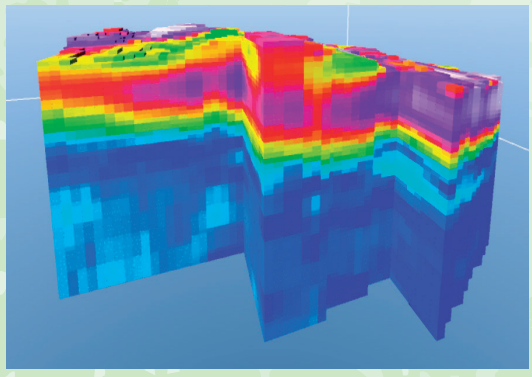
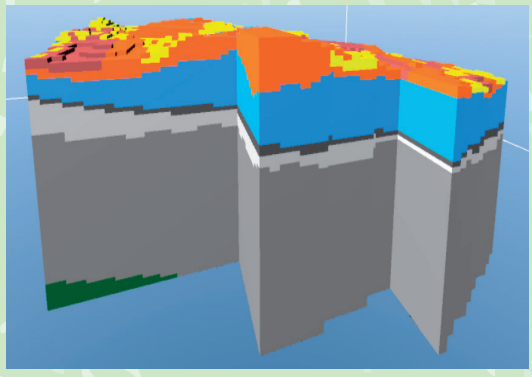
Rapporter och meddelanden 145

SkyTEM-undersökningar på Öland
– Geologiska tolkningar och hydrogeologisk tillämpning

Peter Dahlqvist, Mehrdad Bastani, Lena Persson,
Carl-Axel Triumf, Mikael Erlström, Mattias Gustafsson,
Flemming Jørgensen, Mats Gulbrandsen & Kärstin Malmberg Persson







SGU
Sveriges geologiska undersökning
Geological Survey of Sweden

Rapporter och meddelanden 145

SkyTEM-undersökningar på Öland
– Geologiska tolkningar och hydrogeologisk tillämpning

Peter Dahlqvist, Mehrdad Bastani, Lena Persson,
Carl-Axel Triumf, Mikael Erlström, Mattias Gustafsson,
Flemming Jørgensen, Mats Gulbrandsen & Kärstin Malmberg Persson

Sveriges geologiska undersökning
2018

ISSN 0349-2176
ISBN 978-91-7403-420-2

Omslagsbild: *Till vänster*: Foto på helikopter med SkyTEM-systemet.
Uppe till höger: Ett utsnitt ur en tredimensionell resistivitetsmodell över Lindbyfältet, sydost om Borgholm.
Nere till höger: Ett utsnitt ur en tredimensionell geologisk voxelmodell över Lindbyfältet, sydost om Borgholm.

Fotograf: Peter Dahlqvist

Författare: Peter Dahlqvist, Mehrdad Bastani, Lena Persson, Carl-Axel Triumf, Mikael Erlström, Mattias Gustafsson, Flemming Jørgensen, Mats Guldbrandsen & Kärstin Malmberg Persson
Ansvarig enhetschef: Jakob Levén

Layout: Marika Håkanson
Tryck: Elanders Sverige AB

Sveriges geologiska undersökning
Box 670, 751 28 Uppsala
tel: 018-17 90 00
fax: 018-17 92 10
e-post: sgu@sgu.se
www.sgu.se

Innehåll

Sammanfattning **4**

Abstract **6**

Inledning **7**

Mål och syfte **8**

Metoder och genomförda undersökningar **9**
SkyTEM 9
Geofysiska markmätningar 10
Borrning och brunnsarkiv 12
Modellering av resultat i 3D 12

Geologisk uppbyggnad **15**
Ölands sedimentära berggrund 15
Ölands jordartsgeologi 19
Hydrogeologiska förhållanden och vattenförsörjning på Öland 22

Resultat och områdesspecifika tolkningar **25**
Generella resistivitetsintervall för olika litologier 25
Generella resistivitetsintervall kopplade till hydrogeologiska egenskaper 26
Utvalda geologiska miljöer och hydrogeologisk tillämpning 27
Mossbergaområdet och Västra landborgen 60

Översiktliga resistivitetskartor över Öland **68**

Slutsatser och diskussion **70**

Referenser **72**

Bilaga 1. Borrhålsdata **74**

Sammanfattning

Öland har ofta brist på dricksvatten under sommarperioden. Ett stort antal turister och sommarboende resulterar i en kraftigt ökad vattenförbrukning samtidigt som påfyllningen av grundvattenmagasinen under motsvarande period är låg. Under 2016 kulminerade problemen med låga grundvattennivåer vilket gjorde att Länsstyrelsen i Kalmar län samt Mörbylånga och Borgholms kommuner äskade medel från Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB) för att genomföra klimatanpassningsinsatser med hänsyn till situationen på Öland. Medel från MSB beviljades och Sveriges geologiska undersökning (SGU) utförde mätningar under hösten 2016 med en helikopterburen geofysisk metod (SkyTEM) i ett område på 800 km^2 på Öland. Syftet var att samla in information och öka kunskapen om de hydrogeologiska förhållandena. Målsättningen var att identifiera potentiella områden på Öland där det finns förutsättningar för större grundvattenuttag.

En viktig anledning till grundvattenbristen på Öland är jordlagrens och berggrundens begränsade magasineringskapacitet. Tunna jordlager i kombination med en relativt tät berggrund och ett sedan länge utdikat landskap gör att merparten av nederbörden som faller under vinterhalvåret inte bildar grundvatten utan snabbt rinner ut i Östersjön. Grundvattenbildningen under sommarhalvåret är begränsad på grund av små nederbördsmängder, hög avdunstning och vegetationens vattenupptag. Därför är det av stor vikt att kartlägga, avgränsa och på ett ansvarsfullt sätt förvalta de områden på Öland som har eller kan få stor betydelse för den framtida dricksvattenförsörjningen.

Mätdata från den nu utförda undersökningen är av god kvalitet och utgörs av ca 120 000 geofysiska sonderingar ned till ca 250 m djup. Den analys som redovisas här är översiktlig, förutom i några utvalda områden där en mer detaljerad analys gjorts. Rapporten ska därför inte ses som en slutredovisning av SkyTEM-undersökningen utan som en övergripande redovisning av mätresultaten, vilken mängd och typ av data som finns, hur denna kan analyseras och bearbetas, samt hur man kan tolka och presentera denna i olika modeller. Utvärderingen av SkyTEM-mätningarna som presenteras i rapporten har gjorts med stöd av data från kompletterande markbundna geofysiska mätningar och ett antal kontrollborrningar. Vidare har mätdata och tolkningar utgjort underlag till en geologisk 3D-modell över Öland.

I rapporten redovisar SGU sin tolkning av ett antal geografiskt åtskilda områden med olika geologisk uppbyggnad och olika hydrogeologiska förutsättningar. Varje område beskrivs översiktligt var för sig. För varje område redovisas även en detaljerad beskrivning av ett mindre område. Några av undersökningsborrningarna indikerade mycket god uttagskapacitet, till exempel borrhålen vid Kleva (48 000 l/tim), Frösslunda by (21 000 l/tim), Södvik (30 000 l/tim), Böda S (10 800 l/tim) och Grankulla (15 000 l/tim). Områdena kring dessa brunnar bör undersökas mer i detalj. Utifrån nyss nämnda brunnar vars lokaliseringar baseras på SkyTEM-data finns ett bra underlag för att ytterligare identifiera och avgränsa områden med förutsättningar för större grundvattenuttag.

SkyTEM-data har visat sig fungera väl när det gäller att identifiera och avgränsa svaghetszoner i kalkstenen på Öland. Ett stort antal uthålliga zoner har identifierats, vissa av dem kända sedan tidigare, till exempel Resmozonen, men vissa är nya som zonerna vid Tveta och Sjöstorp. Ett antal av dessa zoner har undersökts med borrningar. Utfallet rent grundvattenmässigt har flera gånger gett relativt dåligt resultat, delvis beroende på att borrningarna inte kunnat placeras tillräckligt nära sprickzonen eller att tolkning av zonens läge inte varit korrekt (till exempel vid Hörninge). I fler fall har brunnsborrningarna visat kraftigt uppsprucken kalksten men lite vatten (till exempel vid Lenstad) medan det i andra fall har funnits bra med vatten (till exempel vid Södvik). Det är därför svårt att generellt uttala sig om zonernas vattenförande förmåga eftersom det tycks variera mycket från fall till fall trots att de har samma utseende i SkyTEM-data.

Data från undersökningarna har även gjort att vi kunnat avgränsa och lokalisera akviferer i jordlager. Vi har kunnat lokalisera och karaktärisera ett antal nya områden, där det tidigare inte funnits data, som kan vara av stor vikt för lokalisering av nya kommunala vattentäktsbrunnar, till exempel vid

Frösslunda och Grankulla samt inom Solberga–Lindbyfältet. SkyTEM-data har också visat sig vara en tillförlitlig metod för en bedömning av jordlagrens mäktighet. Öland har nu en jorddjupskarta med hög kvalitet inom de SkyTEM-undersökta områdena.

SGUs bearbetning och tolkning av mätresultaten har identifierat ett femtontal potentiella områden där det kan finnas större tillgång till grundvatten. Det rekommenderas att dessa undersöks mer i detalj för att klarlägga de hydrogeologiska förhållandena. De områden med störst potential är söderifrån: Frösslunda, Tveta, väster om Skedemosse, öster om Långbromosse, Södvik och Grankulla.

Undersökningsresultaten visar att SkyTEM-metodiken lämpar sig väl för en djupkaraktärisering av de geologiska förhållandena på Öland. Mätresultaten kan användas som underlag för till exempel planering av vattentäkter, vattenskyddsområden, arbete med vattenförvaltningsfrågor, tillståndsgivning och tillsyn av till exempel vattenverksamhet och energibrunnar.

Abstract

The island of Öland, situated in the Baltic Sea 10 km east of the mainland of Sweden, have problems with the supply of drinking water every summer due to the tourist season. Moreover, the groundwater recharge is extremely low due to very limited precipitation within that period. In 2016 the problem with low groundwater levels culminated, which led to several alternative solutions to improve redundancy in the drinking water supply. The County Administrative Board Kalmar and the municipalities of Mörbylånga and Borgholm received funds from the Swedish Civil Contingencies Agency (MSB) to implement climate adaptation efforts due to the vulnerable state of water shortage. In this context, the *SkyTEM Surveys ApS* conducted a total of 800 km^2 airborne transient electromagnetic data acquisition over the areas planned by the Geological Survey of Sweden (SGU) in the autumn of 2016. The focus of the study was to improve the overall knowledge about the hydrogeology, and more importantly to find and delimit new groundwater resources of Öland. The results are of importance to the municipalities for identification of new locations for production wells with the aim to increase the total amount of the extracted groundwater. An important reason for the groudwater shortage on Öland is the limited storage capacity of the soil and the bedrock on the island. Groundwater recharge during the summer is further limited due to small precipitation, high evaporation and vegetation water absorption.

The acquired dataset, corresponding to 120 000 geophysical soundings, is large and of high quality. With the system used the electrical resistivity down to a depth of 250 m is imaged and studied. This report is mainly a summary of the data analysis carried out and provides an overall presentation about the data processing, modelling and visualization. Furthermore, all the data and results have been incorporated in a 3D program as the basis for constructing 3D geological models over the entire island of Öland.

A few hygdrogeologically distinct areas are chosen for a more detailed demonstration of the new findings from the data analysis. The validity of the results from the airborne TEM measurements are examined by using available ground geophysical data and a number of boreholes drilled for this purpose. The geological characteristics and hydrogeological settings of each area are described briefly, and a few detailed examples of the results are presented. Five survey boreholes indicate a high yield of groundwater which provided a firm ground for further studies. The boreholes are situated close to Kleva (48 000 l/h), Frösslunda village (21 000 l/h), Södvik (30 000 l/h), Böda (10 000 l/h) and Grankulla (15 000 l/h).

SkyTEM data has been used to identify and delimit weakness zones in the limestone on Öland. Several zones have been identified, some of them known earlier, e.g. the Resmo Zone, but some are previously not known e.g. the Tveta and Sjöstorp zones. A few of these zones have been investigated with drillings. The outcome of the drillings has several times been relatively poor considering groundwater yield. This may partly be due to that drillings could not always be located close to the fracture zone or that interpretation of the zone's location was not all correct (e.g. at Hörninge). In some cases, drillings have shown heavily cracked limestone but only limited amount of water (e.g. at Lenstad), while in other cases it has been a substantial water yield (e.g. at Södvik). The water content in the zones seems to vary a lot from case to case and it is therefore difficult to give a general statement.

Data also enabled us to locate and characterize a number of aquifers in soil layers, new areas for example at Frösslunda and Grankulla, and also within the Solberga–Lindby field. SkyTEM data can also be used to map the soil thickness with high resolution. Considering the achieved results in these areas SGU can now point out where on the island better possibilities and conditions for higher extraction of groundwater exist. There are about fifteen areas where SGU suggests further detailed investigations to study the long-term capacity and opportunities for groundwater extraction.

The results show that the airborne TEM method is very much suitable for studying the geology of the island of Öland. The data and results from the survey can be utilized as a basis in planning of for example water reservoirs, water protection areas, water management and geo-energy issues.

Inledning

Mellan 2015 och 2017 har det under främst sommarmånaderna varit problem med vattenförsörjningen på Öland. Länsstyrelsen i Kalmar län samt Mörbylånga och Borgholms kommuner kontaktade i början av 2016 SGU angående de mycket låga grundvattennivåerna på Öland vid tillfället. I SGUs grundvattenrör i Böda var grundvattennivåerna de lägsta som observerats sedan mätningarna startade 1968. Detta under en period (vinterhalvåret) då grundvattnet normalt sett står relativt högt. Mörbylånga och Borgholms kommuner vidtog ett flertal åtgärder för att klara vattenförsörjningen. En av åtgärderna var tankbilstransporter och byggandet av en vattenöverföringsledning från fastlandet samt anläggning och planering av ett avsaltningsverk vid Sandvik och Mörbylånga. Länsstyrelsen i Kalmar län samt Mörbylånga och Borgholms kommuner fick 2016 medel från Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB) för att genomföra så kallade klimatanpassningsinsatser kopplade till vattenförsörjningssituationen på Öland. Dessa medel användes till en geofysisk undersökning av de geologiska och hydrogeologiska förhållanden med hjälp av SkyTEM-metodiken som framgångsrikt tidigare utförts på Gotland. Undersökningarna koordinerades av SGU, som även utförde den översiktliga tolkning som presenteras i rapporten.

Den största orsaken till den periodvisa bristen på grundvatten på Öland är att magasineringsförmågan i jord, berg och sjöar är dålig. Tunna jordlager och relativt tät berggrund gör att merparten av nederbörden som faller under höst och vår inte bildar grundvatten utan rinner av från markytan, via ytvattendrag, till Östersjön. Delar av Öland är dessutom utdikat vilket ytterligare bidrar till en ökad dränering ut i Östersjön. Nederbördens korta uppehållstid i landskapet minskar därigenom möjligheterna för grundvattenbildning via infiltrering till jordlager och berggrund. Grundvattenbildningen under sommarperioden är dessutom låg på grund av lite nederbörd, hög avdunstning och vegetationens vattenupptag. Närheten till Östersjön gör också att risken för saltvattenpåverkan i djupare brunnar är påtaglig vilket också begränsar till vilket djup det går att lokalisera nya dricksvattentäkter. För en stor del av Öland har det hittills saknats tillräckligt bra underlag för bedömning av de övergripande geologiska och hydrogeologiska förutsättningarna för lokalisering av nya och kompletterande grundvattentäkter.

Erfarenheter från Transient Elektromagnetiska Mätningar (TEM) på Gotland med helikopterburen metod (SkyTEM) har visat att mätningarna ger detaljerad information om djupgeologiska förhållanden som kan kopplas till hydrogeologiska förhållanden och bedömning av förekomst av grundvattenmagasin (Dahlqvist m.fl. 2015, 2017). Mätningarna på Öland, liksom på Gotland, utfördes av det danska företaget SkyTEM ApS. Med stöd av resultat från kompletterande geologisk information från till exempel borrningar och markgeofysik har en metodik utvecklats med framtagning av 3D-modeller av jordlagrens och berggrundens elektriska resistivitet. Mätningarna på Öland har utförts med ett system som registrerar den elektriska resistiviteten i marken utmed parallella mätlinjer med ett linjeavstånd på ca 200 m. Jordlagrens och berggrundens resistivitet har varit möjlig att modellera ner till 200–300 m djup. De variationer i resistivitet som visas i mätdata beror främst på skillnader i porositet, andel lermineral, vattenmättnadsgrad och förekomst av salt grundvatten. Mätresultaten från de enskilda mätlinjerna har efter bearbetning och tolkning sammanfogats till en tredimensionell resistivitetsmodell för de olika områdena som undersökts. För att noggrannare bedöma modellernas bäring på grundvattenförhållandena kompletterades TEM-data med geologisk och geofysisk information från ett antal geofysiska markmätningar och undersökningsborrningar i anslutning till några av de identifierade resistivitetsavikelserna i profilerna. Resultaten och erfarenheterna från SkyTEM-undersökningar utförda på Gotland 2013 och 2015 (Dahlqvist m.fl. 2015, 2017) har varit stöd till tolkningar i den här rapporten.

Mål och syfte

Målet med undersökningen har varit att förbättra kunskapen om de hydrogeologiska förhållandena och identifiera områden på Öland där det kan finnas goda förutsättningar för nya och kompletterande grundvattenuttag till befintlig vattenförsörjning.

Målsättningen med undersökningen har varit att den skulle ge:

- kunskap om jordlagrens och berggrundens uppbyggnad i tre dimensioner
- information som indikerar förekomst av möjliga vattenförande sprick- och svaghetszoner i berggrunden
- information om berggrundens strukturella uppbyggnad på djupet
- information om djupet till salt grundvatten
- underlag till en förbättrad grundvattenmodell för Öland, avseende avgränsningar och karaktärisering av större grundvattenmagasin.

Syftet är att den nya kunskapen och den insamlade informationen ska kunna användas som geologiskt bedömningsunderlag av Mörbylånga och Borgholms kommuner, Länsstyrelsen Kalmar län, Vattenmyndigheten Södra Östersjön, konsulter och mark- och miljödomstolen i samband med frågor som berör:

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

Vidare är målsättningen, för att öka kunskapen om jordlagrens och berggrundens uppbyggnad samt grundvattnets förekomst, att en geologisk och hydrogeologisk 3D-modell tas fram. 3D-projektet startade 2017 och sker i samarbete med Länsstyrelsen i Kalmar. Under 2018 kommer regionala 3D-modeller med stratigrafisk, litologisk och hydrogeologisk information att färdigställas och presenteras av SGU.

SGU har även en långsiktig målsättning att utveckla TEM-metodiken för att öka kunskapen om jordlagrens och berggrundens uppbyggnad samt grundvattnets förekomst även inom andra delar av Sverige. I första hand gäller det områden med sedimentär berggrund, men förhoppningsvis kan metoden även användas i områden med annan typ av berggrund. I dagsläget koncentreras insatserna till områden som på grund av klimatförändringar eller annan anledning har problem med tillgång på grundvatten för dricksvattenförsörjningen. SkyTEM-metoden används också av SGU för att kartlägga kvicklera inom vissa områden i Sverige.

Metoder och genomförda undersökningar

SkyTEM

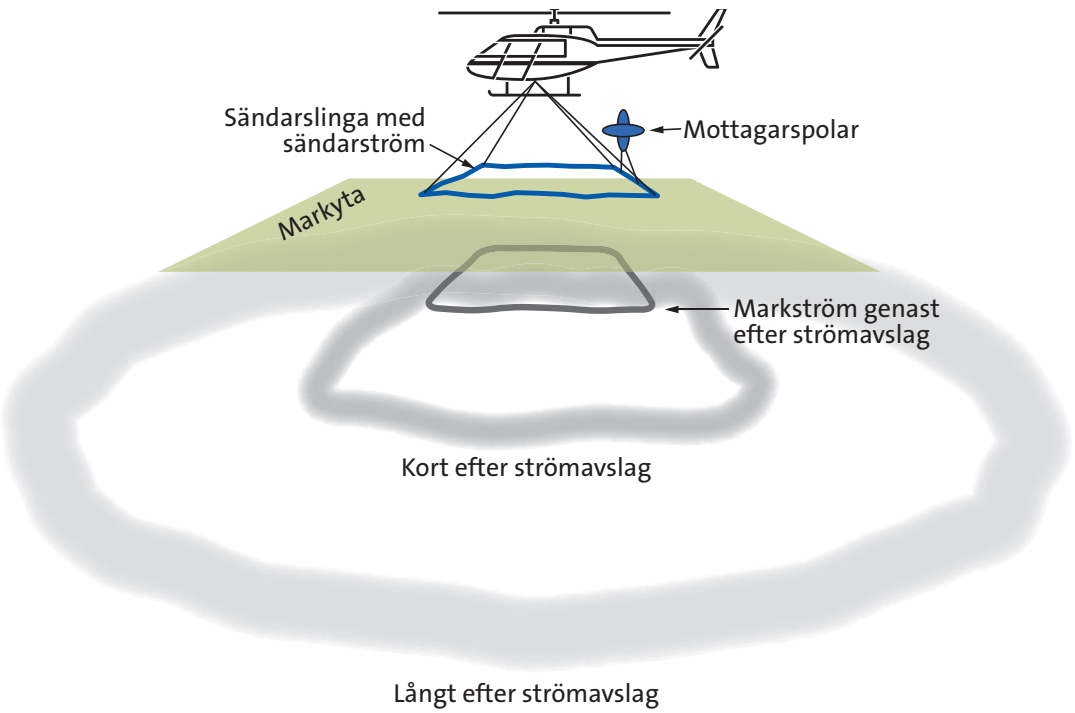
TEM (Transient ElektroMagnetisk mätning) är en geofysisk metod där en kraftig ström skickas ut i en kabelslinga som sedan slås av momentant. Vid strömavslag induceras en ström i marken som utbreder sig koncentriskt neråt och utåt. Strömmen i marken orsakar ett magnetiskt fält som registreras i en mottagarspole (fig. 1). Styrkan på fältet och hur snabbt det avklingar är beroende av primärfältet och markens elektriska ledningsförmåga. Resultat från mätningen presenteras vanligtvis som elektrisk resistivitet, det vill säga inversen av den elektriska konduktiviteten (ledningsförmågan).

Variationerna av den elektriska resistiviteten i jordlagren och berggrunden på Öland beror framför allt på skillnader i porositet, vattenhalt och förekomst av lermineral. Vattnets salthalt är också av betydelse eftersom salt grundvatten markant sänker den elektriska resistiviteten.

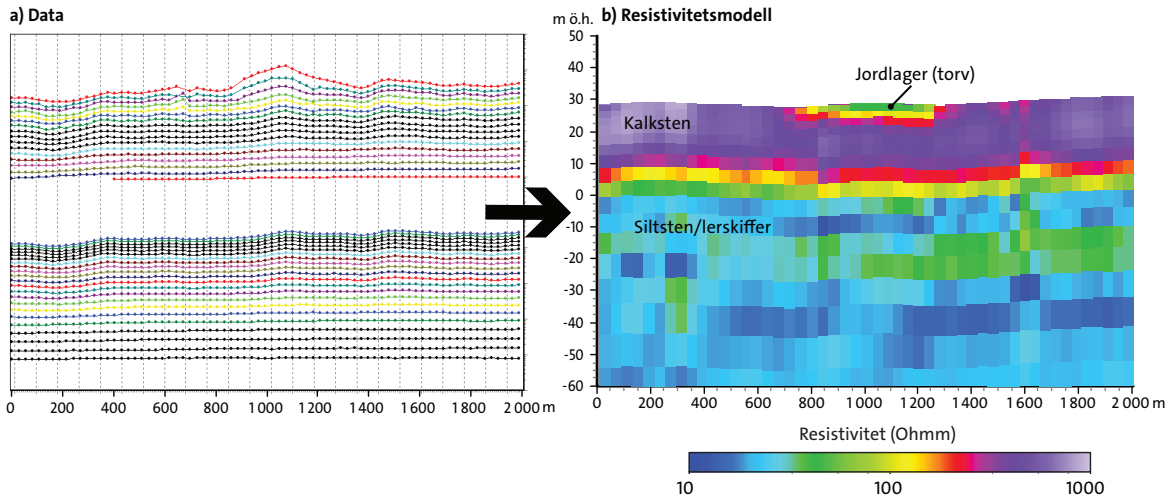
Inom detta projekt har vi utfört helikopterburna TEM-mätningar med ett mätsystem som heter SkyTEM. Systemet utvecklades i Danmark med syfte att kartlägga grundvattenförekomster (Sørensen & Auken 2004). Mätningarna utförs på 30–50 m höjd över markytan med en sändarram försedd med mottagarspolar som hänger under helikoptern (fig. 1).

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 på hög flyghöjd, utan påverkan av markförhållandena.

Mätningarna på Öland utfördes under augusti och september 2016 utmed parallella mätlinjer med ca 200 m avstånd. Totalt insamlades data längs 4000 linjekilometer under 11 dagar. Eftersom det inte är tillåtet att flyga med mätutrustningen över tät bebyggelse har detta krävt en anpassning av mätlinjerna. För en rationell och säker mätning är det viktigt att information om eventuella ledningar, master



Figur 1. Grundprincipen för mätsystemet och strömutbredning i marken.



Figur 2. a) Illustration som visar mätdata och b) resistivitetsmodell som skapats med inversion tillsammans med en geologisk tolkning.

och höga byggnader i mätområdet samlas in och beaktas i planering och genomförande. Information till allmänheten är viktig, bland annat för att förebygga att tamdjur skräms av helikoptern och den hängande ramen. Med hänsyn till dessa förutsättningar avviker flygstråken ofta något från den ursprungliga planen. Flygstråkens slutgiltiga läge redovisas i SkyTEMs tekniska rapport (SkyTEM 2016).

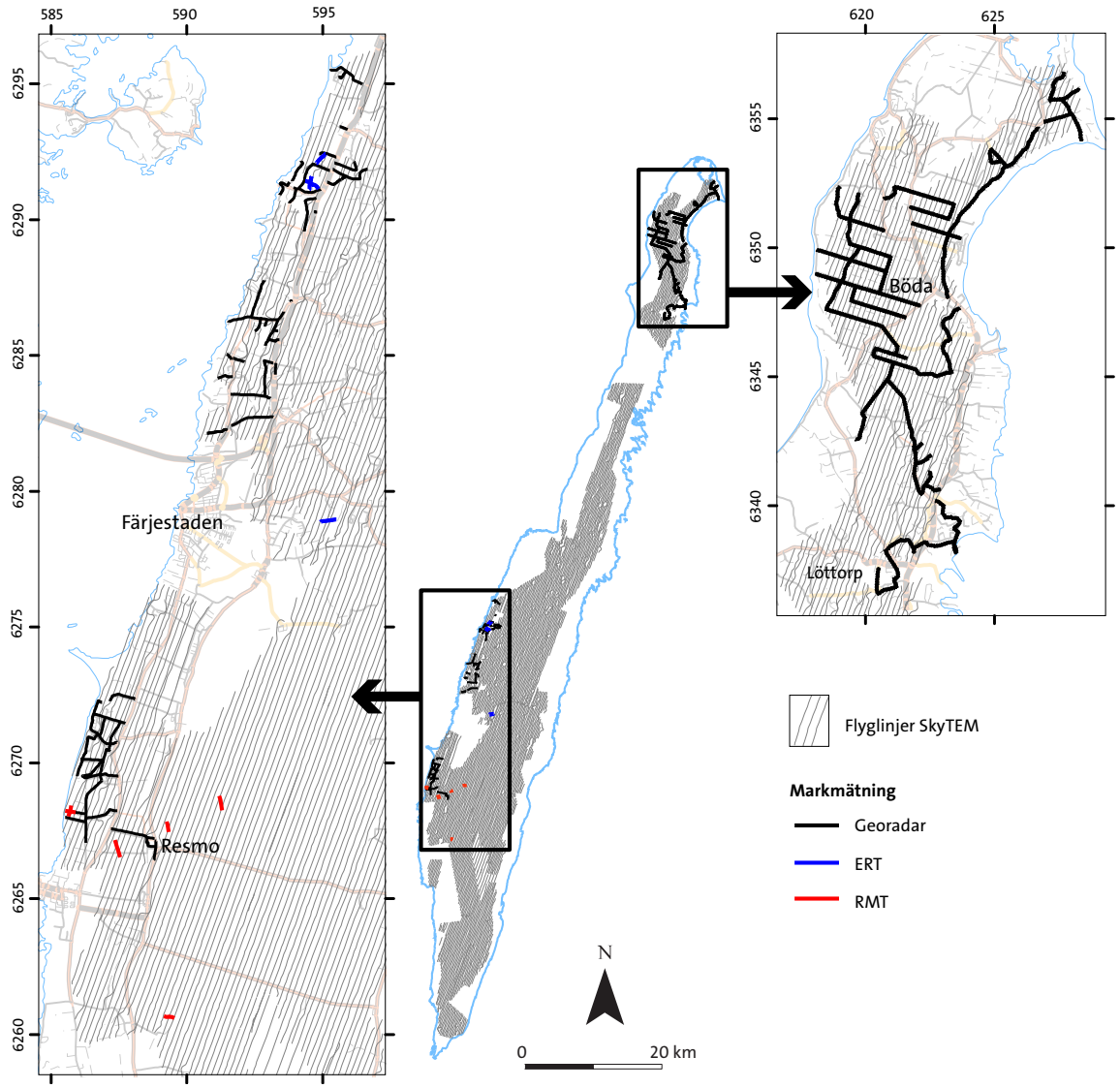
Insamlade data har bearbetats och modellerats i programvaran Aarhus Workbench (Aarhus GeoSoftware). Vid bearbetningen rensas data som är påverkade av till exempel kraftledningar, elstängsel och järnväg. Med så kallad inversionsteknik skapas därefter en resistivitetsmodell med 30 lager för varje mätpunkt som visar resistivitetsfördelningen i marken ner till ca 300 m djup. Vid modelleringen görs antagandet att marken är endimensionell, det vill säga att resistiviteten enbart varierar med djupet, vilket gör metoden väl lämpad för den horisontella lagring som är förhärskande på Öland. Inversionsmetodiken, som använts för SkyTEM-data från Öland, baseras på så kallad smooth SCI (eng. Spatially Constrained Inversion, se Viezzoli m. fl. 2008) vilket innebär relativt ”mjuka” resistivitetsvariationer mellan närliggande lager. Med denna metodik tas även hänsyn till data från närliggande mätpunkter, både längs den aktuella mätprofilen och från intilliggande profiler.

Genom att koppla resistivitetsmodellerna till geologisk information, som till exempel borrhålsdata och fältobservationer tolkas resultaten till geologiska företeelser (ex. sand, kalksten, skiffer, fig. 2).

Geofysiska markmätningar

För att erhålla kompletterande geofysisk information, samt för att följa upp intressanta anomalier som indikerats i SkyTEM-data, utfördes under 2016 och 2017 markmätningar med ERT (Elektrisk ResistivitetsTomografi), georadar och RMT (Radio MagnetoTellurik) (fig. 3). Geofysiska markmätningar som utförts inom tidigare projekt har även använts som stöd vid den slutliga tolkningen och 3D-modelleringen av Öland. Undersökningarna har framför allt fokuserats på områden med sandiga jordarter med större mäktighet.

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 5 m. Syftet med ERT-mätningarna var främst att få mer detaljerad information om resistivitetsfördelningen i marken och att jämföra och

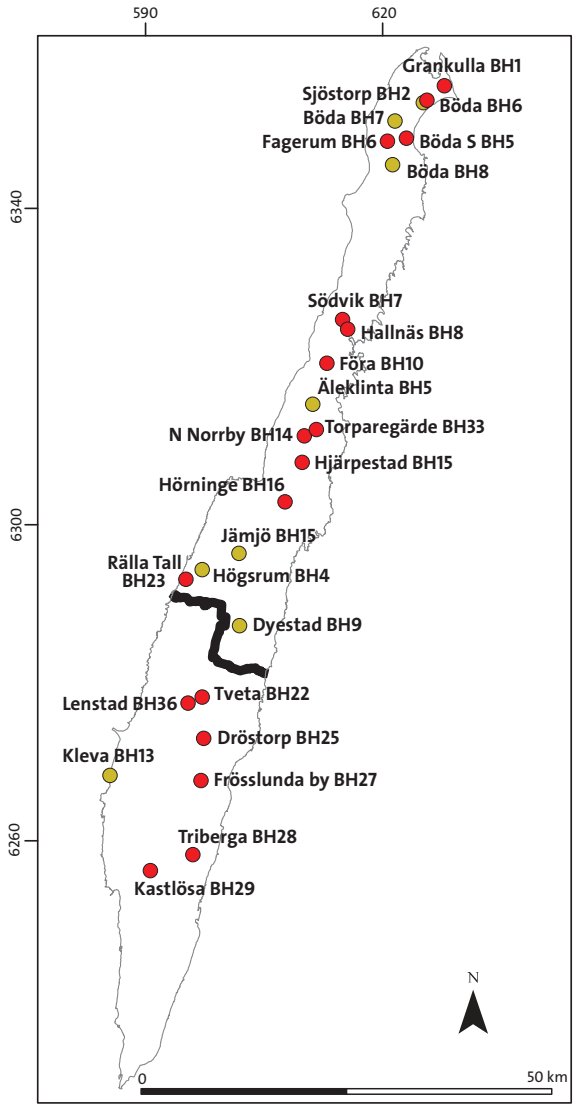


Figur 3. Lägen för de markbundna geofysiska profilmätningarna (ERT, RMT och Georadar) som SGU utfört i denna och tidigare undersökningar. De grå linjerna visar området för SkyTEM-undersökningen.

verifiera de resistivitetsmodeller som skapats med SkyTEM-data. Några ERT-profiler uppmättes även inom områden där SkyTEM-data saknas.

Georadar är en geofysisk mätmetod 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 undersökningarna på Öland användes en 40 MHz antenn och mätsystemet SIR3000 (GSSI). Främsta syftet med radarmätningen var att undersöka områden med relativt stora jorddjup på den norra delen av Öland.

Med RMT-metoden bestämmer man markens resistivitet med hjälp av elektromagnetiska signaler från avlägsna radiosändare i frekvensområdet 10–250 kHz. Djupkänningen är beroende av markens resistivitet och sändarens frekvens. Högre frekvenser ger ytnära information medan lägre frekvenser tränger djupare ner i marken. De RMT-resultat som använts i den här studien härrör från mätningar utförda av SGU i samband med ett uppdragsprojekt (Persson 2016). RMT-mätningar på Öland har utförts med EnviroMT-systemet från Uppsala universitet (Bastani 2001).



Figur 4. Lägen för borrningar som utförts under projektets gång. Borrningar presenterade med gul färg utfördes 2016 innan SkyTEM-undersökningarna och de röda under 2017 med SkyTEM-data som underlag för platsval. Svart linje är kommungräns.

Borrning och brunnsarkiv

Tjugosex undersökningsborrningar (hammarborrningar med diametern 115 mm) utfördes, fördelade på nitton borrningar i Borgholms kommun och sju borrningar i Mörbylånga kommun (fig. 4, tabell 1). En av anledningarna till att det blev färre borrningar i Mörbylånga kommun var att det var svårt att få tillstånd från markägare samt att det var risk för markskador på naturskyddad mark på södra Ölands alvarmark. Syftet med borrningarna var att samla in information om berggrundens uppbyggnad, samt vilken mängd vatten som borrhålet kan producera. Brunnsprotokoll från samtliga borrningar redovisas i bilaga 1.

Modellering av resultat i 3D

Resultaten från resistivitetsmätningarna med SkyTEM systemet utgör ett bra underlag för att skapa geologiska modeller i 3D. SGU har använt programvaran GeoScene3D (från I-GIS) för att skapa 3D-modeller över Öland.

Förberedelserna för modelleringsarbetet har inkluderat import av: resistivitetsmodellerna från SkyTEM-data, höjddata, fastighetskartan, jordartsgeologiska kartan, berggrundsgeologiska kartan, resul-

Tabell 1. Information om borrhål som utförts av SGU under 2016–2017. Kapacitet inom parentes är uppskattad kapacitet i jordlagren innan dessa skärmades av med foderrör. Mer detaljerad information från borrningarna ges i respektive kapitel samt i bilaga 1. De kursiverade borrningarna är borrade i Mörbylånga kommun.

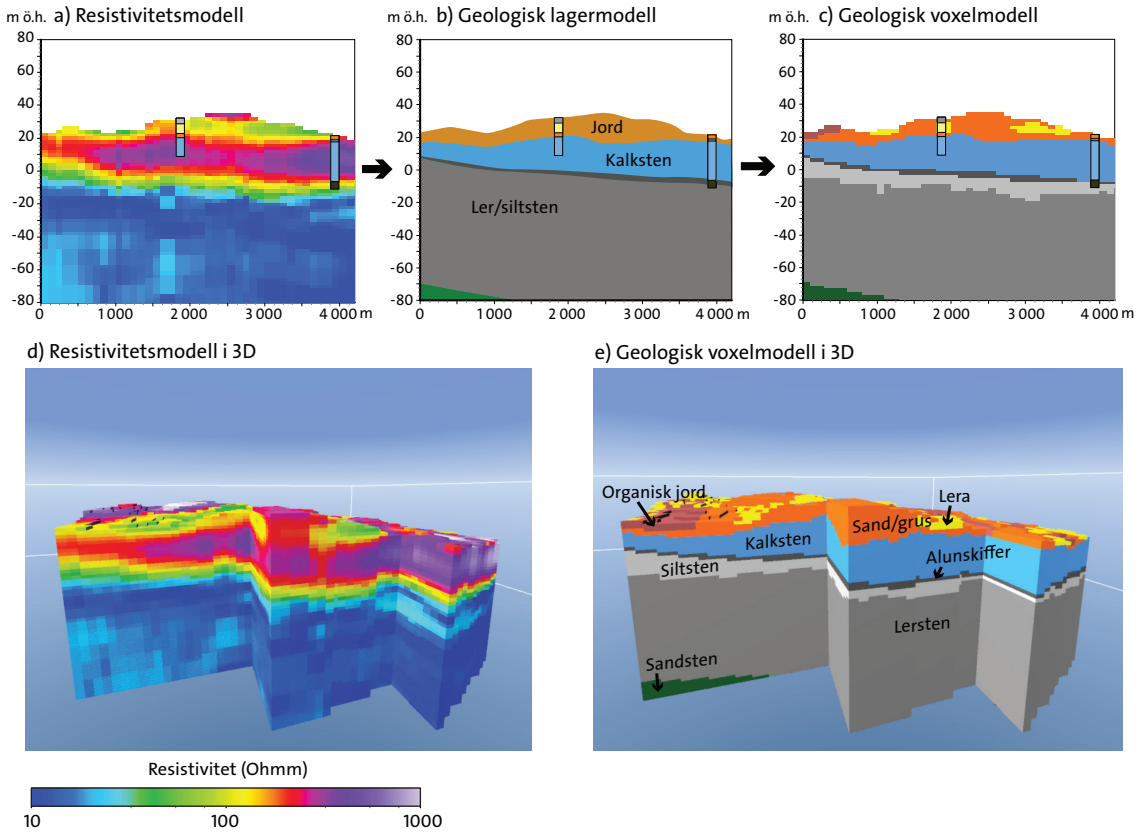
Borrhål	Jorddjup (m)	Djup (m)	Uppskattad kapacitet (l/tim)
Grankulla BH1	15	18	>15 000
Sjöstorp BH2	2,3	30	<50
Böda BH6	2,1	20	0
Böda BH7	3	30	0
Böda S BH5	11,5	15	>10 800 (1200)
Fagerum BH6	7	18	<50 (<100)
Böda BH8	5,9	30	0 (6 000)
Södvik BH7	3,8	16	30 000
Hallnäs BH8	4,1	31	600*
Föra BH10	2,6	15	900*
Äleklinta BH5	0,1	37	60
Torparegärde BH33	0,8	25	300*
N Norrby BH14	0,6	25	<50
Hjärpestad BH15	0,8	30	300*
Hörninge BH16	0,5	28	480
Jämjö BH15	1,4	50	18 000
Högsrum BH4	3,2	60	240
Rälla Tall BH21	23	36	<50
Dyestad BH9	0,8	50	360
Tveta BH22	*0,3*	*35*	*360*
Lenstad BH36	*1,1*	*19*	*240*
Dröstorp BH25	*0*	*30*	*<50*
Frösslunda by BH27	*4,5*	*30*	*21 000*
Kleva BH13	*13,5*	*30*	*48 000*
Triberga BH28	*0,5*	*45*	*<50*
Kastlösa BH 29	*0,5*	*20*	*480 (1200)*

* betyder att vattnet har en hög konduktivitet, vilket kan betyda ett saltpåverkat grundvatten.

tat från markbundna geofysiska mätningar, SGUs brunnsarkiv samt övriga undersökningsborrningar. När all data importerats granskas resistivitetsfördelningen längs samtliga mätprofiler. Jämförelser med geologisk information ger successivt en bild av hur resistiviteten längs de enskilda profilerna kan vara avgränsade men också vad de kan motsvara för typ av geologisk eller hydrogeologisk enhet.

Själva tolkningen och 3D-modelleringen har skett i flera steg. Initialt har vi delat in modellen i sex lager: jord, kalksten, alunskiffer, ler/siltsten, sandsten och urberg. Detta arbete görs till största delen manuellt och är relativt tidskrävande. I det här skedet används främst borrhålsdata tillsammans med resistivitetsmodellerna. Borrhålsdata är viktiga eftersom de innehåller värdefull information om lagerföljder och med hjälp av resistivitetsmodellerna kan vi sedan knyta ihop de olika lagren i områden mellan borrhålen och där borrhålsinformation saknas helt.

I steg 2 har lagermodellen konverterats till en voxelmodell med enskilda celler med en storlek på 100 × 100 m i horisontalled och 2 m i djupled. Varje cell har tilldelats ett värde från lagermodellen, det vill säga jord eller bergartstyp. I steg 3 har sedan voxelmodellen förfinats. Jordlagret har delats in i 3 klasser som är speciellt viktiga ur ett hydrogeologiskt perspektiv; friktionsjord (sand och grus), kohesionsjord (lera och moränlera) samt organisk jord. I bergartsindelningen har vi dessutom delat in silt/lersten i två klasser det vill säga lersten (under 30 Ohmm) och siltsten (över 30 Ohmm). Detta arbete har skett



Figur 5. Arbetsgången vid 3D-modellering i Geoscene 3D. Figurerna visar en profil samt 3D-vy över sand- och grusavlagringarna vid Lindbyfältet, sydost om Borgholm. a) Resistivitetsmodell från SkyTEM-data samt borrhålsinformation, b) Geologisk lagermodell, c) Geologisk voxelmodell, d) Ett utsnitt ur den tredimensionella resistivitetsmodellen, e) ett utsnitt ur den tredimensionella geologiska voxelmodellen. Profilen i a–c går från nordväst mot sydost. I 3D-vyn i d–e ligger betraktelsepunkten i sydväst och den vertikala skalan är överdriven 20 gånger i förhållande till den horisontella.

delvis med hjälp av en automatiserad process där vi använt oss av olika resistivitetsklasser (se tabell 2) tillsammans med information från borrhål och jordartskartan. Voxelmodellen sträcker sig från markytan och ner till 80 m under havsytans nivå. Figur 5 visar ett exempel på arbetsgången över ett område vid Lindbyfältet, sydost om Borgholm samt en 3D-vy över samma område.

Den geologiska 3D modellen täcker hela Öland det vill säga även de områden där SkyTEM data saknas. Här har vi enbart använt lagerföljdsinformation från borrningar tillsammans med jordartsgeologiska kartan och modellen blir därför betydligt mer översiktlig över dessa områden. Dessutom är det viktigt att komma ihåg är att den geologiska 3D-modell som skapats är en modell och inte en exakt återgivning av jordlagren och berggrunden på Öland. Den kan dock utgöra ett bra underlag inför fortsatta mer detaljerade undersökningar inom specifika områden.

Den mest användbara 3D-modellen för den som letar efter grundvatten på Öland är den som direkt visar förekomsten av möjliga akviferer, alltså en hydrogeologisk 3D-modell. Att skapa en hydrogeologisk modell förutsätter en god insikt i var grundvatten förekommer i de olika geologiska enheterna på Öland. 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. Den geologiska voxelmodell som nu tagits fram utgör ett utmärkt underlag för att i framtiden skapa en hydrogeologisk 3D-modell där varje voxelcell tilldelas hydrauliska parametrar som till exempel hydraulisk konduktivitet och magasinskoefficient.

Geologisk uppbyggnad

Ölands sedimentära berggrund

Nedanstående beskrivning av Ölands berggrund baseras främst på de berggrundsgeologiska kartorna med tillhörande beskrivningar (Lundegårdh m.fl. 1985, Bruun m.fl. 1997, Wik m. fl. 2005) och publikationer av Stouge (2004) samt Nielsen & Schovsbo (2011).

Den sedimentära berggrunden består av underkambrisk sandsten (File Haidar-formationen), mellankambrisk siltsten och lerskiffer (Borgholmformationen) följt av Alunskifferformationen av överkambrisk (furongian) –underordovicisk ålder, Djupvik- och Köpingsklintformationerna och överst en undermellanordovicisk sekvens med ett drygt 10-tal kalkstensformationer. Den sedimentära berggrunden överlagrar det prekambriska urberget och subkambriska peneplanet med lokala ”inselberg” eller restberg som till exempel Blå Jungfrun och Mossbergadomen.

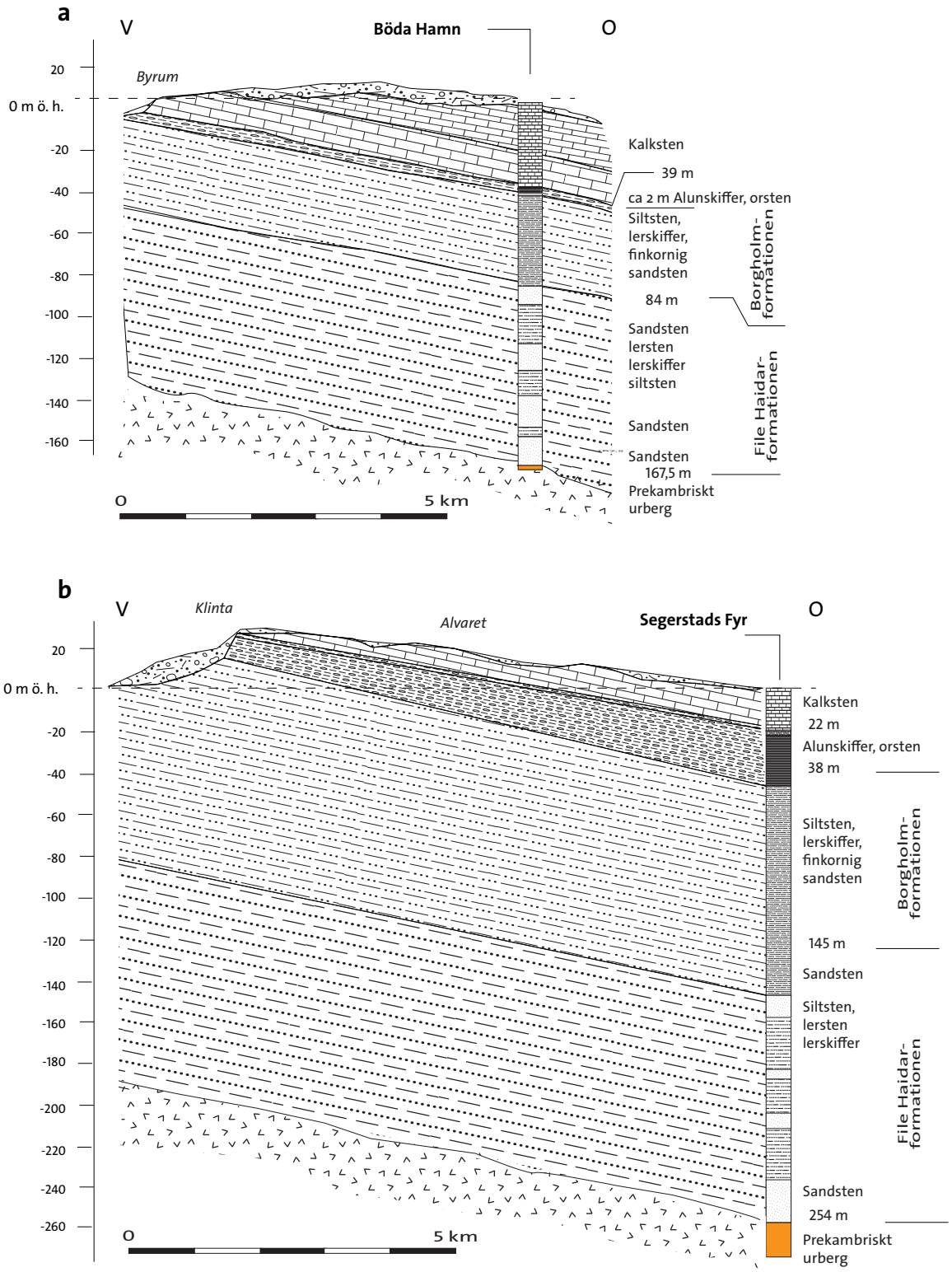
Som ytberggrund förekommer idag underkambrisk sandsten överlagrande urberget inom ett smalt stråk längs Smålandskusten angränsande till Kalmarsund. Eftersom lagerföljden stupar regionalt 0,2–0,3 grader åt öst och sydöst ökar den totala mäktigheten samt representationen av successivt yngre lager i samma riktning. I de mer låglänta delarna av ön, väster om den västra landborgens höjdrygg som sammanfaller med den ordoviciska kalkstenens utgående i väster, består berggrundsytan av mellankambriska lager med siltsten (Borgholmformationen). I branten påträffas, till exempel vid Äleklinta och söder om Degerhamn ner mot Ottenby, lager med alunskiffer (Alunskifferformationen) och glaukonitisk kalksten, sandsten och skiffer (Djupvikformationen och Köpingsklintformationen). Sammanlagt är den sedimentära berggrunden som mest ca 250 m mäktig på den sydvästra delen av ön. I norr är mäktigheten ca 160 m och i anslutning till Mossbergadomen påträffas urberget bestående av prekambrisk kvartsit redan på ca 50 meters djup. Berggrundens uppbyggnad på djupet illustreras i två väst–östligt orienterade typprofiler på norra respektive södra Öland i figur 6a–b.

File Haidar-formationen

Den underkambriska lagerföljden är bäst dokumenterad i kärnborrningarna Segerstads Fyr, Stora Rör och Böda Hamn (Hessland 1955, Bruun m. fl. 1997, Nielsen & Schovsbo 2011). Formationen inleds i väster (Kalmarsundsområdet) med ett bottenkonglomerat och österut på Öland av en ca 20 m mäktig enhet med hård, gråvit kaolin- och karbonathaltig, kvartssandsten med enstaka tunna lerskikt följt av en ca 25 m mäktig sekvens med kraftigt omlagrad (bioturberad) lerig sandsten, följt av ca 20 m med grå kvartssandsten med lerskikt vars antal och tjocklek ökar uppåt i intervallet. File Haidar-formationen har av Nielsen & Schovsbo (2011) underindelats i Viklausandsten, Närskiffer och Närsandsten (fig. 7). Totalt är det underkambriska avsnittet 109 m respektive 78 m mäktigt i Segerstads Fyr och i Böda Hamn (Bruun m.fl. 1997, Nielsen & Schovsbo 2011).

Borgholmformationen

Den mellankambriska Borgholmformationen avgränsas neråt mot underliggande File Haidar-formationen av ett par decimeter mäktigt konglomerat med bollar av fosforit och ett glaukonitiskt matrix. Lagerföljden kan i stort delas in i två delar, en undre del bestående av siltig lerskiffer och lerig siltsten (Mossbergaledet, Nielsen & Schovsbo 2011) och en övre del som domineras av ljusgrå finsandig siltsten växellagrad med gröngrå siltig lera (Bårstad- och Äleklintaleden, Nielsen & Schovsbo 2007) (fig. 7). Siltstensavsnitten är kvartsitiska och är i den övre delen karbonatcementerade. Totalt är Borgholmformationen 106 respektive 50 m mäktig i borrningarna Segerstads Fyr och Böda Hamn.



Figur 6. Schematiska väst–östligt orienterade tvärprofiler av berggrundens uppbyggnad på norra a) respektive södra Öland b) med referens till berggrundens uppbyggnad i Böda Hamn och Segerstads Fyr i den östra kanten av respektive profil.

Alunskifferformationen

Alunskifferformationen sträcker sig stratigrafiskt från mellankambriums allra yngsta delar (*Paradoxides forschammeri*-etagen) till övre delen av tremadoc i underordovicium. Den bevarade lagerföljden uppvisar ett flertal stratigrafiska luckor (fig. 7). Speciellt på norra Öland, norrut från Borgholm, är Alunskifferformationen ofullständigt representerad och endast ett fåtal meter mäktig. Oftast utgörs formationen här endast av ett orstenskonglomerat eller mycket tunna skifferlager som representerar en kraftigt kondenserad lagerföljd. Information från brunnsborrningar indikerar även att formationen lokalt saknas på norra Öland. Alunskifferformationen tilltar successivt i mäktighet söderut och är drygt 20 m mäktig i borrningarna vid Ottenby Gård och Grönhögen (Erlström 2016).

Alunskifferformationen avgränsas mot det underliggande Äleklintaledet av ett par decimeter mäktigt fosforitrikt orstenskonglomerat och kalksten representerade *Paradoxides forschammeri*-etagen. Westergård (1944) beskriver även att ett halvmeters mäktigt lager med alunskiffer i kärnborrningen vid Ottenby Gård tillhör denna etage. Förutom den rudimentärt utbildade delen som tillhör *Paradoxides forschammeri*-etagen består formationen av en överkambrisk (furongian) del (så kallat olenidskiffer) som innefattar sex biostratigrafiska zoner varav den understa zonen som kännetecknas av trilobiten *Agnostus pisiformis* utgör en tredjedel av den uppemot 13 m mäktiga kambriska delen av Alunskifferformationen på södra Öland. Den kambriska delen av alunskifferformationen inkluderar förutom avsnitt med svart bituminös skiffer även lager med orsten och bituminös kalksten, speciellt påtagligt i de övre trilobitzonerna.

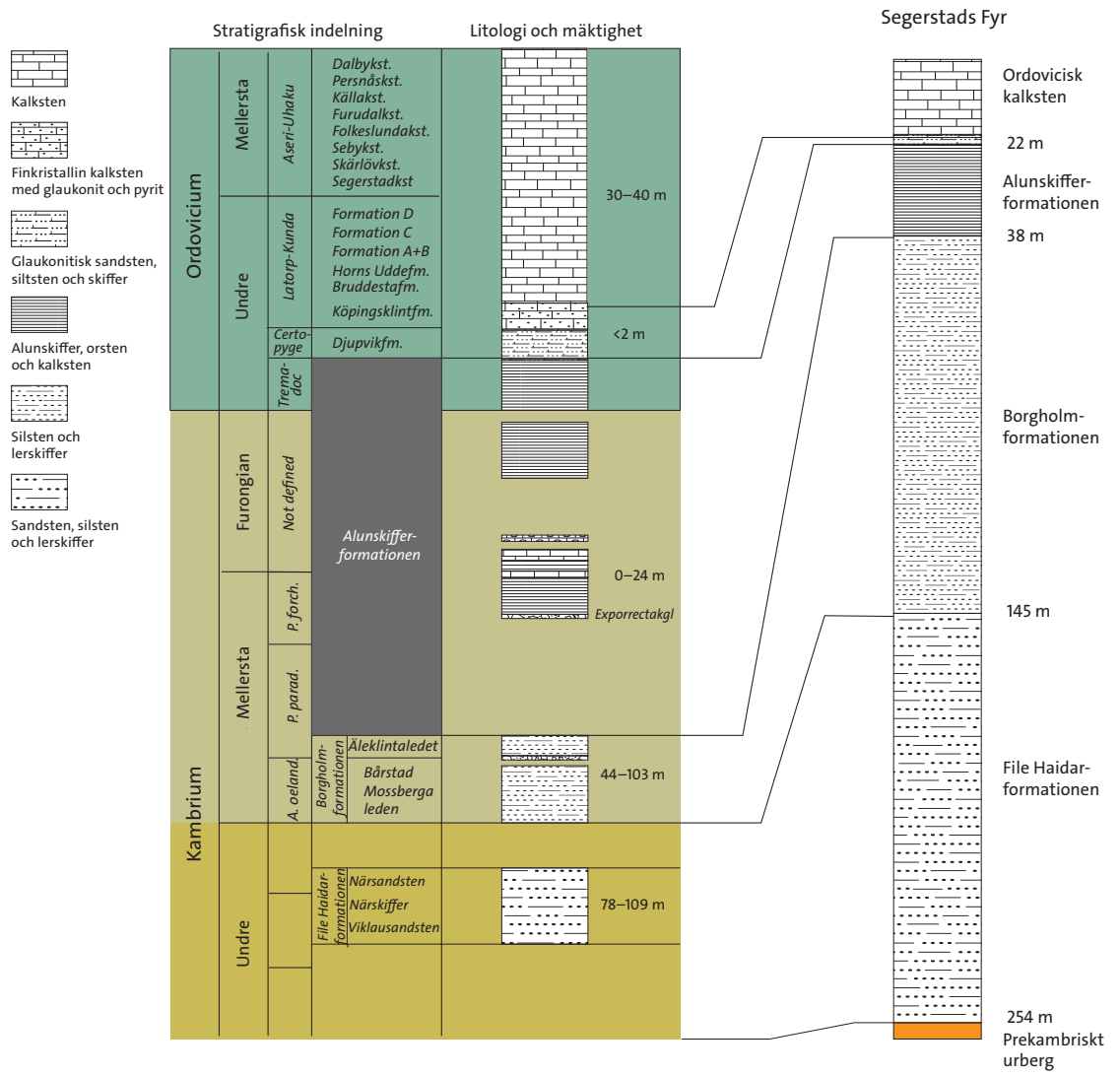
Den undre delen av den underordoviciska alunskiffern (dictyonemaskiffern) avskiljs från underliggande olenidskiffer av ett uthålligt orstenslager. Den ordoviciska delen av alunskiffern karaktäriseras av en homogen svartbrun skiffer. Den övre delen av den ordoviciska alunskiffersekvensen benämndes tidigare för ceratopygeskiffer, men eftersom den inte kan avskiljas litologiskt från underliggande alunskifferlager förs denna del numera till alunskifferformationen. Som mest är den ordoviciska alunskiffersekvensen omkring tio meter mäktig på södra Öland.

