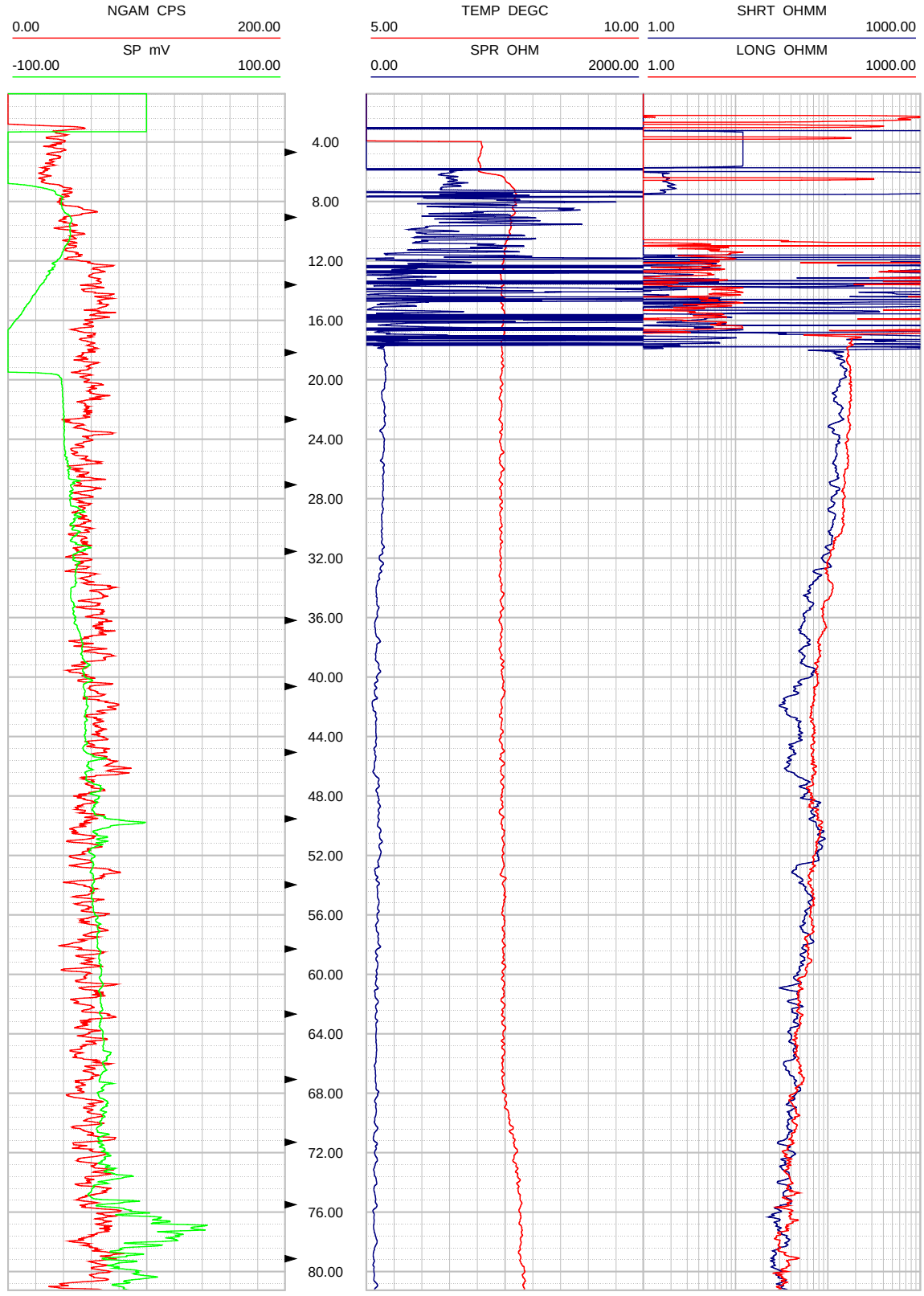
Figur 2:8.2 E-logg från borrhål 9, Burs Västerlaus.



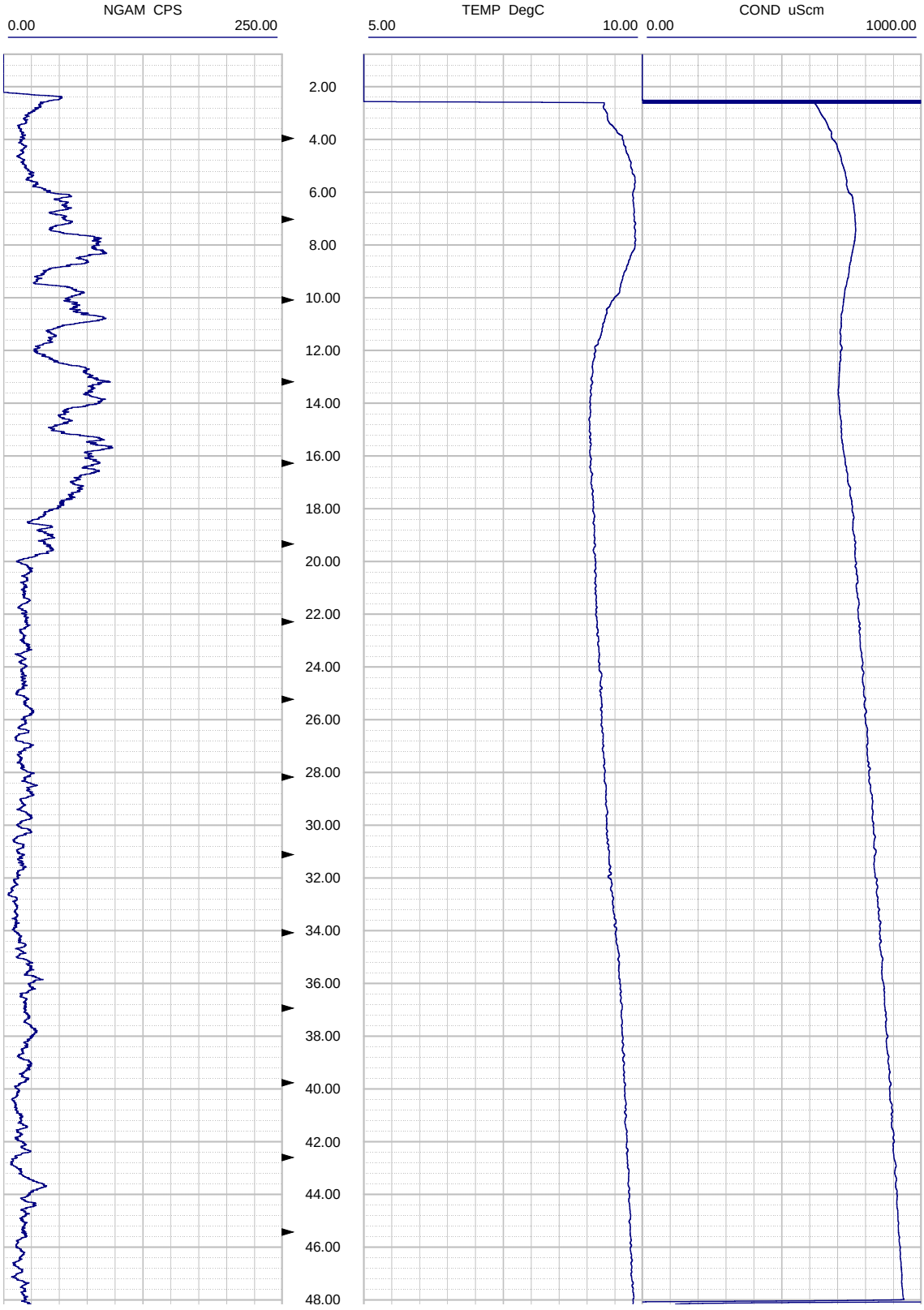
Figur 2:9.1 Fluid Temperature & Conductivity logg från borrhål 10, Burs Änges.



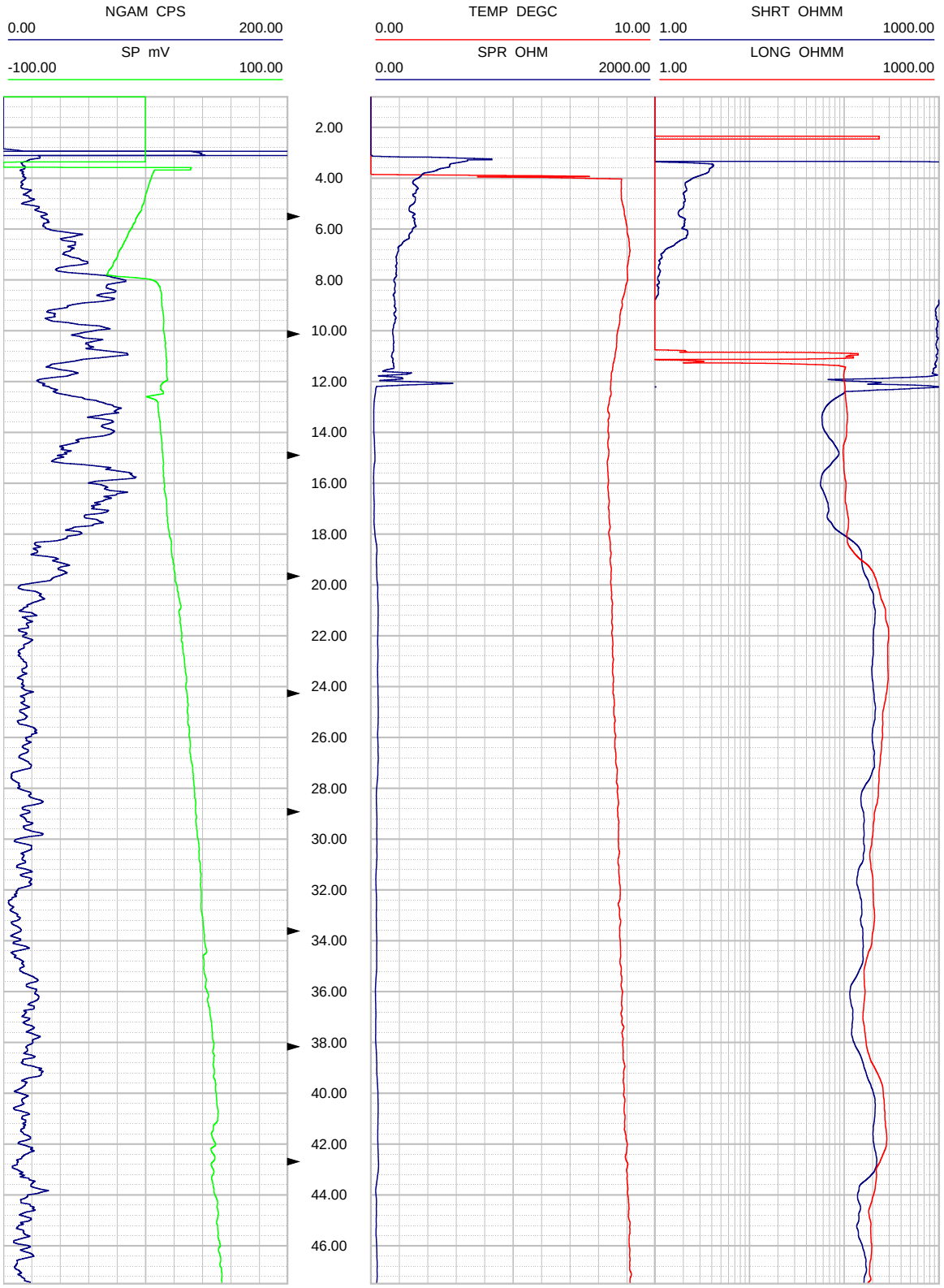
Figur 2:9.2 E-logg från borrhål 10, Burs Västerlaus.