Djupvikformationen

Alunskifferformationen avgränsas uppåt av Djupvikformationen som karaktäriseras av glaukonitisk sandsten, siltsten och kalksten (Stouge 2004). Lokalt uppträder även inslag av decimetertjocka lager med mörkbrun och svart skiffer. Formationen består av flera lager åtskilda av undulerande lagringsplan som bryter av underliggande lager, indikerande erosion av tidigare avsatta sediment i samband med deposition. Djupvikformationen är cirka en och en halv meter mäktig på norra Öland medan den i söder endast är några decimeter mäktig. Formationen har i äldre arbeten stratigrafiskt definierats som en del av ceratopygeskiffern.

Köpingsklintformationen

Litologiskt skiljer sig formationen från den underliggande Djupvikformationen genom att den består av finkristallin kalksten med hög halt av pyrit och glaukonit. Kalkstenslagren är ofta omkristalliserade vilket lett till att centimeterstora kalcitkristaller bildats. Förutom kalksten förekommer skikt och tunna lager med glaukonitisk sand. Det stora innehållet av det grönaktiga mineralet glaukonit i formationens bergarter särskiljer den även från den överlagrande kalkstenslager tillhörande Bruddestaformationen. Formationen är 0,85 m i typsektionen vid Köpingsklint (Wamel 1974). På södra Öland är den, bland annat i borrningen vid Ottenby Gård, två meter mäktig (Tjernvik 1956, Stouge 2004). Formationen är ekvivalent med Bjørkåsholmenformationen i Osloregionen och certopygekalkstenen i Skåne.



Figur 7. Schematisk sammanställning av Ölands sedimentära berggrund, stratigrafi, mäktighet och dominerande bergarter, exemplifierat av lagerföljden i SGU-borrningen vid Segerstads Fyr. Figuren är delvis baserad på information från Nielsen & Schovsbo (2007).

Under- och mellanordoviciska kalkstensformationer

Indelningen av den ordoviciska kalkstenssekvensen på Öland baseras på variationer i färg, kornstorlek och ålder utifrån fossilinnehållet. Typiskt för kalkstenen är innehållet av ortoceratiter och trilobiter av släktet Asaphus. En riklig förekomst av undulerande skiktytor (diskontinuitetsytor) som indikerar avbrott i sedimentationen eller kemisk upplösning av kalkstenen är också kännetecknande för de ordoviciska kalkstenslagren på Öland. Kalkstenen är som mest ca 20 m mäktig i sydost och 40 m i nordost, där även de yngsta ordoviciska kalkstensenheterna påträffas. I området kring Grönhögen förekommer sex till sju meter med underordovicisk kalksten överlagrande Köpingsklintformationen. Lagerföljden i Grönhögen kan korreleras med den i Degerhamnsborrningen, det vill säga de yngsta delarna av kalkstenssekvensen i borrningen Grönhögen-2015 motsvarar sannolikt de undre delarna av formation C, enligt Stouge (2004, fig. 7).

Ölands jordartsgeologi

Topografin och morfologin på Öland präglas framför allt av berggrunden och dess former. Jordlagren är i regel tunna och saknas ibland helt, så att berggrunden är blottad.

Jordlagren avsattes framför allt under den senaste istiden, Weichselistiden, och den efterföljande postglaciala tiden. Landisen smälte av från Öland för ca 15 000 år sedan. Landet var då nedpressat under isens tyngd och hela ön låg under vatten när isen försvann. Hela Öland ligger således under Högsta kustlinjen (HK). Östersjön har genomgått en komplicerad utveckling under tiden från isens avsmältningsskede och därefter. På grund av samspelet mellan landhöjningen och mängden smältvatten som tillfördes världshaven har Östersjön genomgått olika stadier, dels som insjö, dels som innanhav. Detta avspeglas på Öland framför allt i stor utbredning av svallsediment med tydliga strandvallar på olika nivåer.

Nedanstående beskrivning av Ölands jordarter baseras främst på de jordartsgeologiska kartorna med tillhörande beskrivningar (Rudmark 1980, 1981, 1983, 1986). I figur 8 visas jordartskartan för Mörbylånga respektive Borgholms kommun.

Räfflor och isrörelser

Den dominerande räffelriktningen på södra Öland är från nordnordost, parallellt med öns utsträckning. Dessa räfflor får anses representera den sista isrörelsen under Weichselisens avsmältningsfas på södra delen av Öland. Längre norrut finns yngre räfflor från nordväst, vilka visar att isfronten där smälte av mot denna riktning.

Morän

Direkt på berggrundsytan finns i regel ett lager med morän, en osorterad jordart bildad av bergartsmaterial som inlandsisen brutit loss, transporterat och avlagrat. Där moränlagret är tunt eller saknas går berggrunden i dagen. Dessa områden kallas alvar på Öland och det största området är Stora Alvaret på södra Öland.

Moränen har generellt liten mäktighet: 0,5–5 m. Öster om Bredsätra finns dock moränlager som är uppemot 10 m mäktiga. I vissa områden, bland annat i anslutning till sprickzoner och sprickdalar påträffas ännu större moränmäktigheter. Ett exempel är Resmozonen nordost om Mörbylånga (område Resmo), där upp till 16 m morän och vittringsjord förekommer.

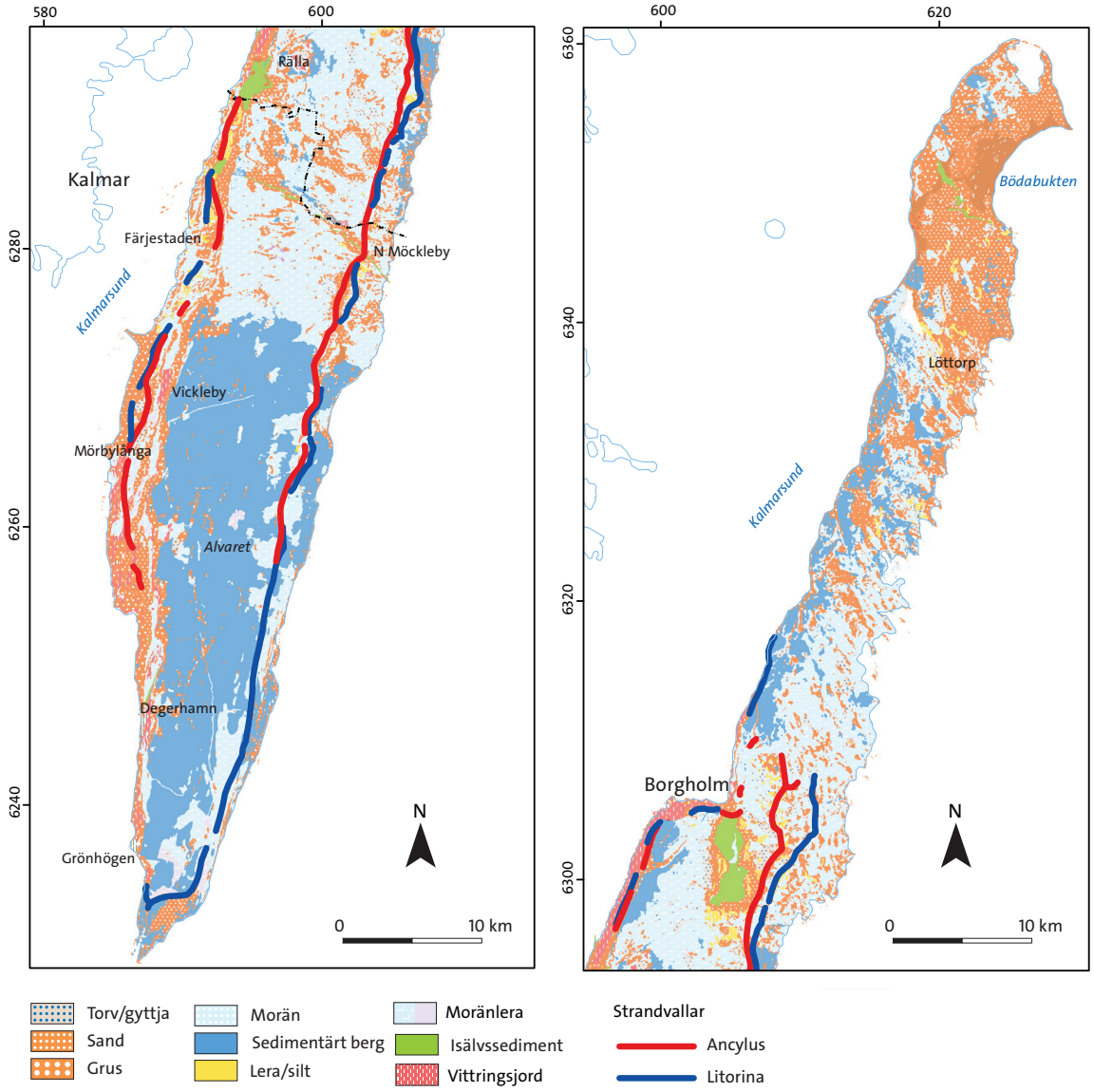
Moränens ytformer avspeglar vanligen berggrundsytans ytmorfologi. Tydliga drumlinformer utsträckta i nordväst–sydost finns bland annat på norra delen av Ölands östkust, där de bildar uddar ut i Östersjön. Drumlinerna tycks ofta vara uppbyggda runt en bergshöjd.

Moränens ytliga delar är svallade och i regel finns ett tydligt grovkornigt svallskikt. Blockhalten i markytan är i regel normal eller låg. Moränerna är vanligen typiska lokalmoräner, det vill säga de präglas helt av material som kommer från den underliggande berggrunden. Generellt dominerar sandig morän och lerig sandig morän. På kustslätten nedanför Västra landborgen dominerar morängrovlera och lerig morän. Lerhalten är högre där på grund av att berggrunden till stor del består av lerskiffer som vid erosion och vittring sönderfaller i lerfraktionen.

Hög karbonathalt kännetecknar moränen som påträffas på kalkstensberggrunden. Den är en rödaktig kalkstensmorän, vanligen med en viss lerhalt. Lokalt finns även sandig morän, ofta då med en mer varierad sammansättning av bergartsfragment. Moränens grovgrus- och stenhalt är i regel hög.

Isälvsavlagringar

Isälvsavlagringar förekommer sparsamt på Öland. Här och var finns stora mäktigheter av svallsediment som kan dölja en kärna av isälvssediment. Dessa syns i så fall inte på jordartskartan, utan det krävs borrning eller schaktning för att upptäcka dem. Generellt innehåller isälvsavlagringarna ett lång-



Figur 8. Jordartskarta (SGUs kartdatabas) över södra respektive norra delarna av Öland med markerade strandvallar orsakade av Ancylussjön och Littorinahavet.

transporterat material som domineras av urberg och sandsten. Detta skiljer sig från områdena med morän och svallsediment som helt domineras av bergartsfragment från den lokala kalkstenen.

Vid Degerhamn finns en låg rygg med mer än 10 m mäktiga isälvssediment bestående av sand och grusig sand, avsatta i en sänka i berggrunden. Avlagringen är starkt omlagrad genom svallning och mer isälvssediment kan finnas dolda under svallsedimenten.

Övetorpsåsen övertvärar Öland med västnordväst–ostnordostlig riktning norr om Färjestaden. Den är ca 5 m hög och 100 m bred. Den utgör en låg och delvis osammanhängande ryggformad ås som är starkt svallad. Den överlagras och omges därför av sandiga och grusiga svallsediment. Åsen innehåller huvudsakligen stenigt grus och bergartsinnehållet är främst urberg, skiffer och sandsten. Längst i väster ligger Sandskogsfältet, ett fält med sand och finkorniga sediment.

Bödaåsen (kallas även Rullbackarna) är Ölands enda typiska rullstensås, dvs. en ryggformad isälvsavlagring. Den har en utsträckning i nordväst–sydost och är helt omgiven av svallsediment. Åsen är

uppbyggd av stenigt grus i övre delen och sandigt grus längre ner. Bergartsinnehållet utgörs nästan bara av sandsten och urberg, det vill säga långtransporterat bergartsmaterial. Åsen är några meter hög, ca 100 m bred och utgör den högsta punkten på flera mils avstånd. På ett par ställen ersätts ryggformen av flacka fält som domineras av sand. Den nordligaste delen av åsen täcks av svallsediment och flygsand.

Rällafältet och Solberga–Lindbyfältet är isälvsdeltan, huvudsakligen uppbyggda av sand. De beskrivs närmare i kapitlen Rälla respektive Solberga–Lindbyfältet.

Glaciala och postglaciala finkorniga sediment

Glacial lera och silt finns i små sänkor i moränen. Troligen har dessa sediment större utbredning, men överlagras av svallsediment. Postglaciala finsediment har avsatts i sänkor, oftast i anslutning till organogena jordarter.

Svallsediment och strandvallar

Hela Öland ligger som nämnts under Högsta kustlinjen (HK). Svallsediment i form av grus och sand förekommer rikligt på ön och allra mest på den norra delen. Svallsedimentens fördelning på olika nivåer avspeglar olika stadier i Östersjöns utveckling från isavsmältningen och till nutid. De högst belägna strandvallarna avsattes i samband med Baltiska issjöns regression när Öland höjde sig över vattenytan. Svallsedimenten ligger ofta direkt på berggrunden. Det tunna jordlagret på kalkstenen på Alvaret utgörs ofta av svallsediment. Mäktigare och mer utbredda svallavlagringar finns främst längs västkusten och lokalt längs östkusten. Svallsediment är den helt dominerande jordarten på norra Öland, i form av svallsand och svallgrus i flacka fält och som strandvallar.

Efter en period med lågt vatten (Yoldiahavet) steg vattnet åter under Ancylustransgressionen, ett sötvattenstadium av Östersjön som inträffade för ca 9 000 år sedan. En strandvall, Ancylusvallen, bildades runt ön, och är bäst utbildad på den östra sidan. Vallen ligger 22 m ö.h. vid Borgholm och på lägre nivå söderut. Detta beror på landhöjningen som varit och är större mot norr.

Ancylusvallen (fig. 8) är 100–400 m bred och upp till 7 m hög. Den är uppbyggd av grus som överlagras av grusig sand och sand. Sedimenten underlagras ställvis av lera eller organogena jordarter.

Det följande stadiet i Östersjöns utveckling kallas Litorinahavet. Under denna tid inträffade flera transgressioner för 5 000–7 000 år sedan. Även då avsattes tydliga strandvallar, vilka ligger lägre än Ancylusvallen på större delen av Öland. På sydligaste delen av ön finns bara Litorinavallen – Ancylusvallen låg här på en lägre nivå och blev bortsvallad av Litorinahavet.

Litorinavallen (fig. 8) ligger ca 8 m ö.h. i söder. Den kan följas från söder om Löt längs östkusten till sydligaste Öland som en 50–100 m bred rygg, ett par meter hög (Östra landborgen). Vid Hulterstad korsar Ancylusvallen och Litorinavallen varandra, det vill säga längre söderut ligger Litorinavallen högst. Vallen består huvudsakligen av stenigt grus som kan vara flera meter mäktigt.

Även på lägre nivåer än Litorinavallen finns svallsediment, men oftast bara någon meter mäktigt. Det recenta svallsedimentet utgörs ofta av klapper, som nästan helt består av kalksten. Detta är vanligast på västra kusten. Ett av de mest kända klapperfälten är Neptuni åkrar norr om Byxelkrok.

Flygsand

Flygsand förekommer i spridda områden på ön. Denna jordart är dock mycket utbredd på norra Öland. Flygsanden utgörs av fraktionerna mellan- och finsand. På nordligaste Öland finns ett av Sveriges största dynområden.

Torv och gyttja

Torvmarkerna på Öland har bildats genom igenväxning av sjöar. Detta innebär att det finns gyttja under torven. De flesta torvmarkerna är idag utdikade och uppodlade kärr. Kärren som ligger i moränområden är vanligen rikkärr på grund av hög karbonathalt i moränen och i berggrunden. Men kalk-

fattiga fattigkärr finns också, till exempel i områden med svallsediment. Torvmarker i form av mossar är ovanliga, men några stycken finns. Gyttjan är ofta kalkgyttja men kan även vara en alggyttja, lergyttja eller bleke.

Frostmark

Frostmarksfenomen såsom polygonmark och stenringar finns på Alvaret.

Vittringsjord och doliner

Där jordlagret är tunt är övre delen av kalkstensberggrunden ofta starkt vittrad. Det kan vara svårt att skilja på en stenig morän och en stenig grusig vittringsjord, till exempel på Alvaret. Även skifferberggrunden längs kusten söder om Borgholm är mycket vittringsbenägen. Den övre delen utgörs ofta av en skifferlera som finns direkt i markytan eller överlagras av tunna jordlager.

På några ställen på Öland, till exempel vid Resmo, finns doliner, det vill säga fördjupningar i markytan. Dessa sänkor har bildats genom karstvittring av berggrundsytan eller kollaps av hålrum i kalkstenen.

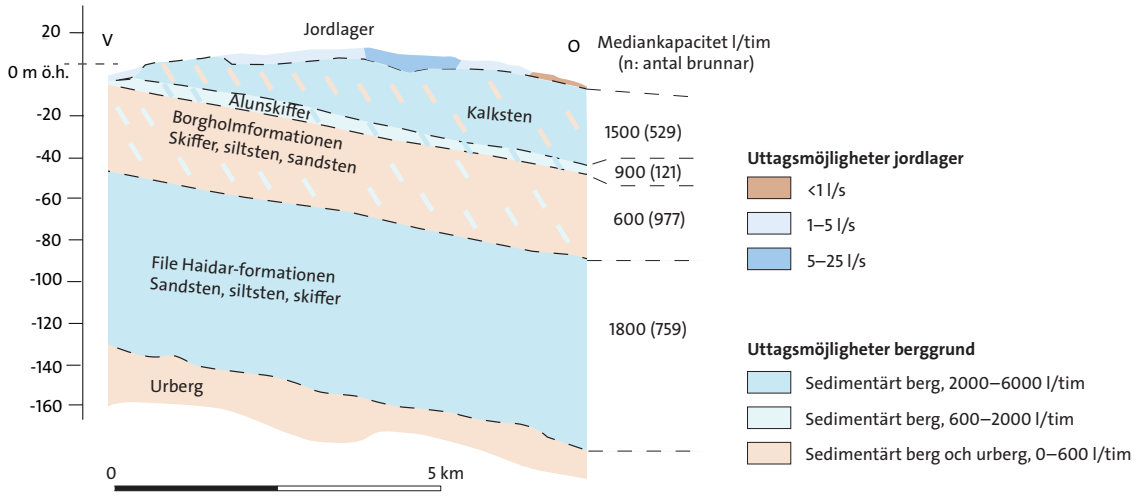
Hydrogeologiska förhållanden och vattenförsörjning på Öland

Grundvatten i jord

Förutsättningar för uttag av större volymer grundvatten ur de kvartära jordlagren finns i huvudsak i områden med isälvssediment, men även i större svallavlagringar som de vidsträckta fälten vid Löttorp och Böda. Vid flera av dessa platser har Borgholms och Mörbylånga kommuner utfört grundvattenbrunnar för uttag av grundvatten och på några av platserna har man dessutom utfört anläggningar för att kunna förstärka grundvattenbildningen. Av vattentäkterna i jordlager är Mörbylångas vattentäkt i Tveta avvikande då den till skillnad från de andra, inte är placerad i ett område med sand, utan i ett område med morän. Moränen vid Tveta är generellt lite mer porös och genomsläpplig jämfört med moränen i allmänhet på Öland samtidigt som de övre delarna av berggrunden i området är delvis uppsprucken. I gränsen mellan moränen och det uppspruckna berget finns lokalt gynnsamma uttagsmöjligheter i ett kombinerat jord- och berggrundsmagasin. Liknande förhållanden förekommer vid vattentäkter på andra ställen på ön, men är extra tydlig vid Tveta.

Grundvatten i berg

Den sedimentära berggrunden på Öland innehåller varierande mängd grundvatten, ofta med mycket skiftande kvalitet (fig. 9). Den sammanlagda mäktigheten på de sedimentära bergarterna varierar mellan ca 250 m i de sydöstra delarna av ön till ca 100 m på den nordvästra sidan. Kunskapen om grundvattentillgångarna i det underliggande urberget är i princip okända, det kan dock antas att grundvattnet i urberget är salt vilket resulterar i ett begränsat värde som dricksvattenresurs. Ovanpå urberget finns ett ca 50–110 m mäktigt lager med underkambrisk sandsten. Den underkambriska sandstenen går i dagen på fastlandssidan, och från borrningar kring Kalmar är uttagsmöjligheterna i sandstenen generellt sett goda till mycket goda, uttagsmöjligheter på upp till 20 000 l/tim per brunn är inte ovanliga. På Öland är få brunnar borrade ner i sandstenen, på grund av att den ligger relativt djupt, -30 m under havsnivån och lägre. De brunnar som når ner i sandsten har ofta visat sig innehålla ett grundvatten med höga kloridhalter. Om det kan finns områden med sandsten på Öland som inte har höga salthalter kan dessa förekomster vara intressanta för vattenutvinning. Om områden med god vattenkvalitet återfinns i sandstenen bör dock omfattande undersökningar utföras för att klargöra möjlighet till nybildning av ”sött” vatten till sandstenen, då den i allmänhet täcks av mäktiga lager av täta bergarter och att större uttag kan leda till att salthalten ökar på sikt.



Figur 9. Tvärprofil av jordlager och berggrunden på Öland med uppskattad uttagskapacitet för de olika jord- och bergarterna. I figuren visas även statistik från kapacitetsangivelser från brunnsarkivet vilken ligger till grund för uppskattningarna.

Över sandstenen finns en lagersekvens med mellankambrisk lerskiffer/siltsten/finkornig sandsten. De lerigare lagren är täta och har dessutom en låg sprickfrekvens medan de siltiga och sandiga avsnitten är mer uppspruckna och är en viktiga akvifer för den öländska vattenförsörjningen även om enskilda brunnar sällan ger mer än 3 000 l/tim per brunn (fig. 9). Vattenkvaliteten i dessa lager är överlag bra. Över denna sekvens med lerskiffer, siltsten och sandsten förekommer alunskiffer med varierande mäktighet. Alunskiffern är upp till ca 25 m i de södra delarna av Öland, men tunnar ut mot norr och är längst i norr endast någon meter mäktig. Alunskiffern är lokalt vattenförande med upp mot 5 000–7 000 l/tim (fig. 9). Vattenföringen i alunskiffern beror i huvudsak på en hög sprickfrekvens, ofta i anslutning till orstenslager och kalkstenslager i alunskiffern. Undersökningar i Grönhögen indikerar även en högre vattenföring i övergången mellan överliggande kalkstenslager samt i övergången till den underliggande lerskiffer och silstensdominerade enheten (Erlström 2016). Vattenkvaliteten i alunskiffern på Öland är överlag dålig, det förekommer problem med både lukt och smak på grund av bland annat höga halter organiskt material och svavel.

Den bergart som generellt utgör ytbergart på Öland öster om Västra landborgen är den ordoviciska kalkstenen. Kalkstenens vattenföring är, precis som de underliggande bergarterna, kopplad till sprickor i kalkstenen. Sprickfrekvensen varierar ganska mycket inom kalkstensområdet. Kalkstenen har ofta dock en förhöjd sprickighet i den övre delen närmast överliggande jordlager. Brunnar där intaget sker i övergången mellan jordlagren och den uppspruckna övre delen av berggrunden ger ofta stora vattenmängder, speciellt i områden med större jordmäktigheter på grund av deras vattenhållande egenskaper (fig. 9).

I den ordoviciska kalkstenen förekommer även ett antal sprickzoner med varierande utsträckning från några hundra meter till flertalet kilometer. Bredden varierar från några till ca 100 m. De centrala delarna av sprickzonerna är ofta även karstvittrade och fyllda med vittringsjord. En sådan större zon är Resmozonen som sträcker sig från Resmo by cirka två kilometer ut på Avaret. Resmozonen är så pass vittrad att den är tydligt markerad i terrängen, vid Resmo by har Mörbylånga kommun en vattentäkt där grundvatten från Resmozonen strömmar ut mot väster.

Strandvallarnas påverkan på hydrogeologin

Strandvallarna från Ancylus- och Littorinastadierna har eller framför allt har haft en stor påverkan på de hydrogeologiska förutsättningarna på Öland. Innan stora diken grävdes genom dessa fanns det stora våtmarksområden väster om den östra landborgskanten som byggs upp av Ancylus- och Litorinastrandvallar. Genom den ökade ytavrinningen på grund av utdikning skedde även en grundvattensänkning i dessa områden. Ett antal våtmarksområden är nu på väg att restaureras och beräkningar av påverkan på grundvattenbildning har gjorts av bland annat Wågman (2002).

Källor på Öland

På Öland förekommer ett antal kallkällor med varierade flöden. Enligt en inventering i Mörbylånga kommun (Vöks 2010) är de flesta källorna knutna till geologiska och topografiska avgränsningar i form av sprickzoner och karstsystem samt landborgen och strandvallarna. Ett flertal av dessa kan kopplas till de större genomgående sprickzonerna i berggrunden. Den största källan är Resmokällan som mynnar ut i Resmozonens förlängning. Vid Resmokällan har Mörbylånga kommun en kommunal vattentäkt som utnyttjar stora delar av källflödet.

Grundvattentransport

Västra landborgskanten är en viktig vattendelare på Öland. Berggrundslagren stupar från väster mot öster. Merparten av Ölands yt- och grundvatten har en strömningsriktning från väst mot öst. Den övervägande delen av grundvattenströmningen är lokaliserad till spricksystemen i de översta 5–10 m i berggrunden. Grundvattnets strömning sker från högre belägna terrängavsnitt mot lägre, till sjöar, våtmarker och vattendrag. Grundvattenströmning sker också i djupare delar av berggrunden. Transporten är då oftast betydligt mindre och långsammare och framför allt knuten till förekomsten av större spricksystem. I områden med karstvittrad berggrund påverkas vattens strömningsvägar märkbart genom att snabba transportvägar skapas för grundvattnet.

Kommunal vattenförsörjning på Öland

Vattenförsörjningen i Borgholms kommun baseras i huvudsak på grundvatten från brunnar i jordlagren. I kommunens två största grundvattentäkter Köpingsviks vattenverk, vid Solberga–Lindby vid Borgholm samt Löttorp sker dessutom en förstärkning av grundvattenbildningen genom konstgjord grundvattenbildning. Vid Solberga–Lindby sker förstärkningen genom konstgjord grundvattenbildning med vatten från två mindre diken och i Löttorp genom överföring av vatten från Hornsjön. Förutom de större vattentäkterna i Solberga–Lindby och Löttorp finns även vattentäkter i Byxelkrok, Böda, Rullbackarna och Rälla. Borgholms kommun har under 2017 dessutom anlagt en anläggning för avsaltning av havsvatten från Kalmarsund i Sandvik. Anläggningen ska producera 1 500 m^3 dricksvatten per dygn. Hälften av detta vatten ska avlasta Löttorps vattenverk i norr och resterande del Köpingsviks vattenverk i söder. Verket har en kapacitet på 3 000 m^3/dygn, men för att fullt ut kunna utnyttja denna kapacitet krävs utbyggnad av befintligt ledningsnät. Förutom de kommunala vattentäkterna finns ett antal mindre vattensamfälligheter inom Borgholms kommun.

Vattenförsörjningen i Mörbylånga kommun sker med grundvatten både från jordlagren och berggrunden. Kommunens större vattentäkter är belägna i de norra delarna av kommunen, där även behovet av vatten är som störst. Vattentäkten i Strandskogen baseras på brunnar i jordlagren (sand- och grusavlagringar). Mörbylånga kommun har även planer på att kunna öka uttagen genom konstgjord grundvattenbildning i området. Vid vattentäkterna i Tveta och i Resmo sker uttagen från brunnar där grundvattnet tas både ur jordlagren och berggrunden. I de södra delarna av kommunen finns ett antal mindre vattentäkter baserade på bergborrade brunnar. Av dessa är vattentäkten i Grönhögen den största. Arbeten pågår med att bygga samman anläggningarna för att få en redundans i det kommunala systemet.

Sedan 2016 finns även en dricksvattenledning under Kalmarsund som möjliggör överföring av vatten från fastlandet till Öland. Ledningen ansluter till Öland vid Stora Rör där en överföringsledning mellan Borgholms och Mörbylånga kommuner gör att vatten kan överföras till den del av ön där behov finns. Maximal överföringskapacitet i ledningen är 1 000 m^3/dygn. Mörbylånga kommun undersöker även möjligheterna att ta upp bräckt grundvatten i strandnära brunnar söder om Mörbylånga samhälle för att kunna leda till ett avsaltningsverk, samt möjligheterna att rena och återanvända processvatten från livsmedelsindustri för att kunna minska uttagen av grundvatten till industrin.

Enskild vattenförsörjning på Öland

Den enskilda vattenförsörjningen på Öland baseras på grävda brunnar i jordlagren eller genom bergborrade brunnar. Eftersom jordlagren ofta är tunna är de grävda brunnarna ofta nedförda i den ytligt mer uppspruckna delen av berggrunden. I brunnar med dålig tätning mellan jordlager och berggrund är det vanligt med höga nitrathalter i vattnet. Problem med bakterier förekommer också både i enskilda brunnar och ställvis i kommunala vattentäkter. Grundvattnet på Öland uppvisar generellt höga pH-värden (ofta över 7,5) och en hög alkanitet (ofta över 180 mg/l). Grundvattnet från djupa brunnar innehåller i flera fall höga kloridhalter, och brunnar som tar vatten från alunskiffern har generellt förhöjda sulfathalter. I alunskiffern kan även problem med förhöjda halter av tungmetaller förekomma.

Resultat och områdesspecifika tolkningar

Bearbetning av SkyTEM-data resulterar i en tredimensionell bild av hur resistiviteten är fördelad i marken. Mätdata innehåller information om resistivitetsfördelningen ner till ca 250 m djup. Upplösningen avtar dock med djupet. För att mätningarna ska vara användbara för geologisk och hydrogeologisk modellering behöver resistivitetsfördelningen översättas till geologiska och hydrogeologiska enheter. För detta ändamål har en översättningstabell sammanställts (tabell 2) där olika resistivitetsintervall representerar en viss typ av geologisk enhet. Dessa intervall har tagits fram genom korrelation mellan SkyTEM data och borrhålsinformation.

Generella resistivitetsintervall för olika litologier

Sand- och grusavlagringar utan större mängd lera och silt (oftast över 100 Ohmm) går att skilja från morän och jordbruksmark (oftast under 100 Ohmm). Sprickfattig kalksten, kan med sin generellt höga resistivitet (oftast över 400 Ohmm) urskiljas från underliggande siltsten och lerskiffer tillhörande Borgholmformationen som har betydligt lägre resistivitet (50–200 Ohmm). Inom Borgholmformationen kan man även urskilja lerigare och siltigare partier. Något svårare är det att urskilja alunskiffern, som ligger mellan kalkstenen och Borgholmformationen, då denna ibland innehåller en del kalkstens- och orstenslager vilket höjer resistiviteten. En annan anledning är också att alunskiffern är en relativt tunn enhet förutom på södra Öland där den kan vara upp emot 25 m mäktig. För att alunskiffern ska kunna urskiljas i resistivitetsdata krävs att den är minst ett par meter mäktig. Den uppvisar oftast resistivitetsvärden i intervallet 100–300 Ohmm som är något lägre än den överliggande kalkstenen som oftast har resistiviteter över 400 Ohmm. Även på djup över 100 m kan SkyTEM-data urskilja förändringar i berggrundens uppbyggnad. Även File Haidar-formationen och urberget framträder i resistivitetsmodellerna. Speciellt urberget framträder tydligt på grund av sin höga resistivitet (över 5 00 Ohmm).

Generella resistivitetsintervall kopplade till hydrogeologiska egenskaper

Sand- och grusavlagringar på Öland har generellt en resistivitet på 80–500 Ohmm. Om dessa utgör akviferer eller magasin för grundvatten är resistiviteten mellan 80 och 250 Ohmm. I områden med över två meter mäktiga jordlager (avseende både isälvsmaterial och morän) har de översta metrarna av den underliggande kalkstenen ofta en lägre resistivitet (150–225 Ohmm) jämfört med kalksten utan jordlager (oftast över 400 Ohmm). Förklaringen till detta är att jordlagren ofta är vattenmättade och att de utgör påfyllnadsmagasin till berggrunden vilket gör att resistiviteten blir lägre för kalkstenen.

Med hjälp av resistivitetsdata går det även att identifiera förekomst av större vertikala svaghets- och sprickzoner inom kalkstensområdena. Zonerna har generellt en lägre resistivitet (150–300 Ohmm) jämfört med angränsande kalkstenslager (över 400 Ohmm). Den relativt lägre resistiviteten tolkas bero på förekomst av vatten i sprickor, vittringsjord, och jordlager i zonerna. Brunnsinformation från Öland pekar på att en stor del av de bergborrade brunnarna får sitt vatten från övergångszonen mellan kalkstenen och den underliggande alunskiffern, men även i övergången mellan alunskiffern och den underliggande Borgholmformationens siltsten och lerskiffersekvens. Även om alunskiffern, speciellt på norra delen av ön, är svår att identifiera i SkyTEM-data (på grund av sin ringa mäktighet) framträder gränsen mellan överliggande kalksten och underliggande lager tydligt. Det gör att gränszonen som är intressant för grundvatten ändå kan kartläggas inom hela undersökningsområdet.

En berggrundsvolym med grundvatten som är saltpåverkat har lägre resistivitet (lägre än 40 Ohmm) vilket innebär att djupnivån för det salta grundvattnet är möjlig att identifiera i mätdata (tabell 2). Det är dock svårt att med exakthet definiera gränsen eftersom resistivitetsintervallen överlappar de för både alunskiffer men framför allt Borgholmformationen.

Tabell 2. Översättningstabell med ungefärliga resistivitetsintervall för olika geologiska material på Öland. (gvy=grundvattenytan)

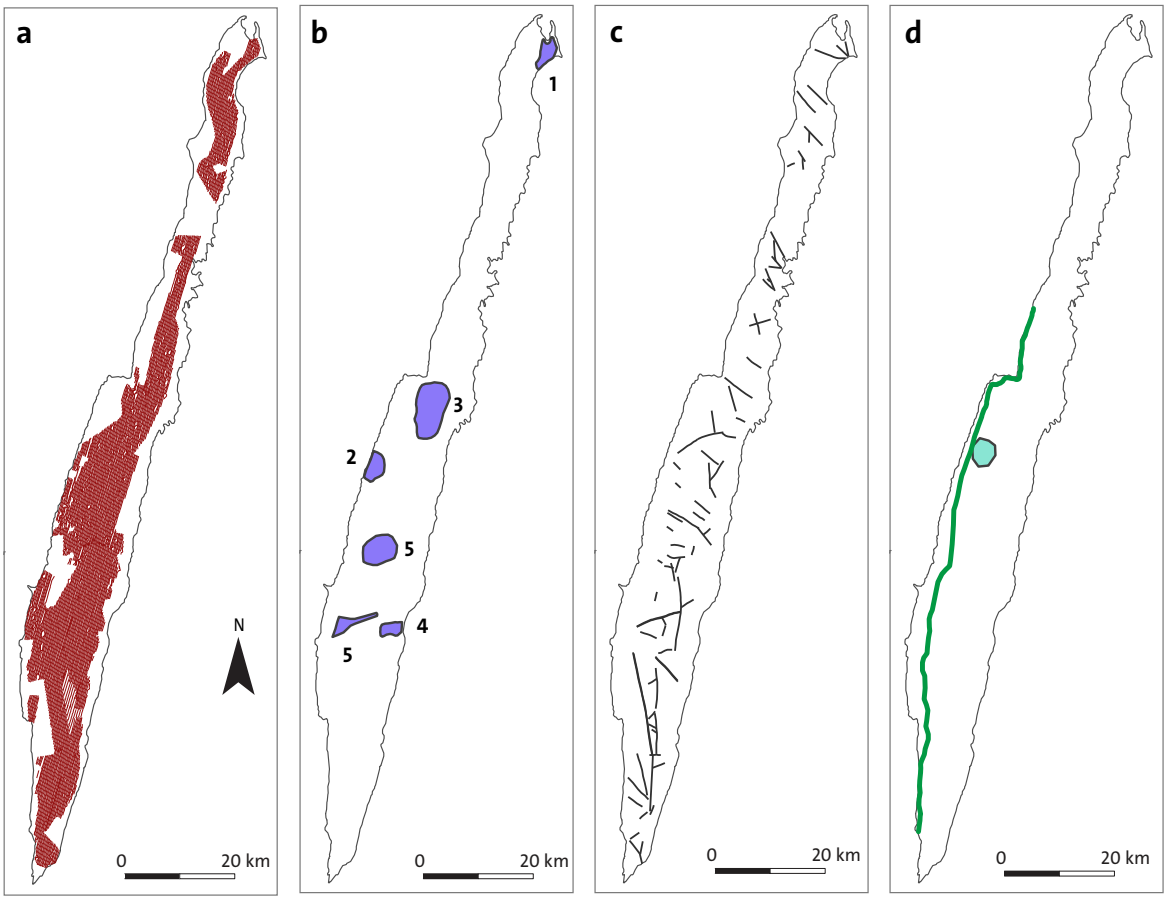
Geologi, markanvändning	Grundvattenmiljö	Resistivitetsintervall (Ohmm)	Kommentar
Torv, lera, gyttja	Sött	10–50	Oftast våta jordarter och även med stort inslag av lermineral som sänker resistiviteten
Sand, grus	Över gvy	>300	Syns tydligt i vissa dynområden, men även i mäktiga isälvsavlagringar
Sand, grus	Sött	80–300	Under grundvattenytan sänks resistiviteten märkbart i sand- och grusavlagringar.
Morän	Sött	50–150	Lerig och fuktig morän har de lägsta resistiviteterna, sandig och torr de högsta
Kalksten	Över gvy	>400	Sprick- och porfattig kalksten har högst resistivitet
Kalksten	Sött	150–300	Sprickrik kalksten, ofta översta metrarna under jordlager samt i sprickzoner
Kalksten	Salt	10–200	Sprick- och porfattig kalksten har högst resistivitet
Alunskiffer	Sött	100–300	De högsta värdena p.g.a. effekt från ovanliggande högresistiv kalksten samt lager med kalksten och orsten i alunskiffersekvensen
Alunskiffer	Salt	<40	Salt grundvatten sänker resistviteten
Silt–lersten, Borgholmformationen	Sött	20–50	Borgholmformationen, kalcitcementerade siltstenslager har högst resistivitet
Silt–lersten, Borgholmformationen	Salt	<40	Salt grundvatten sänker resistiviteten
Urberg	Salt	500–1 000	Salt grundvatten och tät berggrund

Utvalda geologiska miljöer och hydrogeologisk tillämpning

Fem geologiska och hydrogeologiska miljöer (fig. 10) har identifierats där resultaten från SkyTEM-undersökningarna med fördel kan användas för mer detaljerade grundvattenundersökningar. Länsstyrelse, kommuner och konsulter kan med hänvisning till de utförligt beskrivna områdena skapa sig en bättre bild även för de områden som inte diskuteras noggrant.

De fem geologiska miljöerna med hydrogeologisk koppling är:

1. Uthålliga sand- och grusavlagringar på kalksten
2. Mäktiga sand- och grusavlagringar på lerskiffer eller tunn kalksten
3. Mäktiga sand- och grusavlagringar på kalksten
4. Lokala relativt mäktiga moränavlagringar på kalksten
5. Regionala svaghets- och sprickzoner i kalksten (uppdelad i fyra geografiska områden)
   - Södra Öland
   - Mittlandsskogen
   - Borgholm–Persnäs
   - Norra Öland



Figur 10. Karta som visar a) flyglinjerna för SkyTEM-undersökningarna, b) läget för de geologiska miljöer som beskrivs mer detaljerat i rapporten, c) läget för tolkade större sprick- och svaghetszoner som indikerats av SkyTEM-data, d) Mossbergaområdet och utbredningen av Västra landborgen som också beskrivs närmare i rapporten.

De olika geologiska miljöerna belyses med ett eller flera exempel (fig. 10b) och en kort beskrivning om var liknande områden finns på ön. SkyTEM-resultaten redovisas som djupsektioner längs utvalda profiler, och som ytkartor med resistivitetsfördelning på olika djup i marken. Observera att färgskalan som används i rapporten varierar från plats till plats beroende på den variation i resistivitet som uppmätts.

Mossbergadomen och Västra landborgen är två områden med geologiskt intressant uppbyggnad som beskrivs mer detaljerat (fig. 10d). Vid Mossbergadomen, strax söder om Borgholm påträffas urberget och File Haidar-formationen relativt ytligt på grund av en markant upphöjd kulle i urberget, man kan jämföra det med vad Blå Jungfrun är idag. Västra landborgen är kalkstensbranten på västra Öland som sträcker sig från Grönhögen i söder till Byxelkrok i norr.

Uthålliga sand- och grusavlagringar på kalksten

På Ölands norra udde finns ett större område med 2–15 m mäktiga sand- och grusavlagringar som överlagrar kalksten (fig. 11a–b). I resistivitetsdata kan det vara svårt att skilja på vad som motsvarar torr sand respektive kalksten då båda dessa har likartad hög resistivitet. Dock är sanden ofta något fuktigare och innehåller en del finsediment (silt och ler), vilket gör att sanden generellt sett har en något lägre resistivitet än kalkstenen.

Förutom SkyTEM-data har SGU under 2016–2017 även utfört undersökningar med georadar i området (fig. 11a) vilket gett en möjlighet att kombinera de två geofysiska metoderna för att få en bättre tolkning av, framför allt, de ytliga jordlagren och grundvattenytans läge. Dessutom har sju undersökningsborrningar utförts (tabell 3, fig. 11b). Tre geografiskt och hydrogeologiskt åtskilda områden med uthålliga sand- och grusavlagringar på kalksten har identifierats, det vill säga Grankulla, Böda och Löttorp. Grankulla beskrivs utförligt i rapporten.

I både Böda och Löttorp finns en stor mängd information från de kommunala vattentäkterna bland annat brunnar, observationsrör, grundvattennivåer med mera. I Löttorp och Böda finns kommunala vattenskyddsområden medan vattenskyddsområdet vid Grankulla tillhör en samfällighet.

Exempel: Grankulla

Området *Grankulla* är ca 10 km² och ligger på Ölands nordöstra spets, söder om Grankullaviken vid samhällena Grankulla och Sjöstorp (fig. 12a). Området innefattar ett område (Sjöstorp Strandbildning) som enligt *Ölands vattenförsörjning* (Norconsult AB 2015) bör ha mycket hög undersökningsprioritet

Tabell 3. Information om de borrhål som utförts inom den geologiska miljön *Uthålliga sand- och grusavlagringar på kalksten*. Grundvattenytan (Gvy) representerar grundvattenytan i berg och är uppmätt antingen direkt efter borrning, eller vid senare fältbesök och ska ses som ungefärlig. (m.u.m.y = meter under markytan)

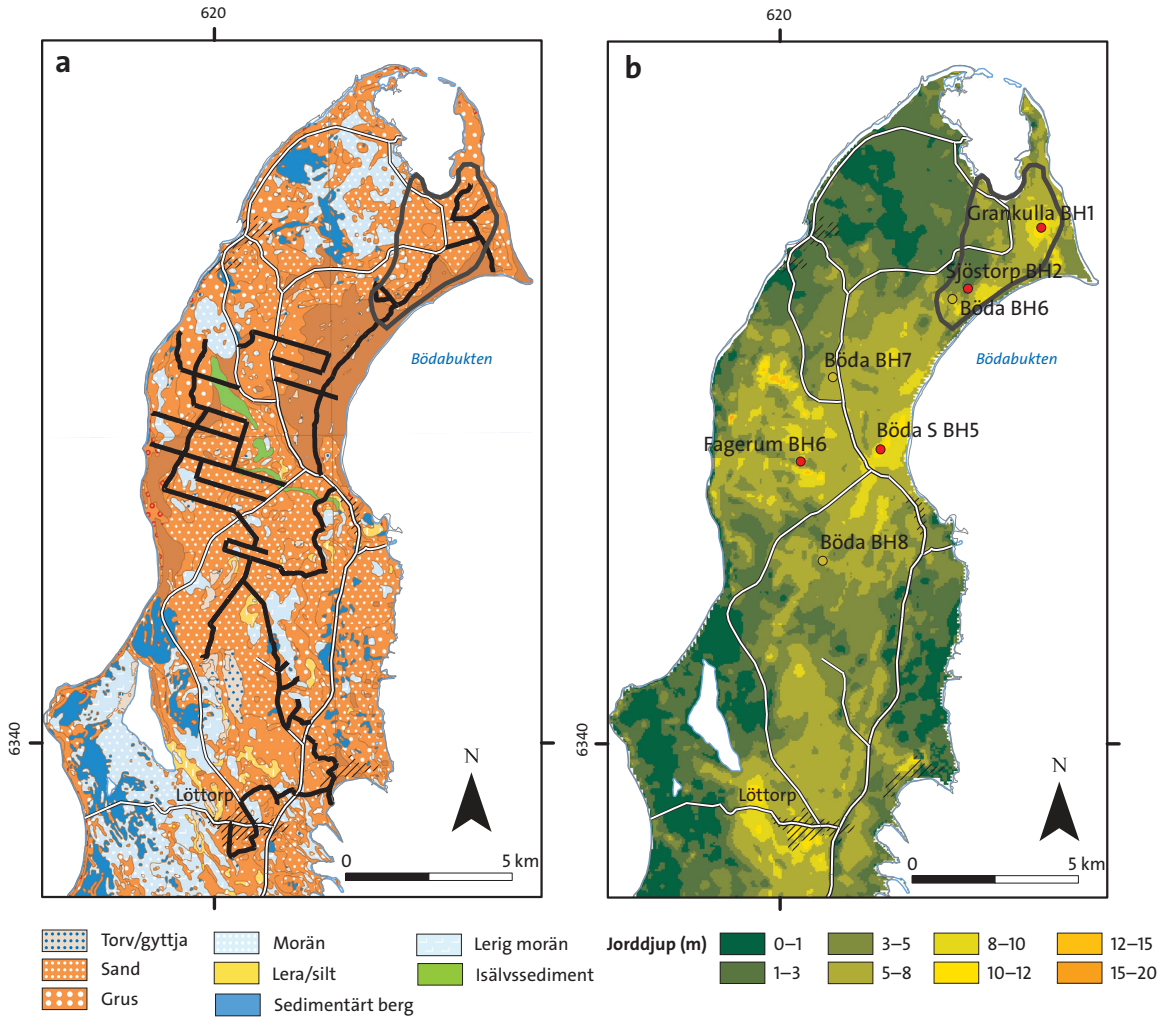
Borrhål	Jorddjup (m)	Foderrör (m)	Djup (m)	Gvy (m.u.m.y.)	Uppskattad kapacitet (l/tim)	Syfte/underlag/kommentar
Grankulla BH1	15	18	18	2,65	>15 000	Grundvatten, SkyTEM + radar, jorddjup ~10 m+gv i kalksten
Sjöstorp BH2	2,3	6	30	0,95	<50	Grundvatten, SkyTEM, gv i sprickzon
Böda BH6	2,1	6	20	1,45	0	Ökad geologisk information*
Böda BH7	3	6	30	4,63	0	Ökad geologisk information*
Böda S BH5	11,5	15	15	1,59	>10 800	Grundvatten, SkyTEM + Radar, Jorddjup >10 m
Fagerum BH6	7	9	18	0,64	<50	Grundvatten, SkyTEM + Radar, jorddjup ~10 m
Böda BH 8	5,9	9	30	5,86	0 (6 000 i jord)	Ökad geologisk information*

*Borrhålen Böda BH6, Böda BH7 samt Böda BH8 utfördes innan SkyTEM-resultaten var klara och lokaliseringen grundades på den geologiska kunskap SGU hade vid det tillfället. Utförligare underlag om varje borrning redovisas i bilaga 1.

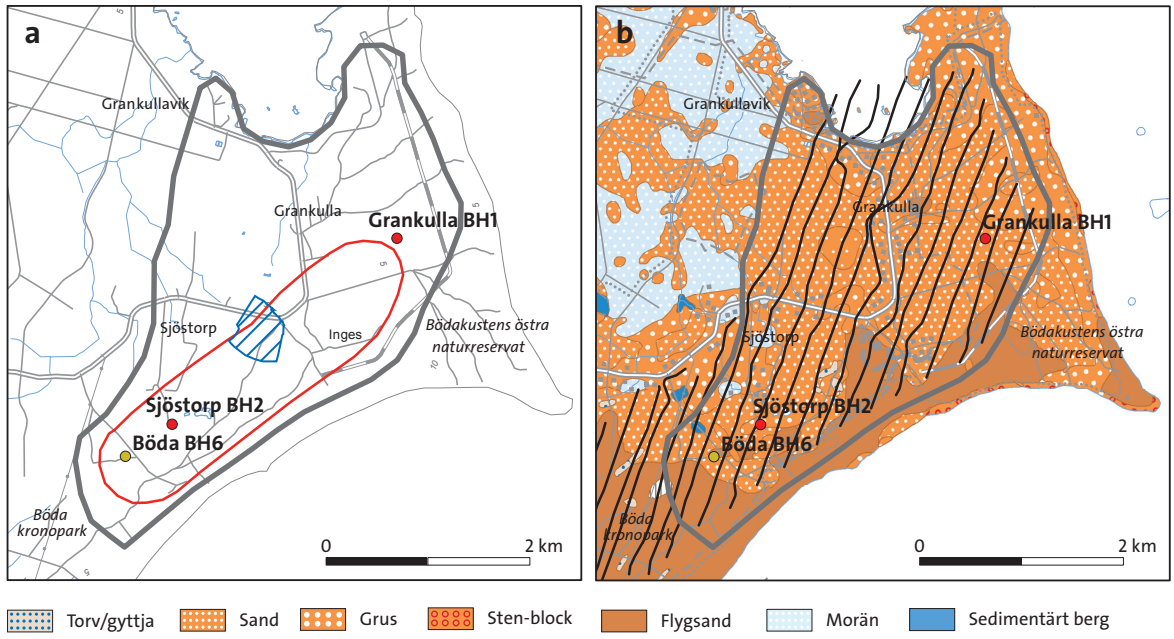
i arbetet med Ölands vattenförsörjning. Enligt Norconsult AB (2015) har området en bedömd magasinsstorlek på 500 000 m³ och en uttagbar volym av grundvatten på ca 160 000 m³/år. *Grankulla* består i de västra delarna av uppodlad mark och mindre samhällen, medan de södra och östra delarna till största delen är bevuxen med bland- och tallskog.

Inom området *Grankulla* har jordlagren blivit kraftig omlagrade och sorterade av svallning. Svallgrus och svallsand är de dominerande jordarterna (fig. 12b). Den översta delen av svallsedimenten utgörs delvis av flygsand. I området finns relativt stora mäktigheter sand och grus (ofta 5–10 m) direkt på kalkstensberggrunden. Eventuellt kan en omlagrad isälvsavlagring finnas under svallsedimenten. En nästan 10 m hög flygsandsdyn utgör Bölinge backe som ligger 1 km öster om Inges.

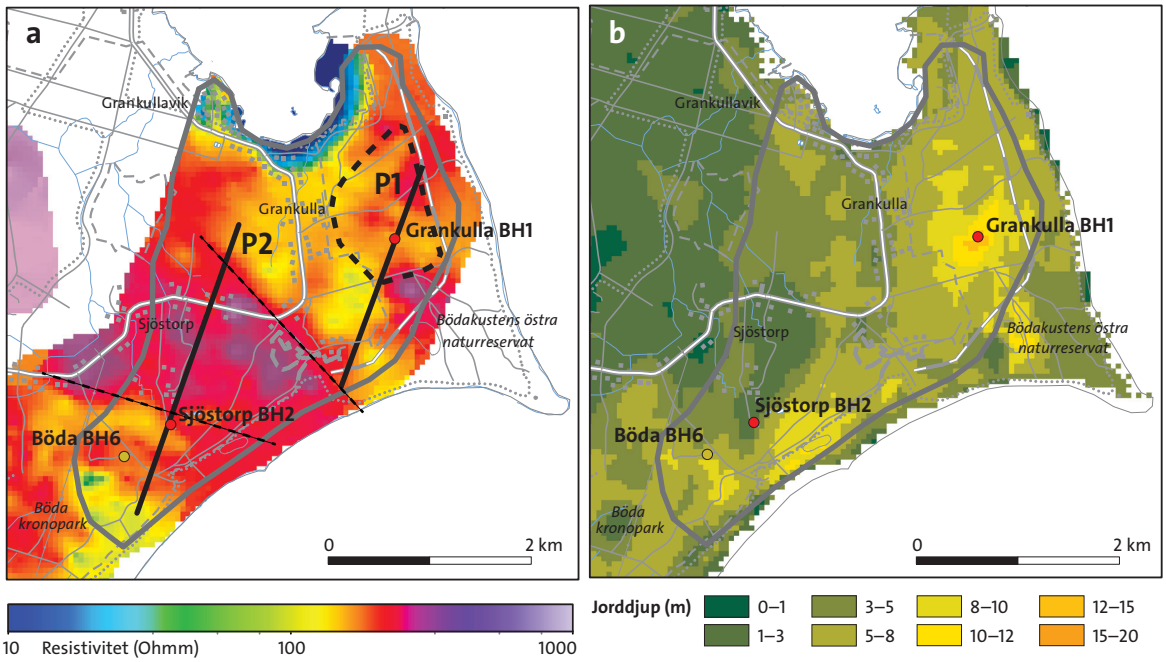
I resistivitetsdata kan man skilja på låg- respektive högresistiva jordlager inom *Grankulla*-området (fig. 13a). De lågresistiva jordlagren är lätt åtskilda mot den högresistiva underliggande kalkstenen medan de högresistiva jordlagren (mestadels torr sand) är svårare att särskilja från berggrunden, men med stöd av resultat från georadarmätningar förbättras tolkningen. Jorddjupsmodellen som även baseras på SkyTEM-data skiljer sig något från SGUs nationella jorddjupsmodell som mestadels base-



Figur 11. Karta över norra Öland med de tre områden, Böda, Löttorp och Grankulla, som har den geologiska miljön *Uthålliga sand- och grusavlagringar på kalksten.* a) Bakgrundskarta jordartskartan. Grå polygon visar det område *(Grankulla*) som beskrivs närmare nedan. Svarta linjer visar var det finns data från undersökningar med georadar, b) Bakgrundskarta visar jorddjupsmodellen baserad på SGUs jorddjupsmodell och SkyTEM-data. De gula och röda punkterna representerar de borrningar som utförts.



Figur 12. a) Området *Grankulla* avgränsas av grå polygon. Den röda polygonen motsvarar det område som tidigare pekats ut som av mycket hög undersökningsprioritet när det gäller Ölands framtida vattenförsörjning. Gula och röda punkter visar borrhålen som diskuteras i texten. Blå-streckat område är vattenskyddsområdet för vattentäkten vid Grankulla, b) Området *Grankulla* med jordartskartan som bakgrund. Punkterna visar borrhålen som diskuteras i texten. De svarta strecken motsvarar de flyglinjer längs vilka SkyTEM-undersökningarna utfördes.



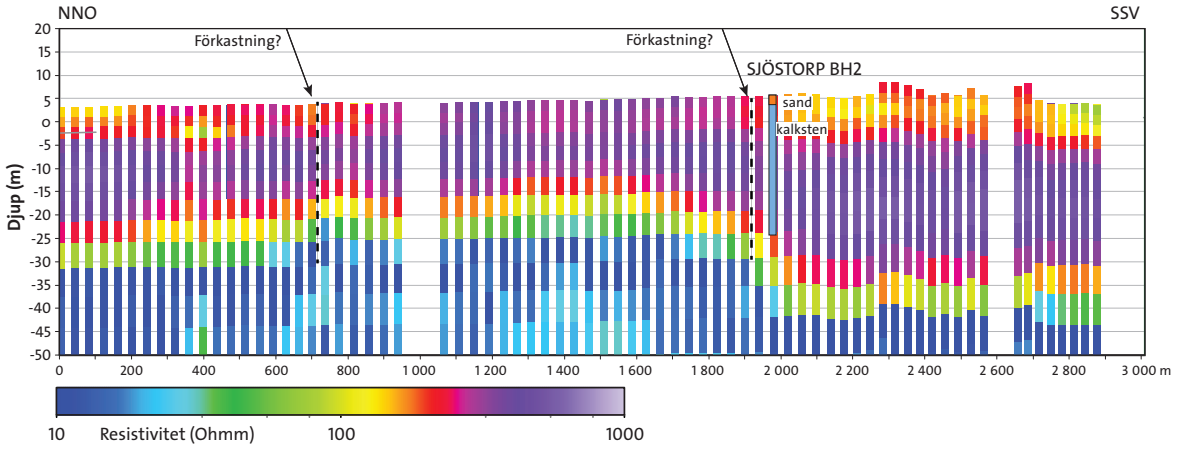
Figur 13. a) Området *Grankulla* med grå markering. Figuren visar medelresistiviteten ner till 2 m djup, utförda borrhål, samt lägena för profilerna som visas i figur 14 och 15. De två streckade linjerna är tolkade svaghetszoner. Den streckade polygonen diskuteras i texten och visar på ett område med goda förutsättningar för grundvattenuttag. Bölinge backe syns som ett högresistivt område precis söder om det streckade området b) Området *Grankulla* med jorddjupsmodellen och borrhål.

ras på brunnsinformation. De största jordmäktigheterna påträffas dels kustnära söder om Sjöstorp och dels i de östra delarna vid Grankulla (fig. 13b). I den sydöstra delen av området framträder sanddynen Bölinge backe tydligt som en högresistiv topp i resistivitetsdata (fig. 13a).

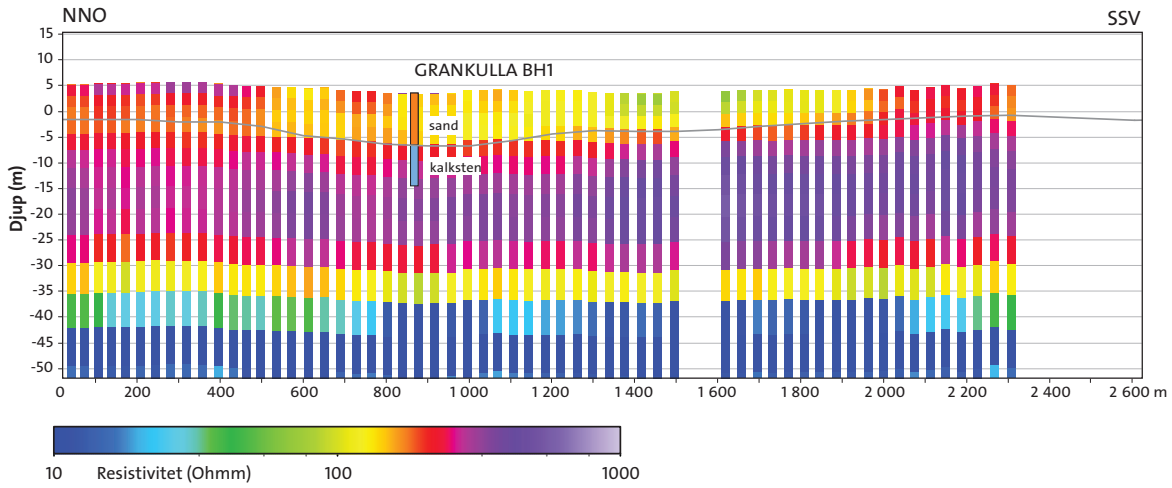
Vad gäller berggrunden så kan man se en tydlig förändring av resistivitetsdata inom *Grankulla*-området. Kalkstenen är mellan 15 och 25 m mäktig och kännetecknas av en hög resistivitet (ofta över 400 Ohmm) och utgör den övre berggrunden i hela området. Kalkstenen underlagras av en lågresistiv lerskiffer eller siltsten tillhörande Borgholmformationen, som klart avviker resistivitetsmässigt (oftast under 50 Ohmm) från kalkstenens resistivitet (ofta över 400 Ohmm). I en profil (P2 i fig. 13a) som skär området från sydsydväst till nordnordost framträder en tydlig mäktighetsvariation av den högresistiva kalkstenen (fig. 14). Lateralt skiljer det ca 5 meter i mäktighet vilket bedöms bero på en förkastning som skär genom området (fig. 14). En bedömning är också att det i och i anslutning till förkastningen bör finnas förutsättningar för uppsprucken och vattenförande berggrund. Borrhålet Sjöstorp BH2 utfördes för att karakterisera den eventuella förkastningen och mäktighetsskillnad i berggrundsuppbyggnad som framträder i SkyTEM-data (fig. 13a, 14). Resultaten av borrningen Sjöstorp BH2 (2,3 m sand och ca 28 m delvis uppsprucken kalksten, bilaga 1) visar att den var lokaliserad något för långt söderut för att kunna ge den eftersökta informationen. Zonen bör kunna lokaliseras bättre med hjälp av markbaserade geofysiska mätningar eller genom gradad borrning för att ha större chans att träffa på vattenförande sprickor. Man kan även försöka lokalisera den något mindre förkastningszonen som finns några km nordnordväst (fig. 14).

Data från SGUs tre undersökningsbrunnar i området (tabell 3, fig. 13) överensstämmer med vad brunnar från brunnsarkivet visar förutom att jorddjupet vid borrhålet Grankulla BH1 är betydligt större. Lokaliseringen av de tre borrningarna i området bestämdes med tre olika utgångspunkter: Sjöstorp BH2 har nyss beskrivits. Borrhålet Böda BH6 utfördes innan SkyTEM-data fanns tillgänglig med syftet att få en tydlig lagerföljd inom området (Sjöstorp Strandbildning) som pekats ut som intressant i Ölands vattenförsörjning (Norconsult AB 2015).

Borrhålet Grankulla BH1 utfördes efter samtolkning av SkyTEM-data och resultaten från georadarmätningar på en plats där det tolkades finnas jordlager på ca 10 m som främst borde bestå av vattenmättad sand och grus överlagrande kalksten med goda vattenförande egenskaper (fig. 15). Lagerföljden i Grankulla BH1 (bilaga 1) visar på ca 15 m sand, grus och morän. Vattenföringen i jordlagren var trots övervägande andel sand och grus inte så stor. På 15 m djup började vattenflödet (ca 420 l/tim) i brunnen för att öka successivt ner till botten på brunnen på ca 18 m djup (15 000 l/tim).



Figur 14. Resistivitetsprofil med SkyTEM-data och tolkning av förkastning på södra och norra sidan samt borrhålet Sjöstorp BH2. Profilläget visas i figur 13a.



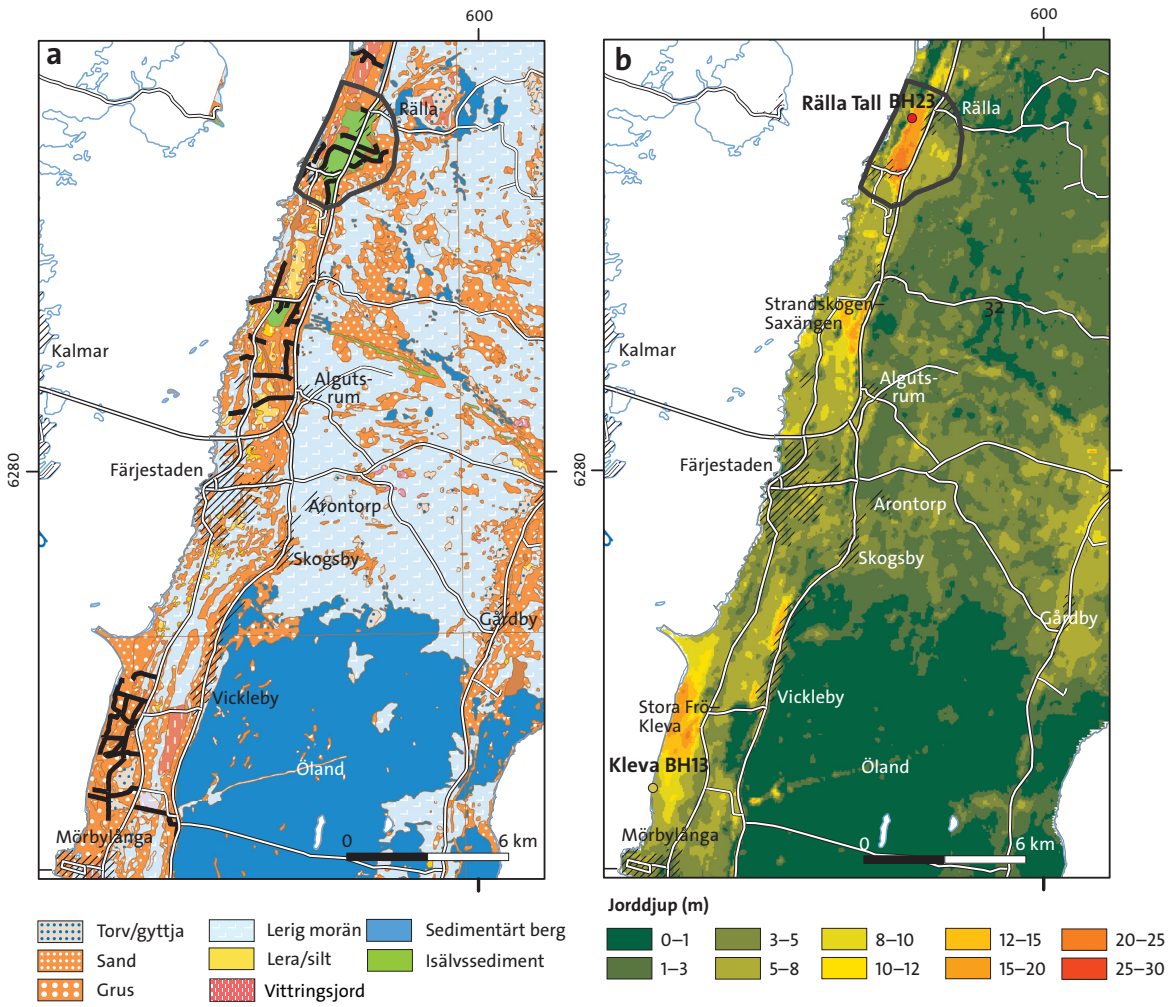
Figur 15. Resistivitetsprofil vid borrhål Grankulla BH1. Grå linje motsvarar tolkat jorddjup. Profilläget (P1) visas i figur 13a.

Resistiviteten i de huvudsakligen sandiga avlagringarna varierar mellan 75 och 300 Ohmm. De högsta resistiviteterna har de översta torra sandiga sedimenten medan de lägsta troligen representerar förekomst av torv i sanden. Kalkstensberggrunden i borrhålet Grankulla BH1 har en resistivitet mellan 150 och 225 Ohmm. En teori är att grundvatten primärt finns i områden med liknande geologi inom *Grankulla* (men även inom de andra områdena vid Böda och Löttorp). I figur 13a visas med hjälp av SkyTEM-data och georadar det område där liknande förhållande bör råda och där sannolikheten för att få större volymer vatten vid en brunnsborrning är större. Området längre söderut mot Bölinge backe med lika stor mäktighet i jordlagren (fig. 13b) är också intressant, här består dock de översta metrarna av jordlagren av torr sand. Även området söder om borrningarna Böda BH6 och Sjöstorp BH2 med större jordmäktighet kan vara intressant. Det verkar som att området med den tunnare kalkstenen (mellan de två förkastningszonerna) utgör något av en grundvattendelare vilket gör att de intressanta områdena öster och väster om troligen inte har så stor koppling hydrogeologisk sett.

En vattenbalansberäkning där man räknar på att tillrinningsområdet till de intressanta områdena är cirka två kvadratkilometer stort, har en grundvattenbildning på ca 140 mm/år (värden från Rullbackarna några km väster om Grankulla, Hifab AB 2014.) ger en möjlig tillgång på ca 300 000 m³/år för området öster om en linje mellan Grankullavik och Inges. Under torrår torde dessa siffror halveras för att vara realistiska. Området sydväst om Inges som pekades ut av Norconsult AB (2015) kan i den här studien avgränsas bättre. Bedömningen är att de sydvästra och nordöstra delarna av detta område är mest intressanta (jämför figur 12a samt 13a). Vid en konservativ bedömning av områdena på ömse sidor om grundvattendelaren bör man inom *Grankulla*-området med ett antal lämpligt placerade brunnar kunna utvinna ca 300 000 m³/år. Det undersökta områdets närhet till havet gör att det finns en ökad risk att brunnarna kan ge salt vatten, i alla fall under vissa tider på året, men även då större grundvattenuttag kan flytta saltvattengränsen inåt land.

Mäktiga sand- och grusavlagringar på lerskiffer eller tunn kalksten

På sydvästra Öland, längs Västra landborgen, finns områden med 5–30 m mäktiga sand- och grusavlagringar som ligger direkt på lerskiffer eller på tunna lager med kalksten. De stora skillnaderna i resistivitet mellan sand- och grusavlagringar, och lerskiffern, gör det relativt enkelt att dra gränsen mellan dem med hjälp av resistivitetsdata. I huvudsak går det att inom de delar av Öland som under-



Figur 16. Illustrationer över mellersta Öland som visar utbredningen av de tre områden som har den geologiska miljön *Mäktiga sand- och grusavlagringar på lerskiffer eller tunn kalksten*. a) Jordartskarta som underlag. Grå polygon visar *Rälla*-området som beskrivs närmare i texten. Svarta linjer visar var det finns data från undersökningar med georadar. b) Bakgrundskarta med jorddjupsmodellen baserad på SGUs jorddjupsmodell och SkyTEM-data. De gula och röda punkterna representerar de borrningar som utförts av SGU (tabell 4).

sökts med SkyTEM att avgränsa tre större geografiska områden med likartade geologiska förhållanden: Rälla–Stora Rör, Strandskogen–Saxängen och Stora Frö–Kleva (fig. 16a, b), varav Rälla–Stora Rör beskrivs utförligt i denna rapport.

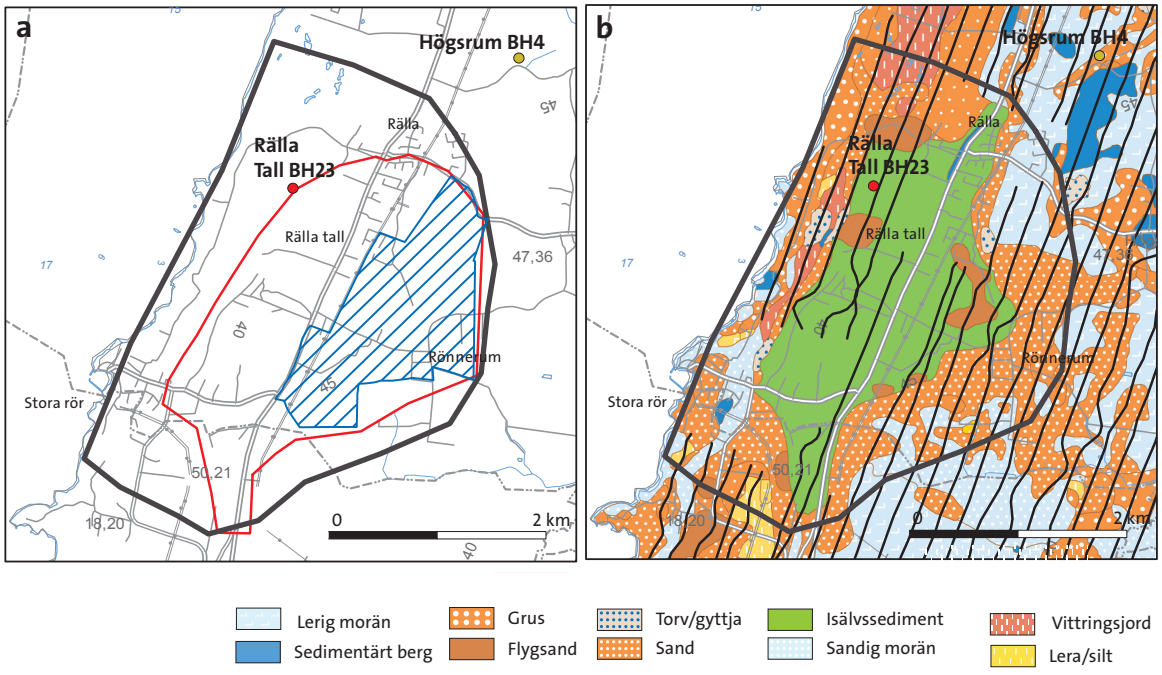
Förutom SkyTEM-data har SGU utfört undersökningar (2013) med georadar i de tre områdena (fig. 16a) vilket gett en möjlighet att kombinera de två geofysiska metoderna för att få en bättre tolkning av de ytliga jordlagren. SGU har även utfört två undersökningsborrningar (tabell 4) i denna geologiska miljö (fig. 16a, b).

I Strandskogen har Mörbylånga kommun en vattentäkt och i Rälla har Borgholms kommun en vattentäkt med tillhörande vattenskyddsområden. I framtida tolkningar bör även data från vattentäkterna inkorporeras i SGUs 3D-modell. Området vid Stora Frö–Kleva kan i viss mån även tillgodoräkna sig ett visst tillskott av grundvatten från Resmozonen som beskrivs närmare i kapitlet *Södra Öland – Stora Alvaret*.

Exempel: Rälla–Stora Rör

Som typexempel på den nyss beskrivna geologiska miljö har vi valt ett område på sydvästra Öland som ligger på gränsen mellan Borgholm och Mörbylånga kommun som kallas *Rälla–Stora Rör*. Området är ca 11 km^2 och markanvändningen är huvudsakligen tallskog. Två samhällen, Rälla och Stora Rör ligger inom området som även har en relativt tät sommarstugebebyggelse. I de östra delarna finns åkermark och längst i norr en golfbana. I områdets östra del, öster om väg 136, finns kommunala brunnar och ett vattenskyddsområde (fig. 17a). Vattentäkten används dock endast som reserv då grundvattnet har höga halter järn och mangan. Beskrivning av vattentäkten och grundvattenförhållanden i *Rälla–Stora Rör* finns i bland annat K-konsult (1966), SGU (1976), Båth (1979). Området innefattar ett område (Rälla/Rörsberg) som enligt Ölands vattenförsörjning (Norconsult AB 2015) bör ha mycket hög undersökningsprioritet i arbetet med Ölands vattenförsörjning. Enligt Norconsult AB (2015) finns det en bedömd magasinsstorlek på ca 450 000 m^3, en tillgänglig volym på ca 230 000 m^3/år (torrår ca 100 000 m^3/år), samt goda förutsättningar för att öka uttaget genom konstgjord infiltration. Jordarterna i området består till största delen av isälvsavlagringar och svallsand (fig. 17b).

Sand- och grusavlagringarna vid *Rälla–Stora Rör* utgör den sydligaste delen av isälvsavlagringen Högsbyåsen. Avlagringen är ett delta som avsatts ovanpå den branta sluttning (klint) som löper parallellt med Ölands västra kust, det vill säga Västra landborgen. Sedimentmäktigheten är därför betydligt större i västra delen jämfört med den östra. Deltat är huvudsakligen uppbyggt av sand, men med inslag av grus och sten. Sanden är i översta delen till stor del omlagrad till flygsand med dyner. På den branta västra sluttningen finns strandvallar och strandhak. Jorddjupet varierar mellan 0 och 30 m, i de västra delarna finns ett stort sammanhängande område med över 15 m mäktighet. Deltat avgränsas i väster av en brant sluttning. Nedanför sluttningen förekommer grundvattenläckage och bildning av kärrtorv (fig. 17b). Berggrunden i området består av en östlig del, landborgskanten, med tunna lager



Figur 17. a) Illustration som visar utbredningen av *Rälla–Stora Rör* (grå polygon) samt borrhål som diskuteras i texten. Den röda polygonen motsvarar det område som tidigare pekats ut med hög prioritet när det gäller Ölands framtida vattenförsörjning. Blå-streckat område visar vattenskyddsområdet Rälla, b) området *Rälla–Stora Rör* med jordartskartan som bakgrund. De svarta strecken motsvarar flyglinjer för SkyTEM-mätningarna.

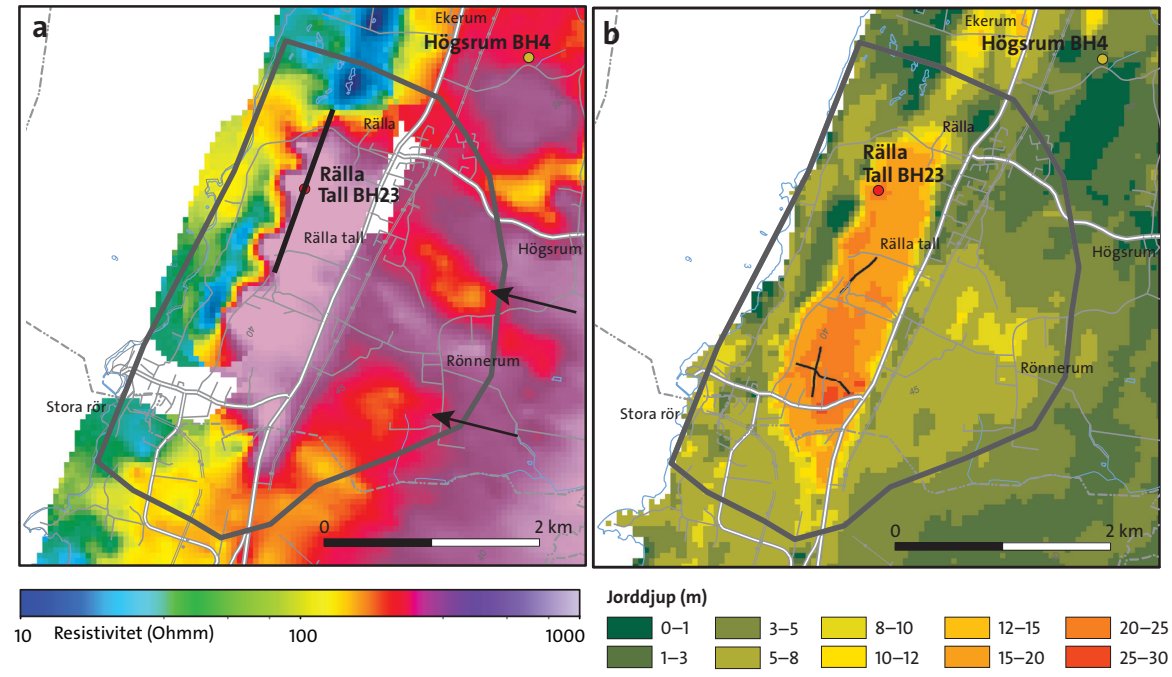
med kalksten ovanpå alunskiffer och lerskiffer, och en västlig del, väster om Västra landborgen, där berggrunden består av lerskiffer.

Resistivitetsdata har gjort att jorddjupsmodellen kunnat förbättras väsentligt i området *Rälla–Stora Rö*r. Tack vare SkyTEM-mätningarna finns nu en bra karakterisering över områden med mäktiga sand- och grusavlagringar (fig. 18). Dock visar både resistivitetsdata och borrningen Rälla Tall BH21 att merparten av dessa mäktiga sand- och grusavlagringar väster om väg 136 är torra. Med tanke på den generella sammansättningen finns det dock mycket goda möjligheter för konstgjord infiltration i området. Där väg 136 går finns en bergsrygg som skiljer de västra från de östra delarna. Öster om väg 136 är jordlagren inte lika mäktiga som väster om vägen, där man finner mäktigheter på 6–7 m i genomsnitt och uppemot 12 m i ett område norr om vägen mot Rönnerum (fig. 18b).

SkyTEM-data visar en tydlig skillnad i resistivitetsfördelning mellan berggrunden öster och väster om Västra landborgen. Den lågresistiva silt- och lerskiffern tillhörande Borgholmformationen står i hög kontrast mot den högresistiva kalkstenen i öster. En intressant företeelse som syns i resistivitetsdata är att det finns en berggrundsrygg som går i öst–västlig riktning centralt i området (fig. 18). Här är kalkstenen också något mäktigare än i omgivande områden. Det troliga är att denna geologiska uppbyggnad är likartad med den som finns nordnordost om *Rälla–Stora Rör* och beskrivs närmare i Mossbergakapitlet.

En 3D-modell har upprättats för området (fig. 19). Underlagsdata för tolkningarna har förutom SkyTEM-data varit georadar, nya borrhålsdata samt tidigare inlagrade data från SGUs databaser till exempel Brunnsarkivet.

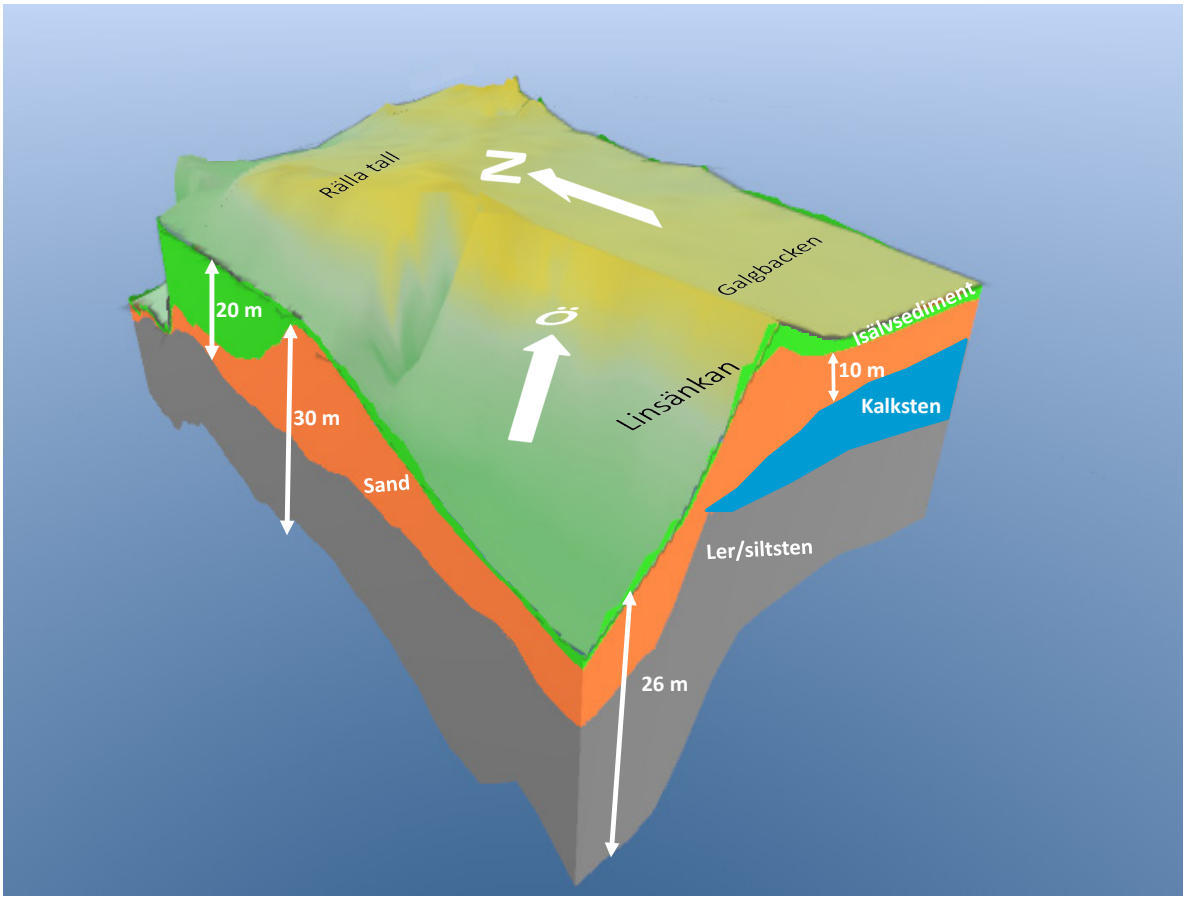
Området *Rälla–Stora Rör* kan delas in i tre delområden med olika förutsättningar för grundvatten. Störst förutsättningar för grundvattenuttag finns i området längst österut. I det västra området finns det goda förutsättningar för att skapa konstgjort grundvatten genom infiltration. I områdets västra delar finns minst förutsättningar för grundvatten i jordlagren men lokalt kan bergbrunnar ge mycket vatten, dock med risken att salthalten är hög.



Figur 18. a) Figuren visar medelresistivitet ner till 2 m djup, utförda borrhål, samt läget för den profil som visas i figur 20 för *Rälla*-området. Pilar visar var det troligen är bättre förutsättningar för större grundvattenuttag. b) Figuren visar jorddjupsmodellen, borrhål i samma område.

Längst i öster finns ett område som karakteriseras av: sand- och grusavlagringar (5–7 m, upp till 10 m nordväst om Rönnerum), kalksten (5–10 m mäktig), alunskiffer (1–5 m) och lerskiffer (ca 100 m). Den övre delen av lerskiffern har i området en resistivitet som ligger på ca 40–50 Ohmm vilket betyder att det är den siltstensdominerade delen av Borgholmformationen. Det är bra då denna oftast har en högre vattenförande förmåga än de lerskifferdominerade delarna av samma formation (resistivitet på ca 20–40 Ohmm). Kommunen har en av sina vattentäkter placerade i detta område. Med fördel bör man lokalisera kommande undersökningar till områdena norr och söder om den bergsklack som diskuterats ovan, dvs. områden med lite lägre resistivitet i de ytliga marklagren (se pilar i fig. 18a).

Längre västerut finns mäktiga (15–30 m) i huvudsak torra sand- och grusavlagringar (i undantagsfall finns finsediment i lagerföljden och moränlager mellan sand- och gruslagren och berggrunden) på lerskiffer (fig. 20). Volymen på denna avlagring har beräknats till ca 30 miljoner m^3 (medelmäktighet ca 18 m). SGU har under 2017 utfört en ny brunn inom området (tabell 4). Lokaliseringen av borrhålet Rälla Tall BH23 valdes där det enligt tolkning av SkyTEM-data borde finnas ca 20 mäktiga jordlager. SGUs tidigare jorddjupsmodell visade på ett jorddjup på 6 m vilket gjorde det extra intressant att utföra en borrning här. Vår tolkning av resistivitetsdata (jämför profilen i fig. 20)var att de översta ca 16 m skulle ligga över grundvattenytan (mer än 400 Ohmm) och 4 m under grundvattenytan (mindre än 200 Ohmm). Jorddjupet visade sig vara 23 m och borrning utfördes till ca 30 m djup. Under borrning visade det sig att sanden var i princip torr hela vägen ned. Vid blåsning efter utförandet gav borrhålet i princip inget vatten, det vill säga inte heller berggrunden innehöll någon nämnvärd mängd vatten. Detta område bedöms ha små uttagsmöjligheter då tillrinningen är liten och sanden genomsläpplig, det



Figur 19. 3D-modell över en del av *Rälla–Stora Rör*-området.

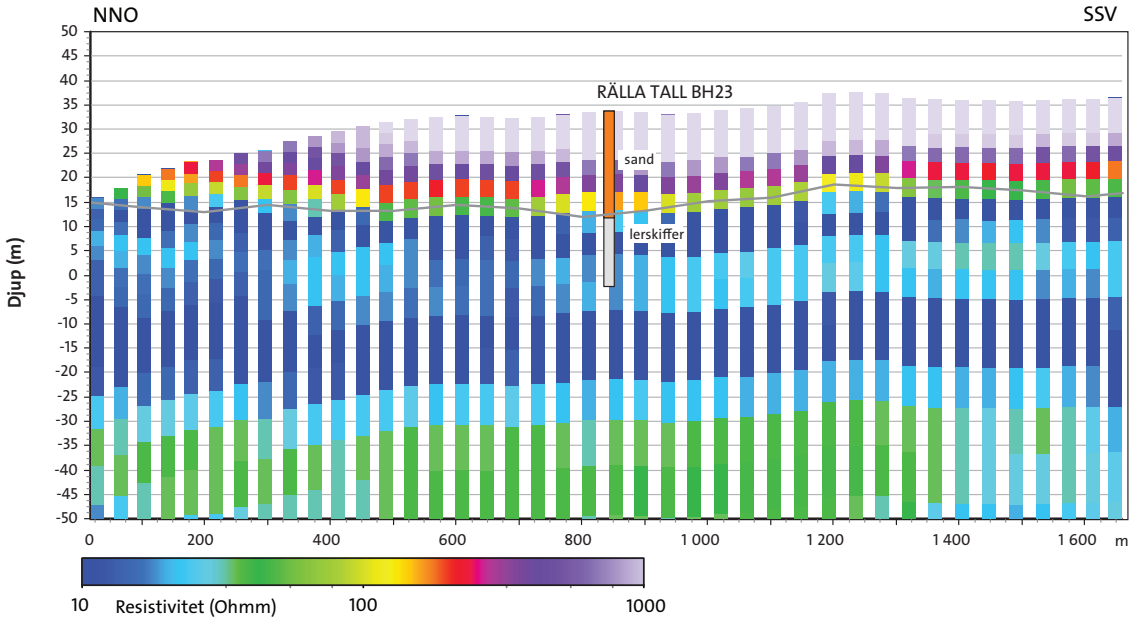
finns inte heller någon barriär som håller kvar vattnet. Grundvattenbildningen i området är beräknad till nästan 600 000 m^3/år, men det verkar som att det mesta av detta rinner ut vid de västra delarna av sand-och grusavlagringarna. Även om det finns goda möjlighet för konstgjord grundvattenbildning i området är troligen lagringsmöjligheterna begränsade i området. De källflöden som återfinns i släntfoten tillsammans med den stora omättade zonen tyder på en begränsad magasineringsförmåga i området.

Längst i väster finns svallsediment av olika kornstorlek som överlagrar lerskiffer. I detta område bedöms det finnas ett ytligt grundvattenmagasin. Grundvatten som bildas i de mäktiga sand- och grusavlagringarna i öster läcker delvis ut ur magasinet här. Hittar man rätt område och kan balansera uttagen med tillskottet och eventuellt infiltrera vatten i öster kan man få bra resultat härifrån. Man kan jämföra med den brunn som utfördes i samma geologiska miljö vid Kleva. Brunnen Kleva BH13 gav 9 000 l/tim på 15 m djup och sedan ökade kapaciteten till 48 000 l/tim på 30 m djup. Dock är risken stor att man får en saltpåverkan eftersom området ligger nära havet. Vattnet i Kleva-borrningen hade en konduktivitet på ca 1 000 µS/cm vilket motsvarar en kloridhalt på 300 mg/l. Ett enkelt klorid-test vid borrningen gav dock en kloridhalt under 100 mg/l.

Tabell 4. Information om de borrhål som utförts inom den geologiska miljön. Grundvattenytan (gvy) representerar grundvattenytan i berg och är uppmätt antingen direkt efter borrning, eller vid senare fältbesök och ska ses som ungefärlig. (m.u.m.y = meter under markytan)

Borrhål	Jorddjup (m)	Foderrör (m)	Djup (m)	Gvy (m.u.m.y.)	Uppskattad kapacitet (l/tim)	Syfte/underlag/kommentar
Rälla Tall BH21	23	24	36	21,61	<50	Grundvatten, SkyTEM + Radar, jorddjup ~ 20 m
Kleva BH13	13,5	15	30	5,18	48 000	Ökad geologisk information*

*Borrhålet Kleva BH13, utfördes innan SkyTEM-resultaten var klara och lokaliseringen grundades på den geologiska kunskap SGU hade vid det tillfället. Utförligare underlag om varje borrning redovisas i bilaga 1.



Figur 20. Resistivitetsprofil från området *Rälla–Stora Rör.* Profilläget visas i figur 18a.

Mäktiga sand- och grusavlagringar på kalksten

På centrala Öland, strax sydost om Borgholm, finns ett område med mäktiga jordlager – företrädesvis sand- och grusavlagringar som ligger i något som kan betecknas som en skålformad struktur (fig. 21a) i berggrunden som enligt borrhålsobservationer består av delvis vittrad och uppsprucken kalksten.

Området består av två delar: Solbergafältet i norr och Lindbyfältet i söder. Lindbyfältet är en jämn och flack platå som höjer sig 5–10 m över omgivningen. Maximalt 15 m isälvssediment har påträffats i den centrala delen. Över isälvssedimenten finns 1–2 m svallsediment: stenigt sandigt grus. Isälvssedimentet består huvudsakligen av sand med inslag av grus och silt. Isälvssedimenten vilar på berggrunden; ibland finns ett tunt moränlager däremellan. I fältet finns en något högre ryggformad bildning som består av stenigt grus.

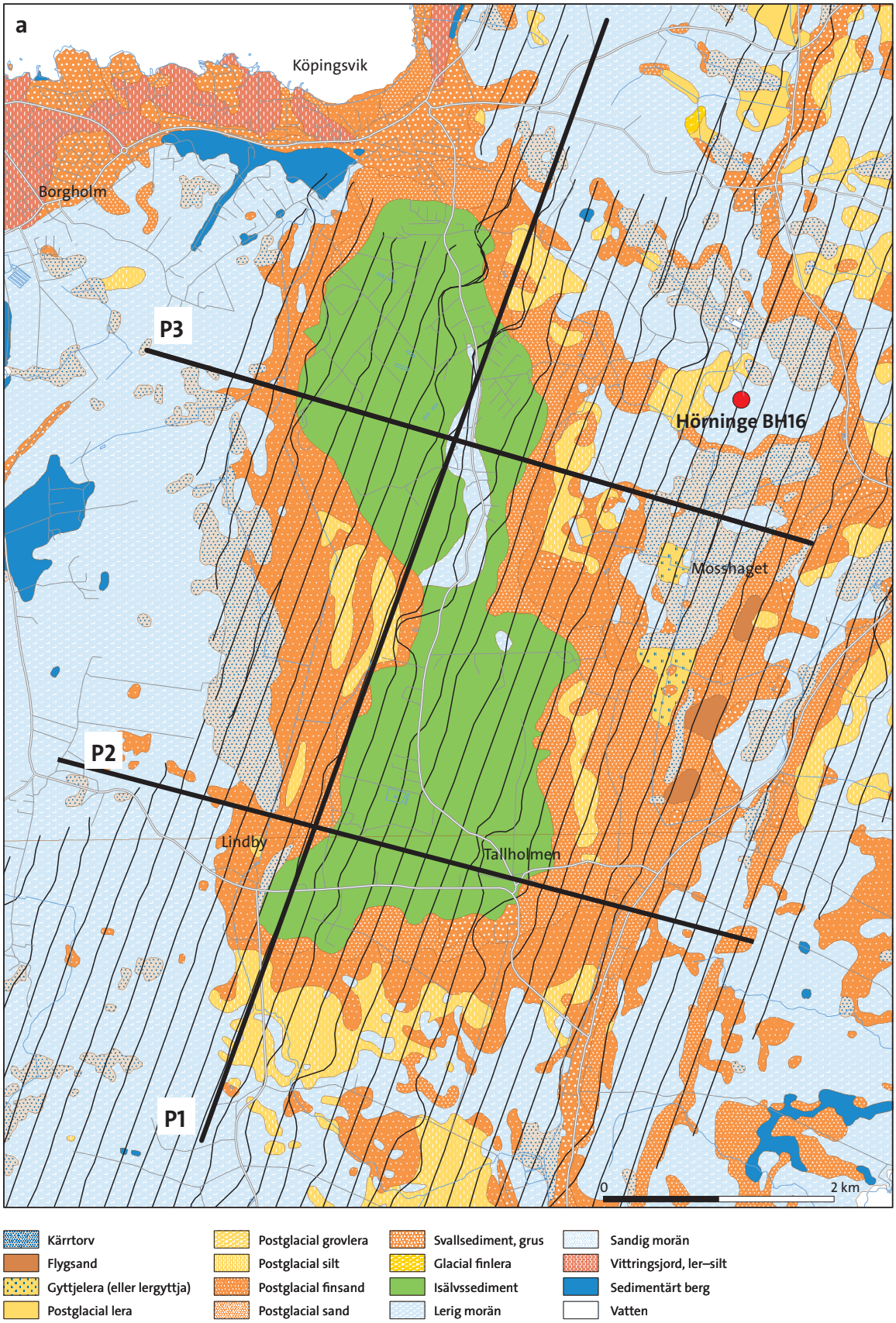
Solbergafältet utgör också en platå med en jämn och plan överyta, som höjer sig 5–10 m över omgivningen. Isälvssedimenten underlagras av en kalkstensmorän närmast berggrunden. Isälvssedimenten är ca 10 m mäktiga i den centrala delen och består av sand med mindre inslag av grus och silt. Isälvssedimenten överlagras av stenigt, grusigt svallgrus. Centralt i fältet löper en nord–sydlig moränrygg som sticker upp ur sanden. Moränen är lerig, sandig och domineras av skifferfragment. Nedanför platåns västra sluttning förekommer grundvattenläckage som orsakar att svallsedimenten överlagras av tunna torvlager.

Enlig SGUs brunnsarkiv är sedimentens totala mäktighet i allmänhet någon meter utanför de centrala delarna av avlagringarna, och består huvudsakligen av postglacial sand medan de är ca 10 m i områden där isälvsavlagringarna dominerar och lokalt även uppemot 15–20 m. Borrningar i den sydöstra delen av Lindbyfältet påvisar mäktigheter på mer än 20 m (MVI 2003). Området har sedan länge använts för kommunala grundvattenuttag för dricksvattenförsörjning och hela området är ett vattenskyddsområde. I området finns täta eller svårgenomträngliga jordlager som påverkar grundvattenbildningen och ger upphov till två eller möjligen flera skilda grundvattennivåer inom samma område. Det betyder att mindre och lokala grundvattenmagasin bildas ovanpå finkorniga jordlager som hindrar eller minskar grundvattnets transport till huvudmagasinet. Till exempel påträffas ofta ytligt grundvatten i äldre, några få meter djupa, grävda brunnar. I västra Solbergafältet och även mellan Stora Solberga och Kullen förekommer dubbla grundvattenytor (det vill säga olika grundvattentryck i åtskilda grundvattenmagasin). För mer detaljerad information om grundvattenmagasinet Solberga–Lindby hänvisas till Pousette (2009).

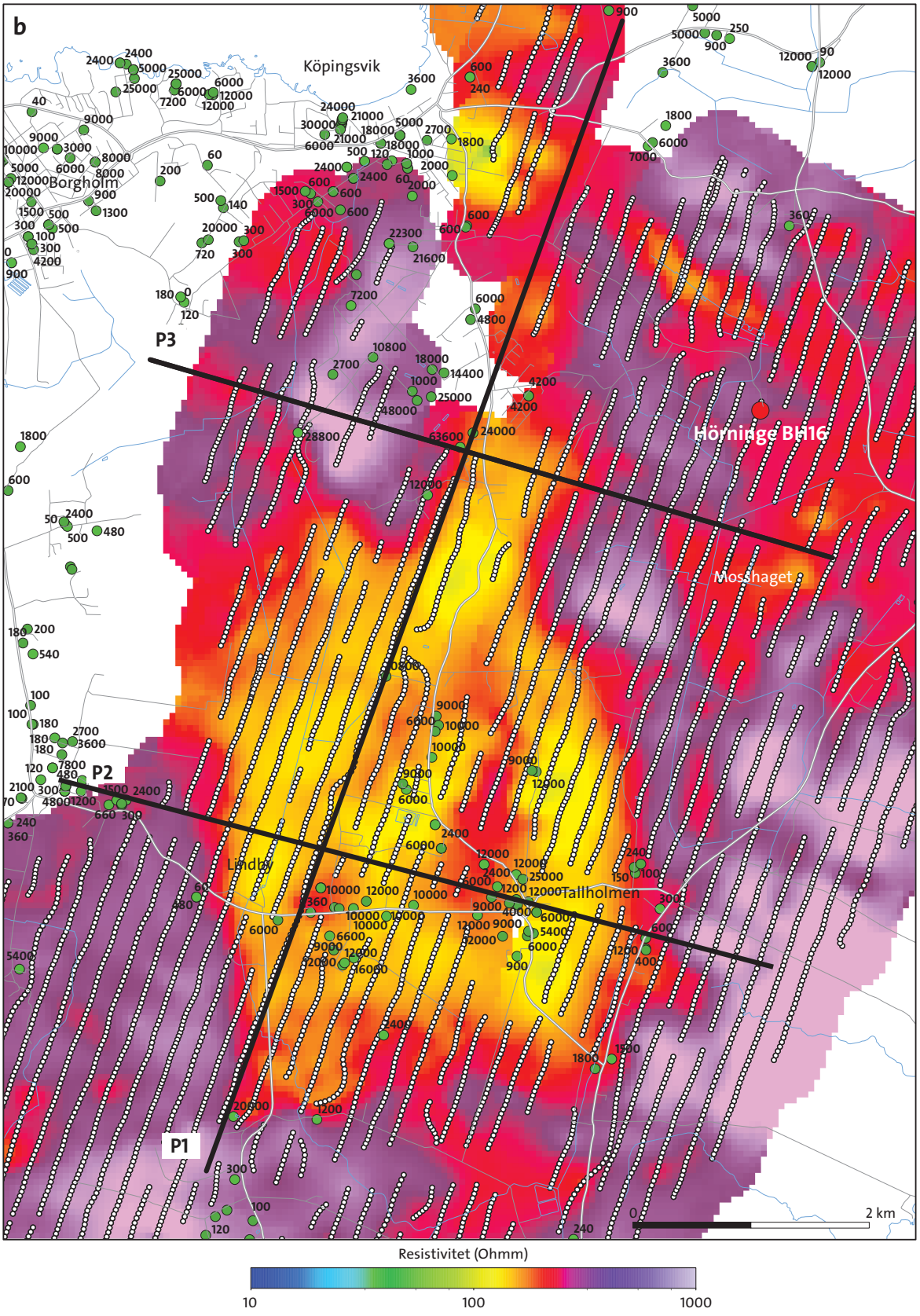
I figur 21b visas medelresistivitet i djupintervallet 0–10 m under markytan. Läget av befintliga borrhål (kapacitet uppvisas vid sidan i l/tim) och SkyTEM-linjer visas också i samma figur. I den centrala delen av området finns ett lågresistivt område med något högre resistivitet i mitten. På jordartskartan förekommer lerhaltig postglacial silt (fig. 21a) strax väster samt öster om isälvavlagringarna, vilken i sin tur kan ge upphov till de låga resistiviteterna. Det lågresistiva området omges av jordarter som förmodligen består av tunna lager fin- till grovkornig postglacial sand med relativt hög resistivitet som överlagrar berggrunden. Som framgår av figur 21b finns det många borrhål som ligger i den centrala delen av området vilket ger ett utmärkt underlag för att kunna genomföra en detaljerad jämförelse mellan geologi, borrhålsdata och resistivitetsmodellerna från SkyTEM.

I figur 22 presenteras några utvalda resistivitetssektioner inom Solberga–Lindbyområdet. Modellerna omfattar intervallet från markytan ner till ca 75 m under havsnivån. Jordlager med varierande resistivitet överlagrar kalkstensberggrunden. Kalkstenen syns generellt som ett mer högresistivt lager i modellerna. Under kalkstenen ligger berggrundslager med en betydlig lägre resistivitet som tolkas tillhöra Borgholmformationens siltsten och lerskifferdominerade berggrund.

I figur 23 illustreras en detaljerad jämförelse mellan resistivitetsmodeller och den befintliga geologiska informationen från jordartskartan och borrhålsinformation längs profilerna P1, P2 och P3 (fig. 21). P1 har en sydsydväst–nordnordvästlig riktning och är dryg 10 km lång. P2 och P3 är ca 6 km långa och tvärar över området i västnordväst–östsydöstlig riktning. P1 ligger mellan Ekendahl i söder och Törneby i norr. Resistivitetsmodellen tillsammans med befintliga borrhål längs profilen visas i figur 23a. Karterade jord-



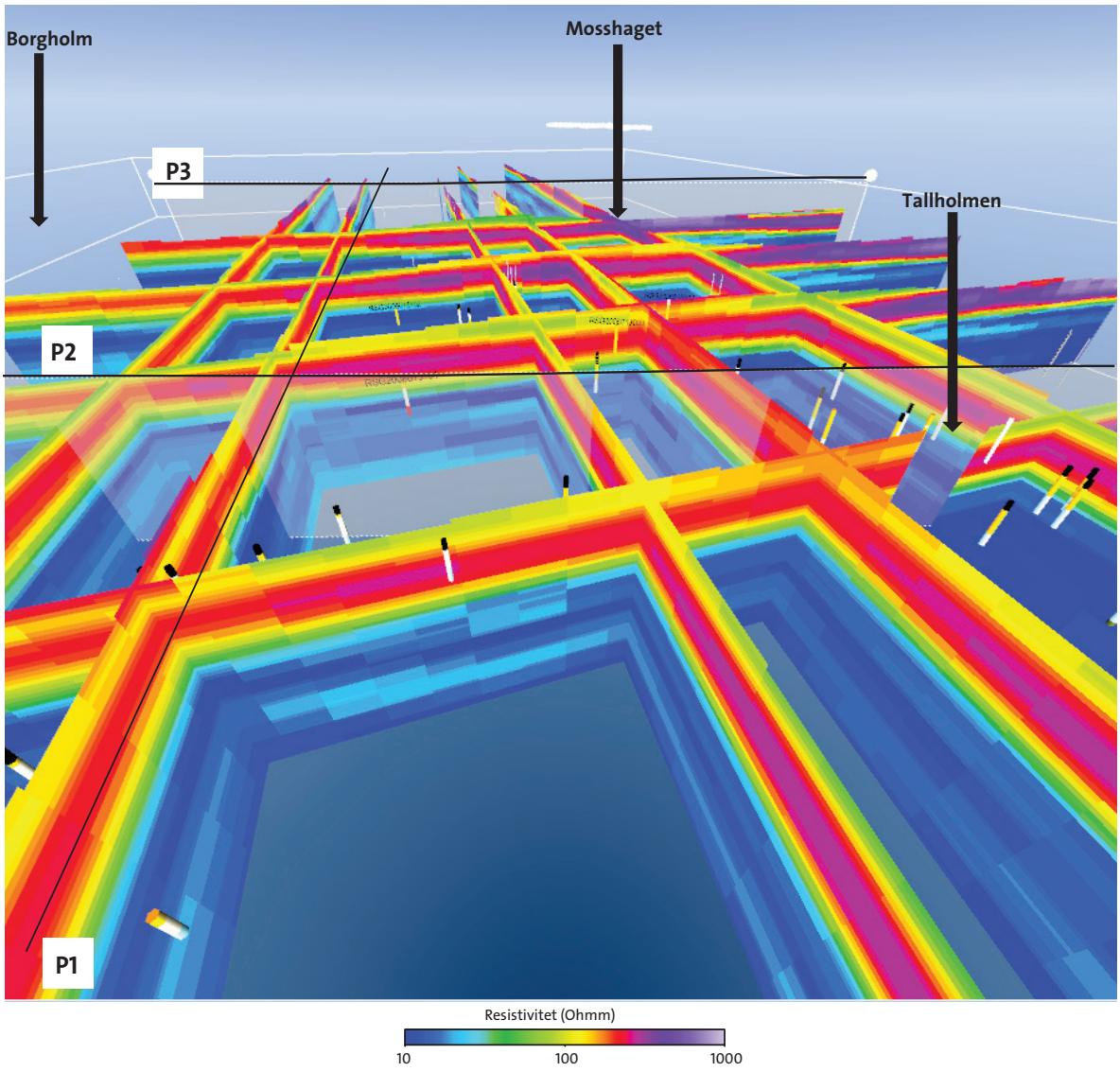
Figur 21. a) Jordartskarta. De tre svarta linjerna markerade med P1–P3 visar läget av utvalda profiler för detaljerad jämförelse i figur 23. Läget för borrhål Hörninge BH 16 visas med en större symbol (se bilaga 1 för borrprotokoll). SkyTEM flyglinjer presenteras med tunna svarta linjer. (se nästa sida för fig. 21b.)



Figur 21 b) Resistivitetskarta i djupsnitt 0–10 m. De tre svarta linjerna markerade med P1–P3 visar läget av utvalda profiler för detaljerad jämförelse i figur 23. Befintliga borrhål i SGUs brunnsarkiv visas med små gröna punkter. Läget för borrhål Hörninge BH 16 visas med en större röd symbol (se bilaga 1 för borrprotokoll). Sonderingarna presenteras med tunna vita prickade linjer.

arter presenteras som ett tunt skikt i de övre delarna av profilerna. Den streckade svarta linjen visar djup till berggrundsytan. De nordöstligaste 3,5 kilometrarna av profilen är beräknat på data från närliggande flyglinjer genom en tredimensionell interpolation. I regel har isälvssedimenten högst resistivitet av jordarterna i resistivitetsmodellen (över 200 Ohmm). Silt och postglacial silt har den lägsta resistiviteten (mindre än 50 Ohmm). Resistiviteten för den underliggande kalksten varierar mellan ett par 100 Ohmm och 600 Ohmm längs P1. Variationen beror framför allt på andelen sprickor i kalkstenen. Områden täckta med ett tunt moränlager ovanpå berggrunden visar relativt höga resistiviteter som i stort sätt beror på otillräcklig upplösning av SkyTEM-data i detta intervall.

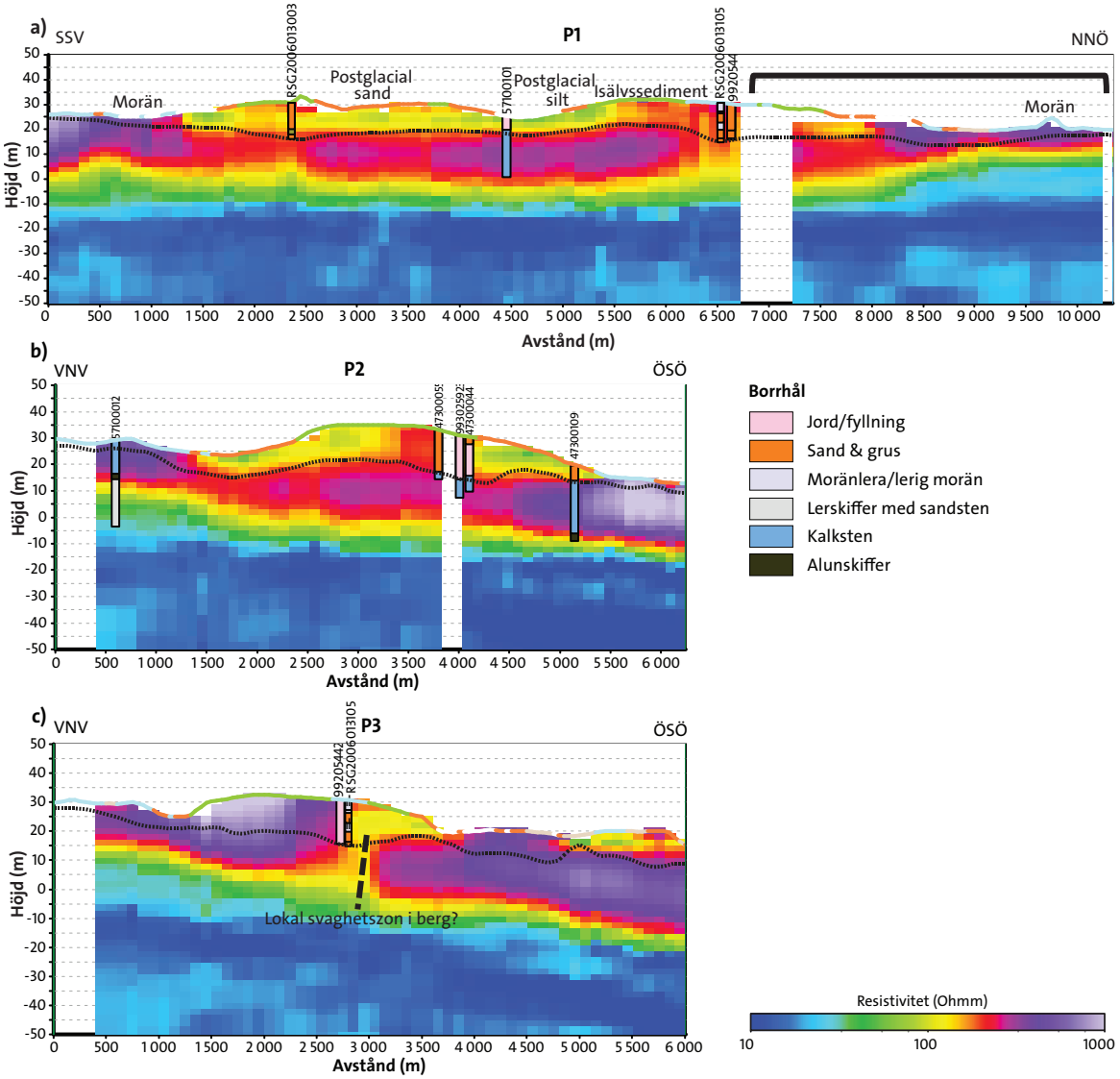
Profil 2 börjar i Räpplinge i väst, går genom byn Sörby och fortsätter 2 km österut. Längs P2 finns nio borrhål som visas på resistivitetsmodellen i figur 23b. Borrhålen centralt i profilen där jordlagret är mäktigast har högre uttagskapacitet (högst 12 000 l/tim) än övriga borrhål. Kalkstenen är mäktigast och mest resistiv i östra delen medan den har lägre resistivitet i mitten av profilen som förmodligen tyder på förekomst av lokala vattenmättade sprickor. Kalkstenen uppvisar en skålformad struktur (svag sänka) mellan 1 000 och 2 600 m i profilen där det troligtvis sker grundvattenbildning.