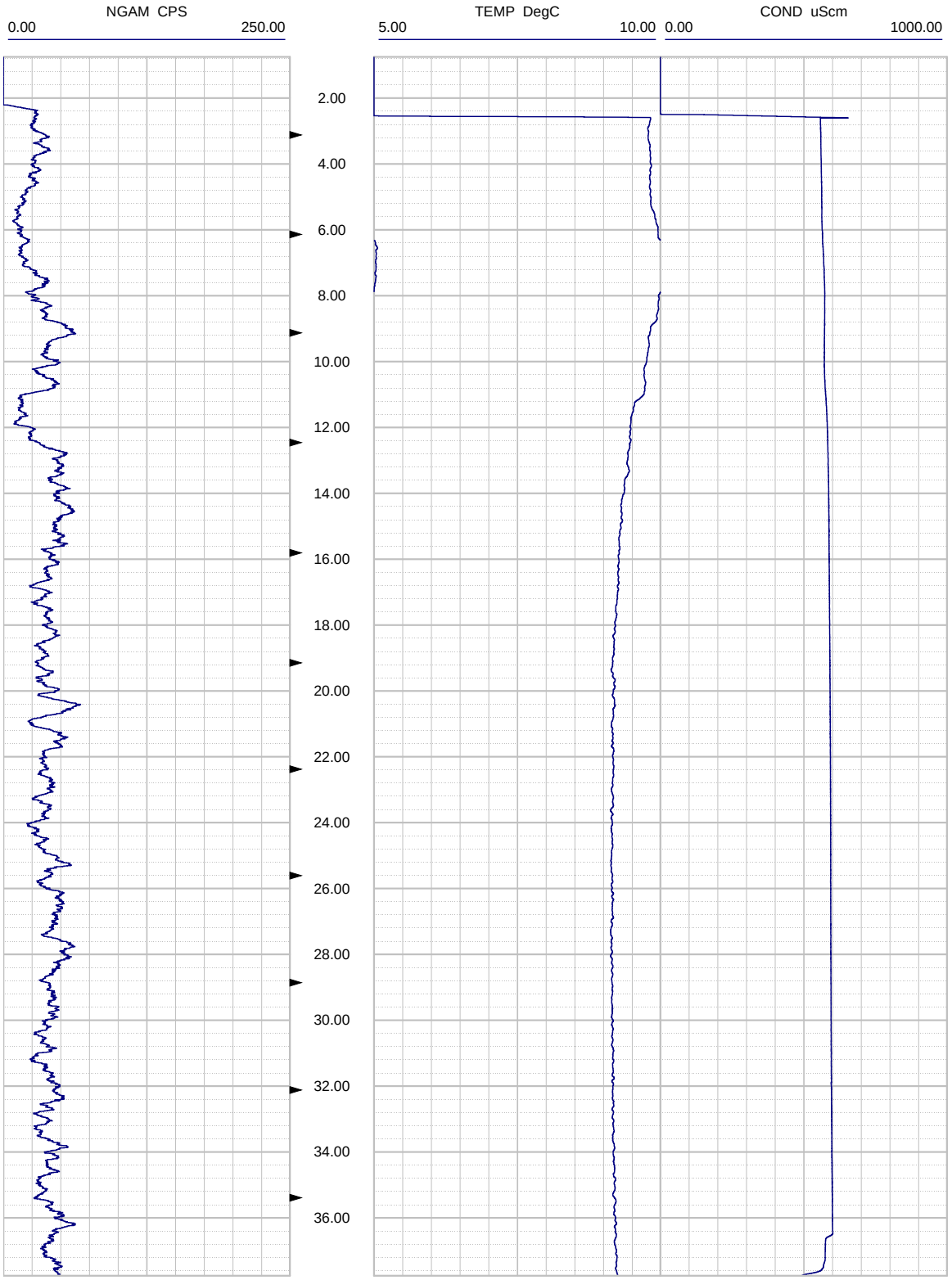
Figur 2:10.1 Fluid Temperature & Conductivity logg från borrhål 12, Öja Stora Sutarve.



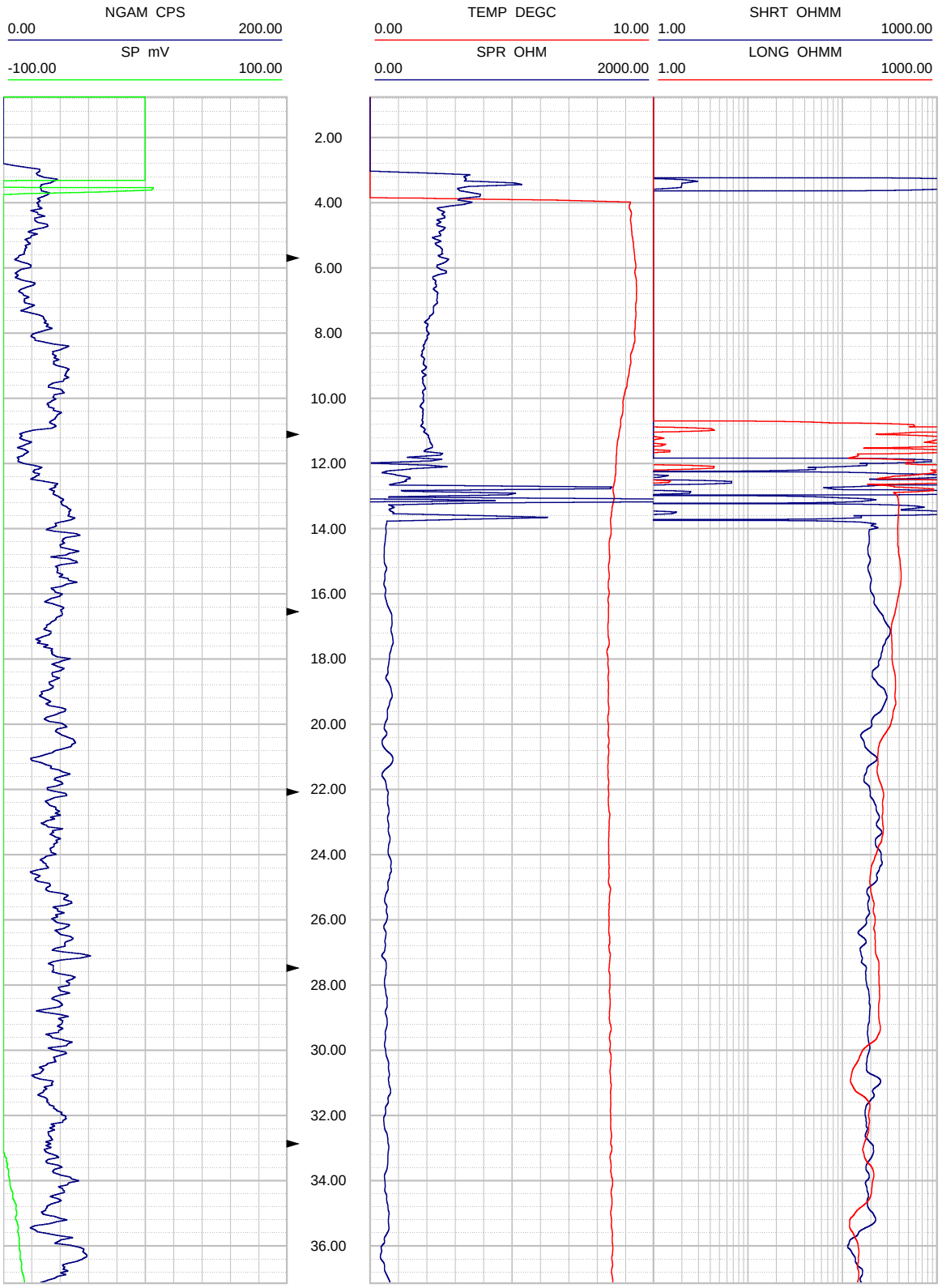
Figur 2:10.2 E-logg från borrhål 12, Öja Stora Sutarve.



Figur 2:11.1 Fluid Temperature & Conductivity logg från borrhål 14, Vamlingbo Austre.



Figur 2:11.2 E-logg från borrhål 14 Vamlingbo Austre.



Figur 2:12.1 Fluid Temperature & Conductivity logg från borrhål 15, Filehajdar nr 7.