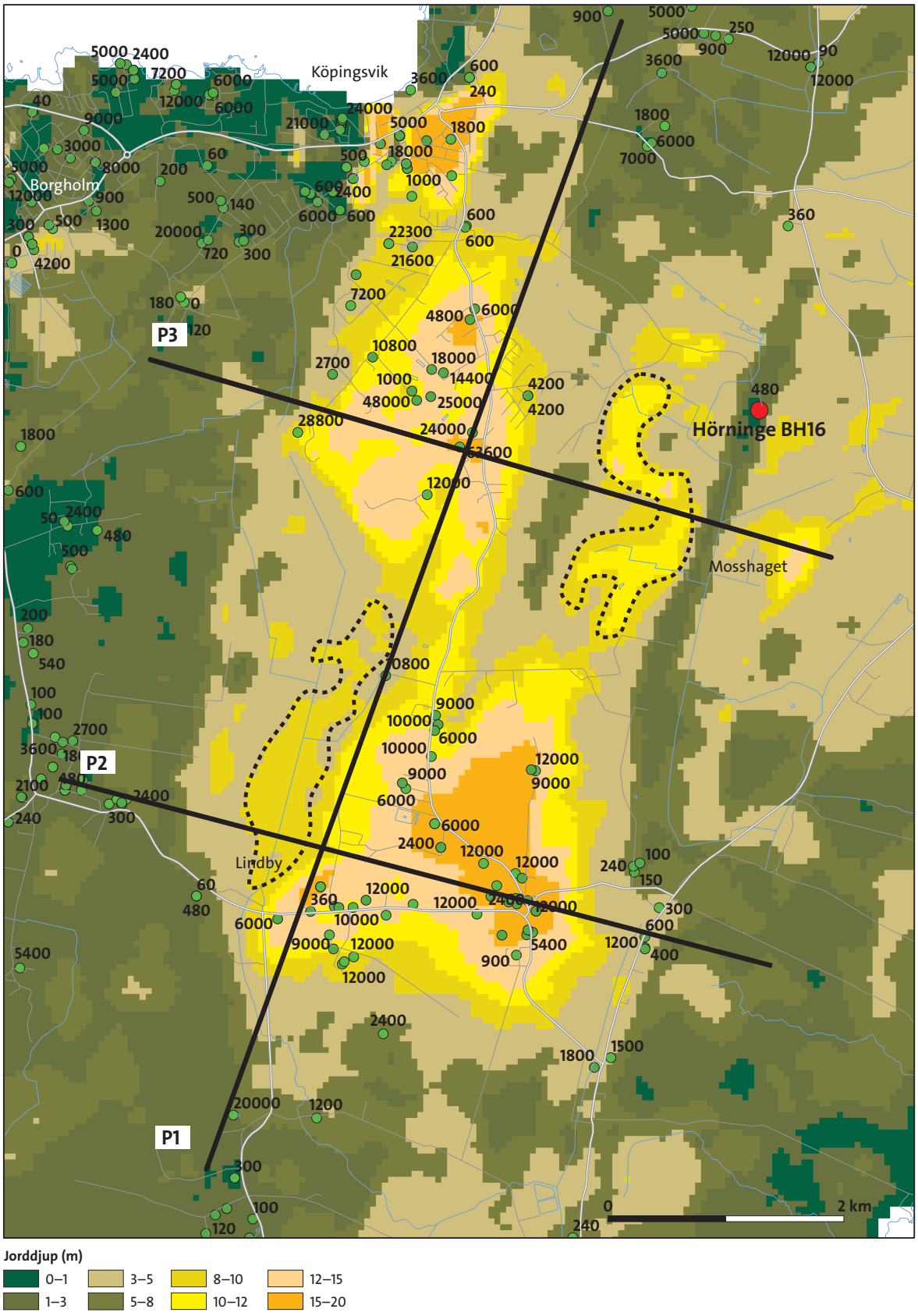
Figur 22. Resistivitetsmodeller från området visat i ett rutnät av sektioner som en 3D-figur.

P3 börjar ca 500 m söder om Kolstad och slutar en km öster om Bredsättra (fig. 21a, b). Två borrhål ligger nära profilens centrala delar (vid 2 750 m i profilen). Ett borrhål är från SGUs grundvattenkartering observationslokal (RSG2006013105) där det finns en detaljerad beskrivning av lagerföden. Observationerna visar att det finns omväxlande lager av sandig morän, grusig sand och moig/grusig sand. Det andra borrhålet borrades 1992 (ID: 992054429) och hade en uppskattad kapacitet på drygt 63 000 l/tim. I borrprotokollet finns inga noteringar om grundvattenegenskaperna i den underliggande berggrunden. Resistivitetsmodellen däremot innehåller värdefull information både om djupet till berggrundsytan samt dess sprickighet. Strax öster om borrhålet, central i profilen (vid 2 900 m), finns en tydlig nästan vertikal lågresistiv zon i berggrunden. Med hänsyn till den höga kapaciteten i borrhålet kan zonen förmodligen vara en lokal sprickzon i kalkstenen.

I figur 24 visas en jordmäktighetskarta över Solberga–Lindbyfältet. Den har tagits fram genom samtolkning av SkyTEM-data, borrhålsdata och SGUs jordartskarta. På kartan anges även uppmätt



Figur 23. Resistivitetsmodell längs a) profil P1, b) profil P2 och c) profil P3. Borrhål som ligger närmare än 50 m från profilerna visas. Svart streckad linje anger tolkat djup till berggrunden. Svart tjock linje i den östra delen av P1 markerar område där modellerna bygger på interpolerade data från intilliggande flyglinjer. Streckad vertikal svart linje i c) visar en möjlig sprick- eller svaghetszon i kalkstenen.

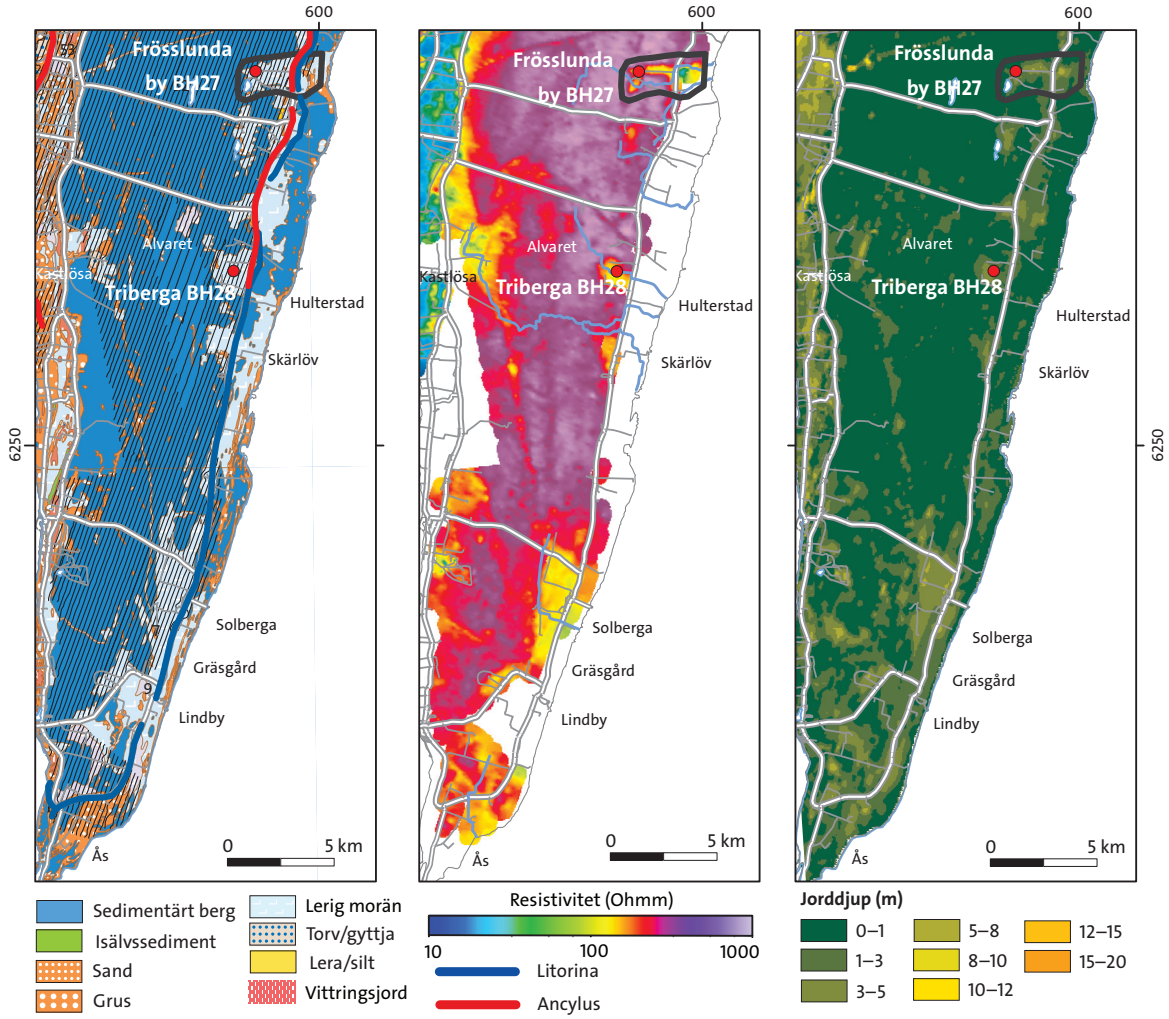


Figur 24. Jorddjupsmodell från samtolkning av flera databaser inklusive SkyTEM-data. De streckade polygonerna markerar områden där grundvattenbildning bedöms ske och där nya brunnar kan ge bidrag till vattenförsörjningen.

vattenmängd (l/tim) i borrhål som ligger inom området. Jordlagret är mäktigast (24,7 m) nära Köpings kyrka medan jorddjupet på många ställen i ytterområdet är mindre än 1 m. Mäktigheten är större än 10 m inom ett relativt stort område i den centrala delen av kartan. Användning av resistivitetsmodellerna och observationer i det nya borrhålet i Hörninge har lett till att områden med extra goda möjligheter där grundvattenbildningen kan förekomma identifierats. Två möjliga områden på kartan har markerats med svarta streckade polygoner där det idag inte finns några borrhål. Båda områdena ligger troligtvis mellan två lokala berggrundsryggar.

Lokala relativt mäktiga moränavlagringar på kalksten

I de låglänta sydöstra delarna av Öland finns några mindre områden med relativt mäktiga (3–12 m) moränavlagringar på kalksten (fig. 25). I resistivitetssignalen skiljer sig dessa lågresistiva områden (50–150 Ohmm, fig. 25) tydligt från omgivningen, beroende på deras innehåll av lermineral och vatten. Avlagringarna står här i skarp kontrast mot den mycket högresistiva (över 500 Ohmm) kalkstenen som är att betrakta som torr. Berggrunden i områden med lågresistiv morän har ofta en lägre resisti-



Figur 25. Karta över sydöstra Öland som visar områden som har den geologiska miljön *Lokala relativt mäktiga moränavlagringar på kalksten*. Grå polygon visar området *Frösslunda* som beskrivs närmare i texten, a) jordartskarta med SkyTEM-flyglinjer och med markerade strandvallar från Littorina- och Ancylusstadier, samt borrningar, b) karta som visar resistivitetsfördelningen i de översta 2 m av marken, c) jorddjupsmodellen med borrningar.

vitet än berggrunden utan jordlager. En möjlig förklaring till detta är att det sker mer grundvattenbildning i områden med jordlager än i områden utan, det vill säga berggrunden under mäktiga jordlager har generellt ett större vatteninnehåll. Man bör därför se moränområden som intressanta när det gäller grundvattenuttag eftersom de har en relativt god förmåga att hålla kvar vatten i området.

I figur 25 visas de flyglinjer längs vilka det finns SkyTEM-data. SGU har utfört två undersökningsborrningar (tabell 5) kopplat till denna geologiska miljö (fig. 25). Utförligare information om borrningarna finns i bilaga 1. Som typexempel på denna geologiska miljö har vi valt ett område i Mörbylånga kommun som ligger vid Frösslunda och Norra Kvinneby, i rapporten kallar vi området *Frösslunda*. Områden med liknande geologisk miljö finns vid Gräsgård, Skärlöv och Hulterstad (borrhål Triberga BH28, fig. 25). Även området nere vid Ås kan liknas vid denna typgeologi trots att jordlagren här domineras av sand (fig. 25).

De identifierade områdena ligger öster om Alvaret och genom samtliga rinner vattendrag med avrinning österut. Dessa vattendrag har i flera fall stora tillrinningsområden och sträcker sig från Västra landborgen till utflödet på östra sidan av ön. Det betyder att ansenliga mängder vatten transporteras genom dessa avrinningsområden. De utpekade områdena karakteriseras även av att de har en markant strandvall som löper längs hela östra Öland ofta mellan 0,5 och 2,5 km från kusten. För att underlätta dräneringen av vattendragen genom vallen är den på sina ställen genomgrävd. Anledning är utdikningar under sent 1800- och tidigt 1900-tal, som gjordes för att skapa åkermark. I naturligt tillstånd fungerar strandvallen som en barriär och ett stort antal våtmarker fanns tidigare väster om strandvallen. Idag fungerar strandvallen endast dämmande på små sträckor. De senaste två decennierna har man dock börjat återskapa våtmarker på västra sidan av strandvallen. Diskussion kring de utdikade våtmarkernas betydelse för grundvattennivåerna finns bland annat i Wågman (2002) och Bergqvist (2015).

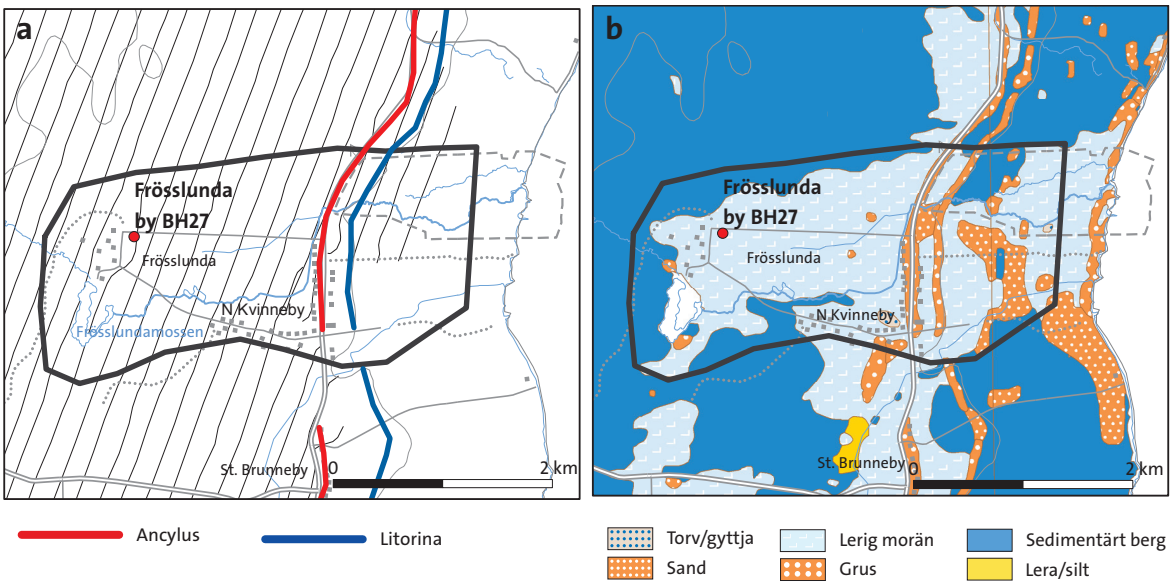
Exempel: Frösslunda

Området *Frösslunda* är cirka sju kvadratkilometer och består till stor del av uppodlad mark samt två mindre tätorter. I områdets västra del ligger Frösslundamossen från vilken Frösslundabäcken rinner österut genom området. I södra delen finns även Stenåsabäcken. Enligt SMHIs modellresultat (HYPE 2017) är medelavrinningen 270 l/s med ett medelhögflöde på 1,83 m^3/s och ett medellågvattenflöde på 30 l/s. Avrinningsområdet är ca 40 km^2 och den totala vattenföringen under ett år i Frösslundabäcken är enligt SHMI 8,5 miljoner m^3. Området *Frösslunda* är flackt och har en lerig kalkstensmorän som täcker berggrunden (fig. 26). Moränen är vanligen 2–3 m mäktig men kan lokalt vara 10 m (fig. 27). Genom området löper två parallella strandvallar: överst (det vill säga längst mot väster) ligger Ancylusvallen och ca 250 m längre mot öster ligger Litorinavallen (fig. 26). Bägge vallarna är huvudsakligen uppbyggda av sand och grus. Berggrunden består överst av 25–30 m av kalksten som överlagrar 10–12 m alunskiffer som i sin tur överlagrar siltsten och lerskiffer tillhörande Borgholmformationen.

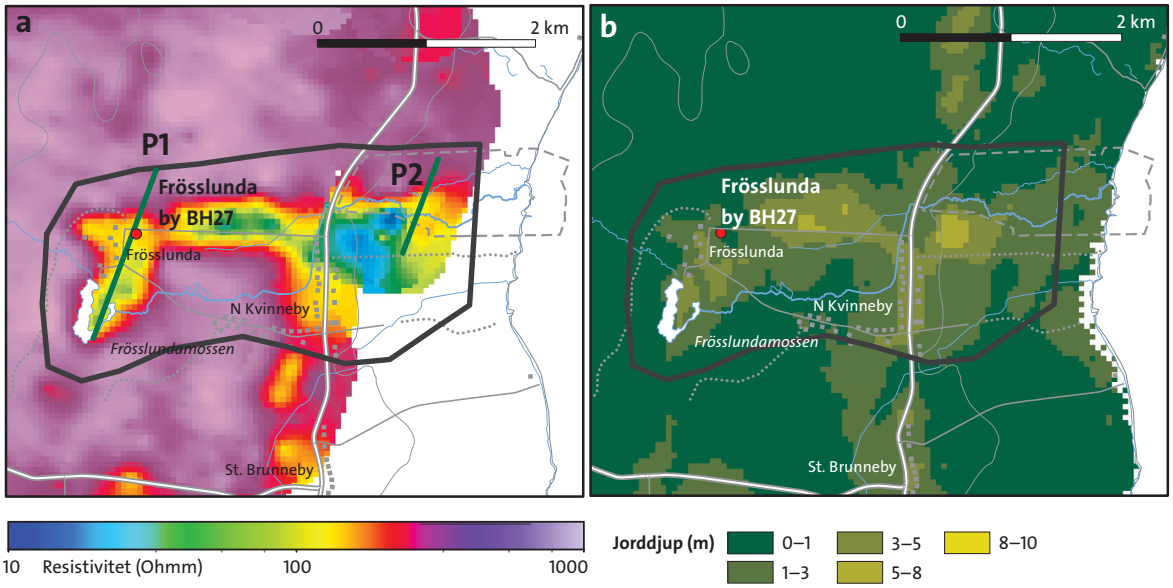
Resistivitetsdata visar att jordarterna inom området varierar mellan 50–200 Ohmm, där de lägsta

Tabell 5. Information om de borrhål som utförts inom den geologiska miljön *Lokala relativt mäktiga moränavlagringar på kalksten*. Grundvattenytan (Gvy) representerar grundvattenytan i berg och är uppmätt antingen direkt efter borrning, eller vid senare fältbesök och ska ses som ungefärlig. (m.u.m.y. = meter under markytan) Utförligare underlag om varje borrning redovisas i bilaga 1.

Borrhål	Jorddjup (m)	Foderrör (m)	Djup (m)	Gvy (m.u.m.y.)	Uppskattad kapacitet (l/tim)	Syfte/underlag/kommentar
Frösslunda by BH27	4,5	6	30	3,21	21000	Grundvatten jord–berg, SkyTEM, resistivitet berggrund ~200 Ohmm
Triberga BH28	0,5	6	45	0,65	<50	Grundvatten jord–berg, resistivitet berggrund ~300 Ohmm



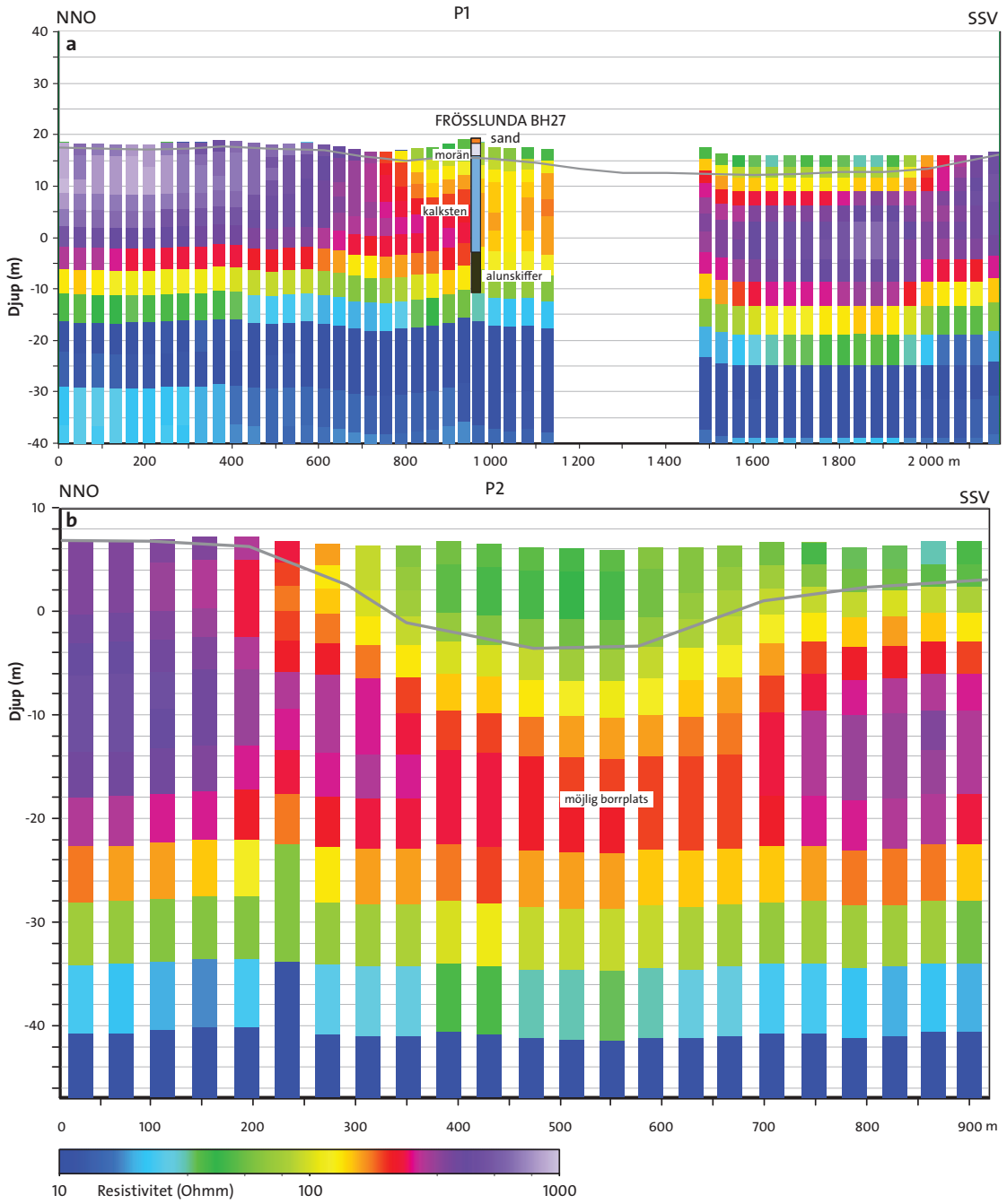
Figur 26. a) området *Frösslunda* avgränsas av grå polygon. Röd punkt visar läget för borrhål som diskuteras i texten. De svarta strecken motsvarar flyglinjerna för SkyTEM-undersökningarna och de blå och röda linjerna markerar strandvallar från Littorina- och Ancylusstadier, b) området *Frösslunda* med jordartskartan som bakgrund.



Figur 27. a) Området *Frösslunda*. Figuren visar medelresistivitet för de översta två metrarna, utförda borrhål, samt profillägen för figur 28, b) området *Frösslunda*. Figuren visar jorddjupsmodellen och borrhål.

resistiviteterna motsvarar leriga jordarter och höga resistiviteter sandiga avlagringar (fig. 26, 27). Kalkstenen har generellt en hög resistivitet (över 500 Ohmm), men i några mindre områden där den även överlagras av 3–5 m mäktiga jordlager har kalkstenen en resistivitet mellan 150 och 250 Ohmm. Den underliggande alunskiffern har en resistivitet mellan 100 och 300 Ohmm. Under alunskiffern följer silt- och lerskiffer tillhörande Borgholmformationen med en resistivitet på 15–50 Ohmm.

SGU har under 2017 utfört en ny brunn inom området (tabell 5). Borrhålet Frösslunda by BH27



Figur 28. a) Profil 1 som tvärar *Frösslunda*-området i västra delen med Borrhålet Frösslunda by BH27, b) Profil 2 i östra delen av området. Profillägena visas i figur 27. Grå linje visar tolkat jorddjup.

lokaliserades på en plats där det enligt SkyTEM-data borde finnas ca 10 m mäktiga jordlager som dels kan bestå av vattenmättad sand men även fungera som ett infiltrationsområde till den underliggande kalkstenen. Lagerföljden i borrningen är jord 0–4,5 m; kalksten 4,5–21,5 m; alunskiffer 21,5–30,0 m. Vid blåsning efter utförandet gav borrhålet ca 21 000 l/tim, en kapacitet som uppmättes redan vid 16 m djup. Det är av stort intresse, då det är i kalkstenen, och kvaliteten generellt är mycket bättre i kalkstenen än när man tvingas ta grundvatten från alunskiffern. I figur 28a visas en profil i nord–sydlig riktning med borrhålet Frösslunda by BH27 markerat. Det finns tydliga skillnader i resistivitet i berggrunden

norr och söder om området med borrningen. Norr om byn och borrhålet påträffas högresistiv kalksten ner till ca 20 m djup. I detta område bedöms förutsättningarna som dåliga att lyckas med en brunnsborrning. Söder om borrhålet ligger Frösslundamossen med våtmark och jordarter bestående av torv, gyttja, och lera med hög vattenmättnadsgrad. Mossen ligger i en sänka i berggrunden som består av högresistiv kalksten vilket indikerar att den har en låg vattenhalt. Anledningen till att våtmarken ligger där den ligger kan antingen bero på att Frösslundamossen har ett tätt bottenlager eller att kalkstensytan är tät och sprickfri. Områden med en liknande geologisk uppbyggnad som vid borrhålet Frösslunda by BH27 finns inom de lågresistiva områdena i figur 27. I huvudsak är det två delområden ett vid Frösslunda by och ett längre österut vid Frösslunda Sjömarks naturreservat (fig. 28b). Vid Frösslunda Sjömark är förutsättningarna liknande de vid borrhålet Frösslunda by BH27. I figur 28b visas en tvärprofil av området vid Frösslunda Sjömark naturreservat. Närheten till naturreservatet kan göra området mindre lämpligt för större grundvattenuttag även om det finns fördelaktiga geologiska förutsättningar.

Regionala svaghets- och sprickzoner i kalksten

På Öland förekommer det frekvent svaghetszoner i kalkstensberggrunden. Dessa finns över hela ön, men är mest framträdande på södra Öland där de syns tydligt i terrängen. De svaghetszoner som karterats med hjälp av resistivitetsdata är mellan några tiotals till hundratals meter breda och går ibland att följa i tiotals kilometer lateralt och upp till 30 m i djupled. Flera av svaghetszonerna är fyllda med jordlager som lokalt kan vara upp till 15 m mäktiga. I flera fall är vegetationen i anslutning till dessa zoner betydligt frodigare jämfört med kringliggande markområden. I vissa fall är även mindre vattendrag knutna till dessa zoner. Zonerna är vanligtvis knutna till en förhöjd sprickighet i kalkstenen. I figur 29 visas de tolkade svaghetszonerna på Öland.

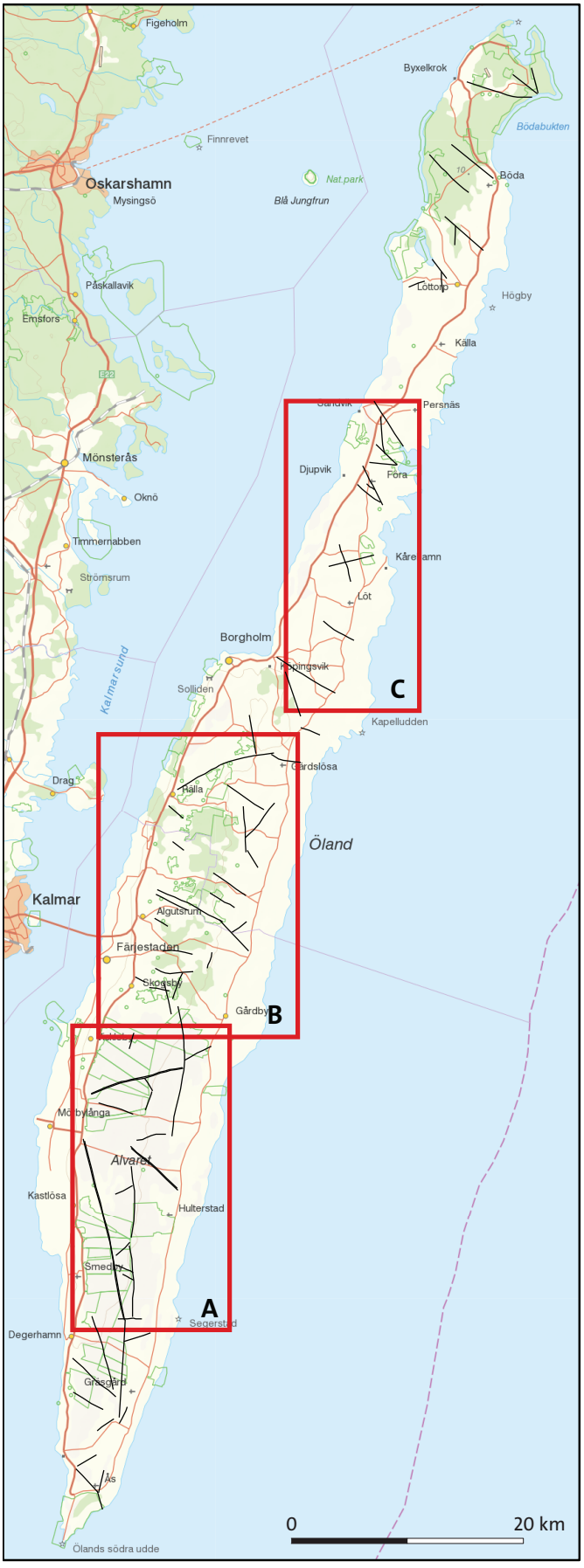
I rapporten redovisas fyra områden med större observerade svaghetszoner i kalkstensberggrunden, det vill säga Södra Öland–Stora Alvaret (Resmo), Mittlandsskogen (Tveta) och Borgholm–Persnäs. Det fjärde området som innefattar Norra Öland beskrivs inte i detta kapitel utan under den geologiska miljön *Uthålliga sand- och grusavlagringar på kalksten*. Anledningen är att sprickzonerna troligen är något underordnade rent hydrogeologiskt om man jämför med de förutsättningar som skapas tack vare de uthålliga sand- och grusavlagringarna på norra Öland.

Södra Öland–Stora Alvaret

På södra Öland förekommer uthålliga svaghetszoner i berggrunden som kan identifieras i höjddata samt ortofoton (fig. 30). Zonerna framträder även tydligt som lågresistiva strukturer på kartan över medelresistiviteten på 0–10 m djup, beräknad från SkyTEM-data (fig. 31). Vid detaljstudier av ortofoton över Alvarets hällområden framträder även orienteringen och frekvensen av sprickor i kalkstenen tydligt. Sprickmönstret visar att mängden sprickor ökar markant i anslutning till de större svaghetszonerna.

De mest påtagliga uthålliga zonerna utgörs av tre stycken 50–300 m breda, ursprungligen ryggformade strukturer som löper nordost från Resmo till Sandby, sydsydost från Bårby till Ås via Kvinnsgröta och Eketorps Borg samt en struktur som löper nordväst om Gösslunda sydost mot Triberga. Stephansson (1971) redovisar att det förutom dessa förekommer mindre strukturer som består av uppspruckna 10–20 m breda och 50–200 m långa antiklinala veck, med en amplitud på upp till cirka två meter och uppspruckna mindre kalkstensdomer. En av de större domerna finns i Alvarets västra kant vid Klinta. Den några få meter höga domen är här ca 200 m i diameter. Dessa lokala strukturer framträder inte i resistivitetsdata. Däremot visar resistivitetsdata i figur 31 ett flertal lågresistiva strukturer som inte tidigare observerats i fält.

Strukturerna i området bedöms ha sitt ursprung i förkastningar och svaghetszoner i berggrunden som kan vara kopplade till förekomsten av en urbergshöjd i Mörbylångaområdet (Stephansson 1971). I samband med kompression av berggrunden bedömer Stephansson (1971) att höjden samt även lokala mäktighetsvariationer i den underliggande alunskiffern bidragit till att de bildats. Han bygger sin

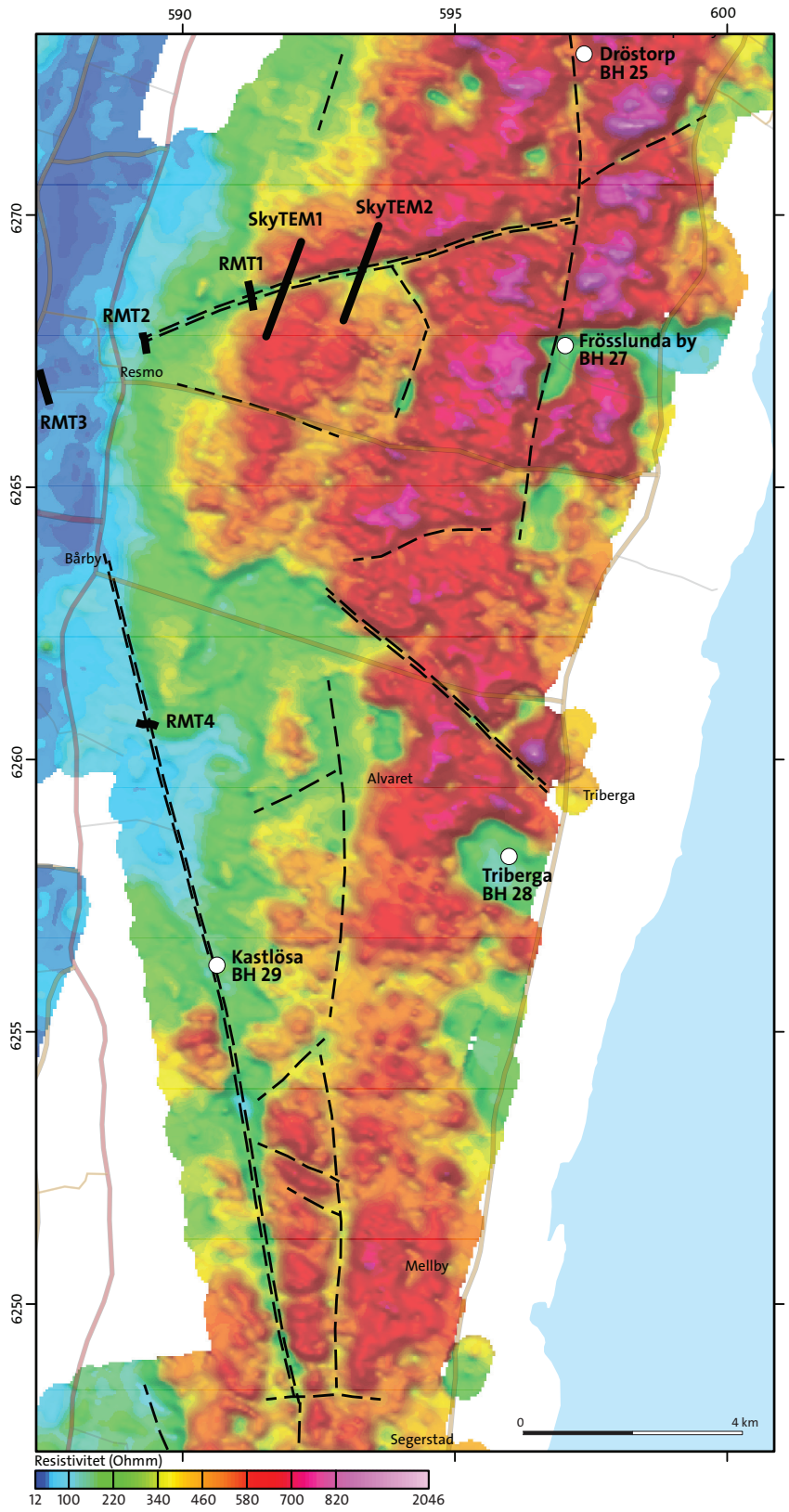


Figur 29. Karta över Öland med läget för tolkade uthålliga svaghetszoner i berggrunden. Område A= Södra Öland–Stora Alvaret, B= Mittlandsskogen och C= Borgholm–Persnäs.



Figur 30. Ortofoto över delar av södra Öland och Stora Alvaret. Pilarna visar läget för större svaghetszoner i berggrunden.

tolkning bland annat på att den undre delen av den mellankambriska lagerföljden, motsvarande Bårstad- och Mossbergaleden (äldre benämning *Oelandicus*-lager), är endast 7–8 m mäktig vid Mörbylånga jämfört med normala mäktigheter på 25–30 m. Dessutom påträffas normalt relativt djupt liggande lager med underkambrisk sandsten i strandlinjen vid Mörbylånga. Det finns även indikationer i resis-



Figur 31. Kartbild som visar medelresistivitet beräknad från SkyTEM-data, för de ytligaste delarna av marken ner till ett djup av 10 m. Kartan visar även läget för tolkade svaghetszoner (streckade linjer) som indikeras i resistivitetsdata samt läget för RMT-profiler, utvalda SkyTEM-profiler och borrningar utförda inom projektet.

tivitetsmodeller från SkyTEM-data att högresistiv, kristallin berggrund ligger högre upp än förväntat i området norr om Mörbylånga. SGUs magnetfältsdata från flygburna mätningar samt tyngdkrafts-data över samma område visar på förekomst av lågmagnetiska bergarter med relativt låg densitet i

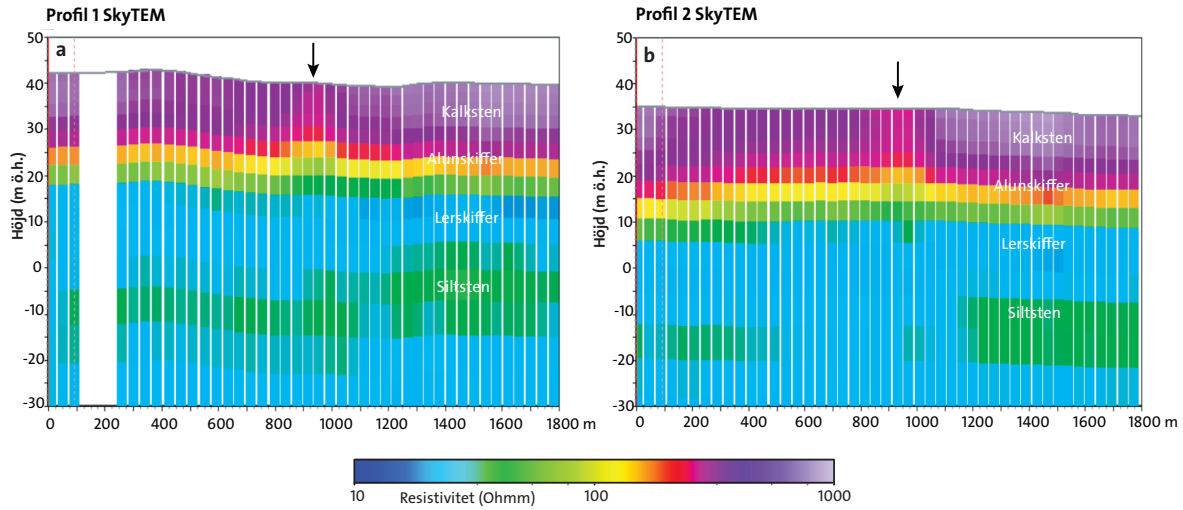
urberget vilka kan vara kopplade till en urbergshöjd med granitisk eller kvartsitisk sammansättning. Det finns dock inga borrhålsuppgifter från området som styrker eller förkastar dessa antaganden.

De uthålliga strukturerna på Alvaret karaktäriseras av låga eroderade sadelformade veck där berggrunden stupar svagt utåt på ömse sidor om veckaxeln. De centrala delarna av strukturerna utgör i dag små sänkor (mikro-dalgångar) som i varierande grad är fyllda med morän och sand samt restblock från den uppspruckna kalkstenen. Sänkorna är bildade till följd av att krönen på de ursprungliga vecken är kraftigt uppspruckna vilket gjort att dessa delar lättare eroderats jämfört med omgivande berggrund. I samband med senaste istiden har de fyllts med kvartärt material. I anslutning till strukturen som mynnar vid Resmo förekommer även en stor mängd instörtningsgropar (doliner) som bildats genom karstvittring i parallella stråk utmed Resmozonens brottkanter. De största dolinerna har en storlek på cirka 30 × 60 m och ett djup på cirka två och en halv meter (Högberg 1967).

Som exempel på denna geologiska miljö har vi valt att beskriva en svaghetszon i Mörbylånga kommun som kallas Resmozonen. Figur 32 visar två resistivitetsmodeller längs flyglinjer från SkyTEM-data som korsar denna zon. Strukturen framträder som en ca 100 m bred lågresistiv zon i de ytligt liggande kalkstenslagren. Djupare ner är det svårt att identifiera strukturen troligtvis på grund av den låga resistiviteten i lerskiffer och siltsten, dvs. även om strukturen förekommer djupare ner blir resistivitetskontrasten för liten för att den ska kunna identifieras. Det är även möjligt att strukturerna endast förekommer i kalkstens- och alunskifferavsnittet vilket även Stephansson (1971) resonerar kring.

Viktigt att komma ihåg är även att den teknik (1D-inversion) som används för att ta fram resistivitetsmodeller från TEM-data är anpassad för horisontellt lagrade strukturer. En tvådimensionell struktur som till exempel en vertikal sprickzon med skarpa laterala resistivitetskontraster blir därför inte korrekt återgiven i resistivitetsmodellen som visar en mer ”utjämnad” bild.

Detaljerade geofysiska markmätningar med RMT (radiomagnetotellurik) metoden har utförts i området inom ett tidigare uppdragsprojekt (Persson 2016). Tre av profilerna korsar Resmostrukturen och en profil korsar strukturen vid Bårby–Ås (fig. 31. Figur 33 visar resultatet från RMT-profil 1 som korsar strukturen ca 3 km öster om Resmo. Resistivitetsmodellen i figur 33 visar god överensstämmelse med resistivitetsmodellerna från SkyTEM-data men har en högre upplösning på grund av att mätningen är utförd på mark med ett tätare mätpunktsavstånd. Denna modell är även framtagen med så kallad 2D-inversionsteknik som tar hänsyn till laterala variationer längs profilen som till exempel en sprickzon. Modellen som visar ett högresistivt lager i ytan med en mäktighet på ca 10–15 m som



Figur 32. Resistivitetsmodell över Resmostrukturen längs två profiler i nordnordostlig riktning. Profillägena visas i figur 31. Notera att förhållandet mellan djup och längdskala är kraftigt överdriven.

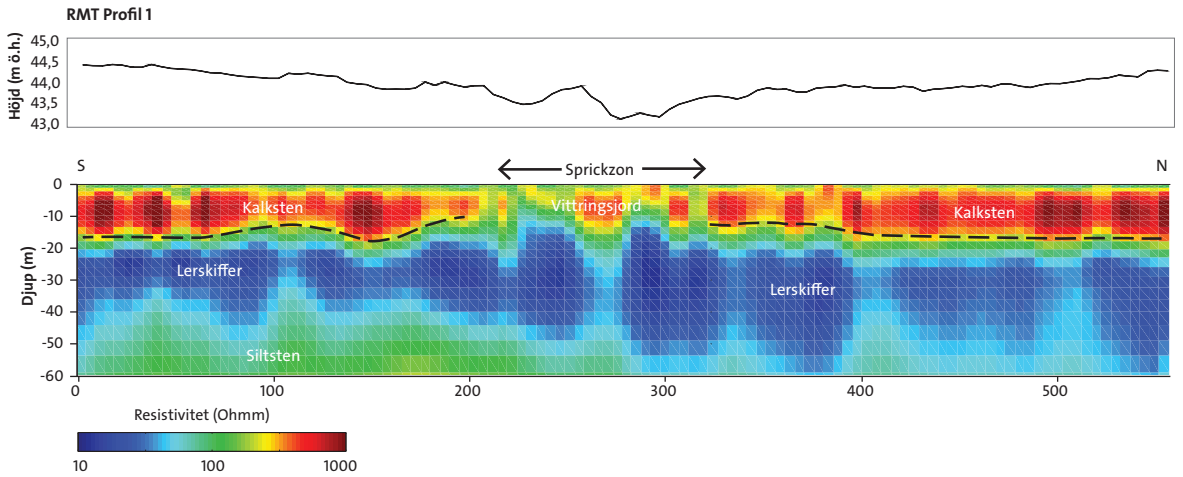
motsvarar kalksten. Vid läget för sprickzonen är resistiviteten betydligt lägre och resistivitetsmodellen visar tydligt zonens avgränsning och strukturens sönderbrutna uppbyggnad. Den något högre resistiviteten i de centrala delarna av zonen har tolkats som förekomst av vittringsgjord.

Förekomsten av kraftigt uppsprucken berggrund och att strukturerna ofta är fyllda med sand och grus gör att de är viktiga för både dränering och bildning av grundvatten från Alvaret och att de även innehåller mer grundvatten än omgivande berggrund. På flera platser förekommer källor och äldre bosättningar samt fornborgar var ofta lokaliserade utmed dessa regionala strukturer, sannolikt bland annat beroende på att här fanns tillgång till vatten. Ett exempel på källa är Resmo Källa, lokaliserad i anslutning till ett stråk med instörtningsgropar. Vidare finns ytterligare ett antal källor utmed strukturen Resmo–Ekelunda–Sandby, dvs. Lundkälla, Stenkällan och Sjukällorna. I strukturen som löper nordost ut från Triberga påträffas också ett antal kända källor, dvs. Borgkällan, Rörkällan och Bårbykällan. Även i strukturen Södra Bårby–Kvinnsgröta–Eketorps Borg–Ås påträffas källor, till exempel Bårbyborgs källa och Kärrekusa källa.

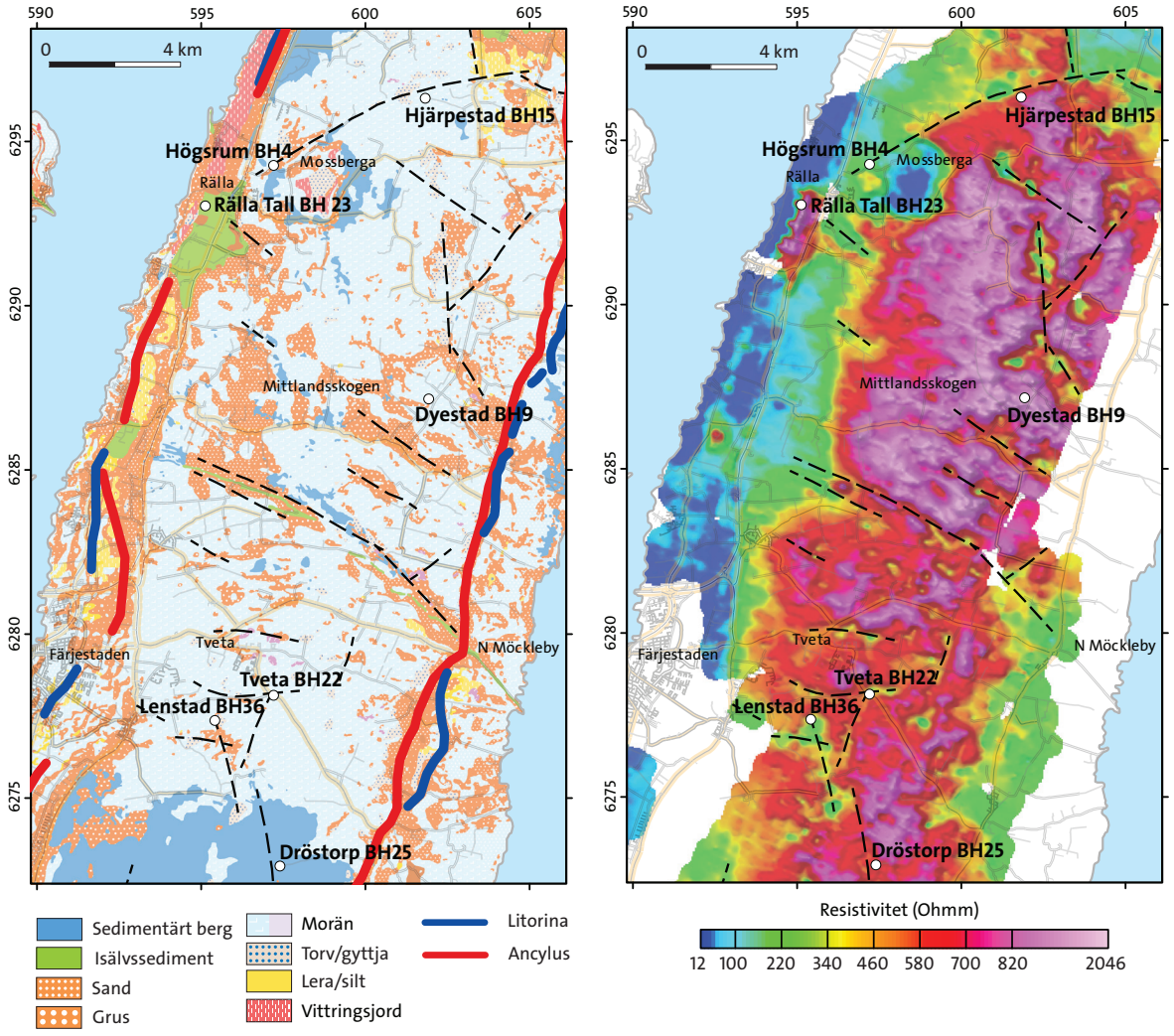
SGU har under 2017 utfört fyra borrningar kopplat till uthålliga svaghetszoner på södra Öland (fig. 31, tabell 6). Borrhålen Frösslunda by BH27 och Triberga BH28 är beskrivna i tidigare kapitel. Borrhålet Kastlösa BH29 är lokaliserat i anslutning till den större svaghetszonen som sträcker sig sydsydost från Bårby till Ås. Jorddjupet i borrningen är ca 2 meter, följt av kalksten till ca 20 m djup. Vid blåsning efter utförandet gav borrhålet en vattenmängd på endast ca 480 l/tim. Borrhålet Dröstorp BH25 är lokaliserat i den norra delen av området i anslutning till en svaghetszon indikerad från SkyTEM-data. Borrningen utfördes direkt på häll ner till ca 30 m djup. Vid blåsning efter utförandet gav borrhålet en vattenmängd på mindre än 50 l/tim.

Tabell 6. Information om de borrhål som utförts i anslutning till identifierade uthålliga svaghetszoner. Grundvattenytan (Gvy) representerar grundvattenytan i berg och är uppmätt antingen direkt efter borrning, eller vid senare fältbesök och ska ses som ungefärlig. (m.u.m.y = meter under markytan) Utförligare underlag om varje borrning redovisas i bilaga 1.

Borrhål	Jorddjup (m)	Foderrör (m)	Djup (m)	Gvy (m.u.m.y.)	Uppskattad kapacitet (l/tim)	Syfte/underlag/kommentar
Dröstorp BH25	0	6	30	7,5	<50	Grundvatten, SkyTEM, indikerad sprickzon
Kastlösa BH29	2,1	6	20	0,55	480	Grundvatten, SkyTEM, indikerad sprickzon



Figur 33. Resistivitetsmodell från markmätning med RMT metoden över Resmozonen. Profilläget visas i figur 31. Notera att förhållandet mellan djup och längdskala är kraftigt överdriven.

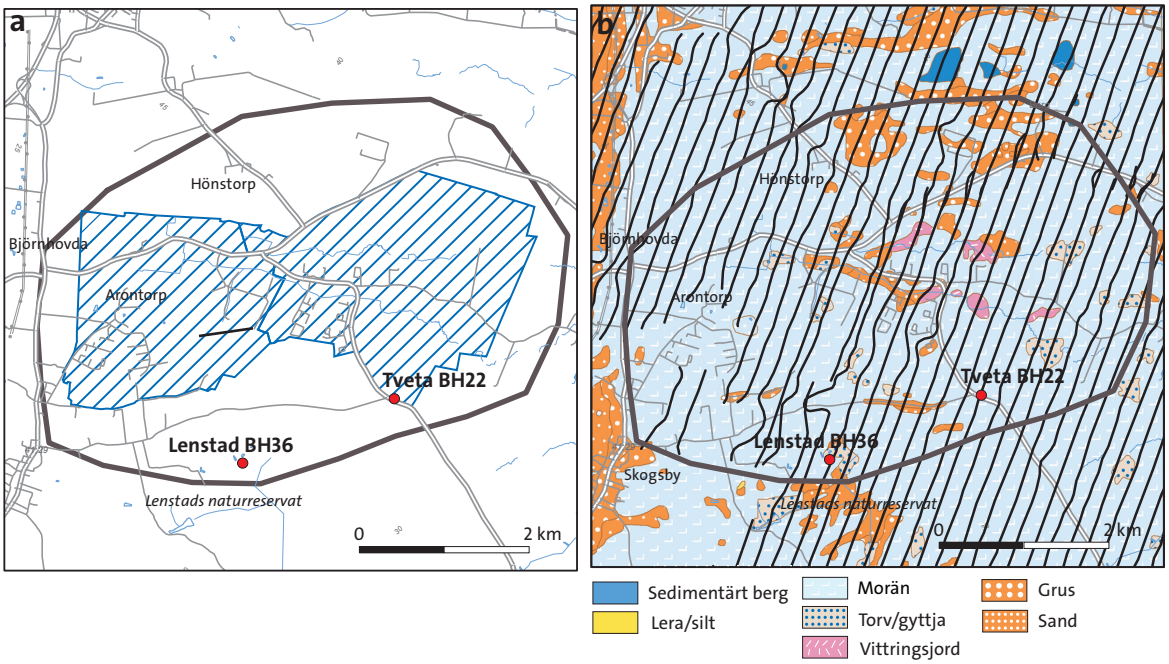


Figur 34. a) Jordartskarta med strandvallar, b) medelresistivitet beräknad från SkyTEM-data, för de ytligaste delarna av marken ner till ett djup av 10 m. Kartan visar tolkade svaghetszoner (streckade linjer) som indikeras i resistivitetsdata samt läget för borrningar.

Mittlandsskogen

Mellan Västra och Östra landborgen från Stora Alvaret i söder till Borgholm i norr ligger Mittlandsskogen. Områdets geologi karaktäriseras av några få meter mäktiga sand- och moränavlagringar på kalksten (fig. 34a). Kalkstenen är några få meter mäktig i de västra delarna och blir allt mäktigare österut. Figur 34b visar de svaghetszoner som indikeras i resistivitetsdata. Som typexempel på denna geologiska miljö har vi valt ett ca 22 km^2 stort område i Mörbylånga kommun som vi kallar *Tveta*. Liknande geologiska miljöer finns inom hela området som täcks av Mittlandsskogen.

Området *Tveta* ligger 45–28 m ö.h. och sluttar från nordnordväst mot ostsydost. I områdets västra del, vid Arontorp börjar ett vattendrag som med bidrag från ett stort antal våtmarker, mossar, diken och biflöden slutligen mynnar ut i havet öster om undersökningsområdet *Tveta*. Framför allt de östra delarna innehåller en stor andel våtmarker. Enligt undersökningar gjorda av Norconsult AB (2012) ligger grundvattennivån över marknivån i delar av områdets ostnordöstra hörn. Enligt SMHIs modellresultat (HYPE 2017) är medelavrinningen ca 100 l/s (beräknat på ca halva avrinningsområdet). Den totala ytvattenavrinningen via bäcken vid en punkt i östra delen av *Tveta* under ett år är enligt SHMIs beräkningar cirka 3 miljoner m^3.



Figur 35. a) Karta som visar avgränsningen (grå polygon) av det beskrivna området *Tveta*. Röda punkter visar de borrhål som diskuteras i texten. Blå-streckat område anger utbredningen av vattenskyddsområdet Tveta, b) området *Tveta* med jordartskartan som bakgrund. De svarta strecken anger de flyglinjer längs vilka SkyTEM-undersökningar gjordes.

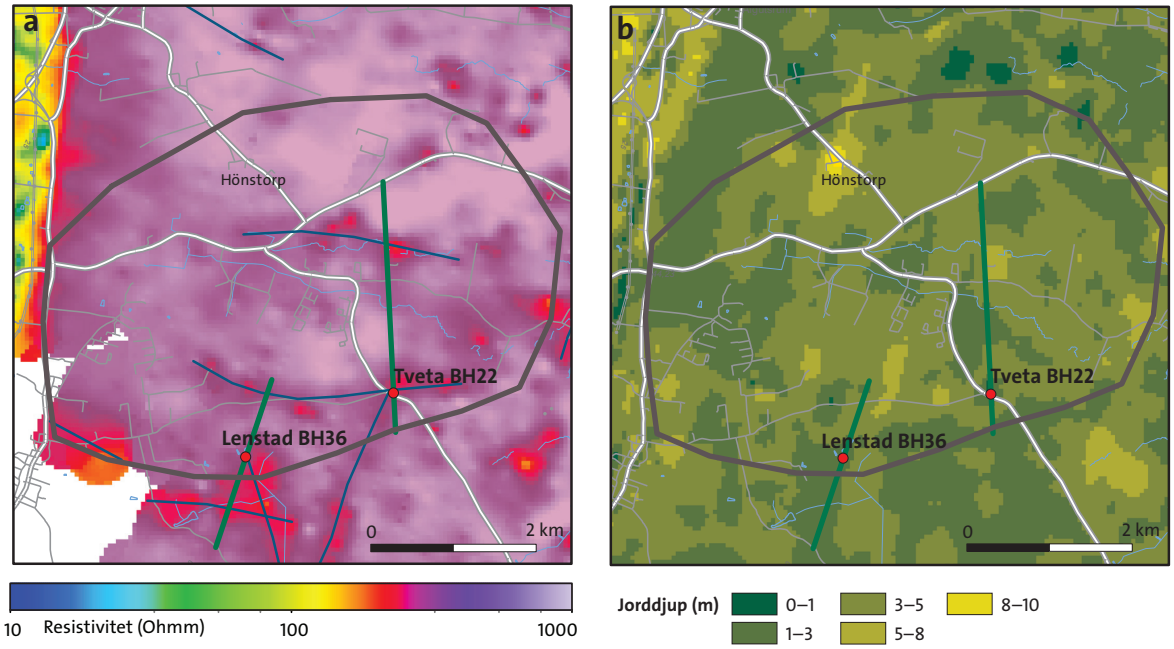
I området finns en kommunal vattentäkt med ett antal uttagsbrunnar och ett vattenskyddsområde (fig. 35a). Mörbylånga kommun som huvudman för vattentäkterna har intern information från flerårig vattentäktsverksamhet inkluderande brunnsdata och information från observationsrör med mera.

Området vid *Tveta* är ett flackt område med lerig kalkstensmorän som täcker berggrunden (fig. 35b). Moränen är uppemot 5 m mäktig. Tunna svallsediment, delvis i form av vallar med utsträckning i väst–öst, finns ovanpå morän. I sänkor i moränen finns också tunna lager av svämsediment och kärrtorv (fig. 35b). Om man ser till berggrunden kan man förenklat dela in området i två delar, en västlig med något tunnare kalksten i ytan överlagrande alunskiffer och därunder lerskiffer, och en östlig del med något mäktigare kalksten ovanpå alunskiffer och lerskiffer. Den västliga delen har en högre andel jordbruksmark medan den östliga delen domineras av skogsmark.

Resistivitetsfördelningen i de översta metrarna inom i stort sett hela området karakteriseras av mycket höga resistiviteter (över 600 Ohmm), vilket tyder på torra förhållanden, en högresistiv kalksten och små jordmäktigheter. Resistivitetsmodellen tillsammans med befintlig brunnsinformation har möjliggjort en uppdatering av jorddjupsmodellen för området (fig. 36b). Några mindre avskilda områden är tillräckligt blöta eller har större jordmäktigheter vilket sänker resistiviteten till ca 200 Ohmm (fig. 36a).

Kalkstenen har en mycket hög resistivitet, i medeltal ca 600 Ohmm, inom hela området. Mäktigheten är 15–20 m inom området, något tunnare i väster. Inom området finns ett antal relativt lågresistiva tolkade svaghetszoner (fig. 36a). I dessa är resistiviteten ca 300 Ohmm till skillnad mot omkringliggande kalksten på 400–800 Ohmm.

SGU har under 2017 utfört två nya brunnar inom området (tabell 7). Borrhålet Tveta BH22 placerades där det enligt SkyTEM-data borde finnas en svaghetszon i berggrunden som skulle kunna vara vattenförande. Jorddjupet var endast några få decimeter och borrningen utfördes till ca 36 m djup (fig. 36a). Vid blåsning efter utförandet gav borrhålet endast ca 360 l/tim. Enligt borrarna var berggrunden kraftigt uppsprucken vilket också verifieras av att man behövde 9 m foderrör. Borrhålet Lenstad BH36 placerades i en annan men närliggande svaghetszon (fig. 36a). Jorddjupet var 1,1 m,



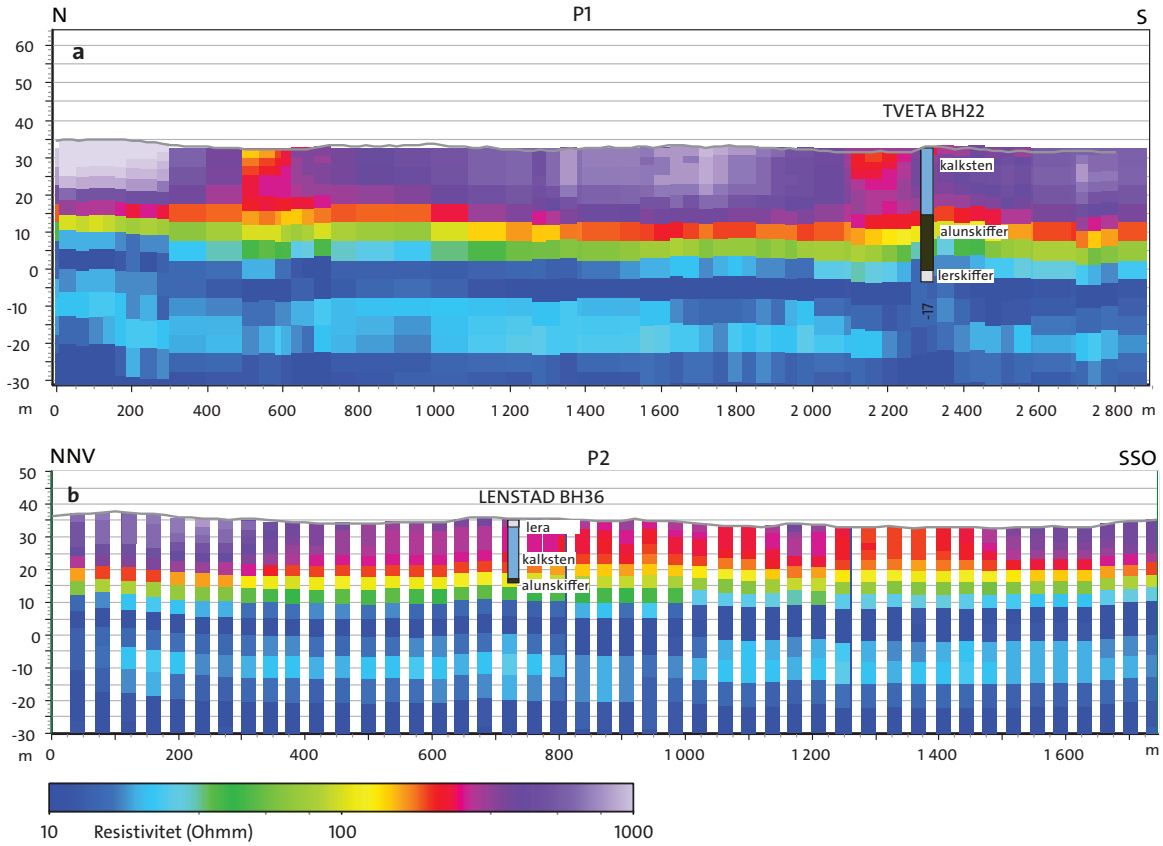
Figur 36. a) Området *Tveta*. Figuren visar medelresistiviteten ner till 2 m djup i marken, utförda borrhål, tolkade svaghetszoner (blå streck) samt profillägen (gröna streck) för profiler i figur 37, b) Området *Tveta*. Figuren visar jorddjupsmodellen och borrhål.

Tabell 7. Information om de borrhål som utförts i anslutning till svaghetszoner inom Mittlandsskogen. Grundvattenytan (Gvy) representerar grundvattenytan i berg och är uppmätt antingen direkt efter borrning, eller vid senare fältbesök och ska ses som ungefärlig. (m.u.m.y = meter under markytan) Utförligare underlag om varje borrning redovisas i bilaga 1.

Borrhål	Jorddjup (m)	Foderrör (m)	Djup (m)	Gvy (m.u.m.y.)	Uppskattad kapacitet (l/tim)	Syfte/underlag/kommentar
Jämjö BH15	1,4	3	50	9,2	18 000**	Tidigare indikerad sprickzon*
Dyestad BH9	0,8	3	50	24,5	360	Ökad geologisk information*
Tveta BH22	0,3	9	35	1,71	360	Grundvatten, SKyTEM, indikerad sprickzon
Lenstad BH36	1,1	9	19	1,7	<50	Grundvatten, SKyTEM, indikerad sprickzon
Dröstorp BH25	0	6	30	7,5	<50	Grundvatten, SKyTEM, indikerad sprickzon

*Borrhålen Jämjö BH15 och Dyestad BH9 utfördes innan SkyTEM-resultaten var klara och lokaliseringen grundades på den geologiska kunskap SGU hade vid det tillfället. ** Salt grundvatten

brunnen borrades till 19 m djup. Brunnen gav i princip inget vatten, trots att de översta metrarna av berggrunden var rejält uppsprucken (även här 9 m foderrör). Ingen av brunnarna gav mycket vatten men om man jämför med brunnslägena och profilerna ser man att de inte är placerade mitt i zonen vilket skulle kunna betyda att det finns större kapacitet i zonerna än vad borrhålen visar. (fig. 37). En bättre lokalisering av nya brunnar bedöms kunna ge större möjliga grundvattenuttag i båda zonerna. Man bör även studera de områden som har en något större jordmäktighet inom *Tveta*-området till exempel i närheten av Hönstorp (fig. 36b).



Figur 37. a) Resistivitetsfördelningen utmed profil 1 med borrhålet Tveta BH22. Profilen går något tvärs flyglinjerna vilket resulterar i något större avstånd mellan datapunkterna i denna profil. Det medför att luckorna fyllts med information från ett 3D-grid för området. b) Resistivitetsprofil för Profil 2 vid borrhål Lenstad BH 36. För profilernas lokalisering se figur 35 och 36a.

Borgholm–Persnäs

Området mellan Borgholm och Persnäs är extra intressant då det saknas kommunala vattentäkter i området. Dessutom finns här inget utpekat område i den vattenförsörjningsplan som Norconsult AB tagit fram (2015) som beskriver samtliga, ur deras grundvattensynpunkt, intressanta områden på Öland. Anledningen till att området mellan Borgholm och Persnäs inte omnämns av Norconsult kan vara att de bedömt området som mindre intressant eller på grund av att förhållandena i området är dåligt kända.

Området är flackt och ett tunt lager kalkstensmorän täcker delvis berggrunden. Moränens lerhalt varierar: huvuddelen av moränen är lerig och sandig, men även sandig morän (med lerhalt under fem procent) förekommer. I den västra delen av området, Alvaret, saknas jordlager nästan helt. På moränen finns svallsand och svallgrus huvudsakligen i tunna lager men även i form av strandvallar. Större mängder svallsediment finns vid den västra kusten där Litorinahavets strandvall ligger. I sänkor finns även kärrtorv samt tunna torvlager på låglänta områden med svallsand.

Ytberggrunden består av kalksten. Längs den västra kusten finns ett antal blottningar i kustklinten och här kan man tydligt se den tunna alunskiffern och den siltstensdominerade övre delen av Borgholmformationen. Kalkstenen är cirka en meter mäktig i de västra delarna och ökar till 25 m i de östra. Alunskiffern är uppemot två meter mäktig i området och underlagras av Borgholmformationen.

De huvudsakliga svaghetszonerna som identifierats i resistivitetsdata beskrivs var för sig nedan. Det finns antydan till flera svaghetszoner även om indikationerna är något svagare. Det kan ändå vara värt att undersöka dessa zoner i framtiden (fig. 38). I området har SGU utfört åtta borrningar (tabell 8, bilaga 1). Varje borrning beskrivs närmare under respektive områdesbeskrivning.

Från Köpingsvik i nordväst ner mot Kläppinge i sydost finns en svaghetszon (zon 1 i fig. 39, samt fig. 38). Zonen kan delvis vara en del av den zon som kallas för Gestadås av Stephansson (1971). Borrningen Hörninge BH16 borrades i utkanten av denna zon. För att minimera riskera att påverka Hörninge mosse borrades den en bit från denna. Borrningen gav lite vatten 480 l/tim. Kalkstenen var mycket uppsprucken i de översta metrarna (0,5–8,5 m) men även i de djupare partierna av borrhålet (23,5–28,0 m). En bättre lokalisering av ett borrhål i denna zon bedöms kunna ge mer vatten än den genomförda borrningen. Strax söder om denna zon ligger Bredsättra–Gåtebo som också bedöms intressant. Även detta område håller en lågresistiv volym av fuktig kärrtorv i Skedemosse. Den låga resistiviteten sträcker sig ned mot Skedstad där det också finns mäktiga jordlager (upp till 13,5 m).

Två lågresistiva zoner korsar varandra strax öster om byn Lilla Stacketorp (zon vid pil 2 i fig. 39, samt fig. 38). De två svaghetszonerna är olika tydliga på olika djup men faktum att de skär varandra i ett område gör det hela extra intressant då det borde öka chanserna för en bättre grundvattenpotential. Båda zonerna går att följa ned till ca -15 m ö.h. Området där de båda zonerna går ihop har ett jorddjup på tre till fem meter och jordarterna består av sand, grus och kärrtorv. Det är dock svårt att komma till att borra i de mest intressanta delarna av området. Ett försök att borra i svaghetszonen gjordes en bit söderut genom borrhålet Torparegärde BH33. Borrningen gav inget vatten förrän i siltstenen och detta grundvatten hade hög konduktivitet. Ingen kloridmätning utfördes vid borrning.

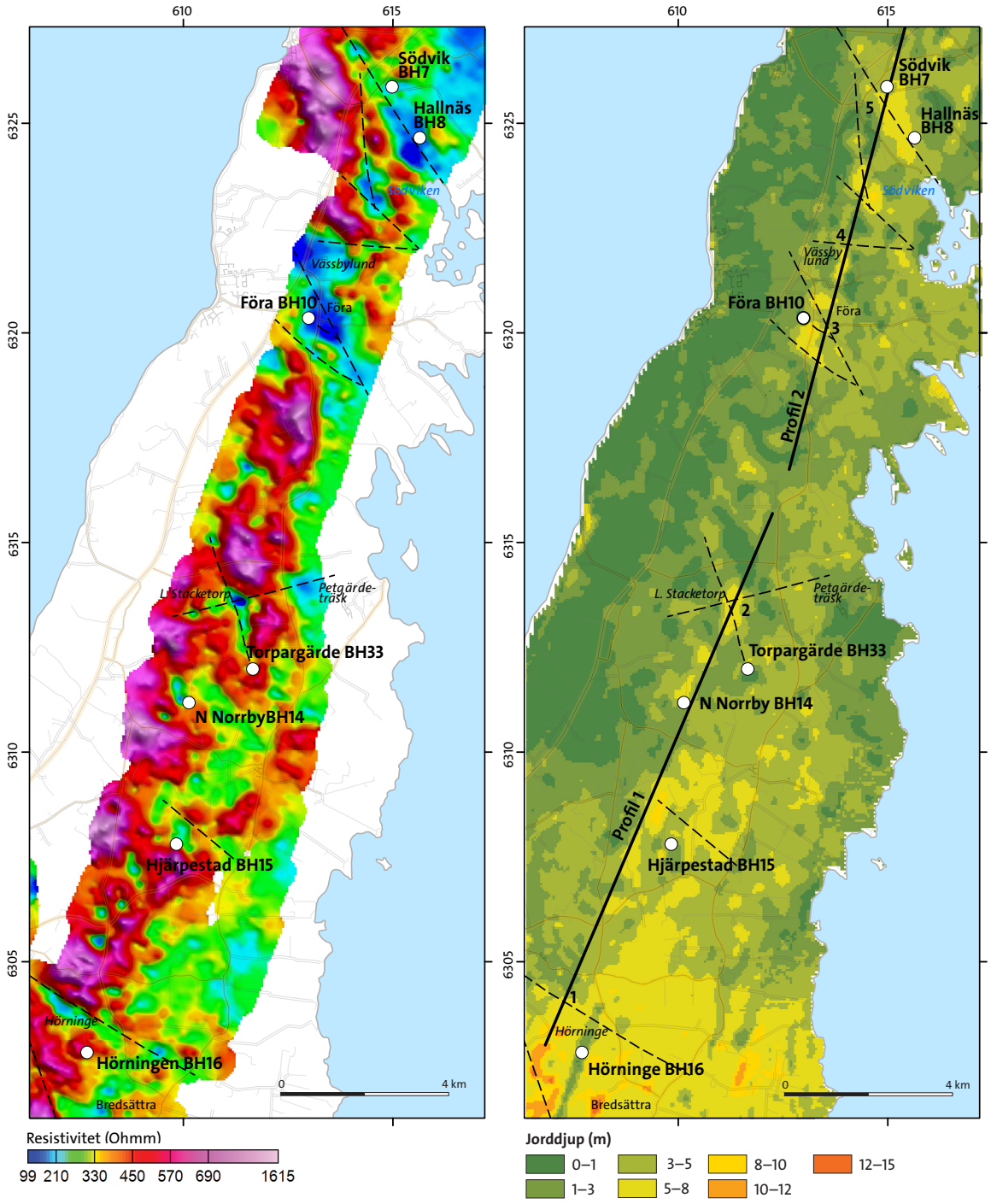
I området kring Föra och Vässbylund finns områden med en resistivitet på 150–300 Ohmm i kalkstenen (zon 3 coh 4 i fig. 39, samt fig. 38). Det är stor skillnad mot resistiviteten i omgivande kalksten som oftast har en resistivitet på mer än 400 Ohmm. Skillnaden i resistivitet bör betyda att området med den lägre resistiviteten är mer uppsprucket och har en något högre vattenhalt. Brunn Föra BH10 bor-

Tabell 8. Information om de borrhål som utförts i anslutning till uthålliga svaghetszoner i *Borgholm–Persnäs*-området. Grundvattenytan (gvy) representerar grundvattenytan i berg och är uppmätt antingen direkt efter borrning, eller vid senare fältbesök och ska ses som ungefärlig. (m.u.m.y. = meter under markytan) Utförligare underlag om varje borrning presenteras i bilaga 1.

Borrhål	Jorddjup (m)	Foderrör (m)	Djup (m)	Gvy (m.u.m.y.)	Uppskattad kapacitet (l/tim)	Syfte/underlag/kommentar
Södvik BH7	3,8	6	16	2,62	30 000	Grundvatten jord-berg, SkyTEM, resistivitet jord 100–150, berggrund ~200 Ohmm
Hallnäs BH8	4,1	6	31	?	600*	Grundvatten jord-berg, SkyTEM, resistivitet jord 50–100. berggrund ~250 Ohmm
Föra BH10	2,6	6	15	0,44	900*	Grundvatten, SkyTEM, indikerad svaghetszon
Äleklinta BH5	0,1	3	37	11,1	60	Ökad geologisk information*
Torparegärde BH33	0,8	6	25	1,02	300*	Grundvatten, SkyTEM, indikerad svaghetszon
N Norrby BH14	0,6	6	25	1,87	<50	Grundvatten, SkyTEM, indikerad svaghetszon
Hjärpestad BH15	0,8	6	30	+0,2	300	Grundvatten, SkyTEM, indikerad svaghetszon
Hörninge BH16	0,5	9	28	1,94	480	Grundvatten, SkyTEM, indikerad svaghetszon

*Borrhålen Äleklinta BH5, Jämjö BH15, Högsrum BH4 utfördes innan SkyTEM-resultaten var klara och lokaliseringen grundades på den geologiska kunskap SGU hade vid det tillfället. ** Salt grundvatten.

rades i området och den gav en kapacitet på 900 l/tim på 5,5 m djup som steg till 2 400 l/tim på 12,5–15 m djup där siltstenen kommer. Dock avtog vattenflödet med tiden och den uppskattade kapaciteten på borrhålet är ca 900 l/tim. Konduktiviteten låg relativt konstant hela tiden på ca 1 200–1 300 µs/cm (kloridhalt vid 15 m 104 mg/l och vid slutblåsning 158 mg/l).



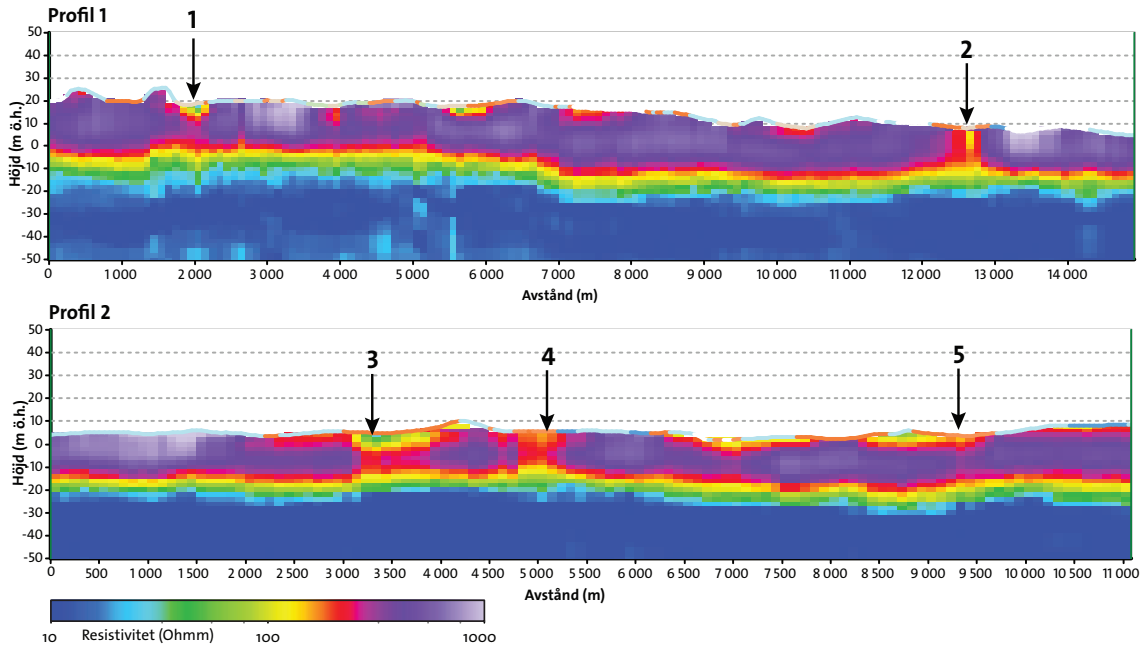
Figur 38. Det beskrivna området med tolkade svaghetszoner och utförda brunnar, a) medelresistivitet beräknad från SkyTEM-data, för de ytligaste delarna av marken ner till ett djup av 10 m. Kartan visar även tolkade svaghetszoner (streckade linjer) som indikeras i resistivitetsdata samt läget för, utvalda SkyTEM-profiler och borrningar utförda inom projektet, b) Jorddjupskarta baserad på SGUs jorddjupskarta och SkyTEM-mätningarna.

Zonen vid Stenninge–Södviken (zon 5 i fig. 39, samt fig. 38) är tydlig i resistivitetsdata från markytan (ca 6 m ö.h.) dvs. genom jordlagren och några meter ner i kalkstenen. Som tydligast är den på ca -4 m ö.h. I de södra delarna är resistivitetsförändringarna delvis kopplade till de lågresistiva jordlager som fyller svaghetszonen. Området bedöms vara en förlängning på den havsvik som kallas Södviken. I de norra delarna av svaghetszonen har kalkstenen generellt en lägre resistivitet. I zonen har två borrningar utförts, Södvik BH7 och Hallnäs BH8 (tabell 8). Södvik BH7 gav mer vatten (30 000 l/tim) än någon annan brunn i närheten i området, och detta på ett djup av endast 13 m (kloridhalt 72 mg/l). Borrningen fortsatte ned till 16 m där kapaciteten ökade något men framför allt blev vattnet saltpåverkat (kloridhalt 418 mg/l). Hallnäs BH8 gav först ca 3 000 l/tim på 17–18 m, men efter avslutad borrning till 31 m endast 600 lit/tim. Vattnet hade dessutom en väldigt hög konduktivitet och salthalt (kloridhalt över 600 mg/l). Sannolikt beror detta på det havsnära läget och att området delvis utgörs av en gammal havsvik med relikt havsvatten.

Bäst förutsättningar inom zonen vid Stenninge–Södviken är, förutom vid Södvik BH7, troligen området västnordväst om väg 136 där jordlagren i huvudsak består av svallsand som sträcker sig upp mot Stenninge. Enligt vår tolkning av SkyTEM-data är jordlagren här 3–5 m mäktiga och kalkstenen 10–15 m. I området har jordlagren en resistivitet på mellan 125 och 200 Ohmm och kalksten en resistivitet på mellan 170 och 250 Ohmm.

Mossbergaområdet och Västra landborgen

Mossbergadomen och Västra landborgen är speciellt uppmärksammade i den här rapporten eftersom de är unika strukturer i den öländska berggrunden och bedöms ha stor betydelse för grundvattenförhållandena. Mossbergadomen uppmärksammades redan i början av 1900-talet (Hedström och Wiman 1906) och har sedan dess undersökts med kärnborrning (Westergård 1936) och av OPAB (1972). Den västra landborgen följer i stort sett utgåendet för den öländska kalkstenen i väster och är oftast utbildad som en kalkstensklint i landskapet. Landborgen är sedan Linnés öländska resa 1741 omtalad och beskriven i olika sammanhang. Utmed den Västra landborgen påträffas ofta källor och den bildar dessutom öns viktigaste vattendelare.



Figur 39. Två profiler med markerade sprickzoner (1–5). För lokalisering se fig. 38.

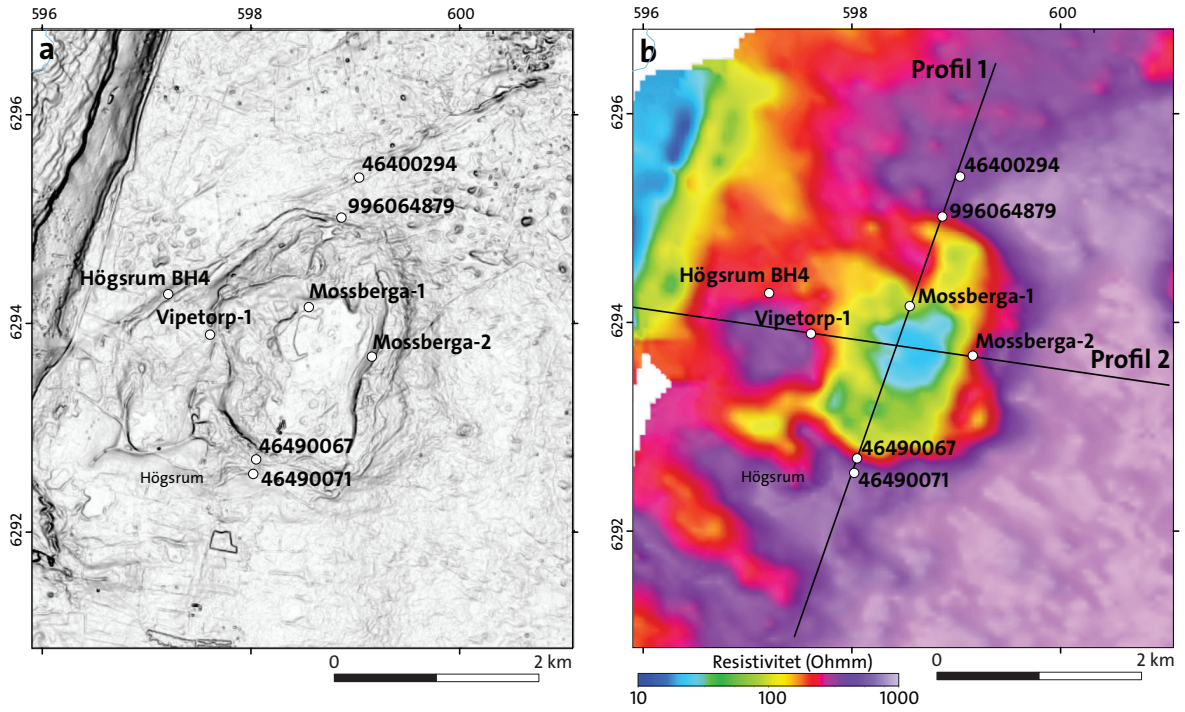
Mossbergadomen

Allmän beskrivning

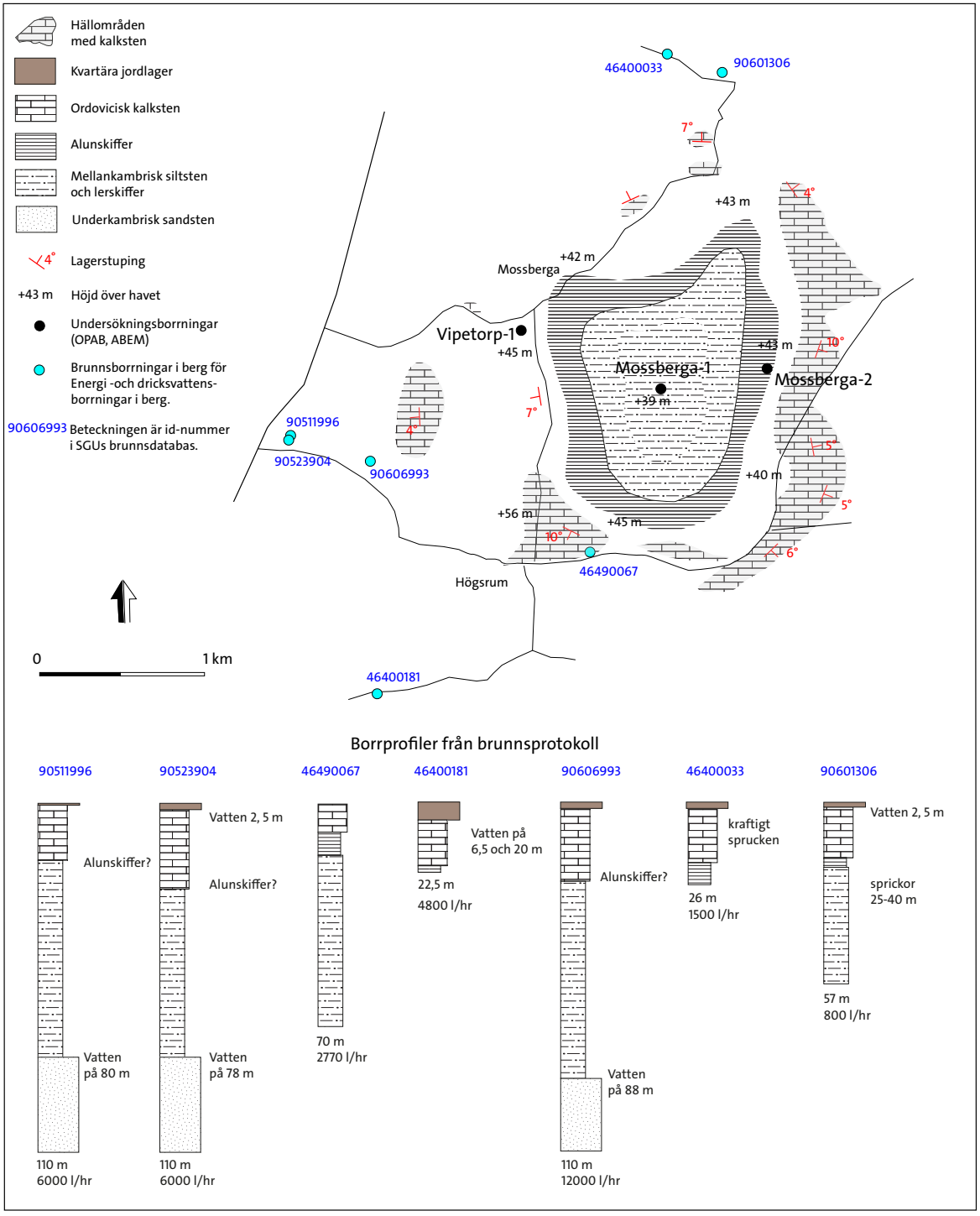
Den paleozoiska berggrunden på Öland och på småländska sidan av Kalmarsund vilar allmänt på ett plant kristallint underlag som utgör en erosionsyta, det s.k. subkambriska peneplanet. Ytan lutar svagt åt öster och sydöst. I vissa områden påträffas restberg som bildar lokala domer som bryter av peneplanet. Mest påfallande av dessa strukturer är Skäggenäshalvön, Blå Jungfrun och Mossbergadomen. I dessa fall vilar den sedimentära berggrunden på hård kvartsit som åldersmässigt jämförs med Västervikskvartsiten (Bruun m.fl. 1997). Sannolikt beror uppkomsten av restberg att dessa varit mer motståndskraftiga för erosion jämfört med omgivande berggrund.

Mossbergadomen strax norr om Högsrum framträder i markytan som en koncentriskt uppbyggd struktur med en central sänka omgiven av en ringformad höjdrygg (fig. 40a). Från höjdryggen och utåt stupar berggrunden uppemot 10 grader (fig. 41). På kartan som visar medelresistiviteten på djup ner till 5 meter, beräknad från SkyTEM-data, framträder Mossbergadomen som ett cirkulärt lågresistivt område (fig. 40b). Den centrala sänkan ligger 39 m ö.h. och de omgivande höjdområdena når som högst 56 m ö.h. vilket sammanfaller med Ölands högsta punkt, belägen strax norr om Högsrum (fig. 41).

Berggrunden i den centrala delen av domen består av mellankambrisk finkornig sandsten, siltsten och lerskiffer tillhörande Äleklintaledet i Borgholmformationen och är orsaken till det lågresistiva området vi ser i figur 40b (den mer högresistiva kalkstenen är här borteroderad). Utmed kanterna av den centrala sänkan påträffas underkambrisk till underordovicisk alunskiffer som i sin tur överlagras av underordoviciska kalkstenstensformationer (fig. 41).



Figur 40. a) höjdreliefkarta över Mossbergadomen, b) medelresistivitet beräknad från SkyTEM-data, för de ytligaste delarna av marken ner till ett djup av 5 m. Kartan visar även utvalda borrningar i området samt läget av profil 1 och 2 (fig. 43).



Figur 41. Översiktlig sammanställning som visar berggrundens uppbyggnad kring Mossbergadomen samt borrprofiler från energi- och dricksvattenborrade brunnar i området till kring Mossberga. Den övre kartan är delvis baserad på en figur presenterad av Stefansson (1971).

Undersökningsborrningar

Tre äldre djupborrningar finns i anslutning till Mossbergadomen (Mossberga-1, Mossberga-2 och Vipetorp-1). Borrningen Mossberga-1, belägen centralt i domen, borrades 1933 av ABEM till 106,2 m djup. Westergård (1936) beskriver en lagerföljd som underst består av 58,4 m prekambrisk kvartsit följt

av 1,7 m underkambrisk sandsten med konglomerat och 40 m mellankambrisk skiffer, finkornig sandsten och siltsten. OPAB-borrningarna Vipetorp-1 och Mossberga-2 som borrades 1972 i de nordvästra respektive östra delarna av domen är 117,9 m respektive 91,4 m djupa och når även de ner i prekambrisk kvartsit (fig. 42). Den prekambriska kvartsiten påträffades i borrningen Vipetorp-1 på 113 m djup (-66 m ö.h.) och i Mossberga-2 på 88,4 m (-45 m ö.h.). I Mossberga-1 påträffades kvartsiten på 47 m djup (-8 m ö. h.). Den överliggande berggrunden i dessa borrningar består av mellankambriska konglomeratiska sandstenslager och skiffer följt av mellankambrisk finkornig sandsten och lerskiffer. I Vipetorp-1, som är belägen på flanken av domstrukturen, är det underkambriska avsnittet ca 30 m mäktigt medan i Mossberga-2 och Mossberga-1 är det knappt 20 m respektive 1,7 m mäktigt. Det mellankambriska avsnittet är däremot i stort sett lika mäktigt (40–45 m) i dessa borrningar. I Vipetorp-1 överlagras ett ca 5 m mäktigt lager med mellankambrisk sandsten av 4 m alunskiffer följt av 13 m ordovicisk kalksten. I Mossberga-2 består den översta delen av berggrunden av alunskiffer (fig. 42).

SkyTEM profiler

Mossbergadomen framträder som en tydlig högresistiv struktur i de resistivitetmodeller som tagits fram från SkyTEM-data. Figur 43 visar två profiler som skär och korsar de centrala delarna av domen. Läget av profilerna illustreras i figur 40b. Den borrhålsinformation som finns tillgänglig längs profilerna stämmer väl överens med resistivitetsmodellen. Det högresistiva lagret i ytan som saknas centralt i Mossbergadomen motsvaras av kalksten. Det underlagras av lågresistiva lager med siltsten, lerskiffer och sandsten. Själva Mossbergadomen framträder som en ca 2 kilometer bred högresistiv struktur i mitten av profilerna.

Resistivitetsprofilerna indikerar även att den undre delen av den sedimentära lagerföljden tunnar ut mot krönet av domen. Detta bekräftas även av mäktighetsskillnaderna av den underkambriska lagerföljden i borrningarna. Förekomsten av grövre konglomerat och kraftigt kondenserad underkambrisk berggrund i Mossberga-1 indikerar att domen varit en submarin höjd eller tidvis kanske även varit en ö som stuckit upp ur det kambriska havet. Först under mellersta kambrium täcker havet höjden vilket gör att den då täcks och överlagras av de sediment som idag bildar Borgholmformationen.

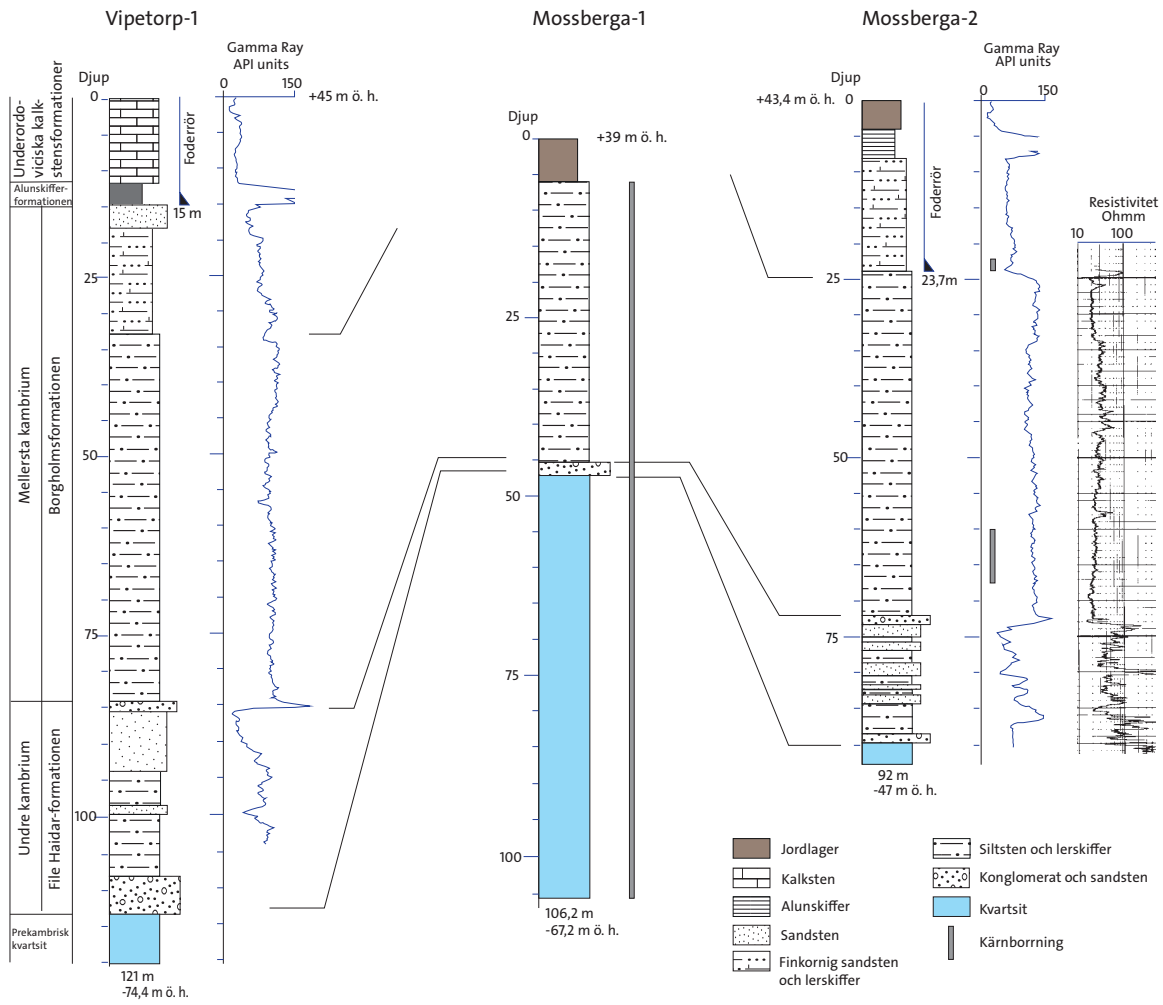
Bildning

Mossbergadomens utseende idag är en effekt av relativt kraftig kompaktion av den sedimentära berggrunden runt domens kärna vilket resulterat i omböjda lager och bildningen av en höjd. Sannolikt har det tidigare funnits mäktiga lager med yngre berggrund som överlagrat den kambriska och ordoviciska lagerföljden vilket bidragit till kompaktionen. Den ojämnt fördelade kompaktionen har sannolikt skapat tension och radiell sprickbildning i och kring domen vilket påskyndat erosion av den överlagrande berggrunden så att berggrundsytan i domens centrum idag består av kambrisk alunskiffer och siltsten. Anledningen till den centrala sänkan kan sannolikt knytas till att alunskiffern som underlagrar kalkstenen är relativt lättvittrad. Även senare kompaktion och erosion i samband med kvartära glaciationer kan ha bidragit till domens ytliga utseende idag.

Grundvattenförhållanden

Bergborrade brunnar i domens närhet har kapaciteter mellan 800 och 12 000 l/tim (fig. 41). Brunnsuppgifter anger att vatten påträffas dels ytligt ner till ca 20 m djup knutet till kontakten mellan kraftig uppsprucken kalksten och underliggande alunskiffer samt i sandstenslager på större djup motsvarande de övre sandstenslagren i den underkambriska Borgholmformationen. Det finns inga uppgifter om grundvattentillgången på toppen av domen, det vill säga i gränsen mellan den sedimentära berggrunden och den underliggande kvartsiten. Sannolikt finns det i randområdet till domens kärna en förhöjd radiell sprickbildning som kan vara vattenförande.

I resistivitetsprofil A framträder ett lågresistivt område i de centrala delarna av kvartsiten som möjligen indikerar en uppsprucken berggrund och kan vara kopplat till förekomst av grundvatten, jämför



Figur 42. Borrprofiler från de tre rotationsborrningarna. Vipetorp-1 och Mossberga-2 borrade av OPAB 1972 samt kärnborrningen Mossberga-1 borrad av ABEM 1933.

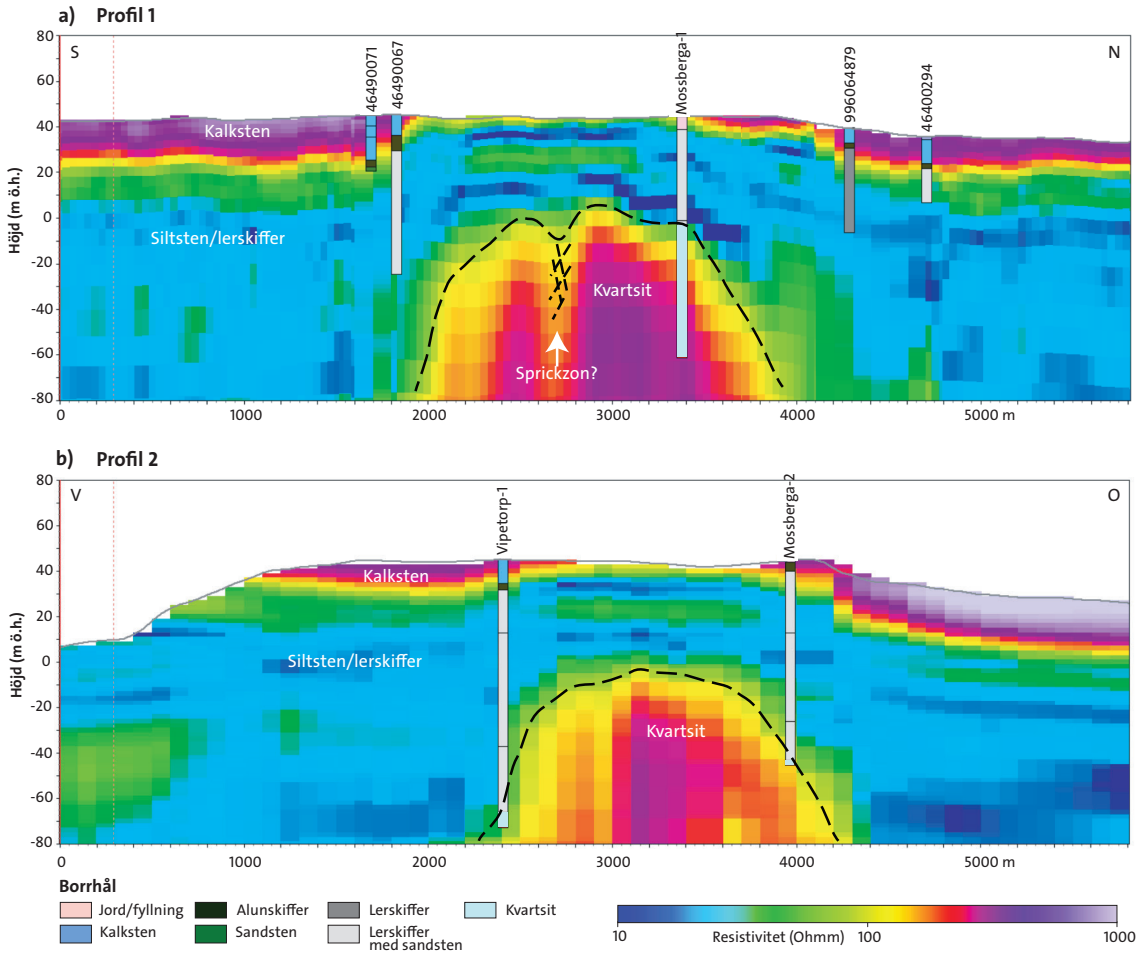
markering i profil A (fig. 43a). Det lågresistiva området syns även i kartan över medelresistiviteten på nivå -35 till -30 m ö.h. (fig. 44). Dessa eventuella grundvattenförekomster bör undersökas närmare med borrning även om det finns en risk att de djupare akvifererna innehåller salt grundvatten.

I borrningen Vipetorp-1 gjordes en provpumpning av sandstenen i intervallet 84–91 m (-39 till -46 m ö.h.) vilket visade på en kloridhalt på 3 000 mg/l. I Mossberga-1 ligger kontakten mellan kambrisk sandsten på ±0 m ö.h. vilket ger en avsevärt mindre risk för saltpåverkat grundvatten i eventuella akviferer på detta djup.

SGU har under 2016 utfört en borrning (Högsrum BH4) väster om Mossbergadomen i anslutning till den svaghetszon som finns indikerad i höjddata och resistivitetsdata (tabell 9, fig. 40). Jorddjupet var ca 3 m och borrning utfördes till 60 m djup. Vid blåsning efter utförandet gav borrhålet endast ca 240 l/tim.

Västra landborgen

Västra landborgen på Ölands sträcker sig parallellt med Kalmarsund från Ottenby till Böda. Den framträder i landskapet oftast som en skarp berggrundsklint bestående av ordoviciska kalkstensformationer överlagrande alunskiffer och mellankambrisk siltsten och lerskiffer. I andra delar utgörs klinten av en mindre tydlig struktur som draperas av kvartära avlagringar, eller som norr om Borgholm



Figur 43. a) resistivitetsmodell över Mossbergadomen längs en profil i nordnordostlig riktning, b) resistivitetsmodell över Mossbergadomen längs en profil i ostsydostlig riktning. Läget för tillgängliga borrhål med lagerföljder visas längs profilerna. Profillägena visas i figur 40b. Notera att förhållandet mellan djup och längdskala är kraftigt överdriven.

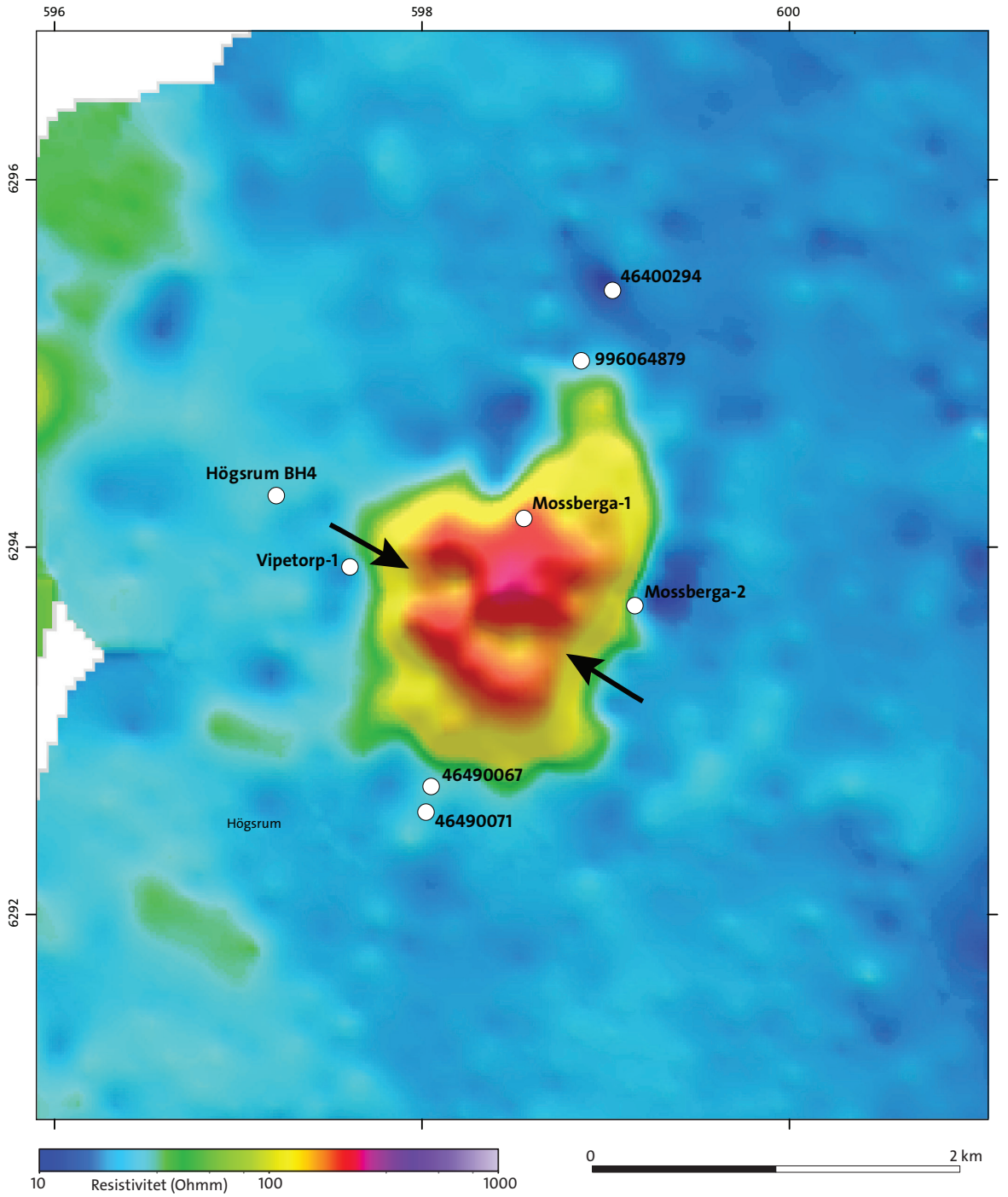
där Västra landborgen sammanfaller med strandlinjen och bildar en markant kustklint. Kopplat till den ordoviciska kalkstenens utgående framträder motsvarande klintbildning även tydligt på havsbottnen i Östersjön norr och nordost om Öland, (Flodén 1980, Tuuling & Flodén 2016).

Utmed stranden vid Äleklinta är havets pågående erosion av kustklinten tydlig. Stora block av den övre kalkstensklinten rasar eftersom den undre delen av klinten i strandlinjen består av lätteroderad alunskiffer och mellankambrisk siltsten. Till skillnad från norra Öland påträffas Västra landborgen på södra Öland innanför en upp till ett par kilometer bred kustslätt med berggrund som består av mellankambrisk siltsten och lerskiffer. Västra landborgen, som i höjd med Mörbylånga ligger ett par kilometer in från Kalmarsundskusten, har skapats av samma kustprocesser som vid Äleklinta men då havsytan stod avsevärt högre än idag. Landborgen utgör på södra Öland även Stora Alvarets västra avgränsning.

Bildningen av den Västra landborgen är också till stor del orsakad av att den öländska sedimentära berggrunden stupar svagt åt ost och sydost och att den ordoviciska kalkstenen är relativt motståndskraftig mot erosion. På södra Öland bidrar också förekomsten av upp till 20 m mäktiga lager med lätteroderad alunskiffer under kalkstenen till att landborgen framträder tydligt i landskapet. Förutom kvartär erosion är Västra landborgen sannolikt även ett resultat av omfattande erosion av den sedimen-

Tabell 9. Sammanfattning av borrhålsinformation från undersökningsborrhålet Högsrum BH4. Grundvattenytan (gvy) representerar grundvattenytan i berg och är uppmätt antingen direkt efter borrning, eller vid senare fältbesök och ska ses som ungefärlig. (m.u.m.y. = meter under markytan) Utförligare underlag om varje borrning presenteras i bilaga 1.

Borrhål	Jord-djup (m)	Foderrör (m)	Djup (m)	Gvy (m.u.m.y.)	Uppskattad kapacitet (l/tim)	Syfte/underlag/kommentar
Högsrum BH4	3	6	60	4,8	240	Sprickzon indikerad från SkyTEM-data och höjddata

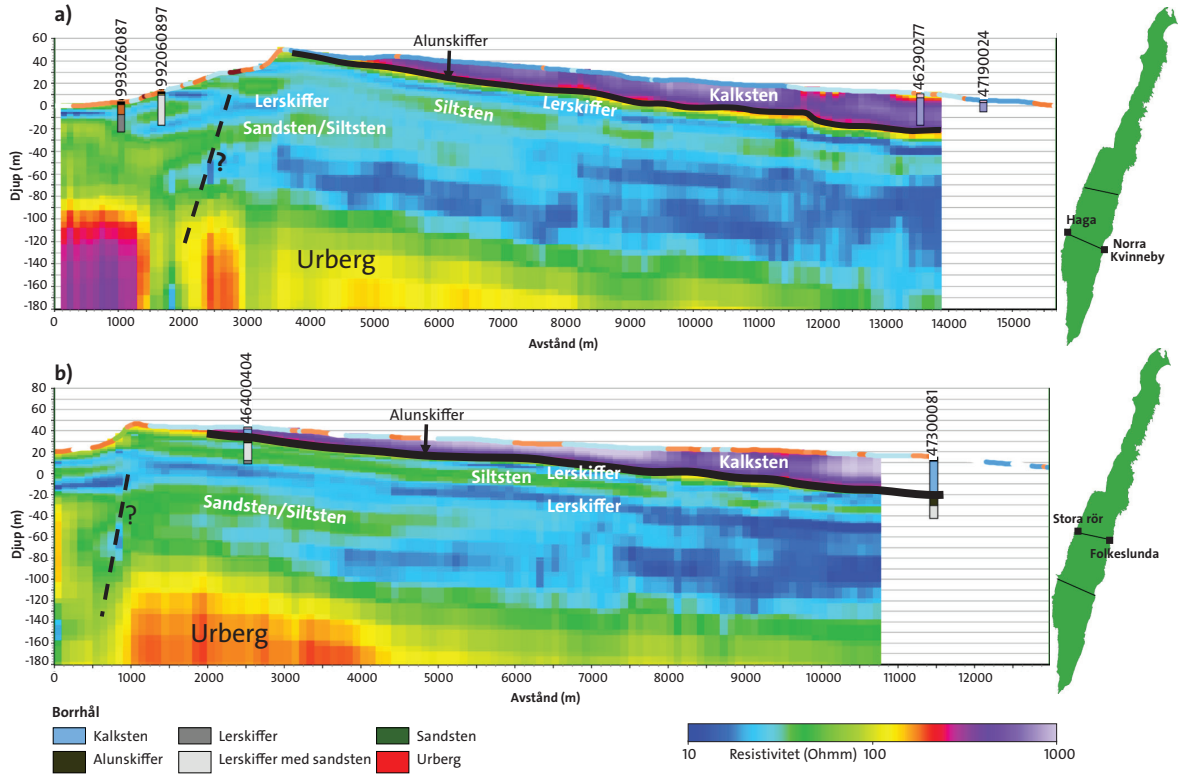


Figur 44. Medelresistivitet beräknad från SkyTEM-data på nivå -35 till -30 m ö. h. över Mossbergadomen. Pilarna visar på ett lågresistivt område inom domen som kan vara orsakad av en sprickzon och eventuellt kopplad till förekomst av grundvatten.

tära berggrunden i hela sydöstra Sverige i samband med upphöjningen av den sydsvenska domen under tertiär tid (Lidmar-Bergström & Olvmo 2015, Lidmar-Bergström m.fl. 2017).