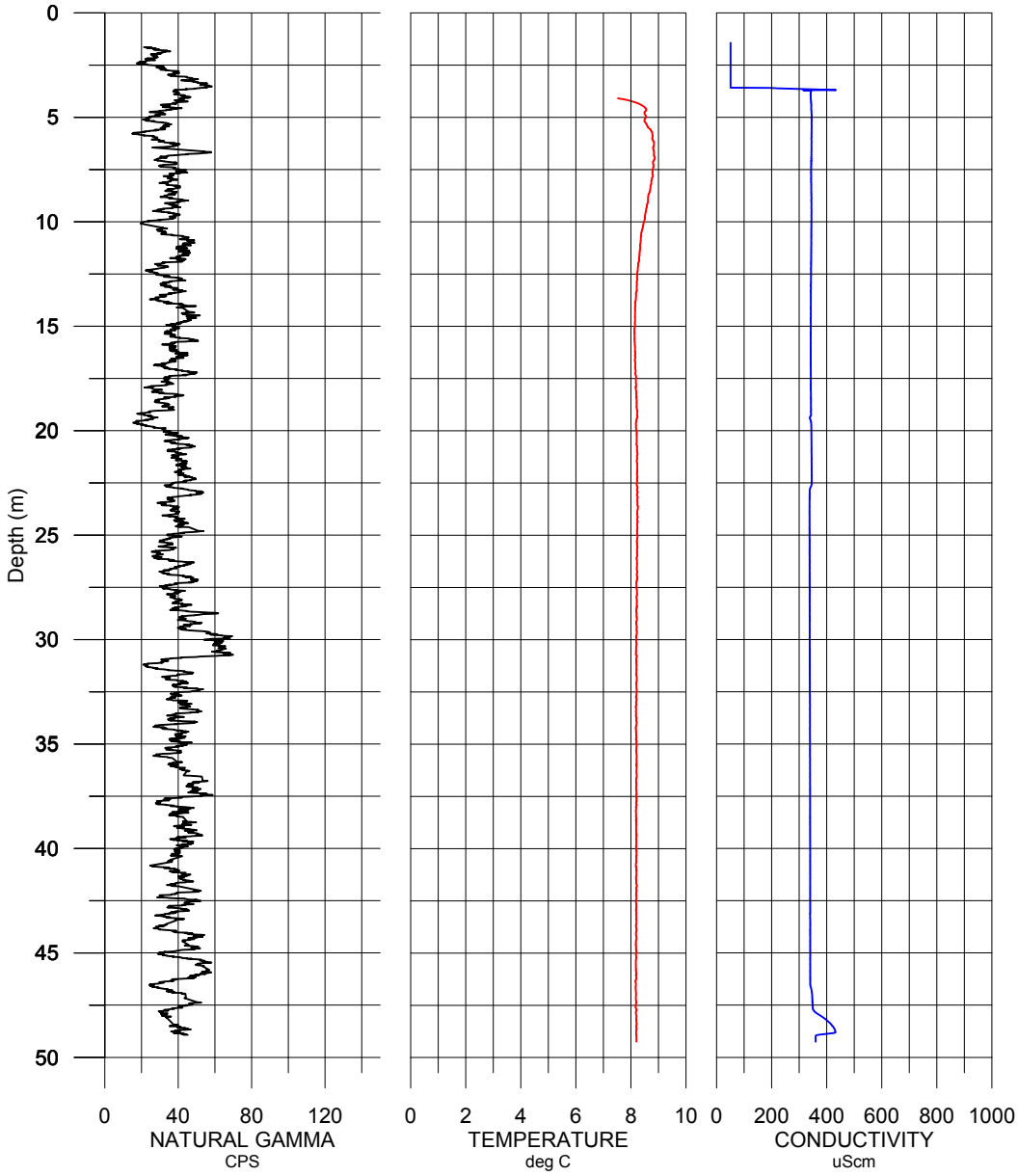
Project: SGU Diarie nr: 423-2354/2015

Well: File Hajdar Nr 7

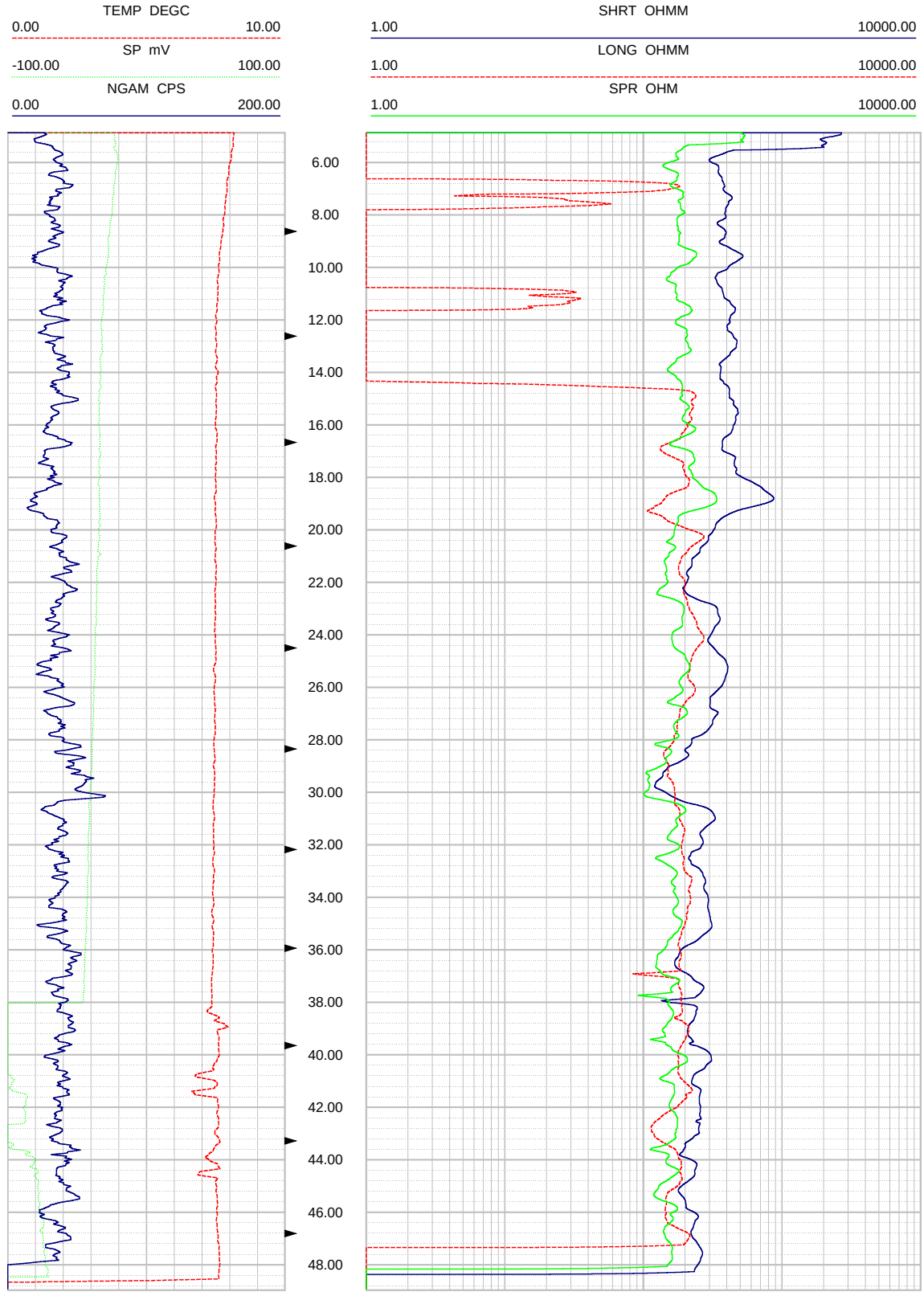
Location: N 6401864 SWEREF 99 TM
E 0722054
Gotland

Logging Date: 2015-12-08
Logging Company: Lund Engineering Geology, Lund university
Logging Operator: Per-Gunnar Alm
Log File: TCDS20151208corrdepth.dat

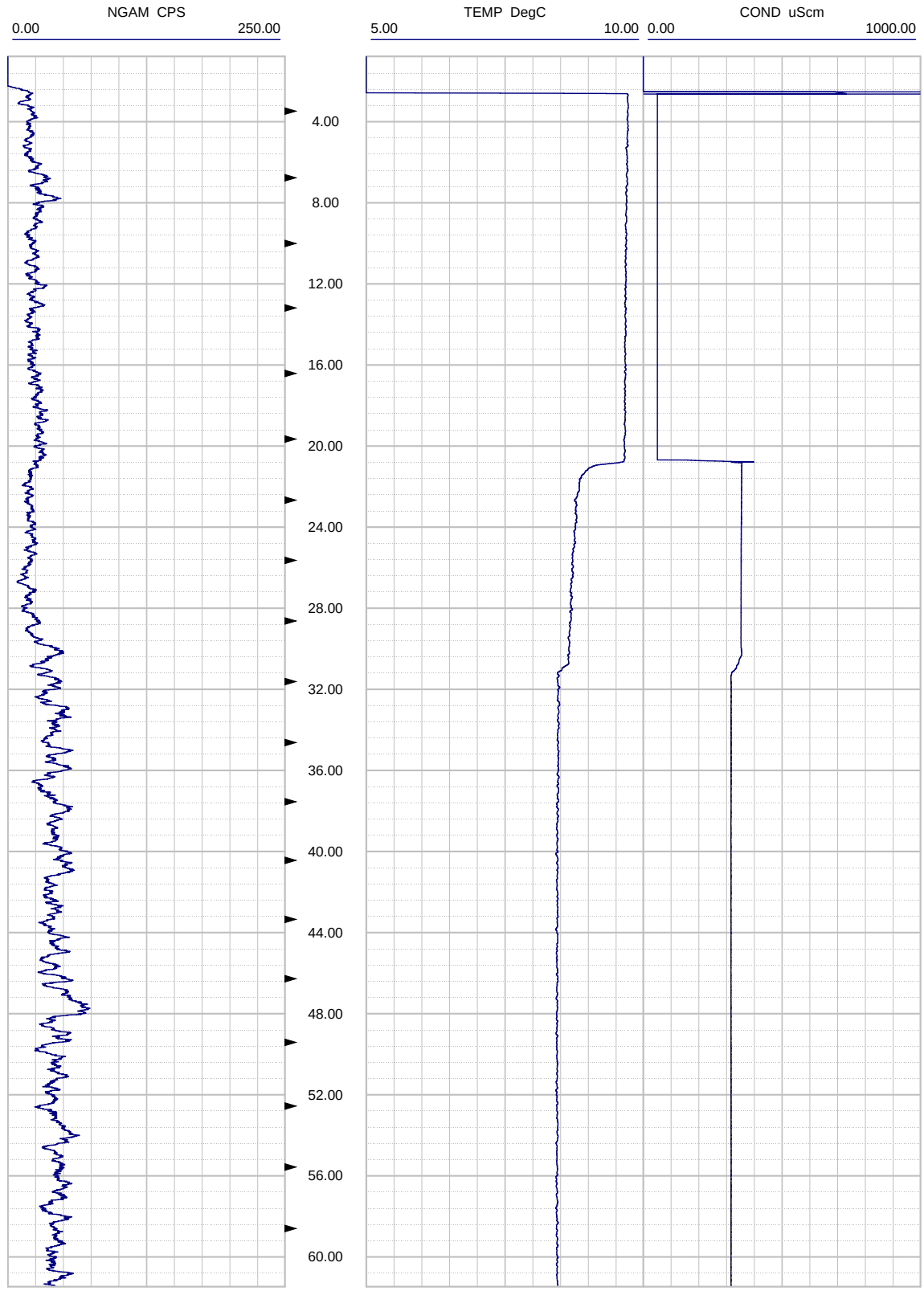
Remarks: Gamma Curve heavily filtered



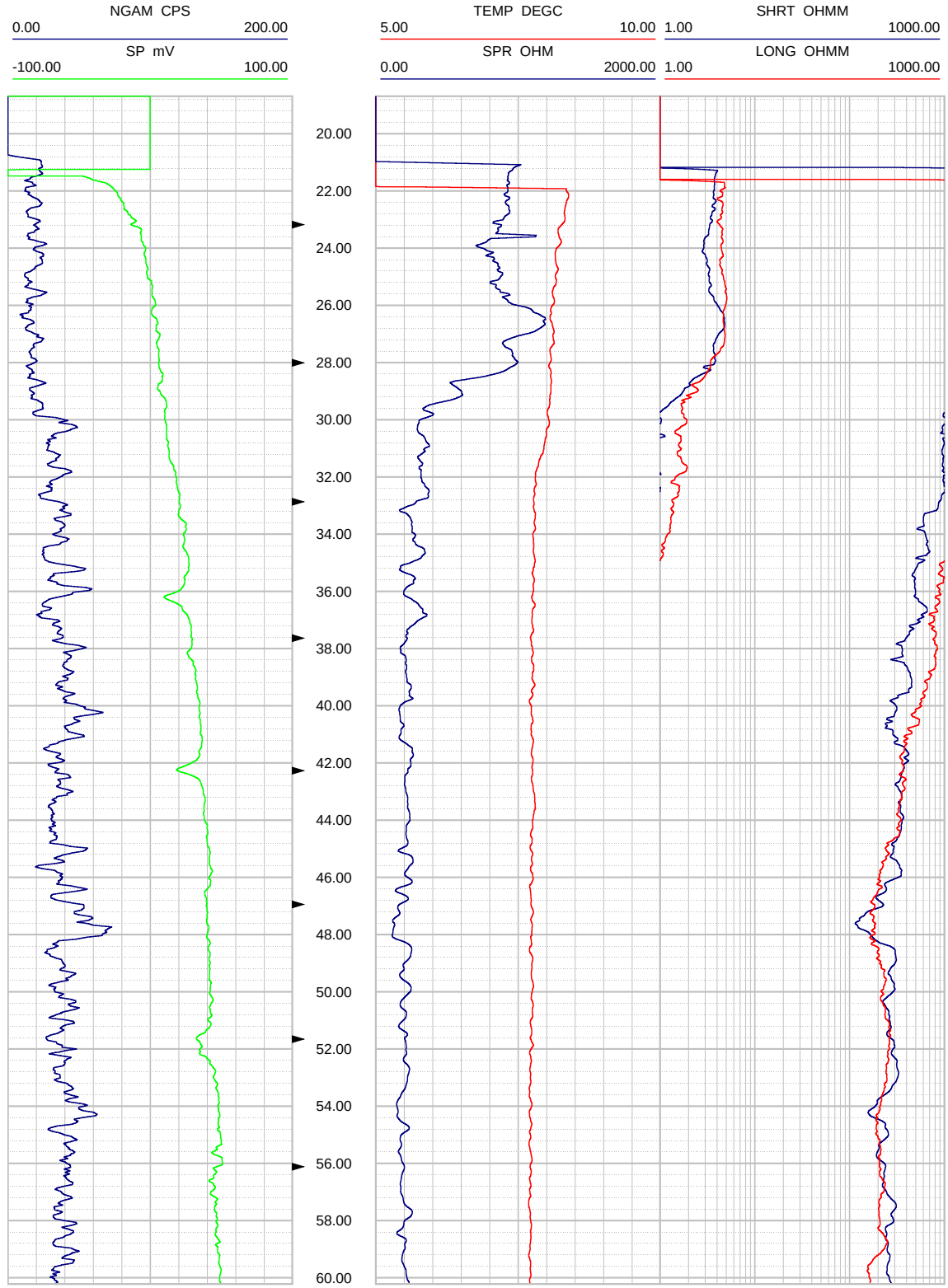
Figur 2:12.2 E-logg från borrhål 15, Filehajdar nr 7.