Det har även funnits hypoteser om att Västra landborgen och Ölands västra kust skulle sammanfalla med en förkastningszon som bidragit till landformernas utseende. SkyTEM profiler som löper i väst–ostlig riktning över Västra landborgen mellan Rälla och Färjestaden visar också avvikande resistivitetsfördelningar på djupet som skulle kunna antyda att det finns förkastningsbetingade strukturer. Just vid landborgskanten finns även en hel del infrastruktur som kan påverka de geofysiska data vilket gör tolkningarna något osäkrare. I figur 45 visas profilen mellan Haga och Norra Kvinneby. På profilen är bergarter tillhörande olika formationer markerade. Resistivitetsmodellen indikerar att den generella ost och sydostliga lagerstupningen av den sedimentära berggrunden förändras på djupet i höjd med Västra landborgen genom att lagren tycks stupa mot väster och att det kristallina urberget med högre resistivitet påträffas relativt ytligt. I SGUs flygmagnetiska data framträder dock ingen anomali i urberget som antyder att det finns en nord–sydlig kustparallell förkastning (visas på modellen i figur 45 med en streckad vertikal svart linje). Dessutom är de indikerade vertikala förskjutningarna i berggrunden motsatt de som skulle kunna bidra till bildningen av Västra landborgen. För att bidra till bildningen borde det västra bergblocket i så fall vara sänkt i förhållande till det östra och inte som indikerat att det västra är upphöjt.

I samband med projekteringen i början på 1960-talet av en tänkt fast förbindelse mellan Stora Rör på Öland och Skäggenäs på fastlandet utfördes även ett antal borrningar och seismiska undersökningar. Dessa visade en korrelation av den kambriska lagerföljden i borrningar på Skäggenäs och vid Stora Rör som ger en lagerstupning på 6–7 m/km vilket motsvarar samma lagerstupning som generellt på Öland. Borrningen vid Stora Rör visar även förekomst av mellankambriska lager överst i borrningen



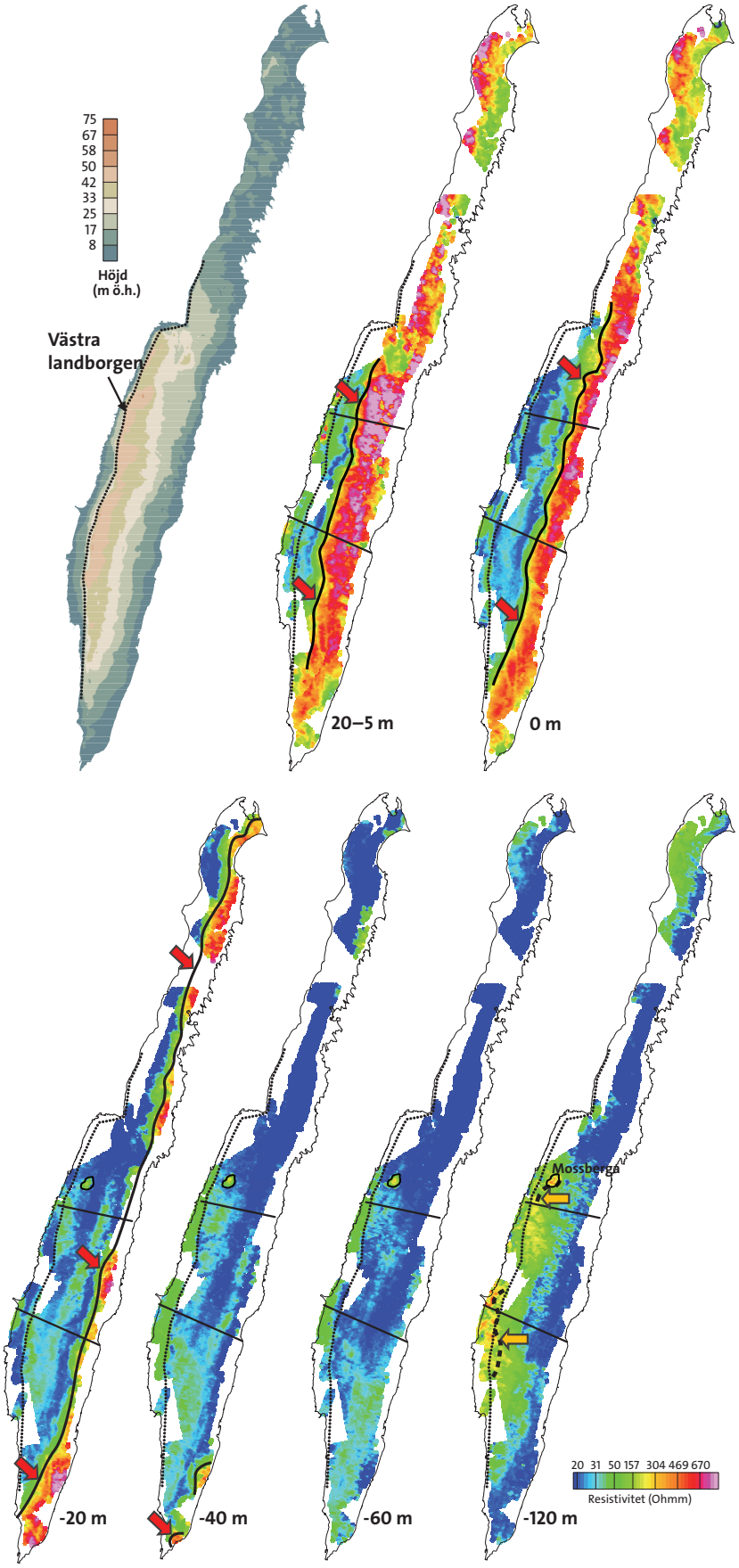
Figur 45. SkyTEM-profil i väst–ostlig riktning mellan a) Haga och Norra Kvinneby och b) Stora Rör och Folkeslunda. Notera det högresistiva urbergsområdet (>100 m djup) samt den överliggande sedimentära berggrundens avvikande stupning och mäktighet i den västra delen av profilerna. Kalkstenen framträder som ett högresistivt området överst i profilerna från Västra landborgen och österut.Den streckade vertikala svarta linjen visar möjlig förkastningszon.

vilket inte skulle vara fallet om det fanns en förkastningsbetingad upphöjning av berggrunden väster om Västra landborgen. Dahlman (1963) påtalar även att undersökningsresultaten från projekteringen mellan Stora Rör och Skäggnäs visar att det inte förekommer några större förkastningar. Däremot nämner han förekomsten av uppstickande urbergskullar (restberg) på Skäggnäs och vid Mossberga samt på Norra Skallön utanför Kalmar vilka förmodas lokalt påverka den sedimentära berggrundens mäktighet och lagring. Han utesluter inte ett sammanhängande band med urbergskullar av prekambrisk kvartsit som tvärar Kalmarsund från Kalmar till Mossberga. Hans resonemang skulle mycket väl kunna stämma med vad som framträder i SkyTEM profilerna. I figur 45b presenteras resistivitetsmodellen mellan Stora Rör och Folkeslunda. Det högresisitiva området i västra delen av profilen i figur 45b skulle kunna utgöra en urbergskulle med kvartsit, likartad med den i Mossberga. Det skulle i så fall mycket väl kunna förklara de omböjningar av överliggande lagerföljder som syns i SkyTEM-profilerna. Det kan även förekomma lateralt avvikande mäktigheter av den underkambriska lagerföljden i anslutning till dessa lokala restberg, vilket även är påvisat i borrningar kring Mossbergadomen. Detta skulle förklara det lågresistiva kambriska avsnittets avtagande mäktighet i de västra delarna av de exemplifierade profilerna (fig. 45a och b).

Översiktliga resistivitetskartor över Öland

För att få en mer övergripande uppfattning om resistivitetsfördelningen i marken och kopplingen till olika geologiska enheter på Öland illustreras resistiviteten på ett antal kartor representerande olika djupnivåer i marken. Figur 46 visar resistivitetskartorna för sex djupnivåer, från +20 m till -120 m ö.h. Höjdkartan visas i den övre vänstra ramen som referens och den streckade svarta linjen indikerar det ungefärliga läget för kalkstensklinten. Den svarta linjen med en ungefärlig syd–nordlig riktning markerar kontakten mellan ordovicisk kalksten och Borgholmformationen i olika nivåer ner till -40 m. Borgholmformationen uppträder som en lågresistivitet zon på västra delen av kartorna. Notera att för att visa kontakten tydligare har vi överlagrat kartorna på nivå 5 m och nivå 20 m. Som framgår av kartorna stupar kalkstenen och Borgholmformationen mot öster. Den beräknat genomsnittliga stupningen från kartorna ger ett ungefärligt värde på 6–7 m/km vilket överensstämmer med resultaten från andra observationer. Vid -60 m ö.h. dominerar Borgholm- och File Haidar-formationerna nästan hela kartan med undantag vid Mossbergadomen. Det ska uppmärksammas att resistivitetsvariationer återspeglar även en variation inom respektive formation/enhet. Vid -120 m ö.h. uppträder en tydlig högresistivitetszon i västra delarna av kartan. Zonen orsakas av det kristallina prekambriska urberget som underlagrar File Haidar-formationen. Det är viktigt att uppmärksamma att det inte finns några tecken som tyder på en skarp resistivitetvariation i de västra delarna av den högresistiva zonen som kan tolkas som en långsträckt lågresistiv förkastningszon.

Det observerade avvikande resistivitetsmönstren i några av de SkyTEM-profiler som tvärar Västra landborgen bedöms vara kopplade till lokala restberg och inte en förkastning. För att verifiera detta krävs dock undersökningsborrningar ner till urberget och eventuellt kompletterande seismiska undersökningar i de västra delarna av förslagsvis profil 1 (fig. 45a).



Figur 46. Resistivitetskartor från 3D-modellen representerande olika djupnivåer (m ö.h.). Höjdkartan visas i den övre vänstra hörnet. Kontakten mellan den ordoviciska kalkstenen och Borgholmformationen visas med en tjock svart linje och röda pilar. Streckad tjock svart linje med gula pilar i -120 m nivån markerar kontakt mellan File Haidar-formationen och det prekambriska urberget. Profilerna i figur 45a och b visas med två svarta linjer i västnordväst–ostsydostlig riktning.

Slutsatser och diskussion

En komplett analys av alla SkyTEM-data som samlats in i samband med mätningarna på Öland är en mycket tidskrävande procedur och något SGU inte har haft möjlighet att göra i detta skede. För att klarlägga vilka möjligheter som finns har arbetet därför koncentrerats på ett urval av platser, och framför allt fokuserats på områden som uppvisar förhållanden som gör dem hydrogeologiskt intressanta. Mängden data möjliggör, tillsammans med annan geologisk information, fortsatta fördjupade analyser av de geologiska förhållandena på Öland. Resultaten från de utvärderingar och tolkningar som presenteras i rapporten visar också hur man kan förbättra underlaget genom att kalibrera och verifiera tolkningar med kompletterande undersökningar, främst i form av borrning samt geofysiska mark- och borrhålsundersökningar.

SGU har med hjälp av resistivitetsdata från SkyTEM-undersökningarna lokaliserat över 40 brunnslägen på Öland som lämpliga för fortsatt geologisk tolkning, med inriktning på grundvattenförhållandena. Cirka 15 brunnar av de ursprungligt planerade brunnarna utfördes aldrig, i hälften av fallen för att markägaren inte gav tillstånd eller där det var för stora risker för markskador i känsliga naturmiljöer och resten av fallen för att det saknades ekonomiska medel. Fem av borrningarna, Kleva BH13 (48 000 l/tim), Frösslunda by BH27 (21 000 l/tim), Södvik BH7 (30 000 l/tim), Böda S BH5 (mer än 10 800 l/tim) och Grankulla BH1 (mer än 15 000 l/tim) gav så mycket vatten att det är värt att studera närområdet till dessa noggrannare.

SkyTEM-data har visat sig fungera väl när det gäller att identifiera och avgränsa svaghetszoner i kalkstenen på Öland. Ett stort antal uthålliga zoner har identifierats sedan tidigare, vissa av dem kända, till exempel Resmozonen, men andra är nya som zonerna vid Tveta och Sjöstorp. Ett antal av dessa zoner har undersökts med borrningar. Utfallet rent grundvattenmässigt har flera gånger varit relativt dåligt, delvis beroende på att borrningarna inte kunnat placeras tillräckligt nära sprickzonen eller att tolkning av zonens läge inte varit helt rätt (till exempel vid Hörninge). I flera fall har brunnsborrningarna indikerat kraftigt uppsprucken kalksten men lite vatten (till exempel vid Lenstad) medan det i andra fall har funnits bra med vatten (till exempel vid Södvik). Det är därför svårt att generellt uttala sig om zonernas vattenförande förmåga eftersom det tycks vara mycket stora variationer från fall till fall.

Data från undersökningarna har även gjort att vi kunnat avgränsa och lokalisera akviferer i jordlager och deras samverkan rörande grundvattenbildning och magasinering av grundvatten tillsammans med förhållandena i den underliggande berggrunden. Vi har kunnat lokalisera och karaktärisera ett antal nya områden, där det tidigare inte funnits data, som kan vara av stor vikt för placering av nya kommunala vattentäktsbrunnar, till exempel vid Frösslunda och Grankulla. Generellt kan man säga att jordlagren med sin vattenhållande förmåga även påverkar magasinen i kalkstenen under mäktiga jordlager. Det är tydligt i resistivitetsdata att det finns mer vatten i kalkstenen under mäktiga jordlager. Resistivitetsdata från SkyTEM-undersökningarna har också visat sig vara tillförlitliga för kartläggning av jordlagrens mäktighet. Öland har nu en jorddjupskarta med hög kvalitet inom de SkyTEM-undersökta områdena.

Även om den här rapporten enbart redovisar en första översiktlig tolkning och presentation av möjliga grundvattenförekomster i jordlagren, berggrunden och förkommande svaghetszoner har SkyTEM-undersökningarna resulterat i att ett antal potentiella områden identifierats för större grundvattenuttag (se kort sammanfattning nästa sida). 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 et cetera behövs noggranna undersökningar i form av till exempel geofysiska markmätningar, borrningar och provpumpningar. SkyTEM-metoden möjliggör inte alltid en urskiljning av områden med mer eller mindre vatten, men zonerna och områdena som har möjlighet att hålla större vattenmängder är nu betydligt bättre kända. Även om de lämpliga områ-

dena inte håller vatten idag kan de med till exempel ändrade förhållande i dikning och våtmarksanläggning vara intressanta i framtiden.

Resultaten från resistivitetsmätningarna med SkyTEM-systemet utgör ett bra underlag för att skapa geologiska modeller i 3D. SGU har slapat en lager- och en voxelmodell med tolkningar från SkyTEM-data som bas. I flera områden har Borgholms och Mörbylånga kommuner vattentäkter med tillhörande vattenskyddsområden. Det dataunderlag som tagits fram för tillståndsprocesser och vattenskyddsområden samt data från kontrollprogram och egenkontroll bör inkorporeras i SGUs 3D-modell.

Fem geologiska och hydrogeologiska miljöer identifierades där SkyTEM-data med fördel kan användas som underlag för mer detaljerade grundvattenundersökningar. För var och en av de fem geologiska miljöerna redovisar vi några rekommendationer för hur kommunerna skulle kunna gå vidare.

1. **Uthålliga sand- och grusavlagringar på kalksten**: Kapacitetstesta borrhålet Grankulla BH1. Var noga med att sätta något observationsrör i jord och berg inför provpumpningen. Inom det utpekade området (fig. 13a) bör flera undersökningsborrningar kunna utföras. Med hjälp av markgeofysik bör man kunna avgränsa förkastningszonerna. Dessa zoner bör ha en högre vattenföring.

2. **Mäktiga sand- och grusavlagringar på lerskiffer eller tunn kalksten**: Utför en hydrogeologisk modellering med hjälp av de nya resultaten och 3D-modellerna över området *Rälla –Stora Rör*. Detta kommer att ge information om förutsättningarna för bassänginfiltration och lagringskapacitet samt var man bör sätta brunnarna för att optimera uttagen. Man bör även utföra undersökningar norr och söder om den bergsklack som diskuteras, dvs de två områdena med lägre resistivitet i de översta 10–15 m öster om väg 136 (fig. 18a). Båda dessa områden bör vara lämpliga för nya vattentäktsbrunnar.

3. **Mäktiga sand- och grusavlagringar på kalksten**: Inom Solberga–Lindbyfältet finns det framför allt två outforskade områden som man med fördel kan undersöka vidare i jakten på grundvatten, ett område väster om Skedemosse och ett öster om Långbromosse (fig. 24). Inom området finns även en intressant sprickzon (fig. 23) som bör undersökas.

4. **Lokala relativt mäktiga moränavlagringar på kalksten**: Kapacitetstesta borrhålet Frösslunda by BH28. Var noga med att utföra observationsrör i berg och göra brunnsinventering på närbelägna fastigheter inför provpumpningen. Västerut vid Frösslunda Sjömark finns möjlighet att utföra borrningar i ett område med liknande hydrogeologiska förutsättningar som vid Frösslunda by (fig. 27, 28).

5. **Regionala svaghets- och sprickzoner i kalksten**: Ett antal av de utpekade svaghetszonerna är säkerligen möjliga att utföra något större grundvattenuttag ifrån. Några av våra borrningar som misslyckats har troligen berott på svårigheten att lokalisera vertikala sprickor enbart med hjälp av SkyTEM-data. Med hjälp av geofysiska markmätningar och eventuellt även gradade borrhål ökar chanserna markant att träffa rätt. Mest spännande är kanske området uppe vid Södvik (fig. 38, 39). Borrhålet Södvik BH7 bör återfyllas i botten och kapacitetstestas för att se vilket uttag en brunn i denna sprickzon tål utan att dra på sig salt vatten. Vidare bör man även se om man kan lokalisera borrplatser vid de sprickzoner som utpekats i Tveta-området (fig. 36a).

Referenser

Bastani, M., 2001: EnviroMT – a New Controlled Source/Radio Magnetotelluric System. *Acta Universitatis Upsaliensis. Uppsala Dissertations from the Faculty of Science and Technology 32,* 179 s.

Bruun, Å., Kornfält, K.-A. & Wikman, H., 1997: Beskrivning till provisoriska berggrundskartan över Kalmar. *Sveriges geologiska undersökning Ba 46*, 33 s.

Bergqvist, M., 2015: Kan Ölands grundvatten öka vid en uppdämning av utgrävda diken genom strandvallarna på Ölands östkust? *Examensarbete i geologi vid Lunds Universitet, nr 456*, 15 s.

Båth AB.,1979: Utredningsarbete för vattenproduktionsanläggning för Stora Rör-Glömmingeområdet, Borgholms kommun.

Dahlman, B., 1963: Rapport om de geologiska förhållandena mellan Skäggenäs och St. Rör. Redovisning av borrningsarbeten. Sveriges geologiska undersökning, opublicerad rapport, 17 s + 17 bilagor.

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

Dahlqvist, P., Triumf, C.-A., Persson, L., Bastani, M., Erlström, M., & Schoning, K. 2017: SkyTEM-undersökningar på Gotland, del 2. *Rapporter och Meddelanden 140*, Sveriges geologiska undersökning, 135 s.

Erlström, M., 2016: Resultat från kärnborrning vid Grönhögen. Litologisk och geokemisk karaktärisering av berggrundsavsnitt på södra Öland, *SGU-rapport 2016:15*, 37 s.

Flodén, T., 1980: Seismic stratigraphy and bedrock geology of the central Baltic. *Stockholm Contributions in Geology 35*, 240 s.

Hedström, H. & Wiman, C., 1906: Beskrivning till blad 5. *Sveriges geologiska undersökning A1*, 124 s.

Hessland, I., 1955: Studies in the lithogenesis of the Cambrian and Basal Ordovician of the Böda Hamn sequence of strata. *Bulletin of the Geological Institution of the University of Upsala 35*, 35–109.

Hifab AB 2014. Rullbackarna Vattentäkt, Teknisk Beskrivning 2014-02-26, Borgholm Energi AB. Kapitel 3.4.3 Nederbörd och grundvattenbildning.

Högberg, I., 1967: Redovisning av undersökningar av Resmo-området 1966 och 1967. Opublicerad rapport, Sydsvenska ingenjörsbyrån AB, Malmö. 9 s +2 bilagor och 2 planscher.

K-Konsult:1966. Förslag till vattenverk samt vattenledningar för Stora Rörs samhälle.

Lidmar-Bergström, K. & Olvmo, M., 2015: Plains, steps, hilly relief and valleys in northern Sweden – review, interpretations and implications for conclusions on Phanerozoic tectonics. *SGU Research Papers C 838*, 42 pp.

Lidmar-Bergström, K., Olvmo, M. & Bonov, J. M., 2017: The South Swedish Dome: a key structure for identification of peneplains and conclusions on Phanerozoic tectonics of an ancient shield. *GFF 139*, 244–259.

Lundegårdh, P.H., Wikström, A. & Bruun, Å., 1985: Beskrivning till provisoriska översiktliga berggrundskartan Oskarshamn. *Sveriges geologiska undersökning Serie Ba 34,* 26 s.

Mark &Vatten Ingenjörerna AB, 2003: Förslag till skyddsområde och skyddsföreskrifter för Lindbyformationen, Kolstabäcken, Lindby kanal, Skedemosse och Strömmen samt förslag till skyddsföreskrifter för Solbergaformationen i Borgholms kommun. Tekniskt underlag.

Nielsen, A. T. & Schovsbo, N.H., 2007: Cambrian to basal Ordovician lithostratigraphy in southern Scandinavia. *Bulletin of the Geological Society of Denmark 53*, 47–92.

Nielsen, A. T. & Schovsbo, N.H., 2011: The Lower Cambrian of Scandinavia: Depositional environment, sequence stratigraphy and palaeogeography. *Earth Science Reviews 107*, 207–310.

Norconsult AB, 2012: Tveta vattentäkt. Mörbylånga Kommun, Tekniska Förvaltningen, Kompletterande underlag till anmälan om provpumpning samt samrådsunderlag inför tillståndsansökan enligt 11 kap MB för brunnarna GVB01 till GVB06.

Norconsult AB, 2015: Ölands vattenförsörjning. En sammanställning av Ölands samlade dricksvattenproduktion I kommunala anläggningar samt Ölands grundvattenresurser och deras potential för nuvarande och framtida dricksvattenproduktion.

Persson, L., 2016: RMT mätningar i Mörbylånga kommun, Öland. Uppdragsrapport för Structor Miljö Öst, Diarie-nr 35-980/2016, 4 s.

Pousette, J., 2009: SGU. Grundvattenmagasinet Solberga–Lindby. *Sveriges geologiska undersökning K 218*, 15 s.

Rodhe, A., Lindström, G., Rosberg, J. & Pers, C., 2006: Grundvattenbildning i svenska typjordar – översiktlig beräkning med en vattenbalansmodell. *Rapport Serie A, nr 66*, Institutionen för geovetenskaper, luft- och vattenlära, Uppsala universitet, 20 s.

Rudmark, L., 1980: Beskrivning till jordartskartan Kalmar NO/Runsten NV. *Ae 43, Sveriges geologiska undersökning*. 100 s.

Rudmark, L., 1981: Beskrivning till jordartskartan Borgholm SV. *Ae 45, Sveriges geologiska undersökning*. 67 s.

Rudmark, L., 1983: Beskrivning till jordartskartan Borgholm NV/NO. *Ae 55, Sveriges geologiska undersökning*. 73 s.

Rudmark, L., 1986: Beskrivning till jordartskartorna Kalmar SO/Runsten SV Kristianopel NO. *Ae 70–71, Sveriges geologiska undersökning*. 72 s.

SGU 1976, PM angående grundvattensituationen inom Rälla Tall- Stora Röområdet, Öland. Uppdrag 536024-3.

SkyTEM 2016: SkyTEM Survey Öland, Sweden. Data report. SkyTEm Surveyes Aps, Denmark, 56 sidor.

Sørensen, K.I., & Auken, E., 2004: SkyTEM – a new high-resolution helicopter transient electromagnetic system. *Exploration Geophysics,* 35 (3), 194–202.

Stephansson, O., 1971: Gravity tectonics on Öland. *Bulletin of the Geological Institution of the University of Upsala, new series 3*, 37–78.

Stouge, S., 2004: Ordovician siliciclastics of Öland, Sweden. *Erlanger geologische Abhandlungen Sonderband 5*, 91–111.

Tjernvik, T. E., 1956: On the Early Ordovician of Sweden – stratigraphy and fauna. *Bulletin of the Geological Institution of the University of Upsala 36*, 107–284.

Tuuling, I. & Flodén, T., 2016: The Baltic Klint beneath the central Baltic Sea and its comparison with the North Estonian Klint. *Geomorphology 263*, 1–18.

Viezzoli A, Christiansen AV, Auken E, Sørensen KI (2008) Quasi-3D modelling of airborne TEM data by spatially constrained inversion. *Geophysics 73 (3)*: F105–F113.

Vöks, J. 2010: Källor på södra Öland – en studie av utbredningsmönster och vattenkvalité. Examensarbete 30 hp. Linnéuniversitetet, 77 s.

Wamel, W.A., van, 1974: Conodont biostratigraphy of the Upper Cambrian and Lower Ordovician of northwestern Öland, south-eastern Sweden. *Utrecht Micropaleontological Bulletins 10*, 126 pp.

Westergård, A.H., 1936: *Paradoxides oelandicus* beds of Öland. *Sveriges geologiska undersökning Serie C 394*, 66 s.

Westergård, A. H., 1944: Borrningar genom alunskifferlagret på Öland och i Östergötland. *Sveriges geologiska undersökning Serie C 463,* 22 s.

Wik, N.G., Bruun, Å., Claeson, D., Jelinek, C., Juhojuntti, N., Kero, L., Lundqvist, L., Stephens, M.B., Sukotjo, S. & Wikman, H., 2005: Beskrivning till regional berggrundskarta över Kalmar Län. *Sveriges geologiska undersökning Ba 66*, 50 s.

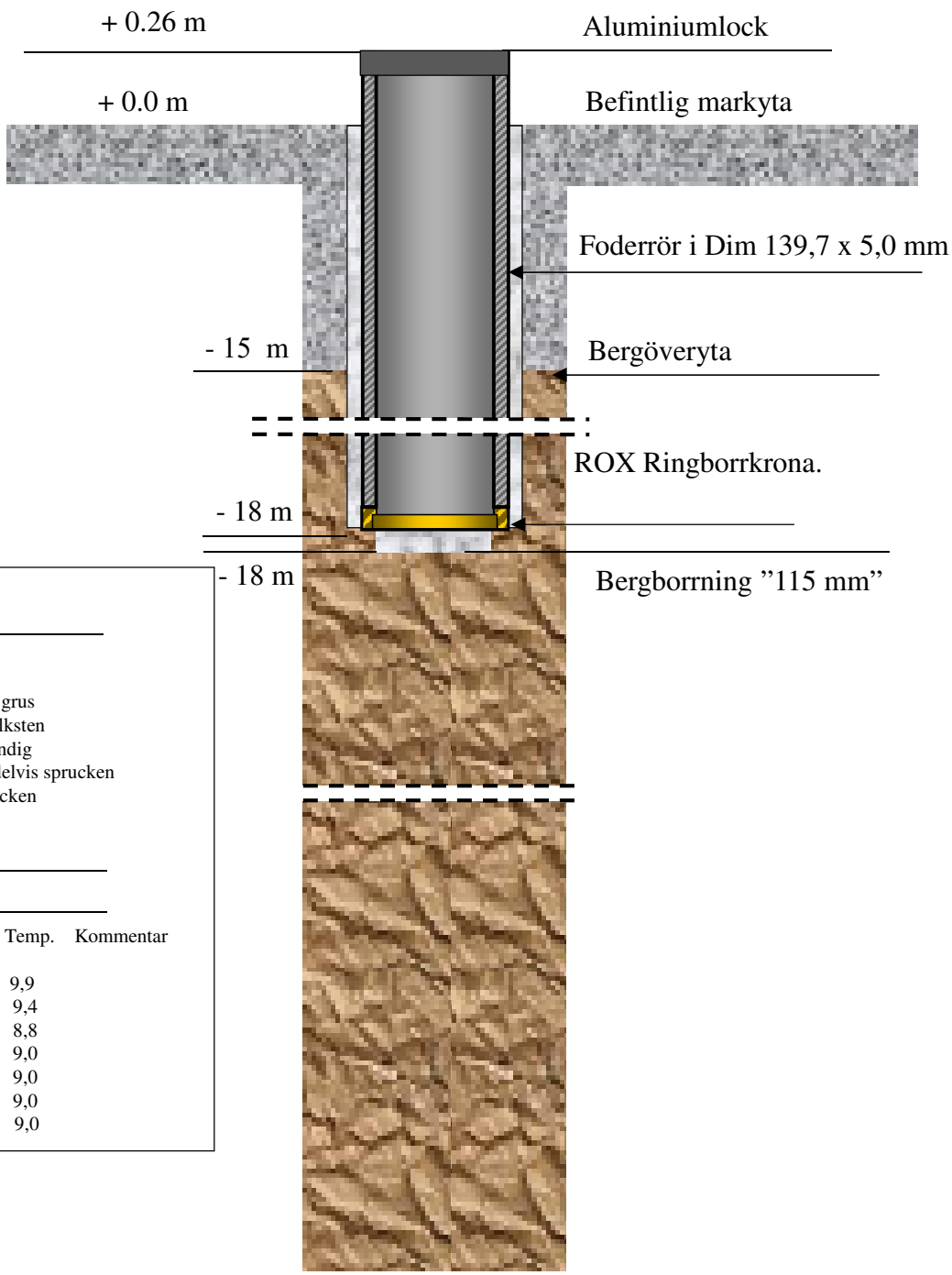
Wågman, Å. 2002: Ger hindrad avrinning mer våtmarker och därmed ökad grundvattennivå på södra Öland? Examensarbete i miljövetenskap. Högskolan Kalmar. 19 s.

Bilaga 1. Borrhålsdata

I denna bilaga redovisas mer detaljerad information om respektive borrning i följande ordning:

Grankulla BH1
Sjöstorp BH2
Böda BH6
Böda BH7
Böda S BH5
Fagerum BH6
Böda BH8
Södvik BH7
Hallnäs BH8
Föra BH10
Äleklinta BH5
Torparegärde BH33
N Norrby BH14
Hjärpestad BH15
Hörninge BH16
Jämjö BH15
Högsrum BH4
Rälla Tall BH21
Dyestad BH9
Tveta BH22
Lenstad BH36
Dröstorp BH25
Frösslunda by BH27
Kleva BH13
Triberga BH28
Kastlösa BH29

Borrhål Grankulla BH1



Geologisk Kartering:

0 – 1,8 m	Humus, sand
1,8 – 3,8 m	Sandig lera
3,8 – 6,5m	Lerblandad sand / grus
6,5 – 9,3m	Grus, fragment kalksten
9,3 – 15m	Morän, stenig / sandig
15 – 17,5m	Kalksten grå/röd delvis sprucken
17,5-18m	Kalksten grå, sprucken

Sprickor och vatten

Djup (m)	Flöde (lit/tim)	Kond	Temp.	Kommentar
15-15,5	420	530	9,9	
16	1200	549	9,4	
16,5	6600	554	8,8	
16,7	10500	564	9,0	
16,8	13500	574	9,0	
17,5	15000	575	9,0	
18	>15000	578	9,0	

Anmärkningar:

1) Alla djup anges i förhållande till omgivande markyta
2) Uppmätt vattenflöde vid uppfodring med blåsning ca 15000l/tim.
3) GVY efter avslutad borrning var 2,65 m.u.my, mätt e. 2tim
4) Geologisk samt övrig data är förenklad i denna presentation. All presenterad information är bedömd i fält utav borroperatören.
5) Provtagning utförd varje meter.
6) Borrning utförd 2017-10-18

BRUNNSRITNING FÖR: **UB 1 -2017 Grankulla**
Böda Kronopark 2:176

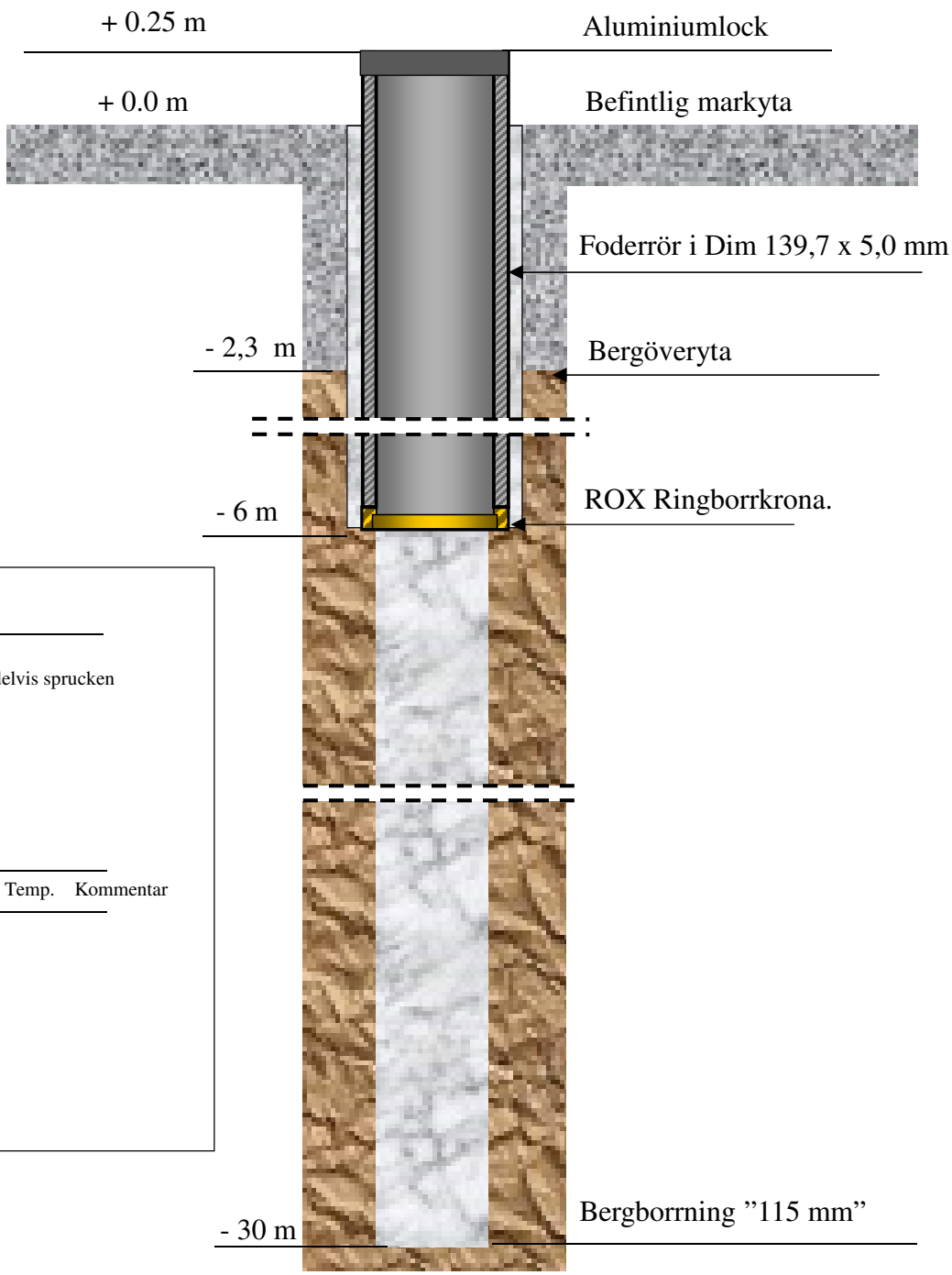
GPS: SWEREF99 N: 6355486 E: 0627848

Datum:	2017-10-18
Uppförd:	Göran Persson HP Borrningar AB
Fältansv:	Göran Persson & Tonie Segelson HP Borrningar

Beskrivning:Bergborrad brunn

A) Foderörs-borrning dim 139,7 x 5,0 mm till övergång och ner i berg. Därefter nitning av borrsko.
B) Bergborrning i dimension ”115 mm” till TD
C) Borrning avslutades med blåsning och rensning av borrhålet.

Borrhål Sjöstorp BH2



Geologisk Kartering:

0 – 2,3 m	Sand
2,3 – 25,5 m	Kalksten röd/grå delvis sprucken
25,5 – 30m	Kalksten röd/grå

Sprickor och vatten

Djup (m)	Flöde (lit/tim)	Kond	Temp.	Kommentar
2,3	< 50	273		

Anmärkningar:

1) Alla djup anges i förhållande till omgivande markyta
2) Uppmätt vattenflöde vid uppfodring med blåsning <50l/tim.
3) GVY efter avslutad borrning var 0,95 m.u.my, mätt e. >10dygn
4) Geologisk samt övrig data är förenklad i denna presentation. All presenterad information är bedömd i fält utav borroperatören.
5) Provtagning utförd varje meter.
6) Borrning utförd 2017-10-18--19

BRUNNSRITNING FÖR: **UB 2 -2017 Sjöstorp**
Böda Kronopark 2:176

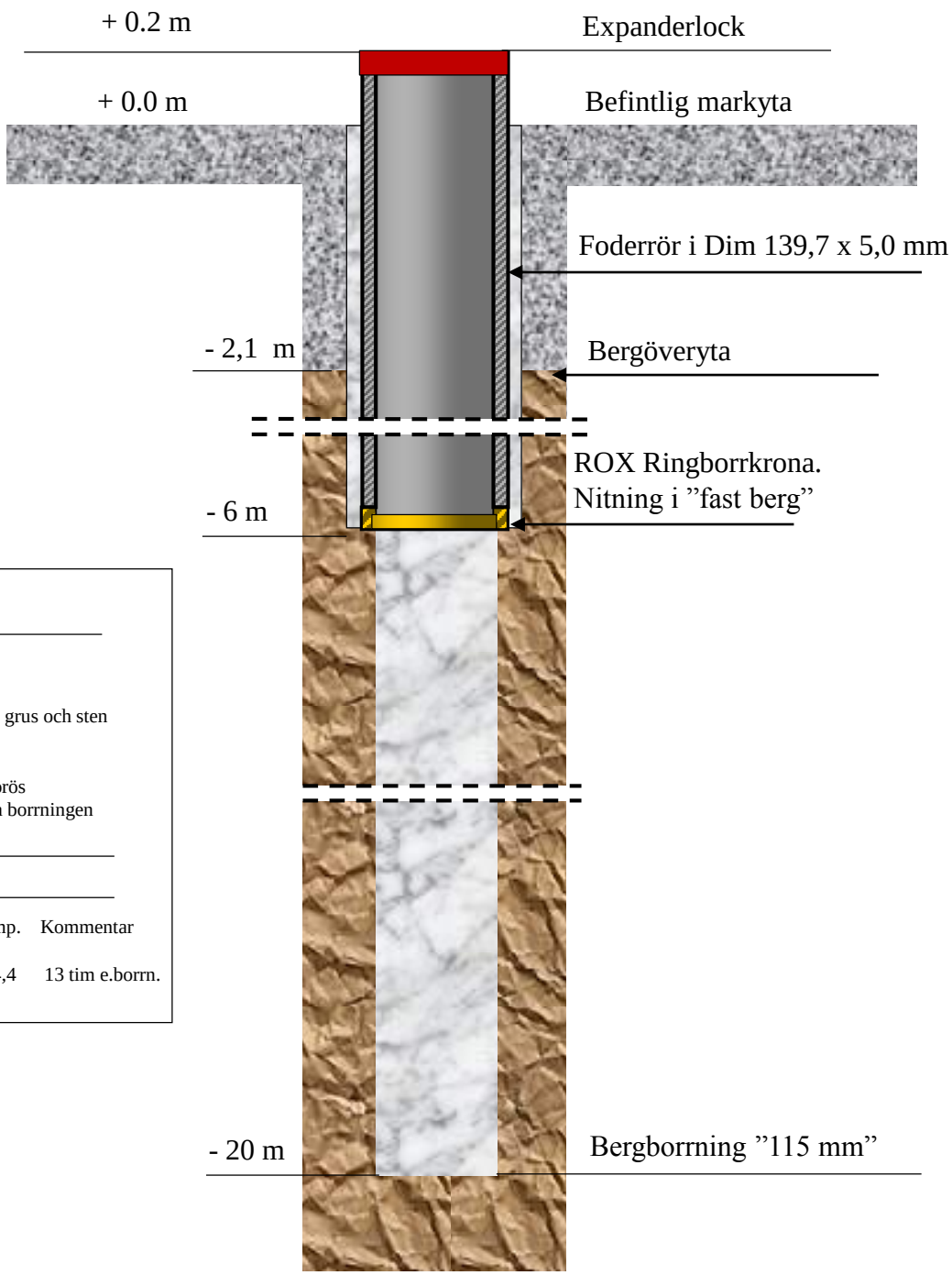
GPS: SWEREF99 N: 6353662 E: 0625645

Datum:	2017-10-19
Uppförd:	Göran Persson HP Borrningar AB
Fältansv:	Göran Persson & Tonie Segelson HP Borrningar

Beskrivning:Bergborrad brunn

A) Foderörs-borrning dim 139,7 x 5,0 mm till övergång och ner i berg. Därefter nitning av borrsko.
B) Bergborrning i dimension ”115 mm” till TD
C) Borrning avslutades med blåsning och rensning av borrhålet.

Borrhål Böda BH6



Geologisk Kartering:

0 – 0,2 m	Jord, torv, humus
0,2 – 0,9 m	Sand fin
0,9 – 1,2 m	Sand, inslag grövre grus och sten
1,2 – 2,1 m	Sand fin
2,1 – 16,5 m	Grå kalksten
16,5 – 20 m	Grå kalksten ngt porös
	Dammat under hela borrningen

Sprickor och vatten

Djup	Flöde	Kond	Temp.	Kommentar
20 m	fritt vatten	4,49 mS/cm	4,4	13 tim e.borrn.

Anmärkningar:

1) Alla djup anges i förhållande till omgivande markyta
2) Uppmätt vattenflöde vid uppfodring med blåsning < 50 l/tim.
3) GVY efter avslutad borrning var 10,2 m.u.my, mätt e. 3 dygn.
4) Geologisk samt övrig data är förenklad i denna presentation. All presenterad information är bedömd i fält utav borroperatören.
5) Provtagning utförd varje meter.
6) Borrning utförd 2016-11-30 till 2016-12-01.

BRUNNSRITNING FÖR: **Undersökningsbrunn 6**

Böda kronopark 2:176

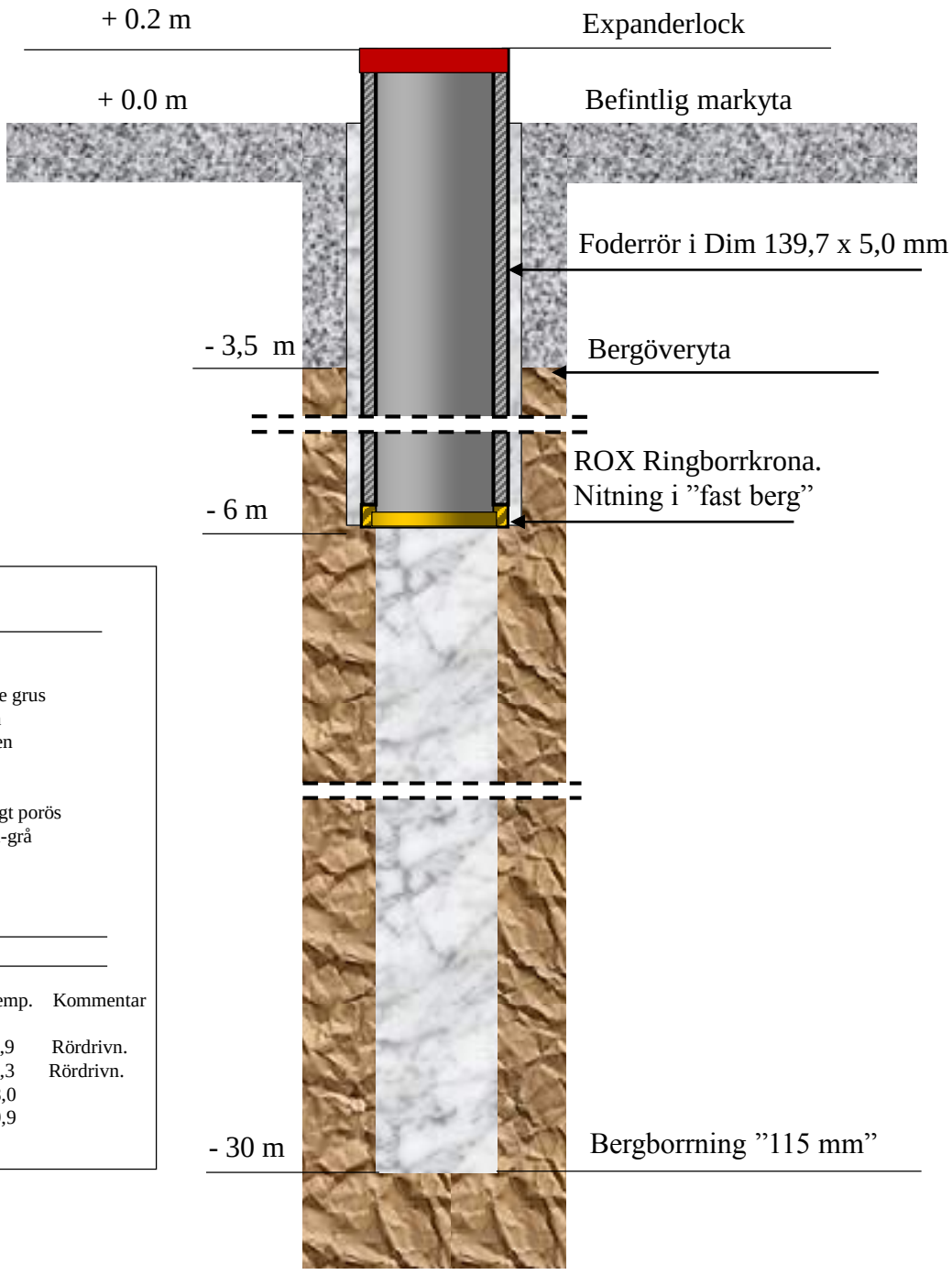
GPS: RT 90 **x: 6354062** **y: 1576714**

Datum:	2016-12-01
Uppförd:	Patrik Fernbrant HP Borrningar AB
Fältansv:	Göran Persson HP Borrningar

Beskrivning:Bergborrad brunn

A) Foderörs-borrning dim 139,7 x 5,0 mm till övergång och ner i berg. Därefter nitning av borrsko.
B) Bergborrning i dimension ”115 mm” till TD
C) Borrning avslutades med blåsning och rensning av borrhålet.

Borrhål Böda BH7



Geologisk Kartering:

0 – 0,2 m	Jord, torv, humus
0,2 – 2,5 m	Sand fin
2,5 – 3 m	Sand, inslag grövre grus
3 – 6 m	Kalksten sprucken
6 – 7 m	Grå-gråröd kalksten
7 – 12 m	Röd kalksten
12 – 14,5 m	Gråröd kalksten
14,5 – 17 m	Rödgrå kalksten ngt porös
17 – 22,5 m	Skiffer, ljusare blå-grå
22,5 – 25,5 m	Grå kalksten
25,5 – 28,5 m	Röd kalksten
28,5 – 30 m	Grå kalksten

Sprickor och vatten

Djup	Flöde	Kond	Temp.	Kommentar
3 m	fritt vatten	398 µS/cm	9,9	Rördrivn.
4,5	5 l/min	417	9,3	Rördrivn.
7	fritt vatten	445	8,0	
30	fritt vatten	415	9,9	

Anmärkningar:

1) Alla djup anges i förhållande till omgivande markyta
2) Uppmätt vattenflöde vid uppfodring med blåsning ej mätbar.
3) GVY efter avslutad borrning var 4,63 m.u.my, mätt e. 5 dygn.
4) Geologisk samt övrig data är förenklad i denna presentation. All presenterad information är bedömd i fält utav borroperatören.
5) Provtagning utförd varje meter.
6) Borrning utförd 2016-11-30.

BRUNNSRITNING FÖR: **Undersökningsbrunn 7**

Böda kronopark 2:176

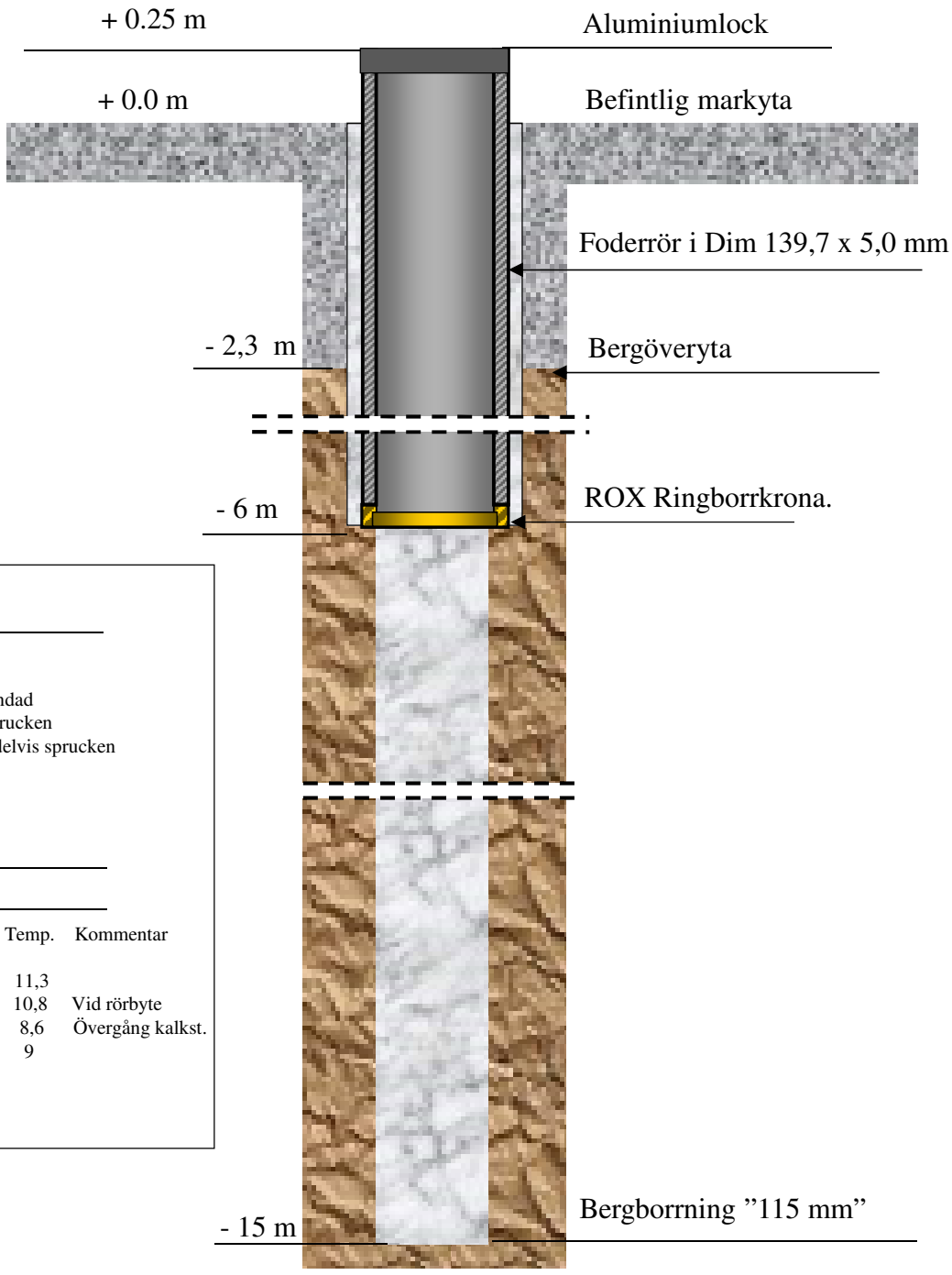
GPS: RT 90 **x: 6351759** **y: 1573088**

Datum:	2016-11-30
Uppförd:	Patrik Fernbrant HP Borrningar AB
Fältansv:	Göran Persson HP Borrningar

Beskrivning:Bergborrad brunn

A) Foderörs-borrning dim 139,7 x 5,0 mm till övergång och ner i berg. Därefter nitning av borrsko.
B) Bergborrning i dimension ”115 mm” till TD
C) Borrning avslutades med blåsning och rensning av borrhålet.

Borrhål Böda S BH5



Geologisk Kartering:

0 – 7,2 m	Sand
7,2 – 9 m	Sand, grusig
9 – 11,5m	Siltig sand, lerblandad
11,5 – 11,8m	Kalksten, oren / sprucken
11,8 – 12,5m	Kalksten, röd/grå delvis sprucken
12,5 – 13m	Kalksten , grå/röd
13 – 15m	Kalksten , röd/grå

Sprickor och vatten

Djup (m)	Flöde (lit/tim)	Kond	Temp.	Kommentar
6	>100	82	11,3	
8,6	1200	190	10,8	Vid rörbyte
11,5-12,5	10800	422	8,6	Övergång kalkst.
15	>10800	533	9	

Anmärkningar:

1) Alla djup anges i förhållande till omgivande markyta
2) Uppmätt vattenflöde vid uppfodring med blåsning >10.800l/tim.
3) GVY efter avslutad borrning var 2,45 m.u.my, mätt e. 0,5tim samt 1,59m.u.my, mätt efter >10dygn
4) Geologisk samt övrig data är förenklad i denna presentation. All presenterad information är bedömd i fält utav borroperatören.
5) Provtagning utförd varje meter.
6) Borrning utförd 2017-10-19

BRUNNSRITNING FÖR: **UB 5 -2017 Böda S**
Böda Kronopark 2:176

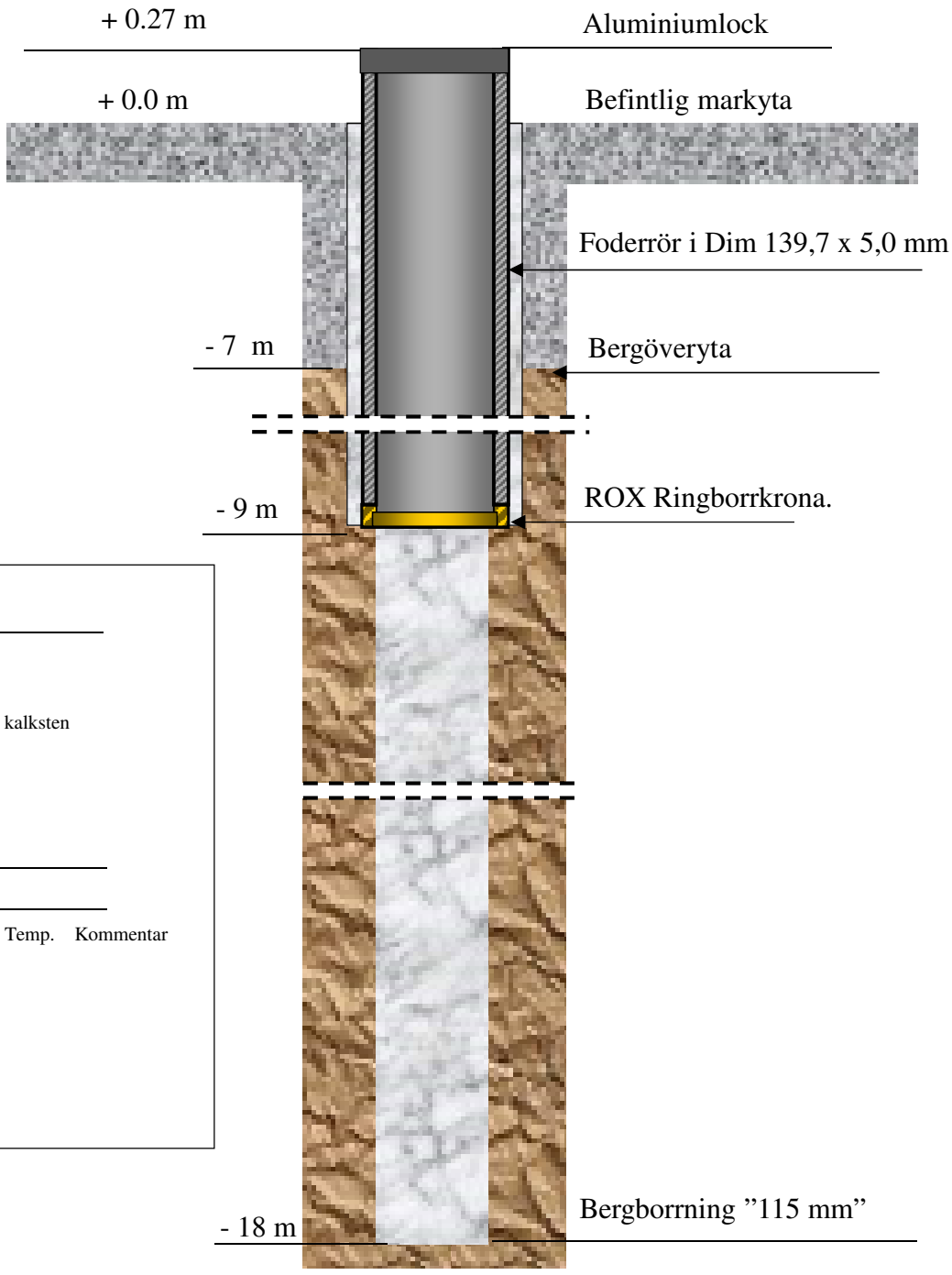
GPS: SWEREF99 N: 6348835 E: 0623027

Datum:	2017-10-19
Uppförd:	Göran Persson HP Borrningar AB
Fältansv:	Göran Persson & Tonie Segelson HP Borrningar

Beskrivning:Bergborrad brunn

A) Foderörs-borrning dim 139,7 x 5,0 mm till övergång och ner i berg. Därefter nitning av borrsko.
B) Bergborrning i dimension ”115 mm” till TD
C) Borrning avslutades med blåsning och rensning av borrhålet.