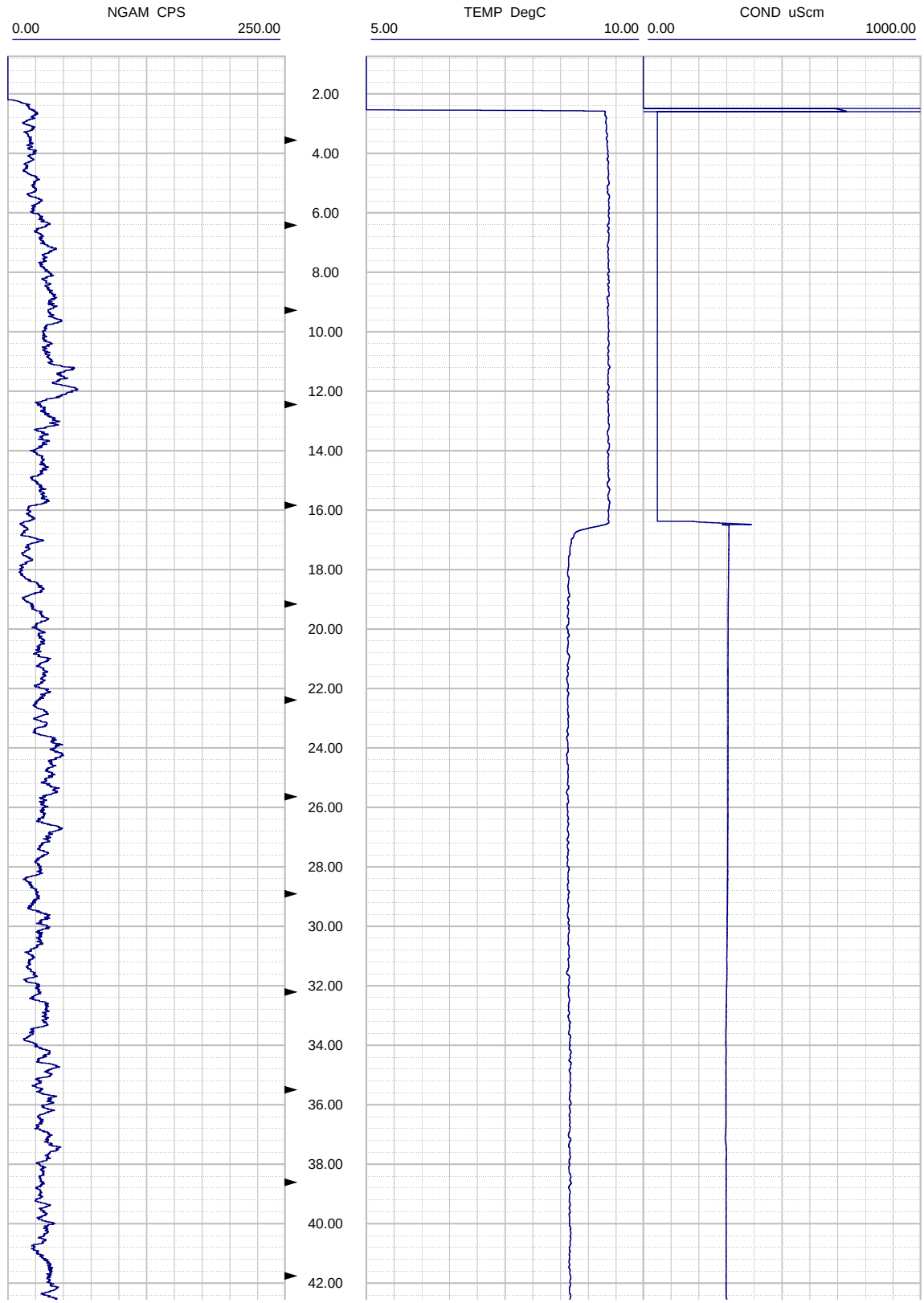
Figur 2:13.1 Fluid Temperature & Conductivity logg från borrhål 16, Cementa 85.



Figur 2:13.2 E-logg från borrhål 16, Cementa 85.



Figur 2:14.1 Fluid Temperature & Conductivity logg från borrhål 17, Cementa 86.



Figur 2:15.1 Fluid Temperature & Conductivity logg från borrhål 18, Åminne 3.

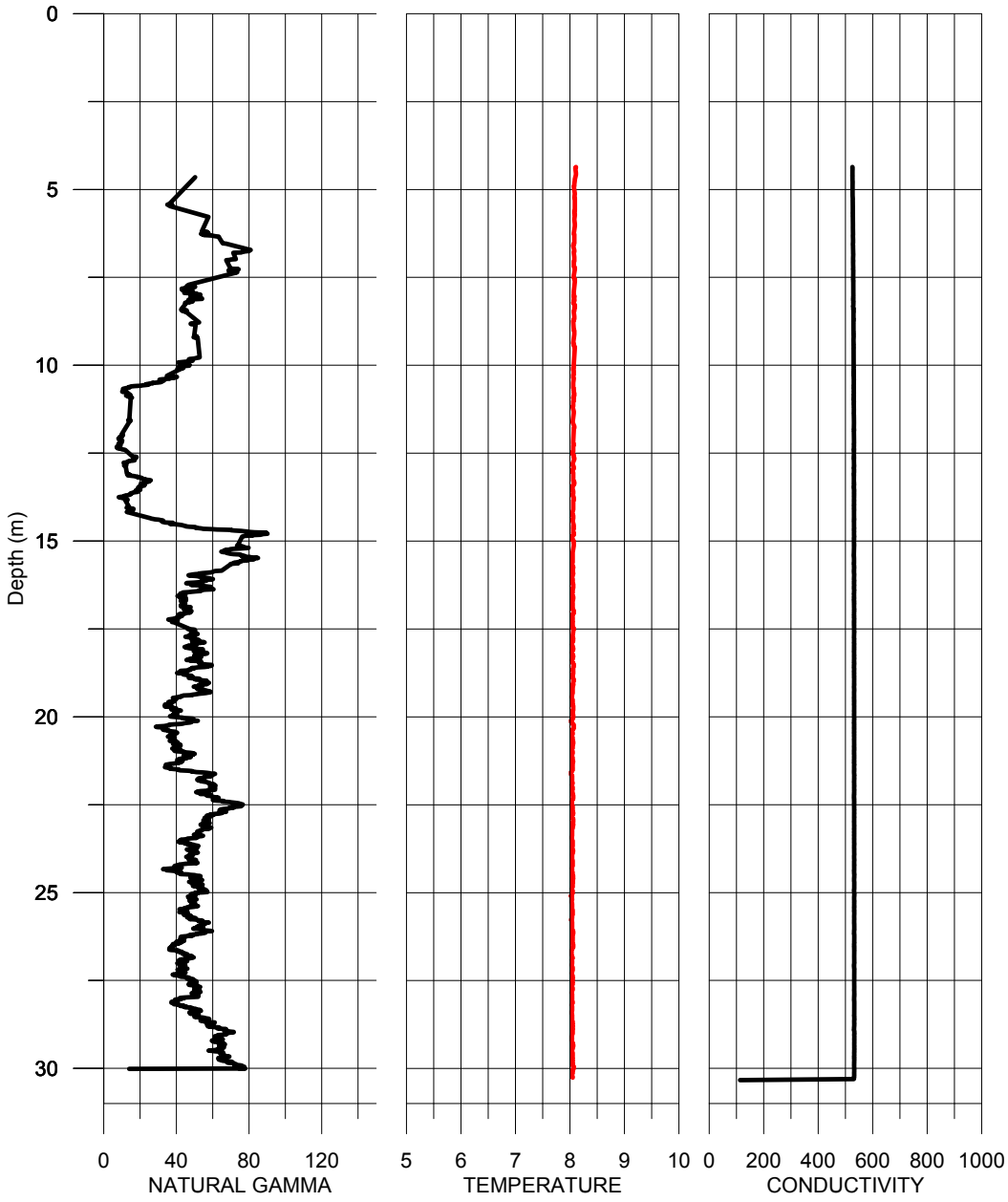
Project: SGU Diarie nr: 423-2354/2015

Well: Åminne 3

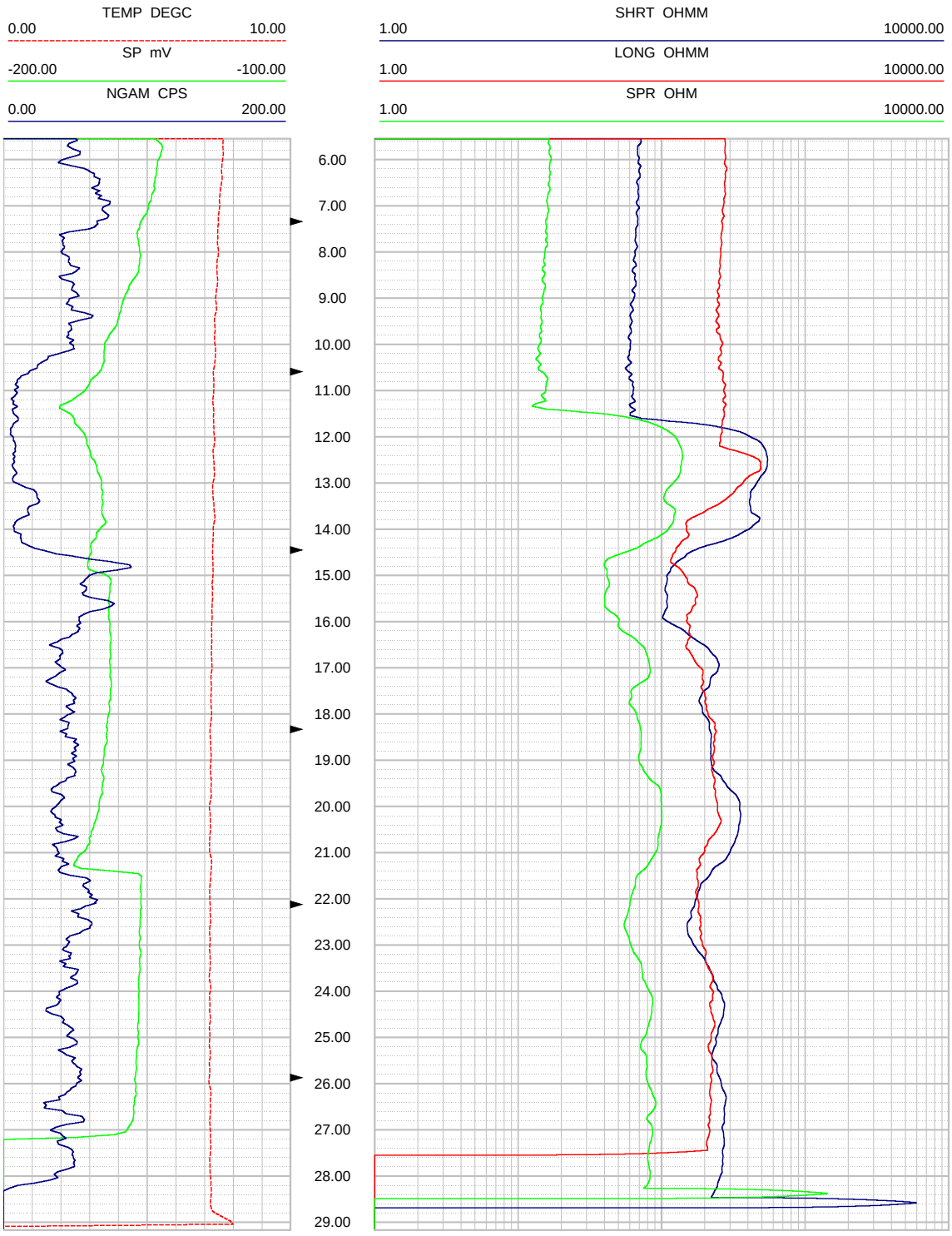
Location: N 6391670 SWEREF 99 TM
E 723944
Gotland

Logging Date: 2015-12-08

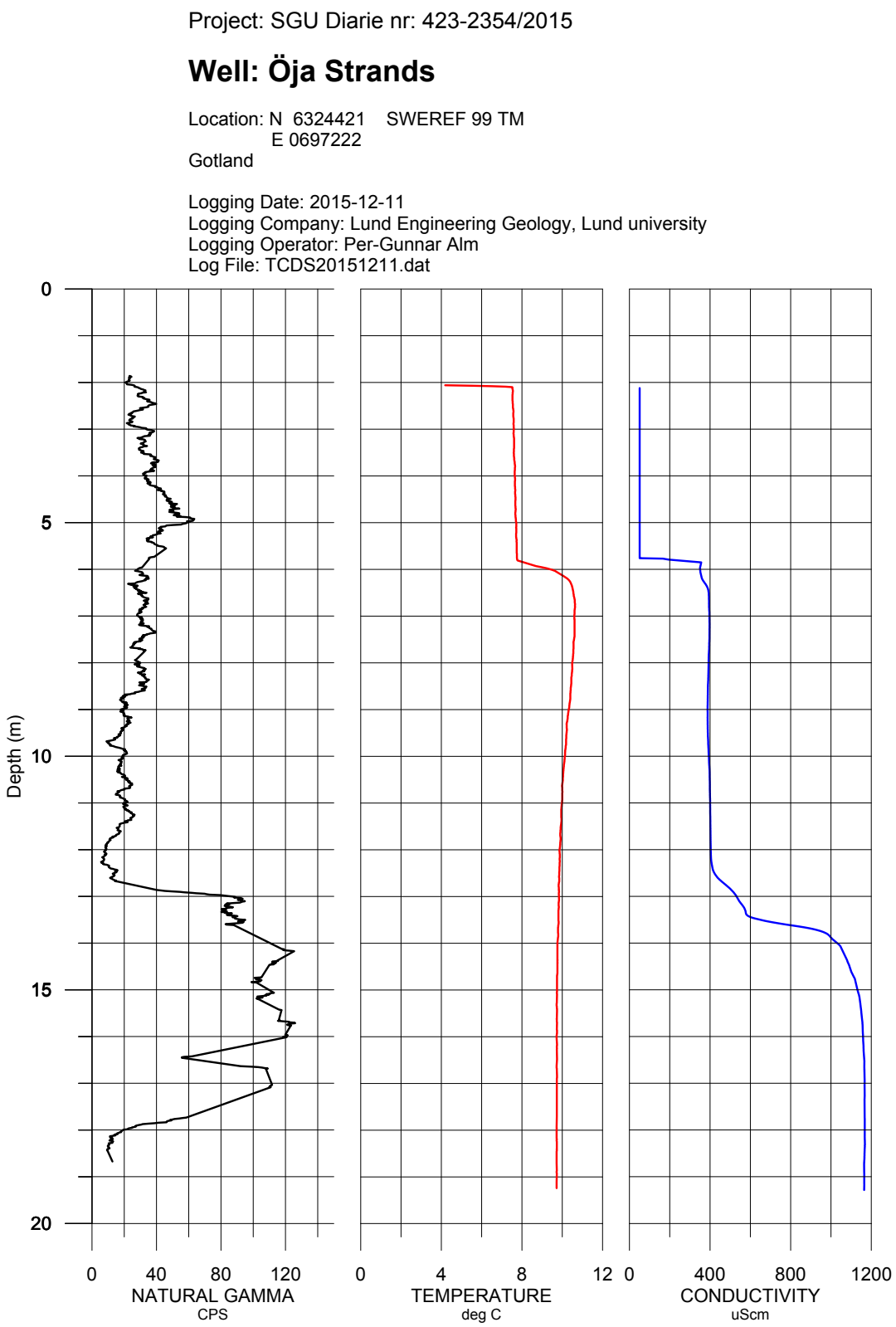
Logging Company: Lund Engineering Geology, Lund university
Logging Operator: Per-Gunnar Alm



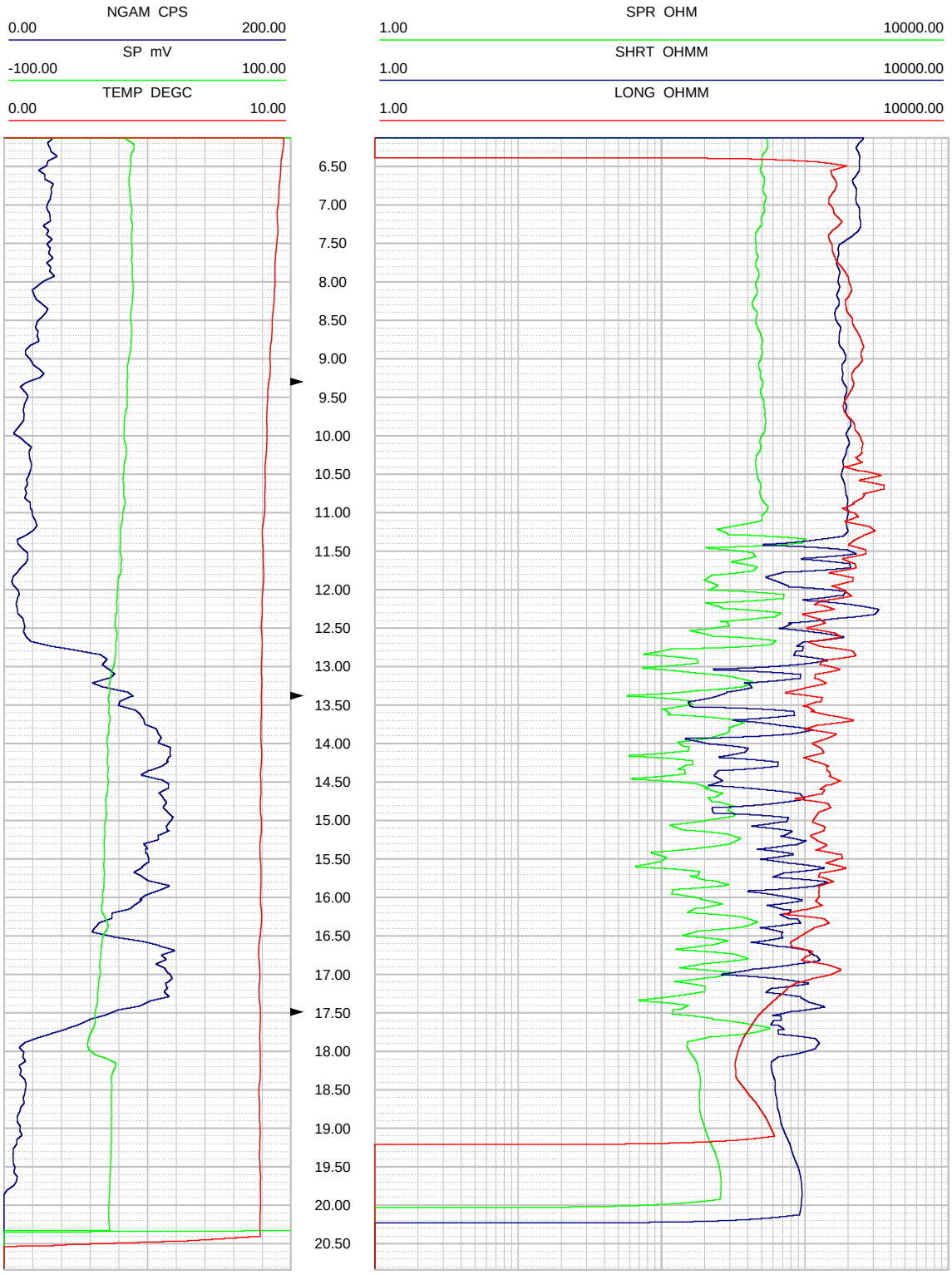
Figur 2:15.2 E-logg från borrhål 18, Åminne 3.



Figur 2:16.1 Fluid Temperature & Conductivity logg från borrhål 19, Öja Strands.



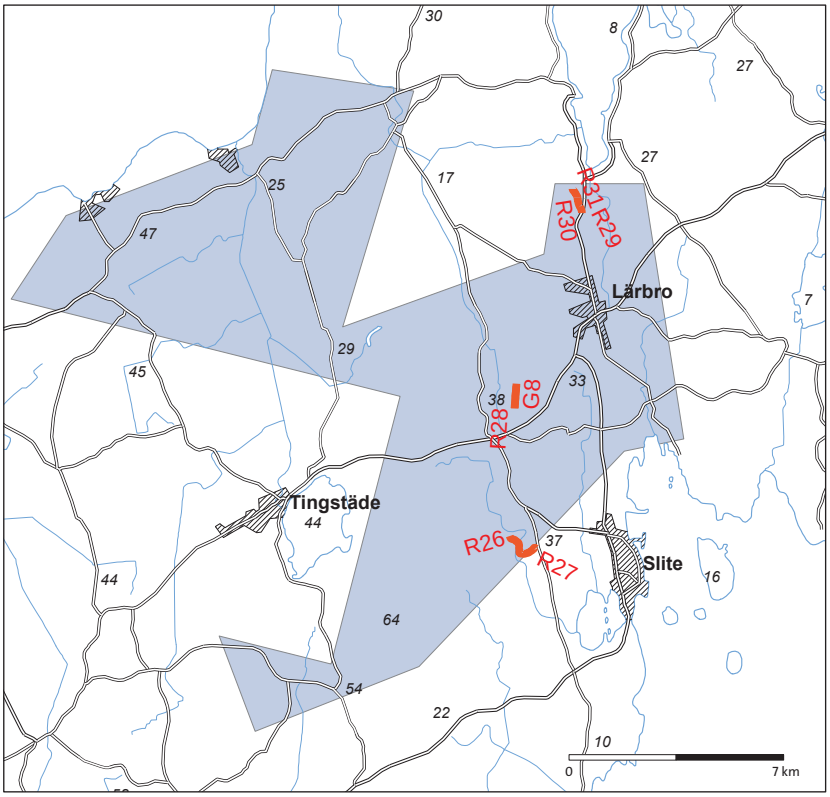
Figur 2:16.2 E-logg från borrhål 19, Öja Strands.



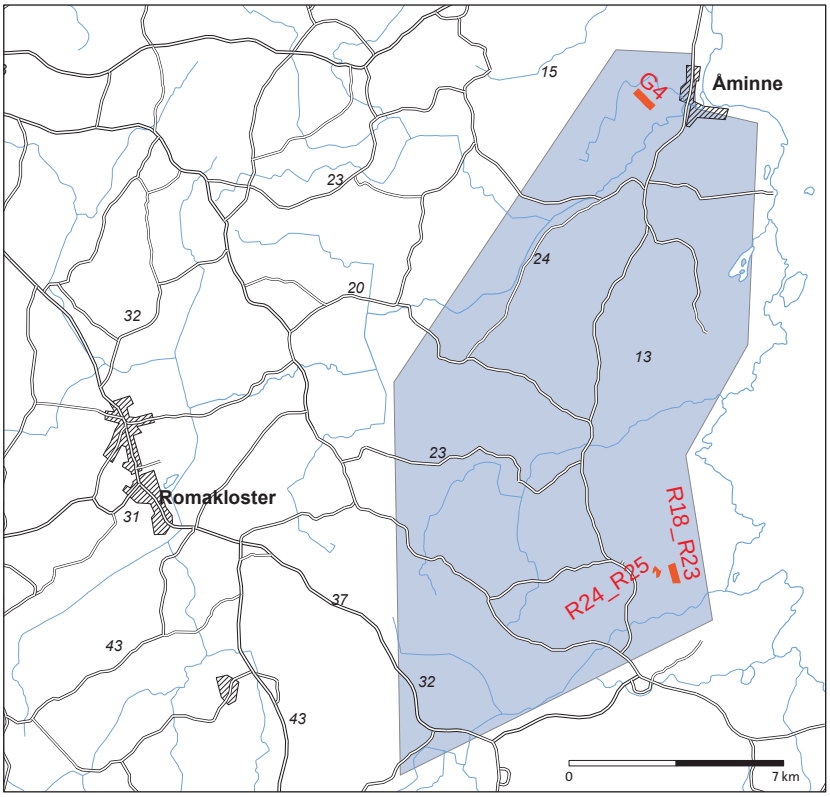
BILAGA 3: GEOFYSISKA MARKMÄTNINGAR

SGU har under 2016 utfört geofysiska markmätningar med georadar och elektrisk resistivitetstomografi (ERT) på Gotland. Markmätningarna utfördes inom de fyra områden där helikopterburna TEM-mätningar med SkyTEM-systemet har genomförts. Profilernas läge visas i figur 3:1, 3:2, 3:3 och 3:4.