Borrhål Fagerum BH6



Geologisk Kartering:

0 – 1 m	Finsand
1 – 3 m	Sand
3 – 6,5m	Finsand, grusig
6,5 – 7m	Finsand, fragment kalksten
7 – 13m	Kalksten, röd/grå
13 – 17,6m	Kalksten , grå/röd
17,6 – 18m	Skiffer, oren

Sprickor och vatten

Djup (m)	Flöde (lit/tim)	Kond	Temp.	Kommentar
2,5-3	<100	237		

Anmärkningar:

1) Alla djup anges i förhållande till omgivande markyta
2) Uppmätt vattenflöde vid uppfodring med blåsning <50l/tim.
3) GVY efter avslutad borrning var 0,64 m.u.my, mätt e. >10dygn
4) Geologisk samt övrig data är förenklad i denna presentation. All presenterad information är bedömd i fält utav borroperatören.
5) Provtagning utförd varje meter.
6) Borrning utförd 2017-10-19--20

BRUNNSRITNING FÖR: **UB 6 -2017 Fagerum**
Böda Kronopark 2:173

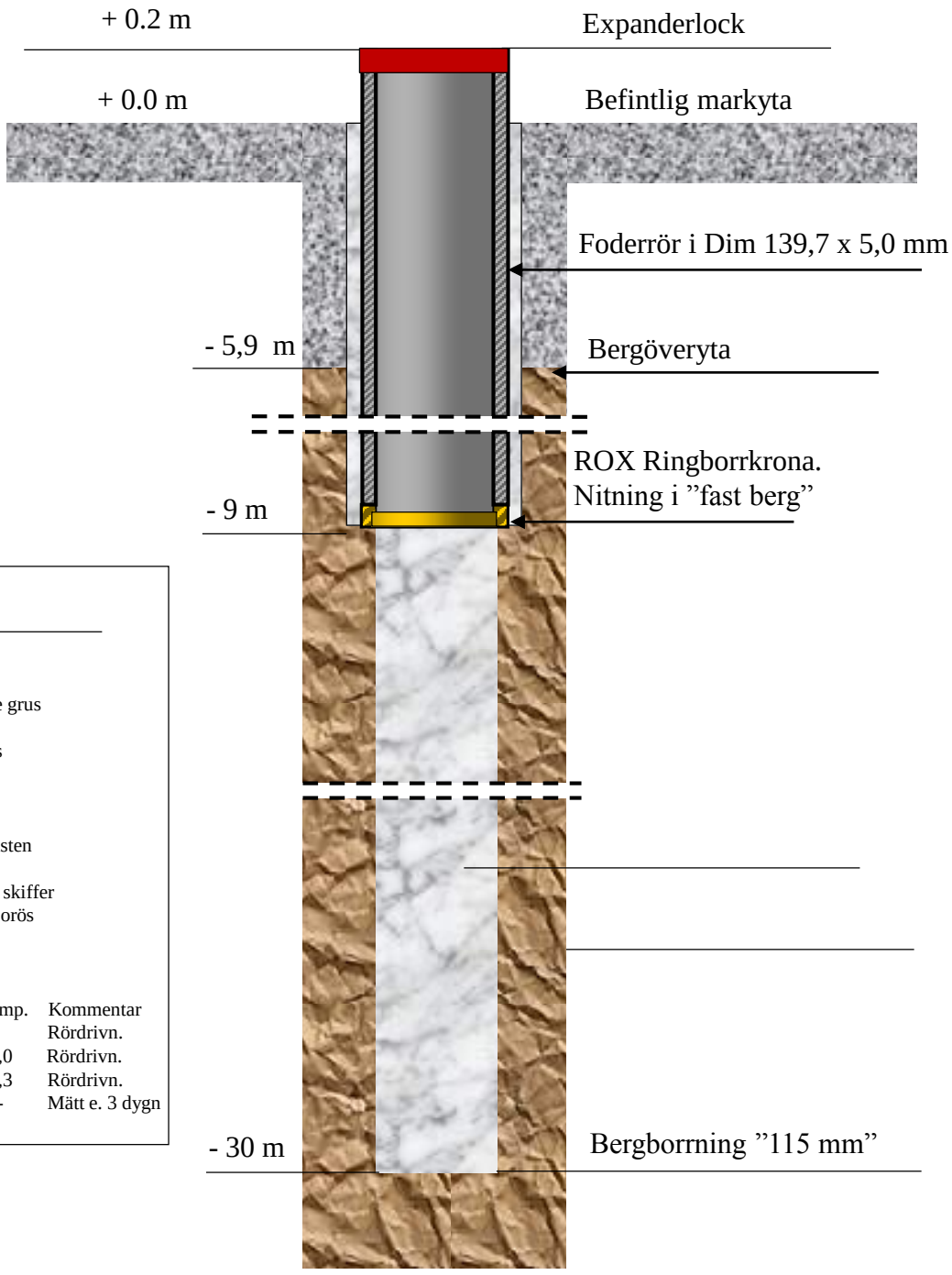
GPS: SWEREF99 N: 6348466 E: 0620630

Datum:	2017-10-20
Uppförd:	Göran Persson HP Borrningar AB
Fältansv:	Göran Persson & Tonie Segelson HP Borrningar

Beskrivning:Bergborrad brunn

A) Foderörs-borrning dim 139,7 x 5,0 mm till övergång och ner i berg. Därefter nitning av borrsko.
B) Bergborrning i dimension ”115 mm” till TD
C) Borrning avslutades med blåsning och rensning av borrhålet.

Borrhål Böda BH8



Geologisk Kartering:

0 – 0,3 m	Jord, torv, humus
0,3 – 4,5 m	Sand fin
4,5 – 5 m	Sand, inslag grövre grus
5 – 5,9 m	Sand lerig
5,9 – 7,8 m	Röd kalksten porös
7,8 – 8,4 m	Röd kalksten
8,4 – 11,5 m	Rödgrå kalksten
11,5 – 18,5 m	Gråröd kalksten
18,5 – 22,5 m	Övergång likt sandsten
22,5 – 24,5 m	Rödgrå kalksten
24,5 – 26 m	Grön/blå övergång skiffer
26 – 30 m	Grå kalksten mkt porös

Sprickor och vatten

Djup	Flöde	Kond	Temp.	Kommentar
6,3 m	50 l/min			Rördrivn.
7,3	100	498	9,0	Rördrivn.
8,4	100	503	9,3	Rördrivn.
30	ej mätbart	6,9 mS	--	Mätt e. 3 dygn

Anmärkningar:

1) Alla djup anges i förhållande till omgivande markyta
2) Uppmätt vattenflöde vid uppfodring med blåsning ca 120 l/tim.
3) GVY efter avslutad borrning var 5,86 m.u.my, mätt e. 3 dygn.
4) Geologisk samt övrig data är förenklad i denna presentation. All presenterad information är bedömd i fält utav borroperatören.
5) Provtagning utförd varje meter.
6) Borrning utförd 2016-12-01 till 2016-12-05.

BRUNNSRITNING FÖR: **Undersökningsbrunn 8**

Böda kronopark 2:182

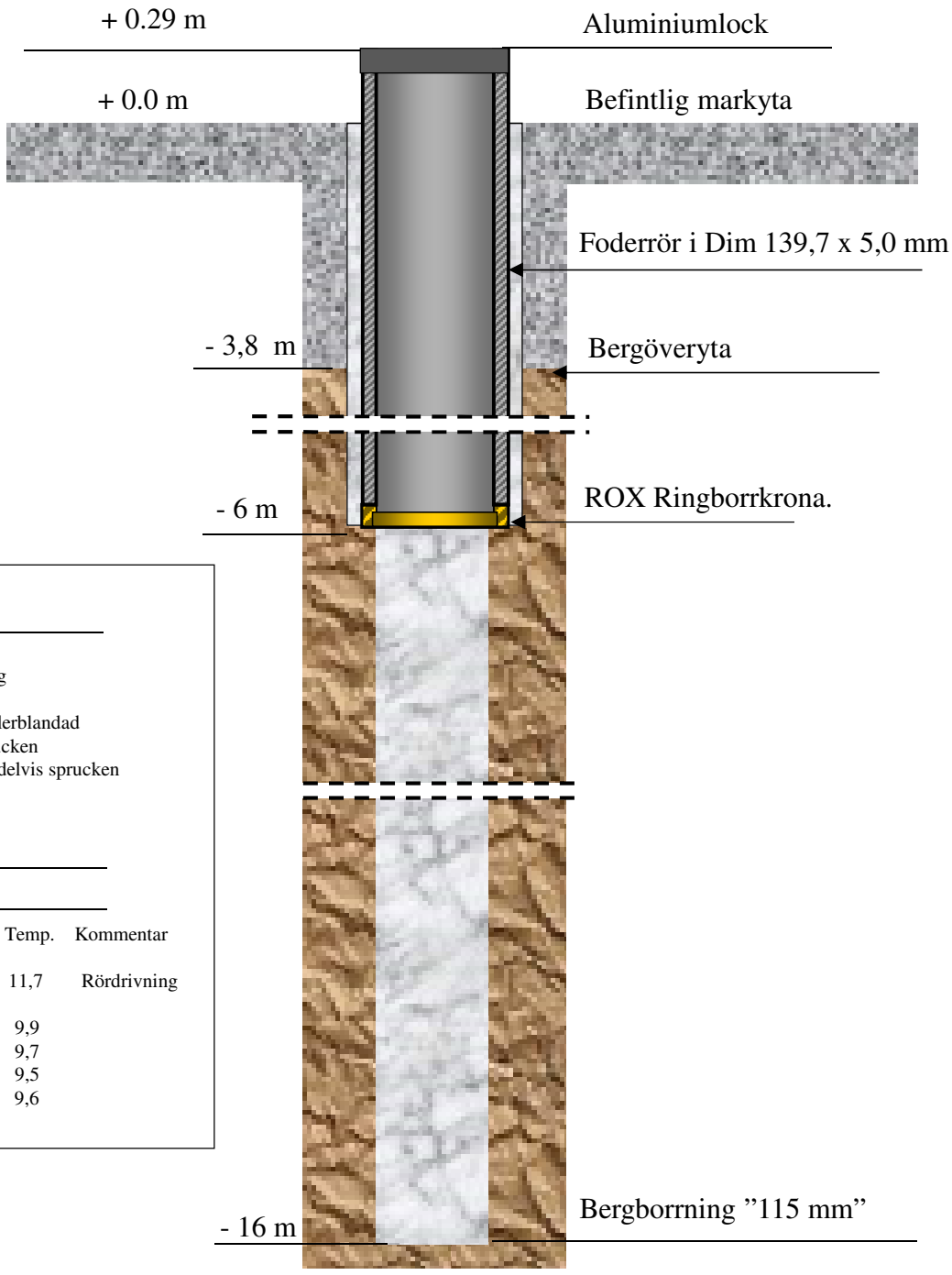
GPS: RT 90 **x: 6346248** **y: 1572722**

Datum:	2016-12-05
Uppförd:	Patrik Fernbrant HP Borrningar AB
Fältansv:	Göran Persson HP Borrningar

Beskrivning:Bergborrad brunn

A) Foderörs-borrning dim 139,7 x 5,0 mm till övergång och ner i berg. Därefter nitning av borrsko.
B) Bergborrning i dimension ”115 mm” till TD
C) Borrning avslutades med blåsning och rensning av borrhålet.

Borrhål Södvik BH7



Geologisk Kartering:

0 – 0,3 m	Humus
0,3 – 2,5	Sand, delvis grusig
2,5 – 3 m	Sand
3 – 3,8m	Sand/grus, delvis lerblandad
3,8 – 4,2m	Kalksten, röd sprucken
4,2 – 16m	Kalksten, röd/grå delvis sprucken

Sprickor och vatten

Djup (m)	Flöde (lit/tim)	Kond	Temp.	Kommentar
4,2-6	1800	786	11,7	Rördrivning
8-9	7200	810		
9-10	10800	830	9,9	
11-12	12000	880	9,7	
12-13	30000	998	9,5	
16	>30000	2116	9,6	

Anmärkningar:

1) Alla djup anges i förhållande till omgivande markyta
2) Uppmätt vattenflöde vid uppfodring med blåsning <50l/tim.
3) GVY efter avslutad borrning var 2,62 m.u.my, mätt e. 1 tim samt 0,51m.u.my mätt >10 dygn efter avslutad borrning
4) Geologisk samt övrig data är förenklad i denna presentation. All presenterad information är bedömd i fält utav borroperatören.
5) Provtagning utförd varje meter.
6) Borrning utförd 2017-10-26

BRUNNSRITNING FÖR: **UB 7 -2017 Södvik**
Södvik 7:2

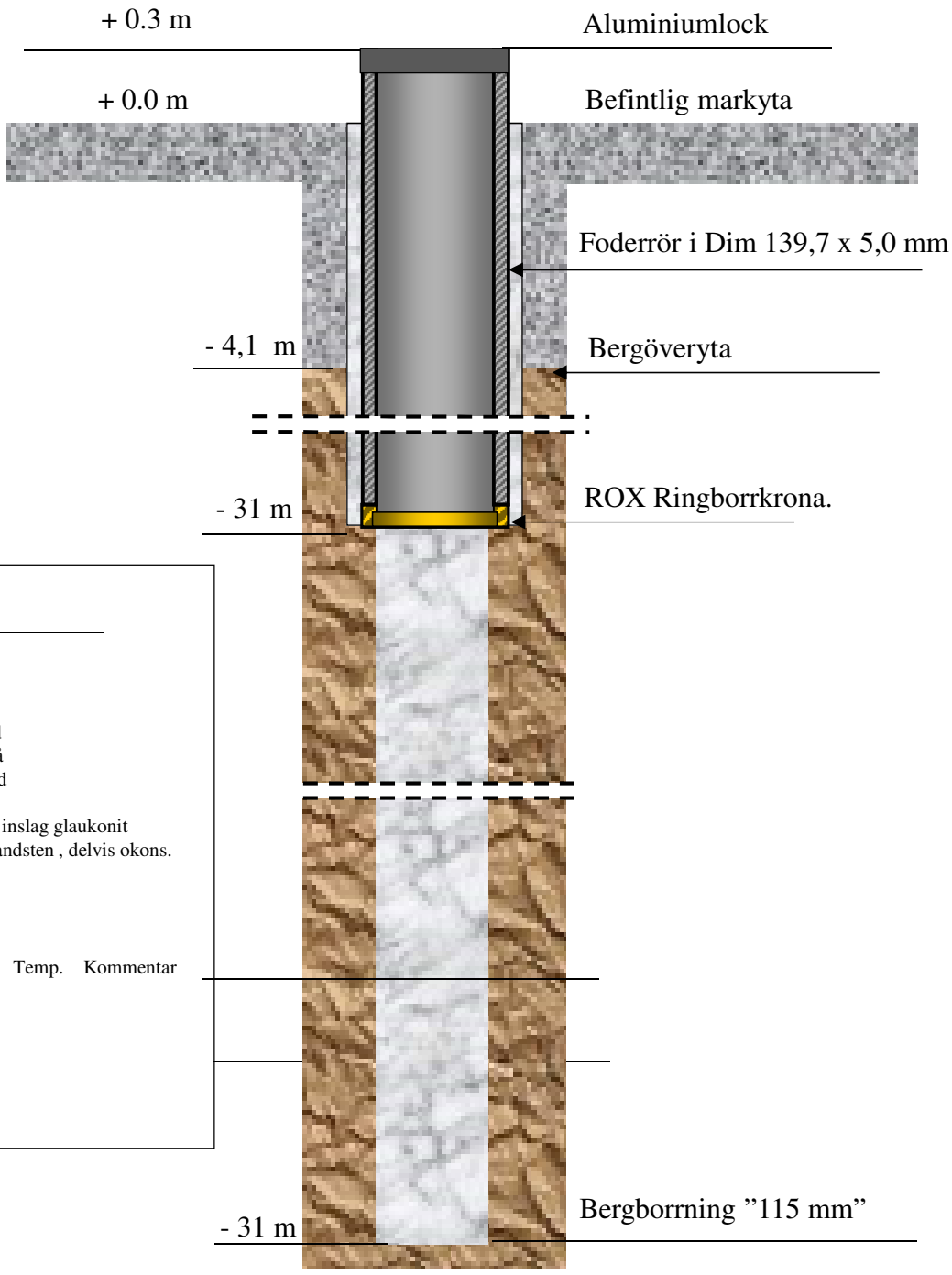
GPS: SWEREF99 N: 6325884 E: 0614974

Datum:	2017-10-26
Uppförd:	Göran Persson HP Borrningar AB
Fältansv:	Göran Persson & Jonas Hallberg HP Borrningar

Beskrivning:Bergborrad brunn

A) Foderörs-borrning dim 139,7 x 5,0 mm till övergång och ner i berg. Därefter nitning av borrsko.
B) Bergborrning i dimension ”115 mm” till TD
C) Borrning avslutades med blåsning och rensning av borrhålet.

Borrhål Hallnäs BH8



Geologisk Kartering:

0 – 1 m	Humus / sand
1 – 3 m	Sand
3 – 4,1m	Sand lerblandad
4,1 – 4,5m	Kalksten, grå/röd
4,5 - 8m	Kalksten, röd/grå
8 – 12m	Kalksten , grå/röd
12 – 26m	Kalksten , grå
26 – 28m	Kalksten, okons. inslag glaukonit
28 – 30m	Kalksandsten / sandsten , delvis okons.
30 – 31m	Skiffer, oren

Sprickor och vatten

Djup (m)	Flöde (lit/tim)	Kond	Temp.	Kommentar
16,9 – 18	3000	11,65		
31	600	12,12		

Anmärkningar:

1) Alla djup anges i förhållande till omgivande markyta
2) Uppmätt vattenflöde vid uppfodring med blåsning 600l/tim.
3) GVY efter avslutad borrning var 16,75* m.u.my, mätt e. 1,5 tim* samt 0,09 m.u.my mätt >10 dygn efter avslutad borrning
4) Geologisk samt övrig data är förenklad i denna presentation. All presenterad information är bedömd i fält utav borroperatören.
5) Provtagning utförd varje meter.
6) Borrning utförd 2017-10-24--25

BRUNNSRITNING FÖR: **UB 8 -2017 Hallnäs**
Hallnäs 14:1

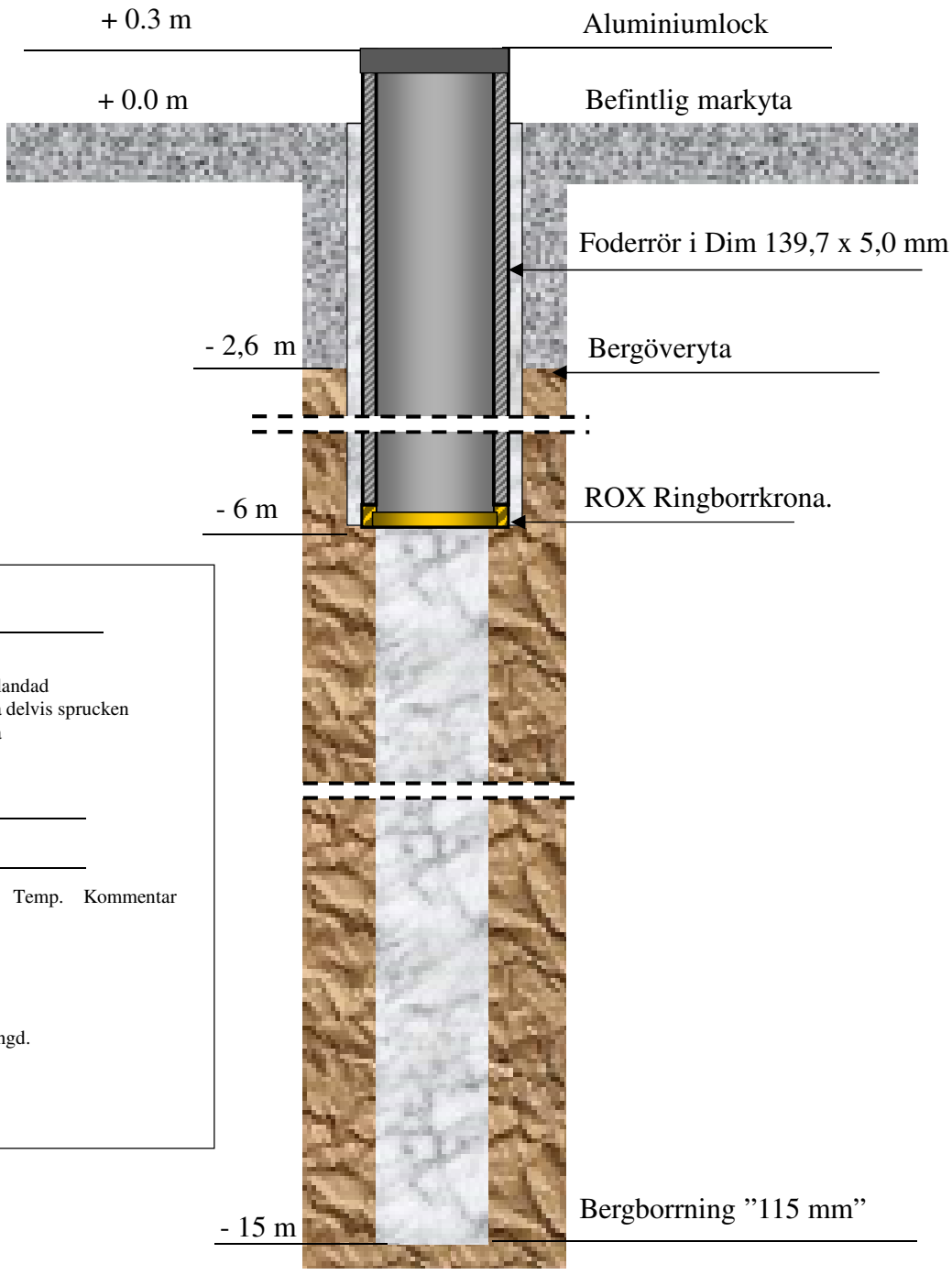
GPS: SWEREF99 N: 6324681 E: 0615620

Datum:	2017-10-25
Uppförd:	Göran Persson HP Borrningar AB
Fältansv:	Göran Persson & Jonas Hallberg HP Borrningar

Beskrivning:Bergborrad brunn

A) Foderörs-borrning dim 139,7 x 5,0 mm till övergång och ner i berg. Därefter nitning av borrsko.
B) Bergborrning i dimension ”115 mm” till TD
C) Borrning avslutades med blåsning och rensning av borrhålet.

Borrhål Föra BH10



Geologisk Kartering:

0 – 1 m	Humus / sand
1 – 2,6 m	Sand, delvis lerblandad
2,6 – 4m	Kalksten, röd/grå delvis sprucken
4 – 12,5m	Kalksten, röd/grå
12,5 - 15m	Sandsten

Sprickor och vatten

Djup (m)	Flöde (lit/tim)	Kond	Temp.	Kommentar
3-4	600	1207		
5,5	900	1247		
12,5-15	2400*	1283		

*Vid rensning minskade tillrinningsmängd.

Anmärkningar:

1) Alla djup anges i förhållande till omgivande markyta
2) Uppmätt vattenflöde vid uppfodring med blåsning 900l/tim.
3) GVY efter avslutad borrning var 0,44 m.u.my, mätt e. 1 tim
4) Geologisk samt övrig data är förenklad i denna presentation. All presenterad information är bedömd i fält utav borroperatören.
5) Provtagning utförd varje meter.
6) Borrning utförd 2017-10-25--26

BRUNNSRITNING FÖR: **UB 10 -2017 Föra**
Föra 3:22

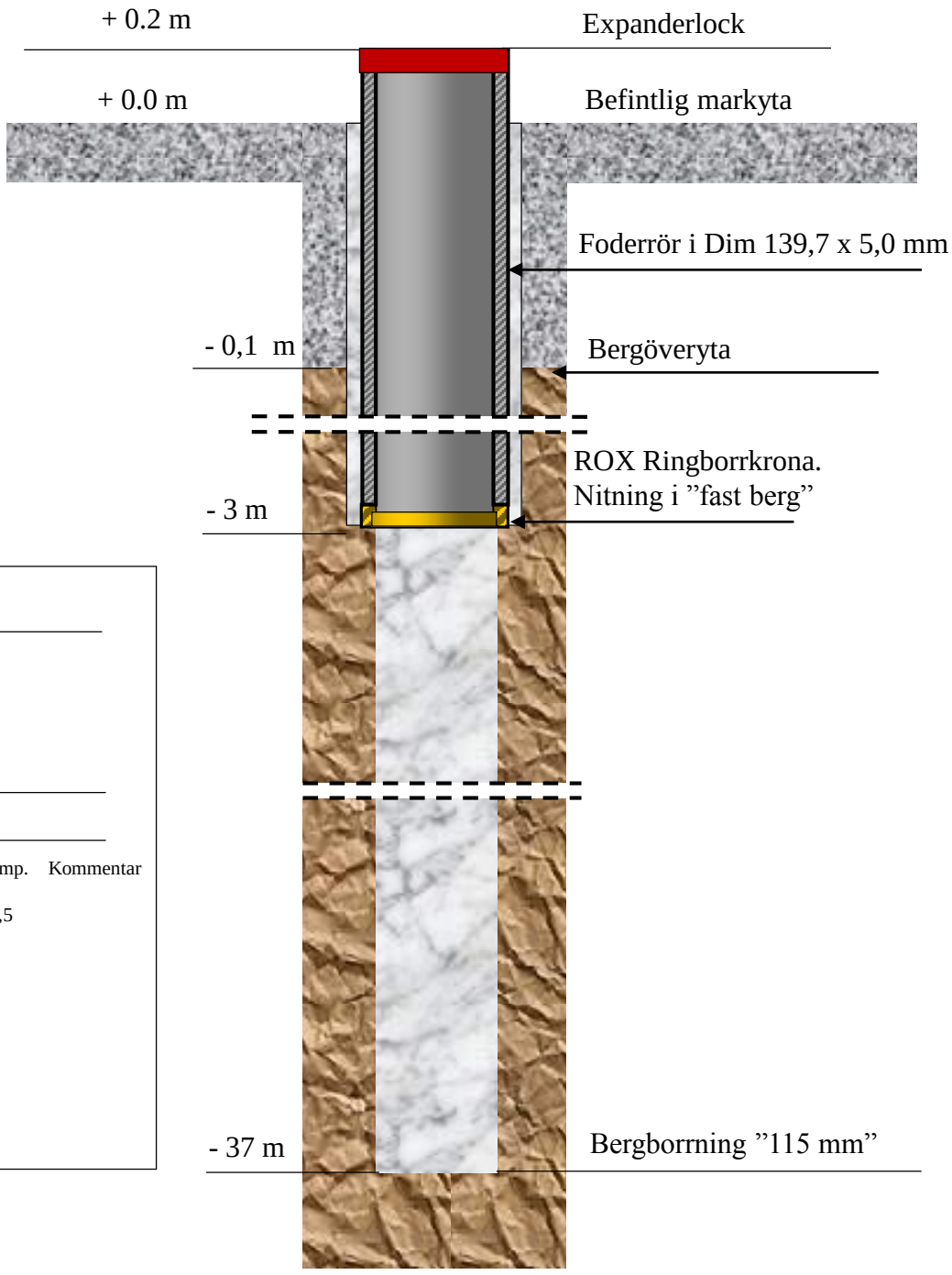
GPS: SWEREF99 N: 6320371 E: 0612978

Datum:	2017-10-26
Uppförd:	Göran Persson HP Borrningar AB
Fältansv:	Göran Persson & Jonas Hallberg HP Borrningar

Beskrivning:Bergborrad brunn

A) Foderörs-borrning dim 139,7 x 5,0 mm till övergång och ner i berg. Därefter nitning av borrsko.
B) Bergborrning i dimension ”115 mm” till TD
C) Borrning avslutades med blåsning och rensning av borrhålet.

Borrhål Äleklinta BH5



Geologisk Kartering:

0 – 0,1 m	Jord, torv, humus
0,1 – 9,5 m	Röd kalksten
9,5 – 18,5 m	Grå kalksten
18,5 – 31 m	Alunskiffer
31 – 37 m	Lerig porös skiffer

Sprickor och vatten

Djup	Flöde	Kond	Temp.	Kommentar
37 m	10 l/min	14,9 mS/cm	6,5	

Anmärkningar:

1) Alla djup anges i förhållande till omgivande markyta
2) Uppmätt vattenflöde vid uppfodring med blåsning ca 600 l/tim.
3) GVY efter avslutad borrning var 11,10 m.u.my, mätt e. 1 tim.
4) Geologisk samt övrig data är förenklad i denna presentation. All presenterad information är bedömd i fält utav borroperatören.
5) Provtagning utförd varje meter.
6) Borrning utförd 2016-12-06 till 2016-12-07

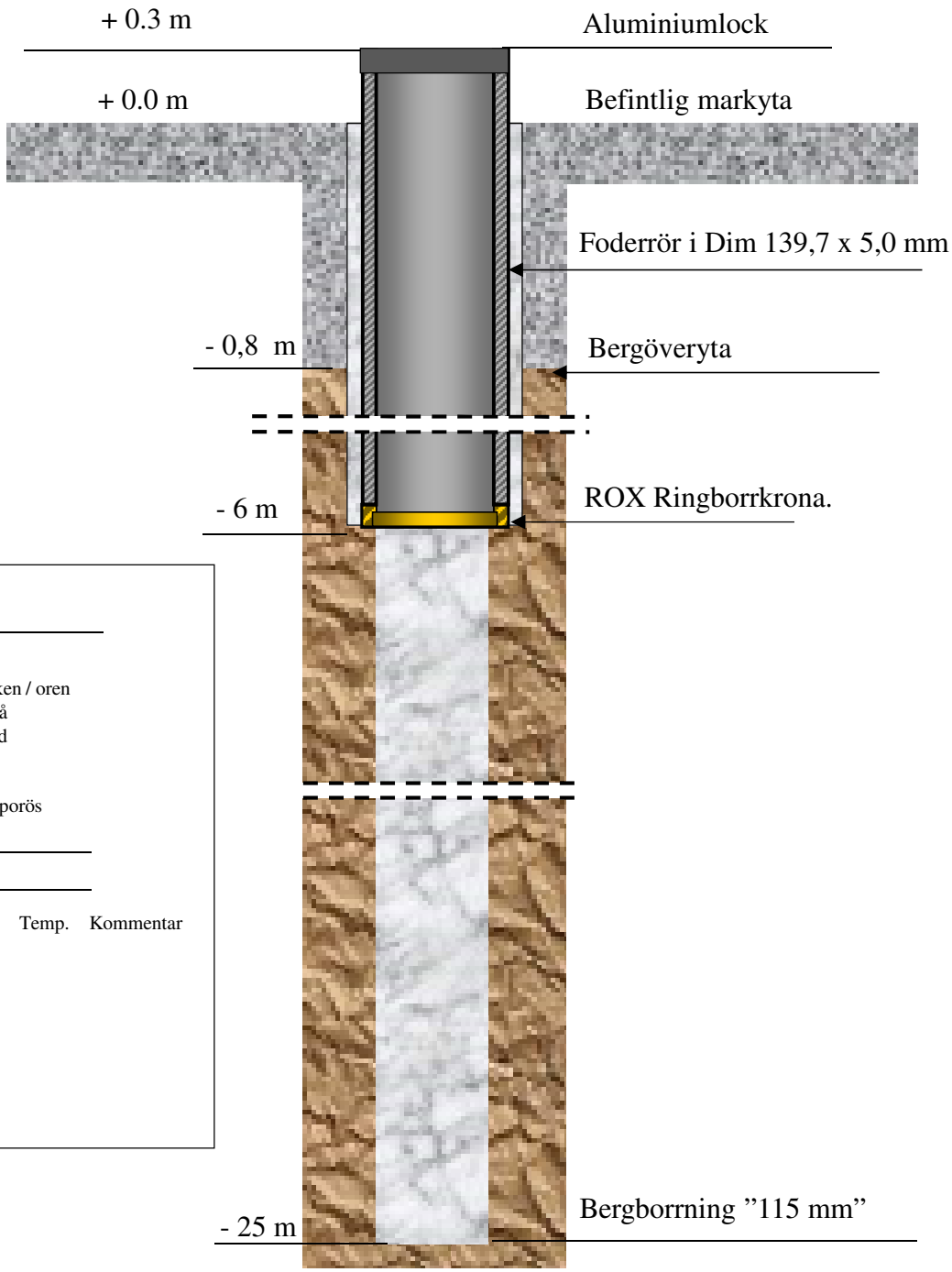
BRUNNSRITNING FÖR: **Undersökningsbrunn 5**
Äleklinta 2:2
GPS: RT 90 **x: 6316076** **y: 1562250**

Datum:	2016-12-07
Uppförd:	Patrik Fernbrant HP Borrningar AB
Fältansv:	Göran Persson HP Borrningar

Beskrivning:Bergborrad brunn

A) Foderörs-borrning dim 139,7 x 5,0 mm till övergång och ner i berg. Därefter nitning av borrsko.
B) Bergborrning i dimension ”115 mm” till TD
C) Borrning avslutades med blåsning och rensning av borrhålet.

Borrhål Torpargärde BH33



Geologisk Kartering:

0 – 0,8 m	Humus / sand
0,8 – 5,0 m	Kalksten, sprucken / oren
5,0 – 10m	Kalksten, röd/grå
10 – 14m	Kalksten, grå/röd
14 – 17,5m	Kalksten, grå
17,5 – 22,5m	Sandsten
22,5 – 25m	Sandsten delvis porös

Sprickor och vatten

Djup (m)	Flöde (lit/tim)	Kond	Temp.	Kommentar
22,5 – 25	ca 300	1633		

.

Anmärkningar:

1) Alla djup anges i förhållande till omgivande markyta
2) Uppmätt vattenflöde vid uppfodring med blåsning 300l/tim.
3) GVY efter avslutad borrning var 1,02 m.u.my, mätt e. 5 tim
4) Geologisk samt övrig data är förenklad i denna presentation. All presenterad information är bedömd i fält utav borroperatören.
5) Provtagning utförd varje meter.
6) Borrning utförd 2017-10-26-27

BRUNNSRITNING FÖR: **UB 33 -2017 Torpagärde**
St Istad 2:2

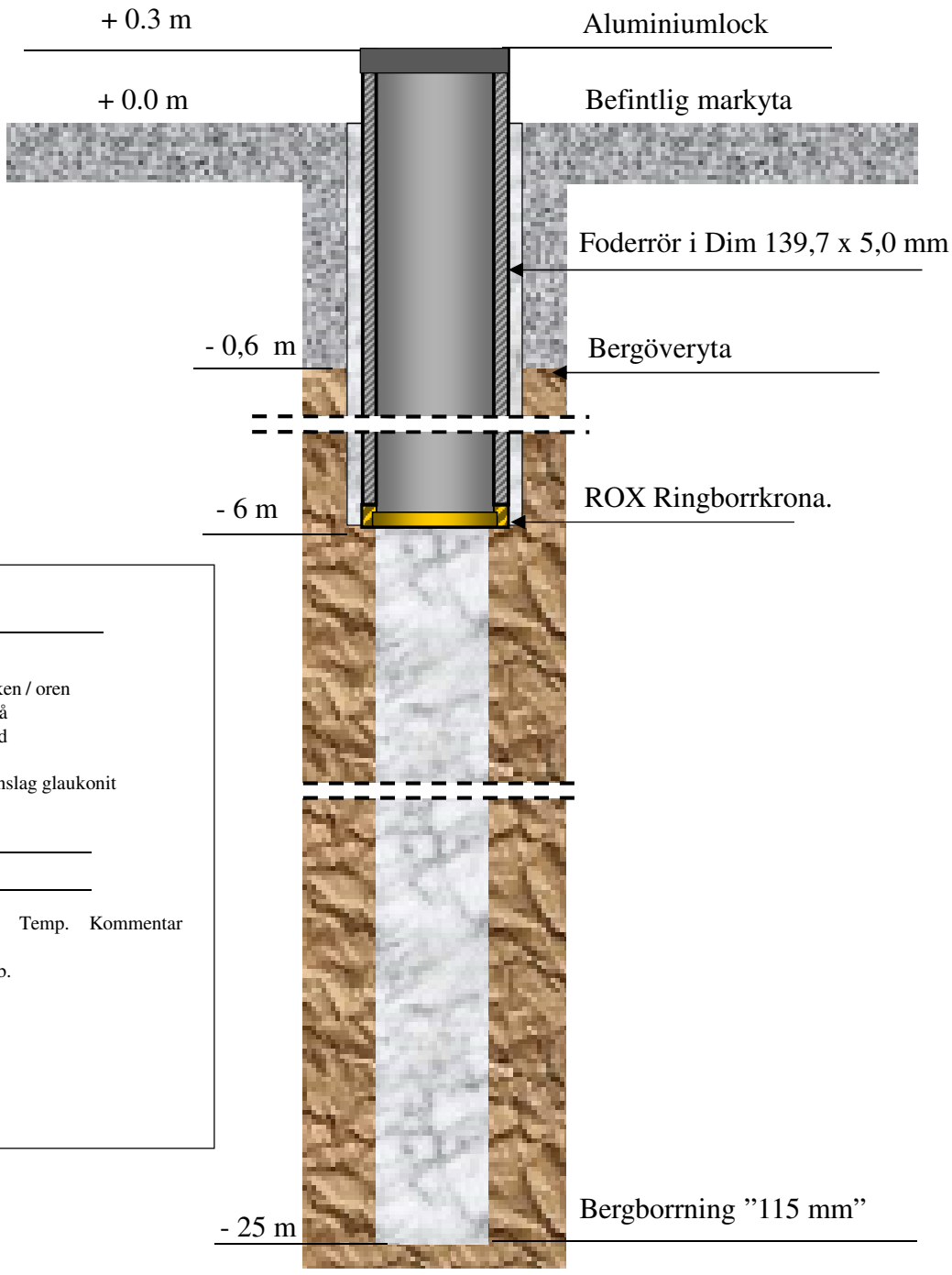
GPS: SWEREF99 N: 6311984 E: 0611636

Datum:	2017-10-27
Uppförd:	Göran Persson HP Borrningar AB
Fältansv:	Göran Persson & Jonas Hallberg HP Borrningar

Beskrivning:Bergborrad brunn

A) Foderörs-borrning dim 139,7 x 5,0 mm till övergång och ner i berg. Därefter nitning av borrsko.
B) Bergborrning i dimension ”115 mm” till TD
C) Borrning avslutades med blåsning och rensning av borrhålet.

Borrhål N Norrby BH 14



Geologisk Kartering:

0 – 0,6 m	Humus / sand
0,6 – 4,7 m	Kalksten, sprucken / oren
4,7 – 10m	Kalksten, röd/grå
10 – 23m	Kalksten, grå/röd
23 – 23,1m	Kalksten, grå
23,1 – 24,5m	Kalksten, oren inslag glaukonit
24,5 – 25m	Skiffer

Sprickor och vatten

Djup (m)	Flöde (lit/tim)	Kond	Temp.	Kommentar
4,5-4,7	<50	Ej mätb.		

.

Anmärkningar:

1) Alla djup anges i förhållande till omgivande markyta
2) Uppmätt vattenflöde vid uppfodring med blåsning <50l/tim.
3) GVY efter avslutad borrning var 1,87 m.u.my, mätt e. >10dygn
4) Geologisk samt övrig data är förenklad i denna presentation. All presenterad information är bedömd i fält utav borroperatören.
5) Provtagning utförd varje meter.
6) Borrning utförd 2017-10-31

BRUNNSRITNING FÖR: **UB 14 -2017 N Norrby**
Haglunda 1:5

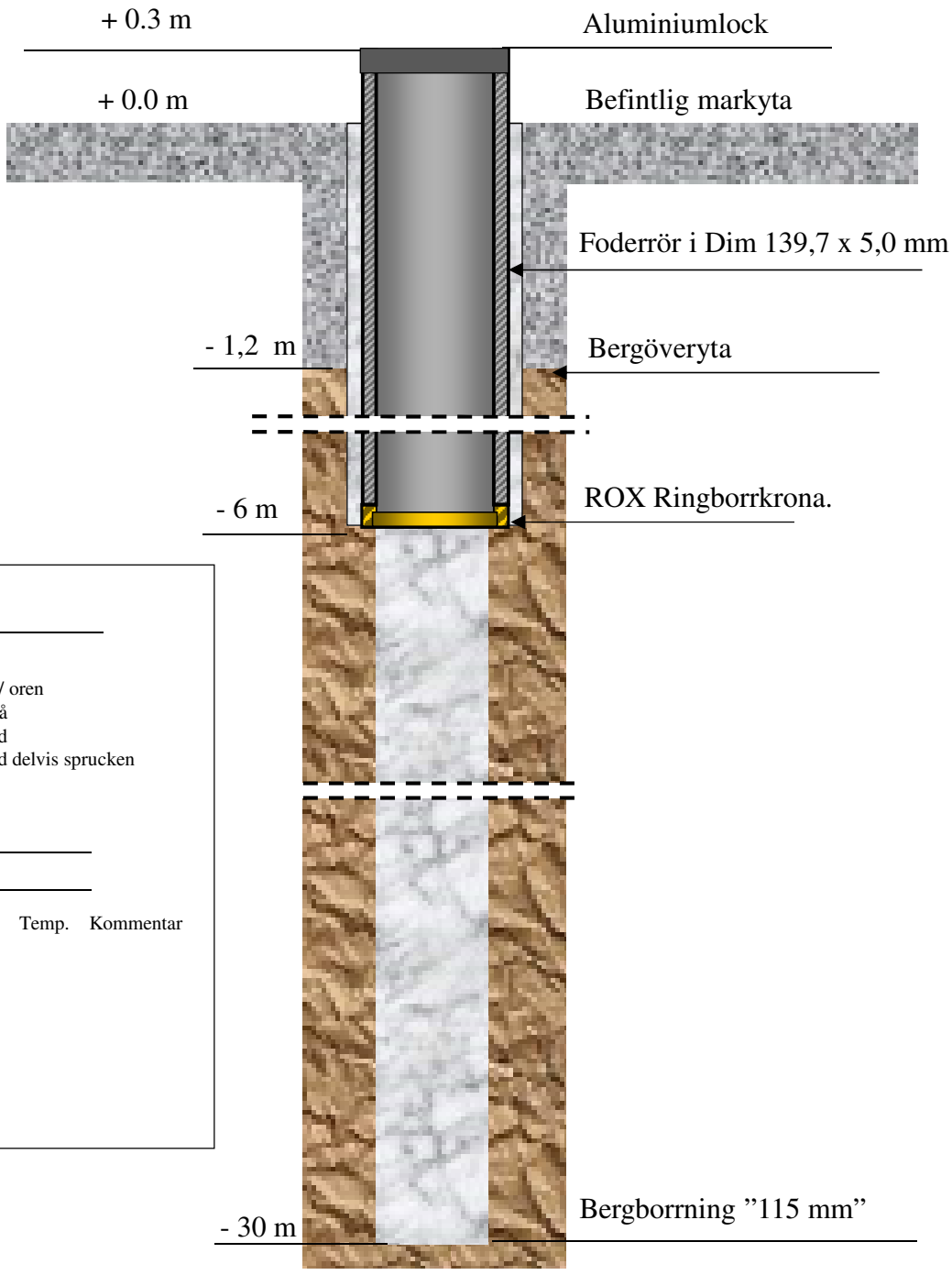
GPS: SWEREF99 N: 6311194 E: 0610124

Datum:	2017-10-31
Uppförd:	Göran Persson HP Borrningar AB
Fältansv:	Göran Persson & Tonie Segelson HP Borrningar

Beskrivning:Bergborrad brunn

A) Foderörs-borrning dim 139,7 x 5,0 mm till övergång och ner i berg. Därefter nitning av borrsko.
B) Bergborrning i dimension ”115 mm” till TD
C) Borrning avslutades med blåsning och rensning av borrhålet.

Borrhål Hjärpestad BH15



Geologisk Kartering:

0 – 0,8 m	Humus / sand
0,8 – 3,2 m	Kalksten, porös / oren
3,2 – 11m	Kalksten, röd/grå
11 – 24m	Kalksten, grå/röd
24 – 27m	Kalksten, grå/röd delvis sprucken
27 – 30m	Skiffer

Sprickor och vatten

Djup (m)	Flöde (lit/tim)	Kond	Temp.	Kommentar
30	ca 300	5,8		

.

Anmärkningar:

1) Alla djup anges i förhållande till omgivande markyta
2) Uppmätt vattenflöde vid uppfodring med blåsning 300l/tim.
3) GVY efter avslutad borrning var 16,29* m.u.my, mätt e. 3,5tim* Artesiskt (+>0,2m) mätt e.>10dygn.
4) Geologisk samt övrig data är förenklad i denna presentation. All presenterad information är bedömd i fält utav borroperatören.
5) Provtagning utförd varje meter.
6) Borrning utförd 2017-10-31—11-01

BRUNNSRITNING FÖR: **UB 15 -2017 Hjärpestad**
Hjärpestad 4:2

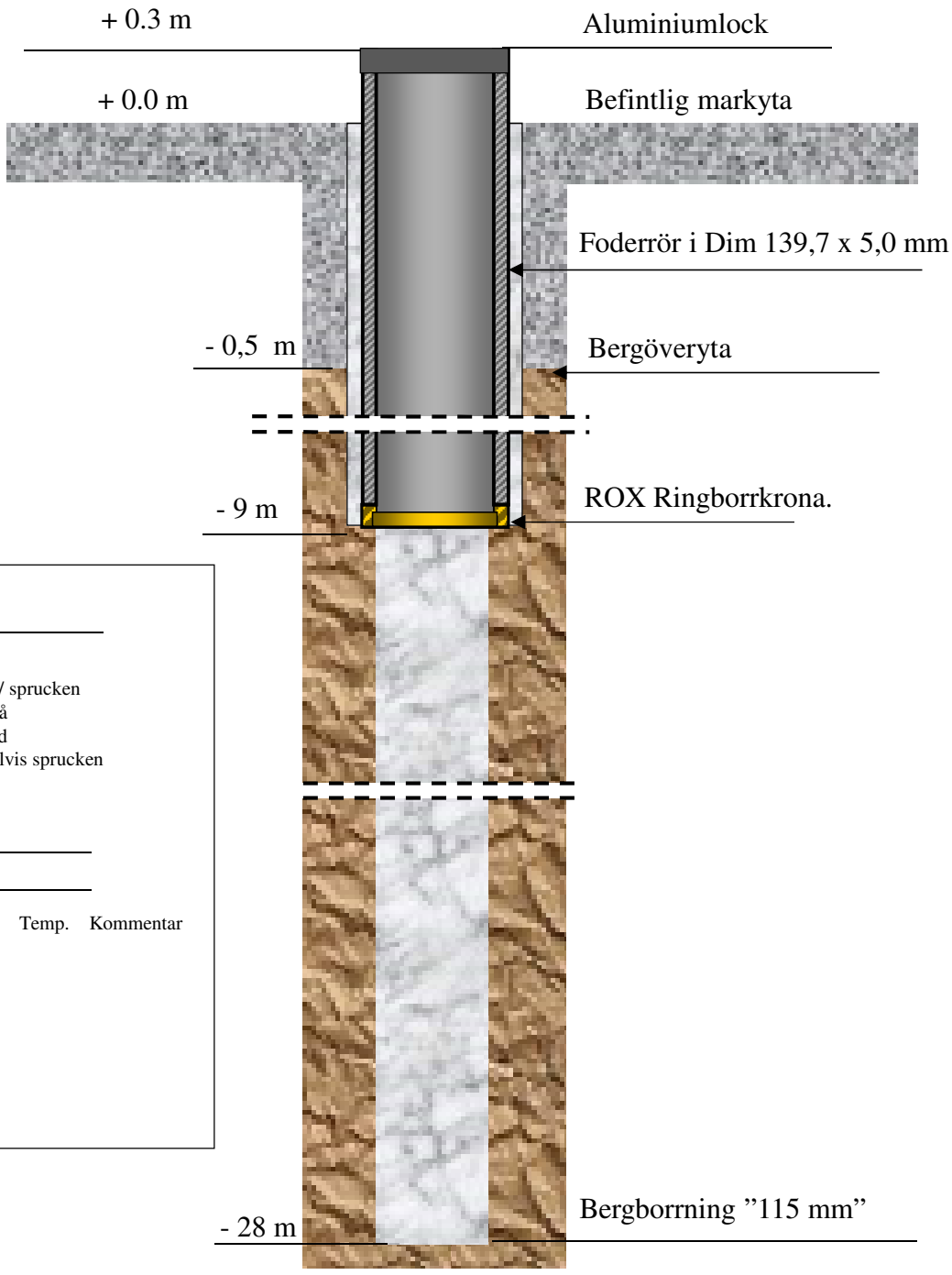
GPS: SWEREF99 N: 6307818 E: 0609838

Datum:	2017-11-01
Uppförd:	Göran Persson HP Borrningar AB
Fältansv:	Göran Persson & Tonie Segelson HP Borrningar

Beskrivning:Bergborrad brunn

A) Foderörs-borrning dim 139,7 x 5,0 mm till övergång och ner i berg. Därefter nitning av borrsko.
B) Bergborrning i dimension ”115 mm” till TD
C) Borrning avslutades med blåsning och rensning av borrhålet.

Borrhål Hörninge BH16



Geologisk Kartering:

0 – 0,5 m	Humus / sand
0,5 – 8,5 m	Kalksten, porös / sprucken
8,5 – 14m	Kalksten, röd/grå
14 – 23,5m	Kalksten, grå/röd
23,5 – 28m	Kalksten, grå delvis sprucken

Sprickor och vatten

Djup (m)	Flöde (lit/tim)	Kond	Temp.	Kommentar
12,5-16	ca 180	486		
23,5 - 28	ca 480	467		

.

Anmärkningar:

1) Alla djup anges i förhållande till omgivande markyta
2) Uppmätt vattenflöde vid uppfodring med blåsning 480 l/tim.
3) GVY efter avslutad borrning var 1,94 m.u.my, mätt e. 16tim
4) Geologisk samt övrig data är förenklad i denna presentation. All presenterad information är bedömd i fält utav borroperatören.
5) Provtagning utförd varje meter.
6) Borrning utförd 2017-11-01--02

BRUNNSRITNING FÖR: **UB 16 -2017 Hörninge**
Hörninge 4:13

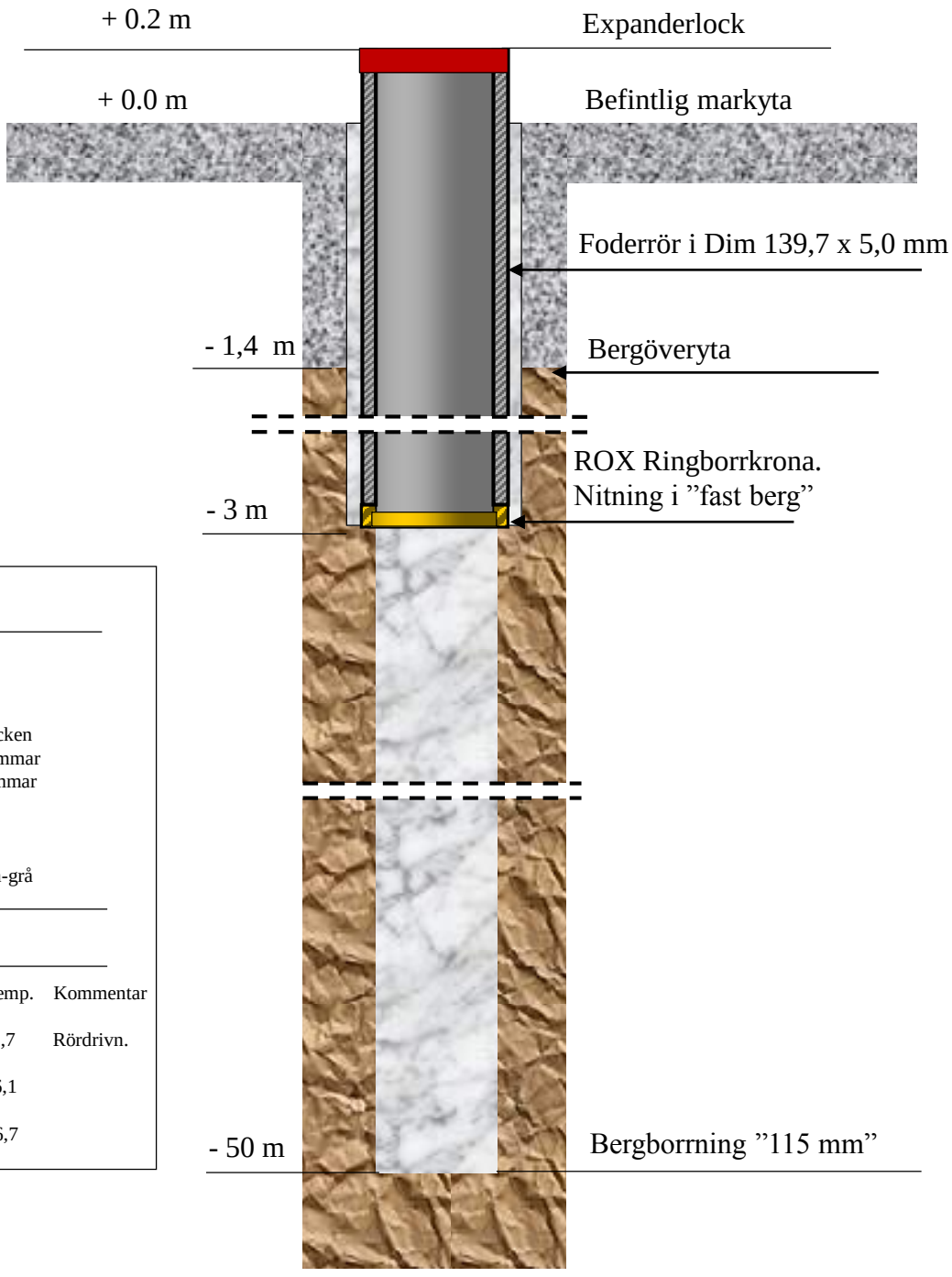
GPS: SWEREF99 N: 6302842 E: 0607697

Datum:	2017-11-02
Uppförd:	Göran Persson HP Borrningar AB
Fältansv:	Göran Persson & Tonie Segelson HP Borrningar

Beskrivning:Bergborrad brunn

A) Foderörs-borrning dim 139,7 x 5,0 mm till övergång och ner i berg. Därefter nitning av borrsko.
B) Bergborrning i dimension ”115 mm” till TD
C) Borrning avslutades med blåsning och rensning av borrhålet.