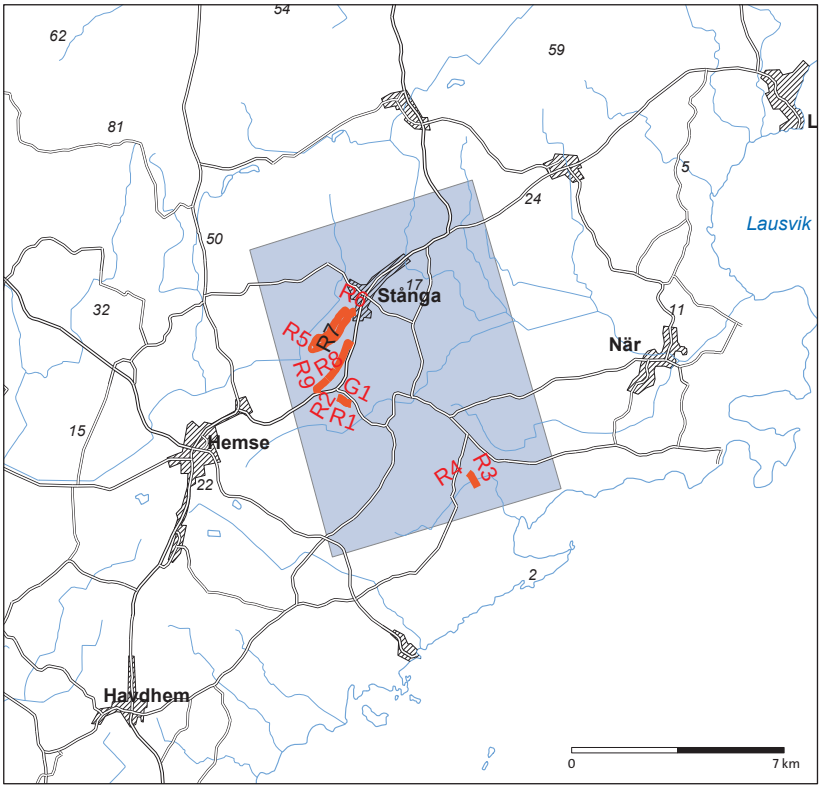
Nedan kommenteras resultaten kortfattat från respektive mätprofil. För en del av profilerna visas data i figurform. R i profilbenämningen står för georadar och G för geoelektrisk mätning, den senare kallas även ERT i rapporten.



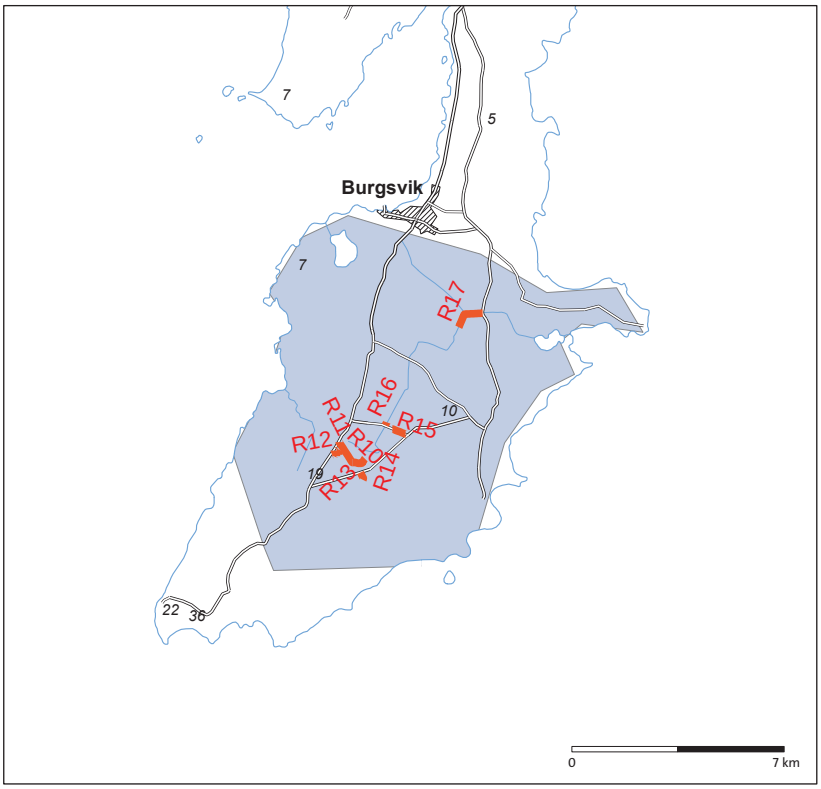
Figur 3:1. Profillägen med beteckningar av markgeofysiska mätningar inom Område 1. R=georadarmätning, G=geoelektrisk mätning (ERT).



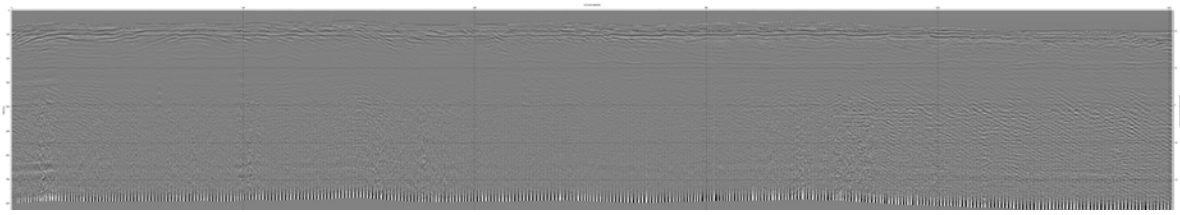
Figur 3:2. Profillägen med beteckningar av markgeofysiska mätningar inom Område 2. R=georadarmätning, G=geoelektrisk mätning (ERT).



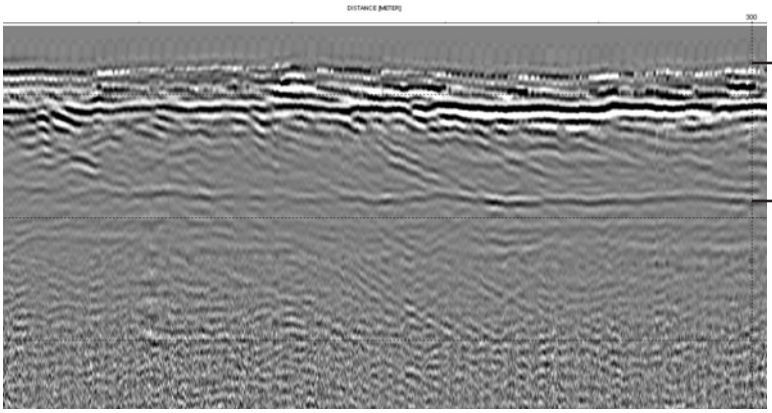
Figur 3:3. Profillägen med beteckningar av markgeofysiska mätningar inom Område 3. R=georadarmätning, G=geoelektrisk mätning (ERT).



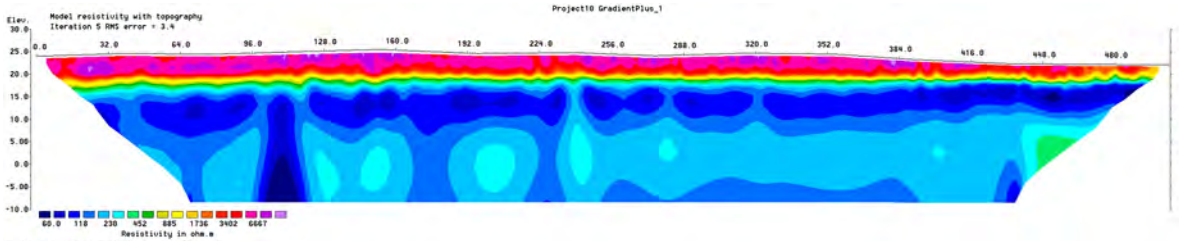
Figur 3:4. Profillägen med beteckningar av markgeofysiska mätningar inom Område 4. R=georadarmätning.



Figur 3:5 A. Överst georadargram som visar hela mätprofilen R1.



Figur 3:5 B. Delförstoring av en central del som också AGC-filtrerats (AGC=automatic gain control).



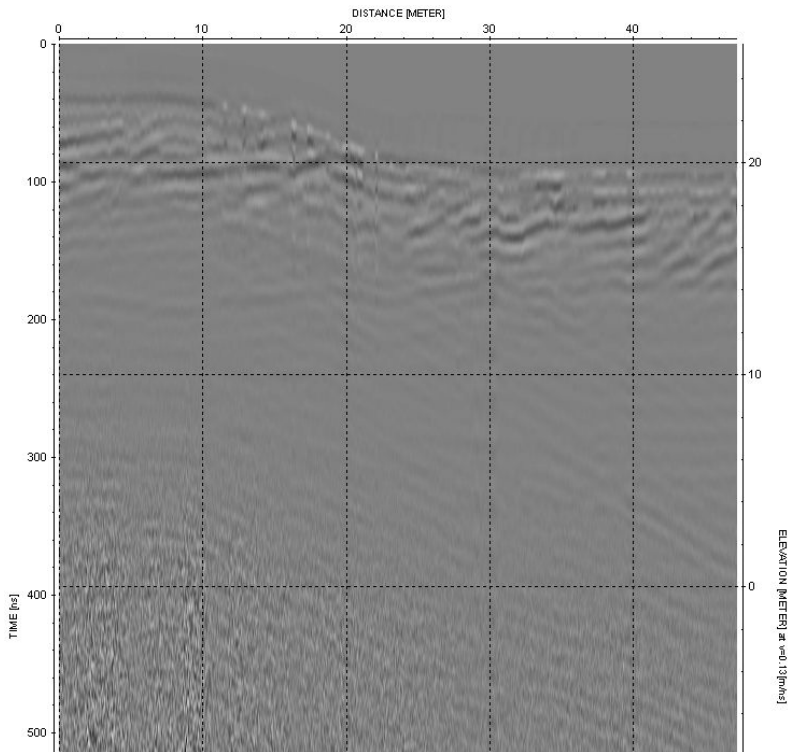
Figur 3:6. Resistivitetssektion ur markmätningar längs mätprofilen G1.

R1 (område 3)

Grundvattenytan ger tydliga reflexer liksom botten på den alluviala avlagringen bestående av sand och grus. Dessutom finns interna reflexer i de avlagringarna som markerar fraktionsförändringar. Under bottenreflexen från de alluviala avlagringarna finns reflexer från djupare liggande diskontinuitetsytor, möjligen visar de förekomst av ett tunt moränlager under sanden och gruset.

G1 (område 3)

G1 ligger i samma läge som R1 men är en mätprofil med ERT. Det översta högresistiva lagret representerar den torra sand- och grusavlagringen ovanför grundvattenytan. Sand och grus under grundvattenytan är relativt lågresistiv. Under de alluviala sedimenten och ett eventuellt tunt moränlager finns berggrunden som här har en resistivitet som antyder ett väsentligt inslag av kalksten med möjliga lager eller skikt av märgel.



Figur 3:7. Georadargram från R2.

R2 (område 3)

Kort tvärprofil till R1, där R2 löper mot nordost. Rikligt med reflexer med relativt god penetration tyder på en alluvial sand- och grusavlagring med flera fraktionsförändringar.

R3 (område 3)

Profilen löper genom ett område som enligt jordartskartan domineras av sand och flygsand. I den översta delen av radargrammet förekommer rikligt med reflexer som kommer ifrån sandavlagringarna, det är dock svårt att identifiera reflexen från grundvattenytan.

R4 (område 3)

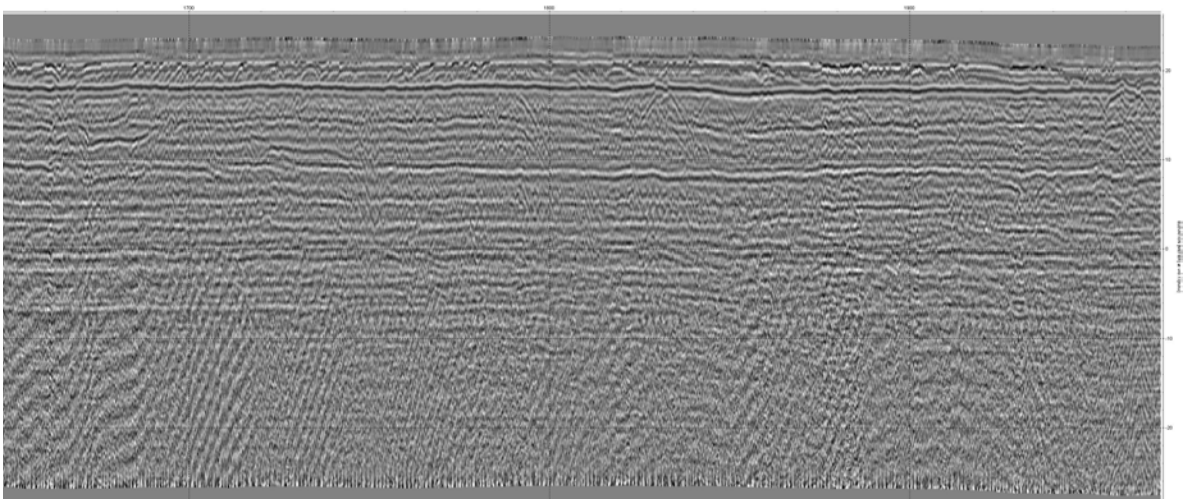
R4 är en kort tvärprofil till R3, R4 löper i sydvästlig riktning från R3 och visar i stort sett samma typ av radargram som R3.

R5 (område 3)

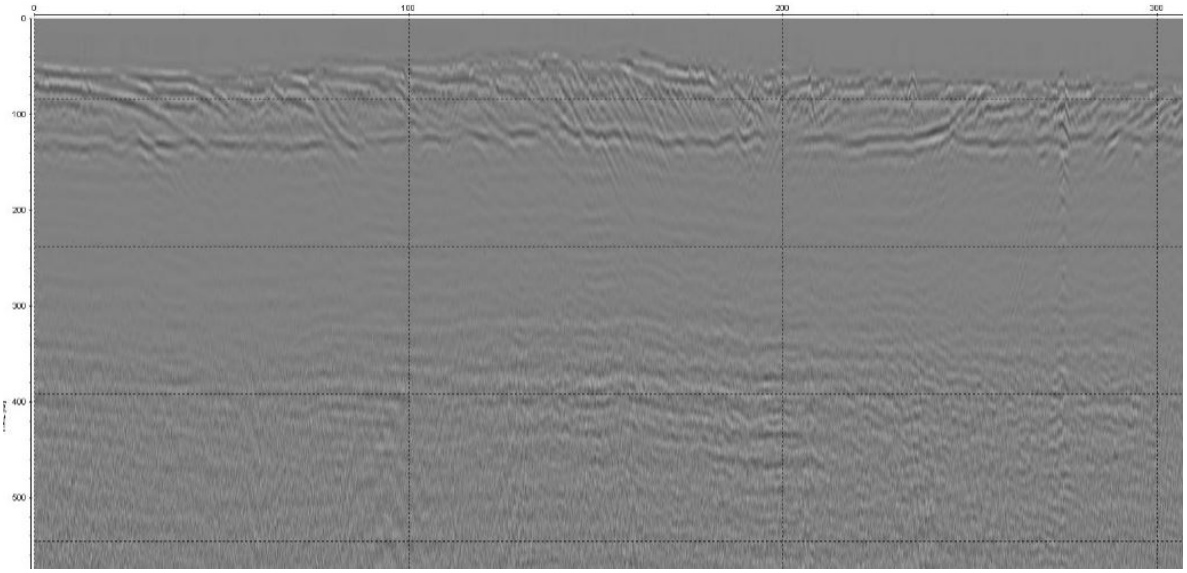
En lång profil som löper längs åsen med alluviala avlagringar av sand och grus som ligger sydväst om Stånga. Grundvattenytan ger en tydlig reflex liksom underytan i sand- och grusavlagringarna. Under denna finns ytterligare några oregelbundna reflexer vilka skulle kunna indikera jord (morän).

R6 (område 3)

En lång profil som löper längs åsen med alluviala avlagringar av sand och grus som ligger sydväst om Stånga. Grundvattenytan ger en tydlig reflex längs profilen. Under grundvattenytan blir amplituderna



Figur 3:8. Detalj ur georadargram från R5, AGC-filtrerad.

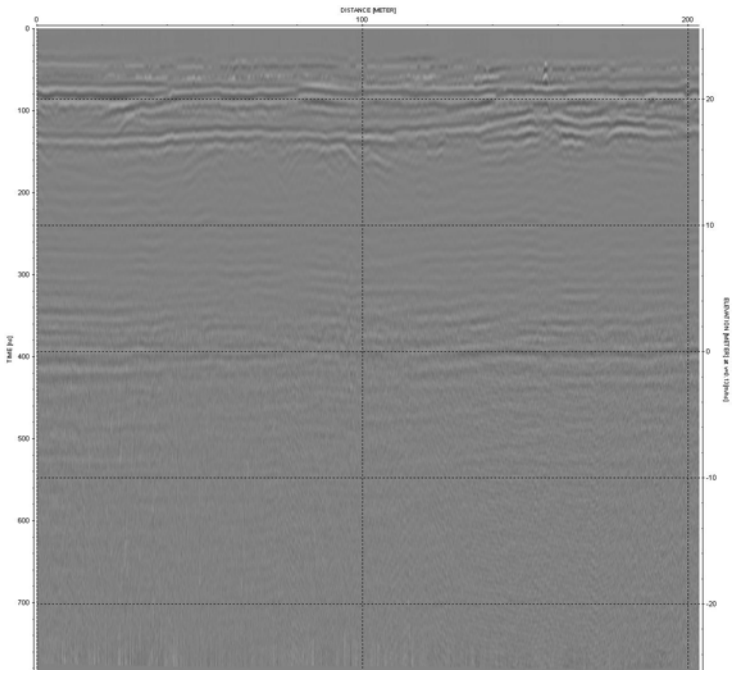


Figur 3:9. Detalj ur georadargram från R7.

svagare men en tydlig reflex återfinns på djupet och den kommer sannolikt från underytan i sand- och grusavlagringen. Ur denna reflex går det att skapa en detaljerad geometrisk modell av hela sand- och grusavlagringen. Under denna finns ytterligare några oregelbundna reflexer vilka skulle kunna indikera jord (morän).

R7, R8 och R9 (område 3)

Dessa tre profildelar utgör tillsammans en längre profil som löper fram i ett område som enligt jordartskartan domineras av sand och grus i markytan. En reflex som tolkas visa grundvattenytan framgår relativt tydligt längs stora delar av profil R7, den är dock otydligare längs profil R8 men syns partiellt tydligt i profil R9. Botten på sand- och grusavlagringen är dock svår att identifiera i samtliga tre profiler.



Figur 3:10. Georadargram från R10.

R10 (område 4)

Profilen löper i ett område med grusdominerade svallsediment. En horisontell tydlig reflex ligger någon meter under markytan och tolkas utgöra grundvattenytan. På ringa djup finns en tydlig reflex som tolkas utgöra bottnen på svallsedimenten.

R11 (Område 4)

R11 löper i samma område som R10 och uppvisar samma typ av reflexer med ungefär samma mäktighet hos svallsedimenten.

R12 (område 4)

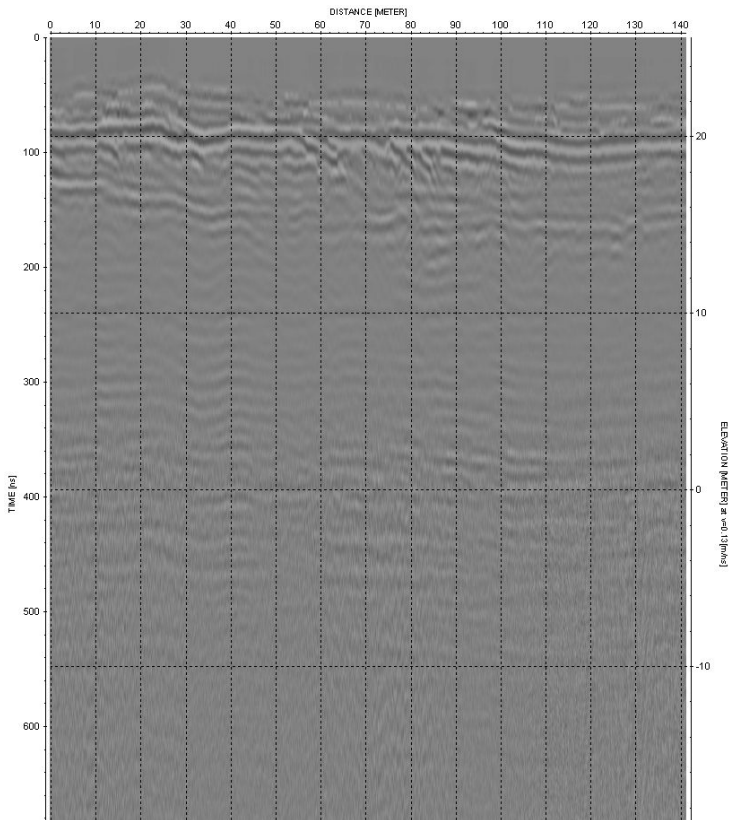
Profilen löper nära gränsen mellan grusdominerade svallsediment i väster och postglacial sand i öster. I profilen finns en tydlig reflex relativt nära markytan som kan tolkas komma från grundvattenytan. Längre ned finns en tydlig reflex som skulle kunna utgöra underytan på svallsedimenten. I den nordvästra delen ligger svallsedimentens underyta betydligt grundare än i den sydliga delen av profilen där mäktigheten är betydligt större. Resultaten visar att radar kan användas till att skapa en detaljerad modell av svallsedimenten och den postglaciala sanden.

R13 (område 4)

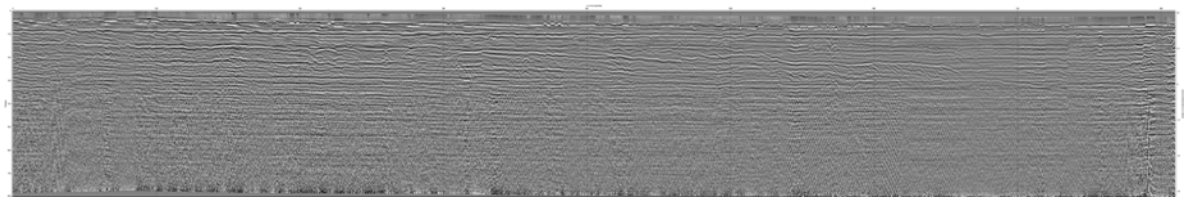
Profilen utgör en sydöstlig fortsättning av profil R12. I profil R13 är reflexerna något otydligare än i R12.

R14 (område 4)

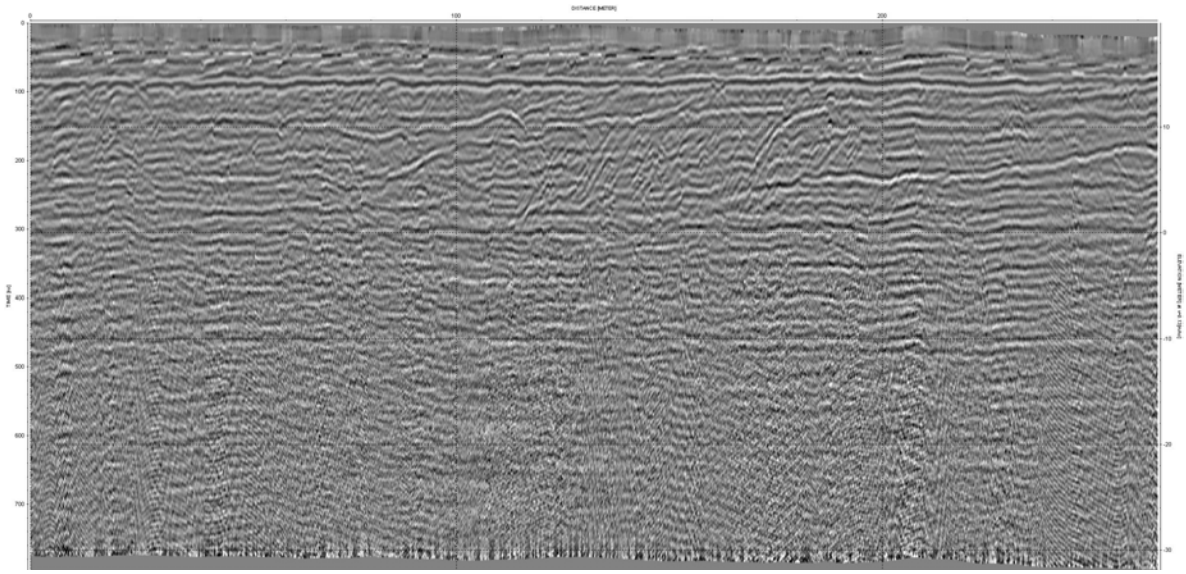
I profilen finns en mycket tydlig reflex som tolkas vara orsakad av grundvattenytan. Under grundvattenytan finns ett stort antal reflexer som avslöjar interna fraktionsförändringar inom svallsedimenten och den postglaciala sanden. Mäktigheten hos svallsedimenten varierar längs profilen.