Borrhål Jämjö BH15



Geologisk Kartering:

0 – 0,2 m	Jord, torv, humus
0,2 – 1,4 m	Sandig morän
1,4 – 2,5 m	Kalksten ngt sprucken
2,5– 5,5 m	Röd kalksten - dammar
5,5 – 12,8 m	Grå kalksten - dammar
12,8 – 15,5 m	Röd kalksten
15,5 – 21 m	Gråröd kalksten
21 – 23 m	Alunskiffer
23 – 50 m	Skiffer, ljusare blå-grå

Sprickor och vatten

Djup	Flöde	Kond	Temp.	Kommentar
2,5 m	fritt vatten	619 µS/cm	6,7	Rördrivn.
23	fritt vatten	683	6,1	
50	300 l/tim	6,17 mS/cm	6,7	

Anmärkningar:

1) Alla djup anges i förhållande till omgivande markyta
2) Uppmätt vattenflöde vid uppfodring med blåsning 300 l/tim.
3) GVY efter avslutad borrning var 9,20 m.u.my, mätt e. 12,5 tim.
4) Geologisk samt övrig data är förenklad i denna presentation. All presenterad information är bedömd i fält utav borroperatören.
5) Provtagning utförd varje meter.
6) Borrning utförd 2016-11-29 till 2016-11-30.

BRUNNSRITNING FÖR: **Undersökningsbrunn 15**

Jämjö 1:3

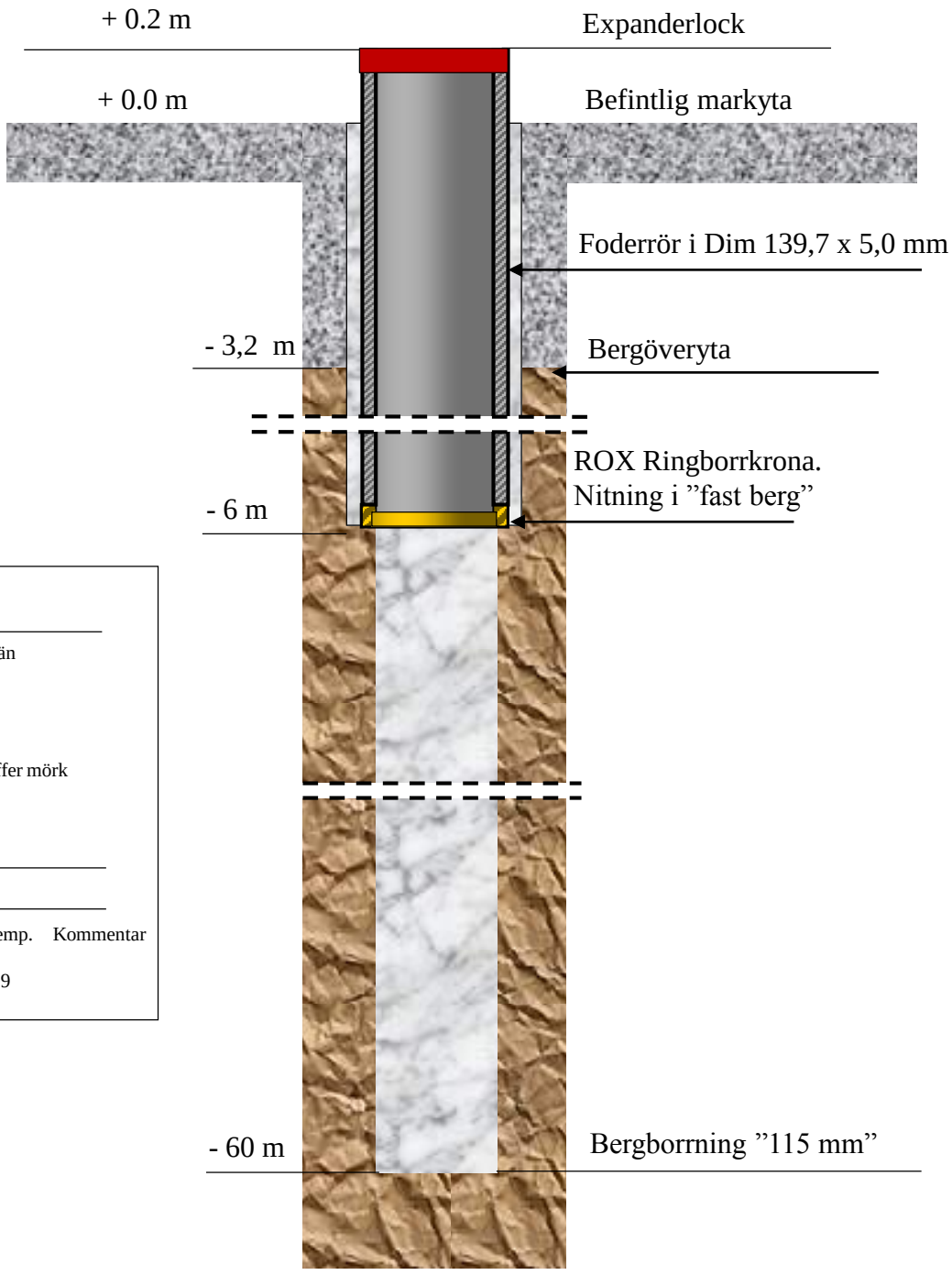
GPS: RT 90 **x: 6297299** **y: 1552682**

Datum:	2016-11-30
Uppförd:	Patrik Fernbrant HP Borrningar AB
Fältansv:	Göran Persson HP Borrningar

Beskrivning:Bergborrad brunn

A) Foderörs-borrning dim 139,7 x 5,0 mm till övergång och ner i berg. Därefter nitning av borrsko.
B) Bergborrning i dimension ”115 mm” till TD
C) Borrning avslutades med blåsning och rensning av borrhålet.

Borrhål Högsrum BH4



Geologisk Kartering:

0 – 2,5 m	Grusig stenig morän
2,5 – 2,8 m	Sand fin
2,8 – 3,2 m	Block
3,2 – 7,5 m	Grå kalksten hård
7,5 – 15,8 m	Röd kalksten
15,8 – 17 m	Övergång alunskiffer mörk
17 – 22,5 m	Skiffer ljus
22,5 – 60 m	Skiffer porös

Sprickor och vatten

Djup	Flöde	Kond	Temp.	Kommentar
60	240 l/tim	647	9,9	

Anmärkningar:

1) Alla djup anges i förhållande till omgivande markyta
2) Uppmätt vattenflöde vid uppfodring med blåsning ca 240 l/tim.
3) GVY efter avslutad borrning var 4,80 m.u.my, mätt e. 1,5 dygn.
4) Geologisk samt övrig data är förenklad i denna presentation. All presenterad information är bedömd i fält utav borroperatören.
5) Provtagning utförd varje meter.
6) Borrning utförd 2016-12-05 till 2016-12-06

BRUNNSRITNING FÖR: **Undersökningsbrunn 4**

Högsrum 1:7

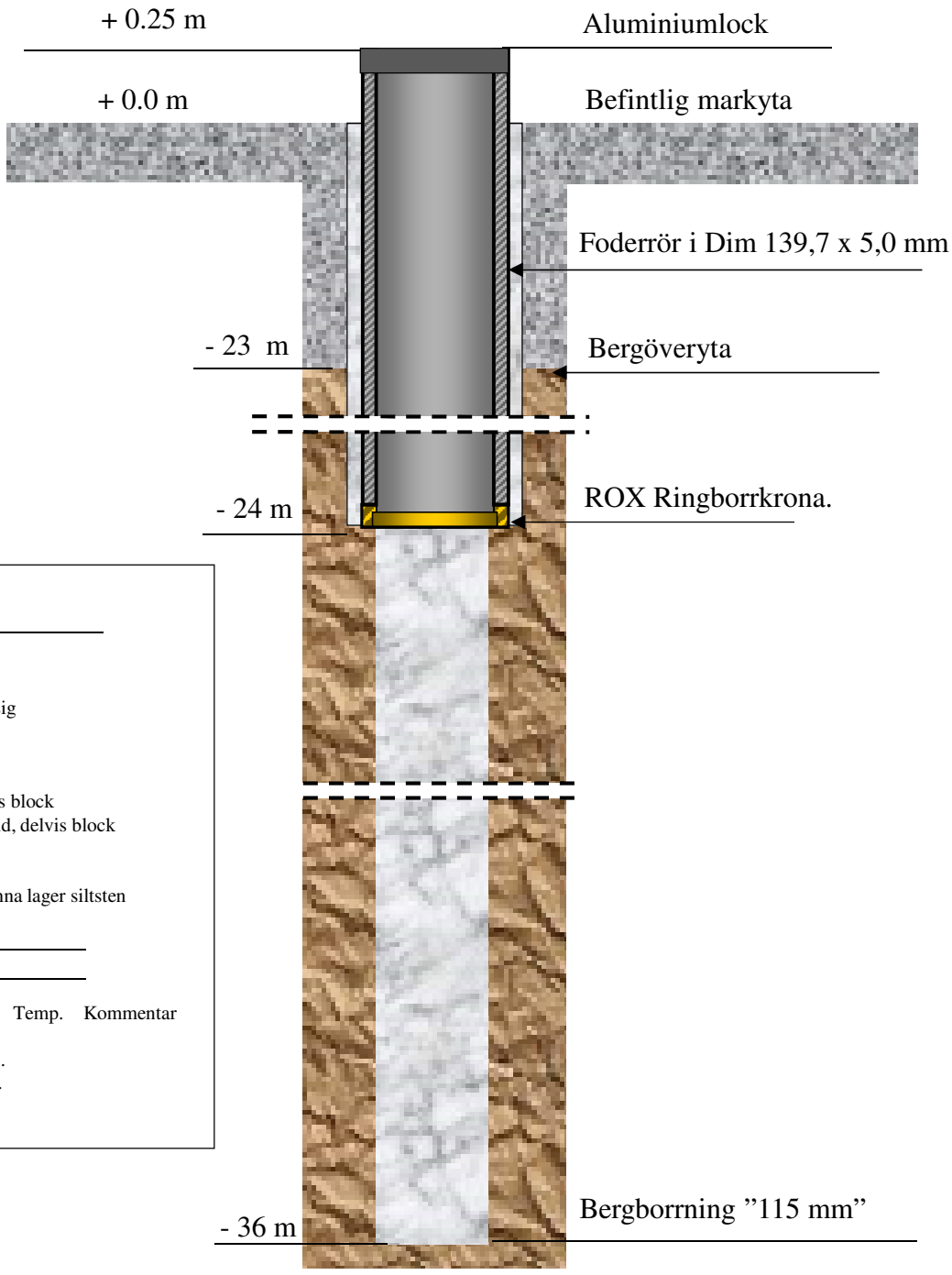
GPS: RT 90 **x: 6295309** **y: 1548029**

Datum:	2016-12-06
Uppförd:	Patrik Fernbrant HP Borrningar AB
Fältansv:	Göran Persson HP Borrningar

Beskrivning:Bergborrad brunn

A) Foderörs-borrning dim 139,7 x 5,0 mm till övergång och ner i berg. Därefter nitning av borrsko.
B) Bergborrning i dimension ”115 mm” till TD
C) Borrning avslutades med blåsning och rensning av borrhålet.

Borrhål Rälla Tall BH21



Geologisk Kartering:

0 – 0,2 m	Humus
0,2 – 1 m	Sand
1 – 2,5m	Sand, stenig /grusig
2,5 – 4,5m	Block, sten / grus
4,5 – 8,5m	Sand / grus
8,5 – 10,5m	Grus / sand
10,5 – 16,8m	Sand / grus, delvis block
16,8 – 21m	Stenig, grusig sand, delvis block
21 – 23m	Sand, grusig
23 – 30m	Skiffer
30 – 36m	Skiffer, varvat tunna lager siltsten

Sprickor och vatten

Djup (m)	Flöde (lit/tim)	Kond	Temp.	Kommentar
23m	< 50	Ej mätb.		
36m	< 50	Ej mätb.		

.

Anmärkningar:

1) Alla djup anges i förhållande till omgivande markyta
2) Uppmätt vattenflöde vid uppfodring med blåsning <50 l/tim.
3) GVY efter avslutad borrning var 21,61 m.u.my, mätt e. >10 dygn
4) Geologisk samt övrig data är förenklad i denna presentation. All presenterad information är bedömd i fält utav borroperatören.
5) Provtagning utförd varje meter.
6) Borrning utförd 2017-11-02 -- 03

BRUNNSRITNING FÖR: **UB 21 -2017 Rälla Tall**
Rälla 1:17

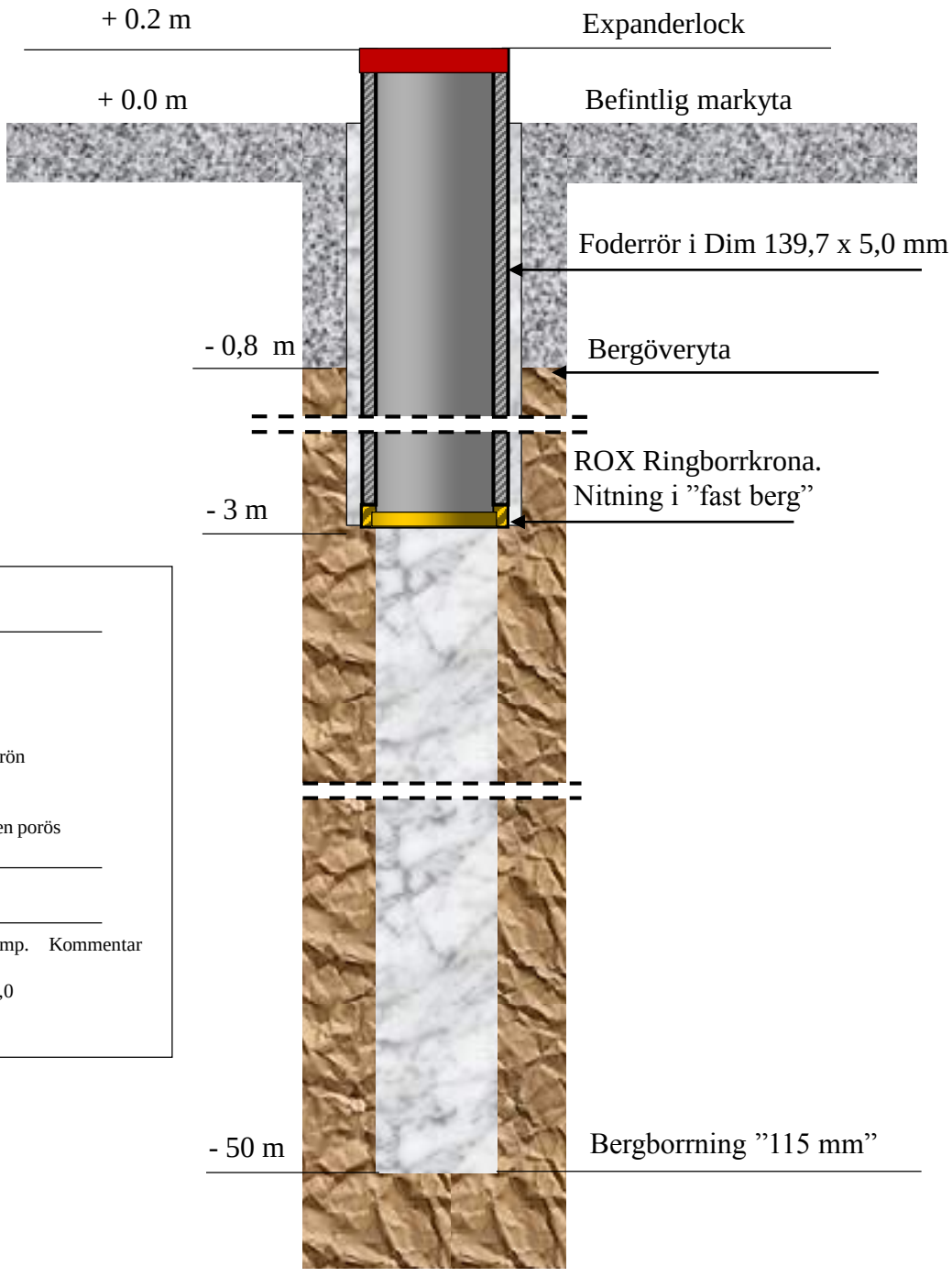
GPS: SWEREF99 N: 6293044 E: 0595130

Datum:	2017-11-03
Uppförd:	Göran Persson HP Borrningar AB
Fältansv:	Göran Persson & Tonie Segelson HP Borrningar

Beskrivning:Bergborrad brunn

A) Foderörs-borrning dim 139,7 x 5,0 mm till övergång och ner i berg. Därefter nitning av borrsko.
B) Bergborrning i dimension ”115 mm” till TD
C) Borrning avslutades med blåsning och rensning av borrhålet.

Borrhål Dyestad BH9



Geologisk Kartering:

0 – 0,8 m	Jord, torv, humus
0,8 – 1,2 m	Porös kalksten
1,2 – 8,5 m	Röd kalksten
8,5 – 24,7 m	Grå kalksten
24,7 – 25 m	Övergång skiffer grön
25 – 29 m	Alunskiffer
29 – 31 m	Skiffer ljus
31 – 50 m	Skiffer/kalksandsten porös

Sprickor och vatten

Djup	Flöde	Kond	Temp.	Kommentar
50 m	6 l/min	5,32 mS/cm	8,0	

Anmärkningar:

1) Alla djup anges i förhållande till omgivande markyta
2) Uppmätt vattenflöde vid uppfodring med blåsning ca 360 l/tim.
3) GVY efter avslutad borrning va 24,5 m.u.my mätt e. 1 tim.
4) Geologisk samt övrig data är förenklad i denna presentation. All presenterad information är bedömd i fält utav borroperatören.
5) Provtagning utförd varje meter.
6) Borrning utförd 2016-12-07.

BRUNNSRITNING FÖR: **Undersökningsbrunn 9**

Dyestad 21:1

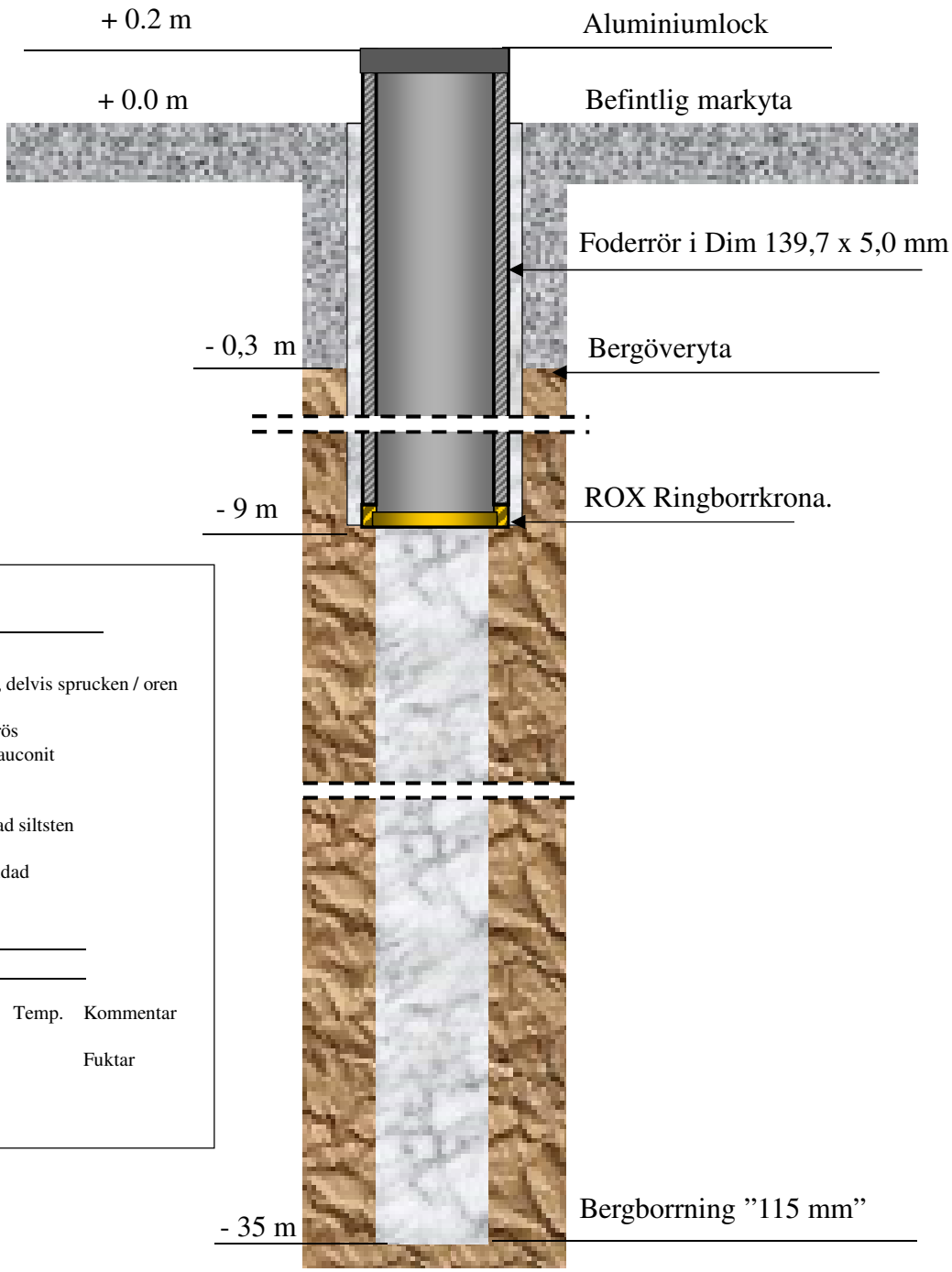
GPS: RT 90 **x: 6288148** **y: 1552670**

Datum:	2016-12-07
Uppförd:	Patrik Fernbrant HP Borrningar AB
Fältansv:	Göran Persson HP Borrningar

Beskrivning:Bergborrad brunn

A) Foderörs-borrning dim 139,7 x 5,0 mm till övergång och ner i berg. Därefter nitning av borrsko.
B) Bergborrning i dimension ”115 mm” till TD
C) Borrning avslutades med blåsning och rensning av borrhålet.

Borrhål Tveta BH22



Geologisk Kartering:

0 – 0,3 m	Humus
0,3 – 8,5 m	Kalksten, röd/grå, delvis sprucken / oren
8,5 - 16,7 m	Kalksten, grå/röd
16,7 – 18m	Skiffer, oren / porös
18 – 18,5 m	Skiffer , inslag glauconit
18,5 – 20m	Alunskiffer
20 – 21,5m	Siltsten / oren
21,5 – 25m	Alunskiffer, varvad siltsten
25 – 32,5m	Alunskiffer
32,5 – 35m	Sandsten , lerblandad

Sprickor och vatten

Djup (m)	Flöde (lit/tim)	Kond	Temp.	Kommentar
0-8,5m	Ej mätb.	Ej mätb.		Fuktar
´ 32,5 - 35m	360	485		

.

Anmärkningar:

1) Alla djup anges i förhållande till omgivande markyta
2) Uppmätt vattenflöde vid uppfodring med blåsning 360 l/tim.
3) GVY efter avslutad borrning var 1,71 m.u.my, mätt e. 16 tim.
4) Geologisk samt övrig data är förenklad i denna presentation. All presenterad information är bedömd i fält utav borroperatören.
5) Provtagning utförd varje meter.
6) Borrning utförd 2017-11-21 -- 22

BRUNNSRITNING FÖR: **UB 22 -2017 Tveta**
Eriksöre S11

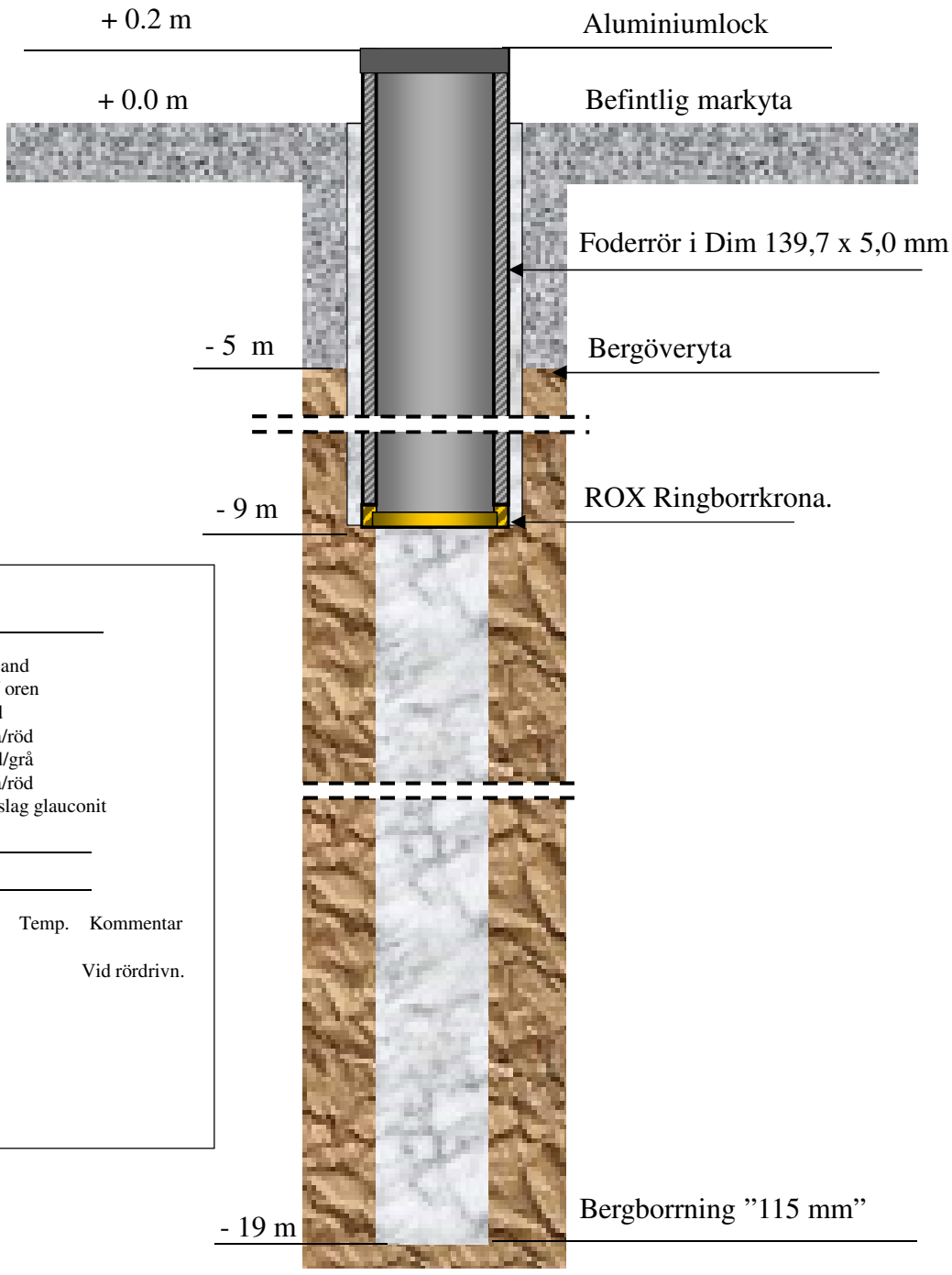
GPS: SWEREF99 N: 6278141 E: 0597207

Datum:	2017-11-22
Uppförd:	Göran Persson HP Borrningar AB
Fältansv:	Göran Persson & Tonie Segelson HP Borrningar

Beskrivning:Bergborrad brunn

A) Foderörs-borrning dim 139,7 x 5,0 mm till övergång och ner i berg. Därefter nitning av borrsko.
B) Bergborrning i dimension ”115 mm” till TD
C) Borrning avslutades med blåsning och rensning av borrhålet.

Borrhål Lenstad BH36



Geologisk Kartering:

0 – 1,1 m	Lera, leblandad sand
1,1 – 5 m	Kalksten, porös / oren
5 – 6,5m	Kalksandsten röd
6,5 – 7,8m	Kalksandsten grå/röd
7,8 – 11m	Kalksandsten röd/grå
11 – 16,5m	Kalksandsten grå/röd
16,5 – 17,5m	Kalksandsten, inslag glauconit
17,5 – 19m	Alunskiffer

Sprickor och vatten

Djup (m)	Flöde (lit/tim)	Kond	Temp.	Kommentar
6,2-7m	ca 240	467		Vid rördrivn.

.

Anmärkningar:

1) Alla djup anges i förhållande till omgivande markyta
2) Uppmätt vattenflöde vid uppfodring med blåsning <50 l/tim.
3) GVY efter avslutad borrning var >15 m.u.my, mätt e. 14 tim
4) Geologisk samt övrig data är förenklad i denna presentation. All presenterad information är bedömd i fält utav borroperatören.
5) Provtagning utförd varje meter.
6) Borrning utförd 2018-01-11

BRUNNSRITNING FÖR: **UB 36 -2017 Lenstad**
Jordtorp 11:1

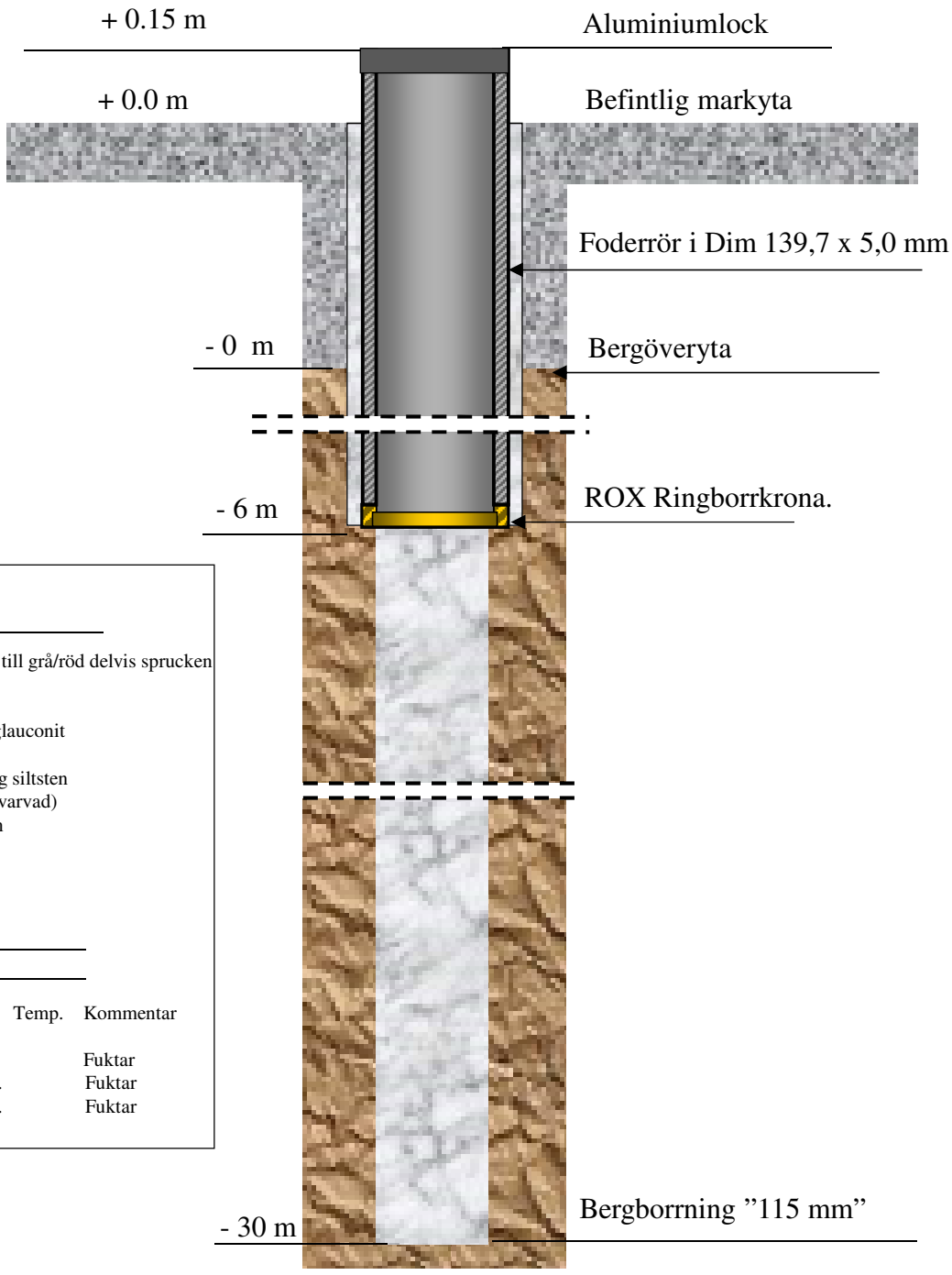
GPS: SWEREF99 N: 6277310 E: 0595421

Datum:	2018-01-11
Uppförd:	Göran Persson HP Borrningar AB
Fältansv:	Göran Persson & Tonie Segelson HP Borrningar

Beskrivning:Bergborrad brunn

A) Foderörs-borrning dim 139,7 x 5,0 mm till övergång och ner i berg. Därefter nitning av borrsko.
B) Bergborrning i dimension ”115 mm” till TD
C) Borrning avslutades med blåsning och rensning av borrhålet.

Borrhål Dröstorp BH25



Geologisk Kartering:

0 – 8,5 m	Kalksten, röd/grå till grå/röd delvis sprucken
8,5 – 14,5 m	Kalksten, röd/grå
14,5-19 m	Kalksten, grå
19 – 20,5m	Kalksten, inslag glauconit
20,5 – 22 m	Alunskiffer
22 – 25m	Alunskiffer, inslag siltsten
25 – 29,5m	Siltsten / skiffer (varvad)
29,5 – 30m	Siltsten / sandsten

Sprickor och vatten

Djup (m)	Flöde (lit/tim)	Kond	Temp.	Kommentar
0-8,5m	Ej mätb.	Ej mätb.		Fuktar
22 – 25m	< 50	Ej mätb.		Fuktar
30m	< 50	Ej mätb.		Fuktar

.

Anmärkningar:

1) Alla djup anges i förhållande till omgivande markyta
2) Uppmätt vattenflöde vid uppfodring med blåsning <50 l/tim.
3) GVY efter avslutad borrning var >29,5 m.u.my, mätt e.2 tim. samt 7,27 m.u.my mätt efter >10 dygn efter avslutad borrning
4) Geologisk samt övrig data är förenklad i denna presentation. All presenterad information är bedömd i fält utav borroperatören.
5) Provtagning utförd varje meter.
6) Borrning utförd 2017-11-22

BRUNNSRITNING FÖR: **UB 25 -2017 Dröstorp**
Gårdby 5:4

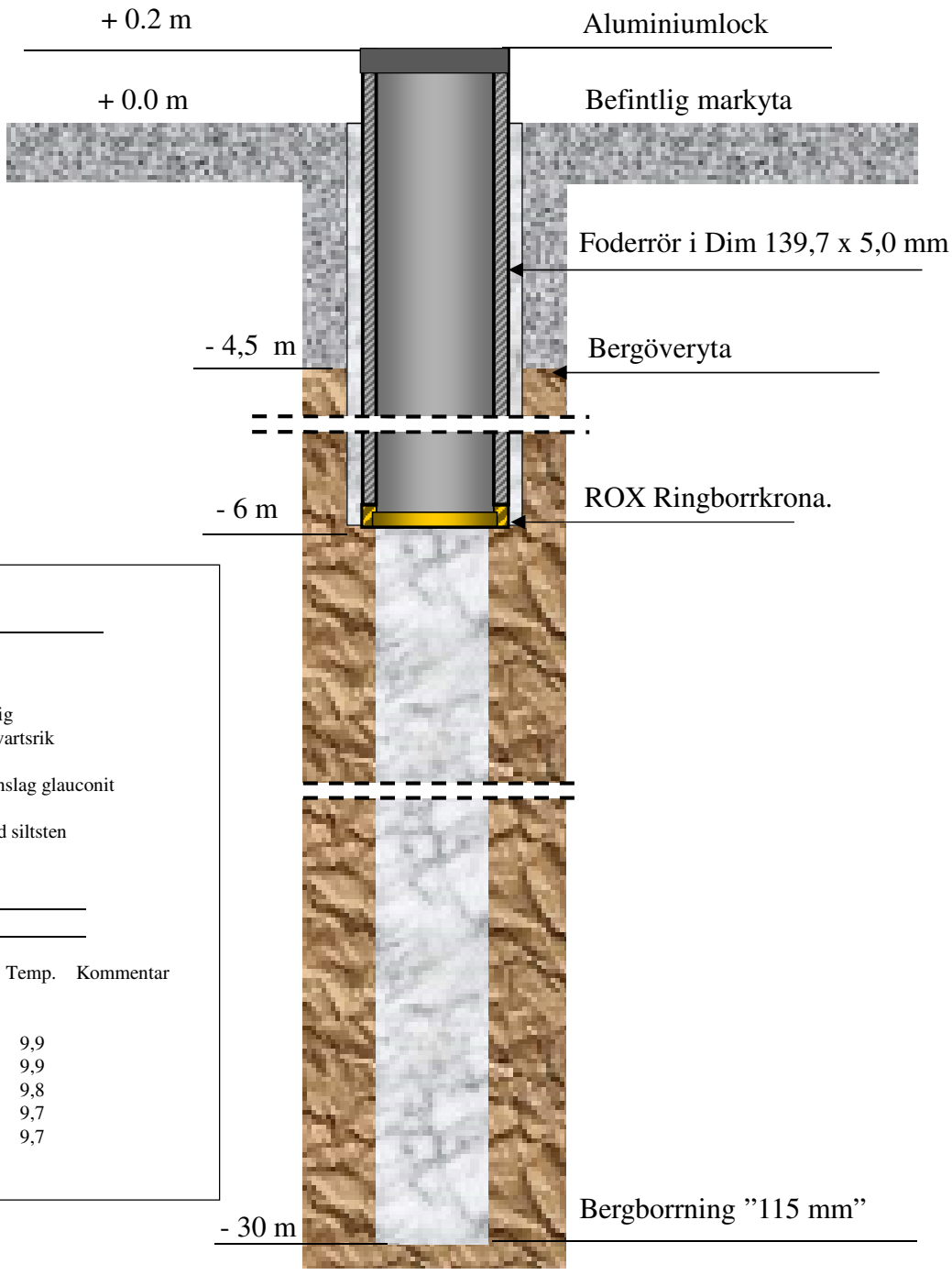
GPS: SWEREF99 N: 6272937 E: 0597396

Datum:	2017-11-22
Uppförd:	Göran Persson HP Borrningar AB
Fältansv:	Göran Persson & Tonie Segelson HP Borrningar

Beskrivning:Bergborrad brunn

A) Foderörs-borrning dim 139,7 x 5,0 mm till övergång och ner i berg. Därefter nitning av borrsko.
B) Bergborrning i dimension ”115 mm” till TD
C) Borrning avslutades med blåsning och rensning av borrhålet.

Borrhål Frösslunda by BH27



Geologisk Kartering:

0 – 1 m	Humus / sand
1 – 2 m	Block
2 – 4,5m	Morän, stenig / lerig
4,5 – 11,5m	Kalksten, delvis kvartsrik
11,5 – 19,5m	Kalksten, röd/grå
19,5 – 21,5m	Kalksten, ljusare inslag glauconit
21,5 – 27,8m	Alunskiffer
27,8 – 29,5m	Alunskiffer, varvad siltsten
29,5 – 30m	Alunskiffer

Sprickor och vatten

Djup (m)	Flöde (lit/tim)	Kond	Temp.	Kommentar
7,5-8,5m	600	440		
9m	4800	423	9,9	
10m	15000	410	9,9	
11,5m	18000	420	9,8	
16m	21000	419	9,7	
30m	21000	420	9,7	

Anmärkningar:

1) Alla djup anges i förhållande till omgivande markyta
2) Uppmätt vattenflöde vid uppfodring med blåsning 21000 l/tim.
3) GVY efter avslutad borrning var 3,21 m.u.my, mätt e. 16 tim. samt 2,47 m.u.my mätt >10 dygn efter avslutad borrning
4) Geologisk samt övrig data är förenklad i denna presentation. All presenterad information är bedömd i fält utav borroperatören.
5) Provtagning utförd varje meter.
6) Borrning utförd 2017-11-22 -- 23

BRUNNSRITNING FÖR: **UB 27 -2017 Frösslunda by Frösslunda 20:1**

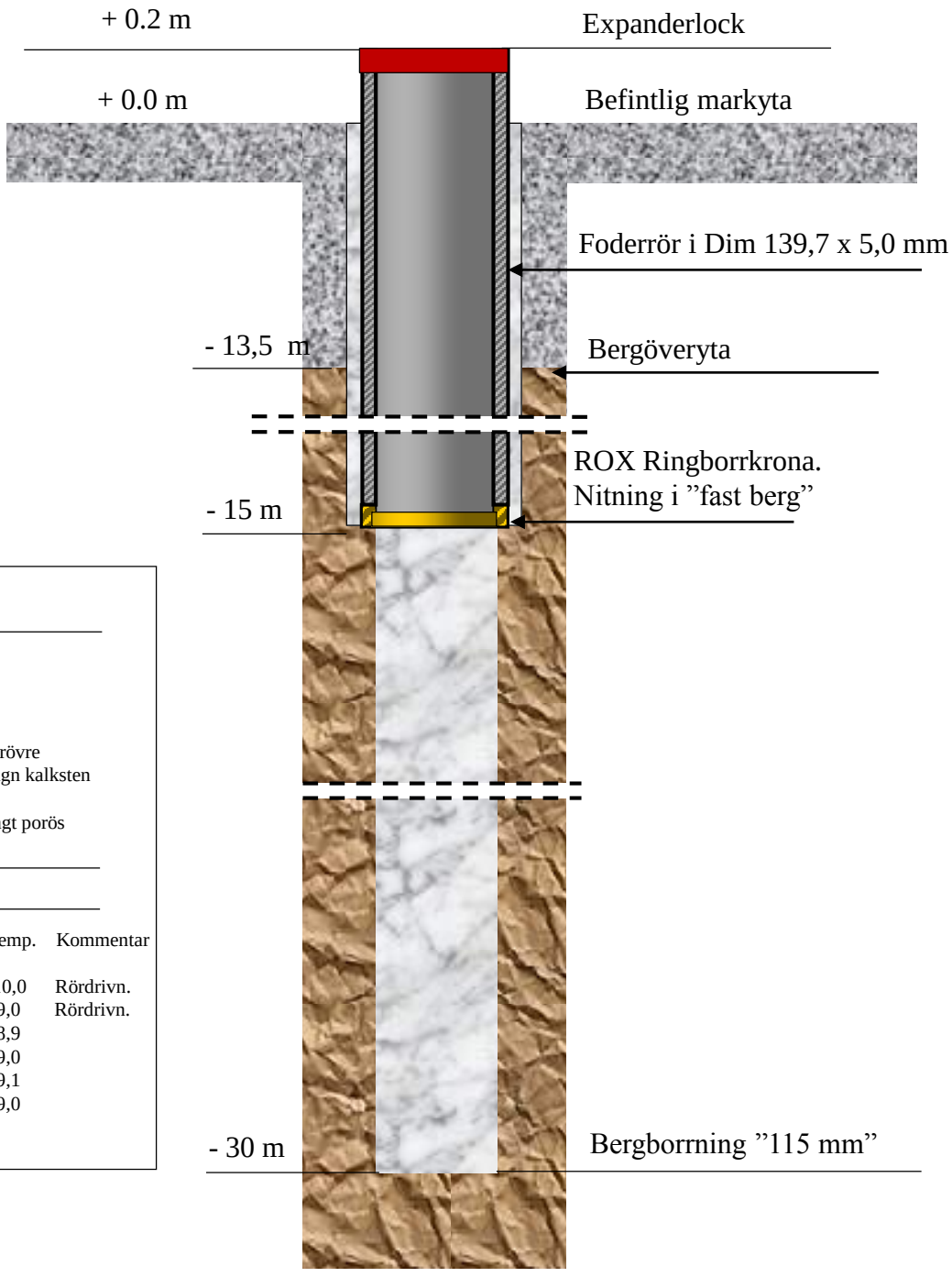
GPS: SWEREF99 N: 6267582 E: 0597048

Datum:	2017-11-23
Uppförd:	Göran Persson HP Borrningar AB
Fältansv:	Göran Persson & Tonie Segelson HP Borrningar

Beskrivning:Bergborrad brunn

A) Foderörs-borrning dim 139,7 x 5,0 mm till övergång och ner i berg. Därefter nitning av borrsko.
B) Bergborrning i dimension ”115 mm” till TD
C) Borrning avslutades med blåsning och rensning av borrhålet.

Borrhål Kleva BH13



Geologisk Kartering:

0 – 0,3 m	Jord, torv, humus
0,3 – 1,5 m	Sand, sten
1,5 – 3,5 m	Sand, grus, sten
3,5 – 4,8 m	Sand röd
4,8 – 9,5 m	Sand grå, delvis grövre
9,5 – 10,5 m	Lera, lerig sand, ngn kalksten
10,5 – 13,5 m	Lera, ngn sten
13,5 – 19 m	Rödgrå kalksten ngt porös
19 – 30 m	Grå kalksten

Sprickor och vatten

Djup	Flöde	Kond	Temp.	Kommentar
13,5 m	60 l/min	951 µS/cm	10,0	Rördrivn.
15	150	996	9,0	Rördrivn.
19	200	1140	8,9	
22	300	1132	9,0	
25	300	1132	9,1	
30	800	1140	9,0	

Anmärkningar:

1) Alla djup anges i förhållande till omgivande markyta
2) Uppmätt vattenflöde vid uppfodring med blåsning ca 48000 l/tim.
3) GVY efter avslutad borrning var 5,18 m.u.my, mätt e. 1 tim.
4) Geologisk samt övrig data är förenklad i denna presentation. All presenterad information är bedömd i fält utav borroperatören.
5) Provtagning utförd varje meter.
6) Borrning utförd 2016-12-07 till 2016-12-09.

BRUNNSRITNING FÖR: **Undersökningsbrunn 13**

Kleva 1:1

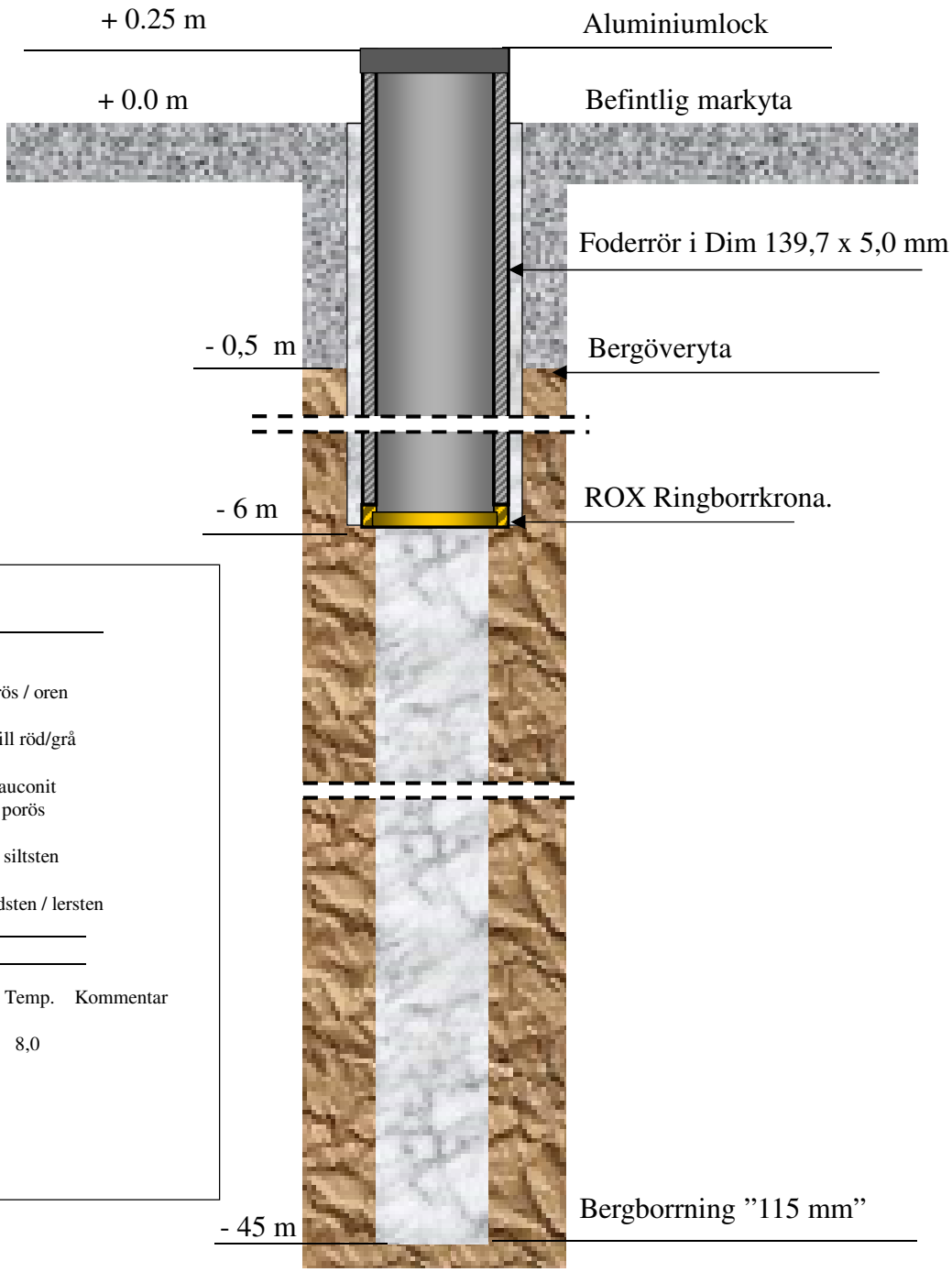
GPS: RT 90 **x: 6269380** **y: 1536044**

Datum:	2016-11-30
Uppförd:	Patrik Fernbrant HP Borrningar AB
Fältansv:	Göran Persson HP Borrningar

Beskrivning:Bergborrad brunn

A) Foderörs-borrning dim 139,7 x 5,0 mm till övergång och ner i berg. Därefter nitning av borrsko.
B) Bergborrning i dimension ”115 mm” till TD
C) Borrning avslutades med blåsning och rensning av borrhålet.

Borrhål Triberga BH28



Geologisk Kartering:

0 – 0,5 m	Lera
0,5 – 2,5 m	Kalksten, ljus / porös / oren
2,5 – 10,5m	Kalksten, röd/grå
10,5 – 14m	Kalksten, grå/röd till röd/grå
14 – 21m	Kalksten, grå
21 – 21,5m	Kalksten, inslag glauconit
21,5 – 22m	Alunskiffer, oren / porös
22 – 30m	Alunskiffer
30 – 35,5m	Alunskiffer, inslag siltsten
35,5 – 37m	Skiffer, ljusare
37 - 45m	Skiffer, inslag sandsten / lersten

Sprickor och vatten

Djup (m)	Flöde (lit/tim)	Kond	Temp.	Kommentar
45m	<50	1490	8,0	

Anmärkningar:

1) Alla djup anges i förhållande till omgivande markyta
2) Uppmätt vattenflöde vid uppfodring med blåsning <50 l/tim.
3) GVY efter avslutad borrning var 0,4 m.u.my, mätt e. 10 dygn
4) Geologisk samt övrig data är förenklad i denna presentation. All presenterad information är bedömd i fält utav borroperatören.
5) Provtagning utförd varje meter.
6) Borrning utförd 2017-11-23 -- 24

BRUNNSRITNING FÖR: **UB 28 -2017 Triberga**
Triberga 5:2

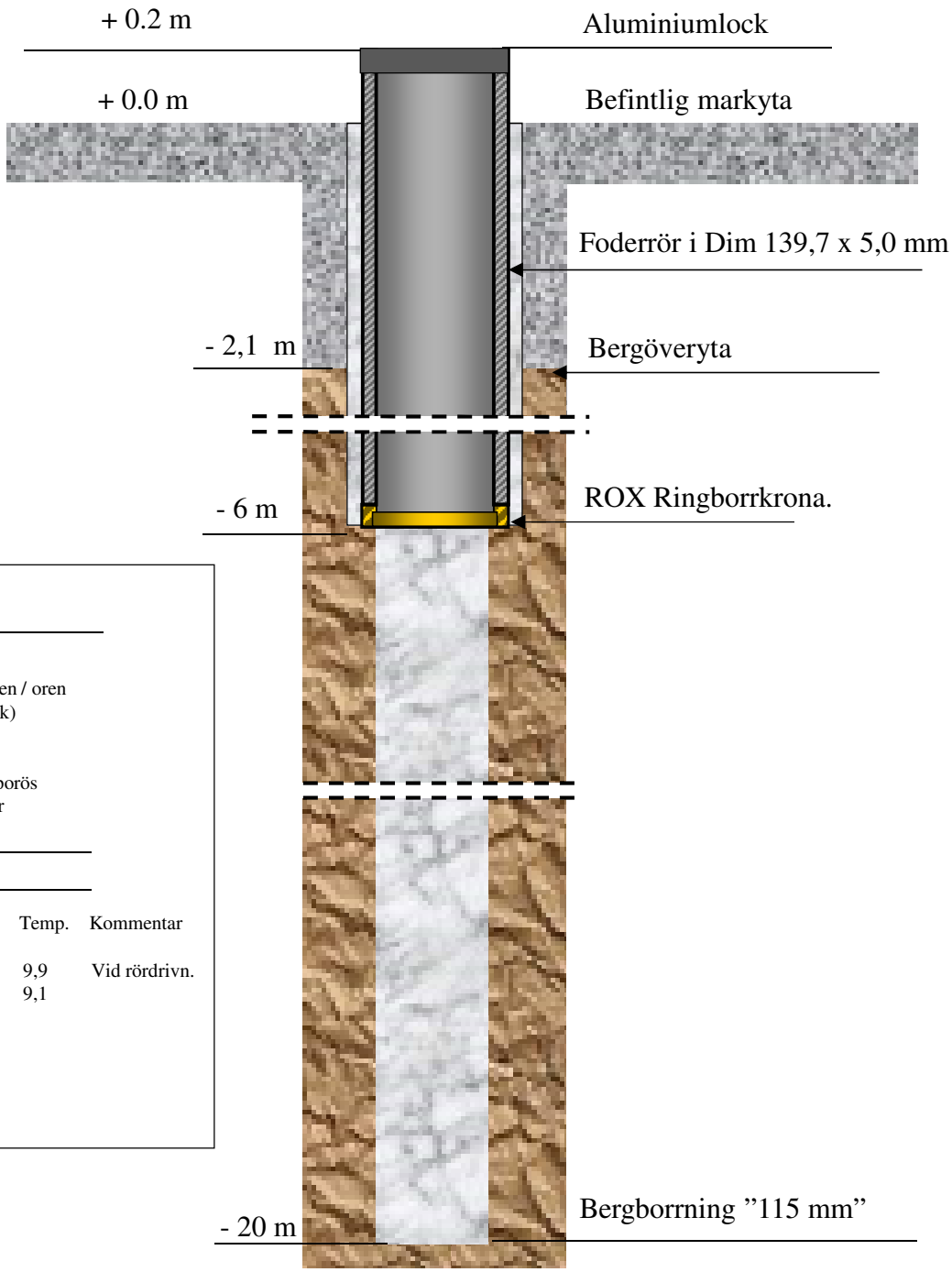
GPS: SWEREF99 N: 6258193 E: 056009

Datum:	2017-11-24
Uppförd:	Göran Persson HP Borrningar AB
Fältansv:	Göran Persson & Tonie Segelson HP Borrningar

Beskrivning:Bergborrad brunn

A) Foderörs-borrning dim 139,7 x 5,0 mm till övergång och ner i berg. Därefter nitning av borrsko.
B) Bergborrning i dimension ”115 mm” till TD
C) Borrning avslutades med blåsning och rensning av borrhålet.

Borrhål Kastlösa BH29



Geologisk Kartering:

0 – 0,5 m	Humus / sand
0,8 – 2,1 m	Kalksten, sprucken / oren
2,1 – 3m	Alunskiffer (mörk)
3 – 5,5m	Skiffer
5,5 – 12m	Kalksandsten
12 – 18,5m	Sandsten delvis porös
18,5 – 20m	Sandsten / skiffer

Sprickor och vatten

Djup (m)	Flöde (lit/tim)	Kond	Temp.	Kommentar
5,5-5,8m	ca 1200	549	9,9	Vid rördrivn.
18,5-20m	ca 480	534	9,1	

.

Anmärkningar:

1) Alla djup anges i förhållande till omgivande markyta
2) Uppmätt vattenflöde vid uppfodring med blåsning 480l/tim.
3) GVY efter avslutad borrning var 0,55 m.u.my, mätt e. 16 tim
4) Geologisk samt övrig data är förenklad i denna presentation. All presenterad information är bedömd i fält utav borroperatören.
5) Provtagning utförd varje meter.
6) Borrning utförd 2018-01-10

BRUNNSRITNING FÖR: **UB 29 -2017 Kastlösa**
Kastlösa 5:6

GPS: SWEREF99 N: 6256197 E: 0590650

Datum:	2018-01-10
Uppförd:	Göran Persson HP Borrningar AB
Fältansv:	Göran Persson & Tonie Segelson HP Borrningar

Beskrivning:Bergborrad brunn

A) Foderörs-borrning dim 139,7 x 5,0 mm till övergång och ner i berg. Därefter nitning av borrsko.
B) Bergborrning i dimension ”115 mm” till TD
C) Borrning avslutades med blåsning och rensning av borrhålet.

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 2018
ISSN 0349-2176
ISBN 978-91-7403-420-2
Tryck: Elanders Sverige AB