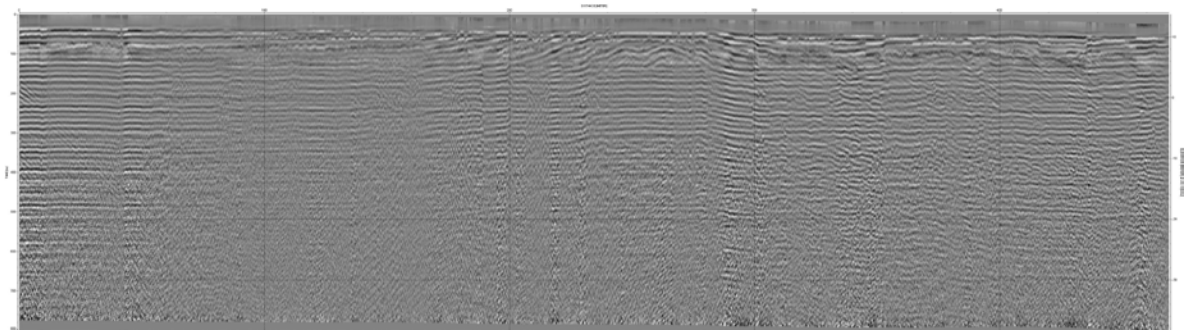
Figur 3:11. Georadargram från R11.



Figur 3:12. Georadargram från R12, AGC-filtrerad.



Figur 3:13. Georadargram från R14, AGC-filtrerad.



Figur 3:14. Georadargram från R15, AGC-filtrerad.

R15 (område 4)

En profil med litet eller inget jorddjup. I den centrala delen av profilen tolkas georadargrammet visa att berggrunden når markytan. Där svallsediment förekommer är dessa tunna. Det går inte att urskilja någon grundvattenyta i radargrammen.

R16 (område 4)

En kort profil med mycket svårtolkat radargram.

R17 (område

Hela profilen visar påmark med ringa jorddjup.

R18–R23 (område 2)

Delsegmenten R18, R19, R20, R21, R22 och R23 bildar tillsammans en ca 600 m lång profil som löper i mark med inget eller ringa jorddjup enligt jordartskartan. Det finns reflexer som ligger ytnära men dessa är svårttolkade; utgör de lager inom berggrunden eller är det ett tunt jordtäcke här och var som ger upphov till georadargrammens utseende?

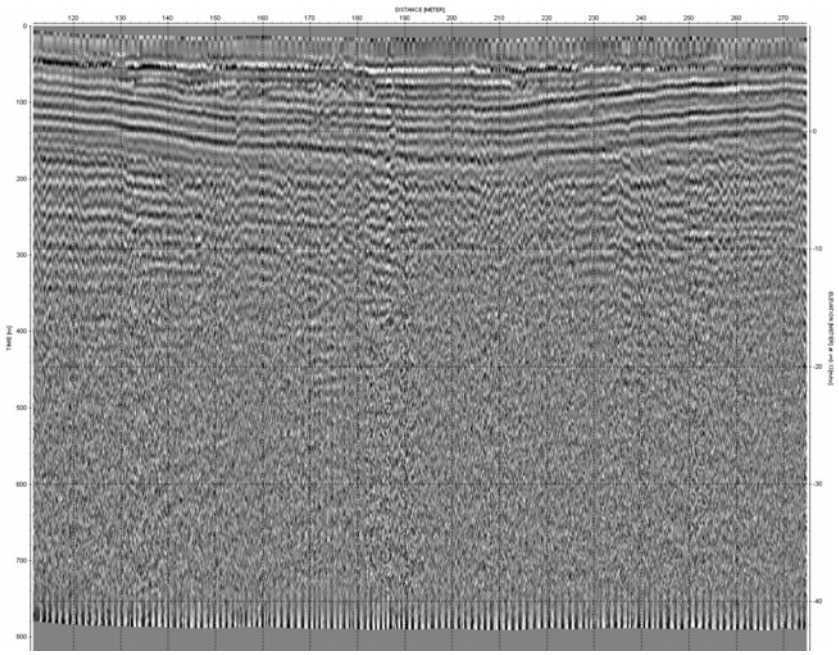
R24–R25 (område 2)

Profilen går i ett stråk som anges innehålla moränlera eller lerig morän enligt jordartskartan, jorddjupet bedöms till 1 m. Djuppenetrationen i radarvågen tyder dock på att lerinnehållet är lågt i jordlagren. Radargrammet längs profil R24 visar parallella lutande reflexer med olika djupgående i de två profiländarna. Vidare ses en diskordans mellan reflexerna vid ytan och de som är belägna på djupet där de senare ligger horisontellt. Enligt radargrammet klipper de ytligare lutande reflexerna de djupare vilket skulle kunna tyda på svallmaterial i ytan.

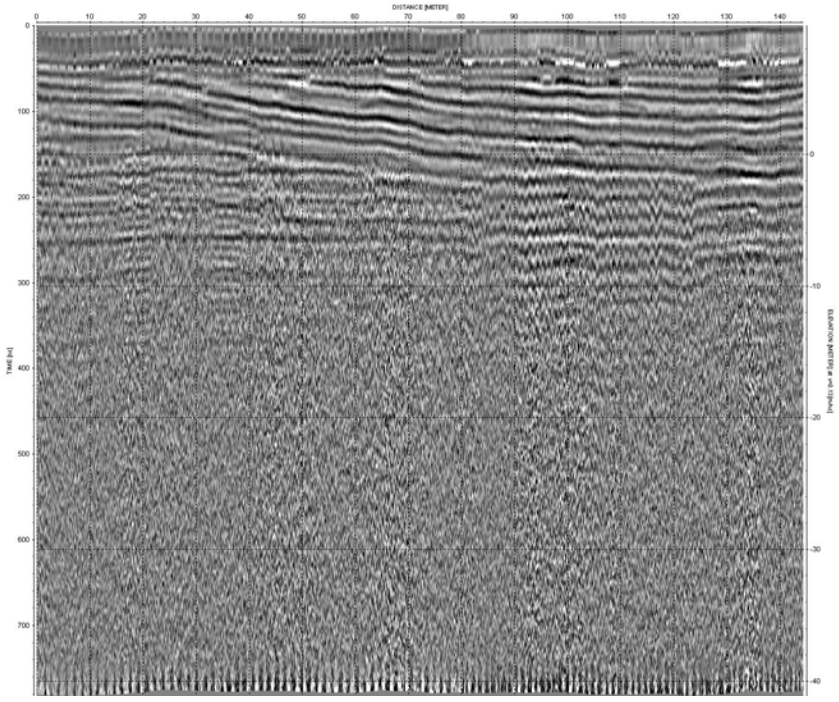
G4 (område 2)

Resistivitetsprofilen löper i ett område där jordartskartan anger lerig morän eller moränlera med litet jorddjup. Ett borrhål som borrats alldeles intill profilen i SGUs regi under 2016 visar att det finns ca 3 m med stenig/blockig morän och under det ett ca 1 m mäktigt lager av märgel följt av kalkberg ned till 60 m.

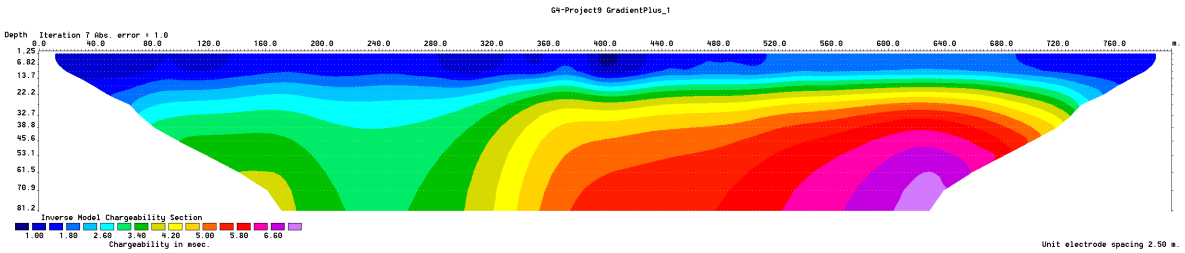
Resistivitetsmätningen visar ett ytligt lågresistivt lager som antyder att moränen kan innehålla



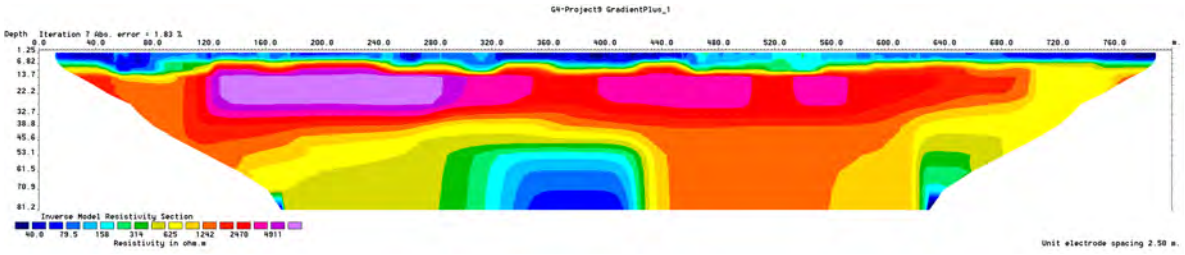
Figur 3:15. Georadargram från R19, AGC-filtrerad.



Figur 3:16. Georadargram från R24, AGC-filtrerad.



Figur 3:17. Resistivitet (överst) och Chargeability (nederst) från profil G4.



Figur 3:18. Resistivitet från profil G8.

inslag av lera. Kalkstenen under jordlagren är mycket högresistiv, betydligt över 1000 Ohmm, vilket indikerar att det är en märgelfattig kompetent kalksten som lätt kan utveckla sprickor och kanske även karstsystem. På ca 40 m djup minskar resistiviteten vilket indikerar förekomst av märgelrika lager. Inducerad Polarisation (IP) mättes samtidigt med resistiviteten och visar att polariserbarheten (eng. *chargeability*) ökar något mot djupet vilket också indikerar ett ökat lerinnehåll i berggrunden

R26, R27, R28 (område 1)

Samtliga georadargram från dessa profiler är svårtolkade.

G8 (område 1)

Profilen löper i ungefär samma position som R28 i mark med moränlera eller lerig morän i ytan. Jorddjupet förväntas vara litet då häll finns i omgivningen. Det borrhål (Othem Barshage 1:46) som borrats i SGUs regi 2016 har ett jorddjup av ca 4 m och består av jord/sand, borrhålet ligger nära profilen.

SGU Rapporter och meddelanden 140

SkyTEM-undersökningar på Gotland, del 2

Geological Survey of Sweden
Box 670
SE-751 28 Uppsala
Phone: +46 18 17 90 00
Fax: +46 18 17 92 10
www.sgu.se

Uppsala 2017
ISSN 0349-2176
ISBN 978-91-7403-392-2
Tryck: Elanders Sverige AB